

CARRETERAS

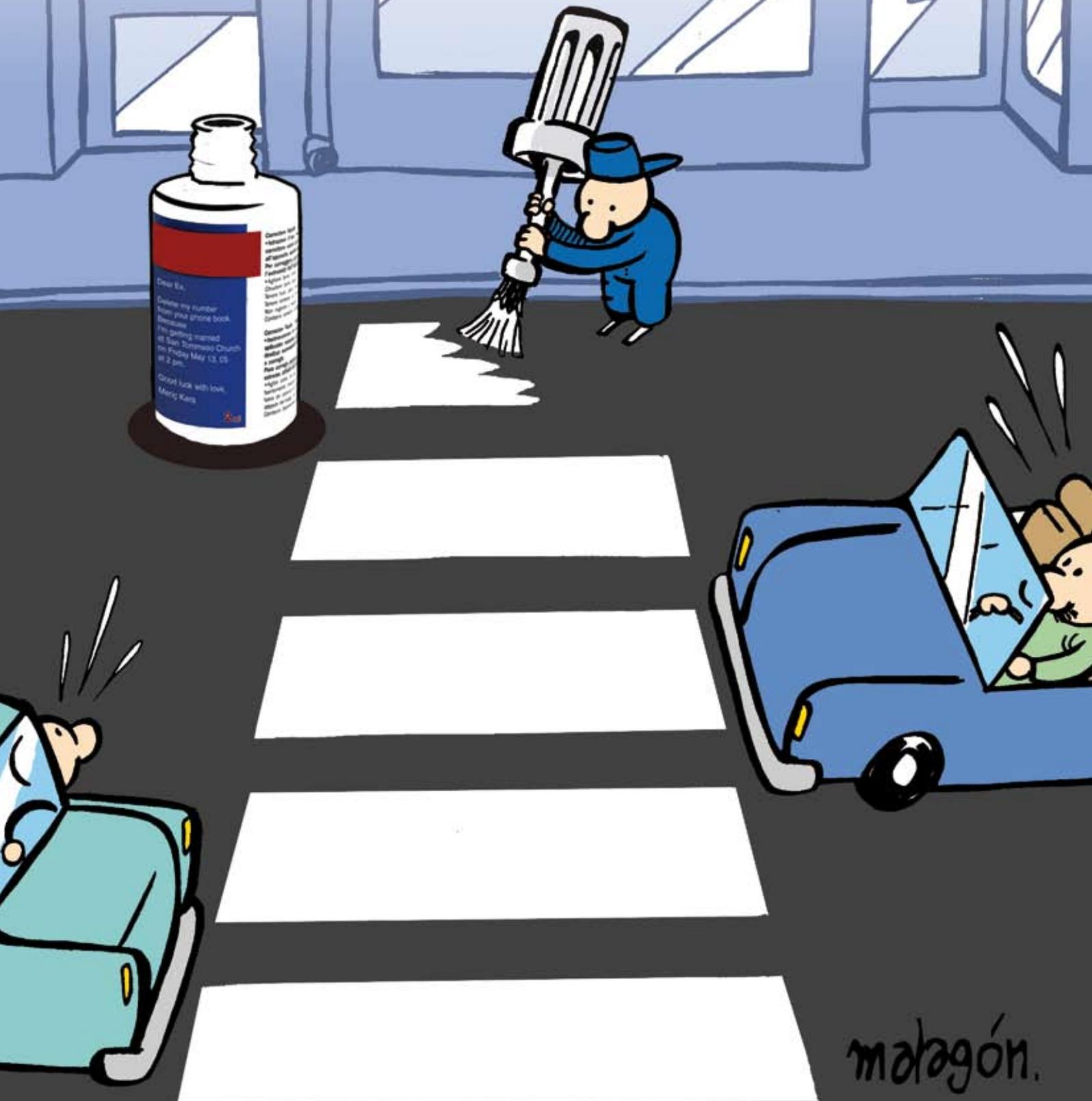


Asociación
Española de la
Carretera

4ª ÉPOCA - NÚM. 166 - JULIO/AGOSTO 2009 - REVISTA TÉCNICA DE LA ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE LA CARRETERA

Innovaciones en pavimentos de hormigón

Coordinador: Aniceto Zaragoza Ramírez



malagón.



Nuestro compromiso con las normas es firme

Cumpliendo estrictamente con la norma de hormigón estructural (EHE), ofrecemos productos de calidad duradera.

Holcim Hormigones



Contenido de cemento según clases de exposición

El seguimiento estricto de los requisitos de la EHE sobre el contenido de cemento por clase de exposición y tipo de hormigón, garantiza la durabilidad de nuestro producto.



Volúmenes fiables

1 m³ son 1.000 litros de hormigón.



Uso garantizado de cemento resistente a los sulfatos (SR) cuando sea solicitado

Al pedir hormigones sometidos a fuerte ataque químico (clase de exposición Qc), tienen la certeza de una fabricación con cemento SR.



Relación agua/cemento

Cumplir con las indicaciones de la norma sobre máximo de relación A/C, nos permite reducir la permeabilidad del hormigón. En ningún caso añadimos agua en obra.



Cero reutilización

Nunca recuperamos hormigones para volver a entregarlos, lo que asegura el respeto del tiempo límite de uso marcado por la instrucción.

En su próxima contratación, elija un proveedor de hormigón de confianza y exija el cumplimiento de las normas.

Construyendo un Futuro Sostenible





Serie temática 2009:
Carretera amable.
UNA SONRISA PARA LA REFLEXIÓN.

CONSEJO DE REDACCIÓN:

Presidente:

Julio González de Pedroviejo

Vocales:

Mercedes Aviñó Bolinches
Luis Ayuso Sánchez
Alberto Bardesi Orúe-Echevarría
Carlos Cristóbal Pinto
Federico Fernández Alonso
Juan Gallego Medina
Francisco Gutiérrez Ferrández
José Antonio Hinojosa Cabrera
Juan José Jarillo Rodríguez
Jesús M^a Leal Bermejo
José Vicente Martínez Sierra
José Montoya Pérez
Pablo Nobell Rodríguez
Elena de la Peña González
Juan José Potti Cuervo
José Quereda Laviña
Sebastián de la Rica Castedo
Rodolfo Sáenz de Ugarte Corres
Luis Alberto Solís Villa
José Antonio Soto Sánchez
Paloma Tello Lucini
Ramón Tomás Raz
Aniceto Zaragoza Ramirez

PRESIDENTE:

Miguel M^a Muñoz Medina

DIRECTOR:

Jacobo Díaz Pineda

DIRECTORA EJECUTIVA:

Marta Rodrigo Pérez

DIRECTOR TÉCNICO:

Recaredo Romero Amich

REDACTORA JEFE:

Susana Rubio Gutiérrez

REDACCIÓN:

Iván Corzo Reino

Beatriz Rodríguez López

DISEÑO Y MAQUETACIÓN:

José María Gil • David Villar

EDICIÓN Y PUBLICIDAD:

COMUNICACIÓN Y DISEÑO

O'Donnell, 18 - 5^o H

28009 Madrid

☎ 91 432 43 18 Fax: 91 432 43 19

e-mail: comdis@cydiseno.com

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA

DE LA CARRETERA

Goya, 23 - 3^o y 4^o Derecha

28001 MADRID

☎ 91 577 99 72 Fax: 91 576 65 22

e-mail: aec@aecarretera.com

http://www.aecarretera.com

SUSCRIPCIÓN ANUAL (Año 2009):

España: 65 Euros (IVA incluido)

Europa: 107 Euros • América: 165 \$ / 115 Euros

IMPRIME: Gráficas Marte

Depósito Legal: M- 19.439-1975

ISSN: 0212 - 6389

Las opiniones vertidas en las páginas de Carreteras no coinciden necesariamente con las de la Asociación Española de la Carretera o las del Consejo de Redacción de la publicación.

Coordinador del número especial "Innovaciones en pavimentos de hormigón":
Aniceto Zaragoza (Oficemen)

Editorial

Desmontes y terraplenes: objeto de reflexión

4

Presentación

Especial "Innovaciones en pavimentos de hormigón"

Aniceto Zaragoza

6

Artículos Técnicos

El pavimento de hormigón armado continuo en la Autovía del Mediterráneo, A-7

Ramón Marín Peñas

8

Modelo de apoyo a las decisiones para firmes basado en el coste total durante la vida útil, la evaluación del ciclo de vida y el análisis multicriterio

Adrian J. van Leest
Steeff B. van Harstkamp
Joep P.R. Meijer

28

Hacia un pavimento de hormigón medioambientalmente sostenible utilizando áridos reciclados

James T. Smith
Susan L. Tighe

42

Propiedades para firmes del hormigón fabricado con áridos siderúrgicos

Paul Bosela
Norbert Delatte
Richard Obratil
Ashish Patel

55

Comportamiento de las mezclas de hormigón en pavimentos mixtos con un refuerzo superior delgado de hormigón ("Ultra-Thin Whitetopping")

Amanda C. Bordelon
Jeffery R. Roesler

67

Hormigón con fibras:
¿Entre el hormigón en masa y el armado?

C. René Braam
Adrian J. van Leest
Steeff B. van Harstkamp
George Jurriaans
Corné A. van der Steen
Marc J.A. Stet

78

Superficies seguras de rodadura para carreteras de hormigón poroso

George Vorobieff
Gavin Donald

87

Adoquines de hormigón permeables al agua. Estructuras duraderas para una política integrada del agua

A. Beeldens
L. Vijverman

102

Pavimentos prefabricados de hormigón: tecnología actual y tendencias futuras

Shiraz Tayabji
Neeraj Buch
Edwin Kohler

112

Tribunas

Conclusiones del XX Symposium Nacional de Vías y Obras de la Administración Local (VYODEAL)

Justo Borrajo Sebastián

130

Conclusiones del IV Curso de Especialización en Carreteras: Trazado de Carreteras (TRONCO)

Pablo Nobell Rodríguez
Xavier Massallé Puig
Miguel Vallés Ruiz
Miguel Ángel Franesqui García
Jacobo Díaz Pineda
José Suárez Megías

132

Área de Servicio

134

Guía Profesional de Empresas Colaboradoras

157

EMPRESAS COLABORADORAS



Desmontes y terraplenes: objeto de reflexión

Los desmontes y terraplenes son elementos fundamentales del diseño viario. Desde un punto de vista estructural, cualquier fracaso en este campo implica problemas importantes en la explotación de la vía. Es por eso por lo que el sector presta una muy especial atención a este elemento clave de diseño; aún así, se trata de un campo que ha de ser objeto permanente de reflexión.

Cuando viajamos por España encontramos demasiados desmontes (y en menor medida terraplenes), que después de muchos años se siguen mostrando como una herida abierta en el paisaje. Esto debería incitarnos a pensar que algo no se está haciendo bien. Es posible que las inclinaciones de nuestros desmontes o terraplenes sean suficientes desde el punto de vista estructural, pero insuficientes desde el punto de vista ambiental. Se podría empezar a pensar bien en disminuir las inclinaciones para asegurarnos el éxito de la revegetación, bien optar por la tendencia vertical –usando sistemas de contención, y reduciendo al mínimo el uso del terreno natural-. Además de todo esto, el diseño de los desmontes y terraplenes admite mayores reflexiones en su geometría (una visión más natural y menos artificial, como se observa en la actualidad).

Sea cual fuere el resultado de esta reflexión, sin duda parece que existen razones para realizarla. 



NUEVO EQUIPO DE TRANSFERENCIA DE AGLOMERADO - TRANSFER **VÖGELE** MT-1000-1

LA PERFECCIÓN EN EXTENDIDO SIN PAUSAS NI PARADAS

Equipo de transferencia de mezcla bituminosa que asegura su remezclado y rehomogenización antes de la descarga a la extendedora.



Unidades disponibles de entrega inmediata para alquiler y venta



NUEVA DIRECCIÓN COMERCIAL / TÉCNICA

Crta. de la Marañosa Km. 0,8 • A-4 Salida Km. 20 • 28320 Pinto (MADRID)

tel. 91 307 81 33 - fax 91 357 47 62 - www.emsa-machinery.net



El camino más firme



Aniceto ZARAGOZA RAMÍREZ
Director General de Oficemen
Presidente de EUPAVE

Coordinador del número especial
"Innovaciones en pavimentos de hormigón"

La información permite superar las barreras que la desconfianza impone. Por eso, cuando la revista *Carreteras* se propuso realizar un especial sobre pavimentos de hormigón, me pareció una magnífica oportunidad para superar la desinformación que existe en nuestro país sobre este tipo de firmes, lo que supone, a mi entender, la principal barrera para su aplicación. El progresivo abandono de la técnica que se ha producido en las dos últimas décadas ha ocasionado que la ejecución de pavimentos de hormigón sea una tarea cada vez más complicada, casi restringiendo su uso a aquellas actuaciones para las que no existen claras soluciones alternativas, como son los casos de los puertos y aeropuertos.

Actualmente vivimos una auténtica revolución en la investigación e innovación en este tipo de pavimentos, aunque desgraciadamente poco conocida en nuestro país. Cobra así sentido que el objetivo del presente número sea dar a conocer el estado del arte sobre estos firmes y difundir los últimos avances técnicos desarrollados a nivel nacional e internacional.

La coordinación de una edición como la que aquí se presenta no es una tarea fácil, principalmente por lo complejo que resulta la elección de artículos cuando es mucho el material de calidad del que se dispone y es necesario seleccionar aquel que pueda resultar más relevante. Finalmente, se han escogido nueve artículos con una temática variada que intentan resumir las últimas innovaciones y experiencias con pavimentos de hormigón, especialmente en aquellos aspectos en los que este tipo de firmes ha recibido mayor número de críticas. Así pues, el lector dispone de información sobre los avances logrados en la reducción del ruido y el drenaje del agua mediante pavimentos de hormigón poroso y adoquines permeables. Igualmente, se incorpora un artículo donde se muestra que el hormigón con fibras permite aumentar considerablemente la separación entre juntas, facilitando la ejecución, aumentando la comodidad de la conducción y disminuyendo el nivel de ruido. También, se ha dejado un hueco para explicar las reparaciones que se pueden llevar a cabo con hormigón, bien con refuerzos superiores como el *"ultra-thin white topping"* o bien con sistemas de reparación rápida con pavimentos prefabricados que permitan una reapertura al tráfico casi inmediata.

La sostenibilidad, uno de los retos claves de nuestro sector, no podía faltar en este número dedicado a los pavimentos rígidos. Los pavimentos de hormigón reciclan residuos de otras industrias, como las escorias siderúrgicas, que pueden utilizarse como áridos de hormigón y también se reuti-

lizan como áridos de pavimentos de nueva construcción. Así, según expone uno de los autores de este número, creemos que en la elección del tipo de firme hay que considerar diferentes aspectos de su ciclo de vida, mediante aplicaciones informáticas o métodos similares que utilicen un análisis multicriterio en la toma de decisiones.

Por último, era indispensable incluir una realización española que representara todas las ventajas de los pavimentos de hormigón. Se ha elegido el tramo de la Autovía del Mediterráneo, A-7, entre el enlace de Albuñol y la Variante de Adra. Se trata de un pavimento armado continuo sin juntas con una alta calidad de rodadura, mínima o nula necesidad de mantenimiento, elevada durabilidad y seguridad. Es, probablemente, la mejor solución en una etapa de incertidumbre como la que vivimos, puesto que, a pesar de su posible mayor coste de ejecución, garantiza la ausencia de inversiones en los próximos treinta años.

No quisiera terminar esta presentación sin manifestar mi más profundo agradecimiento a los autores, por su total disponibilidad y colaboración, a Carlos Jofré por su apoyo en el proceso de selección de temas, a César Bartolomé por la labor de relación con los autores, y a todo el equipo de la revista *Carreteras*, especialmente a Recaredo Romero por su ayuda y paciencia en este número especialmente complicado dada la cantidad de artículos extranjeros que incorpora.

Espero que este especial permita al lector ampliar el abanico de soluciones de pavimentación a los variados problemas de tráfico que se presentan en nuestra red de carreteras. Estar abiertos a nuevas soluciones es una de las características más definitorias de los técnicos e ingenieros dedicados al diseño y construcción de carreteras. 

El pavimento de hormigón armado continuo en la Autovía del Mediterráneo, A-7



Continuously reinforced concrete pavement on the A-7 Mediterranean Motorway

Ramón MARÍN PEÑAS

Delegado en Andalucía
Ginprosa Ingeniería, S.L

RESUMEN

Los pavimentos actuales poseen una vida útil corta y en muchos casos un alto coste de mantenimiento. Los problemas de durabilidad de los firmes suelen venir causados por fallos de su resistencia y por las consecuentes deformaciones. Estos problemas derivan en otros como la pérdida de la estanquidad de sus juntas de contracción (hormigón) o la incursión del agua en la subbase del firme. En la mayoría de los casos requieren de costosas reparaciones y mantenimiento periódico.

Son, por tanto, muy sensibles a la resistencia a tracción (fractura frágil), a la variación de rigidez de la subbase (CBR), a la cantidad de juntas de contracción y al agua que pasa a través de ellos que deteriora la base que los soporta.

Los pavimentos continuos de hormigón armado, pretenden ofrecer al mercado una nueva alternativa en el uso de pavimentos confortables de hormigón, con muy pocas juntas de contracción, en que es posible, para las solicitudes de diseño (cargas, retracción, y cambios de temperatura), prever su resistencia y controlar el agrietamiento como en cualquier otra estructura de hormigón armado, y cuyas ventajas son su seguridad, costo, y compatibilidad con un pavimento existente de mezcla bituminosa u hormigón en mal estado (no requiere su eliminación).

Desde el punto de vista de la propia sostenibilidad, las metodologías de análisis del coste del ciclo de vida se configuran ya en los países más avanzados como potentes herramientas en la selección del tipo de firme, tratando de minimizar las emisiones contaminantes y optimizando los consumos energéticos en cada una de las etapas de la construcción y posterior explotación de la infraestructura.

El presente artículo pretende describir de manera sucinta la experiencia realizada en el tramo Enlace de Adra-Variante de Albuñol de la Autovía del Mediterráneo A-7 de este tipo de firme.

Palabras clave: Hormigón, Hormigón armado continuo, Pavimento de hormigón, Firme rígido, Análisis de ciclo de vida, Pavimento continuo de hormigón armado (PCHA).

**GINPROSA HA COLABORADO CON LA DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS DEL MINISTERIO DE FOMENTO
EN EL CONTROL Y VIGILANCIA DE LAS OBRAS DE LA VARIANTE DE ADRA**

AUTOVÍA DEL MEDITERRÁNEO. CN-340 DE CÁDIZ Y GIBRALTAR A BARCELONA

TRAMO: ENLACE DE ALBUÑOL - VARIANTE DE ADRA. PROVINCIAS DE GRANADA Y ALMERÍA



c/ José Echegaray, 18. Parque Empresarial. LAS ROZAS (28232 - Madrid)

Tel: 91.799.49.00 • Fax: 91.799.49.10 • ginprosa@ginprosa.es

DELEGACIÓN GINPROSA-GRANADA

Edif. Reina María, Pl. 3, Ofic. 3, A-44, Km. 122, Vía 2. Parc. 102, Pol. Juncaril. 18210 GRANADA

Tel: 858.100.600 • Fax: 858.101.696



GINPROSA

ABSTRACT

Current pavements have a short service life and in many cases high maintenance costs. Pavement durability problems are normally caused by failures in resistance and the consequent deformation. These problems lead to others such as the loss of sealing in their (concrete) contraction joints or seepage of water into the pavement sub-base. In most cases costly repairs and periodic maintenance are required.

They are therefore highly sensitive as regards tensile strength (cleavage), sub-base rigidity variation (CBR), the number of contraction joints and the water the seeps through them, damaging the underlying base.

Continuously reinforced concrete pavements are designed to offer the market a new alternative in easy-ride concrete pavements with very few contraction joints, in so far as possible, for design stresses (loads, shrinkage and temperature changes), forecasting resistance and controlling crack formation as in any other reinforced concrete structure, and whose advantages are safety, cost and compatibility with an existing deteriorated asphalt or concrete pavement (which need not be removed).

From the perspective of sustainability, methodologies for lifecycle cost analysis in the most advanced countries are now powerful tools in pavement type selection, designed to minimize polluting emissions and optimize energy consumption at each stage in the construction and subsequent operation of infrastructure.

This article sets out to briefly describe the experience with this type of pavement on the Adra Link-Albuñol Road section of the A-7 Mediterranean Motorway.

Key words: *Concrete, Continuously reinforced concrete, Concrete pavement, Rigid pavement, Lifecycle analysis, Continuously reinforced concrete pavement (CRCP).*

ANTECEDENTES

Los dos principales referentes a la hora de diseñar el firme del tramo de la Autovía del Mediterráneo entre Albuñol y Adra fueron; por una parte la *única* experiencia española realizada en esta técnica en Asturias, que a su vez tuvo punto de referencia el cálculo y diseño de las obras estadounidenses; y de otra parte la más reciente utilización de los *Pavimentos Continuos de Hormigón Armado (PCHA)* en Portugal, que tuvo su referente de diseño y dimensionamiento en las experiencias belgas anteriores.

En nuestro país el primer firme de este tipo se realizó en la llamada "Y" asturiana, Autopista Oviedo-Avilés-Gijón, en el tramo entre Oviedo y Lugones.

La solución adoptada estuvo motivada por una triple circunstancia: un intenso transporte industrial y minero que provocaba un tráfico muy pesado en el tramo, persistente humedad con gran frecuencia de lluvias y por último, plasticidad e irregularidad del terreno. A pesar de la combinación desfavorable de tráfico, clima y suelo, ha presentado un excelente comportamiento.

DESCRIPCIÓN DE LA OBRA

1. Datos básicos

La obra consiste en la ejecución de un tramo de autovía paralelo a la actual carretera N-340 cuyo inicio es un enlace con esta carretera en las proximidades de Albuñol (Granada) y cuya terminación es la conexión con la autovía ya construida de la Variante de Adra (Almería).

La longitud de la nueva autovía es de 10.558'59 m, con trazado prácticamente a media ladera y pendiente máxima del 5'84 %. Con una velocidad de proyecto de 80 km/h y un radio mínimo de 450 m.

La sección transversal definida es de dos calzadas de 7'00 m de ancho, con arcenes exteriores de 2'50 m e interiores de 1'00 m.

El firme para el tronco de la autovía se define con pavimento de hormigón (HP-45) sobre una explanada E-3 y con zahorra artificial y mezcla bituminosa en caliente en la reposición de caminos. En los tres existentes viaductos



SOSTENIBILIDAD DURABILIDAD RESISTENCIA

El hormigón es respetuoso con
el **Medio Ambiente** por su capacidad de:

- Ser reciclado
- Combinarse con otros productos
- Contención de materiales peligrosos

El hormigón es el material
estructural más adecuado para una
construcción sostenible



DELEGACIONES IECA

SEDE CENTRAL
José Abascal 53, 2º
28003 Madrid
www.ieca.es

Delegación de Canarias
D. Joaquín Romero Postiguillo
Antonio María Manrique, 3, planta 5ª, oficina 3
35011 Las Palmas de Gran Canaria
Tel.- fax: 928284349
E-mail: iecacanarias@ieca.es

Delegación Noreste
D. Sergio Carrascón Ortiz
Caspe, 123 - entresuelo
08013 Barcelona
Tel.:93.539.09.01 - Fax:93.539.09.02
E-mail: scarrascon@ieca.es

Delegación Centro
D. José Quereda Laviña
José Abascal 57, 4º
28003 Madrid
Tel.:914.01.41.12 - Fax:914.01.05.86
E-mail: iecacentro@ieca.es

Delegación de Levante
D. Rafael Rueda Arriete
Plaza del Ayuntamiento 2, Pta. 17
46002 Valencia
Tel.:96.381.90.33 - Fax:96.381.90.34
E-mail: iecadelegacionlevante@ono.com

Delegación Noroeste
D. Jesús Díaz Minguela
Plaza de San Marcos, 6 - 3ºE
24001 León
Tel.:987.23.48.33 - Fax:987.23.65.79
E-mail: iecanoroeste@infonegocio.com

Delegación Norte
D. Iñaki Zabala Zuazo
Telletxe 36, 3º Centro (B)
48993 Algorta, Vizcaya
Tel.:944.91.53.61 - Fax:944.91.43.98
E-mail: iecanorte@sarenet.es

Delegación Sur
D. Manuel Vera Serrano
Virgen de Regla, 1 Esc. B, 1º 3
41011 Sevilla
Tel.:954.27.40.43 - Fax:954.27.26.43
E-mail: delegacionsur@ieca.es

Servicio	Demarcación de Carreteras de Andalucía Oriental.
Director de la obra	D. Francisco Ruiz Hidalgo
Contratista	Ferrovial-Agroman, S.A.
Asistencia técnica	Ginprosa Ingeniería S.L.
Fecha de comienzo	12 de diciembre 2002
Fecha de terminación	31 de enero de 2008
Presupuesto líquido	74.811.556,80 €

Tabla 1. Datos económicos y administrativos.

Hormigón armado HP-45	27.771 m ³
Hormigón vibrado HP-45	9.860 m ³
Acero empleado en firme	1.780.727 kg
Hormigón magro en firmes	20.892 m ³

Tabla 2. Principales unidades del firme.

Tipo de hormigón	Cuantía geométrica (%)
HP-45	0,7
HP-40	0,6

Tabla 3. Cuantía geométrica de armaduras longitudinales en PCHA.

la rodadura se define con mezcla bituminosa en caliente empleando betún modificado.

Los datos económico-administrativos se presentan en la Tabla 1.

2. Firme

El firme proyectado para el tronco de la autovía era el definido por la sección 136, de la normativa vigente en la época de redacción del proyecto (Instrucción 6.1 y 2-IC de la DGC sobre Secciones de Firme, Orden de 23 de mayo de 1989). El cual consistía en una sección de hormigón de 21 cm (25 cm minorados en 4 cm por estar armado) y una capa de base de 15 cm de hormigón magro. La capa de hormigón armado estaba compuesta por un hormigón HP-45 (Según la Orden Circular 311/90), esto es, un hormigón para pavimento de 4,5 MPa de resistencia a flexotracción.

El resto de ramales y vías se diseñó con pavimento de mezcla bituminosa en caliente de diversa tipología y espesor.

Las unidades más significativas del firme se incluyen en la Tabla 2.

En cuanto al presupuesto, el firme supuso un total de 6.014.392,16 €, frente a los 64.075.652,95 € PEM del total de la obra, esto es un 9% del total del presupuesto.

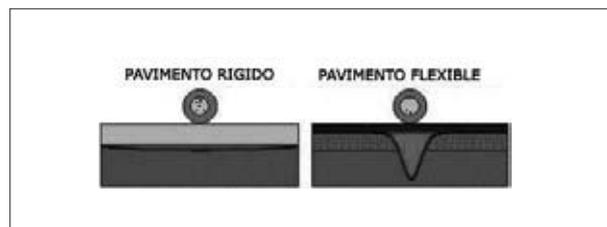


Figura 1. Distribución de Cargas del firme Flexible y de Hormigón.

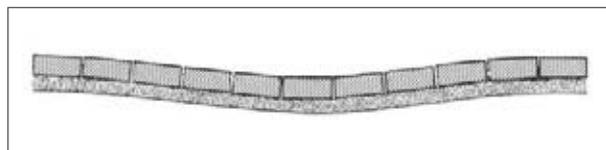


Figura 2. Comportamiento del PCHA frente a asentamientos diferenciales.

3. Geología y geotecnia

La traza recorre materiales del denominado Manto de Adra, dentro del Complejo Alpujarroide de las cordilleras béticas, con litología predominantemente constituida por esquistos y cuarcitas. Toda la serie metapelítica presenta una intensa tectonización y fracturación.

La preocupación por la aparición de posibles asentamientos diferenciales causados, por una parte por las excesivas alturas de los terraplenes realizados con esquistos, en algunos casos, superiores a 100 metros, y por otra por los fondos de desmonte que podrían reflejar en el firme las numerosas fracturas existentes en el macizo rocoso produjo que se dudara del buen comportamiento que pudiera tener un firme flexible en este tipo de terreno.

Debido a la mejor distribución de cargas sobre el terreno y a su mejor comportamiento ante asentamientos diferenciales se optó por determinar que desde el punto de vista geotécnico daría un mejor resultado el firme de PCHA. En el pavimento rígido, el hormigón absorbe gran parte de los esfuerzos que se ejercen sobre el pavimento, mientras que en el pavimento flexible este esfuerzo es transmitido hacia las capas inferiores (ver Figuras 1 y 2).

FIRMES

1. Diseño de Proyecto

Para el diseño de proyecto se utilizó la sección de firme 136, tal y como se menciona anteriormente

Las cuantías geométricas de armado eran las indicadas en la Tabla 3.

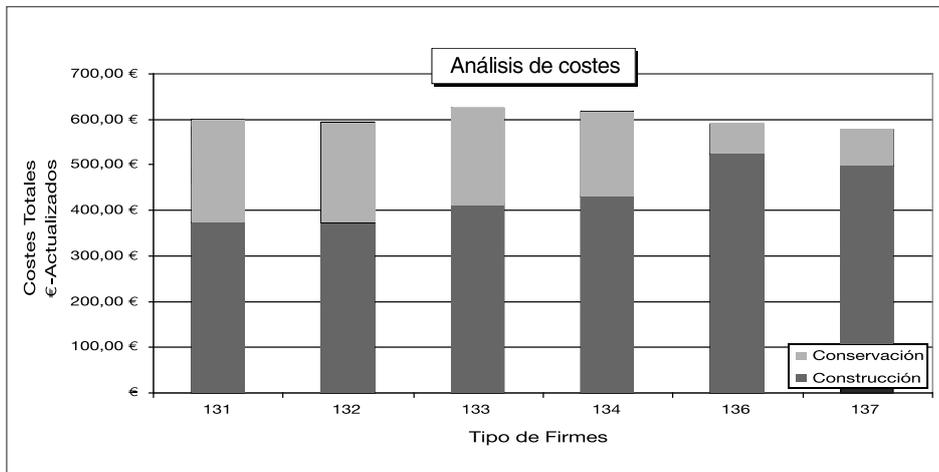


Figura 3. Análisis comparativo de costes de distintas secciones de firme.

De acuerdo con la normativa se proyectaron anclajes al terreno en las extremidades de estos y en las secciones especiales que lo requiriesen. Asimismo se proyectaron longitudinales de alabeo y hormigonado en la separación de carriles que se ejecutarían por aserrado, con una profundidad de corte no inferior al tercio del espesor de la losa. Y transversalmente a la junta y a caballo de ella, se colocarían barras corrugadas de unión de 12 mm de diámetro, 80 cm de longitud y espaciadas 1 m.

2. Criterios de selección. Solución adoptada

La elección de la solución óptima, en proyecto, estuvo condicionada por dos criterios principales.

Por un lado, el estrictamente económico. En el proyecto se realizó un estudio pormenorizado de todas las soluciones de firme para tráfico T1 y explanada E3. Resultando que la solución de firme rígido era sensiblemente más costosa que otras de firmes flexibles. No obstante, este estudio se completó con la realización de un análisis de costes durante la vida útil de los pavimentos, incluyendo en este los costes derivados de conservación y mantenimiento, llegando a la conclusión que ese coste total suponía un ahorro de hasta un 30% sobre otras soluciones más habituales (ver Figura 3).

A pesar de que la solución última (137) resultó ser la más económica se optó por realizar el firme de la sección 136. Principalmente por el mejor comportamiento de las bases de hormigón magro frente a una grava-cemento. Los principales beneficios que aporta esta base son:

- Menor erosionabilidad de la superficie,

- Mayor facilidad de compactación (vibración) sobre explanadas de menor capacidad portante,
- Garantías de espesor y regularidad,
- Insensibilidad a heladas, y
- Posibilidad de poner a punto la planta y equipos de extensión.

Esta última ventaja demostró ser muy útil a la hora de poner en obra el PCHA.

Los escenarios de conservación fueron tomados de la *Instrucción para el Diseño de Firmes de la Red de carreteras de Andalucía*, de 1999.

Por otro lado, la elección de un firme rígido vino condicionada por la intención, por parte de la Dirección Técnica del Ministerio de Fomento en Madrid, de realizar un firme experimental de hormigón armado continuo en la *España Seca*, para poder estudiar el comportamiento en climas diferentes de los ejecutados habitualmente (Asturias, Canadá, Inglaterra, Bélgica, etc).

3. Adaptación del diseño

La adaptación del diseño de proyecto a las condiciones existentes de puesta en obra supuso un replanteamiento en algunos casos de los detalles constructivos, de forma que se minimizaran los problemas durante la ejecución. La normativa había sido renovada en algunos aspectos; la antigua norma de secciones de firmes había cambiado y los artículos de referencia del PG-3 se habían actualizado.

Se optó por actualizar las consideraciones contenidas en la nueva Norma. La sección tipo pasaría a ser la 134, que comprendía un firme de hormigón de 25 cm, minorado en 4 cm por ser de hormigón armado continuo, sobre una base de 15 cm de hormigón magro. Aspectos idénticos a los considerados en la antigua normativa.

Se empleó HF-4,5, que correspondía con el HP-45 anterior y la cuantía geométrica del armado del firme se adaptó para que supusiera un 0,7% frente al 0,86% que se podría considerar demasiado alta.

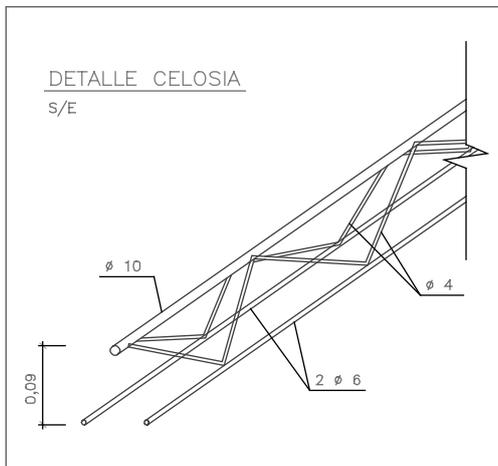


Figura 4. Detalle de celosía.

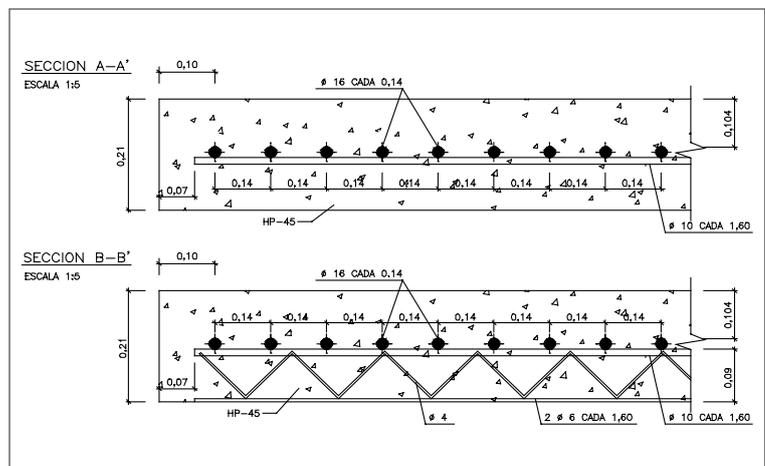


Figura 5. Disposición de las armaduras.

La disposición de la armadura transversal se rediseñó tanto en tipología como en distribución. Se pasó a emplear unas celosías de acero consistente en un redondo de Ø10 en su parte superior y dos de Ø6 en la inferior unidas por unas barras electrosoldadas de Ø4 (ver Figura 4). De esta forma se sustituyeron los separadores facilitando la puesta en obra, además se utilizó la prolongación de la barra de Ø10 como armadura pasante.

Se optó por disponer la armadura transversal perpendicular a la longitudinal, debido al escaso riesgo de heladas que existe en la zona, y la dificultad añadida que suponía esta disposición en su puesta en obra.

El armado longitudinal se realizó con 54 barras de Ø16 dispuestas cada 14 cm lo que suponía un cuantía de 0,7%, como se ha mencionado (Figura 5).

Se ejecutó un sobreancho del hormigón magro con respecto al vibrado de 20 cm, frente a los 40 cm definidos en proyecto. Esto suponía un total de 7,80 m de hormigón magro, dispuestos con un espesor de 15 cm. Además coincidía con el ancho de pavimentación que podría realizar la pavimentadora de CMI SF, perteneciente a la empresa constructora, con extensiones estándar, 7'31 m, más la implementación de 50 cm.

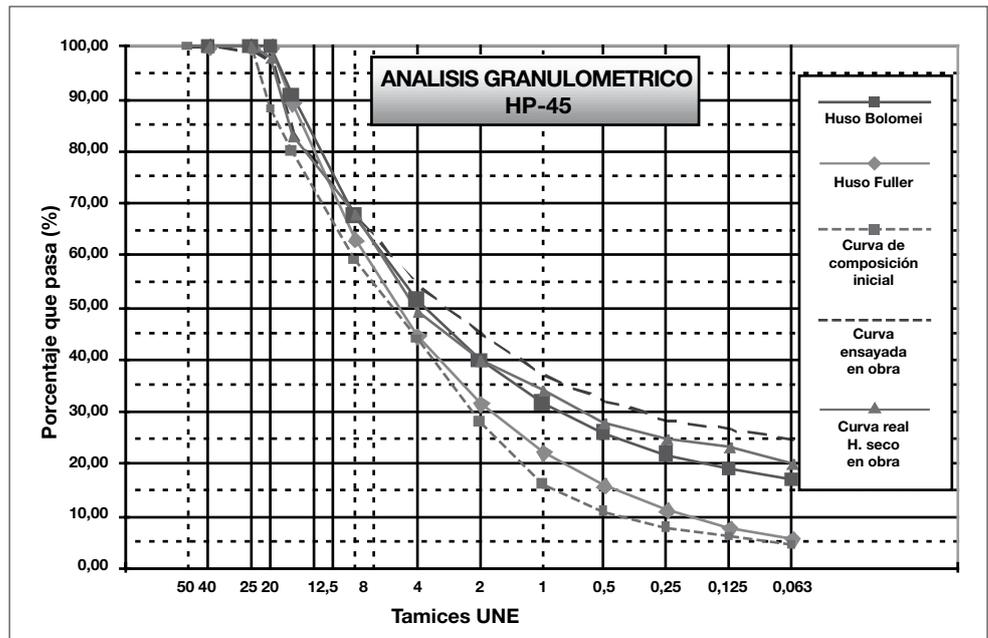


Figura 6. Curvas de ajuste de dosificación.

4. Fórmula de trabajo

La calidad obtenida en un pavimento de hormigón no sólo depende de la intensidad de los ensayos que se realicen, sino fundamentalmente de un buen estudio previo de los materiales y su homogeneidad, y de una dosificación del hormigón adecuada a los equipos de que se disponga en obra.

El estudio previo para la dosificación del hormigón se realizó adaptando la curva al huso Fuller. Durante el extendido del hormigón magro se realizaron numerosos ensayos de ajuste de la fórmula inicial, de modo que estuviera, totalmente, ajustada y probada cuando se empezara a ejecutar el hormigón del firme. Se puede observar como la mezcla realmente realizada en planta incluyendo el

cemento como un árido se ajustaba bastante a la curva de Bolomey (ver Figura 6).

Aunque se ensayaron distintas dosificaciones con relaciones de agua cemento más altas y más kilogramos de cemento, se observó que la trabajabilidad era deficiente y las resistencias se alcanzaban demasiado rápidas por lo que podía darse un problema de fisuración inicial. Por tanto, se adoptó la fórmula con una relación agua cemento de 0,36 y 400 kg de cemento.

Recordemos que el cociente entre el peso del agua y el del cemento no debe ser superior a 0,55. Ya que los hormigones con relaciones a/c mayores presentan, en general, mayor peligro de fisuración por retracción y peores resistencias, tanto mecánicas como frente al desgaste superficial, pudiéndose producir degradaciones incluso a medio plazo.

El cemento empleado fue tipo V 32,5, con la finalidad de disminuir la fisuración por retracción, el porcentaje de árido andesítico con respecto al árido fino fue muy superior al exigido llegando a utilizarse hasta un 55%, cuando las recomendaciones marcaba porcentajes superiores al 35%.

Las mejoras de la trabajabilidad del hormigón se obtuvieron añadiendo aditivos plastificantes. El aditivo empleado fue Pozzolith 377N. Este es un aditivo polifuncional con propiedades plastificantes y de reducción de agua a baja dosificación, y adquiriendo plastificaciones típicas de superplastificante a alta dosificación.

PUESTA EN OBRA

Durante la fase de construcción influyeron otras características diferentes a las remarcadas anteriormente en los parámetros de diseño que se han detallado.

En primer lugar, la cercanía de los préstamos de áridos, esta circunstancia tiene una importancia fundamental en el coste final del pavimento. Por lo que se evaluaron los diferentes préstamos y sus características, así como el cumplimiento de los requerimientos del proyecto.

En segundo lugar, es conocido que la homogeneidad es una condición indispensable para conseguir una buena calidad en un pavimento. Esto es debido, en parte, a que los equipos de puesta en obra como los de encofrados deslizantes son muy sensibles a variaciones de homogeneidad del hormigón fresco.

En tercer lugar, destacar la trabajabilidad, característica ligada con la tixotropía, es decir con su facilidad de colo-

cación y compactación por vibrado, combinada con la estabilidad final en reposo y su cohesión.

La estabilidad era una característica muy importante en este caso, ya que al utilizar maquinaria de encofrados deslizantes, tendrían que quedar los bordes libres sin que se desmoronasen.

Por último, hay que señalar la retracción, es uno de los problemas de estos pavimentos, esto se refleja en las grietas sufridas por el hormigón al inicio. Por lo que se persigue de forma general que los hormigones sean de baja retracción. Esto no debe ir emparejado con una merma en su resistencia inicial, sino más bien al contrario se busca que esta sea alta; es decir, que interesa que las resistencias se puedan alcanzar a tres días, o a siete como mucho, siendo suficientemente altas. Por tanto se intentó buscar el equilibrio entre resistencia inicial y retracción.

Lo que sí limita el Pliego (PG-3) es la proporción de partículas silíceas de este árido, ya que se pretende controlar el desgaste superficial del pavimento, este porcentaje debe de ser superior al 35%, además este árido ha de proceder de uno grueso cuyo coeficiente de pulimento acelerado sea superior a 0'50, para tráfico T00 a T1 (más de 800 vehículos pesados/día). Para el resto de tráfico ha de ser como mínimo del 30% el porcentaje de árido silíceo y con un coeficiente de pulimento acelerado mayor de 0,45. Como se ha mencionado más arriba esta condición se cumplió sobradamente.

1. Planificación

La planificación de la puesta en obra del hormigón se presentó bastante compleja. Condicionada en gran parte por:

- Las dimensiones estrictas del tronco de la autovía, con una mediana reducida en la mayor parte del trazado.
- El tráfico de camiones de obra que supuso un inconveniente a la hora de organizar y planificar la puesta en obra del hormigón.
- La resistencia mínima exigida al hormigón, esto es, una resistencia del 75% de la final, lo que llevó a tener que esperar en el mejor de los casos 7 días para poder transitar por encima del hormigón.
- El retraso en la ejecución de algunos terraplenes, concretamente el más alto de la obra, 109 m de altura.

Todo ello dificultó la realización del extendido, impidiendo que este se realizara de forma continuada en el tiem-

Materiales		Cálculo			Dosificación	
		%	Volumen (1025 l)	Peso	1 m ³	Amasadas (0,05 m ³)
Cemento	Cem V 32,5	100%	126,23	400,00	385,00	20
Aditivo	Pozzoloth (Peso)	0,80%	3,00	3,54	3,00	150,00
	(Volumen)	0,68%				
Agua			145,0	145,00	145,00	7,25
Áridos	12-25	28,97%	198,5	514,00	514,00	25,70
	6-12	27,85%	191,5	494,00	494,00	24,70
	0-6 Andesítico	26,44%	179,7	463,00	463,00	23,45
	0-4 Calizo	19,95%	143,9	349,00	349,00	17,70
Peso total		1.846,0	Kg	Densidad teórica	2.980,6	kg/m ³

Nota: Relación a/c=0,36; Aire ocluido=3,5

Tabla 4. Dosificación del hormigón del PCHA.

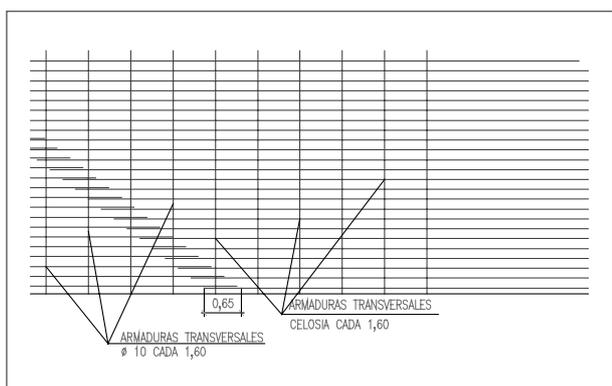


Figura 7. Disposición de Armadura Transversal.

po, teniendo que trasladar en numerosas ocasiones la extendidora dentro de la obra.

No obstante, los rendimientos máximos y medios alcanzados fueron bastante aceptables.

La longitud máxima extendida, en un día, en hormigón de firme fue de 743 ml, lo que supuso la puesta en obra de 1.310 m³ ese día, dando una media de 440 ml/día, esto es 770 m³/día.

Por su parte se extendieron hasta 950 ml de hormigón magro en un solo día, lo que supone un total de 1.112 m³ por día, obteniendo una media de 500 ml/día, esto es 590 m³/día.

2. Base. Hormigón magro

La ejecución de la base con hormigón magro supuso uno de los mayores aciertos adoptados en la fase de diseño de este firme, ya que permitió que los equipos de puesta en obra se pusieran a punto y se ensayara con ellos. Además facilitó el entrenamiento del personal

en el manejo y terminación del pavimento, posibilitando, además, que la planta de hormigón ajustara sus equipos y se pusiera en producción.

Por otro lado, se emplearon tramos de hormigón magro como tramos de pruebas del hormigón armado, sirviendo estos para ajustar y probar las fórmulas de trabajo y los mecanismos de puesta en obra.

3. Pavimento Continuo de Hormigón Armado (PCHA)

3.1. Materiales

Los áridos utilizados en la fabricación del hormigón tenían su origen en dos canteras diferentes. Por un lado el árido empleado como silíceo era extraído por machaqueo de andesitas. Y por otro lado, el árido calizo. Los ensayos realizados durante la construcción de la obra mostraron que los áridos eran bastante homogéneos.

Las barras de la armadura longitudinal colocadas fueron de 16 mm de diámetro, con un límite elástico 500 MPa y estaban separadas 14 cm.

Su unión se realizó por atado, con una longitud de solape de unos 40 diámetros, esto es, 65 cm. Se perseguía que existiera menos de un 20% de solapes en la misma sección. Por ello se adoptaron solapes oblicuos.

Se dispusieron 54 barras de diámetro 16 mm que supuso una cuantía de 0,7%.

En cuanto a la armadura transversal, el armado estaba compuesto por barras corrugadas de diámetro $\varnothing=10$ mm alternadas con celosías electrosoldadas (ver Figuras 4 y 7) que contenía unas barras de $\varnothing=10$ mm en su parte superior, separadas 80 cm.

Juntos por una misma vía



 **PANASFALTO**

 **RUS**

 **EIFFAGE**
INFRAESTRUCTURAS

 **GRAVERA
DEL JARAMA**

 **TRIALSA**

PANASFALTO, RUS, GRAVERA DEL JARAMA Y TRIALSA, empresas históricas del sector de las obras públicas y construcción, unen sus fuerzas para crear **EIFFAGE INFRAESTRUCTURAS**. Aportando toda su profesionalidad, experiencia, equipo humano, efectivos, potencial industrial y proximidad al cliente en este nuevo proyecto.

EIFFAGE INFRAESTRUCTURAS cuenta con participaciones en otras empresas del sector como son: ASFALTOS DE MADRID, ARITEC, SGASA, MEBISA, MASFALT, CRR, EXPLOTACIÓN AGROGANADERA DEL JARAMA Y GRUPO LOS SERRANOS, que le permiten ampliar y completar sus servicios

EIFFAGE INFRAESTRUCTURAS
DIRECCIÓN GENERAL

Pol.Ind. Vicálvaro, C/ Mir s/n . 28052 MADRID
Tel.: 0034-917 765 521 Fax.: 0034-917 765 178
madrid@infraestructuras.eiffage.es

www.eiffage.es

www.infraestructuras.eiffage.es

Esto supuso una cuantía aproximadamente 0,05%. El acero empleado en el firme fue más de 1.700 t.

Respecto al hormigón, finalmente, la dosificación empleada en el Hormigón Armado Continuo fue la presentada en la Tabla 4.

La característica más singular que diferencia el hormigón para pavimentos es principalmente que la resistencia que lo define es la resistencia a flexotracción. Ya que por la forma de trabajo de las losas se *limitan* a transmitir las cargas producidas por el tráfico.

La segunda característica importante del hormigón en pavimentos es su resistencia a la fatiga, ya que ésta está directamente relacionada con su comportamiento frente a las cargas repetidas. Sobre esta variable no se han realizado suficientes ensayos, ya que la mayoría de los estudios sobre cargas repetidas en el hormigón se han realizado sobre resistencia a compresión, por tanto las aproximaciones que existen hoy en día son extrapolaciones a flexotracción de aquellas.

Como análisis experimental se intentó buscar una correlación entre las resistencias obtenidas a 7 y 28 días a compresión con las resultantes en idénticas tomas a flexotracción. La resistencia esperada a 28 días para un HF 4,5 debería de ser de unos 35 MPa, que tal y como se puede observar en la Figura 8 es muy aproximado.

No obstante la gran dispersión que se obtuvo en los resultados imposibilitó la adopción de ninguna conclusión fiable (Figura 8).

Por otro lado, la tendencia fue la de alcanzar las resistencias estipuladas sin mayor problema superándose las resistencias a flexotracción a 7 y 28 días. Salvo un desajuste inicial, que corresponden a los tramos de prueba y una caída de resistencias hacia la mitad de la obra, por unos problemas en la planta de fabricación.

Merece la pena reseñar en este punto, la decisión tomada por la Dirección de Obra de no permitir la apertura al tráfico de obra hasta que no se hubiera alcanzado el 75% de resistencia a flexotracción, esto es, 3'37 MPa, lo que en algunos casos dificultó aún más la puesta en obra.

3.2. Fabricación del hormigón

La planta empleada en la obra para la fabricación del hormigón fue una Intrame Ross-600, con una producción según ciclo de entre 150 y 250 m³/h y una potencia de 430 KW, la capacidad de almacenamiento de cemento era de 110 m³. Esta capacidad tuvo que completarse con dos silos de cemento móviles, que en algunas puntas

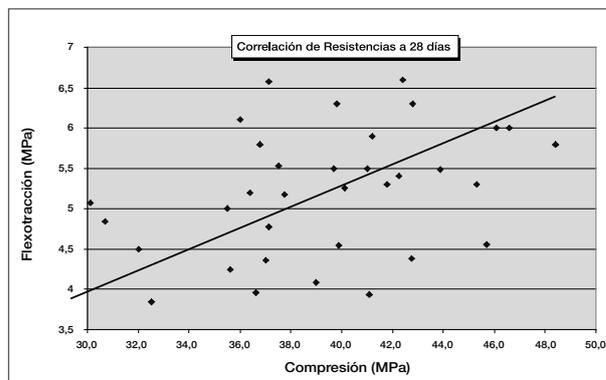


Figura 8. Correlación a 28 días entre resistencias a compresión y a flexotracción.



Foto 1. Planta de Hormigón.

de producción resultaron algo insuficientes. Se instaló expresamente para abastecer a la pavimentadora y su comportamiento fue bastante bueno a lo largo de todo el proceso de extendido (ver Foto 1).

Disponía, esta planta, de dos mezcladoras de 18 m³ de capacidad cada una, lo que daba una capacidad de mezcla de 6,11 m³. A pesar de tener esa capacidad se vinieron realizando amasadas de 5 m³ por ciclo debido a que el hormigón rebosaba en algunos casos y la capacidad de los camiones era prácticamente de 10 m³.

La planta dosificaba los áridos y el cemento en peso, con central de fabricación discontinua. El tiempo de amasado estaba en torno a los 2 minutos.

La consecución de un hormigón homogéneo es básica para una buena puesta en obra. Realizar un control continuo de los asientos en el cono de Abrams resultó una tarea complicada. Para facilitar la puesta en obra se emplearon arenas calizas de granulometría muy fina que ayudaban a corregir la fórmula de trabajo.

El asiento en el cono de Abrams del hormigón a utilizar estaba comprendido entre 2 y 5 cm (hormigón plástico) realizado el ensayo en la central. Este mismo ensayo



Foto 2. Transporte con camiones volquete.

una vez transportado al tajo, arrojaba valores más bajos llegándose a dar como prácticamente cero.

La velocidad de avance de la pavimentadora está comprendida entre 0,8 y 1,5 m/minuto, llegándose a alcanzar en algunos casos de punta de producción 1,6 m/minuto, por lo que es vital obtener producciones continuas y adecuadas.

3.3. Transporte

El equipo de transporte estaba constituido por camiones volquete, principalmente por las ventajas que aportaban en su rápida descarga (ver Foto 2). Además de la simplicidad, versatilidad y disponibilidad de uso, pudiendo adaptarse de forma sencilla a las oscilaciones que se produjeron en la producción, sin olvidar las ventajas económicas que repercutieron en el contratista.

La descarga en la extendedora se hizo basculando los distintos camiones a distancias regulares delante de la pavimentadora. Para el preextendido se utilizó una retroexcavadora durante la puesta en obra del hormigón magro que fue reforzada con una retro-mini durante el extendido del hormigón armado. De esta forma se consiguió una mejor distribución del hormigón, aumentando la producción de la pavimentadora.



Foto 3. Pavimentadora de Hormigón.

Se controló el transporte de forma que el tiempo transcurrido entre la fabricación y extendido estuviera siempre por debajo de 1 hora, siendo deseable que fuera menor de 45 minutos.

3.4. Extendido

Para la ejecución del pavimento de hormigón se utilizó una pavimentadora de encofrados deslizantes de la marca Terex, modelo CMI SF, con motor Carterpillar y cilindrada de 10,5 litros con cuatro propulsores independientes de orugas con accionamiento hidrostático y una velocidad de hasta 10 metros/minuto. Con un ancho estándar de pavimentación de 12 pies (3,66 metros) hasta 24 pies (7,32 metros) por lo que hubo que suplementar con un tramo de 50 cm (Foto 3).

Cuando se utiliza un equipo de este tipo con encofrados deslizantes es necesario comenzar por situar topográficamente los hilos que sirven para guiar en planta y en alzado a los palpadores de dicho equipo. En este caso se colocó un hilo a cada lado de la máquina, que utilizaba para guiarse, tanto en planta como en alzado, la extendedora (ver Foto 4).

En estas pavimentadoras de encofrado deslizante se realizan las operaciones de distribución, vibrado y maestreado del hormigón de una sola pasada, quedando la losa, a la salida de la pavimentadora, prácticamente terminada a expensas de las operaciones de curado y textura.

Se llegaron a obtener velocidades de hasta 1,5 m/min y medias de 0,8 m/min. Llegando a extender hasta 130 m³/hora, en el hormigón de firme.

Para conseguir una mayor homogeneidad en el hormigón vibrado, se realizaba un preextendido delante de la pavimentadora de encofrados deslizantes. A tal fin, el vertido del hormigón lo realizaba el camión volquete descargando delante de la máquina pavimentadora, que con ayuda de retos giratorias se realizaba un primer extendido que facilitaba la homogeneidad y mejoraba la producción (Foto 5).

La máquina disponía en primer lugar de un sinfín de Ø=406 mm que distribuía el hormigón, posteriormente disponía de un grupo de vibradores de aguja regulables en altura, cuyo número variaba según el ancho, de 15 a 20 unidades, a continuación



Foto 4. Replanteo de niveles con hilos de guía de los palpadores.



Foto 5. Tren de extendido del hormigón con el pre-extendido y la actuación de la retro giratoria.

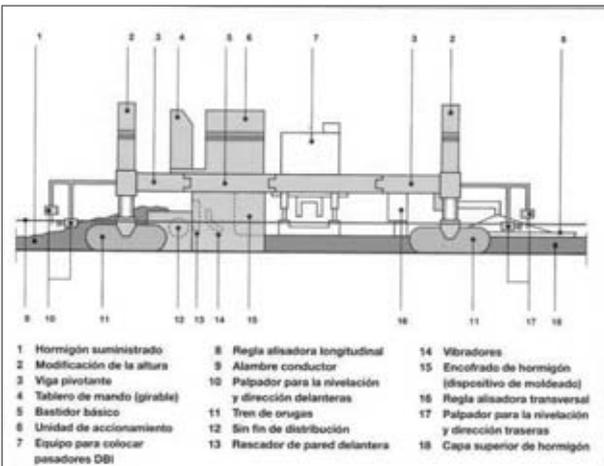


Figura 9. Esquema de la Pavimentadora.



Foto 6. Retoques artesanales.

se pasaba por encofrado regulable accionado hidráulicamente que igualaba el hormigón (Figura 9).

En segundo lugar se pasaba con una regla oscilante que rellenaba o recortaba los defectos. Este mecanismo se denomina *bailarina* o regla “*auto float*” y servía para realizar un repaso superficial, fratasando la superficie terminada. Este dispositivo tiene la forma de un gigantesco aplanador y se impulsa transversalmente sobre la losa, oscilando mientras se mueve y creando un dibujo en zigzag.

El ancho de extensión del pavimento de hormigón fue de 7,80 metros para el hormigón magro y 8,70 metros para el hormigón armado.

3.5 Terminación y curado

Una vez extendido el hormigón en la calzada se realizaban una serie de operaciones sin las cuales el pavimento no podría ponerse en servicio, ya que su funcionalidad y

durabilidad no serían las adecuadas al fin para el que se construyó.

En primer lugar, después del paso de la pavimentadora, se realizaban algunos retoques artesanales de la superficie terminada con paletas, llanas, fratasas o talochas para quitar posibles imperfecciones puntuales y localizadas del pavimento (ver Foto 6).

Tras la regla “*auto-float*” (*bailarina*), se arrastraba una arpillera constituida por tres o cuatro capas de tela de saco que, además de eliminar las pequeñas marcas que a veces se producían por la *bailarina*, proporcionaba la microtextura necesaria en el pavimento. Esta arpillera estaba suspendida de la parte trasera de la extendedora (ver Foto 7).

De esta forma, se le daba al pavimento una textura superficial más adecuada con objeto de que se permitiera una mejor adherencia de los vehículos a dicha superficie.



Foto 7. *Bailarina y arpillera.*

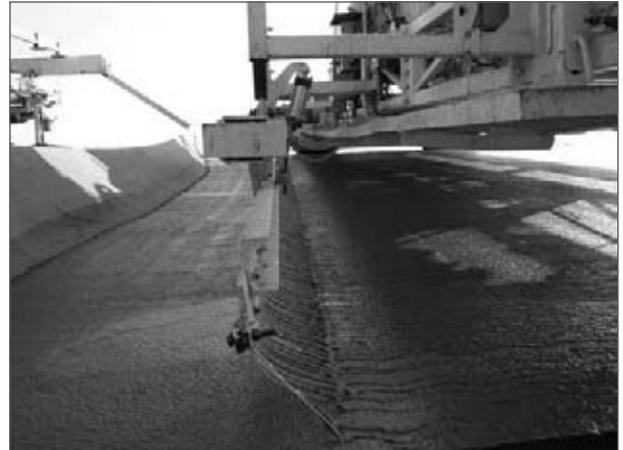


Foto 8. *Ejecución de macrotextura mediante cepillo de cerdas de plástico.*



Foto 9. *Carro de curado*



Foto 10. *Ejecución de la junta final de día.*

Posteriormente se le dotaba de una textura longitudinal. Los argumentos en favor de esta son su mejor calidad a la rodadura y un menor ruido.

El procedimiento de ejecución de la macrotextura se realizaba con un cepillo de cerdas de plástico que oscilaba transversalmente y era regulable en altura. Estos peines estaban formados por púas de plástico de 2 a 4 mm de diámetro, separadas entre 2 y 4 cm, con una longitud aproximada de unos 10 cm. Estos peines iban montados sobre una excéntrica para producir en el pavimento una sinusoide de unos 150 cm de longitud de onda y unos 10 cm de amplitud. La distribución de los peines y su diámetro se modificó a lo largo de la obra para conseguir el resultado buscado, esto es, una profundidad media en el círculo de arena entre 0,6 mm y 1,2 mm, con estos valores se consiguen unas elevadas propiedades antiderrapantes junto con un nivel sonoro suficientemente bajo (ver Foto 8).

El proceso de curado se realiza con un producto de curado, filmógeno. Este producto se extendía sobre

la superficie del hormigón creando al secarse una fina película que evitaba la evaporación del agua. Su colocación se empezó realizando con pulverizadores, pero el atoramiento de estos provocó su cambio a una ejecución manual que garantizaba mejor su dotación. Con el tiempo estos líquidos se eliminan por efecto de los agentes atmosféricos y del propio tráfico al circular sobre el pavimento.

El carro de curado iba generalmente retrasado con respecto al extendido unos 50 m, a esta distancia se observó que el hormigón tenía una consistencia superficial suficiente, ni muy blanda que provocaría la inserción de las cerdas excesivamente en el pavimento, ni muy dura que tendría los efectos contrarios (ver Foto 9).

La dotación de estos productos, basados en resinas, era tal que no permitía la evaporación del agua, y para ello se siguieron las indicaciones del fabricante, siendo normales dosificaciones del orden de 250 gr/m². Se controlaba visualmente la distribución del mismo de forma que se



Foto 11. Rastrillos de anclaje.

Tipología	Dimensiones de las Irregularidades	
	Horizontal	Vertical
Microtextura	0-0,5 mm	0-0,2 mm
Macrotextura	0,5-50 mm	0,2-10 mm
Megatextura	5-50 cm	1-50 mm

Tabla 5. Tipologías de texturas.

Los rastrillos de anclaje consistían en seis rastrillos transversales fuertemente armados incrustados en la capa subyacente a una profundidad de 1 metro, realizados anteriormente al pavimento y tras haber extendido el hormigón magro (ver Foto 11). Estaban unidos al pavimento con espiras de acero. Estos anclajes restringen los movimientos finales de los pavimentos en puntos donde se aproxima a obras de drenaje, evitando que cualquier ondulación de la zona produzcan fuerzas torsionales, y aprovechando la resistencia pasiva del terreno.

RESULTADOS OBTENIDOS

Entre los múltiples parámetros que se precisan para definir las características superficiales de un pavimento, la adherencia neumático-firme es el más importante, desde el punto de vista de la seguridad, ya que posibilita que los vehículos puedan conservar en todo momento la trayectoria deseada, y en caso de frenada que ésta se realice en una distancia relativamente corta. Por ello se evaluaron las características deslizantes del pavimento, con objeto de ofrecer a los usuarios un adecuado nivel de seguridad.

Para evaluar la textura superficial se definen tres tipologías, de acuerdo con las dimensiones de las irregularidades presentes en una superficie, tal y como se expone en la Tabla 5.

De estas tres tipologías, la microtextura está ligada esencialmente a la resistencia al deslizamiento de un pavimento, y la macrotextura a la posibilidad del fenómeno de hidroplaneo y al ruido de rodadura. La megatextura tiene un menor grado de influencia en los fenómenos de adherencia e hidroplaneo.

Internacionalmente se admiten entre otros el valor del coeficiente de rozamiento transversal (CRT) como medida indirecta conjunta de la microtextura y macrotextura, sirviendo también el ensayo de círculo de arena; por otro lado el Índice de Regularidad Internacional (IRI) se adopta como medida de regularidad (irregularidades con longitudes de onda mayores de 0,5 m).

1. Regularidad superficial

Para la medición del IRI se utilizó un Perfilómetro Greenwood, este equipo es capaz de medir dos perfiles longitudinales para la obtención de la regularidad.

Cabe significar que los tramos en general cumplen con la normativa específica en el caso de hormigón magro vibrado para capa de rodadura, siendo adecuada la medida de IRI obtenida, sin embargo no cumplen con la normativa específica en el caso de hormigón vibrado, siendo inadecuada la medida de IRI obtenida para capa de rodadura (ver Tablas 6 y 7).

2. Textura superficial

Tal como se ha mencionado, la adherencia está íntimamente ligada a la microtextura, esto es, a los materiales que componen el pavimento (áridos y ligante o mortero de envuelta). Una evaluación indirecta de la microtextura es la que se ha efectuado mediante el equipo del Scrim.

La evaluación de la macrotextura se ha llevado a cabo con el Texturómetro láser, que va montado sobre el Perfilómetro Greenwood.

En lo que se refiere a la medida de la macrotextura, el método usual y sólo representativo a la hora del estudio del fenómeno del hidroplaneo es el del círculo de arena.

El método del círculo de arena es adecuado para pruebas de campo determinando el promedio del espesor de la macrotextura de la superficie del pavimento. El conocimiento del espesor de la macrotextura sirve como una herramienta en la caracterización de las texturas superficiales de los pavimentos.

Teniendo en cuenta las nuevas tecnologías, se ha desarrollado un equipo de medida de la macrotextura, dicho

Carril	Rodada	Media Aritmética	Desviación Típica	Porcentaje		
				<2,0 (50%)	<2,5(80%)	<3,0(100%)
Exterior	Izquierda	1,66	0,42	82,11	95,79	98,95
	Derecha	1,76	0,40	74,74	94,74	100,00
IRI Medio Carril Exterior		1,71	0,39	78,42	95,27	99,47
Interior	Izquierda	1,74	0,38	78,95	95,79	98,75
	Derecha	1,67	0,48	78,95	93,68	98,95
IRI Medio Carril Interior		1,70	0,41	78,95	94,74	98,85
IRI Medio Calzada		1,71	0,40	78,69	95,01	99,15

Tabla 6. IRI obtenido en el hormigón magro.

Carril	Rodada	Media Aritmética	Desviación Típica	Porcentaje		
				<1,5 (50%)	<1,8(80%)	<2,0(100%)
Exterior	Izquierda	1,88	0,52	22,11	50,53	68,42
	Derecha	1,84	0,52	25,26	57,89	68,42
IRI Medio Carril Exterior		1,86	0,50	23,69	54,21	68,42
Interior	Izquierda	1,87	0,49	18,95	46,32	67,37
	Derecha	1,89	0,43	16,84	45,26	66,32
IRI Medio Carril Interior		1,88	0,44	17,90	45,79	66,85
IRI Medio Calzada		1,87	0,47	20,80	50,00	67,64

Tabla 7. IRI obtenido en el PCHA.

equipo ha sido montado en el Scrim para poder proceder a la vez a la medida del CRT y de la macrotextura. En la Tabla 8 se adjuntan los principales indicadores de textura y fricción, en castellano e inglés.

Se ha evaluado la macrotextura, a una velocidad máxima de 80 km/h, en 1 perfil longitudinal, midiéndose la "Mean Profile Depth" (MPD), el cual se correlaciona con la ETD ("Estimated Texture Depth"), que es el equivalente a la MTD ("Mean Texture Depth") obtenida con el ensayo del círculo de arena. Los resultados se expresan como medias cada 100 m.

Para los pavimentos de hormigón según el artículo 550 del PG-3/75 los valores la MTD han de estar comprendidos entre 0,6 y 0,9; en nuestro caso dieron el resultado que se adjunta en la Tabla 9.

Los resultados en general están comprendidos entre los 0,60 mm y 0,90 mm exigidos por el PG-3 para firmes de hormigón, aunque hay zonas donde se ha superado este valor máximo. Estos valores no afectan considerablemente a la media exigida. Se puede ver que los resultados han quedado comprendidos en el rango de valores entre 0'60 y 1'0, que suele ser una tendencia regular, y que es muy pequeño el porcentaje de valores que han superado el 0,9. Eso indica que prácticamente la totalidad de la medición ofrece valores comprendidos entre el rango que marca la normativa (Foto 12).

Por otro lado, en el caso concreto de nuestra obra, para lograr unas propiedades adecuadas de circulación de vehículos se estimó que unos valores comprendidos entre 0,6 mm y 1,2 mm, en el ensayo de círculo de arena serían suficientes. De esta forma se conseguirían unas elevadas propiedades antiderrapantes junto con un nivel sonoro suficientemente bajo.

En los ensayos realizados según la NLT-335/00, de medición de la macrotextura superficial por la técnica volumétrica, se comprobó que la profundidad y distribución de los peines del cepillo daban unos valores en torno a 0,6 mm en este ensayo.

En cuanto la evaluación de este Coeficiente de Rozamiento Transversal (CRT) se llevó a cabo, como se ha mencionado, con el equipo Scrim/Texturómetro. Durante la medición el camión cisterna mojaba la calzada con una altura de lámina de agua de 1 mm. Los datos se tomaron cada 2,5 m, obteniéndose una medida del CRT medio cada 20 m como media de las 8 mediciones efectuadas durante esos 20 m. Se dividieron en subtramos de 1000 m, efectuando por tanto 50 mediciones en cada uno de ellos. La velocidad normal de auscultación fue de 50 km/h.

Como conclusión se puede decir que los resultados medios del Coeficiente de Rozamiento Transversal (CRT) en los tramos de estudio son (expresados en tanto por ciento) los incluidos en la Tabla 10.

Variable		Indicador/Índice		Descripción
Fricción	Longitudinal	BFC: <i>"Brake Force Coefficient"</i>	Coefficiente de Fricción Longitudinal	Estimador de la fuerza de arrastre necesaria para ejecutar la maniobra de frenado en recta, en ausencia de deriva.
	Transversal	SFC: <i>"Sideway Force Coefficient"</i>	Coefficiente de Fricción Lateral	Indica la oferta de fricción en curvas y a lo largo del trazado para realizar maniobras de emergencia.
Textura	Microtextura	BPN: <i>"British Pendulum Number"</i>	Número de Péndulo	Idem caso anterior.
		PSD: <i>"Power Spectral Density"</i>	Densidad de Potencia Espectral	Permite medir el microperfil de los áridos expuestos a la superficie del pavimento. Se mide en forma estática.
	Macrotextura	MTD: <i>"Mean Texture Depth"</i>	Profundidad Media de la Textura	Permite estimar la profundidad equivalente de la textura respecto de una superficie de área conocida.
		MPD: <i>"Mean Perfil Depth"</i>	Profundidad Media del Perfil	Permite estimar a lo largo de un eje la profundidad del microperfil de longitud de onda entre 0,5 y 50 mm
		ETD: <i>"Estimated Texture Depth"</i>	Profundidad Estimada de la Textura	Corresponde al valor de textura estimado a partir de la profundidad media del perfil.
Integrados			Índice de Fricción Internacional (IFI)	Integra la textura y la fricción lateral en una ecuación de referencia. Permite homologar medidas realizadas con diferentes equipos.

Tabla 8. Principales indicadores de textura y fricción.

Media	Desviación	Máximo	Mínimo
0,77	0,10	1,00	0,61

Tabla 9. Resultados MTD del pavimento de hormigón.

Valores de CRT que superan el valor mínimo fijado por el PG-3, donde se debe cumplir que: CRT mayor o igual a 60 en caso de aglomerado drenante, y CRT mayor o igual a 65 en el resto.

CONCLUSIONES

Se podría decir que los pavimentos continuos de hormigón armado PCHA presentan una serie de inconvenientes derivados principalmente de su puesta en obra, así como su elevado coste. La presencia de las armaduras eleva el coste de este firme, a pesar de que reduzca su espesor, además de su coste entraña una dificultad de puesta en obra del hormigón, por lo que conlleva unos menores ritmos en su puesta en obra, teniendo que recurrir en la mayoría de los casos a una alimentación lateral, tal y como se ha puesto de manifiesto durante la ejecución de esta obra.



Foto 12. Resultado final de la macrotextura.

Estos firmes necesitan una ejecución cuidada, como mayores controles de puesta en obra que otros pavimentos de hormigones, tanto por la colocación de la armadura como por la compactación del hormigón. Se podría estimar que éstos cuestan entre un 20 y un 30% más que una solución alternativa con pavimento de hormigón en masa con juntas. Aún y así, teniendo un control más estricto del firme el hecho de realizarse en una única capa supedita su regularidad superficial y textura a una única ejecución, por lo que

Carretera	Calzada	PK	Longitud	CRT (%)
A-7	Derecho	374+820-385+060	9.900 m	70,47
	Izquierdo	385+300-374+920	10.100 m	65,84

Tabla 10. Valores de CRT.

cualquier pequeña desviación en este proceso condiciona de manera significativa el acabado final, siendo por tanto crítico todo el proceso de puesta en obra.

Los resultados obtenidos en el IRI, nos arrojan valores mejores para el hormigón magro frente a la capa de rodadura del PCHA, nos hacen pensar que quizás la actual normativa penaliza en exceso los pavimentos de este tipo que se realizan de una sola pasada frente a otros de tipo multicapa.

La conclusión final de la Dirección de Obra, frente a las numerosas dudas existentes al inicio fue la de satisfacción debido a los buenos resultados obtenidos. Pese a que los ensayos en su regularidad parezcan indicar lo contrario la circulación sobre el pavimento resulta confortable y poco ruidosa.

Se trata de una solución muy apreciada en zonas con posibilidad de asientos, pues la *flexibilidad* del pavimento, al estar dividido en *losas* de corta longitud, le permite adaptarse a los movimientos del terreno.

Si a los costes de construcción se suman los de conservación y los medioambientales, en muchas ocasiones tienen un menor coste a los de otras soluciones alternativas.

Estos pavimentos son la solución muy empleada en buena parte de Europa y en EE.UU. Aunque en España su empleo ha sido bastante limitado, a causa, probablemente, de la mayor especialización y esfuerzo inversor que requiere su construcción. A pesar de que los firmes construidos en los años 70 y 80 han exhibido un excelente comportamiento demostrando ahorros considerables en las necesidades de conservación.

Es de esperar que en España, las metodologías de análisis del coste del ciclo de vida del pavimento LCCA, sean incorporadas paulatinamente como herramientas de decisión en la selección de firmes incluyendo las condicionantes medioambientales en nuestros proyectos de infraestructuras.

BIBLIOGRAFÍA

[1] GARRIDO ROMERO, L. "Nuevos desarrollos en Pavimentos de Hormigón". Jornada técnica sobre

"Normativa e Innovación en Firmes de carreteras". Sevilla. 2005.

[2] PORTLAND CEMENT ASSOCIATION. "Concrete in highway transportation". Portland Cement Association N°10. Illinois (EE.UU), 1991. pp: 1-12.

[3] JOFRÉ IBAÑEZ, CARLOS. "Pavimentos Continuos de Hormigón armado". I Curso sobre Aplicaciones del Cemento en Explanadas y Firmes. Tema 13. Universidad de Granada. Granada. 2003

[4] KRAEMER, C. et al. "Ingeniería de carreteras. Volumen II". Mc Graw Hill. Madrid (España), 2004. pp: 345.

[5] KRAEMER, C. "Estado actual de la técnica de los pavimentos de hormigón". Actas de las V Jornadas sobre Pavimentos de Hormigón. Asociación Técnica de Carreteras. Alicante (España), 1999. pp: 19-31.

[6] DARTER, M.I., RAO, C. "Long life CRCP". Applied Research Associates Inc, USA. 10th International Symposium on Concrete Roads in Brussels. 2006

[7] JOFRÉ, C. "Experiencias recientes con pavimentos de hormigón armado continuo". Revista Carreteras. Número 141. Julio Agosto 2005.

[8] QUEREDA LAVIÑA, J. "Pavimentos de Hormigón Vibrado. Aspectos Constructivos". I Curso sobre Aplicaciones del Cemento en Explanadas y Firmes. Universidad de Granada. 2002-2003.

[9] JOHAN SILFWERBRAND. "Design of Heavily Loaded Continuously Reinforced Concrete Pavements". 8th International Conference on Concrete Pavements Colorado Springs, Colorado, USA • August 14-18, 2005.

[10] SÁNCHEZ LÓPEZ, B. "La normativa española en firmes de hormigón vibrado. Materiales, control, características superficiales y costes". IV Jornadas sobre Pavimentos de Hormigón. Oviedo Septiembre- Octubre de 1993.

[11] BENATOV, B.B. "Procedimiento de aseguramiento de la regularidad superficial en un pavimento de

hormigón P-OB-RSH/01. Materiales, control, características superficiales y costes". IV Jornadas sobre Pavimentos de Hormigón. Oviedo Septiembre-Octubre de 1993.

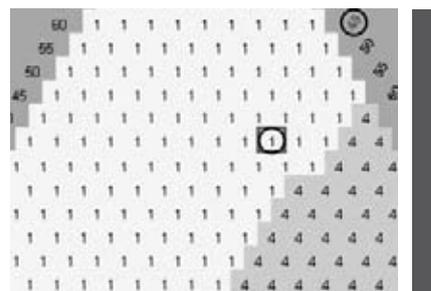
[12] JOFRE, C. KRAEMER, C. "Synoptic table on standards and practices for concrete roads in Europe". PIARC Technical Committee on Concrete Roads. 6th International Symposium On Concrete Roads Madrid, 8-10 October 1990.

[13] SUÁREZ MARTÍNEZ, J.M. "Autopista Oviedo-Gijón-Avilés. Experiencias recientes y comportamiento en servicio". IV Jornadas sobre Pavimentos de Hormigón. Oviedo Septiembre-Octubre de 1993.

[14] KRAEMER, C y ALBELDA, R. "Evaluación técnico-económica de las secciones de firme de la norma 6.1-IC". Actas del VI Congreso Nacional de Firmes de la Junta de Castilla León. Asociación Española de la Carretera. León (España), 2004. pp: 67-98. 



Modelo de apoyo a las decisiones para firmes basado en el coste total durante la vida útil, la evaluación del ciclo de vida y el análisis multicriterio



Decision support model for road pavements based on whole life costing, life cycle assessment and multi-criteria analysis

Adrian J. VAN LEEST

Plataforma Tecnológica CROW (Países Bajos)

Steeff B. VAN HARSTKAMP

Provincia de Brabante del Norte (Países Bajos)

Joep P.R. MEIJER

theRightenvironment (EE.UU)

RESUMEN

En respuesta a la importancia creciente que tienen las actividades, las compras y la construcción de carácter sostenible, los diseñadores, consultores y gestores de pavimentos ahora tienden a adoptar decisiones más racionales que antes ponderando los pros y los contras de la construcción, el mantenimiento y la gestión de los diversos tipos de firmes de carreteras.

Los firmes bituminosos y de hormigón ofrecen ventajas específicas que se han de comparar cuando se estudia la alternativa óptima para un firme de larga duración. Las decisiones financieras se toman en base a un análisis de los costes totales durante la vida útil, pero existen otros aspectos importantes que son de difícil cuantificación. Factores como los riesgos de construcción, la necesidad de mantenimiento y su impacto sobre la accesibilidad, la congestión, la seguridad para los usuarios de la carretera y las emisiones energéticas se han de calificar y ponderar cuando se lleve a cabo una comparación exhaustiva del comportamiento de los firmes.

Un grupo de estudio de CROW ha desarrollado un modelo de apoyo a las decisiones que se puede utilizar para tener en cuenta los factores económicos, técnicos, medioambientales y de otra naturaleza cuando se elija un determinado tipo de firme de carretera. Junto con los materiales tradicionales para firmes que se pueden tener en cuenta, también se encuentran disponibles en la base de datos nuevos materiales como los materiales ligeros para terraplenes, mezclas bituminosas en frío, el hormigón reforzado con fibra de acero y el hormigón con áridos reciclados. Este documento describe la metodología empleada y ofrece tres ejemplos de la aplicación del modelo en los Países Bajos.

Palabras clave: Pavimento, Vida útil, Coste total, Análisis multicriterio, Análisis del ciclo de vida, Construcción sostenible, Impacto medioambiental, Modelo de apoyo a las decisiones.

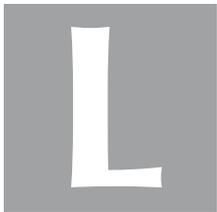
ABSTRACT

In response to the growing importance of sustainable undertaking, purchasing and building, designers, consultants and pavement managers now tend to make more rational decisions than before when comparing the pros and cons of the construction, maintenance and management of various types of road pavements.

Asphalt and concrete pavements offer specific advantages that need to be compared when selecting the most favourable option for long-life pavements. Financial decisions can be based on an analysis of whole life costs, but other important aspects are more difficult to quantify. Factors such as construction risks, the need for maintenance and its impact on accessibility, congestion, road user safety and energy emissions must be qualified and weighted when conducting a comprehensive comparison of pavement performance.

A CROW study group has developed a decision support model that can be used to take into account economic, technical, environmental and other factors when selecting a certain type of road pavement. Besides the traditional road pavement materials that can be taken into account, also new materials like light-weight embankment materials, low temperature asphalt, steel fibre reinforced concrete and concrete with recycled aggregates are available in the materials database. The paper describes the methodology used and presents three examples of the model's application in the Netherlands.

Key words: *Pavement, Lifespan, Total cost, Multicriteria evaluation, Lifecycle analysis, Sustainable construction, Environmental impact, Decision support model.*



Los Países Bajos tienen una gran experiencia en el diseño de firmes de carretera. Cuando se selecciona un pavimento, a menudo se dispone de diversas soluciones que cumplen las condiciones técnicas iniciales, como la capacidad de soporte, la durabilidad, la seguridad y la sostenibilidad.

En los últimos años (en parte dentro del contexto actual de actividades, compras y construcción sostenibles) se ha tenido en cuenta un número creciente de factores a la hora de seleccionar el firme, como son los costes (incluido el mantenimiento), el impacto medioambiental, el valor ecológico y el impacto sobre el paisaje. La incorporación de estos factores al proceso de toma de decisiones complica la tarea de elegir la solución óptima.

El *Modelo de apoyo a las decisiones sobre firmes de carretera* se desarrolló bajo la gestión de CROW para identificar con claridad los factores antes citados. Se ha desarrollado un programa informático para Microsoft Excel⁽²⁾ que se basa en este modelo y que está destinado a asistir a los usuarios. Este modelo objetivo y transparente se puede utilizar para elegir entre una serie de firmes: bituminoso, de hormigón o de adoquines. El modelo se ha actualizado en 2008 con nuevos materiales como los de peso ligero destinados a terraplenes y

mezclas bituminosas en frío, que están disponibles ahora en la base de datos de materiales.

El objetivo de este documento consiste en presentar y publicar la metodología para ponderar los diversos criterios de decisión en la búsqueda del pavimento para carretera más favorable cuando se evalúen costes, impacto medioambiental y otros factores. Se considera que es un modelo objetivo decidir entre varios materiales para carretera para los diversos tipos de carreteras (desde autopistas hasta carriles bici) con el fin de determinar el *coste total para la propiedad* durante la vida útil.

OBJETIVOS DE DESARROLLAR UN MODELO DE APOYO A LAS DECISIONES PARA LOS FIRMES

En los últimos años tanto las administraciones de carreteras como los contratistas y los consultores han adoptado decisiones con el fin de encontrar la *mejor* solución para el firme de un determinado proyecto teniendo en cuenta sus circunstancias. Sin embargo, no ha existido algo similar cuando se trata de un enfoque o metodología uniforme o universal para ponderar los diversos criterios, agregarlos y decidir qué se hace.

Por una parte, esto atañe a los aspectos técnicos y económicos, por otra parte, también se han de tener

en cuenta otros factores que son difíciles de cuantificar. Como ejemplos tenemos: emisiones de CO₂ durante la producción y construcción de materiales para firmes (efecto invernadero), nivel de vibración y sonoro en situación de servicio, medidas del tráfico y costes derivados de la congestión debidos al mantenimiento, la movilidad de las personas y la disponibilidad de la carretera, aspectos medioambientales globales y locales.

La disponibilidad de datos fiables sobre el impacto medioambiental es limitada y a menudo es la propia industria quien los facilita. Por decirlo de alguna manera, ésta no es la fuente de información más objetiva. Las administraciones de carreteras en ocasiones tienen distintos departamentos para la obra nueva y para la conservación/rehabilitación y también los presupuestos para estas dos actividades son independientes. Algunos contratistas prefieren suministrar lo que ellos quieren, no lo que el cliente necesita.

Así las cosas, esto no facilita que se alcance una decisión objetiva e integral sobre firmes. Éste fue el motivo más importante para que CROW y los participantes en el mercado desarrollasen un modelo uniforme y transparente de apoyo a la toma de decisiones destinado a los ingenieros de firmes y a los políticos.

El *Modelo de apoyo a las decisiones sobre firmes de carretera* está diseñado para permitirles a los ingenieros de carreteras, gestores, consultores y a quienes tomen las decisiones perfilar con claridad y tener en cuenta factores como el impacto medioambiental, que se determina aplicando *análisis del ciclo de vida (LCA)*, efectos de los costes basados en el coste a lo largo del ciclo de vida (LCC) y las consecuencias de cualquier otro factor al comparar las diversas estructuras de los firmes (alternativas de diseño). El modelo se debería utilizar al comienzo de la fase de diseño geométrico y estructural de la construcción o rehabilitación, en el momento de elegir los materiales del firme y de determinar los espesores de la capa.

Con este modelo se puede llevar a cabo una comparación de los tipos de firme para todo tipo de carreteras, incluyendo autopistas, carreteras nacionales, provinciales, comarcales y carriles bici. Para ello, el usuario debe introducir los datos sobre la composición del pavimento, la subbase y la base granular para el tipo de carretera en cuestión (Figura 1). Sin embargo, el programa incluye estructuras de firme para carretera predefinidas.

Structure in layers	Thickness (mm)	Density (kg/m ³)	ENVIRONMENTAL COST (kg CO ₂ e/m ²)	Density (kg/m ³)
Removal of existing pavement				
concrete cracking and sealing (ready for overlay)	0,230		1,2E+02	0%
double click to select material	0,000			2425
double click to select material	0,000			0
double click to select material	0,000			0
double click to select material	0,000			0
New pavement				
Concrete C25/35, dense + rebars	422	0,250	2,0%	2,0E+05
double click to select material	0,000			100%
double click to select material	0,000			2444
double click to select material	0,000			0
double click to select material	0,000			0
double click to select material	0,000			0
double click to select material	0,000			0
double click to select material	0,000			0
base course				
double click to select material	0,000			0
double click to select material	0,000			0
Sand subbase				
double click to select material	0,000			0
TOTAL				
			2,0E+05	

Figura 1. Datos sobre la estructura del pavimento.

METODOLOGÍA DEL MODELO DE APOYO A LAS DECISIONES

El programa calcula los costes tipo (de inversión, mantenimiento, rehabilitación y demolición), el impacto medioambiental y otros factores utilizando los datos que introduzca el usuario sobre el tipo de carretera, el espesor del firme, los materiales y otros criterios. Eso significa que antes de comparar las puntuaciones, los datos se deben convertir en primer lugar en unidades comparables (estandarización). El modelo de apoyo a las decisiones logra esto dividiendo la puntuación de cada criterio por la puntuación máxima generada para las alternativas de diseño introducidas.

El impacto medioambiental se calcula utilizando el método *TWIN²⁰⁰²*. Este método, que ha sido creado por el Instituto holandés de biología y ecología de la construcción⁽⁴⁾, cuantifica todas las consecuencias medioambientales expresándolas como un solo número. Además de los datos cuantitativos derivados de los estudios de LCA medioambientales, el método *TWIN²⁰⁰²* también tiene en cuenta datos no cuantificables, lo que permite una evaluación exhaustiva de las estructuras, de los productos de construcción y de los componentes.

El hecho de que este método pueda valorar tanto los datos cuantificables (por ejemplo, las emisiones) como los aspectos cualitativos (por ejemplo, las molestias para los usuarios de la carretera, las personas que viven cerca de las carreteras y el daño al medio ambiente) lo convierte en la herramienta más amplia actualmente disponible para efectuar una evaluación objetiva de las propiedades medioambientales de los productos de construcción.

Como ejemplos de aspectos medioambientales tenemos: alteraciones o molestias debido a la generación de ruido, luz u olores desagradables, uso del suelo, agotamiento de las materias primas y de los recursos energéticos, emisiones a la atmósfera (efecto invernadero)

durante la producción, el transporte, la construcción y el uso de los firmes.

El programa calcula de manera automática el *impacto medioambiental* tomando como base tanto los datos LCA específicos del material⁽⁷⁾ como el método TWIN²⁰⁰².

También se calcula de manera automática los *costes* (por ejemplo, los de construcción, mantenimiento, rehabilitación y demolición) para cada material. El usuario puede introducir cualquier coste adicional y ajustar todos los precios unitarios. La inversión y el resto de los costes se calculan sobre la base del valor neto actual.

Los *otros factores* engloban una serie de efectos definidos sobre la construcción, el mantenimiento, las molestias y la seguridad para el usuario de la carretera. El usuario del programa informático puede puntuar estos efectos (posiblemente tras consultar con un especialista) según una escala del uno al siete. Esto permite al usuario del programa que indique cualquier mejora o cambio a peor con respecto a la alternativa de diseño de referencia.

Como ejemplos de otros factores tenemos: posibilidad de la construcción por etapas, riesgos que se pueden producir durante la construcción y el mantenimiento, duración de las actuaciones de mantenimiento, posibilidad de desviar el tráfico con facilidad (desvíos/flujo de tráfico), seguridad del tráfico y de los trabajadores, aspectos para el usuario de la carretera como la visibilidad, el confort (uniformidad, baches), accesibilidad a cables y tuberías bajo el pavimento, reducción del ruido, calidad del aire (polvo y olores).

MÉTODO DE EVALUACIÓN

Los resultados de los criterios de evaluación se normalizan antes de ponderarlos. La estandarización de las puntuaciones generadas como parte de la evaluación cualitativa de los elementos dentro del criterio *otros factores* se basa en la cifra de valoración de la situación de referencia. Esta evaluación cualitativa genera resultados expresados en términos de más y menos que se han de convertir en primer lugar en valores numéricos. El programa calcula y presenta a continuación las puntuaciones de cada criterio de valoración mostrando con claridad las interrelaciones y poniendo de relieve las áreas susceptibles de mejora.

El *método de análisis multicriterio (MCA)* facilita la comparación de las puntuaciones finales de diversos criterios de evaluación (costes, impacto medioambiental y otros factores). Se puede comparar un máximo de seis alter-

nativas de diseño por cada conjunto de datos básicos, uno de los cuales se designa como referencia. Dado el elevado grado de flexibilidad para introducir datos, es esencial que los responsables valoren de manera crítica la fiabilidad de los resultados finales. Es entonces posible establecer el peso relativo de los criterios de evaluación (costes, impacto medioambiental y otros factores). Dada la naturaleza subjetiva de los valores relativos, estos últimos se deben utilizar de manera juiciosa.

En 1995, el Gobierno holandés decidió que la valoración económica de los proyectos debería tener en cuenta una tasa de descuento del 4 por ciento. Por este motivo, el programa utiliza una tasa de descuento por defecto del 4 por ciento. La tasa de inflación se fija en el cero por ciento. Las directrices de otros países europeos establecen otras tasas de descuento, por ejemplo Alemania (3 por ciento), Reino Unido (6 por ciento), Dinamarca (7 por ciento) y Francia (8 por ciento). La Comunidad Europea mantiene un 5 por ciento como tasa adecuada. Un breve análisis del programa reveló que, dada la misma tasa de inflación, las variaciones en la tasa de descuento generan resultados distintos.

IMPORTANCIA DE LA PONDERACIÓN

La ponderación de los criterios genera una cierta resistencia. Su naturaleza subjetiva se utiliza para argumentar en contra del uso de cualquier forma de ponderación. Sin embargo, las alternativas siempre implican un cierto grado de ponderación. Por ejemplo, si no se utilizan en el modelo factores para ponderar, esto equivale a un factor de ponderación de uno. Para facilitar un análisis y una interpretación exhaustivos, se decidió que el programa le presente al usuario la opción de ver tanto los resultados ponderados como los no ponderados.

El modelo de apoyo a las decisiones basa su evaluación del criterio del *impacto medioambiental* en los costes medioambientales en los que se ha incurrido, que se determinan calculando los costes financieros necesarios para prevenir o remediar cierta emisión. Aunque no se trate de costes correspondientes a gastos realizados, pueden no obstante desempeñar un papel en el proceso de comparación (Figura 2).

Los usuarios del programa deben introducir su propio conjunto de ponderaciones para valorar el criterio de *otros factores*.

El uso de varios conjuntos de índices de ponderación cuando se comparan los distintos firmes no siempre da como resultado una preferencia clara por una alternativa de diseño determinada. La valoración final depende del

valor atribuido a cada criterio. No existe un método disponible para indicar qué es *mejor* o *peor*. Las comparaciones son normativas.

La sociedad determina la forma de tratar los criterios (costes, impacto medioambiental y otros factores). Se puede considerar que los índices de ponderación están bien fundamentados si generan consenso y si se les puede explicar con facilidad a las partes interesadas. Esto es muy distinto de *utilícese como estime oportuno*.

Las prioridades actuales son distintas de las que existían hace 20 años y de las que habrá dentro de 20 años. La comparación de los diversos criterios nunca se puede hacer de manera objetiva. Esto se aplica a cada comparación que se realice, tanto con la evaluación del modelo del *impacto medioambiental* y de los criterios de *otros factores* como con cualquier MCA llevada a cabo y en la cual se comparen las puntuaciones finales de los criterios para evaluar de manera definitiva los diversos tipos de firme de carretera.

Por tanto, las comparaciones no generan resultados absolutos. Esto quiere decir que el modelo de apoyo a las decisiones no está diseñado para tomar decisiones definitivas, sino que más bien sirve como herramienta para facilitar la toma de decisiones bien fundamentadas basadas en diferencias relativas.

Dada la posibilidad de que las distintas comparaciones puedan arrojar resultados diferentes, parecería bastante infructuoso que se llevase a cabo esta comparación de los criterios. Sin embargo, la fortaleza de un método de ponderación está básicamente arraigada en el hecho de que obligue al usuario a tomar decisiones y a llevar a cabo comparaciones de una forma tan explícita, bien meditada y transparente como sea posible.

La falta de la *mejor* alternativa significa que es sensato valorar diversos criterios con diferentes conjuntos de índices de ponderación. La comparación de los diversos resultados mejora la comprensión del usuario acerca de la dependencia del resultado final del conjunto de índices de ponderación utilizado. Las valoraciones que impliquen distintos conjuntos de índices de ponderación dan en

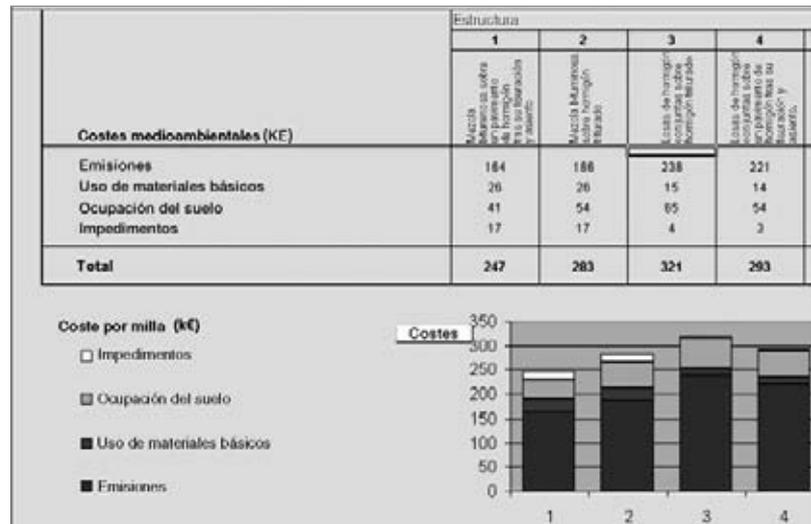


Figura 2. Resultados de los costes medioambientales de 4 alternativas

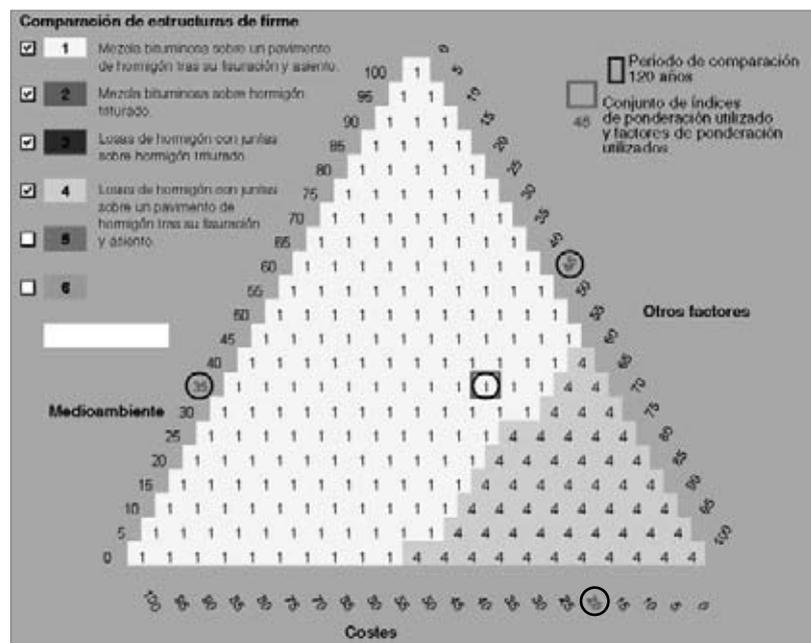


Figura 3. Resultados de la MCA presentados por la herramienta de triángulo de ponderación. La posición de la casilla señalada con un círculo representa el conjunto actual de índices de ponderación.

ocasiones como resultado diferencias inapreciables o muy limitadas. En algunos casos se puede concluir que los conjuntos de índices de ponderación utilizados tienen muy pocos efectos sobre el resultado final y, en consecuencia, que las diferentes maneras de ponderar los distintos elementos no son importantes.

Un triángulo de ponderación es una herramienta para comparar los distintos conjuntos de ponderación e indica el grado en que el conjunto influye sobre el resultado final (Figura 3). Los lados del triángulo representan los factores de ponderación para los *costes*, el *impacto*

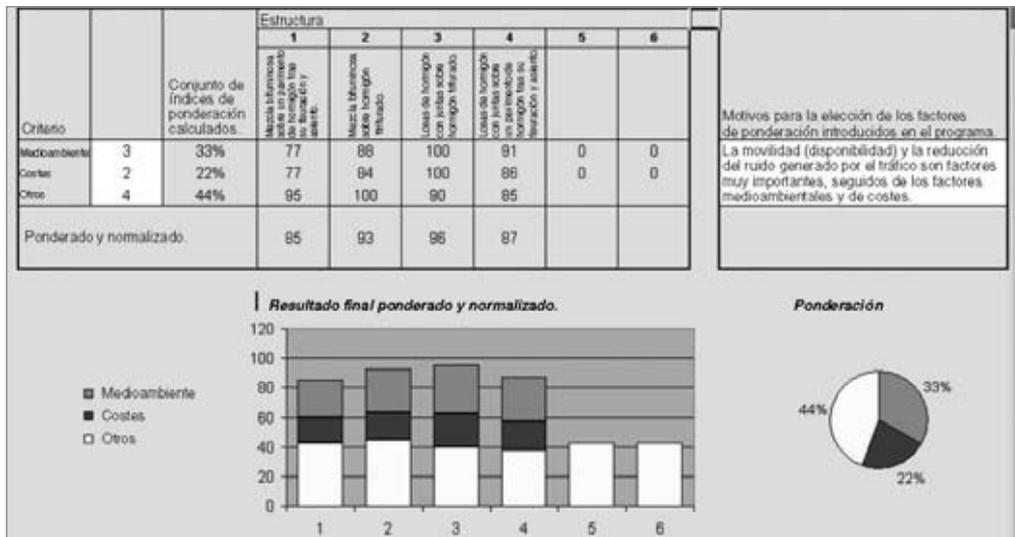


Figura 4. Resultados de la MCA para las 4 alternativas de firme tras la ponderación.

medioambiental y otros factores, que van del 0 al 100 por ciento. Esto permite la comparación de los distintos criterios. Los firmes que obtienen una buena puntuación con este conjunto de índices de ponderación se presentan en el triángulo.

El punto de intersección de las puntuaciones del factor de ponderación revela si el conjunto de índices de ponderación seleccionado cae de lleno en el campo de un solo firme o cerca de de la unión de varias alternativas. Mientras que el primero se puede interpretar como una clara preferencia por un tipo de firme (es decir, un conjunto de índices de ponderación ligeramente ajustado no arrojará un resultado diferente), el último significa que los distintos firmes generan puntuaciones comparables y que no existe una clara preferencia. Esto siempre se ha de estudiar conjuntamente con los resultados de la propia MCA.

ANÁLISIS MULTICRITERIO

La MCA es una herramienta para comparar las puntuaciones finales de los diversos criterios de evaluación.

Antes de comparar las puntuaciones, se han de convertir en primer lugar los datos en unidades comparables (normalización). El modelo de apoyo a las decisiones logra esto dividiendo la puntuación de cada criterio por la puntuación máxima generada para las alternativas de diseño introducidas.

La MCA del modelo de apoyo a las decisiones se basa en el método de suma ponderada y en la normalización que utilice la puntuación máxima generada (Figura 4).

Se ponderan las puntuaciones finales de los tres criterios de valoración, se normalizan y se añaden, presentándose entonces todos los datos en una tabla y en un historiograma. También se presenta el conjunto de índices de ponderación empleado. La estructura del firme con la puntuación más baja se considera la mejor alternativa o la más favorable utilizando este conjunto de índices de ponderación.

Se puede determinar si este resultado es significativo empleando la herramienta del triángulo de ponderación.

HERRAMIENTA FÁCIL DE USAR Y TRANSPARENTE

La estructura transparente y la presentación clara de los datos introducidos por el usuario y que genera el programa hacen que el Modelo de apoyo a las decisiones sobre firmes de carretera sea muy fácil de usar. Este nuevo programa hace que la comparación de varias alternativas de diseño técnicamente equivalente sea muy simple.

Para reducir la cantidad de datos necesarios, es posible seleccionar en el momento de empezar una estructura por defecto para distintos tipos de carreteras, como autopistas, carreteras nacionales, provinciales, comarcales y carriles bici. El usuario también puede introducir y guardar conjuntos personalizados de datos para su uso posterior. El programa incluye una gran cantidad de información que explica la forma en que trabaja el programa y los métodos empleados.

Las decisiones sobre el firmes de carretera adoptadas sin la participación de un modelo de apoyo que incluya una MCA a largo plazo no son transparentes ni están bien fundamentadas.

Los factores con mayor impacto sobre los resultados de la comparación son la vida útil de diseño de los firmes equivalentes y los programas de mantenimiento asociados, la vida útil asignada, los precios unitarios

para la construcción y el mantenimiento y la ponderación de los criterios de evaluación (costes, impacto medioambiental y otros factores).

Se debe advertir en este contexto que, por lo que concierne a los costes totales de la inversión en infraestructuras (nueva construcción), el firme supone tan sólo al 15 por ciento de los costes del proyecto en el caso de las autopistas. Las preconfiguraciones y la base de datos subyacente representan la situación holandesa. La herramienta no se ha probado ni adaptado a las diferencias regionales que puedan existir en otros países.

HISTORIAS DE CASOS

En el pasado se prestaba poca atención a la elección entre diversos tipos de firmes durante el proceso de construcción o rehabilitación de una carretera. La mayoría de los organismos responsables de las carreteras preferían las mezclas bituminosas o los adoquines en caso de que bajo el firme hubiera cables o tuberías y apenas se utilizaban los pavimentos de hormigón. Pese a esto, diversos gestores de carreteras han comparado los firmes de carretera durante años y han llegado a la conclusión de que son preferibles los de hormigón en determinadas circunstancias.

El *Modelo de apoyo a las decisiones sobre firmes de carretera* de CROW hace posible que esto se plasme de manera transparente. El usuario solamente puede introducir y cambiar sus propios datos en el criterio de *otros factores*. Esto es, de hecho, el único modo en que el usuario puede influir sobre la puntuación final, aparte de los precios unitarios y la vida útil asignados a los tipos de firme. En conjunto, la capacidad del usuario para manipular las puntuaciones es bastante limitada, lo cual beneficia la objetividad de los resultados.

La parte previa de este documento abordaba los principios subyacentes del modelo de apoyo a las decisiones y la parte siguiente presenta tres ejemplos de la aplicación del modelo: uno versa sobre una carretera provincial, otro una autopista y el tercero es una comparación entre varios tipos de pavimento de hormigón.

Alternativa de referencia: Pavimento bituminoso en todo el espesor (vida útil de diseño 20 años)	Alternativa: Pavimento de hormigón en masa con juntas con árido visto (vida útil de diseño 20 años)
40 mm DAD 0/16 mm (capa de rodadura)	
40 mm de hormigón bituminoso con árido de machaqueo 0/16 mm	265 mm de pavimento de hormigón en masa con juntas con árido visto 4/8 mm, clase C35/45
120 mm de hormigón bituminoso con árido de machaqueo 0/22 mm	
250 mm de mezcla de mampostería triturada y hormigón	250 mm de mezcla de mampostería triturada y hormigón

Tabla 1. Pavimento para carretera provincial, alternativas estudiadas.

1. Carretera provincial: principios básicos

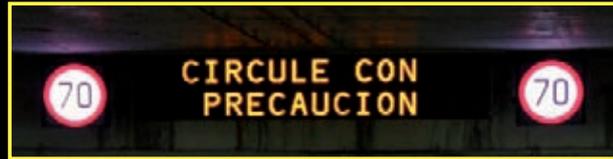
Para empezar, los principios básicos y las hipótesis a adoptar deben estar claros. ¿Son los niveles de ruido requeridos coherentes con una mezcla bituminosa densa (DAC), que servirá de referencia en este ejemplo, o son los pavimentos más silenciosos los requeridos? ¿Cuál es la actual densidad del tráfico (en especial la intensidad de vehículos pesados) y cuál será al final de la vida útil de diseño? ¿Se diseñará la carretera según los principios conceptuales típicos holandeses de Seguridad Sostenible? ¿Cuál es la vida útil de diseño de la carretera? Estos principios e hipótesis básicos se tienen en cuenta cuando se calculan las alternativas de diseño..

Este ejemplo supone lo siguiente: emisión de ruido igual o menor al DAC, 15.000 vehículos diarios (de los cuales el 10 por ciento son HGV) y diseño de la carretera según los principios de Seguridad sostenible. A efectos de simplicidad, el siguiente ejemplo solamente incluirá dos diseños alternativos (mezcla bituminosa en todo el espesor y hormigón con árido visto EAC) concebidos para una determinada vida útil de diseño utilizando los programas BISAR y VENCON2.0 respectivamente. La Tabla 1 presenta los resultados.

1.1. Criterios especificados por el usuario en el modelo de apoyo a las decisiones

El modelo de apoyo a las decisiones compara los criterios de *costes*, el *impacto medioambiental* y los *otros factores*. Se pueden añadir los factores de evaluación especificados por el usuario para la sección de carretera en cuestión. En el presente ejemplo, es esencial que se indique que, por mor de la continuidad, ya hay pavimento de hormigón en ambas caras de esta sección de carretera. El diseño según los principios de Seguridad sostenible también son un punto clave al elegir el firme

La **información** es poder circular con **seguridad** y comodidad



***Paneles de mensaje variable
con certificado para Mercado CE***

**GRUPO
POSTIGO**

www.grupo-postigo.es



ALBA ELECTRÓNICA

www.albaelectronica.com

Criterio	Peso relativo	Puntuación	
		Referencia alternativa 1: mezcla bituminosa DAC	Alternativa 4: hormigón con árido visto
Impacto medioambiental	2	98	100
Costes	3	100	81
Otros factores	3	100	89
Ponderado y estandarizado		99	89

Tabla 2. Valores y puntuaciones para la MCA de la carretera provincial, cuantos menos puntos, mejor el resultado.

porque los carriles relativamente estrechos y los desplazamientos limitados del tráfico exigen un pavimento que evite la formación de baches.

Los resultados de la comparación se ponderan a continuación como parte de una MCA para el cual el usuario determina el peso relativo de los criterios de evaluación. Lo habitual es que estos últimos se basen en los principios normativos de la autoridad competente. Por último, se puede utilizar la herramienta del triángulo de ponderación para determinar en qué grado generarán un resultado diferente los cambios en el conjunto de índices de ponderación correspondiente.

1.2. Resultado de la comparación

En el presente ejemplo, el peso relativo de los riesgos de construcción y de los niveles de seguridad y molestias durante la operación duplica al de los otros factores.

de construcción por etapas. El usuario solamente puede influir sobre el resultado del criterio *otros factores* que, en este ejemplo, favorece al hormigón.

El usuario apenas puede influir en la comparación de los criterios de *impacto medioambiental* y de *costes*. El modelo de apoyo a la decisión utiliza bases de datos que contienen información sobre los costes del impacto medioambiental y los costes de construcción y mantenimiento, siendo ajustable el primero por parte del usuario. En términos de impacto medioambiental, la puntuación para la alternativa del hormigón en masa con juntas y con árido visto se puede comparar con la puntuación del firme bituminoso. Por el contrario, la alternativa de hormigón es con mucho la más barata (calculada en base al ciclo de vida completo del firme).

Estos resultados se incluyen en una MCA en la cual el *impacto medioambiental*, los *costes* y los criterios de *otros factores* se ponderan en una proporción de 2:3:3. Esto significa que los criterios de *costes* y *otros factores* pesan un poco más en la comparación que el criterio de *impacto medioambiental*.

Lo que es obvio en este ejemplo es que la alternativa del hormigón en masa con juntas y árido visto obtiene la mejor puntuación. Esto se basa en el resultado de la propia MCA, véase la Tabla 2 y los del triángulo de ponderación en la Figura 5.

El triángulo de ponderación del modelo de apoyo a las decisiones indica que un cambio en el conjunto de índices de ponderación utilizado no arrojará una conclusión diferente (Figura 5).

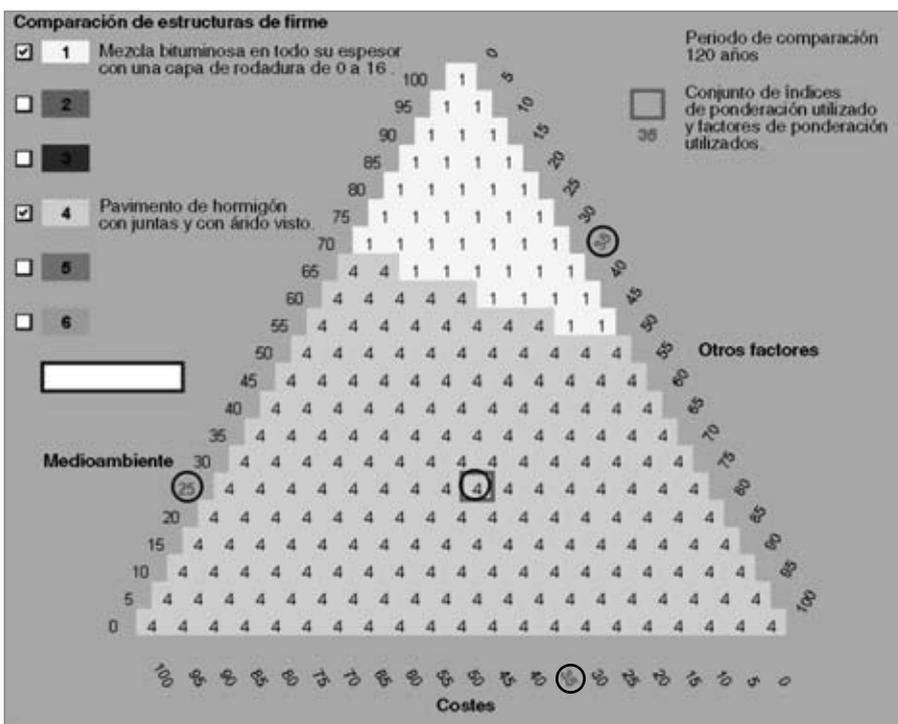


Figura 5. Herramienta del triángulo de ponderación para la comparación de dos alternativas de diseño para una carretera provincial

Alternativa de referencia (bituminoso) STAB (vida útil de diseño de 20 años)	Alternativa de referencia (bituminoso) EME (vida útil de diseño de 20 años)	Alternativa de referencia (hormigón) CRCP (vida útil de diseño de 20 años)
70 mm capa drenante doble PAFC	70 mm capa drenante doble PAFC	70 mm capa drenante doble PAFC
300 mm STAB 0/22 mm	240 mm EME	250 mm CRCP C35/45
		60 mm mezcla bituminosa
250 mm mezcla de hormigón y mampostería triturada	250 mm mezcla de hormigón y mampostería triturada	250 mm mezcla de hormigón y mampostería triturada
1 m base granular	1 m base granular	1 m base granular

Tabla 3. Alternativas estudiadas de firmes para autopistas.

La casilla señalada con un círculo que representa el conjunto de índices de ponderación escogido está claramente situada en la zona señalada con fondo oscuro del triángulo, el hormigón con árido visto. Este firme continuaría siendo la opción preferida haciendo profundos cambios en los criterios de evaluación individual. En consecuencia, la preferencia en este ejemplo se considera significativa. Se debería advertir que la elección de una alternativa se debe tomar teniendo en cuenta los resultados de la MCA.

2. Autopista de tráfico intenso: principios básicos

Este ejemplo de comparaciones se realiza para una autopista nueva de dos carriles por sentido. Se calcula que en 2020 circularán todos los días laborables por este tramo de carretera 112.000 vehículos, de los cuales el 44 por ciento serán vehículos pesados.

Dada la gran densidad de tráfico, se consideró que el riesgo de que se formen baches era una desventaja real de los firmes flexibles ya que esto exigiría un mantenimiento adicional. Aunque la formación de baches no suponga un problema para los pavimentos de hormigón armado continuo (CRCP), los costes iniciales de este firme son más elevados. La elección entre los distintos tipos de firmes (uno bituminoso y otro de hormigón armado continuo) queda respaldada si se utiliza el modelo de apoyo a las decisiones CROW.

2.1. Alternativas estudiadas

La Tabla 3 presenta una visión de conjunto sobre los tipos de firme estudiados. Cada una de estos firmes tienen una capa de rodadura que consta de dos estratos de capa de mezcla drenante (PAFC) para reducir el ruido. El "Enrobé à module élevé" (Mezcla de alto módulo, EME) es una mezcla bituminosa de módulo elevado desarrollado en Francia con una mayor rigidez y una resistencia a la formación de baches. La alternativa de referencia es una construcción estándar

utilizando una mezcla bituminosa con árido de machaqueo (STAB).

2.2. Comparar es elegir

Por desgracia, el modelo de apoyo a las decisiones no genera un resultado final indiscutible con sólo pulsar un botón. Las decisiones implícitas tomadas como parte del proceso de comparación pueden ejercer una gran influencia sobre el resultado final. La ventaja del modelo de apoyo a las decisiones consiste en que la elección se lleva a cabo de una forma estructural, transparente y trazable, lo que proporciona una comprensión de la validez de las conclusiones.

Las decisiones implícitas que se han de realizar afectan a:

- Los detalles en el cálculo del espesor del firme. El diseño y los espesores de los firmes bituminosos se suelen determinar utilizando las aplicaciones ASCON/CARE (programas de estratos elásticos lineales múltiples), mientras que la misma información para los pavimentos de hormigón se calcula con el VENCON2.0. Puesto que los costes de construcción dependen del diseño del pavimento y de los espesores de la capa introducidos por el usuario, los ajustes de los cálculos de diseño afectarán a los resultados de la comparación. Los gradientes de temperatura para el diseño del CRCP se han seleccionado de modo que incluyan el efecto beneficioso de la capa de rodadura de mezcla porosa, derivado de las mediciones sobre firmes similares.
- La probabilidad de que un firme bituminoso para carreteras se tenga que reforzar con una capa superior al final de la vida útil de diseño se debe basar en la experiencia práctica con firmes comparables. La amplia experiencia con firmes bituminosos de referencia indica que el 50 por ciento de los firmes necesitan que los refuercen y/o perfilen al final de su vida útil de diseño y que el 50 por ciento durarán al menos otros 10 años. El envejecimiento debido a la climatología es desdeñable

Criterio	Peso relativo	Puntuación		
		Referencia: STAB	Alternativa (bituminosa): EME	Alternativa (hormigón): CRCP
Impacto medioambiental	1	78	76	100
Costes	2	100	87	89
Otros factores	3	100	67	58
Ponderado y estandarizado		96	78	81

Tabla 4. Valores y puntuaciones de MCA para autopistas. Cuanto menor sea la puntuación, mejor será el resultado

por la presencia de la capa de mezcla drenante, que necesita una sustitución cada 10 años.

- El riesgo reducido de que se formen baches con la aplicación del EME en lugar de la mezcla STAB estándar también se debe basar en la experiencia práctica con firmes de carretera comparables. Existe una gran cantidad de experiencias en Francia con firmes bituminosos de módulo elevado que demuestra que la fisuración no es un problema. La degradación de la carretera se limita a la capa de rodadura de mezcla porosa.

2.3. Resultado de la comparación

La Tabla 4 presenta las puntuaciones finales de la comparación. El impacto medioambiental se analizó utilizando en enfoque de TWIN²⁰⁰² del modelo de apoyo a las decisiones, que expresa las emisiones, el agotamiento de las materias primas, el uso del suelo y las molestias como costes medioambientales. La categoría de *otros factores* incluye los riesgos de construcción (17 por ciento), las molestias debidas a la construcción y al mantenimiento (33 por ciento), la seguridad del usuario de la carretera (17 por ciento) y los retrasos del tráfico durante las tareas de mantenimiento (33 por ciento).

La conclusión es que las alternativas son mejores que la opción de referencia (verbigracia, STAB) y los costes son muy inferiores. La puntuación del *impacto medioambiental* del EME es la mejor por el espesor reducido de la capa bituminosa, mientras que la puntuación de los *otros factores* del CRCP (relacionada con el mantenimiento) es la mejor. Cuando se estudian las puntuaciones acumuladas de todos los criterios, EME y CRCP resultan ser al final muy similares.

Un análisis de sensibilidad revela (no se presenta aquí) que las puntuaciones finales se ven altamente influidas por el diseño del espesor del firme, la evaluación de otros factores (riesgo estimado de formación de baches) y las puntuaciones de los valores relativos para la comparación de otros factores y la MCA. Dado el crecimiento esperado en la proporción de vehículos pesados en los Países Bajos, las comparaciones similares en donde la

formación de baches desempeñe un mayor papel se harán más corrientes. Para que la comparación sea válida, las elecciones que se han de efectuar en el proceso se deben basar en los datos experimentales en lugar de en razonamientos subjetivos.

3. Elección entre hormigón en masa con juntas (JPCP), hormigón con fibras de acero (SFRC) y del hormigón armado continuo (CRCP): principios básicos

A partir de otro estudio CROW⁽¹⁾ se supuso que los firmes de SFRC se deberían considerar una alternativa al hormigón en masa con juntas en lugar de los pavimentos de hormigón armado continuo. El motivo para esto es que la cantidad de refuerzo necesario en los pavimentos de hormigón armado continuo (aprox. 61 kg/m³) apenas se puede sustituir por una cantidad equivalente de fibras de acero. Si se compara con los pavimentos de hormigón en masa con pasadores y armadura de atado (aprox. 8 kg/m³), la mayor resistencia a la tracción y la mayor resistencia tras la figuración del hormigón con fibras (fibras de acero, aprox. 40 kg/m³) permite una reducción del número de juntas transversales de retracción. Como resultado, la cantidad de juntas aserradas y el acero de pasadores y armadura de atado se puede reducir de manera considerable.

Naturalmente, la cuestión es si la suposición de que el SFRC y el JPCP son iguales desde un punto de vista económico y medioambiental se puede apoyar en los cálculos del modelo de apoyo a las decisiones. Por tanto, se deben conocer los precios unitarios; en los Países Bajos se consideran realistas los siguientes precios por metro cuadrado para un pavimento de hormigón con un espesor de 250 mm: 115 por ciento para pavimentos de CRCP, 130 por ciento para los de SFRC en relación con la inversión en JPCP, que es del 100 por ciento.

Al utilizar el programa holandés de diseño VENCON2.0⁽²⁾, se pueden calcular estructuras equivalentes para CRCP y JPCP. El diseño del SFRC se basa principalmente en



Construcción-Conservación de carreteras
Producción industrial de materiales para carreteras
Obras medioambientales
Servicios


Probisa




Una sociedad de EUROVIA



Criterio	Peso relativo	Puntuación		
		Referencia: JPCP	Referencia: CRCP	Referencia: SFRCP
Impacto medioambiental	1	76	100	81
Costes	1	94	100	94
Otros factores	1	100	100	100
Ponderado y estandarizado		90	100	92

Tabla 5. Valores y puntuaciones de JPCP, SFRCP y CRCP. Cuanto menor sea la puntuación, mejor será el resultado

las experiencias de proyectos recientes. Esto da como resultado un espesor de 238 mm (sobre un estrato bituminoso intermedio de 50 mm) para el CRCP, de 266 mm para el JPCP y de 225 mm para el SFRCP. Todos estos datos que se introducen en el modelo de apoyo a las decisiones conducen a los resultados que se muestran en la [Tabla 5](#).

La [Tabla 5](#) presenta una visión de conjunto sobre los tipos de pavimentos de hormigón estudiados. A partir de estos resultados se puede concluir que siendo todos los criterios de ponderación de 1 y con los espesores presentados, no existen diferencias significativas entre el JPCP y el SFRCP y que se pueden considerar iguales desde un punto de vista económico y medioambiental, aunque no sea éste necesariamente el caso para la igualdad estructural.

CONCLUSIONES

Las decisiones sobre firmes de carretera adoptadas sin la participación del modelo de apoyo a las decisiones que incluye una MCA a largo plazo no son transparentes ni están bien fundamentadas.

En el pasado se prestaba poca atención a la elección entre diversos tipos de firmes durante el proceso de construcción o rehabilitación de una carretera. Los gestores de carreteras han comparado los firmes durante años y han llegado a la conclusión de que son preferibles los de hormigón en determinadas circunstancias. El *Modelo de apoyo a las decisiones sobre firmes de carretera* de CROW hace posible que esto se plasme de manera transparente.

El *Modelo de apoyo a las decisiones sobre firmes de carretera* está diseñado para permitirles a los ingenieros de carreteras, gestores, consultores y a quienes tomen las decisiones perfilar con claridad y tener en cuenta factores como el impacto medioambiental, que se determina aplicando valoraciones del ciclo de vida (LCA), efectos de los costes basados en el coste del ciclo de vida (LCC) y las consecuencias de cualquier otro factor cuando se

comparen las diversas estructuras de firme (alternativas de diseño).

El uso del modelo permite a los ingenieros de firmes y a quienes tomen las decisiones adoptar la decisión correcta sobre el tipo de pavimento de una forma transparente. Esta herramienta convencerá a las autoridades de que no sólo es importante la inversión en la construcción, sino también en especial los *costes totales de propiedad* durante la vida útil del firme.

Los factores que dejan sentir unos mayores efectos en los resultados de la comparación son la vida útil de diseño de firmes equivalentes y los regímenes de mantenimiento asociados, los periodos de vida útil asignados, los precios unitarios de construcción y mantenimiento y los índices de ponderación de los criterios de evaluación (costes, impacto medioambiental y otros factores).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Braam C.R., Van Leest, A.J., Van Hartkamp, S.B., Jurriaans, G., Van der Steen, C.A. y Stet, M.J.A (2008): "Fibre concrete mixes in road pavements; in between plain and reinforced concrete?". IX Conferencia Internacional sobre Pavimentos de Hormigón, San Francisco, EE.UU.
2. CROW (2005); VENCON2.0 "Software para diseño de carreteras de hormigón" (en holandés). DC-ROM D925. CROW, Ede, Países Bajos.
3. CROW (2008); "Afwegingsmodel Wegen (AMW) [Modelo de apoyo a las decisiones sobre firmes de carretera] versión 1.1", (CD-ROM D926), Plataforma tecnológica CROW, Ede, Países Bajos.
4. NIBE (2002); "Basiswerk Duuzaam & Gezond Bouwen: Milieuclassificatie Bouw, MonitariserinG (verborgen milieukosten) [Construcción sostenible y saludable de referencia: Sistema de clasificación medioambiental de edificación y construcción, monetización (cos-

tes medioambientales ocultos)”, NIBE Research bv, Bussum, Países Bajos.

5. NIBE (2002); “Basiswerk Duzaam & Gezond Bouwen: Milieuclassificatie Bouw, TWIN-model 2002 [Construcción sostenible y saludable de referencia: Sistema de clasificación medioambiental de edificación y construcción, método TWIN²⁰⁰²]”, NIBE Research bv, Bussum, Países Bajos.

6. RHED; “DWW-wijer 85: Werking van de Levenscyclusanalyse [Guía RHED 85: Metodología de

análisis del ciclo de vida]”, Dirección general de obras públicas y gestión del agua, división de carreteras y de ingeniería hidráulica, Delft, Países Bajos.

7. RHED (2003); “Keuzemodel Kust- en Oeverwerken (KKO) [Modelo de toma de decisiones para las estructuras de defensa costeras y terraplenes fluviales]”, Dirección general de obras públicas y gestión del agua, división de carreteras y de ingeniería hidráulica, Delft, Países Bajos. 



CARRETERAS 2009

Asociación Española de la Carretera
O'Donnell, 18 - 5ª H • 28009 Madrid
Telf. 91 432 43 18 • Fax: 91 432 43 19
e-mail: comdis@cydisano.com

BOLETÍN DE SUSCRIPCIÓN

Deseo suscribirme por un año a la revista **CARRETERAS**.
El importe de esta suscripción (IVA incluido):

España65,00 €

Europa107,00 €

América165,00 US \$ •115,00 €

Números sueltos24,00 € / ejemplar

lo hago efectivo mediante Cheque Metálico

Transferencia bancaria a nombre de **COMUNICACIÓN Y DISEÑO, S.L.**

Nombre: _____

Empresa: _____ C.I.F.: _____

Actividad: _____ Tel: _____

Dirección: _____

E-mail: _____

Código postal y Ciudad: _____

Provincia y País: _____



Hacia un pavimento de hormigón medioambientalmente sostenible utilizando áridos reciclados



Moving Towards An Environmentally Sustainable Concrete Pavement Using Recycled Concrete Aggregate

James T. SMITH

Departamento de ingeniería civil y medioambiental
Universidad de Waterloo (Canadá)

Susan L. TIGHE

Cátedra de investigación canadiense de gestión de pavimentos
e infraestructuras
Departamento de ingeniería civil y medioambiental
Universidad de Waterloo (Canadá)

RESUMEN

Aunque exista un déficit crítico de áridos naturales, está aumentando la disponibilidad de hormigón demolido para su utilización como árido de hormigón reciclado (RCA). La utilización de hormigón de desecho como RCA preserva los áridos naturales, reduce el impacto de los vertederos, reduce el consumo energético y puede suponer un ahorro de costes.

Se ha monitorizado el comportamiento de los tramos de prueba con RCA mediante la evaluación continua del pavimento utilizando el Manual para estimar el estado de los pavimentos rígidos del Ministerio de Transporte de Ontario, así como la textura de la superficie. Asimismo, se dotó al pavimento de sensores para controlar su comportamiento en función de las condiciones ambientales a largo plazo.

Los cuatro tramos de prueba tenían 48 sensores para controlar la flexión y el alabeo de las losas, el desarrollo de tensiones, el movimiento relativo de las juntas, la temperatura y la madurez. Los ensayos previos de laboratorio y los resultados in situ sirven de apoyo para el diseño de una mezcla que contenga un árido grueso reciclado de calidad de un tamaño específico que dé como resultado un hormigón con un comportamiento similar o mejor que un hormigón que no contenga áridos reciclados.

Palabras clave: *Hormigón, Reciclado, Árido, Pavimento de hormigón, Hormigón reciclado, Árido natural, Árido reciclado.*

ORGANIZA



IFEMA
Feria de
Madrid

TU ENCUENTRO

27-30
Octubre
2009



SALÓN INTERNACIONAL
DE LA SEGURIDAD VIAL Y EL
EQUIPAMIENTO PARA CARRETERAS



promueve



MINISTERIO
DE FOMENTO



MINISTERIO
DE INTERIOR

www.trafic.ifema.es

LINEA IFEMA

LLAMADAS DESDE ESPAÑA

INFOIFEMA 902 22 15 15

EXPOSITORES 902 22 16 16

LLAMADAS INTERNACIONALES (34) 91 722 30 00

trafic@ifema.es

ABSTRACT

Although there is a critical shortage of virgin aggregate, the availability of demolished concrete for use as recycled concrete aggregate (RCA) is increasing. Using the waste concrete as RCA conserves virgin aggregate, reduces the impact on landfills, decreases energy consumption and can provide cost savings.

Performance of the RCA test sections is monitored through ongoing pavement evaluations using the Ontario Ministry of Transportation's Manual for Condition Rating of Rigid Pavements, and surface roughness. Additionally, the pavement was instrumented with sensors to monitor pavement performance in relation to long-term environmental conditions.

The four test sections contained 48 sensors to monitor slab curling and warping, strain development, joint movement, temperature and maturity. Preliminary laboratory testing and field results support a mix design containing quality coarse RCA of a specific size to result in concrete that exhibits similar or improved performance compared to non-RCA containing concrete.

Key words: *Concrete, Recycled, Aggregate, Concrete pavement, Recycled pavement, Natural aggregate, Recycled aggregate.*

La cantidad de áridos de buena calidad disponible para la construcción está reduciéndose de forma alarmante. En el mundo se utilizan cada año aproximadamente once mil millones de toneladas de áridos (arena, grava y roca machacada) para producir hormigón^(18,16). En Canadá se consumen catorce toneladas de áridos por persona y año. Sin embargo, por cada tres toneladas de áridos producidos, sólo una se reemplaza abriendo nuevas canteras de áridos o mediante áridos reciclados⁽¹⁵⁾. Ontario está utilizando en la actualidad más áridos de los disponibles, lo que provoca un déficit de este material⁽⁴⁾.

El estado actual de los recursos de áridos en Ontario no se conoce bien, ya que el último estudio detallado se realizó en 1992 por el Ministerio de Recursos Naturales (MNR) en el *Informe sobre el estado de los recursos*⁽¹⁷⁾. Desde 1992 hasta 2003, el consumo anual de áridos en Ontario estuvo en torno a los 170 millones de toneladas. Se utilizan más de dieciséis toneladas de áridos por persona y año en Ontario⁽⁴⁾. Para construir un kilómetro de autopista de 6 carriles, se emplean 51.800 toneladas de áridos. En 2001, las 2.800 minas y canteras autorizadas de Ontario produjeron 160 millones de toneladas⁽¹⁷⁾. Se calcula que el consumo de áridos en Ontario en los próxi-

mos 25 años será de cuatro mil millones de toneladas⁽⁴⁾. Ontario se enfrenta a un déficit de áridos. Se calcula que algunas áreas urbanas se quedarán sin áridos en 2010⁽¹⁷⁾.

Aunque exista un déficit crítico de áridos naturales, existe una cantidad creciente de hormigón demolido⁽¹²⁾. El impacto medioambiental del hormigón de desecho es significativo. No sólo tiene un impacto medioambiental el transporte del hormigón de desecho desde la obra, sino que también este hormigón ocupa un valioso espacio en los vertederos. Existe un gran potencial para reutilizar este material como fuente de nuevos áridos⁽¹⁶⁾. Si se recicla el hormigón de estructuras de hormigón deterioradas, el mundo reducirá el impacto negativo sobre el medio ambiente y aumentará la sostenibilidad de las fuentes de áridos^(11,19).

Existen beneficios tanto ambientales como económicos si se utilizan *áridos de hormigón reciclados (RCA)*. El uso de RCA conserva los áridos naturales, reduce los efectos sobre los vertederos y el consumo energético⁽⁹⁾. La utilización de RCA genera ahorros en el transporte de áridos y de productos de desecho y en la manipulación de los residuos^(9, 2). Se calcula que el uso de RCA puede ahorrar hasta 11 dólares por cada 1.000 kg (10 dólares por tonelada) de árido⁽²⁾.

IMPORTANCIA DEL ESTUDIO

El objetivo de este estudio ha sido identificar varios diseños de mezclas que contengan RCA y que sean adecuados para su utilización en pavimentos de hormigón. El CPATT (Centro de tecnología de pavimentos y transportes), situado en la Universidad de Waterloo, en Ontario del sur, en asociación con Dufferin Construction y la CAC (Asociación Canadiense del Cemento), han construido con éxito tramos de prueba de hormigón de gran calidad que contienen áridos reciclados de hormigón.

Este documento expone el motivo para utilizar RCA y también las barreras en su utilización, describe el material utilizado en el diseño de la mezcla con RCA, ofrece los resultados de laboratorio de nueve diseños de mezclas de hormigón con RCA en comparación con tres diseños de mezcla con áridos naturales y presenta los resultados de tres hormigones que contienen RCA utilizados en tramos de prueba en la pista de pruebas del CPATT junto con un tramo de prueba con áridos naturales que sirve como muestra de comparación.

OBSTÁCULOS A LA UTILIZACIÓN DE ÁRIDOS DE HORMIGÓN RECICLADO

Existen varios obstáculos que se han de salvar con el fin de que los RCA reciban una amplia aceptación. Inicialmente, existen unos elevados costes de inversión para la adquisición de trituradoras de hormigón. Asimismo, los costes de mantenimiento de estas máquinas también son elevados⁽²⁴⁾. Se calcula que el consumo de áridos no naturales en Ontario es del 3 por ciento⁽¹⁷⁾. Esto se puede deber a la falta de incentivos financieros. La Administración de Ontario grava en la actualidad con seis céntimos la tonelada de árido natural.

Otro obstáculo se refiere a la cantidad excesiva de finos que se generan durante el proceso de trituración. Estos áridos finos en exceso se tienen que desechar o hay que buscarles un uso alternativo. Dependiendo de la fuente y del tipo de RCA, varían la absorción, la resistencia y las impurezas. Esto puede significar que no se pueda utilizar o que pueda tener efectos adversos sobre la estructura del nuevo pavimento.

Existe una falta de conocimientos sobre la forma en que los RCA afectan a la durabilidad del pavimento, ya que la mayoría de los estudios se centran en las propiedades del hormigón fabricado con áridos reciclados⁽²⁰⁾. En la actualidad no se dispone de normas específicas sobre el modo de utilizar los RCA en el hormigón.

EFFECTOS DE LOS ÁRIDOS RECICLADOS SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS DEL HORMIGÓN

La bibliografía sobre los efectos de los RCA en el hormigón es a veces difusa y recoge resultados variables. Puesto que cada fuente de RCA es única si nos basamos en la granulometría y en el medio ambiente, los resultados de la prueba y el comportamiento del hormigón que contiene RCA puede variar enormemente. Los RCA tienen una ITZ (zona de transición en la interfaz) mayor debido a su mayor absorción y porosidad⁽²²⁾. Se acepta en general que la durabilidad del hormigón se reduce cuanto mayor sea la cantidad de los RCA.

Las mezclas que contienen RCA son más rígidas y pierden la docilidad con más rapidez que las mezclas que utilizan áridos naturales⁽²⁵⁾. Las mezclas con RCA tienen un menor asiento si se comparan con las mezclas naturales con la misma relación de agua/cemento⁽²⁴⁾. El contenido de aire en las mezclas con RCA es mayor que en las mezclas naturales^(25,13).

Algunas mezclas que contienen RCA tienen una menor resistencia a compresión y a flexión^(13,27,1), mientras que otras muestran una mayor resistencia a compresión y a flexión^(23,3). El Módulo de Elasticidad se reduce con el uso de RCA^(25,13). La prueba del hielo-deshielo arroja resultados variables con los hormigones que contienen RCA^(10,26). El hormigón con RCA sufre una mayor retracción seca que el hormigón con áridos naturales^(11,3,28).

MATERIALES PARA LAS MEZCLAS DE PRUEBA

El tamaño de los RCA utilizados en el hormigón puede afectar de manera importante al comportamiento del hormigón. Los finos provenientes de RCA contienen muchas impurezas y dan como resultado una pérdida de resistencia en el hormigón. Se ha utilizado arena natural como árido fino porque ofrece una resistencia mayor que los finos provenientes de hormigón reciclado⁽²⁾.

Se escogieron los áridos gruesos reciclados triturados a partir de aceras, calzadas y arquetas de hormigón con aire ocluido porque tenían pocas impurezas y un tamaño máximo del árido de 19 mm. Con el fin de minimizar los efectos negativos sobre el comportamiento del hormigón con áridos gruesos reciclados, es importante que se limite las zonas de transición interfacial presentes en los áridos reciclados⁽²²⁾.

Propiedades	Límite superior (24)	Tipo de árido			
		37,5 mm	19 mm	RCA 19 mm	Arena
Material menor de 75 μm (%)	2	1,12	1,41	-	-
Absorción (%)	2	1,47	1,47	4,41	1,16
Densidad relativa aparente (kg/m^3)		2641	2713	2379	2683
Partículas planas y alargadas (%)	20	4,9	2,8	-	-
Pérdida de material por ciclos hielo-deshielo (%)	6	1,9	1,5	-	-
Número petrográfico	125	107	105	-	-
Partículas trituradas (%)	80	100	100	100	-
Micro-Deval (%)	14 / 20 ^(*)	-	9,6	14,6	14,7
Impurezas orgánicas	3	-	-	-	1

(*) 14 por ciento de áridos gruesos, 20 por ciento de áridos finos

Tabla 1. Propiedades de los áridos gruesos y finos.

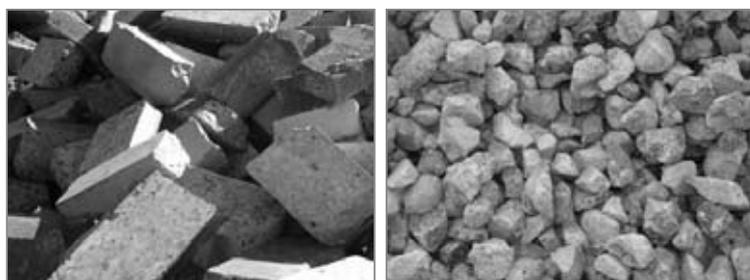


Foto 1. Árido grueso de RCA de 19 mm antes y después de triturar.

Dado que el hormigón que se trituró para fabricar los RCA contenía unos áridos con un tamaño máximo de 19 mm, éste fue el tamaño máximo de RCA utilizado. Todos los RCA por encima de 19 mm contuvieron demasiadas zonas de transición interfacial que afectaron de manera negativa a la resistencia del hormigón. La Tabla 1 recoge las propiedades de los áridos gruesos y finos utilizados en el diseño de la mezcla.

Los áridos gruesos y naturales que proporcionó el contratista satisficieron las normas del Ministerio de Transporte de Ontario sobre pavimentos de hormigón. Se seleccionó el árido grueso de reciclado de 19 mm procedente de aceras y alcantarillas de hormigón demolidas de la región de Waterloo. La Foto 1 muestra el hormigón de desecho antes de ser triturado y el árido grueso resultante que se utilizó en el estudio.

El hormigón de desecho tuvo suficiente contenido de aire, se había secado bien y tenía una resistencia a compresión superior a los 30 MPa a los 28 días, lo cual hizo de él un sustituto perfecto para el árido natural. Sin embargo, si se miden los RCA utilizando la misma escala que con los áridos naturales, se habría rechazado la fuente, ya que el resultado Micro-Deval rebasaría el límite superior admisible.

En las mezclas de prueba se utilizó cemento común (Tipo 10). El cemento contenía un 53 por ciento de sílica-

to tricálcico (Ca_3S), un 18 por ciento de silicato dicálcico (Ca_2S), un 7 por ciento de aluminato tricálcico (Ca_3A) y un 8 por ciento de aluminoferrita tetracálcica (Ca_4F): tuvo una finura Blaine de $410 \text{ m}^2/\text{kg}$. Se utilizó escoria con una finura Blaine de $532 \text{ m}^2/\text{kg}$. Se agregó Euclid Airex-L, un aditivo para oclisor de aire en una dosis de 55 ml/100 kg de cemento para aumentar la estabilidad de las burbujas de aire microscópicas. Se utilizó Euclid Eucon WR, un aditivo reductor del agua en una dosis de 250 mm/100 kg de cemento para permitir una mayor trabajabilidad y un acabado más fácil, una resistencia y durabilidad mayores, así como una retracción y permeabilidad menores.

DIRECTRICES PARA DISEÑAR LA MEZCLA

La carretera de prueba está situada en Waterloo, Ontario (Canadá), que es la zona meridional de la provincia, a unas tres horas de la frontera de Windsor con Detroit. Está situada en una zona fría y húmeda con espesores anuales típicos de hielo de 1,2 m. La Figura 1 muestra la temperatura media diaria y las precipitaciones mensuales medias desde 1998 hasta 2006. Las condiciones climatológicas en el tramo de prueba crean un entorno de hielo-deshielo. La CSA (Asociación Canadiense de Estándares) recomienda hormigón en masa para este tipo de entorno porque debería cumplir las directrices para una exposición ambiental C-2. Esta exposición se define como un hormigón en masa (sin armadura estructural) que está expuesto a los cloruros y ciclos de hielo-deshielo⁽⁸⁾.

Tomando como base la exposición C-2, el hormigón debe cumplir la norma CSA A23.1 que incluye los siguientes criterios⁽⁸⁾:



II CONGRESO NACIONAL DE ÁRIDOS
VALENCIA 2009

II CONGRESO NACIONAL DE ÁRIDOS

Palacio de Congresos de Valencia
1, 2 y 3 de Octubre de 2009
LOS ÁRIDOS: UNA MATERIA PRIMA ESTRATÉGICA



FEDERACIÓN DE ÁRIDOS | FdA



Subvencionado por



Patrocinadores



Colaboradores



Expositores



INFORMACIÓN E INSCRIPCIONES
www.congresoaridos.com

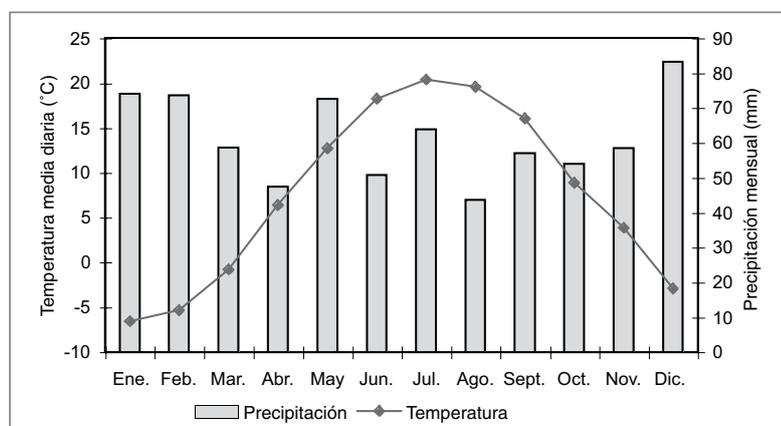


Figura 1. Medias de temperatura diaria y precipitación mensual en Waterloo.

- Una relación de agua y cemento inferior a 0,45.
- Una resistencia a compresión a los 28 días superior a 32 MPa.
- Un tamaño máximo de los áridos de 14 a 20 mm.
- Un contenido de aire de 5 al 8 por ciento.

La "American Concrete Pavement Association" recomienda además⁽²⁾:

- Un contenido en cemento superior a 335 kg/m³.
- Un asiento inferior a 100 mm.
- Un árido correctamente graduado.
- Utilización de productos de curado.

Aunque la norma de la CSA recomiende un tamaño máximo de árido de 20 mm, las especificaciones del MTO (Ministerio de Transporte de Ontario) permiten un árido de hasta 37,5 mm en las aplicaciones para carreteras. El MTO también permite que se sustituya un 25 por ciento del contenido de cemento en peso por escorias⁽²¹⁾. El aumento del tamaño de los áridos y del contenido de escorias reduce el coste de la mezcla.

MEZCLAS DE ENSAYO

Se llevaron a cabo ensayos de laboratorio sobre doce mezclas de prueba con el fin de determinar las mejores mezclas para el tramo de ensayo del CPATT. Se utilizó un diseño de fábrica de 4x3 que consistió en cuatro cantidades de áridos gruesos reciclados (0, 15, 30 y 50 por ciento) y tres contenidos de cemento (315, 330 y 345 kg). Las mezclas se realizaron utilizando un método de diseño en base al volumen. La Tabla 2 resume la cantidad de cada material empleado en las mezclas de ensayo basándose en áridos secos con la superficie saturada. Las Figuras 2 y 3 muestran las granulometrías de áridos gruesos y finos para los contenidos variables de árido reciclado, habiéndose aplicado una proporción de árido grueso y fino al 65 por ciento y al 35 por ciento respectivamente.

El hormigón se mezcló en una cuba portátil. Cada mezcla se dividió en dos lotes de 0,03 m³. El primer lote se mezcló y se midió la densidad, el contenido de aire y el asiento en estado fresco. Después, se depositó el primer lote

		Cemento (kg)	Escoria (kg)	Agua (kg)	39 mm nat. (kg)	19 mm nat. (kg)	19 mm RCA (kg)	Arena (kg)	Aire (ml)	WR (ml)
0% RCA	Mezcla 1	236	79	135	504	777	0	620	174	788
	Mezcla 2	247	83	137	504	776	0	620	182	825
	Mezcla 3	259	86	144	492	758	0	599	190	863
15% RCA	Mezcla 1	236	79	135	504	582	170	619	174	788
	Mezcla 2	247	83	142	502	580	170	161	182	825
	Mezcla 3	259	86	150	496	573	167	607	190	863
30% RCA	Mezcla 1	236	79	134	509	392	244	629	174	788
	Mezcla 2	247	83	143	501	386	339	616	182	825
	Mezcla 3	259	86	149	498	383	336	610	190	863
50% RCA	Mezcla 1	236	79	137	512	131	576	634	174	788
	Mezcla 2	247	83	145	505	130	569	623	182	825
	Mezcla 3	259	86	147	499	128	562	613	190	863

Nat. = Árido natural; Aire = Inclusión de aire; WR = Reductor del agua

Tabla 2. Cantidades de material en las mezclas de ensayo por m³ de hormigón.

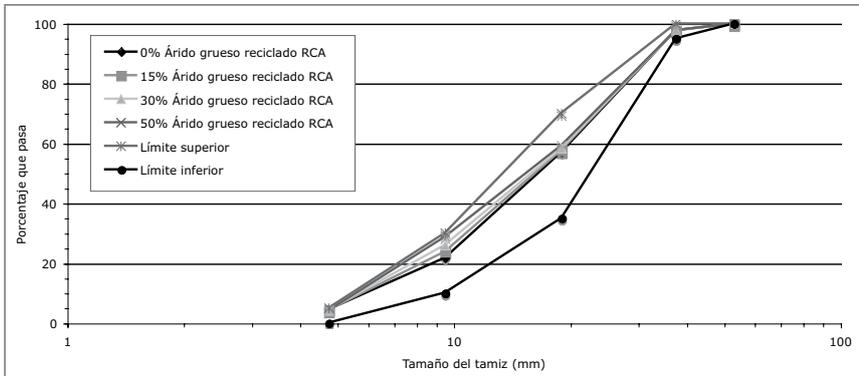


Figura 2. Granulometría de árido grueso.

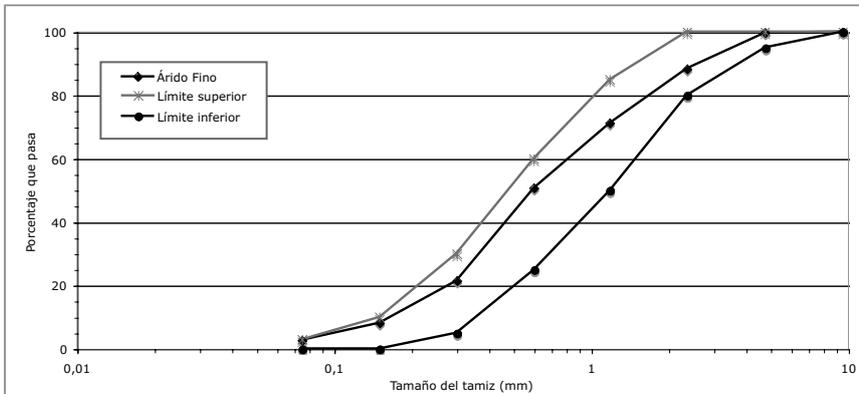


Figura 3. Granulometría de árido fino.

mientras se mezclaba el segundo. Tomando como base las propiedades del hormigón fresco del primer lote, se ajustó la cantidad de agua en el segundo. A continuación se mezclaron y amasaron los lotes durante unos cinco minutos. Se anotaron las propiedades de la mezcla conjunta fresca y se fabricaron probetas. Se fabricaron ocho probetas por cada una de las doce mezclas con el fin de

ensayar la resistencia a compresión y para llevar a cabo un análisis de la porosidad.

RESULTADOS DE LABORATORIO DE LAS MEZCLAS DE PRUEBA

Se midieron la densidad, el contenido de aire y el asiento del hormigón fresco en cada mezcla. Se midió inicialmente la resistencia a compresión entre los cuatro y los seis días y, después, a los siete, catorce y veintiocho días. La Tabla 3 resume los resultados de los ensayos de laboratorio.

La resistencia a compresión aumentó conforme aumentaba el contenido de cemento en todas las mezclas ensayadas con áridos reciclados. Sin embargo, esta resistencia disminuyó según aumentaba el contenido de cemento en las mezclas ensayadas que sólo contenían áridos naturales. Puesto que

todas las mezclas alcanzaron los 30 MPa especificados a los 28 días, se seleccionaron las mezclas con menor contenido de cemento para los ensayos de campo.

Se recurrió al análisis de la porosidad para confirmar el contenido de aire del hormigón fraguado y para comprobar el factor de separación. La Tabla 4 muestra los

	Densidad (kg/m ³)	Aire (%)	Asiento (mm)	Resistencia a compresión (MPa)					
				4 días	5 días	6 días	7 días	14 días	28 días
Mezcla 1	2350	5,9	40	-	-	23,2	24,1	34,7	40,7
Mezcla 2	2367	5,6	40	-	-	22,2	25,3	37,4	40,0
Mezcla 3	2338	6,1	40	-	-	24,4	25,9	34,1	39,1
Mezcla 1	2325	6,8	40	-	20,8	-	22,5	34,1	36,0
Mezcla 2	2340	5,8	40	-	25,7	-	27,6	39,0	43,0
Mezcla 3	2338	5,8	40	-	23,9	-	27,0	40,9	44,3
Mezcla 1	2323	6,1	40	15,9	-	-	22,2	31,1	36,9
Mezcla 2	2315	6,0	40	21,0	-	-	27,1	35,4	42,4
Mezcla 3	2321	6,1	40	19,9	-	-	28,4	36,6	43,0
Mezcla 1	2306	5,7	40	-	-	24,4	26,9	34,1	42,7
Mezcla 2	2301	6,1	40	-	-	24,8	26,8	35,5	43,0
Mezcla 3	2293	5,8	40	-	-	28,0	29,6	37,8	43,0

Tabla 3. Resultados de las pruebas de laboratorio

Mezcla	Contenido de aire (%)		Espaciamento (mm)
	Fresco	Fraguado	
0% RCA	5,2	5,9	0,134
15% RCA	6,6	6,8	0,180
30% RCA	5,3	6,1	0,125
50% RCA	5,6	5,7	0,143

Tabla 4. Resultados del análisis de porosidad

resultados del análisis de porosidad y compara el valor del contenido de aire del hormigón fraguado con el hormigón fresco. El valor máximo especificado del factor de separación es de 0,23 mm. El contenido de aire y los factores de separación estuvieron dentro del intervalo especificado para todos los ensayos de mezcla. Esto debería brindar suficiente protección frente a los ciclos de hielo-deshielo.

Los diseños de mezcla escogidos para su utilización en el tramo de prueba del CPATT fueron las mezclas de ensayo #1. Estas mezclas tienen el contenido más bajo de cemento y aunque es inferior al recomendado por la ACPA de 335 kg/m³, se obtuvo una resistencia adecuada y ofrecen una mezcla más económica.

DISEÑO Y SITUACIÓN DEL TRAMO DE PRUEBA

El tramo de prueba se halla en el vertedero de la región de Waterloo, tiene 180 m de largo y 2 carriles de 8,5 m de anchura. El tráfico consiste casi en su totalidad en camiones de basura que entran y salen del vertedero y se calcula que pasan al año 33.500 camiones en cada sentido. Esto equivale a 149.000 ejes con carga (ESAL) en la dirección cargada o 4.265.000 ejes con carga ESAL sobre el pavimento durante la vida de diseño de 20 años.

Para soportar esta carga, la estructura del pavimento consiste en 250 mm de hormigón, 100 mm de OGD (capa de drenaje con áridos de tamaño uniforme) estabilizada con emulsiones bituminosas y 450 mm de material granular compactado. La separación de las juntas siguió las directrices de construcción del MTO con una separación variable entre

juntas de 3'7 m, 4'5 m, 4 m y 4'3 m que se repiten sistemáticamente. La transmisión de la carga se logró con unos pasadores revestidos de resina epoxy separados 300 mm a lo largo de toda la anchura del pavimento.

Una de las losas de cada tramo de prueba se dotó de:

- seis medidores de la deformación, de hilo de alambre embebido en el hormigón, para medir la deformación longitudinal y transversal a largo plazo debidas a los cambios ambientales,
- dos extensómetros verticales de alambre vibratorio para controlar la flexión y el alabeo de la losa,
- dos extensómetros de alambre vibratorio entre losas para medir el escalonamiento de las juntas, y
- dos medidores de madurez para medir la madurez y la temperatura.

Cada uno de los diseños de mezcla 1 se colocó en el tramo de prueba del CPATT para controlar el comportamiento real *in situ* de los pavimentos de hormigón con áridos reciclados. El tramo de prueba de comportamiento real *in situ* que solamente contiene áridos naturales

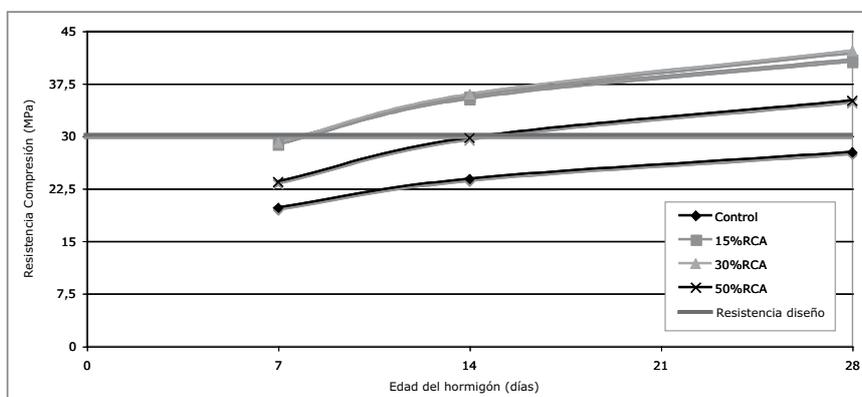


Figura 4. Evolución de la resistencia a compresión.

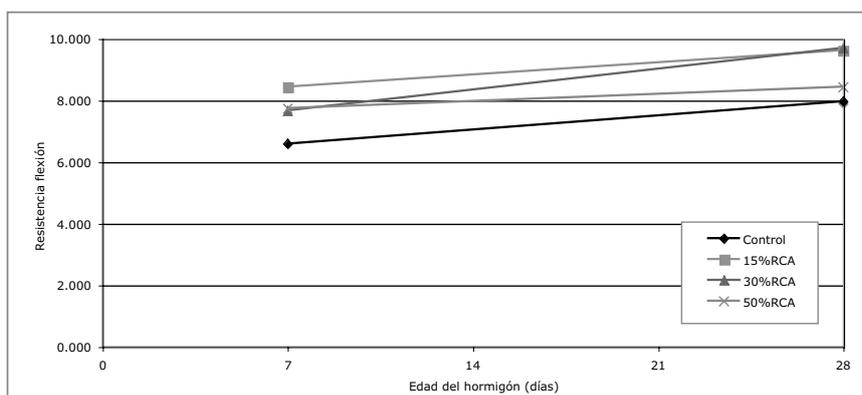


Figura 5. Evolución de la resistencia a flexión.

	0% RCA		15% RCA		30% RCA		50% RCA	
	RDM	Masa	RDM	Masa	RDM	Masa	RDM	Masa
Viga 1	91,2%	-0,54%	90,3%	-0,62%	92,0%	-0,68%	88,9%	-0,19%
Viga 2	89,3%	-0,54%	89,7%	-0,54%	86,2%	-0,84%	91,3%	-0,35%
Promedio	90,3%	-0,54%	90,0%	-0,58%	89,1%	-0,76%	90,1%	-0,27%

RDM = Módulo dinámico relativo; Masa = Cambio en la masa

Tabla 5. Resultados del ensayo de congelación-descongelación.

Propiedades	Bibliografía	UW RCA
Docilidad	Disminuye	Disminuye
Asiento	Disminuye	Semejante
Contenido de aire	Aumenta	Semejante o mayor
Absorción	Aumenta	Aumenta
Resistencia a compresión	Disminuye	Aumenta
Resistencia a flexión	Disminuye	Aumenta
Hielo-deshielo	Resultados mixtos	Semejante

Tabla 6. Características del hormigón con áridos reciclados frente al hormigón sin áridos reciclados

fue de 30 m de longitud, mientras que las que contenían áridos reciclados fueron de 50 m de longitud. El 13 de junio de 2007, se instalaron los tramos de prueba con el 15 por ciento de árido reciclado, con el 30 por ciento y con el 50 por ciento.

Con cada cantidad de áridos reciclados, se fabricaron vigas y probetas cilíndricas para hacer ensayos de laboratorio. Se prepararon doce probetas cilíndricas: nueve para ensayar la resistencia a compresión, dos para ensayar la madurez y uno para el análisis de porosidad. Asimismo, se fabricaron tres vigas por cada tramo de prueba para ensayar la resistencia a flexión y dos vigas para ensayar la resistencia a ciclos hielo-deshielo.

RESULTADOS INICIALES DEL COMPORTAMIENTO DEL TRAMO DE PRUEBA

Se llevó a cabo el ensayo de resistencia a compresión con probetas cilíndricas de 150 x 300 mm de hormigón vibrado. El ensayo de resistencia a compresión se realizó según el método de ensayo de resistencia a compresión de probetas cilíndricas de hormigón conforme a la norma C39 de la ASTM a los siete, catorce y veintiocho días⁽⁵⁾.

La Figura 4 muestra la evolución de la resistencia a compresión a partir de las mezclas utilizadas en el tramo de prueba. Esta resistencia aumentó desde los áridos reciclados al 0% hasta los áridos reciclados al 30%. Todas las mezclas con áridos reciclados alcanzaron la resistencia de diseño a los 28 días, pero no fue así en el caso del tramo de comparación sin árido reciclado. Se prevé

que el tramo de comparación alcance la resistencia de diseño a los 28 días cuando hayan transcurrido 36 días.

Los resultados muestran que se puede utilizar un contenido de árido reciclado del 30 por ciento sin que afecte negativamente a la resistencia a compresión. El desarrollo de la resistencia fue más lento en el caso del hormigón de la obra que en las probetas.

Esto se debe a que la elevada temperatura del aire provoca una pérdida de humedad en el hormigón durante la hidratación. Esto ocurrió debido a la evaporación aérea, la absorción de agua de los áridos reciclados y porque la humedad pasó de la mezcla a la capa porosa estabilizada con emulsión bituminosa.

Se ensayó la resistencia a flexión de vigas de 150 x 150 x 600 mm de hormigón vibrado. Se ensayaron las vigas a siete y veintiocho días según el método de ensayo de resistencia a flexión del hormigón siguiendo la norma C 78 de la ASTM que consiste en un dispositivo de flexión en tres puntos⁽⁵⁾.

La Figura 5 muestra los resultados de la resistencia a flexión, que evolucionó con una tendencia similar a la resistencia a compresión. La resistencia a flexión aumentó hasta el 30% de áridos reciclados y los resultados son mejores que el valor recomendado de la CAC del 8 al 12 por ciento de la resistencia a compresión o del 0,6 a 0,8 de esa resistencia⁽¹⁴⁾. Los valores de la resistencia a flexión oscilaron entre el 23,0 por ciento de la resistencia a compresión con áridos reciclados al 30% y el 28,8 por ciento en el caso de áridos reciclados al 0%.

El ensayo para ciclos hielo-deshielo se realizó según el método de ensayo acelerado de resistencia del hormigón a ciclos hielo-deshielo de la norma C 666 Procedimiento A de la ASTM⁽⁵⁾. Se colocaron las vigas en una cámara de congelación-descongelación con un ciclo de -20 °C a +40 °C y se repitió después de cuatro horas. La Tabla 5 muestra los resultados al final de 300 ciclos para el módulo dinámico relativo y la pérdida de peso. El RDM (Módulo dinámico relativo) es semejante en todas las vigas. La cantidad de pérdida de masa se reduce conforme aumenta el contenido de áridos reciclados.

Valor PCI	100 – 85	85 – 70	70 – 55	55 – 40	40 – 25	25 – 10	10 – 0
Puntuación	Excelente	Muy bueno	Bueno	Suficiente	Malo	Muy malo	No apto

Tabla 7. Escala de puntuación del Índice del estado de un pavimento.



Foto 2. Fotografías PCI del tramo de prueba: 2 de abril de 2008.

RESULTADOS COMPARADOS CON LA BIBLIOGRAFÍA

La Tabla 6 compara las características del hormigón que contiene áridos reciclados de fuentes bibliográficas y el hormigón de alta calidad con áridos reciclados de este estudio con el hormigón sin áridos reciclados. Si se compara con los valores de la bibliografía, se obtuvieron mejoras en el asiento, el contenido de aire, la resistencia a compresión y a flexión utilizando un diseño de mezcla que contenía áridos reciclados de gran calidad dentro de un rango de tamaños específicos.

RESULTADOS DEL PAVIMENTO EN SERVICIO

Los resultados del pavimento de los cuatro tramos de prueba se han valorado mediante inspecciones visuales llevadas a cabo siguiendo el manual para evaluar el estado de los pavimentos rígidos del MTO^(*). La norma utiliza el tipo, la gravedad y la densidad del desgaste para calcular el valor PCI (índice del estado de un pavimento). Este valor se utiliza para determinar el tratamiento/opciones de mantenimiento, determinar el grado de deterioro del pavimento y el calendario de operaciones prioritarias de mantenimiento. No se trata de una medida de la capacidad estructural, de la textura superficial ni de la resistencia al deslizamiento. La escala PCI oscila entre 100 (perfecto/excelente) y 0 (totalmente deteriorado/no apto). La Tabla 7 ilustra esta escala de PCI.

Se han llevado a cabo tres estudios desde la construcción en junio de 2007. Las secciones de prueba han experimentado durante este periodo de tiempo el equivalente a 100.000 cargas de eje. La Foto 2 muestra el estado de las secciones de prueba y la Tabla 8 presenta los resultados del estudio realizado en 2 de abril de 2008 sobre el estado del pavimento.

Todas las secciones de prueba se hallan en un estado excelente y tienen un buen comportamiento. No ha habido cambios en el PCI de los tramos de prueba desde que se llevó a cabo la última valoración en septiembre. Todos los tramos de prueba están experimentando los mismos tres tipos de desgaste (parqueo, escalonamiento entre el carril y el arcén y desportillado de las juntas) con grados muy semejantes de gravedad y densidad.

Existe una pequeña cantidad de parqueo en cada uno de los tramos de prueba derivadas de una investigación para comprobar la alineación y la profundidad de los pasadores y una corrección de los extensómetros entre losas para controlar el escalonamiento de las juntas. El parqueo no se debe al proceso de construcción ni a defectos del material, sino que procede de investigaciones adicionales. El escalonamiento entre el carril y el

Sección de prueba	PCI (x/100)	Desgaste		
		Tipo	Gravedad	Densidad ^(*)
0% RCA	93	Exfoliación	Muy grave	Frecuente
		Desportillado de juntas y grietas	Moderada	Frecuente
15% RCA	92	Desportillado de juntas y grietas	Moderada	Frecuente
30% RCA	93	Baches	Ligera	Poca
		Desportillado de juntas y grietas	Moderada	Frecuente
50% RCA	92	Desportillado de juntas y grietas	Moderada	Frecuente

(*) Densidad (% de la superficie del pavimento afectada): Poca (inferior al 10 %); Aislada (10-20%), Frecuente (20-50%); Elevada (50-80%) y Total (80-100%).

Tabla 8. Resultados de valoración PCI del tramo de prueba: 2 de abril de 2008.

arcén afecta a casi toda la longitud del carril de descarga en dirección sur y la provoca el paso de los camiones de basura. El hecho de que los camiones no permanezcan en el carril designado ha provocado el deterioro de los bordes del pavimento.

CONCLUSIONES

Este estudio aporta pruebas que fundamentan las siguientes conclusiones:

- El hormigón con áridos reciclados se utilizó con éxito en un tramo de prueba para los ensayos *in situ*.
- Si se utiliza una mezcla con áridos reciclados gruesos de calidad y un tamaño concreto, el hormigón resultante tiene comportamiento similar al hormigón sin áridos reciclados.
- No existe una diferencia significativa en el comportamiento de los cuatro tramos de prueba (0%, 15%, 30% y 50% de áridos reciclados) y se encuentran en un excelente estado con un PCI superior a 90 tras cinco meses de servicio.

RECOMENDACIONES

Si se desean utilizar los RCA a gran escala, se habrán de obtener resultados consistentes y predecibles cuando se empleen mezclas con árido reciclado. Para lograrlo, son necesarios nuevos estudios en los siguientes campos:

- Comparación de mezclas de hormigón con distintas fuentes de árido reciclado, incluyendo fuentes de árido reciclado que sean limpias, contaminadas y con un curado distinto.
- Comparación de mezclas de hormigón con diferentes contenidos de áridos reciclados para hallar la cantidad óptima.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a las siguientes personas e instituciones su apoyo:

- CPATT brindó sus conocimientos técnicos y las instalaciones de prueba.
- La Asociación Canadiense del Cemento aportó los fondos.

- Dufferin Construction aportó los laboratorios y las mezclas de hormigón.
- Steed y Evans proporcionaron los áridos reciclados.
- Smith Recycling trituró los áridos reciclados.
- Jai Tiwari, asesor de materiales, que ayudó con el diseño y las proporciones de la mezcla.
- Jodi Norris, el técnico de investigación del CPATT, Eugene Kim y Xin Xu, estudiantes que ayudaron con los lotes y las pruebas.

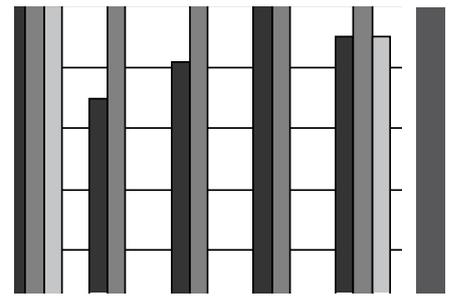
Se agradece enormemente el ambiente de colaboración de este proyecto de investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abou-Zeid, Mohamed Nagib, Shenouda, Mourad N., McCabe, Steven L. y El-Tawil, Farrah A. (2005). "Reincarnation of Concrete," *Concrete International*, V. 27, n° 2, febrero, págs. 53-59.
2. American Concrete Pavement Association. (1993). "Recycling Concrete Pavement," *Concrete Paving Technology*, TB-014P.
3. Ajdukiewicz, Andrzej, y Kliszczewica, Alina. (2002). "Influence of Recycled Aggregates on Mechanical Properties of HS/HPS," *Cement and Concrete Composites*, V. 24, n° 2, págs. 269-279.
4. Aggregate Producers Association of Ontario. (2004). "Importance of Aggregate," *The About Aggregate Series*, Mississauga, Ontario, págs. 1-4.
5. ASTM. (2004). "Annual Book of ASTM Standards," Volumen 04.02, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
6. Bairagi, N. K., Vidyadhara, H. S. y Ravande, Kishore. (1990). "Mix Design Procedure for Recycled Aggregate Concrete," *Construction and Building Materials*, V. 4, n° 4, diciembre, págs. 188-193.
7. Chong, G. J., and Wrong, G. A. (1995). "Manual for Condition Rating of Rigid Pavements – Concrete Surface and Composite Distress Manifestations," Research and Development Branch, Ministerio de Transporte, Ontario, St. Catherines, ON.

8. CSA International. (2000). "Concrete Materials and Methods of Concrete Construction," CSA A23.1-00, Asociación Canadiense de Normativa, Mississauga, ON.
9. Federal Highway Administration. (2004). "Transportation Applications Of Recycled Concrete Aggregate: FHWA State of the Practice National Review September 2004," Departamento de Transporte de EE.UU., Washington, DC.
10. Gokce, A., Nagataki, S., Saeki, T. y Hisada, M. (2002). "Freezing and Thawing Resistance of Air-Entrained Concrete Incorporating Recycled Coarse Aggregate: The Role of Air Content in Demolished Concrete," *Cement and Concrete Research*, V. 34, n° 5, págs. 799-806.
11. Hansen, Torben C. y Boegh, Erik. (1985). "Elasticity and Drying Shrinkage of Recycled-Aggregate Concrete," *ACI Materials Journal*, V. 82, n° 5, septiembre-octubre, págs. 648-652.
12. Hansen, Torben C. y Hedegard, Soren E. (1984). "Properties of Recycled Aggregate Concretes as Affected by Admixtures in Original Concretes," *ACI Journal*, enero-febrero, págs. 21-26.
13. Katz, Ammon. (2003). "Properties of Concrete Made with Recycled Aggregate from Partially Hydrated Old Concrete," *Cement and Concrete Research*, V. 34, n° 5, págs. 703-711.
14. Kosmatka, Steven H., Kerhoff, Beatrix, MacLeod, Norman F. y McGrath, Richard J. (2002). "Design and Control of Concrete Mixtures," EB101, 7ª edición canadiense, Asociación Canadiense del Cemento, Ottawa, ON.
15. McMacNaughton, Ian. (2004). "Ontario's Aggregates Are a Diminishing Resource," *Ontario Hot Mix Producers Association Fall Seminar Presentations*, 8 de diciembre.
16. Mehta, P. Kumar. (2001). "Reducing the Environmental Impact of Concrete," *Concrete International*, V. 23, n° 10, octubre, págs. 61-66.
17. Miller, Gord. (2005). "Running Out of Gravel and Rock," *Toronto Star*, 6 de enero, pág. A22.
18. Naik, Tarun R. y Moriconi, G. (2005). "Environmental-Friendly Durable Concrete Made with Recycled Materials for Sustainable Concrete Construction," *Simposio Internacional sobre el Desarrollo Sostenible del Cemento el Hormigón y las Estructuras de Hormigón*, Toronto, Ontario, 5-7 de octubre, págs. 277-298.
19. Oikonomou, Nik. D. (2003). "Recycled Concrete Aggregates," *Cement and Concrete Composites*, V. 25, No. 2, pp. 315-318.
20. Olorunsogo, F.T. y Padayachee, N. (2002). "Performance of Recycled Aggregate Concrete Monitored by Durability Indexes," *Cement and Concrete Research*, V. 32, págs. 179-185.
21. Ontario Provincial Standard Specification. (2005). "Material Specification for Aggregate - Concrete," OPSS 1002 (borrador 2), Ministerio de Transporte, Ontario, St. Catherines, ON.
22. Poon, C. S., Shui, Z. H. y Lam, L. (2004). "Effect of Microstructure of ITZ on Compressive Strength of Concrete Prepared with Recycled Aggregate," *Construction and Building Materials*, V. 18, n° 6, págs. 461-468.
23. Poon, C.S., Kou, S.C. y Lam, L. (2002). "Use of Recycled Aggregates in Molded Concrete Bricks and Blocks," *Construction and Building Materials*, V. 16, n° 5, págs. 281-289.
24. Rashwan, M. Shokry y AbouRizk, Simaanv. (1997). "The Properties of Recycled Concrete," *Concrete International*, V. 18, n° 7, julio, págs. 56-60.
25. Salem, Rohi M., Burdette, Edwin G. y Jackson, N. Mike. (2003). "Resistance to Freezing and Thawing of Recycled Aggregate Concrete," *ACI Materials Journal*, V. 100, n° 3, mayo-junio, págs. 216-221.
26. Salem, Rohi M. y Burdette, Edwin G. (1998). "Role of Chemical and Mineral Admixtures on Physical Properties and Frost-Resistance of Recycled Aggregate Concrete," *ACI Materials Journal*, V. 95, n° 5, septiembre-octubre, págs. 558-563.
27. Shayan, Ahmad y Xu, Aimin. (2003). "Performance and Properties of Structural Concrete Made with Recycled Concrete Aggregate," *ACI Materials Journal*, V. 100, n° 5, septiembre-octubre, págs. 371-380.
28. Tavakoli, Mostaza y Soroushian, Parviz. (1996). "Drying Shrinkage Behavior of Recycled Aggregate Concrete," *Concrete International*, V. 18, n° 11, noviembre, págs. 58-61.1. 

Propiedades para firmes del hormigón fabricado con áridos siderúrgicos



Fresh and hardened properties of paving concrete with steel slag aggregate

Paul BOSELA

Catedrático, Universidad estatal de Cleveland (USA)
Departamento de ingeniería civil y medioambiental

Norbert DELATTE

Catedrático, Universidad estatal de Cleveland (USA)

Richard OBRATIL

Estudiante, Universidad estatal de Cleveland (USA)

Ashish PATEL

Estudiante, Universidad estatal de Cleveland (USA)

RESUMEN

En 2006, se produjeron 8,6 millones de toneladas de escorias siderúrgicas en los Estados Unidos. Aunque la escoria siderúrgica se utilice en la actualidad como árido en firmes de mezclas bituminosas en caliente, este documento estudia la posibilidad de utilizar este subproducto industrial como sustitutivo tanto de áridos finos como de áridos gruesos en las mezclas convencionales de hormigón.

La primera fase de este estudio examinó los efectos sobre las propiedades del hormigón fresco y fraguado de la sustitución de un porcentaje del volumen tanto de áridos finos como de áridos gruesos por la escoria siderúrgica disponible en el área nororiental de Ohio. La base para la comparación fue la mezcla de hormigón para firmes Clase C, opción 1 del Departamento de Transporte de Ohio. Durante este programa se utilizaron tres tipos de escorias siderúrgicas. El fabricante/proveedor había envejecido y ensayado la expansividad de la escoria tal como exigía el Departamento de Transporte de Ohio.

Se estudiaron según las directrices de la norma ASTM las propiedades de docilidad del hormigón fresco, el contenido de aire y la densidad, así como la resistencia a compresión y a tracción del hormigón fraguado. Esta investigación preliminar demuestra que se pueden cumplir las especificaciones que exige el Departamento de Transporte de Ohio. Está en marcha un estudio en profundidad para evitar el deterioro del pavimento terminado.

Palabras clave: Hormigón, Escoria siderúrgica, Árido, Hormigón fresco, Hormigón fraguado, Árido fino.

ABSTRACT

In 2006 the United States saw the production of 8.6 million tons of steel slag. Although steel slag is currently used as an aggregate in Hot Mix Asphalt surface applications, this paper examines the feasibility of utilizing this industrial by-product as a replacement for both fine and coarse aggregate in conventional concrete mixtures.

The first phase of this research examined the effects on the fresh and hardened properties of concrete caused by replacing a percentage of the volume of both fine and coarse aggregate with steel slag available in the Northeastern Ohio area. The basis for comparison was the Ohio Department of Transportation Class C option 1 concrete paving mixture. During this program three types of steel slag were utilized. The slag had been aged and tested for expansion by the producer/supplier, as required by the Ohio Department of Transportation.

The fresh concrete properties of workability, air content and unit weight, and hardened properties of compressive and splitting tensile strength were examined per standard ASTM guidelines. This preliminary investigation demonstrates that the specifications called for by the Ohio Department of Transportation can be met. Further study to assure that the performance of the finished pavement is not degraded is on-going.

Key words: Concrete, Steel slag, Aggregate, Fresh concrete, Hardened concrete, Fine aggregate.



al como define la “*American Society for Testing and Materials*” (ASTM), la escoria siderúrgica es un producto no metálico que consta fundamentalmente de silicatos cálcicos y ferritas combinados con óxidos fundidos de hierro, aluminio, manganeso, calcio y magnesio⁽²⁾. Se trata de un subproducto de las acerías que aparece cuando se separa el acero fundido de las impurezas en los hornos altos. El acero se fabrica mediante un proceso en dos etapas.

En primer lugar, se funde el mineral de hierro en un alto horno, que produce arrabio. A continuación, el acero se fabrica a partir del arrabio y/o chatarra en un *horno de oxígeno básico (BOF)* o en un *horno de arco eléctrico (EAF)*. La escoria flota en la superficie mientras que el metal fundido más pesado se deposita en el fondo del recipiente y se vierte durante el proceso de fabricación⁽¹⁴⁾.

Cuando se utiliza el BOF, se producen de 75 a 150 kilos de escoria siderúrgica por tonelada acero. Cuando se utiliza el EAF la cantidad es de 65 a 80 kilos por tonelada⁽²⁾. Según los “*U.S. Geological Survey Mineral Commodity Summaries*”, en el año 2006 se produjeron 21,5 millones de toneladas de escorias de las cuales el 40 por ciento se clasificarían como escoria siderúrgica⁽¹³⁾.

IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

Los usos beneficiosos de los subproductos industriales fomentan en general el desarrollo sostenible, la construcción ecológica y la responsabilidad medioambiental, reduciendo la cantidad de materiales que se deben desechar en vertederos y sustituyendo otros materiales como son los áridos naturales, que se han de extraer en minas. Los áridos naturales son cada vez más escasos y su extracción y transporte se están haciendo más difíciles y medioambientalmente molestos.

Este estudio se inició para conocer la posibilidad de utilizar la escoria siderúrgica generada en las acerías de la región nororiental de Ohio como sustitución de los áridos naturales en diversos hormigones. El transporte es el coste más importante de la escoria siderúrgica, por lo que es posible reducir los costes con respecto al hormigón fabricado con áridos naturales siempre y cuando no empeore su comportamiento.

USOS ACTUALES Y BARRERAS A SU UTILIZACIÓN

Según el folleto de la “*National Slag Association*”, “*Steel Slag: A Premier Construction Aggregate*” (*Escoria siderúrgica: un árido de construcción básico*), la escoria siderúrgica se utiliza actualmente en los pavimentos bituminosos, para fabricar cemento Pórtland, en bases de carreteras y en la agricultura. El folleto no enumera su uso como árido para el hormigón. La bibliografía técnica sobre el uso de escoria siderúrgica en el hormigón es limitada y no arroja conclusiones, especialmente con respecto al comportamiento a largo plazo.

Existe la percepción, fundamentada en la utilización previa, de que el hormigón con escoria siderúrgica muestra unos problemas inaceptables en cuanto a su durabilidad debido a las características expansivas de algunos de sus componentes, pero gran parte de la información es de naturaleza anecdótica y no está documentada con estudios de investigación. Se ha sugerido que la cal (CaO) y el óxido de magnesio (MgO) de la escoria provocan estos problemas.

Los departamentos de transporte estatales exigen ahora controles de la calidad mucho más estrictos sobre la escoria siderúrgica. En la actualidad se envejece en un entorno húmedo para reducir sus propiedades expansivas y se ensaya la expansividad antes de su utilización, incluso para las aplicaciones en pavimentos bituminosos, en donde puede producirse una expansión que provoca la pérdida de material.

Los trabajos previos de la Universidad estatal de Cleveland⁽⁷⁾ estudiaron con resultados satisfactorios los efectos de la sustitución de diversos porcentajes de árido natural por escoria siderúrgica envejecida cuya expansividad había sido ensayada en una mezcla de hormigón estándar para firmes. Se han obtenido mezclas de hormigón utilizando escoria procedente de un horno de arco eléctrico que tienen unas buenas propiedades tanto en fresco como después del fraguado, así como un comportamiento aceptable frente a las condiciones medioambientales agresivas⁽³⁾. Algunas de las propiedades del hormigón con áridos de escoria siderúrgica fueron mejores que las del hormigón con áridos de piedra caliza machacada, aunque la densidad del primero fue mayor que la del último⁽⁵⁾.

Otros estudios⁽⁴⁾ reafirmaron que con las proporciones adecuadas, se consiguen una resistencia mecánica y una durabilidad del hormigón con áridos de escoria aceptables, pero la resistencia a los ciclos hielo/deshielo continuó siendo un problema en las mezclas ensayadas.

Ensayo	Protocolos y métodos	Número de ensayos
Árido		
Dosificaciones	ASTM C 136	18 (6ea. De 3 tipos)
Propiedades del hormigón fresco		
Docilidad	ASTM C 143	1
Contenido de aire	ASTM C 231	1
Densidad	ASTM C 138	1
Propiedades del hormigón fraguado		
Resistencia a compresión	ASTM C 39, cilindros 4" x 8"	2 de cada edad, total de 4
Resistencia a tracción indirecta	ASTM C 496, cilindros 4" x 8"	4 de cada edad, total de 8

Tabla 1. Programa experimental de ensayos.

También se ha descubierto⁽¹⁰⁾ que se puede utilizar la escoria siderúrgica como cemento. Sin embargo, se deben utilizar junto con la escoria algunos materiales que sean capaces de consumir cal y eliminar la posible expansividad del conjunto. El uso de escorias junto con cenizas volantes en el cemento⁽⁸⁾ demostró que era factible el diseño de mezclas de hormigón de bajo coste para firmes utilizando estos materiales. También se ha investigado en entornos marinos japoneses el comportamiento de bloques carbonatados, que utiliza escorias siderúrgicas como árido⁽⁹⁾.

PROGRAMA EXPERIMENTAL

1. Protocolo

Esta investigación experimental preliminar recurrió a una mezcla para firmes *Clase C, opción 1*, del Departamento de Transporte de Ohio (ODOT) como base. Se sustituyó por escoria siderúrgica un porcentaje del volumen total de áridos normalmente utilizados en la fabricación del hormigón en Ohio nororiental. Esta sustitución se llevó a cabo en incrementos de aproximadamente el 10 por ciento hasta que se agotó el suministro inicial.

Antes de la fabricación de la mezcla, se ensayaron las dosificaciones de las muestras de escoria siderúrgica y se compararon con las muestras fabricadas con áridos estándar. A continuación se aplicaron estas dosificaciones a las mezclas fabricándose todo el hormigón en el Laboratorio de investigación del hormigón situado en la *Facultad Fenn de Ingeniería* de la Universidad Estatal de Cleveland.

Se registraron tanto las propiedades del hormigón fresco como del hormigón fraguado según el estándar ASTM correspondiente. Se ensayaron las muestras de hormigón fraguado a los 7 y a los 28 días. La Tabla 1 recoge los protocolos y los métodos aplicados durante el estudio.

En el caso de las proporciones de la mezcla recogidas en la Tabla 2, la *ODOT 499.03* especifica que esta dosificación del hormigón se basa en el desarrollo de una resistencia media a compresión del hormigón a 28 días de 4.000 libras por pulgada cuadrada (28,0 MPa) para la Clase C⁽¹¹⁾.

2. Dosificaciones

Las muestras con escoria siderúrgica que proporcionó Stein Inc. consistieron en 600 libras de escoria siderúrgica de 3/4 de pulgada, 560 libras de escoria siderúrgica de 1/2 pulgada y 600 libras de escoria siderúrgica como áridos finos clase C. El examen visual inicial de las muestras de escoria siderúrgica determinó que se habían mezclado tanto áridos finos como gruesos.

Se tomaron seis muestras de 2 kg de media cada una de cada uno de los tres tipos de escoria siderúrgica y se tamizaron según la norma ASTM C 136. Los resultados medios del porcentaje de los tres tipos de escoria siderúrgica que pasó la criba se compararon con las curvas de la mezcla determinadas por J.M. Shilstone⁽¹¹⁾.

3. Propiedades del hormigón fresco

Antes de mezclar el lote de hormigón se pesó cada uno de los áridos que se iban a utilizar y se introdujeron en un horno a 105° C durante 24 horas para determinar el contenido de humedad. Como se advierte en la Tabla 1, las propiedades del hormigón fresco ensayadas para este estudio fueron la docilidad, el contenido de aire y la densidad.

Para este programa de mezclas se decidió utilizar 15 cilindros de plástico con unas dimensiones de 4 x 8 pulgadas. Cada uno de los cilindros consistió en dos elementos rellenos según los requisitos del ensayo de la ASTM (*"American Society for Testing and Materials"*). Las partes superiores se nivelaron con una llana y se curaron

Diseño de la mezcla para investigación									
Tipo de mezcla	Peso del árido SSD								Relación máx. agua-cemento
	Árido fino		Árido grueso		Escoria siderúrgica		Contenido de cemento		
	lb	kg	lb	kg	lb	kg	lb	kg	
ODOT clase C Alto	1270	753	1610	955	-	-	600	356	0,50
¾" al 20%	1270	463	1249	567	675	306	600	356	0,50
¾" al 30%	1020	405	1093	496	1013	459	600	356	0,50
¾" al 40%	893	347	937	425	1350	612	600	356	0,50
¾" al 50%	765	289	781	354	1688	766	600	356	0,50
¾" al 60%	510	231	625	284	2025	919	600	356	0,50
¾" al 70%	393	178	468	212	2363	1072	600	356	0,50
¾" al 80%	255	116	312	142	2700	1225	600	356	0,50
¾" al 100%	0	0	0	0	3375	1531	600	356	0,50
½" al 20%	1020	463	1249	567	675	306	600	356	0,50
½" al 40%	765	347	937	425	1350	612	600	356	0,50
½" al 50%	638	289	781	354	1688	766	600	356	0,50
½" al 60%	510	231	625	284	2025	919	600	356	0,50
½" al 70%	383	174	468	212	2363	1072	600	356	0,50
½" al 80%	255	116	312	142	2700	1225	600	356	0,50
½" al 100%	0	0	0	0	3375	1531	600	356	0,50
Áridos finos clase C al 10%	1148	521	1405	637	338	153	600	356	0,50
Áridos finos clase C al 30%	893	405	1093	496	1013	459	600	356	0,50
Áridos finos clase C al 40%	765	347	937	425	1350	612	600	356	0,50
Áridos finos clase C al 50%	638	289	781	354	1688	766	600	356	0,50
Áridos finos clase C al 100%	0	0	0	0	3375	1531	600	356	0,50

Tabla 2 Dosificaciones de la mezcla de hormigón (cantidades por yarda cúbica).

las probetas durante 24 horas bajo una capa de plástico. Las muestras se extrajeron de los moldes al cabo de 24 horas y se sumergieron en un baño de cal según la ASTM C 511 hasta el momento del ensayo.

4. Propiedades del hormigón fraguado

Debido a la cantidad limitada de escoria siderúrgica disponible durante esta fase de ensayos, con el objetivo de estudiar las propiedades a flexión, se deci-

dió analizar la resistencia a tracción indirecta de las mezclas de hormigón ensayando dos lotes de cuatro muestras, uno a los 7 días y otro a los 28. Los ensayos de resistencia a compresión utilizaron dos lotes con dos muestras cada uno y también se ensayaron a los 7 y a los 28 días. Las tres muestras restantes se utilizaron como "backup" de las probetas principales y para ensayos posteriores bien a los 56 días o bien a los 90. Ambos ensayos utilizaron una máquina de carga hidráulica para aplicar las cargas.

	¾" R.E.P.	½" MITTAL	"C" FINES MITTAL
Óxido de aluminio (Al ₂ O ₃)	4,07 %	5,84 %	3,09 %
Óxido de calcio (CaO)	45,2 %	30,7 %	28,6 %
Óxido de cromo (Cr ₂ O ₃)	0,30 %	0,28 %	0,25 %
Óxido de hierro (FeO)	14,4 %	35,6 %	37,5 %
Óxido de magnesio (MgO)	10,1 %	9,95 %	9,82 %
Óxido de manganeso (MnO)	3,14 %	3,99 %	3,88 %
Óxido de fósforo (P ₂ O ₅)	0,33 %	0,61 %	0,62 %
Óxido de potasio (K ₂ O)	0,01 %	0,05 %	0,02 %
Óxido de silicio (SiO ₂)	15,3 %	12,0 %	10,7 %
Óxido de sodio (Na ₂ O)	0,05 %	0,09 %	0,07 %
Óxido de titanio (TiO ₂)	0,40 %	0,65 %	0,63 %
Óxido de vanadio (V ₂ O ₅)	0,12 %	0,21 %	0,21 %

Tabla 3. Composición química de la escoria siderúrgica.

La resistencia a compresión de cada muestra se dedujo dividiendo la carga última aplicada por el área transversal de la probeta registrada junto con el tipo de rotura observada. La resistencia a tracción se determinó de manera indirecta mediante la siguiente ecuación:

$$T = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot L \cdot d}$$

Siendo T equivalente a la resistencia a la tracción en psi (kPa), P la carga máxima aplicada en lbf (kN) y tanto L como d son la longitud y el diámetro de las muestras en pulgadas (m). Según esta fórmula la resistencia a la tracción equivaldría a la carga máxima aplicada dividida por 50,2655 en unidades de EE.UU. (64,4 en el SI).

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

1. Mezcla base

La mezcla base elegida para este estudio fue la mezcla para firmes de hormigón Clase C, opción 1, del ODOT. Los materiales empleados para este estudio permanecieron constantes a lo largo del ciclo experimental variando solamente las cantidades volumétricas. Todos los materiales excepto la escoria siderúrgica son los que utiliza el Distrito 12 del ODOT en Ohio nororiental en sus

proyectos de carreteras. Todas las mezclas mantuvieron una relación agua-cemento de 0,5 durante los ensayos.

2. Cemento

El cemento utilizado para este experimento fue el Pórtland Tipo I obtenido de St. Marys Cement y de Lafarge Corporation. Ambos cementos satisficieron las normas ASTM sobre composición del cemento Pórtland.

3. Áridos finos

El árido fino que se utilizó en nuestro hormigón fue arena natural de Shalersville procedente de Lafarge Corporation y suministrada

por Cuyahoga Concrete and Stone. Esta arena tiene una absorción del 1,18 por ciento. El peso específico de la masa fue de 2,60 y el peso específico SSD de 2,63.

4. Áridos gruesos

Se eligió una piedra caliza Marblehead #57 con un tamaño máximo nominal de 1 pulgada (25 mm) como árido grueso de alta absorción y también la suministró Cuyahoga Concrete and Stone. Se determinó que la absorción del árido grueso fuese del 3,03 por ciento. El peso específico de la masa suministrado fue de 2,49 y el peso específico SSD de 2,57.

5. Aditivos químicos

Se emplearon dos aditivos químicos en alguna proporción. Todas las mezclas de hormigón, exceptuando las sustituciones de la escoria siderúrgica de ¾ pulgadas al 100 y al 80 por ciento contenían 15 mL del aireante MB-AE 90 y algunas mezclas exigieron el uso de un reductor de agua de gama alta Glenium 3030 NS. BASF/Master Builders fue el proveedor de estas sustancias químicas.

6. Escoria siderúrgica

La escoria siderúrgica empleada en este estudio fue escoria siderúrgica BOF producida por Mittal Steel USA y

Tipo de árido	Absorción (%)	Peso específico SSD
Escoria siderúrgica R.E.P. ¾" X 0	2,61	3,09
Escoria siderúrgica Mittal ½" X 0	3,37	3,09
Escoria siderúrgica Mittal finos clase "C"	3,37	3,09

Tabla 4. Propiedades de la escoria siderúrgica.

Tamiz		Porcentaje de paso				
Núm.	(mm)	Escoria siderúrgica ¾"	Escoria siderúrgica ½" "	Áridos finos clase C	Marblehead #57	Arena Shalersville
1 ½	37,5	100	100	100	100	100
1	25	100	100	100	100	100
¾	19,500	99,95	100	100	83	100
½	12,700	90,92	98,88	99,75	38	100
3/8	9,500	71,33	96,02	99,02	13	100
4	4,750	44,93	79,13	90,25	4	99
8	2,360	30,52	52,37	68,77	3	82
16	1,180	21,48	30,83	42,6	0	63
30	0,425	12,6	17,8	12,8	0	48
50	0,300	5,77	8,43	4,65	0	31
100	0,150	1,28	1,78	1,32	0	4
200	0,075	0,33	0,38	0,5	0	1,8

Tabla 5. Resultados del tamizado comparando áridos finos y gruesos.

la proporcionó Stein Inc., situada en Cleveland, Ohio. Se procesó cumpliendo las especificaciones de construcción y materiales del ODOT.

El apartado 703.01E de las especificaciones exige que el árido de escoria siderúrgica procedente de un horno Martin (OH), BOF y EAF se suministre de fuentes según los requisitos de control de la calidad del *Suplemento 1071* del ODOT sobre productores/procesadores de áridos de escoria siderúrgica. El apartado 703.14 D de las especificaciones recoge los requisitos sobre envejecimiento y acopio, los cuales incluyen el requisito de que se agregue agua a los materiales acopiados para proporcionar un contenido de humedad uniforme que no sea inferior a la humedad que absorban y que se mantengan en estado húmedo durante el periodo necesario de acopio.

En esta etapa del estudio, el tiempo de envejecimiento mínimo era de seis meses, pero desde entonces se ha reducido a un mínimo de tres. El apartado 703.14E, *ensayos de expansividad* especifica que se deben llevar a cabo pruebas de expansividad con el material envejecido según el PTM n° 130 *Método de ensayo para la evaluación de la potencial expansividad de las escorias de acero* del Departamento de transporte de Pensilvania. El PTM 110 es similar al ASTM D 4792 – 00 *Método de ensayo estándar para la expansividad potencial de los*

áridos a partir de las reacciones de hidratación, que sirve de referencia para los ensayos de expansividad de los áridos finos de escoria siderúrgica en el *Suplemento 1071*. La expansión total máxima permisible para cada ensayo es inferior al 0,50 por ciento.

Stein Inc. proporcionó tres tamaños de escoria siderúrgica. La primera muestra se etiquetó como ¾" x 0 y procedía de Republic Engineered Products Inc. (R.E.P.), situada en Lorain, Ohio, que fabrica acero laminado en frío y en caliente. Las otras dos muestras se etiquetaron como ½" x 0 y como áridos finos clase "C". Ambas eran de Mittal Steel USA, situado en Cleveland, Ohio, que participa en la fabricación de muchos tipos de acero. Stein Inc. también aportó un informe de análisis recopilado por Alternative Testing Laboratories Inc., que facilitó información sobre la composición química de la escoria siderúrgica (Tabla 3), junto con la absorción porcentual y el peso específico SSD (Tabla 4).

RESULTADOS EXPERIMENTALES

1. Tamaño del lote

La cantidad de hormigón mezclada en cada lote fue de 0,029 m³ (1,05 ft³). Los resultados experimentales de este estudio preliminar son los siguientes.

Diseño de la mezcla (tipo de escoria siderúrgica en porcentaje de sustitución)	Cantidad de aditivo reductor de agua (mL)	Asiento medido		Cumple especific. de asiento nominal (ODOT 499.03-1)	Cumple especific. de asiento máximo (ODOT 499.03-1)	Contenido de aire medido (%)
		(pulg)	(mm)			
c-57	–	3,00	76,2	Sí		5,50
¾" al 20%	–	3,25	82,6		Sí	5,20
¾" al 30%	–	5,00	127,0			7,00
¾" al 40%	–	2,00	50,8	Sí		4,50
¾" al 50%	–	2,25	57,2	Sí		5,00
¾" al 60%	–	0,50	12,7			3,50
¾" al 70%	–	1,25	31,8	Sí		4,10
¾" al 80%	100	1,00	25,4	Sí		5,00
¾" al 100%	80	0,50	12,7			4,50
½" al 20%	–	1,25	31,8	Sí		4,75
½" al 40%	–	0,75	19,1			5,25
½" al 50%	–	2,75	69,9	Sí		8,00
½" al 60%	31	0,75	19,1			5,50
½" al 70%	35	0,75	19,1			7,75
½" al 80%	60	0,25	6,4			5,50
½" al 100%	70	0,50	12,7			8,75
Áridos finos clase C al 10%	–	8,50	215,9			8,50
Áridos finos clase C al 30%	–	1,50	38,1	Sí		5,00
Áridos finos clase C al 40%	–	1,50	38,1	Sí		6,00
Áridos finos clase C al 50%	30	0,25	6,4			5,00
Áridos finos clase C al 100%	350	8,00	203,2			4,50

Tabla 6. Propiedades del hormigón fresco y dosificación de los aditivos.

2. Dosificaciones

El tamizado de las muestras de escoria siderúrgica reveló que este material es una combinación tanto de áridos finos como gruesos de tamaño ¾ pulgada y ½ pulgada. Los áridos finos clase C también resultaron ser una combinación, aunque más cercana a un árido fino con muy poco material grueso. La Tabla 5 recoge los resultados del tamizado y se comparan con los realizados con los áridos finos Shalersville y los gruesos Marblehead #57. En todas las mezclas se sustituyeron los áridos finos y gruesos por escoria siderúrgica en un volumen que se incrementaba aproximadamente en un 10 por ciento hasta que se agotó el suministro.

PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO

1. Docilidad

Cuando la escoria siderúrgica sustituyó los áridos finos y gruesos, todos los lotes ganaron en consistencia.

La Tabla 6 muestra que el asiento de la mezcla con escoria siderúrgica se redujo paulatinamente salvo cuando se añadieron mayores cantidades de aditivos. Según el manual de especificaciones para construcciones y materiales del ODOT, el asiento nominal del hormigón para pavimentos Clase C es de 25 a 75 mm (1" a 3"), pero se puede aumentar a 150 mm (6") siempre que el aumento se logre añadiendo un aditivo químico⁽¹¹⁾. El asiento máximo permitido es de 100 mm (4"), pero también se puede aumentar hasta 180 mm (7") mediante los aditivos aprobados según la ODOT 499.03-1⁽¹¹⁾.

2. Contenido de aire

Dado el clima imperante en Ohio nororiental, las especificaciones del ODOT requieren un hormigón para firmes Clase C, opción 1, que tenga un contenido de aire de 6 +/- 2%⁽¹¹⁾. Como se puede ver en la Figura 1, cada tipo de escoria utilizado tenía una mezcla que no cumple con los requisitos. Sin embargo, esto se puede atribuir al proceso de mezclado o a las cantidades

de aditivos que se añaden a la mezcla.

Todas las mezclas de hormigón, excepto las sustituciones al 100 y al 80 por ciento de ¾" contenían 15 mL de aire ocluido. En el caso de la sustitución al 100 por ciento con escoria siderúrgica de ¾", se utilizaron 20 mL y en el caso del 80 por ciento, 18 mL. Ambos lotes se mezclaron al comienzo del programa.

3. Densidad

Como se puede ver en la Figura 2, la densidad medida fue superior en las sustituciones con ¾" en la mayoría de sus mezclas. También mostró tendencias similares la densidad medida y de proyecto en los finos clase "C" y en la escoria siderúrgica de ½".

PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRAGUADO

Las propiedades del hormigón fraguado ensayadas durante esta fase del estudio fueron la resistencia a compresión utilizando dos muestras y la resistencia a tracción utilizando cuatro muestras a los 7 y a los 28 días.

1. Resistencia a compresión

Tal como se indica en la ODOT 499.03, la proporción de hormigón utilizada para la mezcla de Clase C se basa en el desarrollo de una resistencia media a compresión de 4.000 psi (28,0 MPa) al cabo de 28 días. Como se puede ver en las Figuras 3 a 8, ya en el séptimo día la resistencia de muchos de estos lotes supera el requisito del ODOT a 28 días.

También se puede observar que aunque la escoria siderúrgica sustituyera tanto a los áridos finos como a los gruesos, la resistencia global no se vio afectada negati-

vamente. La variabilidad de los lotes de laboratorio es de 200 a 350 psi⁽⁶⁾.

2. Resistencia a tracción

Las Figuras 9 a 11 muestran las resistencias a tracción a los 7 y 28 días. Los resultados indican que cualquier inclusión de escoria siderúrgica da como resultado una mezcla mejorada en relación con las que utiliza-

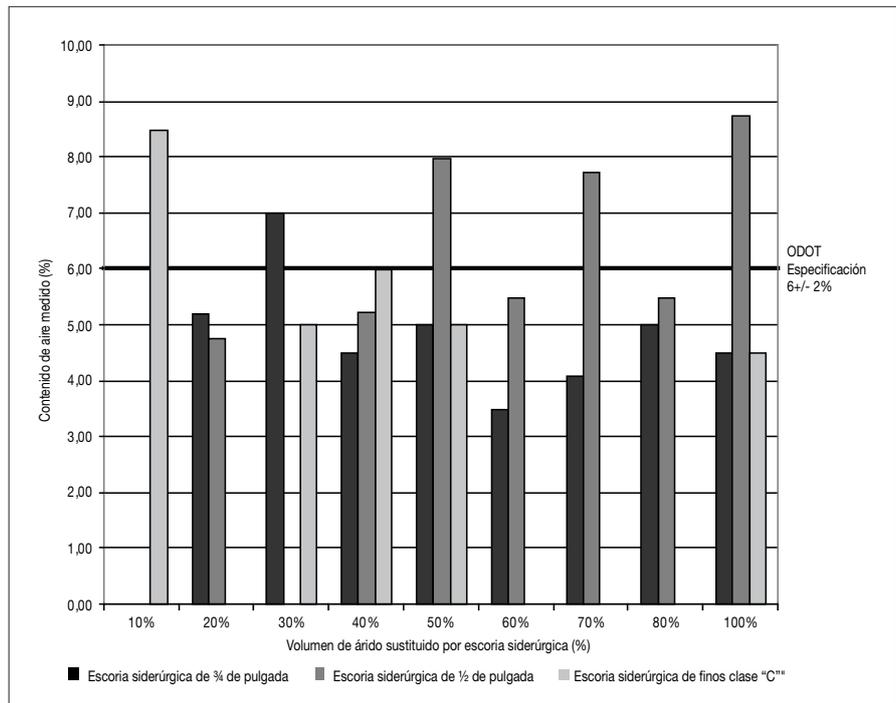


Figura 1. Porcentaje de sustitución frente al contenido de aire medido.

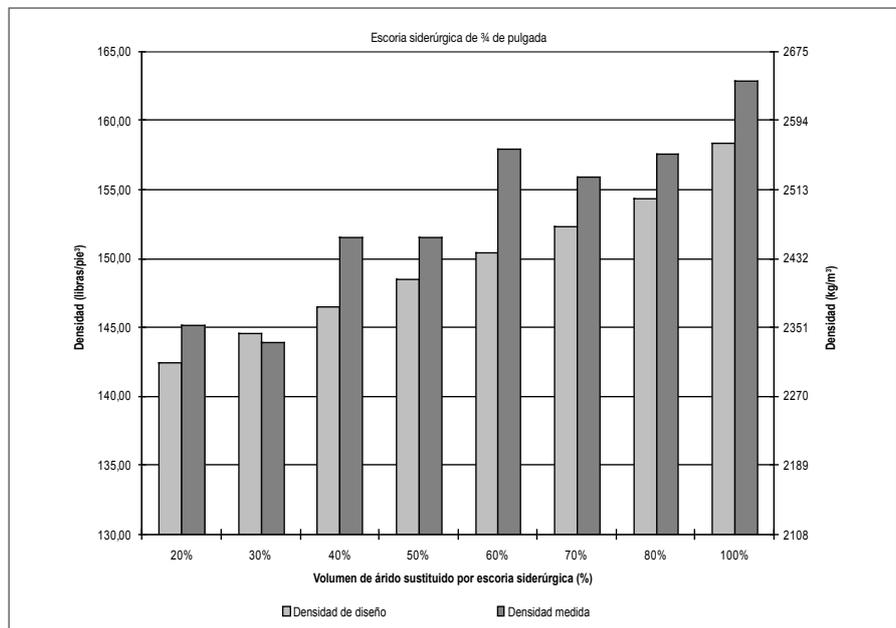


Figura 2. Porcentaje de sustitución frente a la densidad.

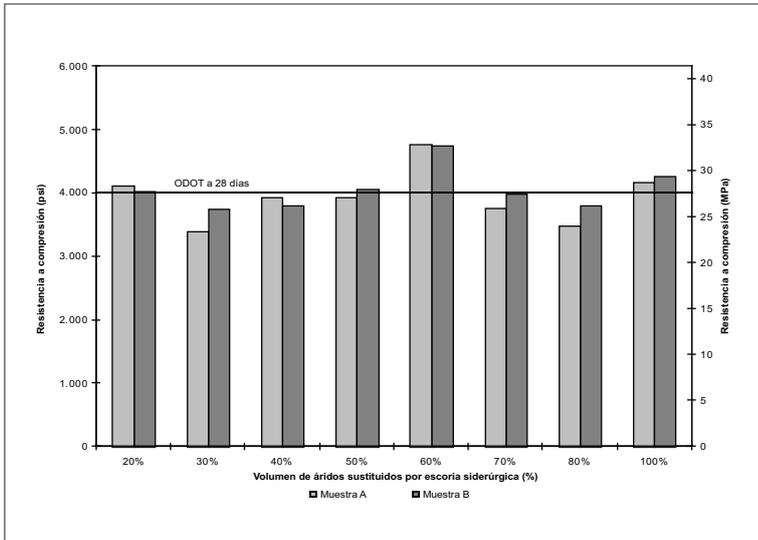


Figura 3 Resistencia a compresión de la escoria siderúrgica de ¾" a los 7 días.

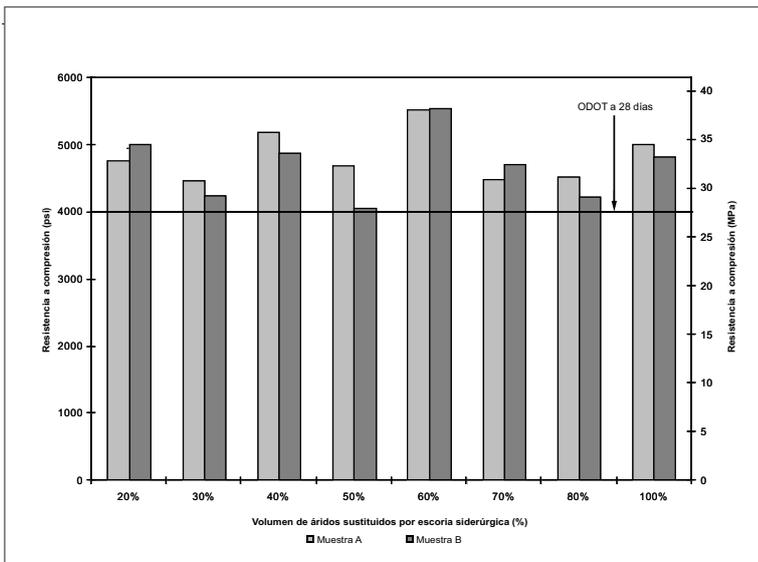


Figura 4 Resistencia a compresión de la escoria siderúrgica de ¾" a los 28 días.

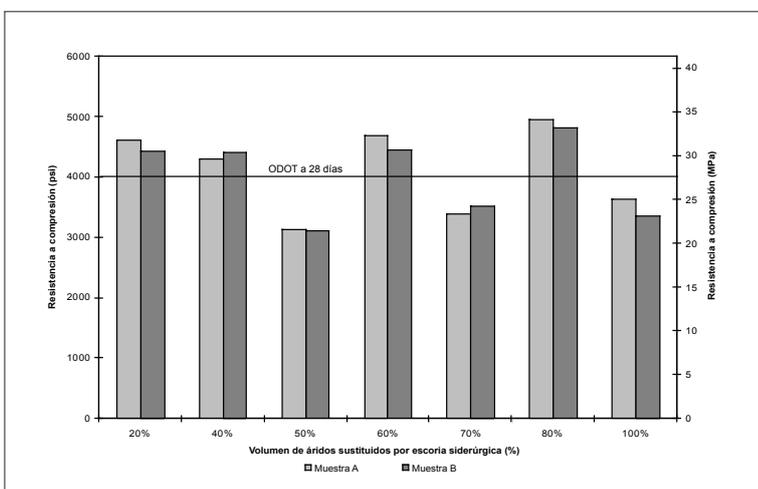


Figura 5. Resistencia a compresión de la escoria siderúrgica de ½" a los 7 días.

ron un árido a base de piedra caliza blanda. Los datos obtenidos sobre la resistencia a tracción también sugieren una resistencia a la flexión de 450 a 550 psi, lo cual sería una resistencia aceptable para muchas aplicaciones de pavimentación.

CONCLUSIONES

No se observó ninguna disminución de la resistencia cuando se sustituyeron por escoria siderúrgica tanto áridos finos como gruesos en una mezcla para firmes Clase C, opción 1, del ODOT.

Lo que se observó durante el transcurso de este estudio preliminar fue que, conforme aumentaba la cantidad de escoria, eran necesarias mayores cantidades de aditivos reductores de agua para obtener una mayor docilidad, ya que estas mezclas tendían a ser más consistentes.

Desde un punto de vista económico, cualquier ahorro obtenido utilizando la escoria siderúrgica por encima de un 40 por ciento debería compensar las cantidades mayores de aditivo químico necesario para mantener la mezcla dentro de las especificaciones aceptables de docilidad.

Se debería advertir que son necesarios estudios adicionales, tal como se reseña a continuación, para examinar las propiedades de la escoria siderúrgica como sustituto.

ESTUDIOS FUTUROS

Los estudios futuros de las propiedades de la mezcla donde se sustituyan áridos por escorias siderúrgicas incluirán:

- El coeficiente térmico.
- La retracción y la expansividad.
- Los efectos de ciclos hielo/deshielo.
- La resistencia a la abrasión y pérdida de rozamiento superficial con el tiempo.
- Fabricación y ensayo de vigas para determinar la resistencia a la flexión.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento a todos aquellos que han hecho posible este estudio: a James Conlon y a Steve Reese de Stein Inc. por proporcionar la escoria siderúrgica y a cementos Lafarge; a Jeb Brooks de Cuyahoga Concrete por proporcionar los áridos finos y gruesos; a Dean Martin de St. Marys por proporcionar el cemento Pórtland; a Charles Nmai de BASF/Master Builders por proporcionar los aditivos del hormigón. También desean agradecer la ayuda de John Cleary, Dan Miller y Aleksandr Mrkajic de la Facultad Fenn de Ingeniería de la Universidad Estatal de Cleveland.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASTM D4792-00 (Nueva aprobación en 2006) "Standard Test Method for potencial Expansion of Aggregates from Hydration Reactions".
2. NSA (Asociación Nacional de Escorias). "Steel Slag, A premier construction aggregate". www.nationalslag.org.
3. Manso, J. M., Gonzalez, J. y J. Polanco (2004), "Electric arc furnace slag in concrete", Journal of Materials in Civil Engineering, ASCE, 639-645.
4. Manso, J. M., Polanco, J. A., Losanez, M. y J. J. Gonzalez (2006). "Durability of concrete made with EAF slag as aggregate", Cement & Concrete Composites 28, Elsevier, 528-534.
5. Maslehuddin, M., Sharif, A., Shameem, M., Ibrahim, M. y M. S. Barry (2003), "Comparison of properties of steel slag and crushed limestone aggregate concretes", Construction and Building Materials 17, Elsevier, 105-112.
6. Mindess, S., Young, J. F. y D. Darwin (2003). "Concrete", 2ª edición, Prentice Hall, Nueva Jersey.
7. Obratil, R., Patel, A., Bosela, P., and N. Delatte (2008), "Effect of steel slag replacement on fresh and hardened properties of

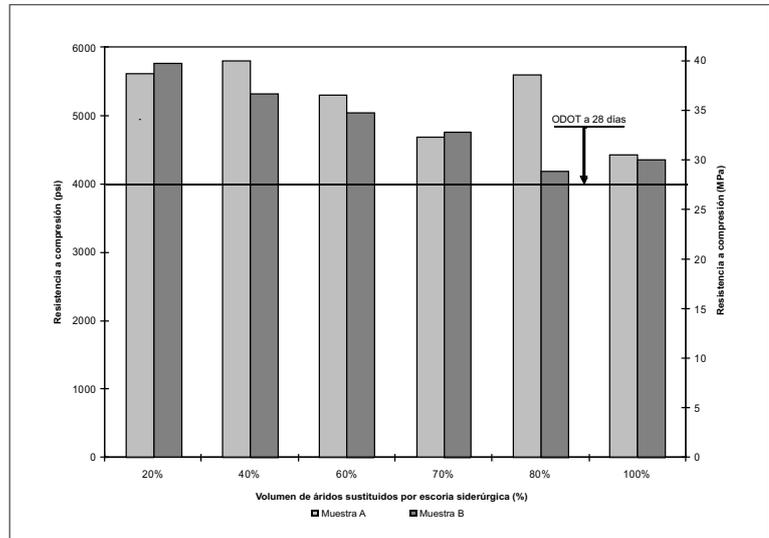


Figura 6. Resistencia a compresión de la escoria siderúrgica de 1/2" a los 28 días.

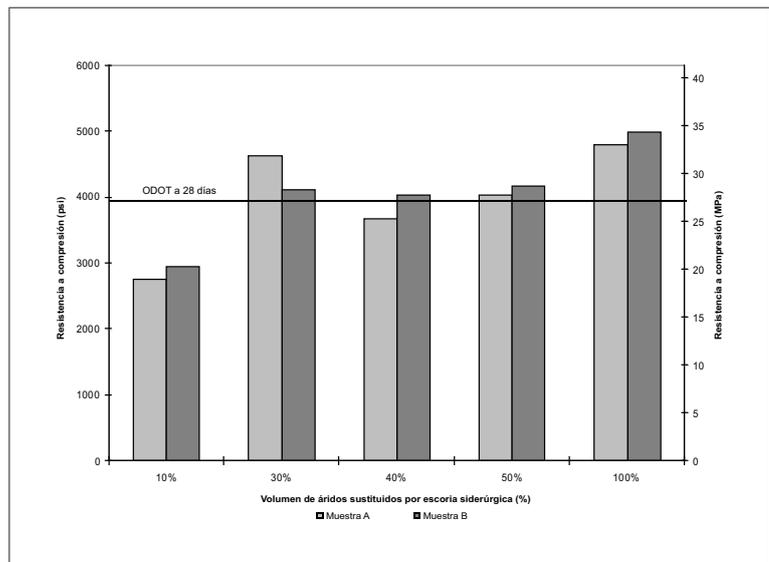


Figura 7. Resistencia a compresión de los finos clase "C" a los 7 días.

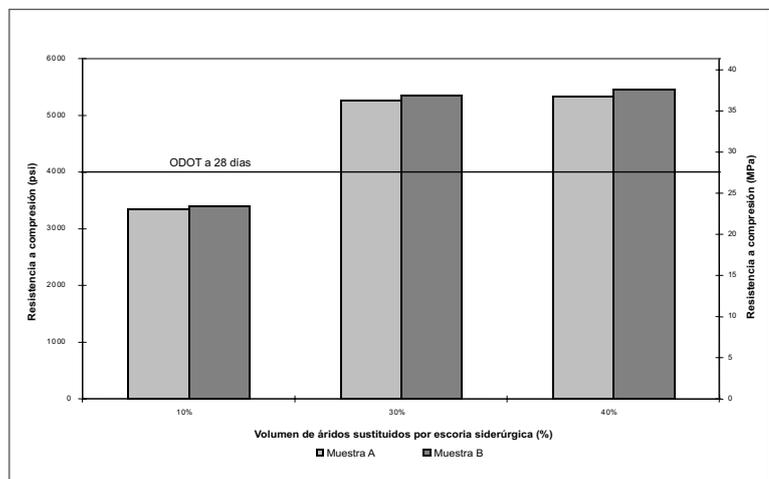


Figura 8. Resistencia a compresión de finos clase "C" a los 28 días.

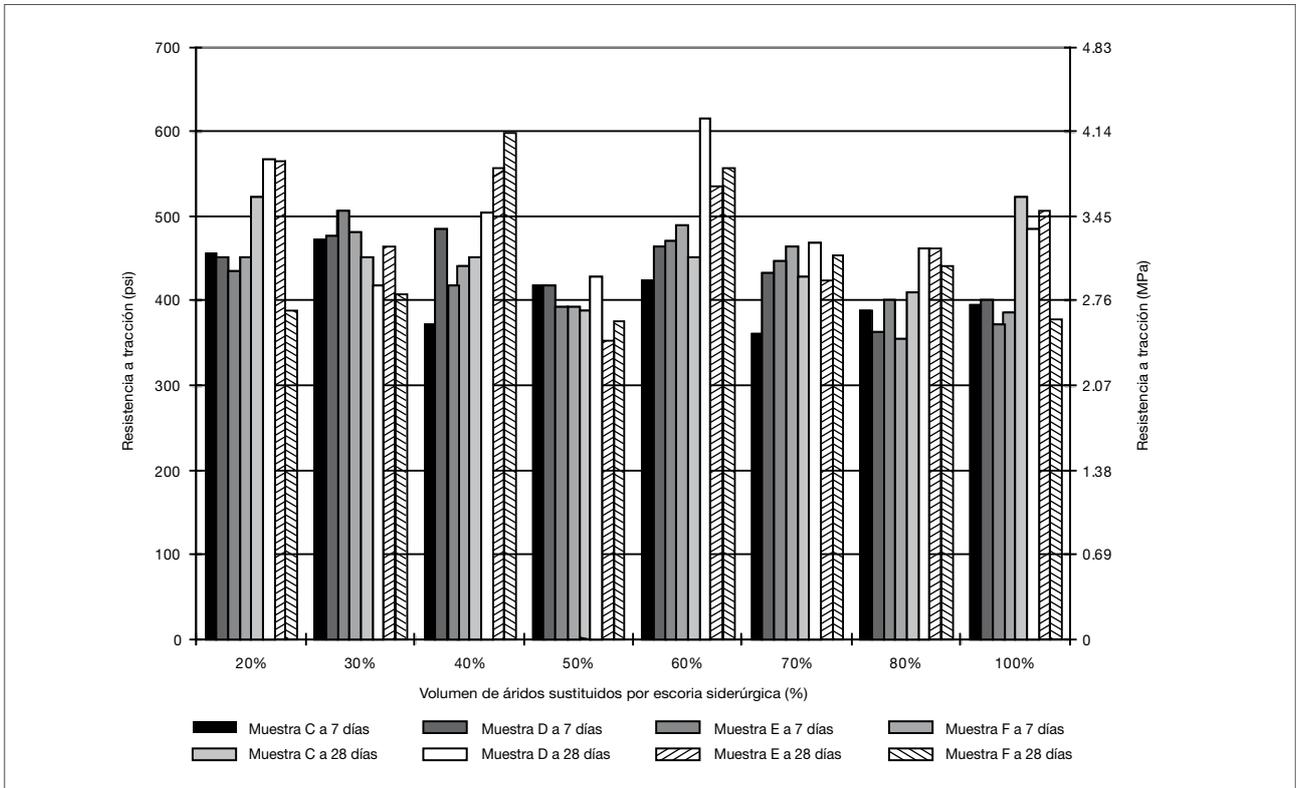


Figura 9. Resistencia a tracción de la escoria siderúrgica de 3/4" empleada como sustituto.

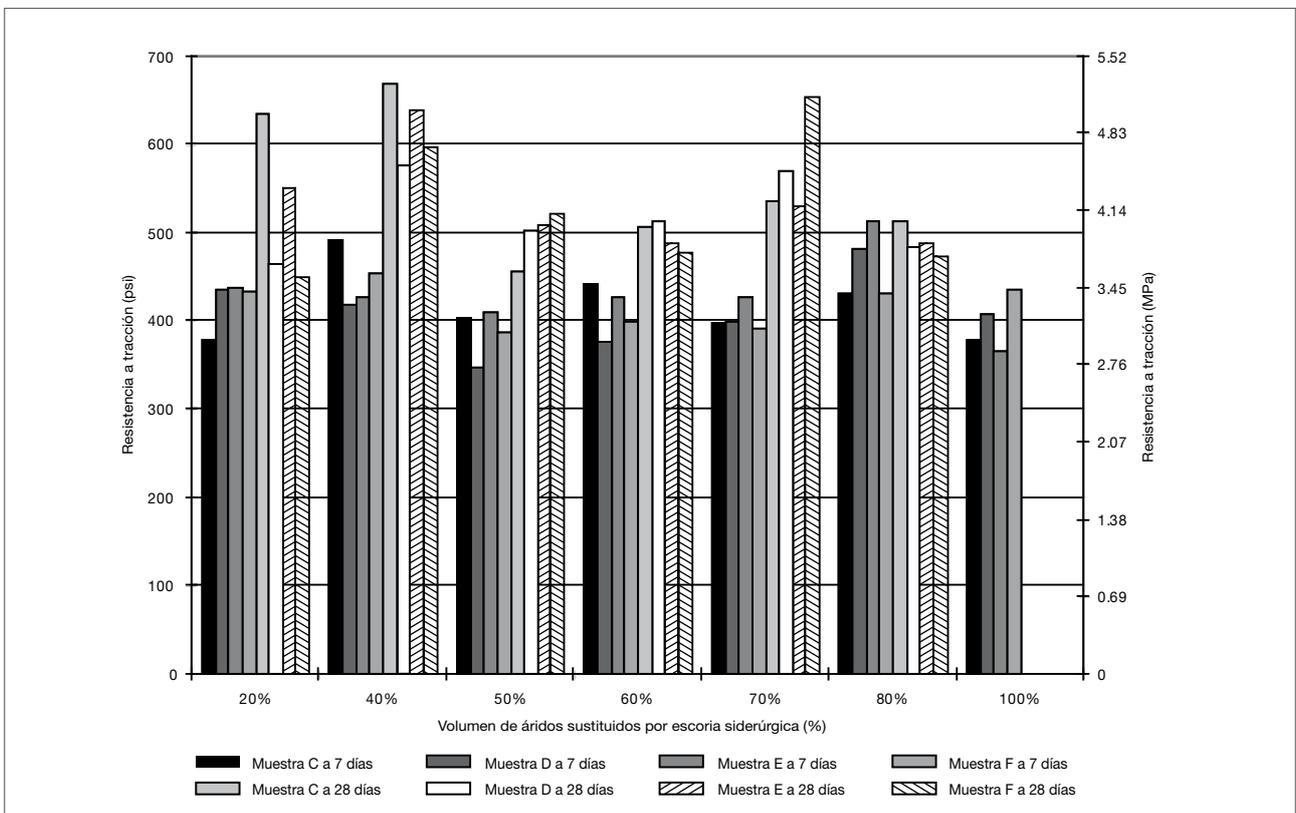


Figura 10. Resistencia a tracción de la escoria siderúrgica de 1/2" empleada como sustituto.

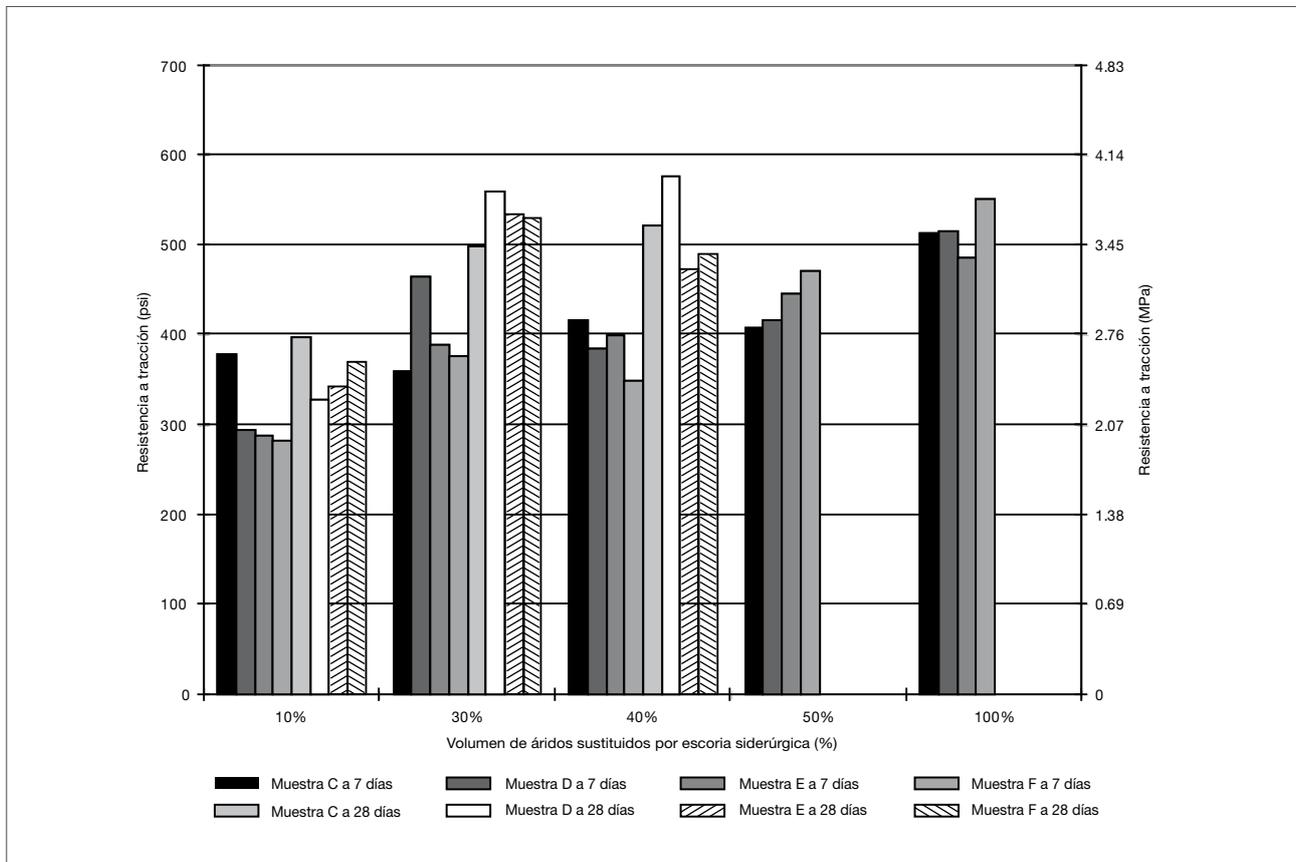
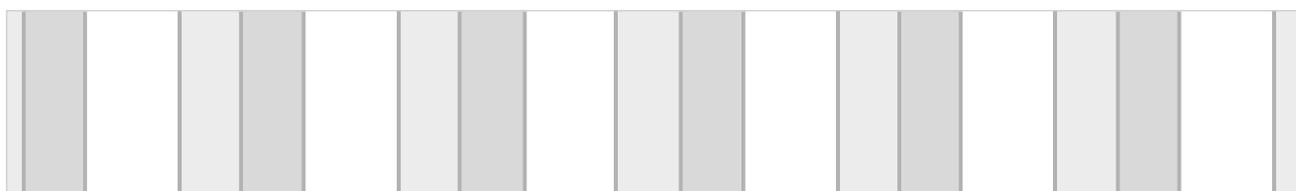


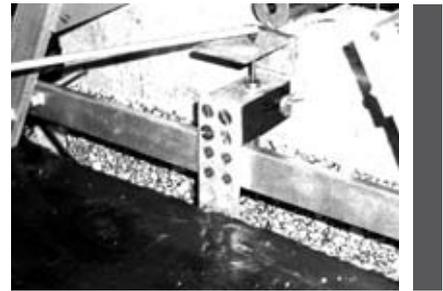
Figura 11. Resistencia a tracción de los finos clase "C" empleados como sustituto.

concrete", Compendio de documentos, 87ª Reunión anual de la Junta de investigación del transporte, Washington, D.C.

8. Papayianni, I. y E. Anastasiou (2006), "Cost-Effective mixtures for concrete pavements", Actas de la Conferencia sobre pavimentos de aeródromos y carreteras, ASCE.
9. Shinya, W., Shigemi, S. y F. Fumihiko (2007), "Properties of porous concrete with steel slag aggregate exposed to marine environment", Actas de Cement & Concrete Vol. 60, Asociación japonesa del cemento.
10. Shi, Caijun (2004) "Steel Slag-Its Production, Processing, Characteristics, and Cementitious Properties", Journal of Materials in Civil Engineering, ASCE, 230-236.
11. Estado de Ohio (2005), Departamento de transporte, Columbus, Ohio. "Construction and Material Specifications".
12. Estado de Pennsylvania (1995), PA Método de ensayo n° 130, "Método de ensayo para la valoración de la potencial expansividad de las escorias de acero".
13. Van Oss, H.G., (2007), "Iron and Steel Slag", Resúmenes de materiales minerales, U.S. Geological Survey.
14. Wagaman, T. y W.J. Stanley, (2005), "Slag: The ultimate renewable resource." Pit & Quarry, www.pitandquarry.com/pitandquarry/article/articleDetail.jsp. Acceso el 24 de mayo de 2007.



Comportamiento de las mezclas de hormigón en pavimentos mixtos con un refuerzo superior delgado de hormigón (“Ultra-Thin Whitetopping”)



Behavior of concrete mixtures in Ultra-Thin Whitetopping composite pavements

Amanda C. BORDELON

Miembro del ISCP;
Asistente de investigación graduada en la Universidad de Illinois
en Urbana-Champaign (USA)

Jeffery R. ROESLER

Miembro del ISCP
Catedrático asociado de la Universidad de Illinois
en Urbana-Champaign (USA)

RESUMEN

El refuerzo superior delgado de hormigón (“Ultra-Thin Whitetopping”, UTW) es una opción de rehabilitación alternativa para pavimentos frente al refuerzo mediante mezclas bituminosas. Normalmente, el UTW es un recubrimiento de hormigón cuyo espesor es inferior a 5 pulgadas que se coloca sobre un pavimento bituminoso deteriorado. Recientemente se terminó un proyecto de investigación para perfeccionar los métodos actuales de diseño del UTW y desarrollar nuevas recomendaciones para un mayor rendimiento del UTW.

Como parte de este proyecto, un estudio de laboratorio investigó diversos efectos de la mezcla de hormigón sobre el rendimiento del UTW. Se estudiaron siete diseños de mezcla con diferentes relaciones agua-cemento, contenido de cemento, refuerzos de fibra y dos tipos de áridos gruesos. Se ensayó una viga mixta (hormigón colocado sobre una viga existente de mezcla bituminosa) para predecir en el laboratorio el comportamiento de la sección compuesta. En el caso de pruebas de ensayo bidimensional a pequeña escala, los resultados no fueron tan espectaculares como se esperaba entre las distintas mezclas de hormigón. Sin embargo, el refuerzo con fibras, que aumentó la resistencia a la rotura del hormigón, demostró una mejora en la capacidad para soportar cargas tras la fisuración inicial.

El diseño de la mezcla de hormigón por sí solo no fue el único indicador del rendimiento del UTW. Las mezclas de hormigón de mayor resistencia se pueden fracturar con la misma rapidez que el hormigón de resistencia normal si el UTW pierde adherencia. Se recomienda que se agreguen fibras estructurales al hormigón para alargar la vida útil del pavimento rehabilitado, en especial ante la presencia de fisuras en la mezcla asfáltica existente y una potencial desunión.

Palabras clave: Hormigón, Capa delgada, Refuerzo, Losa de hormigón, Firme mixto, Fibra estructural, Rehabilitación.

ABSTRACT

Ultra-thin whitetopping (UTW) is an alternative pavement rehabilitation option to asphalt concrete overlays. UTW is typically a concrete overlay less than 5 inches thick on an existing distressed asphalt pavement. A research project was recently finished to refine the current UTW design methods and develop new recommendations for improved UTW performance.

As part of this project, a laboratory study investigated various concrete mixture effects on UTW performance. Seven mixture designs containing various w/cm ratios, cementitious content, discrete fiber-reinforcement content, and two coarse aggregate types were studied. A composite beam test (concrete placed on an existing asphalt beam) was developed to predict the composite section behavior in the laboratory. For this small-scale 2D testing, the results were not as dramatic as expected between the different concrete mixtures. However, the fiber-reinforcement, which increased the total fracture energy of concrete, demonstrated improvement in the load carrying capacity after initial cracking.

The concrete mixture design alone was not the sole indicator of the UTW performance. Higher strength concrete mixtures can fracture just as rapidly as normal strength concrete if the UTW exhibits debonding. It is recommended that structural fibers be added to the concrete to extend the performance life of the rehabilitated pavement, especially in the presence of existing asphalt cracks and potential interface debonding.

Key words: Concrete, Thin layer, Reinforcement, Concrete slab, Mixed pavement, Structural fibre, Upgrading.

El refuerzo superior con hormigón es un método de rehabilitación mediante pavimentos rígidos que consiste en una nueva capa de pavimento de hormigón colocada sobre una estructura de pavimento flexible existente. El refuerzo superior con hormigón es una técnica alternativa de rehabilitación a los revestimientos con mezclas bituminosas en caliente (HMAC) siempre que haya un espesor mínimo de mezcla bituminosa que sirva de soporte y haya suficiente holgura vertical para una capa superior de hormigón. En general, el refuerzo superior con hormigón puede ofrecer una resistencia a la fisuración, una durabilidad y una reflectancia de la superficie mayores que el HMAC. Además, en situaciones en las que el firme de HMAC muestre señales de agotamiento superficial, especialmente roderas, el refuerzo superior de hormigón es una solución alternativa eficaz.

El refuerzo superior de hormigón (*"whitetopping"*) se clasifica según su espesor y la adherencia entre el hormigón/HMAC en la superficie del firme. El refuerzo superior de hormigón se diseña y se construye como una nueva sección de pavimento de hormigón, con la particularidad de que se coloca sobre un pavimento flexible existente, y se desprecia la adherencia entre ambos. El UTW (*"Ultra-Thin Whitetopping"*, refuerzo superior delgado de hormigón) se destina para firmes en los que se va a utilizar un

refuerzo superior de hormigón con un espesor máximo de 3 a 5 pulgadas y es esencial la adherencia entre la capa de hormigón y la capa bituminosa.

Debido a la elevada relación superficie-volumen, el UTW se hace con tamaños de losa menores. Estas dimensiones menores reducen la curvatura debido a la humedad, a la temperatura y a las tensiones en el pavimento de hormigón y minimizan la posibilidad de que las uniones se desadherieran. El tamaño de la losa, el ritmo de corte con sierra y los problemas de adherencia son parámetros de diseño importantes que se están investigando en la actualidad como parte de otros proyectos de investigación. En estos momentos no existe una valoración cuantitativa del estado de los HMAC existentes y no se acepta un diseño universal de mezcla de hormigón que asegure un comportamiento adecuado de estas soluciones de rehabilitación con hormigón.

ANTECEDENTES

Desde la década de 1990 se han recomendado o desarrollado varios tipos de hormigón, espesores y técnicas de construcción para el UTW. La *"American Concrete Pavement Association"* (ACPA) ha estado recopilando datos sobre proyectos con UTW en los Estados Unidos desde 1991 y ha elaborado unas recomendaciones de diseño basadas en estudios de campo, de laboratorio y

analíticos⁽⁶⁾. Desde 1998, el Departamento de Transporte de Illinois (IDOT) comenzó a ejecutar varios proyectos de refuerzos superiores de hormigón a lo largo de todo el Estado en intersecciones y en carreteras principales. El IDOT puso en marcha los proyectos de refuerzos superiores de hormigón en carreteras con una densidad de tráfico baja y moderada, e inició un estudio para elaborar unas recomendaciones para futuros diseños de UTW. El estudio analizó diez proyectos de UTW en el Estado de Illinois^(16, 11). Varios de los pavimentos han mostrado importantes deformaciones ya en los 3 primeros años de servicio, mientras que otros continúan prestando servicio sin deformaciones o con muy pocas. Las deformaciones a una edad temprana y graves pueden haber sido provocadas por varias causas que interactúan (diseño de la mezcla de hormigón, condiciones de adherencia, estado del pavimento subyacente de HMAC, tráfico denso de vehículos, etcétera).

Se ha experimentado con el UTW en pavimentos de todo el mundo. Por ejemplo, un estudio realizado en Brasil investigó dos proyectos de UTW utilizando hormigón de gran resistencia⁽¹⁰⁾. La carretera del campus de la Universidad de São Paulo no ha sufrido apenas deformaciones, mientras que el UTW de la carretera SP-280 cercana ha sufrido grandes deformaciones tras una vida útil corta. En Taiwán, se vertió hormigón de alta resistencia inicial sobre una base bituminosa demasiado delgada durante un día en que las temperaturas eran altas, lo que dio como resultado que se cuartease la superficie del refuerzo de hormigón tras 2 meses de servicio⁽⁸⁾.

Parte de los objetivos de la investigación consistía en evaluar las mezclas de hormigón más resistentes a la fractura para pavimentos de UTW provocada por deformaciones inherentes a la capa de soporte asfáltica (HMAC). Un ejemplo es la capa de hormigón de la recién rehabilitada vía rápida Dan Ryan (I-94) cerca de Chicago, en Illinois. Se diseñó para una carretera con gran densidad de tráfico (con carriles rápidos locales para controlar el tráfico) y se simuló en laboratorio para evaluar sus propiedades frente a la fractura. La mezcla de Dan Ryan también tenía un bajo contenido en cemento y escorias de alto horno granuladas y trituradas como adición complementaria, que debería ayudar a minimizar los efectos de la retracción del hormigón.

MOTIVACIÓN Y SIGNIFICADO DE LA INVESTIGACIÓN

Los pavimentos de UTW son una técnica de rehabilitación que requiere la colocación de losas de hormigón muy delgadas sobre pavimentos construidos con mez-

clas bituminosas en caliente que hayan sufrido deformaciones. Se ha llevado a cabo una investigación sobre los requisitos del hormigón para llegar a comprender la respuesta de la sección compuesta y su comportamiento frente a la fisuración. Para saber qué parámetros de diseño de la mezcla daban como resultado problemas de comportamiento no deseados percibidos en determinados proyectos reales, se realizó un estudio de la resistencia y de las propiedades frente a la fractura de diversas dosificaciones y composiciones de la mezcla.

Se han repetido o ajustado los diseños de mezcla de campo con el fin de reproducirlos en el laboratorio de la Universidad de Illinois de Urbana-Champaign⁽¹²⁾. El estudio principal analizó un conjunto selectivo de mezclas en una viga mixta sobre una cimentación elástica. La prueba de la viga mixta desarrollada para este estudio es una técnica nueva e innovadora para estudiar el comportamiento del UTW. La viga mixta consistió en hormigón vertido directamente sobre una viga asfáltica fisurada y se registraron los desplazamientos verticales de toda la sección (hormigón, mezcla asfáltica y el suelo arcilloso) así como los desplazamientos previstos como consecuencia de la fisuración del hormigón. Asimismo, se midieron varios parámetros del material (incluyendo la retracción, la resistencia a la rotura y la energía acumulada) para determinar el carácter de cada mezcla.

ENSAYOS DE LABORATORIO

1. Ensayo de resistencia a la fractura

La resistencia a la fractura de las mezclas de hormigón es importante para conocer los mecanismos subyacentes a los pavimentos de UTW, en especial la capacidad para soportar cargas, para controlar el reflejo de la fisuración en la superficie y la eficiencia en la transmisión de cargas en las juntas. Se diseñó un programa experimental para determinar las propiedades frente a la fractura de las mezclas de hormigón con UTW empleadas en la práctica.

Se seleccionó un procedimiento RILEM^(6, 15) que utilizaba el método de "single edge notched beam" [SEN(B)] para determinar las propiedades frente a la fractura de varias mezclas de hormigón con UTW. El ensayo de "single edge notched beam" consiste en un dispositivo de flexión en tres puntos midiéndose la carga (P) y la abertura de fisura (CMOD).

Jenq y Shah⁽⁶⁾ desarrollaron un modelo de fractura con dos parámetros (TPFM) donde se determinaba el factor de intensidad de tensión crítica (K_{Ic}) y la abertura de fisura

en cabeza ($CTOD_c$) de una viga monolítica mediante un enfoque elástico de la fisuración. Se consideró un comportamiento elástico no lineal con fisuración utilizando ecuaciones para mecanismos de colapso elásticos lineales con el objetivo de calcular la longitud efectiva de la fisura elástica a partir de la deformación de la viga frente a ciclos de carga-descarga.

Se incluyeron en los cálculos factores geométricos para tener en cuenta la geometría y el tamaño de las vigas. Se sugirió una relación de luz-canto (S/d) en el TPFM de 4; la profundidad de la entalla inicial a_0 es $1/3$ de la profundidad total d y la anchura de la entalla debería ser inferior a 5 mm. Las dimensiones totales de la viga (longitud x ancho x canto) escogidas fueron $750 \times 150 \times 80$ mm con una luz de 600 mm y una profundidad inicial de la entalla de 50 mm. Además de las propiedades iniciales frente a la fractura (K_{Ic} y $CTOD_c$), se utilizaron los datos del ensayo de la muestra de hormigón para calcular la energía total de fractura (G_p) como el área normalizada bajo la curva carga-abertura de fisura (CMOD) según Hillerborg⁽⁴⁾. Se pueden encontrar detalles y cálculos adicionales de estos ensayos en la referencia (3).

2. Ensayo de la viga mixta

Se desarrolló un ensayo de la viga mixta⁽³⁾ que consiste en una viga de hormigón de 75 mm de espesor dispuesta directamente sobre una viga de mezcla bituminosa (HMAC) de 75 mm de espesor. Se ensayaron las vigas mixtas sobre una cimentación de suelo arcilloso y se añadieron varios testigos, como muestra la Figura 1. Antes de verter el hormigón, se cortaron con sierra las vigas HMAC de un firme bituminoso de 1 año de antigüedad. A continuación se vertió el hormigón directamente sobre la capa de HMAC para impedir cualquier problema de deslizamiento inicial o de desadherencia provocada por la curvatura de la viga mixta.

Se determinó que una viga de HMAC sin entallas dificultaría la predicción de donde se producirían las fisuras y muchos proyectos de UTW tienen soporte bituminoso deformado (fisurado). Por tanto, se supuso que la simulación de una fisura en la mezcla asfáltica que se refleje en la capa de hormigón puede ser adecuada para determinar la capacidad portante de la mezcla de UTW. Se cortó con sierra una entalla de 75 mm de profundidad en la parte HMAC de la viga mixta en el punto medio de la luz para que se asemejase a una fisura en la superficie

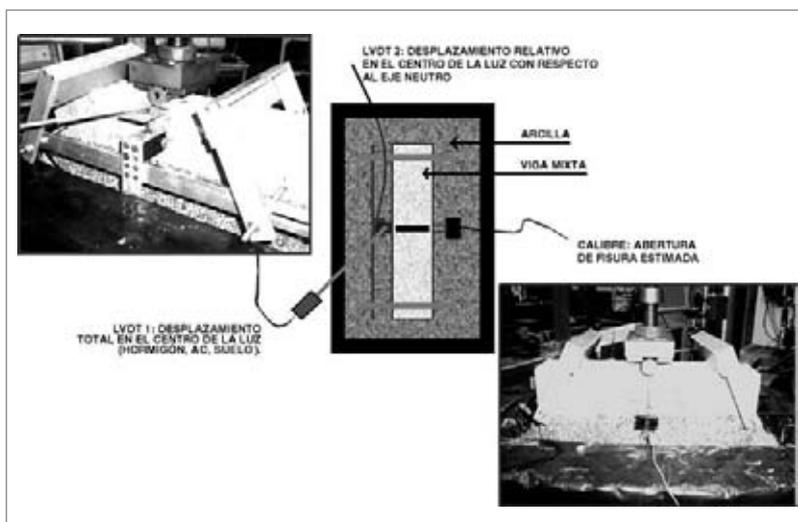


Figura 1. Preparación del ensayo con la viga mixta⁽³⁾.

bituminosa inferior. Se construyó la viga de una sola vez para asegurar una buena adherencia.

Se utilizaron dos LVDT para medir el desplazamiento vertical total de la viga mixta (hormigón, mezcla asfáltica y suelo) y para medir el desplazamiento vertical relativo entre el eje neutro y la parte superior de la viga. Se utilizó un calibre para medir la apertura de fisura de la parte inferior de la capa de hormigón sobre la entalla practicada en el firme bituminoso.

3. Mezclas de UTW (“Ultra-Thin Whitetopping”)

Los diseños de mezcla de hormigón utilizados se tomaron de varios ensayos de campo con UTW, en concreto los proyectos de Schanck Avenue y de Anna County de Winkelman⁽¹⁶⁾, la vía rápida Dan Ryan de Chicago, Illinois, y un proyecto de carretera en Brasil⁽¹⁰⁾. Se fabricaron un total de siete vigas mixtas en el laboratorio según muestra la Tabla 1.

Realizado en 2005, el proyecto de Schanck Avenue contenía 2 kg/m^3 (4 lb/yd^3 ó $0,26$ por ciento del volumen) de hormigón reforzado con fibra estructural (FRC) y hasta la fecha no ha mostrado deformaciones. Se fabricaron en el laboratorio tres mezclas adicionales similares a la de Schanck Avenue (hormigón en masa sin fibras, hormigón en masa con grava en lugar de árido grueso calizo machacado y una mezcla con una proporción de fibras mayor de 4 kg/m^3 , es decir, 6 lb/yd^3 ó $0,39$ del volumen).

La mezcla del proyecto de Anna County empleó un contenido de cemento más elevado y se colocó en una

		Schanck Avenue				Anna County	Dan Ryan	Brasil
		Sin armar	FRC bajo ^(a)	FRC alto ^(a)	Grava			
Cemento	kg/m ³	307	307	310	292	459	265	444
Ceniza volante	kg/m ³	83	83	84	79	0	0	0
Escorias	kg/m ³	0	0	0	0	0	67	0
Humo de sílice	kg/m ³	0	0	0	0	0	0	44
Agua	kg/m ³	159	159	161	151	166	140	171
Árido grueso	kg/m ³	1174	1176	1186	1119	1098	1151	1142
Árido fino	kg/m ³	596	597	602	568	613	750	558
Fibras	kg/m ³	0	2	4	0	0	0	0
Aireante	ml/m ³	400	100	101	95	150	86	221
Reductor de agua	ml/m ³	600	601	0	0	898	519	0
Súper plastificante	ml/m ³	0	0	696	0	0	0	1199
Relación agua/cemento		0,41	0,41	0,41	0,41	0,36	0,42	0,35

(a) FRC fibra estructural.

Tabla 1. Diseños de mezcla de UTW para ensayos de vigas mixtas.

	Schanck Avenue				Anna County	Dan Ryan	Brasil
	En masa	Contenido en fibras bajo	Contenido en fibras alto	Grava			
Propiedades en fresco							
Asiento (cm)	12,7	12,1	2,5	22,9	12,1	10,2	2,5
Densidad (kg/m ³)	21,50	2287	2313	2378	2150	2286	2343
Contenido de aire (%)	10,3	5,3	4,4	2,6	10,3	6,7	2,6
Propiedades fraguado							
Edad (días)	14	14	28	28	14	28	28
Resistencia a compresión (MPa)	22,6	34,8	39,7	36,1	33,8	44,5	37,0
Resistencia a tracción (MPa)	2,29	3,81	4,07	3,70	3,99	3,79	3,84
Módulo elástico (GPa)	22,6	31,5	33,3	48,4	30,7	31,8	29,9

Tabla 2. Propiedades y resistencia del UTW.

intersección. Las secciones de UTW de Anna County mostraron una elevada frecuencia de fisuración después de 3 años de servicio^(16, 11). De igual modo, se estudió el proyecto de carretera de Brasil debido a sus deformaciones tempranas y a su elevado contenido de cemento. Como mezcla de control, se reprodujo en el laboratorio el hormigón armado continuo del proyecto de vía rápida de Dan Ryan.

Se esperaba que la mezcla, con una elevada proporción de fibras (4 kg/m³), de Schanck Avenue mostrara un mejor comportamiento frente a la fractura. Por el contrario, se trabajó con la hipótesis de que el comportamiento frente a la fractura de la mezcla de Anna County no fuese tan bueno debido a las deformaciones tempranas percibidas en los tramos reales.

RESULTADOS

1. Propiedades en fresco y fraguado

La Tabla 2 muestra las propiedades medidas del hormigón fresco y fraguado de las mezclas de UTW. Las muestras de Schanck en masa, de Schanck con un contenido en fibras bajo y de Anna se ensayaron a los 14 días (esta edad de ensayo se escogió porque se preveía que las propiedades frente a la fractura fuesen más estables después de 7 días). Las muestras de Schanck con un contenido en fibras alto, Schanck con grava, Dan Ryan y Brasil se ensayaron a los 28 días.

La resistencia a compresión de la mezcla de hormigón en masa de Schanck fue menor que las otras debido a

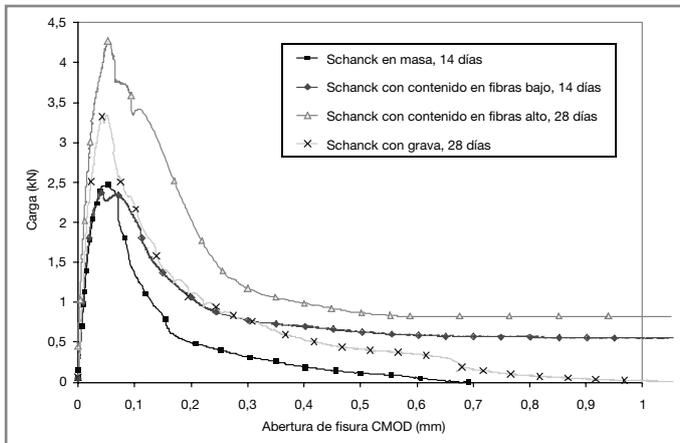


Figura 2. Curvas de carga frente a la abertura de fisura (CMOD) de la muestra TPB en el caso de las mezclas de hormigón Schanck.

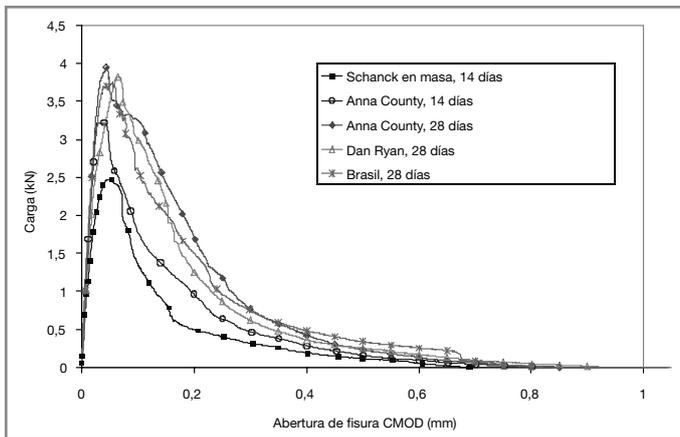


Figura 3. Curvas de carga frente a la abertura de fisura (CMOD) de la muestra TPB en el caso de las mezclas de hormigón en masa.

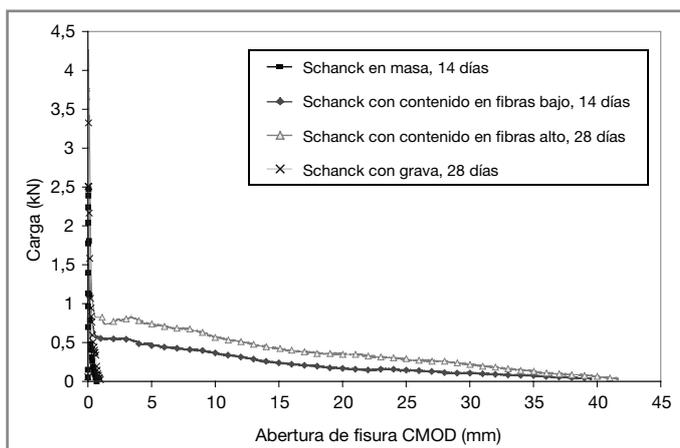


Figura 4. Curvas de carga frente a la abertura de fisura (CMOD) de la muestra TPB en los ensayos "run-out" de las mezclas Schanck.

su mayor contenido de aire. El aireante se redujo en el caso de las otras mezclas de Schanck. Los asentamientos de las mezclas de Schanck con un alto contenido de fibras y de Brasil fueron extremadamente reducidos incluso con la adición del súper plastificante. Debido a la forma

redondeada y uniforme de los áridos de la mezcla de Schanck con grava, no se utilizó reductor de agua ni súper plastificante, dando aún así como resultado un asiento de 23 cm. Las mezclas de Anna County y de Brasil mostraron resistencias a compresión semejantes a los 28 días debido a sus contenidos de cemento y relaciones agua/cemento similares. La mezcla de Schanck con un contenido en fibras alto tuvo una resistencia a la compresión relativamente elevada. La mezcla de Schanck con grava tuvo un módulo elástico de 48,4 GPa al cabo de 28 días, lo cual se atribuye al mayor módulo elástico de los áridos gruesos procedentes de la grava.

2. Resultados frente a la fractura

Se midió la resistencia a la fractura de todas las mezclas utilizadas en las vigas mixtas para comparar su comportamiento con distintas geometrías y condiciones de contorno y para permitir un futuro modelo tridimensional de los resultados. Las Figuras 2 y 3 ilustran las curvas de carga frente a la abertura de fisura (CMOD) en cada muestra de la "single edge notched beam" SEN(B) ensayada. La Tabla 3 presenta sus propiedades frente a la fractura.

Para cada mezcla se determinaron las propiedades frente a la fractura a la misma edad que fue utilizada en el ensayo de la viga mixta. Las mezclas con un contenido más elevado de cemento (Anna County y Brasil) mostraron resistencias mayores a compresión y permitieron algunas de las cargas máximas previas a la rotura según figura en la Tabla 3. En el caso de los ensayos de SEN(B) llevados a cabo a los 28 días (con la excepción de la mezcla Schanck con grava), las cargas máximas oscilaron entre aproximadamente 3,5 y 4,3 kN, mucho más elevadas que en las muestras de 14 días, que oscilaron entre 2,4 y 3,7 kN, y tuvieron unas propiedades iniciales frente a la fractura parecidas. La mezcla Schanck con grava tiene el módulo elástico más elevado, lo cual redujo, como se esperaba, la energía inicial de fractura a 14 y 28 días. La mezcla Dan Ryan tuvo una de las energías de fractura inicial y total más elevadas a los 28 días para el caso de hormigones en masa.

La mezcla Schanck con un contenido en fibras alto tuvo el mejor comportamiento en el momento de la carga máxima y posterior a la máxima cuando se ensayó a los 28 días, tal como muestran las Figuras 2 y 4. Tal como muestra la Tabla 3, la energía de fractura inicial y el factor de intensidad de tensión en el caso de la mezcla Schanck con un contenido en fibras alto son ligeramente más elevados que en el caso de Schanck

en masa debido a la mayor edad de la mezcla en el momento del ensayo y a las mayores resistencias a compresión y a tracción.

La mezcla Schanck con bajo contenido en fibras obtuvo básicamente la misma carga máxima que la mezcla Schanck en masa a los 14 días; sin embargo, la carga máxima posterior es mucho más elevada incluso con valores de abertura de fisura (CMOD) elevados, tal como muestra la Figura 4. Como se esperaba, las energías totales de fractura en el caso de las mezclas Schanck con contenidos en fibra altos y bajos son mucho mayores que el en caso de la mezcla Schanck en masa, a 1.720 N/m y 3.550 N/m respectivamente, frente a 60 N/m. Esta capacidad energética adicional con hormigón armado con fibra permite al UTW que se haya empezado a fisurar que continúe brindando un comportamiento estructural y funcional adecuado.

3. Resultados de retracción

En los diseños del UTW, una retracción excesiva del hormigón podría dar como resultado que el hormigón y la capa bituminosa de HMAC existente se despegaran. Las mezclas con una mayor resistencia fueron normalmente más susceptibles a este fenómeno debido a su mayor contenido total de cemento. Con el fin de valorar el potencial de una excesiva retracción a largo plazo, se fabricaron las muestras con dimensiones de 75x75x285mm según la norma ASTM C 157-99. Las muestras para analizar la retracción se desmoldaron a las 24 horas y a continuación se almacenaron de inmediato en una cámara de curado con un 50 por ciento de humedad relativa y a una temperatura de 23 grados centígrados. Se midió la retracción a los 1, 2, 3, 7, 14, 28, 56 y 90 días el caso de diversas mezclas de vigas mixtas.t

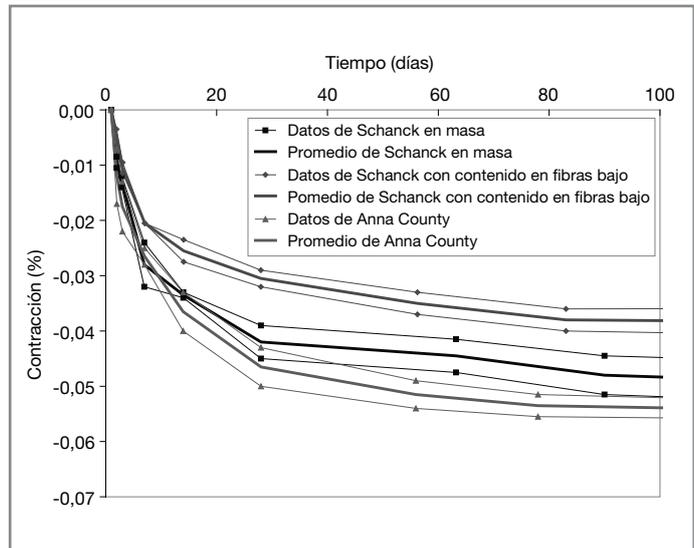


Figura 5. Resultados de la retracción libre del hormigón en las mezclas de UTW.

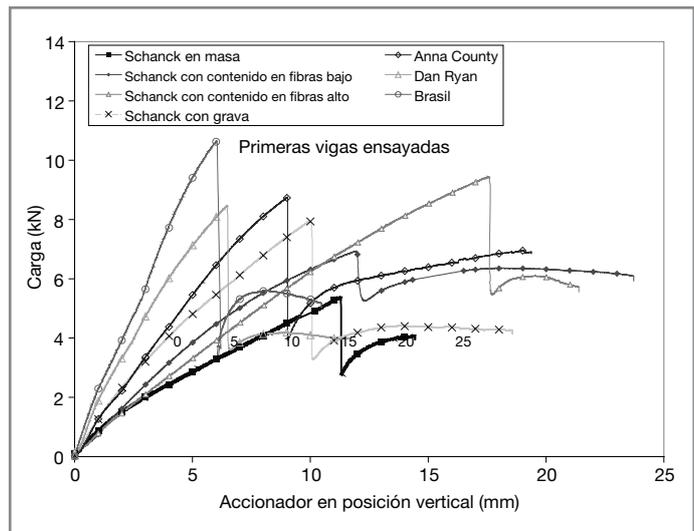


Figura 6. Desplazamientos verticales (recorrido) de la primera viga mixta.

Mezcla	Edad (días)	Carga máx. (kN)	Módulo elástico calculado (GPa)	KIC (MPa·m ^{1/2})	CTOD _c (mm)	G _f (N/m)	G _F (N/m)	
Schanck Avenue	En masa	14	2,36	17,1	0,86	0,031	43,7	60
	Contenido en fibras bajo	14	2,35	20,5	0,82	0,025	33,8	1720
	Contenido en fibras alto	28	4,34	27,4	1,33	0,024	65,2	3550
	Grava	28	3,23	30,7	1,10	0,018	39,2	112
Anna County	14	3,74	26,3	1,02	0,015	41,2	99	
	28	3,69	27,6	1,05	0,016	40,0	115	
Dan Ryan	28	3,67	27,8	1,24	0,019	55,7	133	
Brasil	28	3,52	29,7	1,15	0,018	44,3	102	

Tabla 3. Resultados frente a las fracturas de las mezclas de hormigón con UTW.

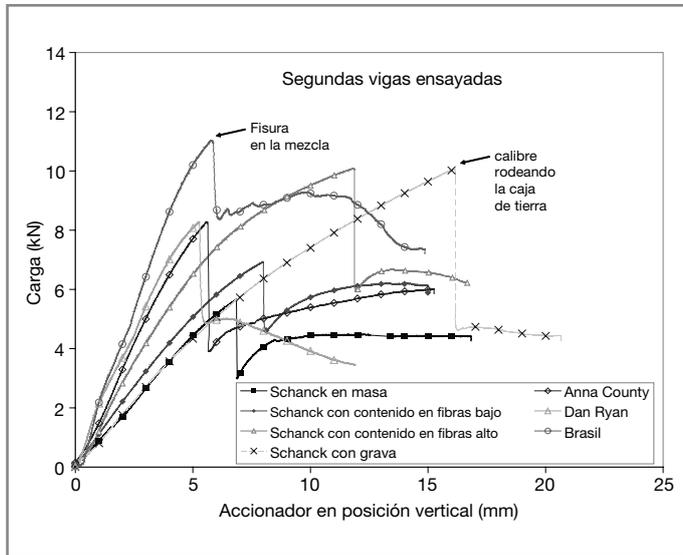


Figura 7. Desplazamientos verticales (recorrido) de la segunda viga mixta.

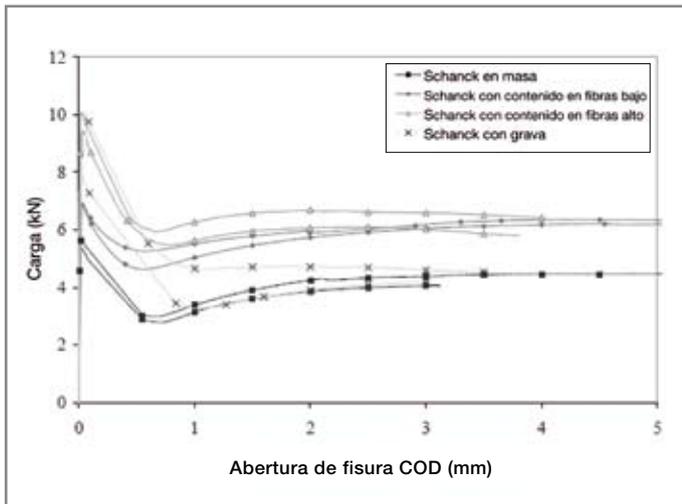


Figura 8. Curvas de carga frente a la abertura de fisura de la viga mixta de Schanck Avenue.

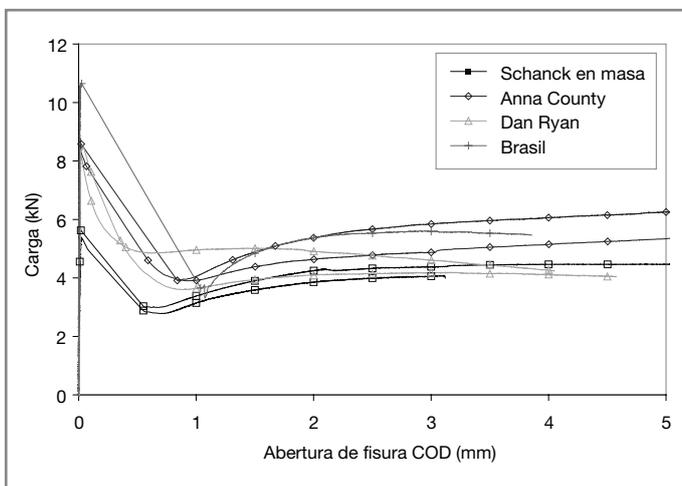


Figura 9. Curvas de carga frente a la abertura de fisura en las muestras de viga mixta no armadas.

Los resultados de los ensayos de retracción en las mezclas Schanck en masa, Schanck con un contenido en fibras bajo y Anna County están recogidos en la Figura 5. La adición de fibras en la mezcla de Schanck con un contenido en fibras bajo si se compara con la de Schanck en masa condujeron a una retracción libre menor en el hormigón. Otros ensayos efectuados para medir la retracción del hormigón han determinado que esta última se ha reducido aproximadamente un 0,02 por ciento a los 28 días con la adición de una fracción del 0,5 por ciento del volumen de polipropileno o de fibras de acero⁽⁷⁾.

El uso de un mayor contenido de cemento en la mezcla de Anna County hizo que mostrara una mayor retracción de secado a los 14 días. Puesto que la mezcla de Anna County ha tenido una menor relación agua/cemento, 0'36 por ciento, algunas de las retracciones aquí vistas se deben probablemente a la retracción autógena⁽⁹⁾, ya que se perdió una menor cantidad de agua libre por evaporación externa.

4. Resultados de las vigas mixtas

El desplazamiento vertical (recorrido) medido en cada viga se recoge en las Figuras 6 y 7. Como se ve en la Figura 6, la primera viga con el mismo hormigón generó mayores desplazamientos verticales con el suelo compactado bajo la carga si se compara con la segunda viga (Figura 7). Parece que cuando la humedad del suelo era menor (la arcilla se fisuró), la diferencia entre la primera y la segunda viga ensayadas fue menor y también la magnitud del desplazamiento vertical. Las mezclas de Anna County, Dan Ryan y Brasil se ensayaron con el suelo más seco.

Los resultados del LVDT que midió el desplazamiento vertical total no siempre funcionó bien (en especial con las vigas de Schanck con un contenido en fibras bajo) debido a problemas con la conexión rígida. En general, se esperaba que el desplazamiento vertical medido tuviera en cuenta algunas deformaciones externas por lo que no se debería considerar como el desplazamiento total auténtico.

La curva de la abertura de fisura (COD) frente a la carga con los resultados de Schanck Avenue y de todas las otras mezclas de hormigón se representa en las Figuras 8 y 9 respectivamente. Las curvas de carga frente a la abertura de fisura (COD) fueron parecidas entre las dos muestras de vigas mixtas ensayadas para cada mezcla de hormigón.

Mezcla	Edad (días)	Carga máx. (kN)	Carga mín. tras fisuración (kN)	COD (mm)		Posición de la máquina (mm)		Ratio de carga Máx./ Mín.	Caída de la carga (%)
				Al máx.	Al mín.	Al máx.	Al mín.		
Schanck en masa	14	5,5	2,9	0,020	0,68	9,1	9,1	1,9	48%
Schanck con un contenido en fibras bajo	14	6,9	4,9	0,027	0,57	10,0	10,2	1,4	29%
Schanck con un contenido en fibras alto	28	9,8	5,7	0,027	0,72	14,7	14,8	1,7	42%
Schanck con grava	28	9,0	3,9	0,039	1,06	13,1	13,2	2,3	56%
Anna County	14	8,5	3,9	0,017	0,88	7,3	7,4	2,2	54%
Dan Ryan	28	8,4	4,2	0,025	0,75	5,9	6,1	2,0	50%
Brasil	28	10,8	5,8	0,017	0,54	5,9	6,1	2,3	47%

Tabla 4. Resultados medios de las vigas mixtas.

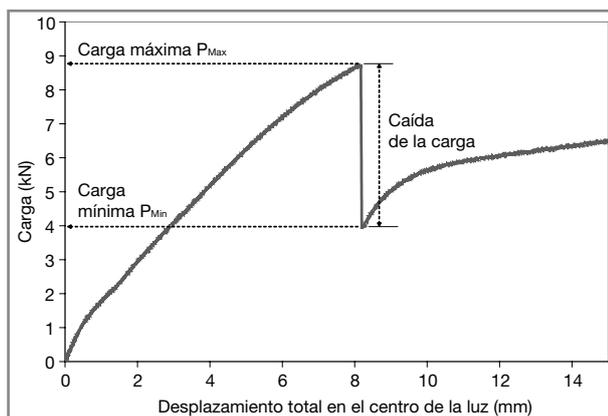


Figura 10. Ejemplo de resultado carga-flexión de la viga mixta.

El objetivo global del ensayo de la viga mixta fue el de determinar los efectos de la mezcla de hormigón sobre la capacidad de carga máxima y la residual tras la fisuración. La primera carga máxima se produjo a la vez que apareció una macrofisura apreciable a simple vista a través de la capa de hormigón encima de la entalla de la mezcla asfáltica HMAc. La carga descendió de inmediato cuando se formó una rótula plástica. El comportamiento posterior a la carga máxima se asoció en gran medida con la reacción del suelo que impidió la flexión de la viga y provocó una importante compresión de la viga contra el suelo. Los ensayos se detuvieron en cuanto estuvo claro que el suelo estaba aportando la mayor parte de la energía de los ensayos tras el colapso del hormigón.

Los valores de desplazamiento vertical y de abertura de fisura (COD) en el momento de la carga máxima y la mínima (tras la caída), así como el porcentaje de caída en la carga para todas las mezclas de hormigón se recogen en la Tabla 4. La Figura 10 muestra un diagrama carga-desplazamiento vertical con la respuesta de la viga mixta.

La relación de carga máxima/mínima se determinó dividiendo la carga máxima por la mínima inmediatamente después de la fisuración, mientras que la caída porcentual de la carga se definió como:

$$\% \text{ Caída de la carga} = \frac{(P_{Max} - P_{Min})}{P_{Max}}$$

La carga máxima en la mezcla de Brasil fue la más elevada, mientras que la menor correspondió a la mezcla de Schanck en masa; esta tendencia es similar a la que muestra la resistencia a compresión de estas mismas mezclas. Las mezclas de Anna County y de Schanck con un contenido en fibras alto mostraron unas cargas máximas más elevadas, también en consonancia con sus resistencias más elevadas a compresión. Adviértase que el momento del ensayo tuvo efectos sobre los resultados. Todas las muestras ensayadas a los 28 días mostraron cargas máximas mayores, mientras que entre las de 14 días solamente la mezcla de Anna County demostró una carga máxima elevada en comparación con el resto de las mezclas. Una mezcla de hormigón con una resistencia elevada puede resultar beneficiosa siempre que se mantenga la adherencia con la capa de HMAc y no se produzcan fisuras.

Se trabajó con la hipótesis de que la caída de la carga era un factor significativo para calcular la integridad estructural del UTW una vez que se ha formado la fisura. Por ejemplo, en la práctica el tramo de Anna County fue el que más fisuración mostró en cada losa, apareciendo dichas fisuras a una edad temprana⁽¹⁶⁾. La magnitud de la caída de la carga se puede asociar con el comportamiento real del UTW tras la fisuración inicial. Los proyectos de investigación pasados han demostrado una capacidad mayor de flexión de las losas de hormigón en

masa cuando se añaden fibras estructurales^(13,14) y esta capacidad adicional se puede predecir tomando como base la resistencia residual de las vigas mixtas⁽¹⁾.

Tomando como base estos resultados, la mezcla de Anna County muestra resultados ligeramente peores en tanto que tiene una caída del 54 por ciento en cuanto a su capacidad portante tras la fisuración. La mezcla con grava de Schanck tiene la mayor caída de la carga con un 56 por ciento. Esta caída probablemente se asocie al hecho de que estas muestras se fracturasen siguiendo la interfaz de los áridos incluso a los 28 días. Por otra parte, las mezclas de hormigón reforzado con fibras (Schanck con un contenido en fibras bajo y alto) tienen las dos caídas de carga menores con un 29 y un 42 por ciento respectivamente.

Algunos de los problemas de construcción del hormigón con la mezcla Schanck con un contenido en fibras alto pueden haber provocado una caída más elevada de la carga que en el caso de la mezcla Schanck con un contenido en fibras bajo. En general, la caída de la carga no fue tan importante como se esperaba. Además, la geometría del ensayo, tal como se dijo con anterioridad, influyó en el comportamiento frente a la fractura de las vigas mixtas. Este comportamiento se atribuye a la naturaleza bidimensional de este ensayo que no permite apreciar la resistencia a la propagación de la fisuración del hormigón reforzado con fibra y del hormigón en masa como sí se ha visto en las losas⁽¹⁴⁾.

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO

Se han producido varios problemas en relación con este conjunto de ensayos para vigas mixtas, tal como se esperaba de una nueva técnica de ensayo. En primer lugar, la geometría de la viga influye sobre su comportamiento frente a la fractura. También la humedad del suelo afectó a la flexión. Los resultados no ofrecieron suficiente información para hacerse una idea del comportamiento frente a la fractura de la sección mixta y la forma en que se pueden seleccionar los componentes y las proporciones del hormigón.

Las mezclas de hormigón que obtienen una resistencia a compresión o cargas máximas más elevadas en los ensayos de vigas mixtas no son inherentemente malos materiales para seleccionar si se mantiene la adherencia entre el hormigón y la capa de HMCA existente. Sin embargo, si hay una fisuración importante en la capa de HMCA existente, es más deseable una mezcla de hormigón resistente a la fractura. Por tanto, se pueden utilizar

las mezclas de hormigón con una resistencia moderada junto con una retracción mínima por secado; y las fibras estructurales ofrecen una mayor resistencia frente a la fisuración reflejada, mayor capacidad portante, mayor capacidad de carga residual, así como más seguridad en caso de que se despegue la unión HMCA/hormigón.

En última instancia, la vida útil de un tramo de UTW es una interacción entre el estado de la capa existente de HMCA, las cargas, el diseño estructural del UTW y, por último, los materiales seleccionados para el hormigón. Se deberían llevar a cabo más investigaciones sobre la caracterización del HMCA y las condiciones de adherencia para mejorar el diseño y la construcción de futuros pavimentos de UTW.

CONCLUSIONES

Se desarrolló un nuevo método de ensayo para las vigas mixtas compuestas por hormigón vertido sobre mezcla asfáltica HMCA y ensayadas en un subsuelo arcilloso para predecir el comportamiento frente a la fractura de las mezclas de "Ultra Thin Whitetopping" UTW que se encuentran en este tramo.

Los resultados de los ensayos sobre la viga mixta y las propiedades frente a la fractura del SEN(B) tienen tendencias similares en cuanto a las cargas máximas si se comparan las mezclas. La magnitud de la caída porcentual de la carga no fue significativamente distinta entre las diversas mezclas de hormigón en masa.

Las muestras de hormigón reforzado con fibra ensayadas en una viga mixta totalmente apoyada arrojaron unos resultados de mayor resistencia si se comparan con las mezclas de hormigón en masa. Se determinó que la caída porcentual de la carga tras la fisuración de cada viga era un medio de distinguir el comportamiento entre el hormigón reforzado con fibra y las mezclas de hormigón en masa empleadas para los proyectos de UTW. Las propiedades frente a la fractura que se desprendieron solamente de las muestras de SEN(B) pudieron conducir a errores porque no siempre se correspondían con el comportamiento observado en la práctica.

En general, el comportamiento y el rendimiento del sistema de UTW dependen del efecto combinado de la carga, las propiedades frente a la fractura del hormigón, la adherencia del hormigón/HMCA, la geometría de la losa y las condiciones de apoyo. La desadherencia y la fisuración en la sección de UTW pueden fracturar con rapidez esta última aun con hormigones de alta resistencia.

El refuerzo con fibras se debería añadir a la mezcla de hormigón para aumentar la resistencia a la fisuración, la capacidad de flexión del UTW y para prolongar la vida útil del UTW, en especial cuando las condiciones de adherencia o de apoyo no sean las ideales.

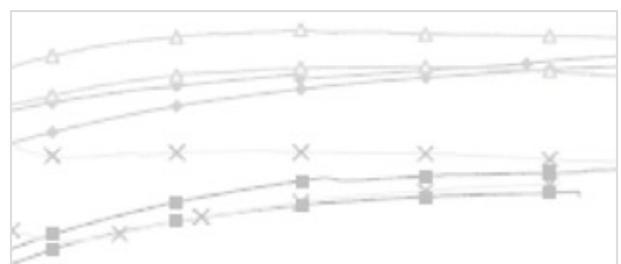
AGRADECIMIENTOS

Esta publicación se basa en los resultados de la norma ICT-R27-3A, *Requisitos de diseño y materiales para el "Ultra-Thin Whitetopping"*. La ICT-R27-3A se realizó en colaboración con el Centro de Illinois para el Transporte; el Departamento de Transporte de Illinois, División de Carreteras y el Departamento de Transporte de los EE.UU., Administración Federal de Carreteras.

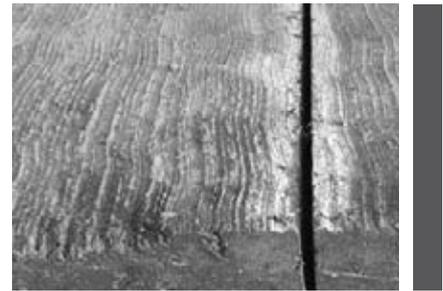
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Altoubat, S.A., Roesler, J.R., Lange, D.A. y Rieder, K.-A. (2008). "Simplified Method for Concrete Pavement Design with Discrete Structural Fibers." *Construction and Building Materials*, 22(3), págs. 384-393.
2. Anderson, T.L. (2005). "Fracture Mechanics Fundamentals and Applications". 3ª edición. Taylor & Francis Group: Boca Ratón, FL.
3. Bordelon, A.C. (2007). "Fracture Behavior of Concrete Materials for Rigid Pavement Systems". M.S. Thesis, University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, IL.
4. Hillerborg, A. (1985). "The Theoretical Basis of a Method to Determine the Fracture Energy GF of Concrete." *Material and Structures*, RILEM, 16(4), págs. 291-296.
5. Ioannides, A. M. (2007). "Evaluation of UTW and Whitetopping Design Procedure", Informe provisional para el Centro de transporte de Illinois, Cincinnati, Ohio.
6. Jenq, Y. y Shah, S.P. (1985). "Two Parameter Model for Concrete." *Journal of Engineering Mechanics*, 111(10), págs. 1227-1241.
7. Leung, C. K.Y., Lai, R. y Lee, A.Y.F. (2005). "Properties of wet-mixed fiber reinforced shotcrete and fiber reinforced concrete with similar composition", *Cement and Concrete Research*, 35(4), págs. 788-795.
8. Lin, D.-F. y Wang, H.-Y. (2005). "Forensic Investigation of Ultra-Thin Whitetopping Failures in Taiwan." *Journal*

- of Performance of Constructed Facilities, 19(2), 165-171.
9. Mindess, S., Young J.F. y Darwin, D. (2003). "Concrete", 2ª edición. Prentice Hall: Upper Saddle River, NJ.
10. Pereira, D.D.S., Balbo, J.T. and Khazanovich, L. (2006). "Theoretical and field evaluation of interaction between ultra-thin whitetopping and existing asphalt pavement". *International Journal of Pavement Engineering*, 7(4), págs. 251-260.
11. Riley, R.C., Mallela, J. y Gotlif, A. (2005). "Whitetopping: Atypical Is Typical", Conferencia internacional sobre mejores prácticas para los refuerzos superiores de hormigón delgados y ultradelgados. Actas de la conferencia, Denver, Colorado, págs. 120-148.
12. Roesler, J. R., Bordelon, A., Ioannides, A. M. y Beyer, M. (2008). "Design and Concrete Material Requirements for Ultra-Thin Whitetopping". Borrador de informe para el Departamento de Transporte de Illinois, ICT-R27-3A, Urbana, IL.
13. Roesler, Jeffery R., Altoubat, S.A., Lange, D.A., Rieder, K.-A. y Ulrich, G.R. (2006). "Effect of Synthetic Fibers on Structural Behavior of Concrete Slabs-on-Ground." *ACI Materials Journal*, 103(1), págs. 3-10.
14. Roesler, J.R., Lange, D. A., Altoubat, S.A., K.-A. Rieder y Ulrich, G.R. (2004). "Fracture of Plain and Fiber-Reinforced Concrete Slabs under Monotonic Loading." *ASCE Journal of Materials in Civil Engineering*, 16(5), págs. 452-460.
15. Shah, S.P., Swartz, S.E. y Ouyang, C. (1995). "Fracture Mechanics of Concrete: Applications of Fracture Mechanics of Concrete, Rock and Other Quasi-Brittle Materials". Wiley-Interscience: Nueva York, NY.
16. Winkelman, T.J. (2005). "Illinois' Whitetopping Experience, A Practical Approach." Conferencia internacional sobre mejores prácticas para los Whitetoppings delgados y ultradelgados. Actas de la conferencia, Denver, Colorado, págs. 77-105. □



Hormigón con fibras: ¿Entre el hormigón en masa y el armado?



Fibre concrete mixes: in between plain and reinforced concrete?

C. René BRAAM ^(a)

Universidad Técnica de Delft (Países Bajos)

Adrian J. VAN LEEST

Plataforma Tecnológica CROW (Países Bajos)

Steeff B. VAN HARTSKAMP

Provincia de Brabante del Norte (Países Bajos)

George JURRIAANS

ECCRA (Países Bajos)

Corné A. VAN DER STEEN

Technoconsult (Países Bajos)

Marc J.A. STET

Via Aperta (Países Bajos)

RESUMEN

El hormigón con fibras no es algo novedoso en pavimentos. En la década de 1980 el hormigón con fibras se popularizó gracias a que proporcionaba una reducción del espesor del pavimento y a que incrementaba la distancia entre juntas. Por desgracia, las perspectivas no se mantuvieron y el hormigón con fibras desapareció “en silencio” de la escena de las construcciones de pavimentos. Sin embargo, se continuó investigando en la construcción de soleras industriales y se desarrollaron nuevas mezclas de hormigón que contenían nuevos tipos de fibras de acero. Se elaboraron directrices de diseño para armonizar las normas de diseño estructural. El historial de soleras industriales con fibras de acero es sólido.

A lo largo de los años, el nuevo hormigón con fibras ha regresado a los pavimentos. Varios proyectos se han construido con éxito y, a instancias de los creadores de estas mezclas, se constituyó un grupo de trabajo para investigar este tipo de hormigón en la Plataforma Tecnológica Holandesa para el Transporte, las Infraestructuras y los Espacios Públicos (CROW). Un equipo de productores de fibra de acero, de expertos en hormigón, de investigadores y de contratistas tuvo asignada la tarea de valorar el comportamiento de los pavimentos recientemente construidos.

El estudio puede conducir a recomendaciones prácticas para la aplicación de hormigón con fibras en los Países Bajos. Este documento versa sobre las mezclas fibrosas que se utilizan en la actualidad y presenta los resultados de los proyectos recientemente construidos.

Palabras clave: *Hormigón con fibras de acero, Pavimento, Fisuración, Hormigón en masa, Hormigón armado continuo, Monitorización, Junta de retracción.*

(a) Los autores firman en nombre del grupo de trabajo de CROW sobre Hormigón con fibras de acero para carreteras, formado por W. van de Boom, E. van Avendonk, Chr.G. Bouquet, C.R. Braam, A. Hoekstra, S.B. van Hartskamp, A. Houtepen, G. Jurriaans, H. Ouwerkerk, A.J. van Leest, H. Soen, C.A. van der Steen, M. Stet y J. Verwaard.

ABSTRACT

Fibrous concrete has a history in pavements. In the '80-s fibrous concrete became popular thanks to options such as reduced pavement thickness and increased joint distances. Unfortunately, not all promises were kept and the fibrous concrete 'silently' disappeared from the pavement construction scene. However, in industrial floor construction research continued and new concrete mixes containing different types of new steel fibres were developed. Design guidelines were developed to harmonize structural design rules. The track record in industrial floors with steel fibres has become sound.

Over the years, the new fibrous concrete returned to the pavements. Several successful projects were constructed and at the instigation of the developers of these mixes a working group for the investigation of fibrous concrete was formed by the Dutch Technology Platform for Transport, Infrastructure and Public Space (CROW). A team of steel fibre producers, concrete experts, researchers and contractors had the task to evaluate the performance of recently constructed pavements.

The study may lead to recommended practices for the application of fibrous concrete in the Netherlands. The paper elaborates on the fibrous mixes currently in use and presents the results of recently constructed projects.

Key words: *Steel fibre concrete, Pavement, Cracking, Plain concrete, Continuously reinforced concrete, Monitoring, Shrinkage joint.*

El hormigón es un material que se utiliza mucho en los pavimentos, tanto en masa como armado. En el primer caso, se construyen juntas de retracción para evitar la fisuración aleatoria, en el segundo se asegura el control de la abertura de fisura gracias al armado del hormigón. En ambos casos, estas medidas se deben a la resistencia relativamente baja a tracción del hormigón, que está en torno al 10 por ciento de su resistencia a compresión. Por tanto, se deberían evitar que se produzcan esfuerzos de tracción o se debería aceptar y controlar la fisuración mediante la armadura dispuesta, que ha de ser capaz de resistir los esfuerzos de tracción.

Las fibras de acero son una alternativa al acero de armar, ya que pueden transmitir esfuerzos de tracción en el hormigón fisurado. Las fibras tienen la ventaja de que pueden reducir las dos fases de construcción a una sola si las fibras sustituyen por completo al armado. Estas fases son:

- La colocación de la armadura, y
- El vertido del hormigón.

Las fibras se añaden a la mezcla de hormigón antes del vertido, de manera que el proceso de vertido en sí también incluye la aplicación de la armadura. Sin embargo, esto solamente se sostiene cuando toda la armadura se puede sustituir por fibras de acero. Esto apenas puede ser el caso en los pavimentos de hormigón, ya que la cantidad de armadura es relativamente alta (aprox. 0,66 por ciento). En las soleras industriales apoyadas sobre el suelo, sin embargo, la armadura dispuesta se puede sustituir casi en su totalidad por fibras. Cuando la solera se apoya sobre pilotes, los momentos máximos sobre los apoyos encima de los pilotes requieren cierta armadura adicional. Se advierte que estas soleras están principalmente sometidas a flexión.

La cantidad de armadura aplicada en los pavimentos armados continuos es de aproximadamente 61 kg/m³. La mayor parte de esto (en torno a 52 kg/m³) es el 0,66 por ciento que se corresponde con la armadura longitudinal. Los apoyos necesarios para colocar estas armaduras necesitan unos 9 kg/m³. La Tabla 1 recoge una visión de conjunto de la armadura dispuesta tradicionalmente en los Países Bajos en este tipo de estructura.

Esta cantidad de refuerzo es más bien elevada si se compara con las soleras industriales, ya que el

pavimento no solamente está sometido a cargas de tráfico, que causa deformaciones de flexión, sino también a esfuerzos axiales provocados por la restricción de los movimientos longitudinales. Sustituir toda la armadura con fibras de acero tampoco es la mejor opción: se debería tener en cuenta que las barras corrugadas se pueden colocar donde resulten más eficaces para la transmisión de esfuerzos y reducir la abertura de fisura. Dado que las fibras de acero están distribuidas aleatoriamente en la mezcla:

Clase resistente del hormigón (cilindro / cubo)	C 35/45	
Diámetro de la barra de acero [mm]	16	20
Proporción de armadura (% de la sección transversal) para una abertura de fisura máxima de 0,40 mm	0,62	0,66
Espesor específico de la capa de hormigón		
230 mm		
– Cuantía mínima de armadura [mm ² /m]	1438	1518
– Separación máxima entre las barras (centro a centro) [mm]	140	207
250 mm		
– Cuantía mínima de armadura [mm ² /m]	1547	1650
– Separación máxima entre las barras (centro a centro) [mm]	130	190
270 mm		
– Cuantía mínima de armadura [mm ² /m]	1674	120
– Separación máxima entre las barras (centro a centro) [mm]	1782	176
Longitud de solape de las barras longitudinales [mm]	370	450

Tabla 1. Características de los pavimentos de hormigón armado continuo, Acero FeB 500; límite elástico característico = 500 N/mm²

- también están presentes en la zona de compresión del hormigón,
- no se concentran en la cara externa del área traccionada (brazo mecánico reducido), y
- no están orientadas en la dirección de los esfuerzos de tracción, sino al azar.

Estos tres aspectos hacen que la sustitución de la armadura de acero por fibras de este mismo material dé como resultado un aumento de la cantidad de acero por volumen de hormigón. Se podría añadir otro aspecto, la imposibilidad de inspeccionar la armadura antes de que tenga lugar el hormigonado: esto hace que la utilización de fibras de acero se enfrente por lo general a preguntas sobre su distribución y su orientación. El control de calidad; por ejemplo, las muestras de prueba tomadas de la mezcla y los ensayos con pequeñas vigas fabricadas *in situ* deberían garantizar que se pueda comprobar si se satisfacen las demandas.

ASPECTOS DEL DISEÑO

1. Pavimentos JPCP (Pavimentos de hormigón en masa con juntas)

Los pavimentos *JPCP* (*Pavimentos de hormigón en masa con juntas*) están diseñados de acuerdo a las teorías de losas y vigas sobre cimentaciones elásticas. Cuando no se emplee armadura, las tensiones de tracción no debe-

rán exceder la resistencia a la tracción. Esto implica que se deben construir juntas de retracción para reducir las tensiones que se generen por la retracción impedida del hormigón. Estas juntas se forman tan pronto como sea posible tras el vertido, mediante el serrado de al menos 1/3 del espesor del pavimento.

Se generarán no solamente reacciones horizontales, sino también verticales debido al rozamiento entre el pavimento y la cimentación, por debajo del centro de gravedad de la sección. Además, la deformación impuesta también puede ser en parte una curvatura impuesta. Petterson⁽⁹⁾ ha llevado a cabo una amplia investigación sobre este tema.

Las tensiones procedentes de cargas externas (por ejemplo, de las ruedas) se calculan mediante expresiones estándar para tensiones en una losa sobre una base elástica^(12,13). Estos cálculos en el tramo elástico-lineal son la base cuando se diseñan los pavimentos de hormigón en masa: el espesor del pavimento y la distancia entre juntas de retracción es tal que la tensión de tracción máxima del hormigón no rebasa la resistencia a flexión del hormigón (criterio de fisuración).

Los resultados que arrojan la teoría y la práctica demuestran que no se espera fisuración en el hormigón con una separación entre juntas de retracción de 4,2 m en sentido longitudinal (juntas transversales) y de aproximadamente 5 m en sentido transversal (juntas longitudinales). Las losas individuales de hormigón están unidas por

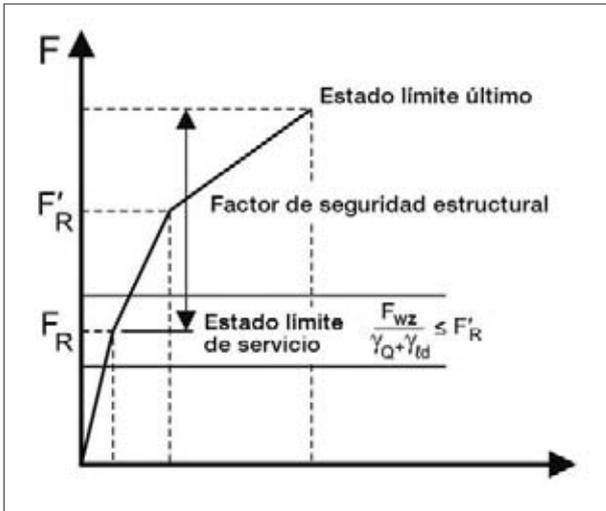


Figura 1. Diseño según la teoría del estado límite último y las líneas de rotura⁽⁶⁾.

medio de pasadores de acero para controlar el escalonamiento en las juntas y armadura de atado para controlar la abertura de fisura y las deformaciones horizontales. La siguiente cuantía de acero es la normal:

- Junta transversal: pasadores; barras de acero FeB 220, Ø 25 mm, longitud 500 mm, totalmente revestida; separación de 250 mm.
- Junta longitudinal: pasadores; barras de acero FeB 500, Ø 20 mm, longitud 800 mm, revestidos en una longitud de 200 mm; separación de 1,67 m.

La cuantía total de acero necesaria sumando los pasadores y la armadura de atado es aproximadamente 8 kg/m³ de hormigón. Al reducir la separación entre las juntas transversales, se puede reducir de manera considerable la cantidad total de acero necesaria en las juntas transversales. Ésta es la medida más efectiva, ya que en torno al 90 por ciento del acero necesario en los pasadores o barras de atado se aplica en las juntas transversales.

2. Pavimentos CRCP (Pavimentos de hormigón armado continuo)

El diseño del *hormigón armado continuo* se basa en la transmisión de la carga a través de una sección transversal fisurada, suponiéndose que la resistencia a la tracción del hormigón es cero y que la armadura está diseñada para satisfacer las demandas del *estado límite último (ELU)* y del *estado límite de servicio (ELS)*.

El procedimiento de diseño difiere del descrito para el hormigón en masa en dos aspectos. En primer lugar, en el ELS

se supone que la estructura se fisura, lo que provoca una reducción considerable de su rigidez y, en consecuencia, una considerable reducción de los esfuerzos provocados por las deformaciones impedidas: al contrario que las cargas externas, las fuerzas inducidas por las deformaciones impedidas dependen tanto de la magnitud de la propia deformación como de la rigidez de la estructura.

Los cálculos exactos requieren un procedimiento iterativo, ya que la rigidez de la estructura en sí depende del nivel total de carga y viceversa. Se han desarrollado modelos para calcular a mano unos valores envolventes relativamente precisos para los esfuerzos procedentes de las deformaciones impedidas. El nivel total de carga es la suma de estas cargas y de la carga externa.

La apertura de fisura se calcula mediante las teorías tradicionalmente empleadas en las estructuras de hormigón. Un aspecto importante en el cálculo de la apertura de fisura es la combinación de los esfuerzos que se supone que provocan la fisuración: la tracción pura es desfavorable desde el punto de vista del control de la apertura de fisura. La rigidez estructural se reduce tanto en el ELU que las deformaciones impedidas apenas si inducen ningún esfuerzo. Por tanto, su acción se desprecia mayoritariamente en este estado.

3. Pavimentos SFRC (Pavimentos de hormigón armado con fibras de acero)

El diseño del *hormigón armado con fibra de acero (SFRC)* se basó en primer lugar en las teorías elástico-lineales aplicadas al hormigón en masa. Desde entonces se dispone de métodos de diseño más adecuados. Vitt⁽¹¹⁾ (Figura 1) propuso un método de diseño en la que se utiliza la teoría de las líneas de rotura tal como la presentó Losberg⁽⁷⁾. Cuando se aplica este enfoque, se pueden tener en cuenta las propiedades y la resistencia reales del material tras la fisuración. De este modo, se puede determinar una carga última más realista.

En los Países Bajos, el diseño era a menudo elástico-lineal utilizando una resistencia a flexión. Esta resistencia ficticia era la resistencia real a flexión del hormigón en masa multiplicada por un factor que representa la influencia de las fibras de acero. Este factor se calculó utilizando los resultados de flexión de pequeñas vigas de SFRC^(8,1). La resistencia tras la fisuración en deformaciones impuestas se utilizó para calcular un factor (> 1) por el cual se puede multiplicar la resistencia a flexión⁽⁴⁾.

La principal ventaja de este procedimiento es, como se afirmó antes, que el cálculo permanece sin alteraciones

en comparación con el utilizado para el hormigón en masa⁽⁶⁾. Sin embargo, un grave inconveniente es que el procedimiento de diseño para pavimentos de hormigón en masa se fundamenta en una separación entre juntas de retracción más bien pequeña (por ejemplo, 4-5 m).

Se podría debatir si estos procedimientos aún son de aplicación cuando aumente la distancia entre juntas de retracción. Además, el uso de la resistencia tras la fisuración para definir una resistencia que se utilice en una etapa previa a la fisuración plantea cuestiones en torno a si el pavimento realmente continúa sin fisuras o si sólo carece de ellas desde un punto de vista teórico.

Los nuevos conocimientos y los avances posteriores han dado como resultado unos procedimientos de cálculo en el cual se diseñan las estructuras de SFRC del mismo modo que las de hormigón armado⁽⁶⁾. Se incorporaron los cálculos de fisuración real y de apertura de fisura.

4. Hormigón armado con fibras de acero

El uso de teorías para el diseño de hormigón armado también para el SFRC permitió el cálculo de sistemas combinados de fibras de acero y armadura sin tener que introducir muchas alteraciones en la teoría. Ahora, están cubiertas todas las aplicaciones que van desde el SFRC hasta el hormigón armado y las alternativas intermedias⁽⁶⁾.

5. Hormigón con fibras sintéticas

Estas fibras se añaden primordialmente para controlar la fisuración por retracción plástica. Este tipo de fisuración se puede producir cuando la superficie del hormigón está sometida a un secado prematuro y, como resultado, se ve sometido a tensiones de tracción causadas por el secado de los poros.

En esa etapa, las fibras sintéticas pueden puentear las fisuras y reducir así su abertura, las fibras no aumentan la carga admisible de la estructura y, por tanto, se consideran un refuerzo secundario. El contenido de fibras debería rondar el 0,1 a 0,2 por ciento del volumen para garantizar su funcionamiento. Nunca se deberían considerar las fibras sintéticas un refuerzo primario.

SFRC APLICADO A PROYECTOS DE DEMOSTRACIÓN

A instancias de los fabricantes de hormigón, se constituyó un grupo de trabajo para la investigación del hormigón

con fibras en la Plataforma Tecnológica Holandesa para el Transporte, las Infraestructuras y los Espacios Públicos (CROW). El proyecto comenzó en 2005 y se espera que concluya a mediados de 2008.

1. Alcance del grupo de trabajo

El proyecto de CROW tenía varios objetivos:

- Preparar una investigación sobre el estado del arte del SFRC que incluyese los aspectos del diseño, las prácticas constructivas, los tipos de mezcla, los métodos de ensayo, etc.
- Valorar los proyectos construidos anteriormente por medio de un cuestionario. Se debería basar en un programa de monitorización para vigilar los proyectos durante su construcción.
- Indicar la forma de ajustar una herramienta de diseño para los pavimentos de hormigón en masa y armado continuo, la denominada herramienta VENCON 2.0⁽³⁾. Stet y otros⁽¹⁰⁾ han discutido sobre las capacidades y los modelos incorporados a esta herramienta estándar de diseño que se utiliza a menudo en los Países Bajos. El diseño de los pavimentos de SFRC se puede convertir en una parte de la actualización de esta herramienta.
- Monitorizar el diseño y la construcción de algunos proyectos de construcción. El programa de monitorización se llevó a cabo en dos proyectos.
- Elaborar recomendaciones para el diseño y la construcción de pavimentos para carreteras de SFRC en los Países Bajos y presentar un informe CROW con recomendaciones prácticas.

2. Investigación bibliográfica

Un estudio determinó que los pavimentos de SFRC se deberían considerar una alternativa al hormigón en masa. También podría competir con los pavimentos de hormigón armado continuo siempre que la separación entre juntas de retracción se pudiera aumentar hasta 100-150 m. Como se ha afirmado antes, la cantidad de refuerzo necesaria en los pavimentos armados continuos (unos 61 kg/m³) apenas se puede sustituir por una cantidad equivalente de fibras de acero.

Si se compara con los pavimentos de hormigón en masa con pasadores (unos 8 kg/m³), la mayor resistencia a flexión y la capacidad resistente tras la fisuración del SFRC (aproximadamente 40 kg/m³) permite la reducción del número de juntas de retracción transversales. El



Foto 1. El pavimento de Tilburg durante (izquierda) y tras (derecha) la construcción.

resultado es que se puede reducir la cantidad de acero necesario para los pasadores.

Los precios unitarios por metro cuadrado y 250 mm de espesor de los pavimentos de hormigón son del 115 por ciento en el caso del CRCP (incluyendo la capa bituminosa intermedia) y del 130 por ciento en los pavimentos de SFRC si la inversión en JPCP es del 100 por ciento. Esto implica que el espesor del pavimento de SFRC se ha de reducir a aproximadamente el 77 por ciento (190 mm) del espesor del pavimento de hormigón en masa con juntas con el fin de que tenga un coste similar.

3. Programa de monitorización

El grupo de trabajo CROW examinó un número limitado de proyectos. Puesto que el grupo simplemente monitorizó la construcción de proyectos de SFRC y no participó, su influencia fue más bien limitada. Sin embargo, con el fin de garantizar que se abordasen todos los temas, se aplicó el programa de monitorización. Se presentan los dos proyectos monitorizados desde su inicio. Solamente se pueden presentar los resultados de un corto periodo tras la ejecución, y los resultados estructurales bajo cargas reales se someterán a monitorización en los años venideros.

PROYECTO PILOTO DE TILBURG

1. Materiales y métodos

En abril de 2007, se construyeron cerca de Tilburg (P.B.) aproximadamente 500 m de pavimento de carretera de 6,6 m de ancho realizado a base de hormigón armado con fibras (Foto 1). El hormigón (en un espesor h de 180 mm) se aplicó mediante una pavimentadora de encofra-

do deslizante, y se mezcló en una planta de hormigón. Las fibras de acero se añadieron manualmente con una pequeña cinta transportadora para ir añadiendo de forma paulatina las fibras en la planta. La mezcla se transportó después en camiones abiertos.

La clase resistente del hormigón fue de C 35/45 (resistencia característica a compresión a 28 días de una probeta cilíndrica/cúbica). Se utilizó cemento Pórtland con cenizas volantes (CEM II BV 32,5; 350 kg/m³) para aumentar la resistencia al desportillado (ciclos de hielo-deshielo y sales fundentes). La relación de agua-cemento fue de 0,45. El contenido de fibras fue de 40 kg/m³ (Twincone 1.0 del Grupo Arcelor). El contenido de fibras se escogió de tal modo que permitiese tramos sin fisuración de hasta 30 m.

Como referencia, el pavimento también se diseñó en hormigón en masa con juntas (con un espesor h de 250 mm) con una separación entre juntas transversales de retracción de 4,5 m. Se estimó que los costes de construcción de la solución alternativa eran aproximadamente los mismos que en el caso de las estructuras de hormigón en masa tradicional.

Los cortes transversales con sierra (para iniciar las juntas de retracción) se realizaron a intervalos de 267 m, 46 m, 48 m, 56 m, 26 m, 30 m y 30 m. Esta amplia gama de longitudes permitió comprobar si se podía conseguir el tramo de 30 m previsto sin fisuras. Se inspeccionaron las siete secciones para ver su comportamiento frente a la fisuración hasta 62 días después de la construcción.

Se midió la resistencia a compresión del hormigón en diversos momentos, utilizando probetas cúbicas (longitud de la arista de 150 mm) del fabricante (almacenados

Edad del hormigón (días)	7	14	21	28	56
Probeta cúbica (150 mm)	40,0	48,4	50,9	52,4	64,0
Probeta cilíndrica (d = 100 mm)		35,7		44,2	

Tabla 2. Resistencia media a compresión del hormigón [N/mm²].

Sección	Longitud (m)	Número de días tras la construcción					
		2	4	6	14	27	62
1	267	1	4	6	7	9	13
2	46					2	3
3	48			2	2	2	3
4	56				2	3	3
5	26						1
6	30						
7	30						

Tabla 3. Número de grietas transversales.



Figura 2. Las fibras utilizadas en el proyecto piloto de Roermond. De izquierda a derecha: fibras de acero largas y cortas, y fibras sintéticas.

bajo agua) y testigos (diámetro de 100 mm) extraídos del pavimento.

RESULTADOS Y DEBATE

La Tabla 2 presenta los resultados de las mediciones de la resistencia a compresión, que se aproximan a los requisitos de la clase resistente C 35/45, ya que en la práctica la resistencia característica a compresión a 28 días de la probeta cúbica es aproximadamente el valor medio menos 8 N/mm² (2).

La inspección hasta 62 días después de la construcción dió como resultado el número de fisuras transversales en las secciones específicas que se presentan en la Tabla 3. La separación media entre fisuras osciló entre 25 y 30 m.

Por desgracia, algunas de las fisuras se abrieron cerca de arquetas del sistema de alcantarillado que discurría por debajo del pavimento. Las arquetas de hormigón actuaron como iniciadores de las fisuras y posiblemente evitaron en parte que el pavimento longitudinal se deformase libremente. Aproximadamente 1/3 de las fisuras que aparecieron estaban situadas cerca de una arqueta.

Teniendo esto en cuenta, es evidente que en relación con los tramos sin fisuras, el pavimento se comportó tal como se preveía.

PROYECTO PILOTO DE ROERMOND

1. Materiales y métodos

Se construyeron a lo largo de la autopista A73, cerca de Roermond (P.B.) dos explanadas de aparcamiento para camiones con pavimentos de SFRC, de 85 x 24 m². Cada aparcamiento se realizó en diciembre de 2007 en dos veces, construyéndose 12 m de anchura en una ocasión con una pavimentadora de encofrado deslizante.

Los pavimentos de 12 m de ancho no están conectados entre sí, de manera que cada explanada se consideraba como dos losas de 15 m de largo y 12 m de ancho. Una de las cuatro losas no se construyó con juntas transversales de retracción, mientras que las otras tres solamente tenían una junta en el medio (es decir, a los 42 m).

El hormigón tenía un contenido de fibra de acero de 40 kg/m³. La mezcla consistía en fibras de acero de 32 mm de largo (20 kg/m³) y 50 mm, 1 mm de diámetro (20 kg/m³) (Figura 2). Ambos tipos de fibras tenían los extremos deformados para mejorar su adherencia. También se añadieron 0,6 kg/m³ de fibras de polipropileno para reducir la posible fisuración causada por la retracción plástica.

El espesor del pavimento se calculó mediante el programa informático VENCON 2.0^(3,10), teniendo en cuenta tanto las cargas del tráfico como las fuerzas de rozamiento derivadas de la deformación por retracción y las cargas térmicas. Puesto que aún no se ha implantado en el paquete el hormigón armado continuo con fibras de acero, se calculó el pavimento como si fuese una losa de hormigón en masa apoyada sobre una base y con juntas de retracción.

Se supuso que las juntas transversales estaban separadas 5 m y una junta longitudinal con una anchura de losa de 4 m en sentido transversal. El cálculo para esta losa de 5 x 4 m² apoyada dió como resultado un espesor requerido de al menos 253 mm.

El espesor se tuvo que corregir en dos aspectos: en primer lugar, el uso de hormigón armado con fibras de acero, un material que no es frágil, pero que tiene cierta resistencia a tracción tras la fisuración; en segundo lugar, el aumento de los esfuerzos longitudinales de

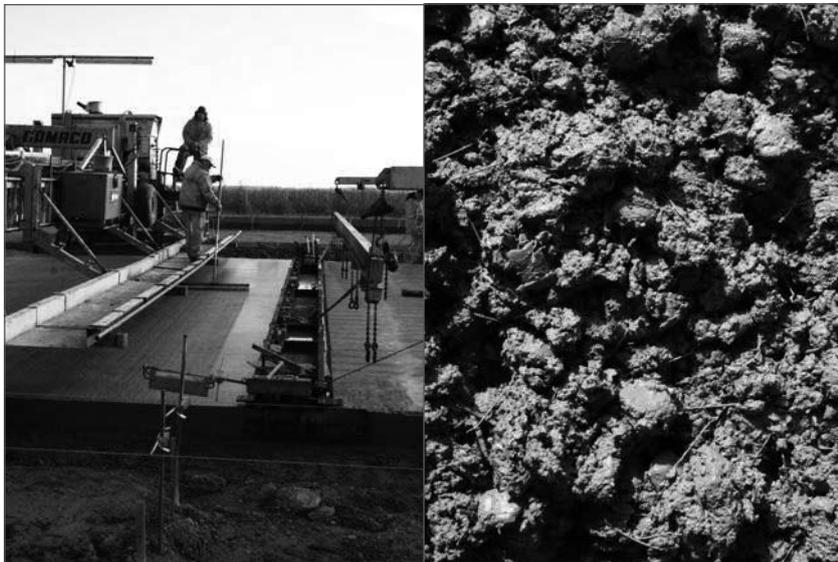


Foto 2. Detalle del pavimento de Roermond durante la construcción.



Foto 3. Colocación de los pasadores en el lugar predefinido de una junta transversal de retracción.

tracción derivados del rozamiento con la base cuando aumenta la separación entre juntas de retracción. Los diseñadores buscaban una separación entre juntas de 40-50 m.

Teniendo en cuenta estos dos aspectos, se decidió reducir el espesor del pavimento a 230 mm y combinarlo con una separación entre juntas de retracción de 42 m (Foto 2). Por tanto, se dotó de una junta de retracción a tres losas de 85 m de longitud (Foto 3). Para investigar el comportamiento con una mayor separación entre juntas, se dejó una de las losas sin junta transversal.

Se llevó a cabo la inspección a los 4, 7, 24 y 36 días de haber hormigonado los pavimentos. Aparte de las fisuras transversales previstas bajo las juntas de retracción (Foto 4), no se encontró ninguna otra fisura. Solamente una de las tres losas dotadas con una junta de retracción mostró fisuración en esta junta. La losa de 85 m de longitud sin juntas de retracción no mostró ninguna fisuración hasta la última inspección realizada (marzo de 2008).

CONCLUSIONES

Este documento ha abordado un enfoque práctico y un programa de monitorización para valorar el comportamiento del hormigón armado con fibras de acero en la construcción de pavimentos. El programa de trabajo se ejecutó teóricamente por primera vez en 2006 y le siguió una vigilancia de la aplicación práctica en 2007 y 2008.

Los pavimentos de hormigón en masa con juntas transversales de retracción se construyeron con fibras de acero. La separación entre juntas se pudo aumentar de 5 m hasta aproximadamente 25 m, mientras que incluso 80 m podía haber sido una opción.

Según parece, el hormigón con fibras pudo satisfacer las expectativas y puede dar como resultado un pavimento para carreteras que preste un buen servicio siempre que se fabrique bajo unos estrictos controles de calidad.

Su aplicación se popularizará tan pronto como sus costes sean aceptables en comparación con los pavimentos de hormigón en masa con juntas, y cuando el hormigón con fibras se incorpore a las herramientas de diseño y a los códigos normativos que se utilizan en los Países Bajos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Bouquet, G.Chr., Soen, H.H.M. & Van Leest, A.J. (2008) "Performance of Steel Fibre Reinforced



Foto 4. Fisura de retracción formada bajo una junta transversal de retracción serrada tras el hormigonado del pavimento.

Concrete in roads and industrial floors". IX Conferencia Internacional sobre Pavimentos de Hormigón, San Francisco, EE.UU.

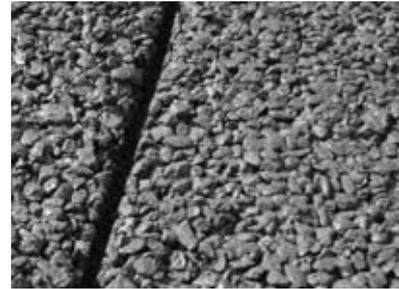
2. CEN (2004) Eurocode 2: "Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings". Comité Europeo de Normalización, Bruselas, Bélgica.
3. CROW (2004). VENCON 2.0 "Software de diseño para carreteras de hormigón" (en neerlandés). CD-ROM D925. CROW, Ede, Países Bajos.
4. CUR (1994a). "Determinación de la resistencia a la tracción por flexión, la ductilidad de flexión y la resistencia a la tracción por flexión equivalente del hormigón armado con fibra de acero" (en neerlandés). Recomendación CUR 35, CUR, Gouda, Países Bajos.
5. CUR (1994b). "The design and detailing of industrial floors in structural concrete" (en neerlandés).

Recomendación del CUR 36, CUR, Gouda, Países Bajos.

6. CUR (2007). "Soleras industriales de hormigón armado con fibra de acero sobre cimentación con pilotes - diseño y construcción" (en neerlandés). Recomendación del CUR 111, CUR, Gouda, Países Bajos.
7. Losberg, A. (1961). "Design Methods for structurally reinforced concrete pavements". Suecia.
8. NEN-EN 14651 (2005), "Test method for metallic fibered concrete - Measuring the flexural tensile strength (limit of proportionality (LOP), residual)", Comité Europeo de Normalización (CEN), Bruselas, Bélgica.
9. Petterson, D (1998) "Stresses in Concrete Structures from Ground Restraint". Informe TVBK-1014. ISSN 0349-4969. ISRN: LUTVDG/TVK-98/1014+120p. Instituto Lund de Tecnología, Departamento de Ingeniería Estructural, Suecia.
10. Stet, M.J.A., Van Leest, A.J. y Frénay, J.W. (2006). "Dutch Design Method for Jointed and Continuously Reinforced Concrete Road Pavements". X Simposio Internacional sobre Carreteras de Hormigón. Bruselas, Bélgica.
11. Vitt, G. (2003). "Steel Fibre Concrete Industrial Floors. Test and Design Methods for Steel Fibre Reinforced Concrete". Taller Rilem TC 162-TDF, Bochum, Alemania.
12. Westergaard, H.M. (1926) "Stresses in Concrete Pavements computed by Theoretical Analysis". Actas de la Junta de investigación de carreteras, Parte 1, EE.UU.
13. Westergaard, H.M. (1948) "New Formulas for Stresses in Concrete Pavements of Airfields". Proceedings American Society of Civil Engineers, Vol. 113, EE.UU.



Superficies seguras de rodadura para carreteras de hormigón poroso



A safe highway driving surface using an open graded concrete

George VOROBIEFF

Head to Head International (Australia)

Gavin DONALD

Jubilado y anteriormente empleado por la Autoridad de Carreteras y Tráfico, NSW (Australia)

RESUMEN

El uso de capas de rodadura hechas de mezcla bituminosa porosa en los firmes de carreteras es una tecnología establecida, pero las oportunidades de utilizar un tipo de superficie similar a base de cemento se han visto limitadas por la tecnología y los costes de los materiales. El trabajo de investigación en Australia utilizando aditivos para el hormigón y técnicas de puesta en obra de nueva generación ha permitido el desarrollo de un hormigón permeable del que se espera que cumpla los mismos requisitos de duración que el hormigón estándar utilizado para las carreteras.

Las texturas superficiales porosas absorben las emisiones de ruido de los vehículos y minimizan la película de agua que se forma durante las lluvias, dando así como resultado unas condiciones de conducción más silenciosas y seguras. Asimismo, la experiencia ha demostrado que un contenido elevado de poros en la superficie ayuda a reducir la generación de salpicaduras de agua y la reflexión de brillos.

Este documento detalla los resultados de los ensayos de laboratorio con el diseño de las mezclas y tres tramos de ensayo en los que se han utilizado técnicas de puesta en obra manual para definir los límites del proceso de construcción húmedo sobre húmedo. El hormigón desarrollado en las pruebas tiene una elevada resistencia a compresión con poros de aire que oscilan entre el 20 y el 30 por ciento.

La siguiente etapa en el desarrollo de las superficies de hormigón porosas consiste en el uso de técnicas de puesta en obra mecanizada para hacer que el proceso sea competitivo en cuanto a los costes en relación con otras alternativas de mezcla bituminosa y que, no obstante, cumplan unos requisitos semejantes de duración con respecto a los que se esperan actualmente de las superficies de carreteras de hormigón a lo largo de un periodo de diseño de 40 años.

Palabras clave: *Hormigón, Hormigón poroso, Hormigón permeable, Capa de rodadura, Rodadura porosa, Seguridad vial, Ruido.*

ABSTRACT

The use of open graded asphalt wearing courses for highway pavements is established technology but the opportunities to use a similar cementitious based surface type for concrete pavements has been limited by material technology and costs. Research work in Australia using new generation concrete admixtures and placing techniques has allowed the development of a stiff open graded concrete material which is expected to meet the same durability requirements as standard concrete used for roads.

Open graded surface textures absorb vehicle noise emissions and minimise water film build up during rain events, thus resulting in quieter and safer driving conditions. In addition, experience has shown that high void contents at the surface assist in reducing water spray generation and glare reflection.

This paper details the laboratory mix design test results and three field trials using hand placing techniques to define the limits of a wet on wet construction process. The concrete developed in the trials has high compressive strength with air voids in the range of 20 to 30%.

The next stage in the development of the open graded concrete surfacing is in the use of mechanised placing techniques to make the process cost competitive to other asphalt alternatives and yet meet similar durability requirements to those currently expected in concrete road surfaces over a 40 year design period.

Key words: Concrete, Porous concrete, Permeable concrete, Surface course, Porous surface, Road safety, Noise.

Durante muchos años, la *Autoridad de Carreteras y Tráfico (RTA)* de Nueva Gales del Sur, Australia, ha especificado un hormigón sin finos para la capa de drenaje inferior de sus túneles de carretera. Este material está sometido a poca carga directa por efecto de las ruedas y, por tanto, está diseñado para alcanzar una resistencia a compresión de 5 MPa, aunque en la práctica se ha registrado hasta la fecha una resistencia hasta tres veces superior. Cuando se utiliza el hormigón denso como capa de rodadura o como base, la carga directa por el tráfico ha conducido a una resistencia a compresión especificada del hormigón de aproximadamente 30 MPa. Sin embargo, este objetivo de resistencia no se puede alcanzar en términos de disponibilidad ni económicos en el hormigón con finos debido a que el gran volumen de poros reduce la capacidad del hormigón para alcanzar la resistencia a compresión.

En Australia es frecuente el uso de hormigón *sin finos* para las capas o estructuras de drenaje; sin embargo, cuando en este documento se hable de la aplicación de este tipo de hormigón a la superficie se le llamará *hormigón poroso* y lo abreviará como *hormigón poroso*

(*OGC*). En Estados Unidos el término más habitual para un hormigón similar es el de *hormigón permeable*⁽¹⁰⁾.

Gran parte de las investigaciones y los ensayos con el hormigón sin finos como base o como capa de rodadura de la carretera comenzaron en Europa más o menos en la década de 1990, y recientemente varias organizaciones de EE.UU. han llevado a cabo investigaciones fundamentales sobre este material para firmes⁽¹⁹⁾. En Europa se ha utilizado el hormigón sin finos bien para reducir las emisiones de ruido o bien para que actúe como capa de drenaje. Muchos de los informes indican que el hormigón sin finos no es tan eficaz para reducir las emisiones de ruido del neumático-pavimento como la mezcla bituminosa porosa.

En estos momentos parece ser que Bélgica es el único país que lleva a cabo ensayos a gran escala en las carreteras con capas delgadas de hormigón poroso sobre una base de *hormigón armado continuo (CRCP)*, tal y como muestra la Foto 1⁽⁵⁾. En el ensayo se utilizaron equipos mecanizados para las operaciones de pavimentación y los informes indican que el proceso tuvo éxito. El ensayo consistió en pavimentar sólo un carril y gran parte de las obras de carreteras con hormigón que se hacen en Australia recurren a la pavimentación de varios carriles

para reducir los costes. La progresión de la pavimentación de un solo carril a varios plantea nuevos problemas todavía sin resolver para el diseño y la construcción, sobre los cuales los autores no han encontrado documentación.

Los informes de investigación también indican que el hormigón poroso (OGC) debería incluir un aditivo modificado con polímero para permitir que la capa de rodadura del hormigón alcance una resistencia suficiente que garantice una reducción adecuada del ruido y una larga duración. Contrariamente a lo que sucede en ciertas regiones de Europa y del norte de los EE.UU., la resistencia al hielo y al deshielo no es un problema importante en las carreteras y los firmes australianos.

Este documento resume la experiencia australianas con el hormigón poroso como material de laboratorio y la realización de una prueba a pequeña escala sobre el terreno. Sin embargo, como destaca este documento, aún están por ver los problemas todavía sin resolver a los que se enfrentan las autoridades y los contratistas australianos de carreteras para llevar a cabo un ensayo a gran escala.

IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

Este proyecto de investigación es el primero de su clase en Australia y sus resultados brindan una base para hacer posible un ensayo a gran escala de un firme de hormigón bicapa, consistiendo la capa superior en un hormigón poroso. También proporciona elementos de reflexión sobre los problemas todavía sin resolver que se identificaron a partir de los ensayos a escala reducida realizados en Sydney.

MATERIALES DE HORMIGÓN POROSO

1. Historia

El hormigón se utiliza mucho en las principales carreteras urbanas y rurales de Nueva Gales del Sur y allí donde el ruido es un problema fundamental, para lo cual se especifica normalmente una superficie de *mezcla bituminosa porosa*

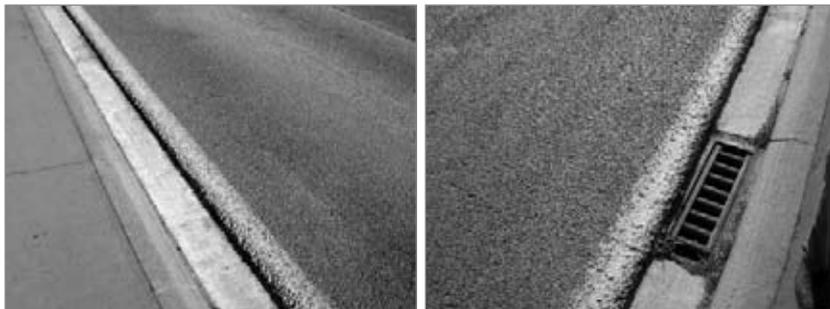


Foto 1. Detalles de un tramo de ensayo de hormigón poroso en Bélgica construido en 1998.

(OGA) para reducir el ruido del tráfico. La superficie de OGA tiene una vida útil de entre 5 y 15 años y sus propiedades acústicas probablemente se degradarán al cabo de 5 años porque se colmatarán los poros y la mezcla bituminosa se agrietará y se desmoronará por los bordes. En realidad, las emisiones de ruido procedente de los neumáticos aumentarán cuanto mayor sean las peladuras de las rodadas de los vehículos.

En aquellos casos en que se utilicen bases de hormigón en masa con OGA, el agrietamiento por reflexión de las juntas transversales de contracción requerirá operaciones regulares de mantenimiento y limitará la vida de la capa de rodadura (véase la Foto 2). Cuando se utiliza el hormigón armado continuo (CRCP) como base, la superficie de OGA parece dar muy buenos resultados y el agrietamiento transversal fino en el hormigón armado continuo (CRCP) no se refleja en la capa de rodadura de mezcla bituminosa (véase la Foto 3).

La RTA, VicRoads y algunos contratistas han ensayado el uso de una capa de *hormigón denudado* (EAC) como base^(7, 13) con un éxito limitado. En Australia nunca se ha ensayado el paso hacia una capa de rodadura de EAC sobre una base de JPCP o de hormigón armado continuo (CRCP) aun cuando la RTA permite que los contratistas utilicen una superficie de EAC en los contratos DCM^(a).



Foto 2. Vista de una capa fina de mezcla bituminosa porosa sobre base de hormigón con juntas que muestra el agrietamiento por reflexión y el desportillado de la mezcla bituminosa.

(a) Los contratos DCM hacen referencia a un estilo de contrato en donde el contratista es el encargado de diseñar, construir y mantener el pavimento durante un plazo fijado (aproximadamente 5 a 10 años).



Foto 3. Vista de una capa fina de mezcla bituminosa porosa sobre hormigón armado continuo (CRCP) que está dando buenos resultados y no muestra signos de agrietamiento por reflexión.

En 2003, la RTA construyó una carretera de circunvalación utilizando un pavimento de hormigón con una textura de la superficie obtenida mediante el paso de una arpillera^(a) para un entorno urbano con un límite de velocidad señalado de 90 km/h en lugar de utilizar mezcla bituminosa porosa. Hasta la fecha la RTA no ha recibido ninguna queja por el ruido. Esta superficie solamente tuvo una textura longitudinal de arpillera sin estriado transversal gracias a la velocidad limitada del tráfico, a sus adecuadas pendientes transversales y a que ninguna sección de la carretera estaba peraltada. El ruido provocado por los neumáticos es mucho menor cuando no se utiliza el estriado transversal.

La bibliografía técnica sobre el uso de hormigón poroso indica que en Francia, Bélgica y Estados Unidos se conoce bien este tipo de material⁽⁹⁾. En Francia se han limitado a utilizar este material como capa de drenaje en carreteras locales y Bélgica ha sido el único país que en 1996 llevó a cabo un ensayo con una capa de rodadura hecha de hormigón poroso. Los técnicos de la Administración flamenca documentaron muy bien tanto los trabajos de laboratorio como los de campo y estudiaron un tramo de ensayo adecuado a gran escala⁽³⁾. En estos momentos no se conocen estudios sobre el comportamiento de la sección de prueba.

En Estados Unidos se han llevado a cabo varios ensayos de laboratorio y parece ser que se han centrado las investigaciones sobre el material para firmes que se utiliza como capa de drenaje superficial^(11, 10).

Uno de los problemas todavía sin resolver de un sistema con dos capas es el de verificar que se pueda lograr una adherencia entre la capa de base de hormigón y la de hormigón poroso sin dañar la resistencia a corta edad de la base. Sin esta adherencia, la capa delgada de hormigón poroso puede sufrir una tensión excesiva que dé como resultado un agrietamiento en bloques y, por tanto, una

conducción incómoda. En este momento los autores opinan que la capa de hormigón poroso no es de carácter estructural y diseñarían el firme según la guía de diseño para firmes de 2004⁽²⁾.

Los trabajos de *The National Center for Concrete Pavement Technology* indicaron que

en los EE.UU. se han completado con éxito varios proyectos que han utilizado una técnica de construcción en dos capas ("wet on wet") y han puesto de manifiesto la necesidad de investigar los siguientes aspectos para un uso mayor de las capas de hormigón poroso⁽⁸⁾:

- Estudio del uso de mezclas bituminosas recicladas (RAP) en la capa inferior,
- Requisitos sobre separación, creación y armado de las juntas,
- Límites de la variabilidad del coeficiente de dilatación térmica entre capas, y
- Posibilidad de utilizar hormigón compactado con rodillo en la capa inferior.

Los trabajos de la Administración flamenca de carreteras⁽⁵⁾ han indicado que el hormigón poroso es muy sensible al calor debido a la presencia de polímero en la mezcla y que se ha de tener cuidado en evitar que se ponga en obra en días calurosos^(b). La colocación de la capa de hormigón poroso demasiado temprano puede hacer que el material penetre en la base de hormigón al tiempo que se puede reducir la posibilidad de obtener una adherencia adecuada entre las dos capas si se deja transcurrir un periodo demasiado prolongado entre los vertidos de ambas. Se considera que el despegue de las capas es algo no deseable debido a los efectos del movimiento térmico del hormigón de las capas superior y de base con el tiempo y la posibilidad de que queden atrapadas partículas.

2. Áridos

Las investigaciones de otros países indican que es necesario un solo tamaño de árido de 10 o 14 mm para alcanzar el objetivo en cuanto al contenido de poros de al menos un 20 por ciento⁽¹⁹⁾. Asimismo, como estos áridos

(a) Adviértase que esta carretera no está peraltada y tiene buenas pendientes transversales.

(b) El aditivo que se utilizó en los ensayos australianos ha resultado no ser tan sensible al calor como los que se utilizaron en Bélgica.

Tamaño del tamiz AS (mm)	Porcentaje que pasa	
13,2	100	100
9,5	85	90
6,7	25	35
4,75	0	5

Tabla 1 Granulometría del árido de 100 mm de la mezcla de hormigón poroso⁽¹⁷⁾.

gruesos van a quedar expuestos al tráfico, necesitan una superficie dura adecuada sin tendencia al pulimento. Por tanto, se seleccionó como árido para los ensayos^(a) que se tratan en este documento el basalto de la región meridional de Sydney, cuyo comportamiento era conocido.

El desarrollo de una fórmula de trabajo del hormigón adecuada indicó que la fabricación con árido de 10 mm tenía más caras en contacto unas con otras y daría como resultado unas mejores características en cuanto a resistencia. Además, cualquier junta serrada o encofrada podría verse afectada por los áridos de mayor tamaño. Una cantera en Bass Point, a unos 100 kilómetros al sur de Sydney, cumplía aparentemente los requisitos especificados en cuanto al árido.

La Tabla 1 recoge la granulometría del árido seleccionado y la Tabla 2 resume otras propiedades.

3. Aditivos

Se ensayaron ocho aditivos en la etapa inicial del diseño de la mezcla. A continuación se enumeran sus nombres genéricos^(b):

- Metocel,
- Mezcla de copolímero modificado y agentes complejantes,
- Dispersión de un estireno butadieno y polímero acrílico,
- Copolímero de butadieno estireno (SBA),
- Ester de estireno acrilato (SAE),
- Policarboxilato con propiedades retardantes,
- Policarboxilato con agentes controladores de la viscosidad a base de polímeros, y
- Copolímero de policarboxilato con polímero acrílico de butadieno estireno (SBAP).

Tomando como base los resultados de los ensayos y la inspección visual de la mezcla en estado plástico se llegó a la conclusión de que el copolímero de policarboxilato con un aditivo de SBAP permitía obtener la tixotropía deseada en la pasta de cemento y tenía el potencial para retener el recubrimiento de cemento en los áridos de 10 mm.

El estireno butadieno y el polímero acrílico fueron los aditivos más caros que se ensayaron y no pareció que ofreciesen unos beneficios sustanciales en comparación con el aditivo propuesto en los ensayos de laboratorio.

Propiedades	Resultado de la prueba	Método de ensayo
Densidad aparente ^(a)	2.790 kg/m ^(c)	AS 1141.1
Densidad de las partículas ^(b)	2.670 kg/m ^(c)	AS 1141.6.1
Forma de las partículas, relaciones 2:1 y 3:1	x% y x% máximos	A 1141.14
ALD para tamaño < 9,5, > 6,7 mm	5,0 mm	RTA T235
Coefficiente de rozamiento del árido pulimentado (PAFV)	51	AS 1141.41/42
Resistencia en estado húmedo	kN mínimo	RTA T215
Variación húmedo / seco	% máximo	RTA T 215
Partículas blandas	0,1%	AS 1141.32
Partículas ligeras	% máximo	AS 1141.31
Caras de fractura (2 o más)	100%	RTA T239 ^(c)

(a) Densidad aparente en AS 2758.1 significa lo mismo que masa unitaria en AS 1141.4.

(b) Densidad de la partícula seca

(c) Se pueden pasar por alto las cláusulas 6.1, 6.2, 6.3 y 7(b) a (d) de la RTA T239.

Tabla 2. Propiedades medidas de la gravilla de la cantera de Bass Point⁽¹⁷⁾.

(a) Por el contrario, el basalto de la región norte de Sydney con un PAFV (Valor de fricción del árido pulido) inferior a 50 demostró no ser el adecuado para la aplicación de una capa de rodadura de hormigón poroso.

(b) Los nombres de producto de los aditivos se evitaron para minimizar su promoción y debido a la naturaleza investigadora del proyecto no fue necesario que cumplieren las normas australianas. Asimismo, estos aditivos no fueron necesariamente reductores de agua dedicados.

Propiedad	Dosificación por m ³ (procedencia)
Material cementicio	300 kg
Gravilla	1.500 kg de basalto de 10 mm (Bass Point)
Relación agua/cemento	0,30 (100 l de agua)
Tipo de aditivo	Copolímero de policarboxilato con un polímero acrílico de estireno-butadieno (Sika)
Dosificación aditivo	1,8 litros/100 kg cemento m ³

Tabla 3. Elementos constitutivos de la mezcla seleccionada de hormigón poroso¹⁷⁾.

Propiedad fraguado	Intervalo	Edad	Método de ensayo	Observaciones
Resistencia a compresión	16,5 - 24 MPa 18,5 - 24 MPa 24 a 30 MPa	7 días 28 días 56 días	AS 1012.9	Aumento de la resistencia del 25% entre 28 y 56 días
Resistencia a flexotracción	2,3 - 2,9 MPa 1,9 - 2,6 MPa	7 días 28 días	AS 1012.11	Cociente entre las resistencias a flexotracción y a compresión ligeramente mayor si se compara con el hormigón típico de la capa de base. Las mayores resistencias a 7 días en comparación con las obtenidas a 28 días son una consecuencia del ensayo más que del material.
Resistencia a tracción indirecta (ensayo brasileño)	1,1 - 1,9 MPa 3,6 - 6,3 MPa	7 días 28 días	AS1012.8.1	Resistencias a los 28 días mayores que las alcanzadas normalmente en el hormigón de la capa de base
Ensayo de retracción	320 - 330 µε 490 µε 550 - 570 µε	7 días 21 días 56 días	AS 1012.13	Deformación ligeramente superior a los 21 días que el límite de 450 µε en R83.

Tabla 4. Propiedades del hormigón fraguado de la mezcla de hormigón ensayada¹⁷⁾.

4. Fórmula de trabajo del hormigón

Se observó que había tres elementos clave para obtener las propiedades adecuadas del hormigón: tamaño del árido, tipo de aditivo y contenido de cemento. Tras varias amasadas de prueba, la Tabla 3 detalla las propiedades de la fórmula de trabajo de hormigón seleccionada para el ensayo *in situ* a pequeña escala y la Tabla 4 detalla los resultados de las propiedades del hormigón fraguado.

Apenas hubo evolución en la resistencia entre los días 7 y 28 en el caso de la mezcla ensayada, pero sí hubo un incremento de casi el 25 por ciento entre los 28 y 56 días de edad.

Aunque inicialmente se trató de obtener un hormigón poroso con una resistencia a compresión de 28 días del orden de 30 MPa, los resultados de laboratorio indicaron que la resistencia a compresión no rebasaría en mucho los 20 MPa. Los ensayos realizados a 56 días mostraron que la resistencia a compresión podía llegar a los 30 MPa y, por tanto, alcanzar una resistencia aceptable a largo plazo. El desarrollo más lento de resistencias y de la adherencia entre capas sugería que el firme no debía soportar tráfico durante al menos 28 días.

La Tabla 4 muestra que la resistencia a tracción indirecta fue mucho mayor de la prevista en un hormigón poroso. En las especificaciones de la RTA para el hormigón de la capa de base, la resistencia a la tracción indirecta suele ser aproximadamente el 10 por ciento del valor de la resistencia a compresión; sin embargo, los resultados de los ensayos del hormigón poroso arrojaron una resistencia a tracción del 25 por ciento de la resistencia a compresión. Estas elevadas resistencias a tracción mejorarían la capacidad de la capa para flexar conjuntamente con la base de hormigón.

La clave para el éxito de esta superficie es el gran contenido de poros, de manera que tanto el sonido como el agua pueden ser absorbidos con facilidad, tal como muestra la Foto 4. El sencillo ensayo de regar con una manguera, que se llevó a cabo en un aparcamiento de Denver en 2005, también se repitió en los ensayos a escala reducida en Nueva Gales del Sur.

La determinación de los poros en el hormigón poroso se llevó a cabo comparando la densidad de las probetas o testigos con la densidad teórica máxima. En la actualidad, el método utilizado por la RTA para calcular esta densidad en el caso de una mezcla bituminosa se determina con el método de prueba de la RTA T605 *Densidad máxima de una mezcla bituminosa*.

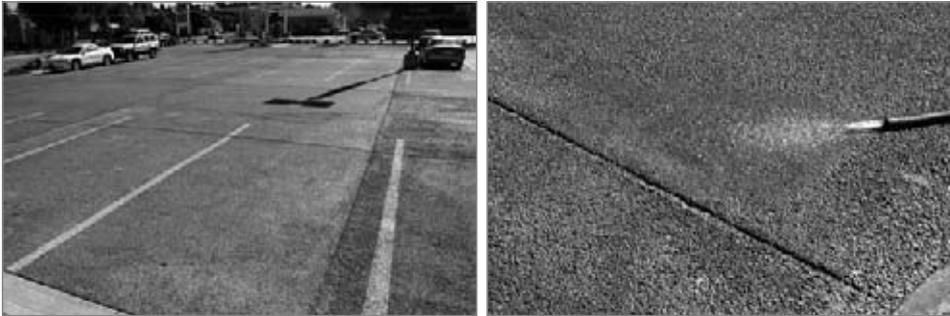


Foto 4. El contenido elevado de poros es esencial para drenar el agua del firme, tal como se muestra en este hormigón poroso utilizado en un aparcamiento de Denver, EE.UU.



Foto 5. Distintas vistas de la textura superficial del firme de prueba construido con métodos de puesta en obra manual.

La Foto 5 muestra distintas vistas de la textura superficial. El contenido de poros de los testigos varió del 28 al 46 por ciento. Los resultados de las pruebas también indicaron que el método de compactación no tiene efectos sobre el contenido de poros; sin embargo, se prefirió una textura superficial negativa para minimizar la reducción de la generación del ruido de los neumáticos.

ENSAYO DE CAMPO A ESCALA REDUCIDA

1. Aspectos generales

En las actuales operaciones de pavimentación, se necesitan tanto técnicas de puesta en obra manuales como mecánicas para llevar a cabo una obra. Las probabilidades de éxito de una prueba de hormigón poroso puesto en obra con máquina en dos capas son mucho menores que si se hace a mano y, por tanto, se llevó a cabo un ensayo de campo a escala reducida utilizando técnicas de puesta en obra manual para estudiar la capacidad de la mezcla para su puesta en obra “wet on wet” (en estado húmedo sobre húmedo) y la obtención de la adherencia entre las dos capas y el contenido deseado de poros tras la compactación.

El siguiente apartado de este documento recoge algunos de los resultados más importantes de una serie de ensayos prácticos a pequeña escala realizados por la RTA y un laboratorio privado de Sydney (véase la Foto 6).

2. Puesta en obra “wet on wet” de las capas

La experiencia belga en cuanto a la determinación del desfase preferible de la puesta en obra de una capa respecto a la de la otra con el método “wet on wet” era de 2 h a 4 h 15 min.⁽³⁾ La información adicional obtenida de los investigadores belgas estableció que dicho intervalo se refería al tiempo

entre puesta en obra, ya que el tiempo de mezclado para ambos hormigones era más o menos el mismo⁽³⁾.

El intervalo para la puesta en obra de la siguiente capa es una función de la duración en estado plástico del:

- Hormigón de base desde el momento de la fabricación,
- Hormigón de base tras su vertido entre los encofrados,
- Hormigón poroso desde el momento de la producción, y
- Hormigón poroso tras su vertido entre los encofrados.

Durante las pruebas de campo resultó evidente que el plazo disponible después del vertido del hormigón poroso entre los encofrados era aproximadamente igual a 30 minutos. Un método de ensayo adecuado que se podría utilizar en laboratorio para establecer dicho plazo en el hormigón poroso es el AS 1012.18 *Métodos de ensayo para el hormigón: Determinación del tiempo de fraguado del hormigón, el mortero y la lechada frescos mediante la resistencia a la penetración.*

Se probó una sonda^(a) para determinar si se podía asignar un número cuantitativo al plazo disponible para la colocación de la segunda capa (véase la Foto 7).

(a) A veces llamada el “Concrete Pocket Penetrometer” (Penetrómetro de bolsillo para hormigón).

Por desgracia, la deformación de la sonda era de tal magnitud que si había un árido bajo la superficie, se obtenía una lectura baja o se desplazaba el árido. Por tanto, en estos momentos no existe una prueba física que se pueda recomendar para establecer el plazo de puesta en obra para la capa de hormigón poroso.

El ensayo se realizó durante días fríos (la temperatura ambiente durante los tres ensayos fue de aproximadamente 14, 15 y 8° C^(a)) y los tiempos de fraguado deben ser por tanto menores en los meses estivales. Los hormigones puestos en obra con equipos de encofrados deslizantes tienen unos asentamientos menores que los de un hormigón colocado a mano, lo que se traduce en que el contratista debe llevar a cabo una o más pruebas para establecer el plazo para colocar la capa de hormigón poroso sobre el hormigón de base dependiendo de que sea puesto en obra a mano o con encofrado deslizante.

Tras haberse completado las pruebas de la RTA, se dedujo que siempre que el hormigón de base se pusiese en obra dentro de los plazos prescritos en las especificaciones R83, el plazo debería variar entre 1 y 2 horas, con un valor inferior recomendado para los días cálidos. En algunas circunstancias, como en tiempo caluroso, el plazo de colocación puede ser de tan sólo 30 minutos. La Foto 8 muestra una imagen de una adherencia adecuada.

Se vió que varias losas de la obra estaban despegadas (véase la Foto 9) debido a:

- Un periodo excesivamente largo transcurrido entre el vertido de las capas, y



Foto 6 Vistas de la obra de prueba en Sydney occidental justo después de la construcción.



Foto 7. Se probó el penetrómetro de bolsillo para hormigón para determinar el plazo de colocación de la segunda capa tanto en el hormigón in situ (izq.) como en la muestra representativa de mortero (dcha).

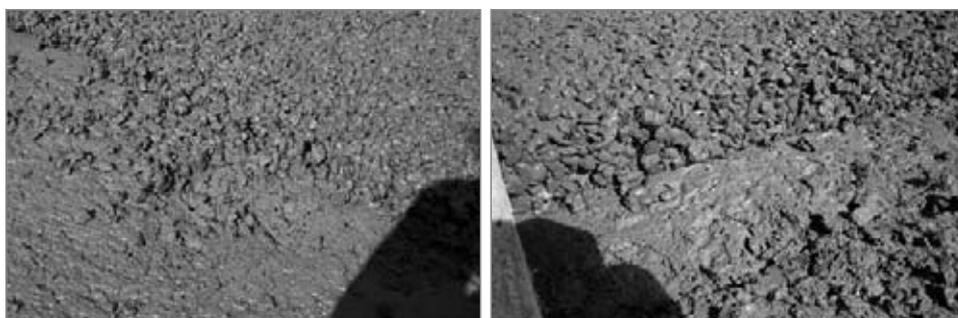


Foto 8. El momento de colocación de la capa de hormigón poroso es esencial para asegurar una buena adherencia entre las capas. La base de la imagen derecha está demasiado húmeda para la puesta en obra del hormigón poroso.

- Una pala mecánica había chocado contra el borde del firme durante las operaciones de terraplenado para dejar a nivel el tramo de ensayo.

3. Resistencia al esfuerzo cortante entre las capas

La evaluación de la adherencia entre capas se llevó a cabo utilizando un dispositivo de ensayo de corte específicamente diseñado para el proyecto por parte del laboratorio contratado por la RTA (véase la Foto 10). Los testigos tomados del firme de prueba se sometieron a cargas verticales para obtener la carga de rotura por cortante.

(a) Datos sobre temperaturas del BOM (Australian Bureau of Meteorology) en Penrith a las 9.00 h.

Los ensayos mostraron que si el plazo rebasaba las 3 horas, las dos capas se separaban durante la extracción de los testigos. La Tabla 5 enumera los resultados de la variación de la resistencia al corte con el plazo de colocación. En el caso de la losa 2, la adherencia media fue de 1,7 MPa aun cuando el plazo fue de 4 horas y 15 minutos^(a). Por desgracia, el hormigón de la base utilizado para la segunda fase de las pruebas se suministró inadvertidamente con una resistencia de diseño de 5 MPa y, por tanto, no se obtuvo suficiente información sobre el comportamiento de la colocación "wet on wet" a edades tempranas.

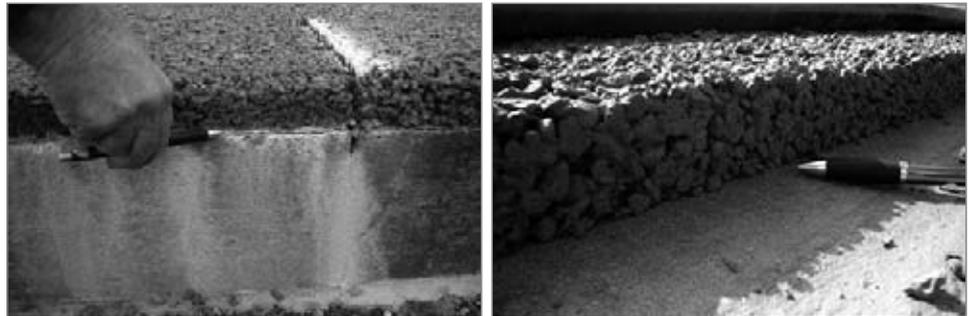


Foto 9. Cuando la colocación del hormigón poroso se hizo fuera del plazo "wet on wet" de puesta en obra, el hormigón poroso no se adhirió al hormigón base.



Foto 10. La adherencia entre capas se calculó aplicando una carga transversal a la interfaz de los testigos extraídos del firme de prueba.

La Tabla 5 muestra que cuando menos tiempo dure la puesta en obra, mayor será la resistencia de adherencia. Como resultado, sería prudente limitar el plazo a no más de 2 horas. Asimismo, la resistencia a tracción indirecta del hormigón poroso varió entre 3,6 y 6,3 MPa a los 28 días de edad. En el caso de las losas 12 y 13, el cociente entre la adherencia y la resistencia a la tracción de la mezcla fue de 0,95 y 0,53 respectivamente.

Los resultados de la resistencia a cortante de los refuerzos adheridos obtenidos a partir de los trabajos llevados a cabo en un estudio del *US Center for Transportation Research* en 1986^(a) mostraron que las resistencias medias al esfuerzo cortante en la interfaz^(b) fueron los siguientes:

- A edad temprana (tras varios días): 1,21 MPa,
- A edad de aproximadamente 1 año: 2,21 MPa, y
- A 18 meses de edad: 3,49 MPa.

No obstante el hecho de que se utilizaran varias técnicas y áridos como variables en el estudio anterior, con lo

que se tendió a distorsionar los promedios, los resultados de la Tabla 5 demuestran la expectativa de un aumento de la resistencia al esfuerzo cortante con el tiempo siempre que no haya una exfoliación inicial. Teniendo en cuenta los resultados anteriores, la máxima resistencia de adherencia en una edad temprana recogida en las pruebas fue de 3,3 MPa y esto parece prometedor. Asimismo, ofrece una comparación favorable con la resistencia *bruta* al esfuerzo cortante del hormigón base medida en 4,2 MPa^(c).

4. Técnica de colocación a mano

Los tres elementos clave en una técnica de colocación a mano son la extensión del hormigón, su compactado

Losa	Duración de la puesta en obra	Adherencia entre capas (MPa)
1	2:45 horas	3,3 ^(a)
5	2:45 horas	0,9
15	1:50 horas	2,4
14	1:20 horas	2,6
13	1:00 horas	2,5
12	0:30 horas	4,5 ^(b)

(a) Un valor inesperadamente elevado dada la gran duración de la colocación

(b) La base subyacente se deformó visiblemente en la superficie bajo el esfuerzo de compresión aplicado a la capa de hormigón poroso.

Tabla 5. Resumen de adherencia entre capas de las diferentes losas en orden de duración decreciente del plazo de puesta en obra⁽¹⁷⁾.

(a) Los resultados de la losa 2 no se incluyen en la Tabla 5 porque no representan una tendencia en los datos.

(b) Determinadas de forma similar a la indicada por Hanson.

(c) La resistencia bruta al esfuerzo cortante de una muestra de la mezcla de hormigón poroso registrada en 2,6 MPa.

y las nivelaciones finales. Los resultados de un firme inicial de prueba que incorporaba el uso de un pisón compactador indicaron que se podía compactar, pero con algunas *ondas superficiales* (véase la Foto 11). También se probó una maestra de vibración doble con encofrados elevados de 12, 15 y 17 mm, tal como muestra la Foto 12. Tras observar la compactación y la textura superficial subsiguiente en las tres alturas, se acordó que era necesaria una sección con una elevación de 15 mm de altura para alcanzar el resultado deseado. Esta altura puede variar entre hormigones y se propuso que las especificaciones de la RTA incluyesen un requisito para que el contratista establezca una altura de sobrecarga para el diseño y secado del hormigón.

El encofrado elevado es un dispositivo temporal para colocar la mezcla de hormigón poroso adicional en el molde y se utiliza para obtener una superficie nivelada. A continuación se retiran los moldes y se coloca la maestra vibratoria sobre el hormigón poroso con el fin de que comience la compactación.

Se probaron algunas variaciones sobre la maestra vibratoria estándar para mejorar la textura superficial del hormigón poroso (véase la Foto 13). Pareció que estas modificaciones ofrecían resultados satisfactorios y se recomiendan los cambios allí donde se prevea la colocación a mano del hormigón poroso.

Parece que los listones de 15 mm de altura brindaron la altura óptima para una compactación con éxito del hormigón poroso cuando se utilizó una maestra vibratoria. Se prevé que se pida a los contratistas que desarrollen métodos eficaces para moldear la base y la subsiguiente capa de hormigón poroso.



Foto 11. Apareció una onda superficial cuando se utilizó el aparato compactador para losas.



Foto 12. Con el fin de proporcionar suficiente hormigón sin finos para la compactación, se utilizaron encofrados de 12, 15 y 17 mm (izq.) antes de compactar (listones retirados tal como se muestra en la imagen derecha).



Foto 13. Maestra vibratoria modificada para compactar la capa de hormigón poroso y proporcionar la textura superficial deseada.

DESAFÍOS FUTUROS

1. Aspectos generales

Tanto el desarrollo de la mezcla de hormigón como las pruebas de colocación manual limitadas indicaron que el hormigón poroso se podía construir con la técnica “*wet on wet*” asegurando una resistencia suficiente del hormigón para que satisfaga las características superficiales a largo plazo que se buscan en el hormigón. Sin embargo, los autores reconocen que se han de abordar muchos problemas todavía sin resolver antes de que el hormigón poroso sea una opción adecuada para los propietarios y contratistas de carreteras. Estos problemas todavía sin resolver incluyen:

- Diseño y detalles del firme.

- Tecnología del material.
- Construcción económica.
- Técnicas de mantenimiento.

2. Diseño del firme

La actual guía de diseño para firmes de Austroads⁽²⁾ ha establecido que el espesor mínimo para la base en el caso del JPCP y del hormigón armado continuo (CRCP) sea de 250 y 230 mm respectivamente para densidades de tráfico elevadas. Todo hormigón poroso que no se considere estructural aumentará de manera directa el espesor total de la base hasta aproximadamente 300 mm. Mientras que la determinación del espesor para el JPCP sin anclajes destinado a carreteras con una alta densidad de tráfico se rige por la limitación de la erosión en las juntas, se podría estudiar la posibilidad de tener en cuenta la profundidad de la base y del hormigón poroso suponiendo que el módulo de ambas capas sea similar.

Uno de los elementos para los fundamentos del rendimiento a largo plazo frente a la erosión en el modelo de diseño⁽²⁾ es conseguir en la práctica una adecuada transmisión de la carga en la junta de contracción enclavando los áridos, que se deben mantener mediante el hormigón de cara al tráfico previsto. Si la cantidad de poros reduce la capacidad de transmisión de la carga, se deberá olvidar el hormigón poroso como capa estructural.

Se puede considerar que la capa de hormigón poroso de color claro se comporta de algún modo como una *manta de aislamiento* con la posibilidad de reducir las tensiones por ondulación en la base inducidas por la temperatura. Además, este espesor de capa aumenta la rodada de los neumáticos y reduce las cargas por el impacto del neumático sobre la base.

En el caso de las capas base de hormigón armado continuo (CRCP), el espesor diseñado para las carreteras con una elevada densidad de tráfico se rige por el desgaste provocado por la fatiga y esto supone que la separación de las grietas es de aproximadamente 0,5 a 1,5 m y que el enclavamiento de los áridos, la cantidad de armadura longitudinal y su situación dentro de la base es primordial para el éxito del hormigón armado continuo (CRCP).

Cuando se forman numerosas grietas, no existe la certeza de que las partículas de la capa porosa puedan penetrar en las grietas abiertas con el tiempo e impedir que estas últimas se cierren. El espaciado y la dirección al azar de las grietas puede hacer que los áridos de la superficie se descascarillen a semejanza de la experien-

cia con las capas finas de OGA sobre firmes de JPCP. Unas observaciones más detalladas en países con capas de base de hormigón poroso podrían brindar datos útiles sobre lo que determina la longevidad de la base.

La bibliografía indica que cuanto mayor sea la profundidad de la capa porosa, mayor será la absorción de ruido⁽¹⁹⁾. Sin embargo, las capas más profundas son también más caras. Lo que no se sabe es si existe una adherencia a largo plazo de ambas capas y, por tanto, en qué medida contribuye estructuralmente la capa de hormigón poroso a la configuración del firme. Esto se ha de investigar, aunque es posible que los datos sobre el rendimiento procedentes de los obras con "whitetopping" ultrafino de los Estados Unidos podrían ofrecer una orientación inicial.

Se sabe poco sobre los efectos térmicos cuando se tienen capas finas de mezcla bituminosa sobre capas base de hormigón. Por ejemplo, ¿se reduce la cantidad de ondulación en el caso del JPCP con 40 mm de capa de rodadura de mezcla bituminosa uniforme densa? Tampoco hay certezas en cuanto al espesor mínimo de la capa necesario para que se utilicen los áridos adecuados con el fin de alcanzar los poros deseados de cara a una reducción de la emisión de ruido.

Las pruebas con una superficie de EAC (hormigón con áridos expuestos) en Nueva Gales del Sur se han basado en una profundidad total de la capa de material con propiedades de resistencia similares a las del hormigón base estándar⁽⁷⁾. Aun cuando se puedan preparar las losas instaladas a mano en una fábrica, estas pruebas están limitadas al no exponer la mezcla de hormigón húmedo a la colocación mecánica y a grandes áreas de secado. En las pruebas realizadas en Nueva Gales del Sur se han utilizado las mezclas de hormigón con áridos menores a efectos de desarrollar una superficie de EAC y se han construido en toda su profundidad y, aunque no haya pruebas palpables, se considera que la reducción del enclavamiento de los áridos en las juntas transversales de contracción es un punto débil en el rendimiento del firme.

3. Detalles del firme

Es necesario que se detallen con cuidado las vías de drenaje hacia los bordes del firme con el fin de que se puedan construir suficientes desagües para recoger el agua de la capa de hormigón poroso. Aunque en el pasado se haya moldeado el suelo entre carriles contra el lateral del firme de hormigón, ahora se prevé que los finos del suelo penetren en el hormigón poroso y provoquen obturaciones. Si se ha de rebajar el nivel del suelo hasta la cara inferior de la capa de hormigón poroso, se habrá

de limitar la altura del escalón a 50 mm por seguridad. De manera alternativa, se debería instalar un sistema de drenaje en el borde de la capa de hormigón poroso para recoger el agua.

La transición entre la superficie porosa del carril y el hormigón denso se ha de estudiar a fondo en las rampas por el drenaje cruzado que se produce en situaciones de superficies en cuesta y en pendiente.

En cuanto a los detalles sobre las juntas, se prevé que probablemente no cambien las normas sobre su ubicación. Sin embargo, es necesario un mayor trabajo de laboratorio para establecer las normas sobre las profundidades de serrado (es decir, D/4 o D/3) basadas en el espesor de la base de hormigón o en el espesor total de la base, que incluye el hormigón poroso. Por ejemplo, si el espesor de la base fuera de 260 mm, la profundidad del corte transversal sería de 65 mm. Si la capa de hormigón poroso es de 50 mm y la profundidad de corte se mantiene en 65 mm, un problema que se habrá de resolver en una prueba es el de si basta el corte con sierra para que se inicie el agrietamiento o si el corte debería ser de 115 mm o mayor. Una mayor profundidad del corte con sierra puede aumentar el tiempo de serrado y provoca el riesgo de agrietamiento con tiempo más caluroso.

El objetivo de sellar las juntas serradas es el de minimizar (preferiblemente eliminar) la entrada de finos (es decir, <5 mm) en la junta, en especial dentro de la grieta en donde las partículas pueden impedir que la grieta se cierre. La capa de hormigón poroso permitirá que las partículas finas se trasladen a la junta bajo el sellado de la superficie a menos que se inserte una lengüeta debajo de la unión de la base y de las capas de hormigón poroso. Por ahora, no existen mediciones del movimiento de partículas en el hormigón poroso para establecer si estas últimas resultarían esenciales para el rendimiento del firme.

4. Materiales

Para mantener una velocidad constante durante las operaciones de pavimentación con encofrado deslizante, quizá se tenga que fabricar la mezcla en una hormigonera tipo tambor dividido o amasadora. En el caso de una operación de pavimentación de 8 m de ancho en Australia con una velocidad de pavimentadora de 1 m/min, la capacidad de producción del hormigón poroso con un espesor de 50 mm es de 24 m³/h o de unas 6 cargas por hora de una hormigonera típica de tambor dividido. Se puede considerar que esto es una tasa de producción baja para una hormigonera y se debe pedir asesoramiento a los contratistas para garantizar un uso eficaz de los recursos existentes.

Las pruebas con el EAC en Raymond Terrace advirtieron que el tiempo de mezclado fue de un 20 a un 30 por ciento mayor que en el hormigón de base convencional⁽⁷⁾. Si el hormigón poroso necesita más tiempo de mezclado, se tendrá que valorar la capacidad de producción.

Un aspecto que se ha de estudiar es el cambio que experimenta la ductilidad de la mezcla transportada con un camión hormigonera o un volquete. Hasta la fecha, la experiencia indica que se necesita una mezcla muy dúctil para obtener la calidad de conducción deseada para los vehículos y los volquetes deben ser capaces de trasladar la mezcla sin segregaciones indebidas.

Las prácticas actuales en Nueva Gales del Sur con el hormigón poroso para las capas de subbase en los túneles consisten en transportar el hormigón en camiones hormigoneras. El inconveniente de este sistema es la lentitud de la descarga desde este tipo de aparatos, aunque puede no ser un problema si el espesor de la capa se limita a 50 mm en lugar de 150 mm en una capa de subbase.

5. Construcción

La experiencia obtenida hasta la fecha con la pavimentación de hormigón poroso para capas de subbase en túneles indica que basta con una pavimentadora para compactar este hormigón hasta una profundidad de 150 mm. Las investigaciones actuales indican que el hormigón poroso se ha de compactar mediante una vibración externa en lugar de interna, lo que puede conducir a posibles problemas cuando se coloque el hormigón sobre una capa de hormigón con encofrado deslizante.

Los trabajos de investigación preliminares completados en los EE.UU. durante 2004 indican que se ha utilizado un proceso con dos capas en las diversas regiones de ese país y se han identificado varios campos de investigación amplios para ayudar a reducir los costes de construcción, incluyendo una recomendación de que se realicen más pruebas de demostración⁽⁸⁾. La necesidad de refinar el proceso en los EE.UU. se basa en la demanda creciente de utilizar materiales de menor calidad y reciclados en el hormigón de base y de materiales de mayor calidad en la mitad superior del firme.

En Australia no hay máquinas pavimentadoras equipadas para un proceso de dos capas y aunque algunos aparatos se puedan modificar, se calcula que los costes rondarían el millón de dólares. Podrían servir dos máquinas trabajando en tándem, aunque esta posibilidad se ha de estudiar más a fondo.

El acceso a la pavimentadora desde las vías laterales puede estar limitado en algunos lugares debido al espacio lateral para trabajar en los cortes y en los rellenados y a la proximidad del tráfico. Aunque lo ideal pueda ser que se tenga acceso desde ambos lados de la pavimentadora con el fin de limitar los errores cuando se traslade la mezcla a cada aparato, se considera necesario investigar más a fondo las prácticas en otros países de cara a futuras pruebas de construcción.

Será necesario que se entienda el desarrollo de la resistencia tanto del hormigón poroso (utilizando estos nuevos aglomerantes cementosos) como del hormigón de base estándar inferior para determinar cuándo se permitirá la construcción y el tráfico normal sobre el hormigón acabado.

Como se ha advertido anteriormente, otro factor clave para reducir el ruido de los neumáticos y de la carretera es una calidad de la conducción de vehículos muy buena. Los contratistas australianos no parecen fiarse en la actualidad de los *súper alisadores* detrás de la pavimentadora para mejorar la calidad de la conducción y alcanzan cotas en torno a la veintena de NMRs^(a). Las pavimentadoras de mezcla bituminosa pueden no alcanzar la suavidad deseada si no se utilizan apisonadoras; sin embargo, el uso de apisonadoras sobre el hormigón de base húmedo puede provocar la caída de los bordes y cerrar los poros superficiales.

Se prevé que las barras de anclaje permanezcan en el centro de la capa de hormigón de base convencional y no es probable que los insertadores automáticos de barras presenten ningún problema con el proceso de dos capas. Si se estudia el método de una sola capa el aparato para insertar barras de anclaje puede tener dificultades para insertar una barra en el hormigón en la junta longitudinal y se pueden obturar los poros en la zona, lo que producirá limitaciones del flujo en las vías de drenaje.

Cuando se utilice el hormigón poroso, seguirán siendo necesarios los cortes transversales y longitudinales y el momento del corte con sierra será esencial para aplicar el sellador.



Foto 14 Vistas del dispositivo utilizado para formar las juntas en la capa de hormigón poroso húmedo y junta resultante que se forma.

Las técnicas de serrado precoz pueden no ser adecuadas, ya que la propagación de grietas y el contenido de poros puede afectar al proceso de serrado. Otro método que se ha ensayado en los EE.UU. es el de formar una ranura con una apisonadora con un reborde soldado en el centro⁽¹⁸⁾. La ranura formada demostró tener una profundidad suficiente para iniciar el agrietamiento en toda la profundidad del hormigón con áridos uniformes (véase la Foto 14). Esta técnica también se puede emplear para evitar el descascarillado durante el corte con sierra siempre que se tengan los suficientes conocimientos para evitar la deformación de la superficie durante la formación de la ranura y la sierra pueda seguirla sin dañar el área superficial.

En el pasado, la aplicación de compuestos de secado ha dado como resultado compuestos cuya viscosidad ha hecho que fluyeran a los surcos de escarificación transversal cuando el peralte es de aproximadamente un 3 por ciento. Se prevé que, a menos que el compuesto de secado tenga una viscosidad menor, podrá llegar a los poros y ofrecerá mayores tasas de aplicación y aumentará los costes.

Las operaciones de marcado de líneas en los firmes de hormigón normales se pueden ver afectadas por el tipo de compuesto de secado y la limpieza de la superficie justo antes de aplicar la línea⁽¹⁴⁾. Asimismo, las juntas anchas de contracción y aislamiento pueden provocar un ligero descascarillado de las líneas adyacentes a la junta. En el caso de una superficie de hormigón poroso, los poros pueden causar problemas a la pintura en cuanto a su adherencia o porque bloquee los poros. Al igual que sucede con el hormigón normal, se debe utilizar el compuesto de secado correcto.

Otro problema que puede surgir es la eliminación de la marca con línea si cambia la ubicación de los carriles. Con el OGA, se eliminan las líneas con operaciones de

(a) NMRs se refiere a "NAASRA Roughness Counts" y es una medida australiana de la calidad de la conducción según un modelo de referencia denominado "quarter-car".

fresado y se debería estudiar la posibilidad de probar a eliminar las líneas con una fresadora.

6. Mantenimiento

Es probable que muchos de los problemas todavía sin resolver a la hora de mantener los firmes de JPCP y de CRC se presenten con el método de las dos capas. Otros problemas adicionales son:

- Limpiar los poros,
- Cosido transversal de las grietas estructurales,
- Sustitución localizada de la superficie debido a que los vehículos la *arañan* durante los accidentes, y
- Exfoliación total o parcial de las dos capas en áreas localizadas.

CONCLUSIONES

A medida que las expectativas de la comunidad continúan presionando a las autoridades para que construyan superficies de carreteras seguras, lisas y silenciosas, los ingenieros tendrán que ir a la vanguardia en el desarrollo de materiales y técnicas que ayuden a la consecución de estos objetivos. La mezcla bituminosa porosa se considera en general como la superficie de carretera silenciosa estándar para los australianos, y los nuevos avances de la tecnología de superficies asfálticas, como morteros bituminosos y mezclas bituminosas de epoxy, superarán a los del sector del hormigón a menos que los investigadores puedan eliminar las barreras que dotan al hormigón poroso de una o dos capas de propiedades similares a las de la mezcla bituminosa porosa.

Este documento ha demostrado que se puede crear un hormigón poroso con una resistencia a compresión de 25 MPa o mayor en 28 días y que tenga un porcentaje de poros del 30 por ciento. Las técnicas de colocación a mano son factibles, pero aún hay que realizar más pruebas para instalar el material con pavimentadoras mecanizadas.

Por último, quedan por delante muchos problemas todavía sin resolver en caso de que los responsables de las carreteras deseen hacer que el hormigón poroso sea económicamente competitivo frente a la mezcla bituminosa porosa. Los autores esperan que aquellos usuarios y especialistas inspirados y emprendedores que trabajan con firmes de hormigón afronten los problemas todavía sin resolver descritos en este documento y lo hagan realidad.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quisieran agradecer a Desley Henrickson por revisar este documento y el permiso de la RTA para revisar y publicar algunos de los resultados. Asimismo, los datos sobre las pruebas que recoge este informe proceden de tareas de investigación por encargo del laboratorio de materiales de construcción Hanson (Nueva Gales del Sur). Los autores agradecen el compromiso del personal del laboratorio con los resultados de este proyecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AS 1012.18 "Métodos de prueba del hormigón: Determinación del tiempo de asentamiento del hormigón, el mortero y la lechada frescos por resistencia a la penetración". Normas australianas, Sydney, Nueva Gales del Sur, Australia.
2. Austroads (2004) "Pavement Design A guide to the structural design of road pavements" Austroads, Sydney, Nueva Gales del Sur, Australia.
3. Beeldens, A (2002) "Influence of polymer modification on the behaviour of concrete under severe conditions". Tesis, Bélgica.
4. Beeldens, A (2005) "Private communication by email" RTA, Blacktown, Nueva Gales del Sur.
5. Caestecker, C (1998) "Test sections of noiseless cement concrete pavements", Routes Roads. Julio 1998, PIARC, Paris, Francia.
6. C&CAA (1996) "Ultra-Thin Whitetopping – A fast durable alternative overlay" Road Note 52, Asociación Australiana del Cemento y el Hormigón, Sydney del norte, Nueva Gales del Sur, Australia.
7. Dash, D, Bryce, C, Moran, J y Samuels, S (2002) "Road trial of a low-concrete pavement with exposed aggregate surfacing", Road & Transport Research Vol.11, N° 1, South Vermont, Victoria.
8. Karamihas, SM y Cable, JK (2004) "Developing smooth, quiet, safe Portland cement concrete pavements". Informe FHWA n° DTFH61-01-X-0002, Washington, EE.UU.
9. Koesuo, K y McCullough, F (1987) "Evaluation of the Performance of the Bonded Concrete Overlay on Interstate Highway 610 North", Houston, Texas, Centro de EE.UU. para Estudios de Investigación

- sobre Transporte, Informe de investigación 920-2, Universidad de Texas, Austin, EE.UU.
10. NRMCA (2006) "Pervious Concrete Pavement" National, Ready Mix Concrete Association, EE.UU.
 11. Olek, J, Weiss, WJ y Neithalath, N (2004) "Concrete mixtures that incorporate inclusions to reduce the sound generated in Portland cement concrete pavements". Investigación Final.
 12. Report Number: SQDH 2003-5, "The Institute for Safe, Quiet and Durable Highways", Purdue, EE.UU.
 13. Samuels, S y Dash, D (1996) "Development of low noise pavement surfaces in Australia". Actas del III Simposio Internacional sobre Características de las Superficies de Firmes, Christchurch, Nueva Zelanda.
 14. RTA (2003) R83-R84 "User Guide", Edición 1, Revisión 2, Autoridad de Carreteras y Tráfico, Sydney, Nueva Gales del Sur, Australia.
 15. RTA (2007a) QA "Especificación R83 Base de hormigón en masa", Edición 2, Revisión 6, Autoridad de Carreteras y Tráfico, Sydney, Nueva Gales del Sur, Australia.
 16. RTA (2007b) QA "Especificación R84 Base de hormigón armado continuo", Edición 2, Revisión 6, Autoridad de Carreteras y Tráfico, Sydney, Nueva Gales del Sur, Australia.
 17. RTA (2005) "No Fines Concrete Research Project - Overview of Stages 1 and 2". Informe n° R04-A018/3, Autoridad de Carreteras y Tráfico, Sydney, Nueva Gales del Sur, Australia.
 18. Tennis, PD, Leming, ML y Akers, DJ (2004) "Pervious Concrete - When it rains, it drains", Portland Cement Association, Skokie, Illinois, EE.UU.
 19. Vorobieff, G (2004) "Literature Search Summary hormigón poroso Research Project", Sección de Estructuras de Firme de la RTA. No publicado. 



Adoquines de hormigón permeables al agua. Estructuras duraderas para una política integrada del agua



Water pervious concrete pavement blocks: durable structures for an integrated water policy

A. BEELDENS

Centro Belga de Investigación de Carreteras (BRRC, Bélgica)

L. VIJVERMAN

FEBESTRAL (Bélgica)

RESUMEN

Los adoquines permeables al agua son una solución duradera y ecológica para impedir las escorrentías, minimizar el riesgo de inundación y aumentar la eficacia de la depuración del agua.

La aplicación de adoquines permeables al agua sobre una base y/o subbase permeable permite laminar el agua de lluvia que entre en el firme y la infiltración o la salida retardada del caudal saliente hacia el terreno o el sistema de infiltración.

Este documento presenta los resultados de un proyecto de investigación, llevado a cabo en el BRRC a lo largo de 4 años. La eficacia de la laminación y de la infiltración del agua en relación con la elección del material se investiga en laboratorio, en un área de ensayo en un aparcamiento e in situ. Para permitir una correcta elección de los materiales y del lugar de aplicación y para controlar la eficacia in situ, se optimizan distintos métodos de ensayo. Se investigan los resultados que arrojan los distintos tipos de adoquines de hormigón (adoquines permeables, adoquines con juntas ensanchadas o con orificios de drenaje) y los distintos tipos de capas de nivelación de arena y materiales de relleno de juntas.

Por último, este documento se centra en diversas aplicaciones en Bélgica, en donde las mediciones han mostrado un buen comportamiento del firme y una larga duración de la permeabilidad. Se presentan los datos que arrojan los proyectos recién construidos, así como los que llevan en servicio más de ocho años.

Palabras clave: Hormigón, Adoquín, Firme, Estructura permeable al agua, Adoquín de hormigón permeable, Método de ensayo de la permeabilidad.

ABSTRACT

Water pervious pavement blocks are a durable and ecological solution to prevent water run off, to minimize the risk of flooding and to increase the efficiency of water purification.

The application of water pervious pavement blocks on a permeable base and/or sub base allows buffering of the rainwater in the structure and infiltration or retarded outflow to the ground or infiltration system.

This paper presents the results of a research project, conducted at the BRRC during 4 years. The efficiency of water buffering and infiltration in relation to the choice of material is investigated in the laboratory, on a test parking lot and on site. To allow a good choice of the materials and the application site and to control the efficiency on site, different test methods are optimized. Results for different types of concrete pavement blocks (pervious blocks, blocks with enlarged joints or drainage holes), different types of base layer (hydraulic bounded or unbounded materials) and different types of sand layer and jointing materials are looked at.

Finally this paper focuses on several applications in Belgium, where measurements have shown a good behavior of the structure and a good durability of the permeability. Data from newly constructed projects, as well as projects in use for more than eight years are presented.

Key words: Concrete, Pavement block, Pavement, Pervious structure, Pervious concrete pavement block, Permeability test method.

Los pavimentos *permeables* al agua se utilizan para minimizar los efectos adversos de gran alcance que se producen cuando se altera el equilibrio natural del agua. El riesgo de inundación durante las tormentas por parte del agua que corre por la superficie o por desbordamiento de las conducciones del alcantarillado se reduce enormemente por la absorción inmediata y el almacenamiento subsiguiente del agua en el firme permeable. La Administración flamenca (por medio del IWT^(a)) financió un proyecto de investigación para establecer los modelos de permeabilidad y de la capacidad de almacenamiento de los firmes permeables al agua y para optimizar la conservación de la permeabilidad.

Este proyecto incluye ensayos de laboratorio con material de pavimentación, así como con los materiales de la base y la subbase, ensayos *in situ* sobre terrenos y sobre pavimentos permeables al agua. Además, se construyó una zona de aparcamiento con doce áreas diferentes (cada una de 120 m² de superficie) en las instalaciones del Centro Belga de Investigación de Carreteras (BRRC) para ensayar cinco tipos distintos de adoquines de hormigón permeables al agua y dos tipos distintos de capas de base.

Asimismo, se midió y se realizó un seguimiento de la permeabilidad al agua de los pavimentos permeables existentes y nuevos de Bélgica a lo largo del tiempo. También se unieron a este proyecto el Centro Belga de Investigación de Carreteras, el Laboratorio para la Gestión del Suelo y de las Aguas de la Universidad Católica de Lovaina y la Federación Belga de Fabricantes de Elementos Lineales y Modulares de Hormigón para Pavimentos (FEBESTRAL).

EL CONCEPTO DE PAVIMENTOS PERMEABLES

El concepto de pavimentos con adoquines permeables al agua difiere al menos en un aspecto importante con respecto al de los pavimentos convencionales. Mientras que en el caso de los pavimentos convencionales se impide la entrada del agua en el firme en la medida en que sea posible, se supone que ha de entrar en ella en el caso de los adoquines permeables. Se retiene durante un tiempo determinado, transcurrido el cual ha de abandonar el firme por infiltración en el suelo o por drenaje, siendo preferible en una cuneta o una alcantarilla para aguas pluviales. En lo tocante al diseño del firme, se han de seguir las normas sobre pavimentación convencional con adoquines suponiendo una menor capacidad de

(a) IWT, Instituto para la Promoción de la Innovación mediante la Ciencia y la Tecnología de Flandes.

soporte como resultado de la mayor porosidad de la base y del pavimento y, en consecuencia, una menor resistencia al tráfico.

El principio de trabajo de los adoquines permeables al agua es el siguiente: los propios adoquines hacen que el agua penetre en el firme y evitan la escorrentía. El almacenaje del agua se efectúa en la parte inferior del firme en las capas de base o subbase. Esto favorece la capacidad de soporte del firme, ya que se evita en la medida de lo posible el efecto de bombeo que se podría producir en la superficie del firme ante la presencia de agua y de tráfico. El agua se evacúa por infiltración, por drenaje o por una combinación de ambos métodos. Desde el punto de vista medioambiental, es deseable la infiltración en el suelo a menos que el firme de pavimentación esté situado en una zona de captación de agua.

Los lugares más adecuados para la pavimentación permeable al agua son las zonas comerciales, los terrenos industriales, las zonas de aparcamientos, aceras, plazas, etcétera, en donde grandes superficies están sometidas a un tráfico limitado o ligero. Hablando en términos hidráulicos, los pavimentos permeables al agua están diseñados para ser capaces de absorber el agua de lluvia de un aguacero cuya intensidad sólo se dé una vez cada treinta años y dure diez minutos. Las estadísticas belgas indican que en este tipo de aguacero la precipitación es de 270 litros por segundo y hectárea. Es necesaria una permeabilidad inicial de $5,4 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ (factor de seguridad 2) para compensar el hecho de que la permeabilidad del firme se pueda reducir por bolsas de aire o por colmatación de la superficie.

Uno de los requisitos previos para que una estructura de pavimentación permeable funcione bien es la elección cuidadosa de los materiales. La subbase se puede realizar con materiales sueltos. Es importante alcanzar el equilibrio justo entre permeabilidad y estabilidad. Esta última sólo se puede conseguir con una buena compactación del material *in situ*, lo cual exige más energía y tiempo si se utiliza un árido discontinuo. En este caso, se puede realizar la compactación con una bandeja vibrante. También se pueden utilizar materiales tratados con cemento en la base; por ejemplo, hormigón magro poroso, que combina una elevada permeabilidad ($4 \times 10^{-4} \text{ m/s}$) con una resistencia relativamente elevada (13 N/mm^2 en testigos). Para asegurar la estabilidad del firme, se debe evitar la contaminación entre las capas separándolas si es necesario con un geotextil.

Para evitar la acumulación de sedimentos en el firme, es aconsejable que se comience con un material relativa-

mente fino en la parte superior y que se utilicen materiales más porosos en la inferior. Las capas superiores funcionarán así como una especie de filtro para las inferiores de forma que si una partícula pequeña atraviesa la superficie, no quede bloqueada antes de llegar al suelo.

CRITERIOS DE DISEÑO Y ÁRBOL DE DECISIÓN

Para llegar al diseño óptimo se han de estudiar diversos aspectos, comenzando desde el suelo y el sistema de drenaje necesario hasta la elección de los adoquines para el pavimento y las dimensiones de las capas de base y subbase.

El árbol de decisión que muestra la Figura 1 recoge los distintos pasos: en primer lugar, el sistema de drenaje se determina en función de la permeabilidad del suelo⁽³⁾. En el siguiente paso se fija el espesor de la base y el tipo de material en relación con el tráfico sobre el firme. En consecuencia, el espesor de la subbase se determina bien por la resistencia del suelo a la congelación o por la necesidad de una capacidad extra de laminación del firme. Se toma el máximo de ambos espesores.

Por último, se eligen los adoquines y con ello, también el material de relleno de las juntas y el material de la base. Es posible que se tenga que añadir un geotextil al firme con el fin de evitar infiltraciones de una capa a la otra. Esto es el caso cuando se utilice un hormigón magro drenante.

TÉCNICAS DE MEDICIÓN

El objetivo del proyecto de investigación era, entre otros, la elaboración de métodos de ensayo fiables para facilitar la elección de materiales y para obtener un buen método de control. Se definieron los métodos de ensayo empleados en el laboratorio (ensayo de columna), así como *in situ* (ensayo abierto y de doble anillo). Asimismo, se determinó la capacidad de laminación y de infiltración para distintos tipos de capas de base y subbase sin tratar en el aparcamiento de ensayo.

1. Diseño general de la zona de aparcamiento para ensayos

Se puede encontrar una descripción pormenorizada de la zona de aparcamiento para ensayos en publicaciones previas⁽¹⁾. Se ensayaron doce áreas distintas (de 120 m^2) con dos capas distintas de base y subbase (pórfido 2/20 sobre arenisca 7/30 o arenisca 0/32). Se dispusieron

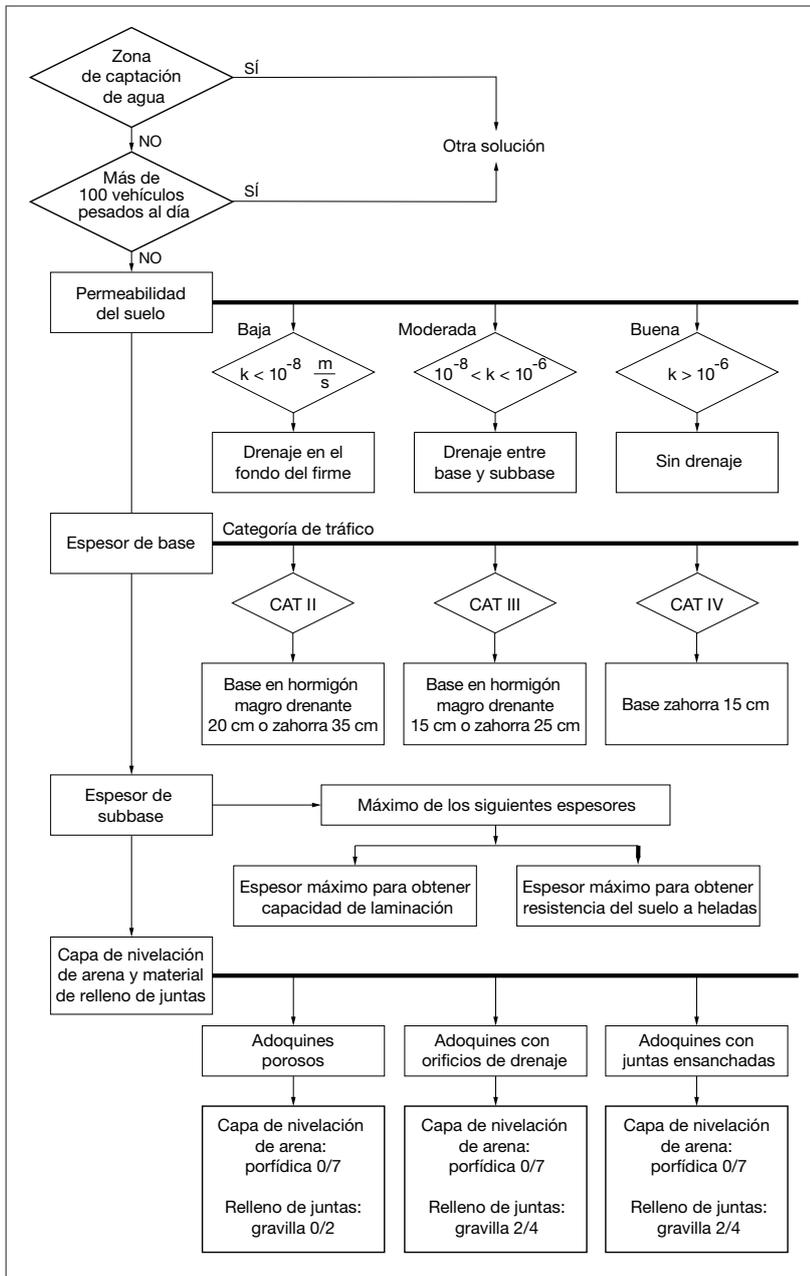


Figura 1. Árbol de decisión para diseñar los firmes de los pavimentos permeables al agua.

cinco tipos de adoquines: adoquines clásicos, permeables, con juntas ensanchadas, con orificios de drenaje y baldosas césped.

La Tabla 1 ofrece un resumen de los distintos componentes y materiales utilizados para cada una de las doce áreas de ensayo, ofreciendo una visión de conjunto sobre las diversas combinaciones de subbase, base, capa de nivelación de arena y material de relleno de juntas. Se impusieron prescripciones adicionales en cuanto al contenido de finos y la calidad de los áridos, estas

últimas para impedir la contaminación rápida de las capas por desgaste de las partículas.

El material de relleno de juntas y la arena se escogieron de acuerdo con el tipo de adoquín. En el caso de los adoquines porosos el agua puede pasar a través de los mismos; por tanto, las juntas se rellenaron con un material menos permeable (una arena áspera de 0/2 mm) para aumentar la estabilidad del pavimento. La superficie que puede atravesar el agua es también mayor; por este motivo, se escogió un árido menos permeable también para la capa de nivelación de arena (0/7 mm).

En el caso de los adoquines con orificios de drenaje y juntas ensanchadas, el material de relleno tiene que ser permeable. Puesto que la superficie disponible para que entre el agua en el firme es menor (mín. 10%), se escogió en este caso una capa de nivelación de arena menos permeable (2/7 pórfido).

La Figura 2 muestra las áreas transversales del firme con adoquines de hormigón poroso para ambos tipos de base. Los diseños con otros adoquines son semejantes, con capas de nivelación y materiales de relleno de juntas adaptados. Se dispuso una membrana impermeable en la parte inferior y en los lados para captar toda el agua que penetrase en la sección de ensayo y para medir su caudal en la salida de la tubería de drenaje colocado en la parte inferior de la sección. La salida de la tubería se dispuso en dos tubos para poder medir también la influencia de las lluvias de escaso caudal. Estas salidas son comparables a una infiltración de 1×10^{-7} m/s.

Se calculó el espesor del firme con el fin de impedir la helada en los suelos limosos. A la superficie se le dio una pendiente del 1 por ciento. Al contratista le es más fácil de construir que un cero por ciento y da un resultado más estético porque se evitan distintas sombras. La parte inferior del firme se dispuso con una pendiente del 3 por ciento para facilitar que el agua corriese hacia la tubería de desagüe. Además de las diez áreas en el aparcamiento principal, se construyeron dos áreas de ensayo con baldosas césped en rejilla con el fin de investigar la



Foto 1. Aparcamiento de ensayo.



Foto 3. Ensayo de extremo abierto.



Foto 2. Dispositivo de medida de agua en la parte inferior del firme.



Foto 4. Infiltrómetro de doble anillo.

simula las condiciones en donde no es posible una infiltración en el terreno y se ha de retener el agua en el caudal de salida antes de evacuarla hacia otras unidades de infiltración. Con estas mediciones se obtuvo un buen conocimiento sobre la capacidad de almacenamiento de los firmes permeables y sobre la importancia de las distintas propiedades de los materiales. Se detectó una escorrentía muy limitada en la superficie, incluso durante las tormentas fuertes.

Además de las mediciones llevadas a cabo en el laboratorio y en las áreas de ensayo, se han efectuado

mediciones en diversos lugares de Bélgica. Se trata principalmente de aparcamientos para coches o sendas peatonales. Las superficies varían entre unos cientos y varios miles de metros cuadrados. Se han realizado dos tipos de mediciones diferentes para ayudar al ingeniero con el diseño del pavimento permeable.

En primer lugar, se mide la permeabilidad del suelo por medio de un ensayo *de extremo abierto*⁽⁴⁾. En la Foto 3 puede verse el conjunto de los dispositivos utilizados en las mediciones. En segundo lugar se mide la permeabilidad del firme permeable por medio de un infiltrómetro de *doble anillo*⁽²⁾. Las mediciones con este aparato se realizan tras haberse construido el firme y se pueden utilizar para controlar el trabajo del contratista junto con las mediciones sobre el propio material. Durante el proyecto, se repiten las mediciones a lo largo del tiempo para conocer los cambios en la permeabilidad. La Foto 4 muestra un infiltrómetro de doble anillo preparado para realizar medidas.

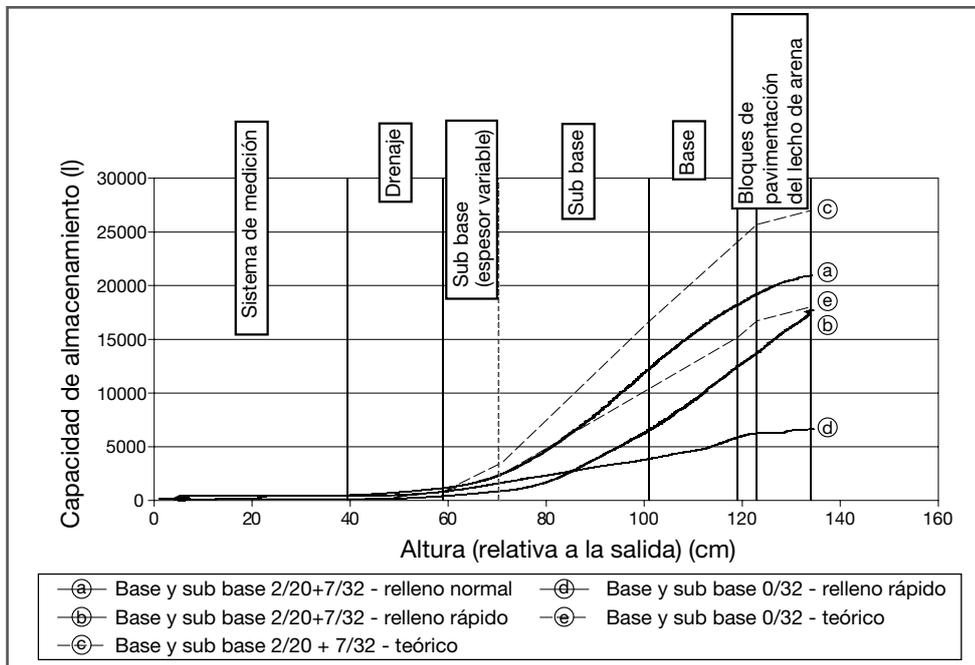


Figura 3. Capacidad de almacenamiento en las distintas capas del firme permeable.

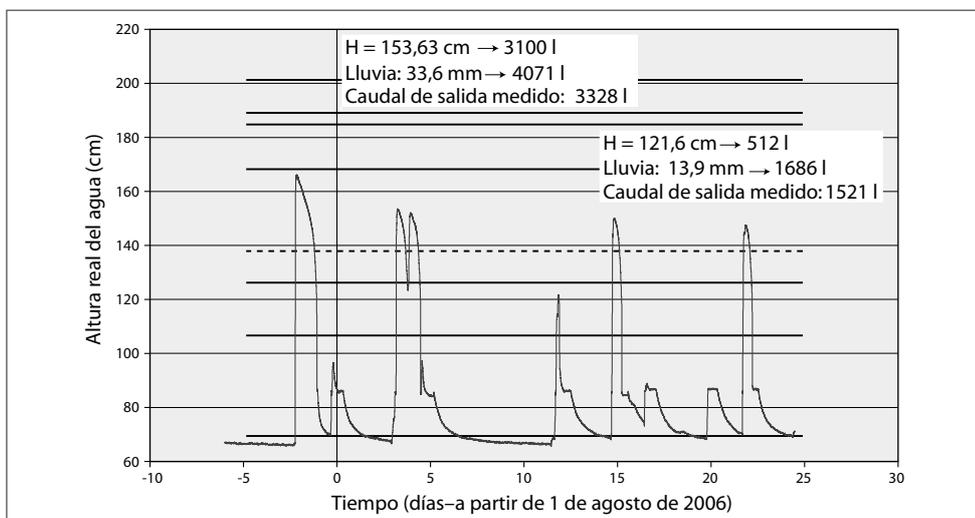


Figura 4. Altura real del agua en el firme durante la precipitación.

RESULTADOS DE LA MEDICIÓN

1. Capacidad de almacenamiento

Las mediciones de la capacidad de almacenamiento mediante el bloqueo del caudal saliente de las distintas áreas de pavimento indicaron una buena correspondencia entre la porosidad de los materiales y la altura del agua sobre el pavimento, Figura 3. Sin embargo, si se vertía el agua en grandes cantidades sobre la superficie (hasta 20 l/s por m²), se producían bolsas de aire provocadas por el hecho de que no era posible la infiltración o el drenaje en la parte inferior. Este efecto no era importante

en condiciones normales de tormenta.

Los resultados indican que la capacidad de almacenamiento no se relaciona con el tipo de bloque de pavimento permeable, sino más bien con el tipo y el espesor de la base y subbase. Los adoquines determinan la rapidez con la que penetra el agua de lluvia en el firme y, en consecuencia, si tendrá lugar alguna escorrentía durante las tormentas fuertes.

La Figura 4 muestra la altura del agua en el firme bajo condiciones reales, con un caudal de salida limitado a 7 l/min por 120 m² (=10 l/s ha). Como se puede ver, el agua no penetró casi nunca en la base aun con lluvias de hasta 260 l/s ha. La Figura 4 también indica la influencia que ejerce la intensidad de las precipitaciones. Con lluvias intensas, la altura será mucho mayor y la infiltración durante la precipitación será menor, si la lluvia cae durante un periodo más prolongado o si sólo cae una pequeña

cantidad de agua, la altura será mucho menor y la infiltración tendrá lugar mientras esté lloviendo.

Los resultados también indicaron una buena capacidad de laminación del firme. Se midió un pequeño caudal de salida durante la tormenta (en torno al 10 por ciento del agua), mientras que el 50 por ciento del agua salió durante las 5 a 6 horas posteriores a la lluvia y el 40 por ciento restante fluyó lentamente a través del firme y salió en los días siguientes. La diferencia en los materiales por el tiempo que el agua necesitaba para alcanzar la parte inferior del firme. Éste fue ligeramente mayor en el caso de la base con material 0/32.

	[7/32-2/20]	[0/32]
Orificios de drenaje [áreas 1/8]	$>4 \times 10^{-4}$ m/s	3×10^{-3} m/s
	5×10^{-4} m/s	5×10^{-5} m/s
Juntas ensanchadas [áreas 2/7]	$>4 \times 10^{-4}$ m/s	$1,9 \times 10^{-3}$ m/s
	8×10^{-4} m/s	5×10^{-5} m/s
Adoquines porosos sin membrana [áreas 4/3]	1×10^{-4} m/s	1×10^{-4} m/s
	3×10^{-4} m/s	3×10^{-4} m/s
Adoquines porosos sin membrana [áreas 5/6]	$2,6 \times 10^{-4}$ m/s	8×10^{-5} m/s
	5×10^{-4} m/s	3×10^{-4} m/s
Adoquines convencionales [áreas 9/10]	$<2,4 \times 10^{-5}$ m/s	

Tabla 2. Permeabilidad de la superficie con el ensayo del doble anillo tras colocar el aparcamiento de ensayo (arriba) y después de 3 años de servicio (abajo).

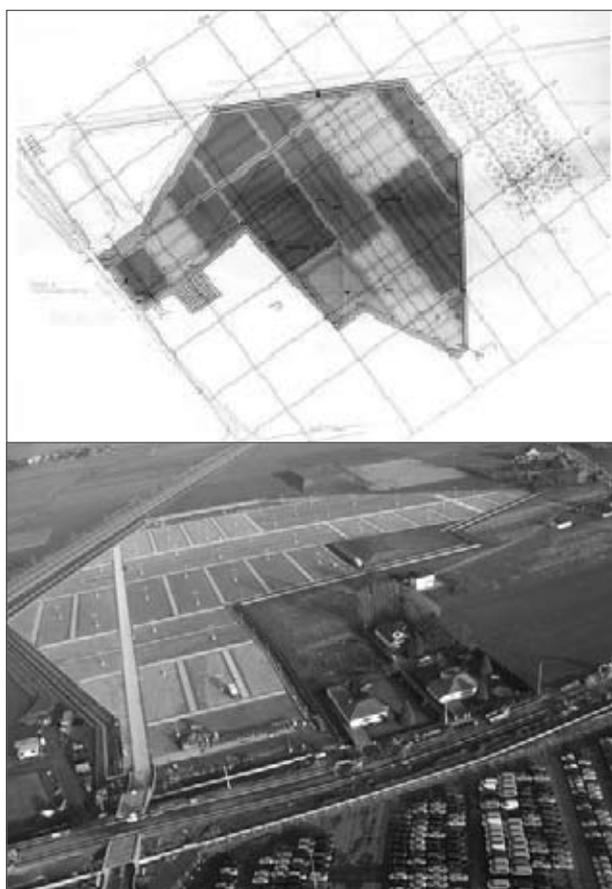


Figura 5. Mapa del aparcamiento del concesionario de coches D'leteren y vista durante la construcción

Por otra parte, existen claras diferencias en la permeabilidad de la superficie cuando se miden con el ensayo del *doble anillo*. La Tabla 2 recoge los resultados. En algunos casos, las cantidades por medir quedaron fuera de los intervalos del dispositivo. Estas mediciones se han llevado a cabo a lo largo de un periodo de 3 años. Los resultados de las mediciones tras la colocación y los de aquellas efectuadas después de 3 años de servicio se recogen en la Tabla 2. Como se puede comprobar, apenas se han advertido cambios

en la permeabilidad de la superficie de los adoquines porosos. En el caso de los adoquines para pavimentos con juntas ensanchadas y con orificios de drenaje se ha observado una reducción de la permeabilidad de la superficie, pero sigue siendo más que suficiente para evacuar la precipitación de proyecto.

Los tiempos de retención y los caudales obtenidos dependen en gran medida

de los parámetros geométricos del firme y de los materiales utilizados. El tamaño y la posición de la salida tienen influencia, así como el espesor de las distintas capas del firme, la porosidad y la permeabilidad de los materiales utilizados en la tubería de desagüe, en la subbase y la base y en la capa de nivelación de arena.

En el caso de las áreas de ensayo, el caudal máximo en la salida equivale a $3,5$ l/h/m², lo cual sería similar a un suelo con una permeabilidad de $9,7 \times 10^{-7}$ m/s. El espesor total del firme es de 65 cm. Esto aumenta de forma significativa la capacidad de almacenamiento, y también protege contra la helada al suelo que está debajo.

2. Mediciones de campo

Se han estudiado aproximadamente 50 obras, la mayoría de las cuales estaban en fase de construcción o recién construidas. Se midieron tanto la permeabilidad del suelo como la del firme con el método de ensayo de *extremo abierto* y el de *doble anillo* respectivamente. El suelo consistía principalmente en arena, que tiene una permeabilidad que oscila entre $1,2 \times 10^{-5}$ m/s y $4,5 \times 10^{-4}$ m/s y es, por tanto, muy adecuado para la infiltración.

Se va a destacar un caso práctico muy interesante. Se trata de un aparcamiento situado en Kortenberg (cerca de Bruselas) de un distribuidor de coches llamado D'leteren (Volkswagen, Audi y Skoda). Se prevén más de 4.000 plazas en una superficie de 70.000 m². En principio solamente entrarán coches en este aparcamiento, que se ha situado en una zona propensa a las inundaciones.

Para evitar cualquier riesgo de inundación, se excavaron zanjas de drenaje en la capa de arena bajo el suelo limoso y para minimizar el riesgo de deformación de las vías con un intenso tráfico entre las áreas de aparcamiento, dichas vías se construyeron con hormigón coloreado. Cada zona del aparcamiento tiene un color específico

Obra	Permeabilidad superficial [m/s], medida según el método del doble anillo
Aparcamiento de D'leteren en Kortenberg (2005-2007)	9,1x10 ⁻³ m/s (permeabilidad del suelo) 2,7x10 ⁻⁴ m/s (2005-permeabilidad del suelo)
Centro comercial Waasland, Sint-Niklaas, adoquines porosos (2003)	4,3x10 ⁻⁴ m/s (2003) 7,6x10 ⁻⁵ m/s (2005 sin relleno en las juntas) 2,5x10 ⁻⁵ m/s (2005 con relleno en las juntas)
De Panne-zona de aparcamiento con adoquines porosos (1998)	1,69x10 ⁻⁴ m/s (2004)
Zutendaal-zona de aparcamiento con adoquines con zonas ampliadas	1,03x10 ⁻³ m/s (2004)
Heist-op-den-Berg - zona de aparcamiento (2000)	4,4x10 ⁻⁴ m/s (2004)
Evergem-zona de aparcamiento, metten ^(a) (2001), colmatada con barro y en consecuencia limpiada a alta presión	2,38x10 ⁻⁵ m/s (2004)

(a) Tipo de piedra.

Tabla 3. Mediciones de campo de la permeabilidad en Bélgica.

para facilitar el uso del mismo. La Figura 5 ofrece una vista aérea.

En el caso del firme permeable, se utilizó una subbase de caliza 7/32 con una base de pórfido 2/20 encima. Puesto que la compactación de la caliza 7/32 era difícil con los dispositivos compactadores normales, se añadió una cantidad adicional de caliza 0/7. Sin embargo, durante la segunda fase de la obra se utilizó una nueva bandeja vibrante de gran potencia, con lo que se pudo compactar la caliza 7/32.

Además de ayudar a escoger las granulometrías óptimas de los áridos, el BRRC llevó a cabo ensayos de permeabilidad con el infiltrómetro de doble anillo en el firme una vez construido. La Tabla 3 recoge los resultados.

Al realizar las mediciones a lo largo del tiempo, se observa un descenso de la permeabilidad. Los resultados indican en la mayoría de los casos una permeabilidad muy elevada justo después de la construcción. Esta permeabilidad se reduce con el tiempo, pero se estabiliza entre 2 y 5x10⁻⁵ m/s.

CONCLUSIONES

Los resultados del proyecto indican una buena capacidad de almacenamiento en el caso de los firmes con adoquines permeables. La diferencia entre los distintos tipos de adoquines de hormigón reside en la tasa de infiltración inmediata en la superficie durante una precipitación. Por otra parte, la capacidad de almacenamiento depende fundamentalmente del tipo y del espesor de

la base y de la tasa de infiltración en el terreno. Se ha de buscar un compromiso en todo momento entre la porosidad accesible al agua (con el fin de favorecer la permeabilidad), las propiedades de compactación y la capacidad de soporte.

Los áridos de 0/32 mm con una proporción reducida de finos ofrecen una buena solución. Se puede utilizar hormigón magro poroso en caso de que los requisitos sean elevados.

El proyecto consta de ensayos de laboratorio, mediciones llevadas a cabo en las áreas de ensayo y de ensayos prácticos sobre firmes permeables al agua en diversos lugares. Los resultados indican una buena permeabilidad inmediatamente después de la construcción, así como después de un periodo más prolongado; no se producen escorrentías superficiales, aun durante las tormentas, y tiempos de retención prolongados en los firmes, dependiendo de las limitaciones impuestas al caudal de salida por medio de estrechamientos en la tubería de desagüe o mediante una infiltración lenta en el terreno. Se realizan mediciones continuas en las áreas de ensayo y mediciones de campo reiteradas que indican una disminución de la permeabilidad del firme, aunque suficiente, a lo largo del tiempo.

Los firmes permeables al agua brindan una buena alternativa como sistemas de infiltración. Los resultados indican una buena capacidad de laminación, así como posibilidades de infiltración o drenaje retardado, dependiendo del tipo de suelo. Es importante que la totalidad del firme sea permeable. Esto impide que el agua corra por la superficie, permite su almacenamiento en la base

o subbase y el drenaje por infiltración en el terreno o por un desagüe con limitaciones.

INVESTIGACIONES FUTURAS

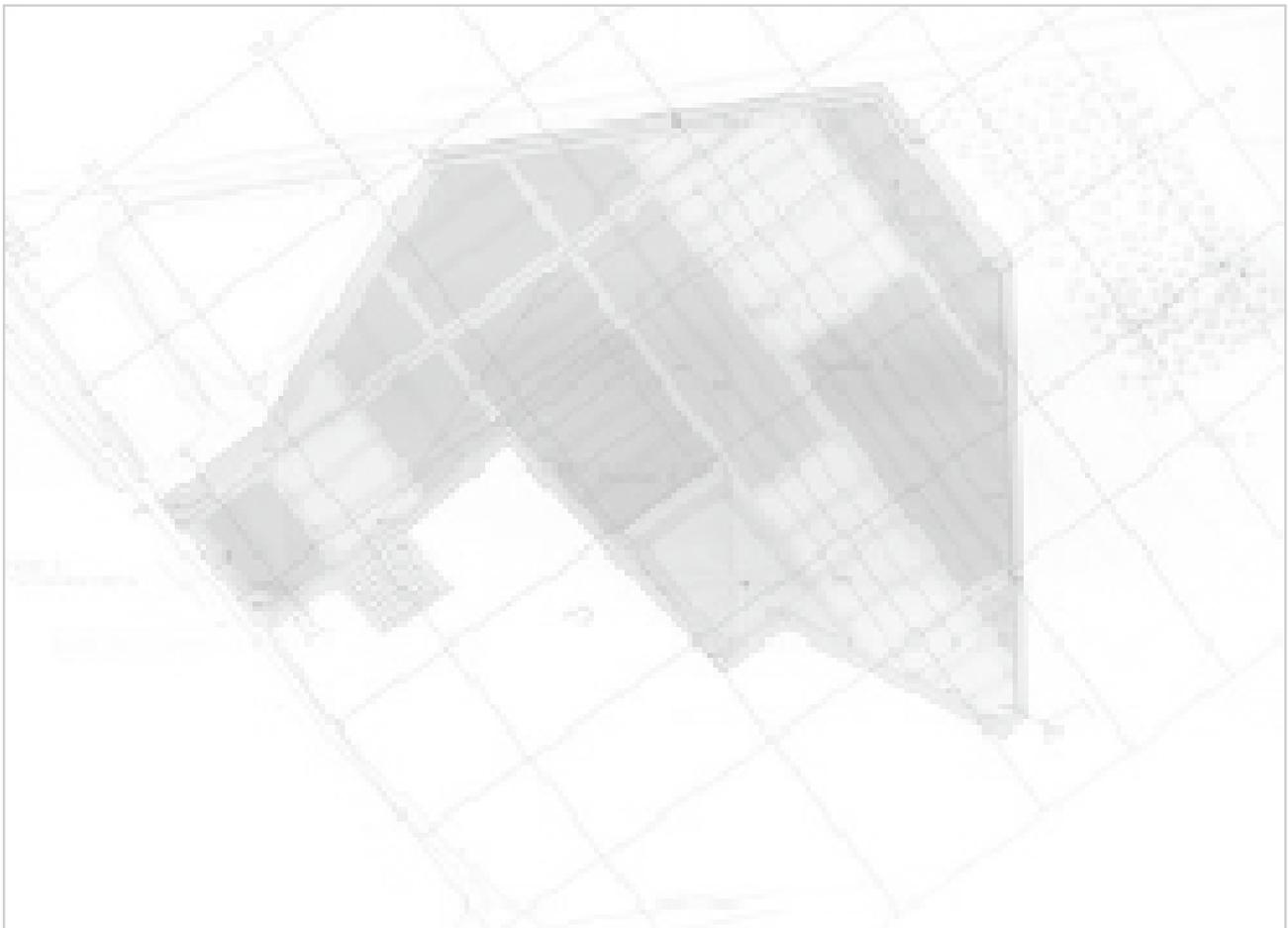
Tras este proyecto de investigación, el BRRC ha iniciado un proyecto de asistencia técnica con el que se prevé la oferta de una asistencia técnica durante el proyecto, la ejecución o tras la construcción, así como la divulgación de los resultados mediante folletos, publicaciones del estado del arte y el seguimiento de las obras.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su gratitud al IWT (Instituto para la Promoción de la Innovación mediante la Ciencia y la Tecnología de Flandes) por su patrocinio de este trabajo. También desean expresar su agradecimiento a la FEBESTRAL (Federación de Fabricantes Belgas de Elementos de Pavimentación Lineales y Modulares de Hormigón) por su apoyo a este proyecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Beeldens A., Herrier G., "Water pervious pavements blocks: environmentally compatible and cost-efficient water treatment at large road and parking areas", BFT International 09/2007, págs. 12-24.
2. Borgwardt S.; Gerlach S.; Köhler M. "Kommentierung des Merkblattes für wasserdurchlässige Befestigungen von Verkehrsflächen", FGSCV, 2001, págs. 249.
3. Shackel Brian, "Water Penetration and Structural Evaluations of Permeable Eco-Paving", Concrete Precasting Plant and Technology 3/1997; págs. 110-118.
4. Departamento de la oficina interior de reclamaciones de los Estados Unidos (1963), "Earth manual: A guide to the use of soils as construction materials for hydraulic structures", Denver, Colorado. 



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

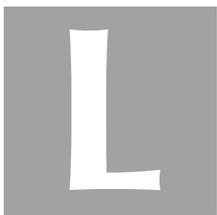
Precast concrete pavement technologies have been looked into sporadically over the last 20 plus years. In the early years, the technology was looked into as a matter of technical curiosity, that is, to investigate if precast concrete pavement technology was technically feasible. No serious attempts were 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).

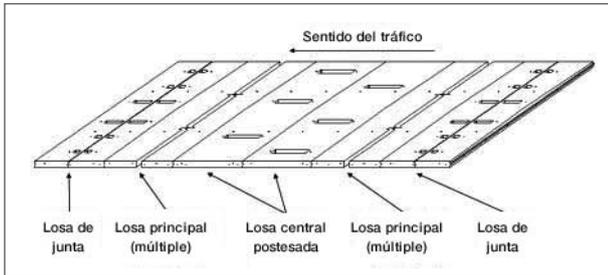


Figura 1. Detalles del diseño.

- 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.

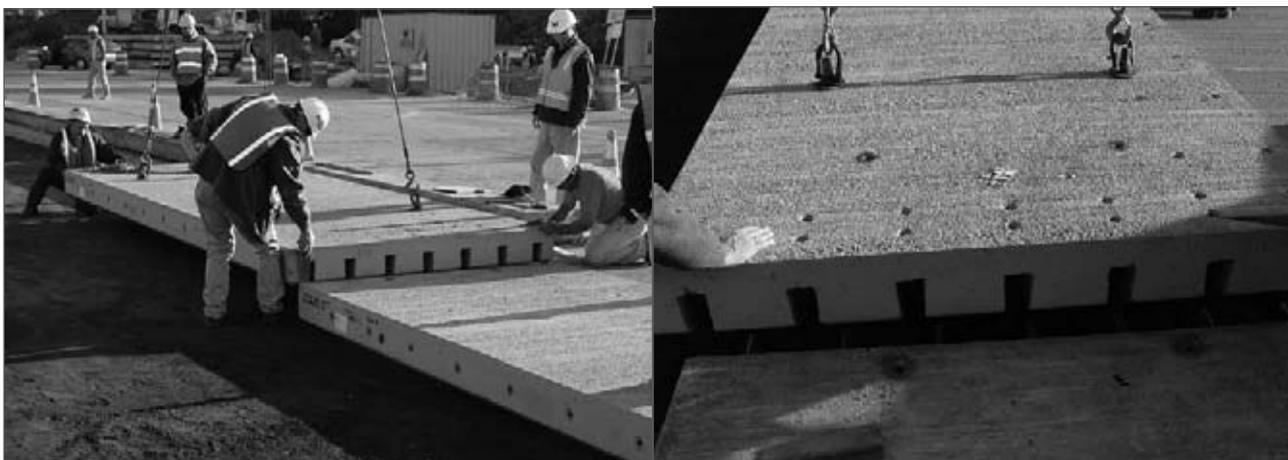


Foto 2. El sistema SuperSlab.

- 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 carrilas 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
DULLES AIRPORT TEXIWAY 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*.

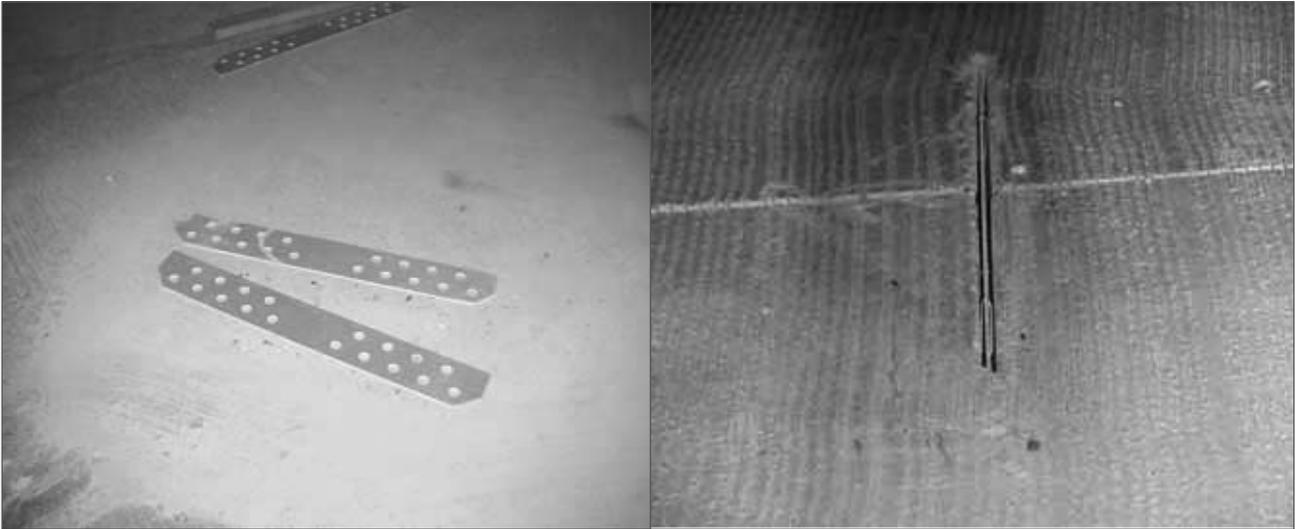


Foto 3. Costura de fibra de vidrio URETEK.

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. 





Conclusiones del XX Symposium Nacional de Vías y Obras de la Administración Local (VYODEAL)

Pontevedra, 15 al 19 de junio de 2009

Justo BORRAJO SEBASTIÁN

Jefe de Área de Carreteras de Gran Capacidad de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento
Ponente General del Congreso

1. Existe un consenso general según el cual hay que realizar una planificación integral que aúne los aspectos territoriales y del viario, contemplando prioritariamente la seguridad, la accesibilidad y la funcionalidad. Para ello, hay que coordinar las actuaciones de las distintas administraciones: estatal, autonómica y local, y utilizar la financiación como un instrumento de gestión para alcanzar el objetivo de servicio a los ciudadanos.
2. No existe una solución financiera única y con validez universal para las actuaciones necesarias. En cada caso habrá que hacer un diagnóstico de la situación de la red y de los recursos humanos y presupuestarios disponibles para estudiar la posibilidad de realizar concesiones de construcción y conservación que adelanten la puesta a punto de la seguridad y funcionalidad de la red.
3. En los modelos de financiación de carreteras hay que distinguir la procedencia inicial y final de los recursos. En general, son los contribuyentes los que asumen la financiación final mediante los presupuestos ordinarios o los futuros (peajes en sombra).

Otra fórmula son las concesiones mediante peaje, que pueden ser financiadas totalmente de forma privada o requerir una contribución pública (financiación mixta).

La gestión suele ser, cada vez más, privada con control público, para conseguir una mayor eficacia en la prestación del servicio a los ciudadanos.
4. Ante el descenso de los fondos de la Unión Europea (UE) que corresponden a España en el período 2007/2013 para la financiación de infraestructuras del transporte, habrá que incrementar la participación de los usuarios y beneficiarios en la financiación de las mismas para hacer frente a las grandes necesidades todavía existentes.
5. En el Estado de las Autonomías, la coordinación entre las administraciones central, autonómica y local es fundamental para lograr una unidad funcional de la red de carreteras que los usuarios perciban como única, con independencia de la titularidad de la misma.

El problema es, en muchos casos, la escasez de recursos para acometer las actuaciones de construcción y conservación necesarias. Esto lleva a discusiones sobre quién debe financiar dichas actuaciones, teniendo en cuenta que los cambios de titularidad de la red para adaptarla a los usos cambiantes de la misma no son tan rápidos y consensuados como deberían.
6. La red viaria conectora, incluyendo los caminos de interés territorial y no sólo las carreteras de primer orden, es fundamental en la movilidad de la ciudad dispersa. Los planes de movilidad sostenible del transporte urbano son una herramienta para dar respuesta a dicha necesidad de una manera coordinada, incluyendo todos los modos, otras políticas como las urbanísticas, las de eficiencia energética y las ambientales, y con un alto grado de participación ciudadana.

7. Hay elementos de la red de carreteras, como las paradas de autobús, cuya situación real pone de manifiesto la dificultad de acceso al transporte público que teóricamente se pretende potenciar. Una posible propuesta de mejora sería identificar la administración de carreteras responsable junto con la administración autonómica competente en transportes.

8. El seguimiento con indicadores de los planes de movilidad aprobados es condición imprescindible para conocer los efectos reales de las medidas propuestas y las posibles causas de su ineficacia, con el propósito de mejorar las iniciativas de futuros planes.

9. Los sistemas de contención de vehículos son un elemento fundamental en la mejora de la seguridad vial. La normalización de sus características de diseño, su instalación y su conservación aseguran la calidad de sus materiales, su durabilidad y su eficiencia en servicio.

10. Las bandas transversales y los reductores de velocidad tienen como función alertar a los conductores de que puede ser necesario realizar alguna acción preventiva al existir un riesgo superior al percibido por ellos, o de que se debe reducir la velocidad para evitar accidentes o molestias. Para cumplir su objetivo, deben ajustarse a unos criterios sobre su ubicación, materiales, geometría e implantación.

11. Los tratamientos de suelos con cal o con cal y cemento pretenden, principalmente, una mejora inmediata o una estabilización a largo plazo de los mismos, por lo que pueden ser muy adecuados para las carreteras locales, teniendo en cuenta también la flexibilidad de su puesta en servicio.

La inertización de suelos es un método adecuado para poner en valor suelos contaminados, evitando su traslado a vertederos especializados, o la destrucción o extracción del elemento contaminante.

12. Las técnicas de reciclado o de reutilización de residuos en firmes de carreteras pretenden aprovechar las capacidades de los materiales existentes o las de los residuos de otros campos con fines fundamentalmente ambientales, aunque también económicos, consiguiendo unos nuevos materiales que cumplan todas las especificaciones de calidad para una construcción sostenible.

13. La rehabilitación estructural o el refuerzo de firmes en vías de baja intensidad de tráfico mediante técnicas bituminosas en frío, baja temperatura u hormigón compactado permiten ahorros económicos, además de la utilización de materiales locales, la

mejora ambiental al utilizar menos energía, la sencillez de su puesta en servicio y la flexibilidad en la utilización de diferentes técnicas con experiencia contrastada o con un componente importante de innovación.

14. Todas las administraciones deberán adaptar sus proyectos y especificaciones a la nueva denominación de las mezclas y lechadas bituminosas y sus controles de calidad como consecuencia del Mercado CE. La conservación de carreteras, además de asegurar el mantenimiento patrimonial de la red y una calidad de servicio adecuada, incluyendo la funcionalidad y la seguridad, debe permitir la innovación mediante la realización de tramos experimentales o la consecución de los indicadores de control con actuaciones novedosas desarrolladas por las empresas.

15. La mejora de la seguridad vial es un compromiso ineludible de todas las administraciones de carreteras. La mortalidad en las carreteras locales mantiene el porcentaje de participación en la mortalidad total en los últimos años.

La Directiva Europea de Seguridad Vial pretende una visión unificada del tema en todas las carreteras transeuropeas de la UE, siendo una recomendación para el resto de redes. Los procedimientos incluyen evaluaciones de impacto, auditorías y gestión, clasificación e inspecciones de seguridad. Los factores que influyen en la accidentalidad dependen, al menos en un 30%, de la confluencia de las características de la vía y del comportamiento de los usuarios.

16. En la Diputación de Valencia se ha implementado un programa, a tres años, con una inversión de 15 millones de euros, para la mejora de la seguridad vial de los motociclistas, respondiendo a las demandas sociales de una comunidad con un gran porcentaje de motos.

En la Diputación de Barcelona han realizado un plan de señalización de orientación que supera la visión fragmentaria de la solución de los problemas de orientación; tiene en cuenta los puntos de vista de los usuarios, de los particulares y de los gestores, y estima el coste de las actuaciones necesarias.

17. Las 22 comunicaciones libres presentadas han abordado aspectos relativos a la gestión, los firmes, el medio ambiente y la seguridad vial con un elevado nivel técnico, y han aportado una visión profesionalizada de las redes locales desde su planificación integrada hasta la gestión de su mejora para adecuarlas a sus posibles nuevas funciones reales y su conservación. 

Conclusiones del IV Curso de Especialización en Carreteras: Trazado de Carreteras (TRONCO)

Santa Cruz de Tenerife, 30 de enero de 2009

.....
Pablo NOBELL RODRÍGUEZ	Director del Curso
Xavier MASSALLÉ PUIG	Ponente General
Miguel VALLÉS RUIZ	Ponente General
Miguel ÁNGEL FRANESQUI GARCÍA	Director Académico y Ponente General
Jacobo DÍAZ PINEDA	Director Técnico
José SUÁREZ MEGÍAS	Secretario

Representantes de los siete Cabildos Insulares de las Islas Canarias

Canarias ha vuelto a ser el escenario de una nueva edición del Curso de Especialización en Carreteras: Trazado de Carreteras (TRONCO), dirigido por Pablo Nobell Rodríguez. En su cuarta convocatoria, celebrada en Tenerife los pasados 29 y 30 de enero, el encuentro, organizado por la Asociación Española de la Carretera (AEC) y el Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, se ha desarrollado en tres sesiones. En ellas se abordaron temas relativos a la velocidad y visibilidad, planta y alzado, sección transversal y diseño funcional, recomendaciones de trazado, implantación en el tronco de los nudos y la aplicación informática existente para el trazado de carreteras.

Miguel A. Franesqui García, Ponente General, ha asumido la dirección académica y participado junto a los ponentes Xavier Massallé Puig y Miguel Vallés Ruiz-Tool. Del curso, cuya secretaría coordinó José Suárez Megías, se han extraído las siguientes conclusiones:

- El uso del territorio canario conlleva la necesidad de gran número de accesos a las carreteras, no disponiéndose en muchos casos de visibilidad sobrada. Se encuentra a faltar un modelo que nos permita definir la distancia de visibilidad necesaria en un cruce cuando sólo se permite el giro a la derecha, la cual podría ser

más reducida que cuando también es posible el giro a la izquierda o el cruce de la calzada completa.

- La decisión o no de poner carriles adicionales en rampa no dispone de unos criterios claros adaptados a carreteras secundarias de montaña. Los criterios de la 3.1-IC (velocidad del camión por debajo de 40 km/h) parecen pensados para carreteras del Estado.
- Análogamente, en lo que respecta al inicio de dichos carriles adicionales, su final y longitud mínima, los criterios de la 3.1-IC son inapropiados para carreteras de baja velocidad de proyecto.



Imagen del Curso celebrado en Canarias

- La aplicación de los carriles de cambio de velocidad de la 3.1-IC para carreteras autonómicas de una sola calzada crea confusión en el trenzado de vehículos. Se debería regular cuándo son necesarios y poder proyectarlos con longitudes más cortas.
- La separación entre entradas y salidas de enlaces de la 3.1-IC no está pensada para vías de calzadas separadas en entornos urbanos o metropolitanos.
- Debido a los múltiples parámetros y variables que intervienen en la definición de una trayectoria probable, el diseño de los ramales no se debería hacer por trayectoria sino que se habría de diseñar mediante curvas circulares, rectas o clotoideas y, si fuera necesario, comprobar posteriormente que el área barrida por los vehículos de grandes dimensiones se puede inscribir correctamente en el trazado diseñado.
- En general, la normativa de referencia en España para el trazado de carreteras (3.1-IC) está pensada para carreteras de largo recorrido y velocidades medias o altas; es decir, para carreteras del Estado.
- Sería bueno poder disponer de una normativa o recomendaciones pensadas directamente para carreteras autonómicas y secundarias, que tuviera en cuenta las



dificultades orográficas y las necesidades de servicio al territorio que estas carreteras deben tener

- A la vista de las conclusiones anteriores, se propone la creación de una comisión técnica entre representantes del gobierno canario, cabildos insulares, la Asociación Española de la Carretera y la Universidad de las Palmas a fin de estudiar y proponer soluciones a estos temas.

Según acuerdo por mayoría absoluta del IV Curso de Especialización de Carreteras: "Trazado de Carreteras: Tronco."

Pere Navarro, Director General de Tráfico, recibe la Medalla de Oro de la Carretera

“Soy un eventual en la DGT”

El Director General de Tráfico, Pere Navarro, recibió el pasado 10 de junio la Medalla de Oro concedida por la Asociación Española de la Carretera (AEC). Con ella se reconoce el meritorio trabajo de este catalán desde que se puso al frente de la DGT en el año 2004. Tras recibir el galardón de manos de Miguel M^a Muñoz, Presidente de la AEC, Navarro se definió en un breve discurso como “un eventual” en la DGT, e hizo un repaso de las acciones emprendidas en estos años, gracias a las cuales se ha conseguido reducir tanto el número de accidentes como el de víctimas en las carreteras españolas.

Así, recordó cómo, al poco de ser nombrado Director General, le llegó el encargo de poner en marcha un permiso de conducción por puntos. “No supimos que esa tarea era casi imposible hasta que nos pusimos manos a la obra. Era un encargo con trampa”, bromeó Navarro. Sin embargo, el resultado fue muy positivo. El primer año de funcionamiento de este nuevo permiso (julio 2006-junio 2007), el número de víctimas mortales en carretera se redujo en 467 personas, un 14,3% respecto a los 12 meses anteriores. Ahora, tres años después, cuando se plantea la reforma del carné por puntos “hemos comprobado que el núcleo duro de la norma no hay que tocarlo, y eso es bueno porque significa que funciona”, aseguró el Director General de Tráfico.

Otro de los encargos que Pere Navarro recibió al llegar a la DGT fue el de sacar a la luz toda la información y los datos sobre la siniestralidad en España. “Para ello creamos el Observatorio de Seguridad Vial y la información empezó a circular”. En cuanto a la concienciación ciudadana, asunto también prioritario, “cogimos a las asocia-



Pere Navarro en un momento de su discurso.



Karla González recibe la Medalla de manos del Presidente de la AEC.



En esta edición 2009, la Medalla con Mención Honorífica ha recaído en (de izda. a dcha.): Alberto Bardesi, Director de Asfaltos de REPSOL y Consejero de la Asociación Española de la Carretera; Enrique Belda, Subdirector General Adjunto de Circulación de la Dirección General de Tráfico; Gregorio Casas, Tesorero de la Asociación Española de la Carretera; Carlos Casaseca, Jefe de la Demarcación de Carreteras del Estado en Castilla y León Occidental; Juan Francisco Martín, Unidad de Carreteras del Estado en Málaga; Carlos del Campo, Jefe del Área de Infraestructura de la Subdirección General Adjunta de Circulación de la DGT; Carlos Kraemer, Profesor Emérito



Una de las medallas más entrañables para la AEC en esta edición 2009 ha sido la entregada a Santiago Jorge Juan, quien forma parte de la plantilla de la Asociación desde hace más de 25 años. Comenzó su andadura cuando esta institución tenía su sede en la Escuela de Ingenieros de Caminos, y desde entonces ha mostrado una dedicación y un esfuerzo encomiables.

ciones de víctimas de accidentes de tráfico y les dimos el protagonismo", explica, "y utilizamos los paneles de mensaje variable para difundir recomendaciones y consejos que llegaran a todos los usuarios de la carretera".

El Director General de Tráfico enumeró además otras acciones clave en el descenso de la accidentalidad: las campañas para el uso del cinturón de seguridad y contra el alcohol en la conducción, el Plan Estratégico de Seguridad Vial, así como la mejora de las infraestructuras llevada a cabo desde la Dirección General de Carreteras. Con todo ello, Navarro aseguró que ahora mismo España se encuentra por debajo de 80 fallecidos por millón de habitantes (datos de 2008, víctimas mortales a 30 días).

Miguel M^a Muñoz, en su discurso, insistió en la mejora experimentada en nuestra red viaria. "Podemos decir, manifestó Muñoz, que disponemos de carreteras 'inteligentes' que, poco a poco, están cambiando la manera de viajar de los ciudadanos. Podemos hablar también de vehículos más seguros, pero también de conductores más concienciados. En definitiva, estamos en disposición de afirmar que los esfuerzos de los profesionales dedicados a nuestras carreteras no son en vano".

Estos esfuerzos no siempre están lo suficientemente reconocidos, por ello, como representante de la AEC, "deseo



La AEC ha entregado este año dos Medallas a título póstumo. Una, a Carlos Fernández Santalla, en el Centro de Conservación y Explotación de Carreteras de Ponferrada (León), el cual perdió la vida en un accidente de tráfico cuando realizaba su trabajo a pie de obra. La segunda, al agente del Cuerpo de Mosos d'Esquadra Miquel Romera Ramos, falleció en mayo de 2008 cuando, estando fuera de servicio, intentó auxiliar a una conductora que había sufrido un accidente. Recogieron las medallas en nombre de los fallecidos el hermano y la madre respectivamente.

que estos galardones, sirvan a modo de humilde muestra de gratitud a todas las personas que no escatiman esfuerzos en hacer realidad el sueño colectivo de unas carreteras mejores", añadió el Presidente de la Asociación.

En el mismo acto, la Ministra de Obras Públicas y Transportes de Costa Rica, Karla González, recibió la Medalla al Mérito Internacional. En su intervención, aseguró que uno de los principales retos de su país en el actual panorama viario es valorar si hay que apostar por la inversión pública o por la concesión de las obras. "Empresas y Gobierno tienen que entender que no hay



del Departamento de Ingeniería e Infraestructuras de los Transportes de la ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Valencia; Jesús Merino, en ese momento Director General de Carreteras de la Junta de Andalucía y Consejero de la AEC; Luis Laorden, Gerente de Eyser, Estudios y Servicios, S.A. y Vicepresidente de la Asociación Española de la Carretera, y Luis Manuel Oleaga, Director General de Ciralsa. Además, aunque no pudo acudir a la entrega, recibió el galardón José Luis Urdiales, Ingeniero Jefe del Área de Proyectos y Obras de la Demarcación de Carreteras del Estado en Madrid.



Sobre estas líneas, algunos de los galardonados con la Medalla de Honor de la AEC: Francisco Fabián Escudero, Jefe de Negociado del Servicio Territorial de Fomento en Burgos; JATL, motorista de la Guardia Civil de Tráfico en el destacamento de Buitrago; Arturo Rodríguez, Facultativo de Minas en la Demarcación de Carreteras del Estado en Asturias; Domingo San Martín Isasa, Subinspector Jefe de Tráfico en la Policía Foral de Tudela, y Rafael Blancas Roldán, Jefe de Servicio de Conservación de la Dirección General de Carreteras de Murcia.

una única manera de hacer las cosas. Y si hay que cambiar las fórmulas empleadas hasta ahora para conseguir financiación, pues habrá que ponerse manos a la obra con ello y afrontarlo”.

Karla González afirmó también que cuando se ocupa un cargo político como el que ostenta ella “hay que tener valor para tomar decisiones”, y declaró rotunda que “no se puede echar para atrás ni siquiera para coger impulso”. Esta forma de entender su profesión y la pasión que, según reconoce, siente por la carretera, la han llevado a desarrollar una importante gestión al frente del Ministerio. La tramitación del permiso de conducción por puntos y los planes de construcción de nuevas vías, así como una clara apuesta por el progreso y la lucha contra los accidentes son algunos de sus logros más destacados.

La AEC entregó, además, 11 medallas con Mención Honorífica. En nombre de estos 11 galardonados habló Luis Laorden, Gerente de Eyser y Vicepresidente de la AEC, quien reconoció que esta distinción es “para los

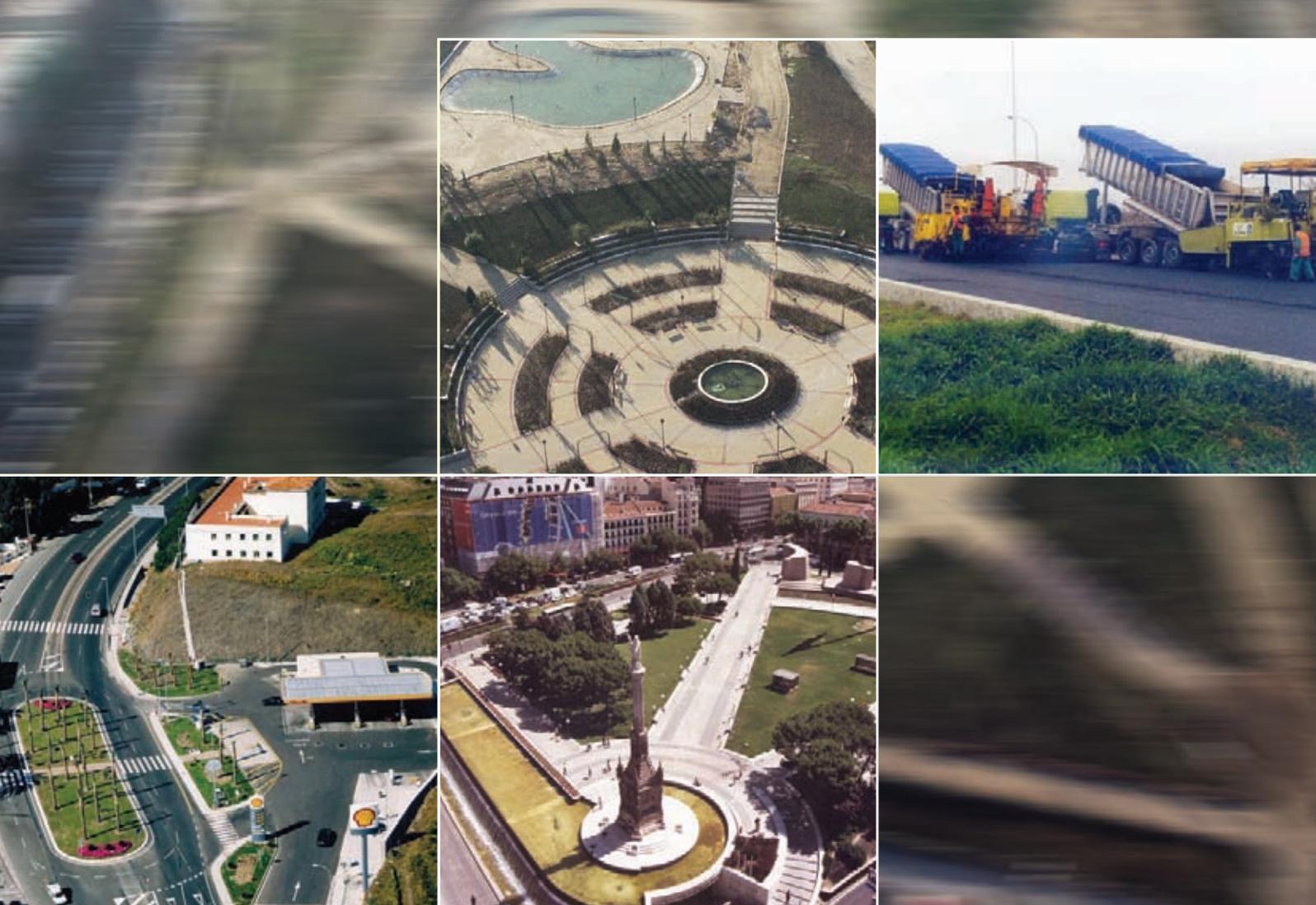


jóvenes, un buen estímulo, y para los mayores, una gran ayuda para hacer con alegría el camino que nos queda”.

Laorden explicó la importancia de las carreteras y el transporte “no sólo para participar en los procesos de producción, que son los que en definitiva proporcionan bienestar económico, sino también en todas las actividades de la vida: llevar a los niños al colegio, recibir la visita del médico, ir al hospital en un medio rural o disfrutar del tiempo libre”.

La Asociación ha concedido también este año 21 Medallas de Honor – dos de ellas a título póstumo – a otros tantos profesionales de organismos e instituciones que, de forma directa o indirecta, están vinculados a la carretera y que han destacado por su esfuerzo y dedicación. 

Mantenemos todo tipo de infraestructuras, respetando el medio ambiente



Desde enero de 2002, gestionamos y realizamos todas las actividades del **Grupo OHL**, en servicios urbanos, viarios y a las infraestructuras, con un objetivo fundamental, **SER LÍDERES** en la aportación de las soluciones más avanzadas para la conservación, mantenimiento, rehabilitación y remodelación de elementos urbanos e interurbanos.

Podemos asegurar la consecución de este objetivo, al disponer de los mejores y más capacitados equipos humanos, de la más moderna maquinaria y de los más avanzados medios técnicos, que convergen en una filosofía común: **“Máxima seguridad y calidad en la realización de los trabajos, y máximo respeto por el medio ambiente”**.



OASIS: la autopista del futuro

Cómo serán las autopistas del futuro? ¿Cómo garantizarán una gestión sostenible? ¿Podrán los coches circular a más velocidad que hoy en día? ¿Qué nuevos servicios prestarán al usuario? Quizás no muchos expertos se aventuren a pronunciarse al respecto. Sin embargo, los promotores del proyecto OASIS sí tienen muy claro una cosa: qué es lo que tienen que ofrecer esas carreteras a los usuarios en un futuro cercano. Y de ahí su nombre, Operación de autopistas seguras, inteligentes y sostenibles (OASIS), tres características que ayudan a definir las vías de alta capacidad por las que transitarán las generaciones venideras.

OASIS es un proyecto CENIT desarrollado por un consorcio de empresas e instituciones dedicadas a la explotación e investigación en carreteras. Su objetivo principal es diseñar unas autopistas que presenten niveles diferencialmente superiores de seguridad, servicio al usuario y sostenibilidad.

Abertis, Asfaltos Augusta, CPS Ingenieros, Dragados, Estructuras Ambientales, Geocisa, GMV, Hidrofersa, Indra, Iridium, Obrascón Huarte Lain, OHL Concesiones, SICE, Siegrist y Moreno, Torre de Comares, además de la propia Asociación Española de la Carretera (AEC), forman el consorcio encargado del desarrollo del proyecto.

En concreto, la AEC participa en dos paquetes de trabajo sobre seguridad e interacción de la autopista con su entorno natural. El primero engloba las tareas de I+D+i enfocadas hacia la mejora de las condiciones de seguridad en las autopistas. En cuanto a las interacciones de la carretera con el medio ambiente, se persiguen tres objetivos: analizar la potencialidad de la integración paisajística de estas vías de gran capacidad, llevar a cabo una nueva interpretación de las relaciones fauna/autopista y estudiar la dinámica de la vegetación en el entorno de la vía.

La duración del proyecto es de cuatro años y está previsto que finalice en 2011. Actualmente han comenzado a ejecutarse las primeras tareas de los distintos paquetes de trabajo. 



Aprobado el Plan Estratégico de la AEC 2009-2015

La Asamblea General de la Asociación Española de la Carretera (AEC), reunida en sesión ordinaria el pasado 10 de junio, así como su Consejo Directivo, reunido también en la misma fecha, han aprobado el Plan Estratégico de esta entidad para el período 2009-2015. Con ello, se da carta de naturaleza al principal compromiso adquirido por el Presidente de la institución, Miguel M^º Muñoz, tras su reelección en enero de 2008.

El Plan Estratégico es una hoja de ruta para la Asociación, no sólo en los campos de actividad tradicionales, sino también en otros nuevos que puedan surgir. Partiendo de una definición de carácter estratégico de la propia institución, concreta su visión, misión y valores, e intenta plasmar sus objetivos de futuro y los medios necesarios para alcanzar las metas trazadas.

El documento ahonda en las líneas maestras que sirven de base para establecer los planes de actuación de la AEC, concebida como un foro global del sector viario, impulsor de soluciones proactivas e innovadoras al servicio de la sociedad. Entre otros, plantea los siguientes

finés: "Contribuir al progreso de la carretera en España" y "Trabajar para conseguir un modelo carretero sostenible".

En el terreno institucional, el Plan plantea varios objetivos estratégicos de cara al período 2009-2015, entre los que cabe destacar la defensa y promoción de la carretera, contrarrestando las corrientes opuestas a ésta y favoreciendo un cambio de paradigma. En relación a los socios de la Asociación, el Plan propone consolidar y potenciar su liderazgo como punto de encuentro del sector. 



El pleno de la Asamblea reunido en junio aprobó el Plan Estratégico de la AEC 2009-2015.

La AEC preside el Grupo de Trabajo “Carreteras Sostenibles” de la IRF

El sector viario mundial se une para definir una estrategia sobre carreteras sostenibles

La Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro (1992) consolidó un concepto de desarrollo sostenible que tiene como esencia alcanzar un adecuado equilibrio entre los objetivos de progreso social, desarrollo económico y conservación y mejora del medio y de sus recursos naturales.

Aplicada al ámbito viario, esta definición implica que la sostenibilidad de las carreteras no se basa exclusivamente en construir y conservar con un mínimo impacto ambiental. En un mundo globalizado, donde el movimiento de personas y mercancías está experimentando un notable crecimiento, un transporte que quiera llamarse sostenible debe, además, garantizar seguridad y comodidad en los desplazamientos, ser económica y socialmente rentable y contribuir a elevar la riqueza de un país.

Para alcanzar esa sostenibilidad viaria no hay un único camino, sino que cada país, con sus circunstancias económicas, geográficas y sociales, tendrá que diseñar el sistema más adecuado a sus necesidades. Sin embargo, los técnicos coinciden en que existen unos principios generales y unas prácticas comunes que pueden considerarse aplicables a todos los estados.

La Federación Internacional de Carreteras (IRF) -previa consulta a las instituciones gubernamentales, los grupos políticos y los agentes sociales- se ha propuesto identificar cuáles son esas prácticas comunes para elaborar una serie de recomendaciones de alcance global en el ámbito viario.

Con esta premisa, el Grupo de Trabajo sobre “Carreteras Sostenibles” de la Federación Europea de Carreteras (la oficina de la IRF en Bruselas) trabaja en el documento Principios sobre Carreteras Sostenibles, que será el primero de una serie de informes que pretenden abordar la infraestructura viaria desde el punto de vista medioambiental, social y económico.

Este grupo de trabajo está presidido por la Asociación Española de la Carretera en la persona de su Subdirectora General Técnica, Elena de la Peña.

Algunas de las recomendaciones más importantes expuestas en el mencionado documento, que actual-



La Subdirectora General Técnica de la AEC preside el Grupo de Trabajo sobre carreteras sostenibles.

mente ultima la IRF, son optimizar el diseño de carreteras con el objetivo de reducir el consumo energético en la construcción y explotación, evitar la fragmentación de los hábitats, utilizar materiales reciclados y la generalización de la estabilización de suelos.

Otras actuaciones que aconseja poner en práctica el texto Principios sobre Carreteras Sostenibles van dirigidas a preservar las zonas de especial valor ambiental, de manera que, cuando se planifiquen y diseñen carreteras en zonas sensibles, se tengan en cuenta criterios específicos. En España, la Junta de Andalucía desarrolló, con la colaboración de la Asociación Española de la Carretera, el

“Libro Blanco de las carreteras y los espacios naturales protegidos de Andalucía”, un documento en el que precisamente se detallan las claves para la protección de esas áreas naturales de especial valor ambiental.

Por otro lado, la Federación Internacional de Carreteras pretende también potenciar el uso del Calculador de gases de efecto invernadero, una herramienta presentada el pasado año por la IRF que permitiría armonizar un procedimiento para contabilizar la emisión de CO₂ y de otros gases en los proyectos de construcción y mantenimiento de carreteras. Supone, pues, contar con un sistema fiable, accesible y seguro para la industria viaria en general y, especialmente, para las empresas de construcción y equipamiento, así como para las agencias medioambientales de los distintos gobiernos.

La apuesta de la IRF es, en definitiva, reducir el impacto del transporte viario en el medio ambiente y poner de relieve sus valores como servicio al ciudadano y fuente de riqueza. De hecho, no es la carretera el modo más contaminante si se tiene en cuenta su elevada participación en el reparto de viajeros y mercancías y si se comparan los gramos de CO₂ emitidos por viajero y kilómetro recorrido en cada uno de los modos. 



Primer número de *Carreteras* en inglés

Antes de que finalice este año 2009, la Asociación Española de la Carretera (AEC) tiene previsto acometer la publicación de un número especial de la revista *Carreteras* en versión inglesa.

El propósito de esta iniciativa es favorecer la difusión de la tecnología viaria española en todo el mundo, además de facilitar el camino para que *Carreteras*, revista técnica de la Asociación Española de la Carretera que atesora más de medio siglo de existencia, se convierta en la primera publicación sobre Ingeniería Viaria citada en los más prestigiosos índices científicos y técnicos.



El número especial que en estos momentos se prepara recogerá en sus páginas una selección de los mejores trabajos técnicos publicados a lo largo del año 2008 en la versión española. 

Premios de 1.000 euros para conductores responsables que beban “SIN”

La novena edición de “La carretera te pide SIN”, una iniciativa que pretende concienciar sobre la incompatibilidad de alcohol y conducción proponiendo la variedad de cerveza sin alcohol, ha comenzado con varias novedades.

La primera, la puesta en marcha del portal www.lacarreteratepidesin.org, a través del cual los usuarios pueden acceder a la información de esta campaña, descargarse informes o participar en el test de responsabilidad destinado a estudiantes de autoescuela. Todos los alumnos que tengan el examen teórico aprobado y contesten correctamente las 100 preguntas de este test podrán aspirar a uno de los 25 premios de 1.000 euros que se sortean en la web para costear los gastos derivados de la obtención del permiso de conducir. El premio será concedido a aquellos participantes que hayan aprobado todo antes del 15 de septiembre.

“El cambio ha sido inmenso, pero aún hay que recordar que la carretera nos pide SIN”, manifestó Pere Navarro, Director General de Tráfico, en la presentación de la campaña. Las cifras son alentadoras. En 2008 la DGT realizó cinco millones de controles preventivos de alcoholemia frente a los 2,5 millones practicados en 2003. A pesar de haber doblado estos controles, el porcentaje de positivos se ha reducido más de la mitad: de un 4,2% a un 1,9%.

La iniciativa cuenta de nuevo con el apoyo de 5.000 estaciones de servicio y 6.000 autoescuelas, que distribuirán material promocional hasta finales de agosto.



Los alumnos de las autoescuelas podrán realizar el test de responsabilidad y ganar 1.000 euros.

Por otro lado, se ha puesto en marcha una campaña de publicidad en 1.400 vallas, 2.600 salas de cine y en prensa. Además, por primera vez, se distribuirán más de 200.000 folletos informativos en restaurantes, bares y cafeterías.

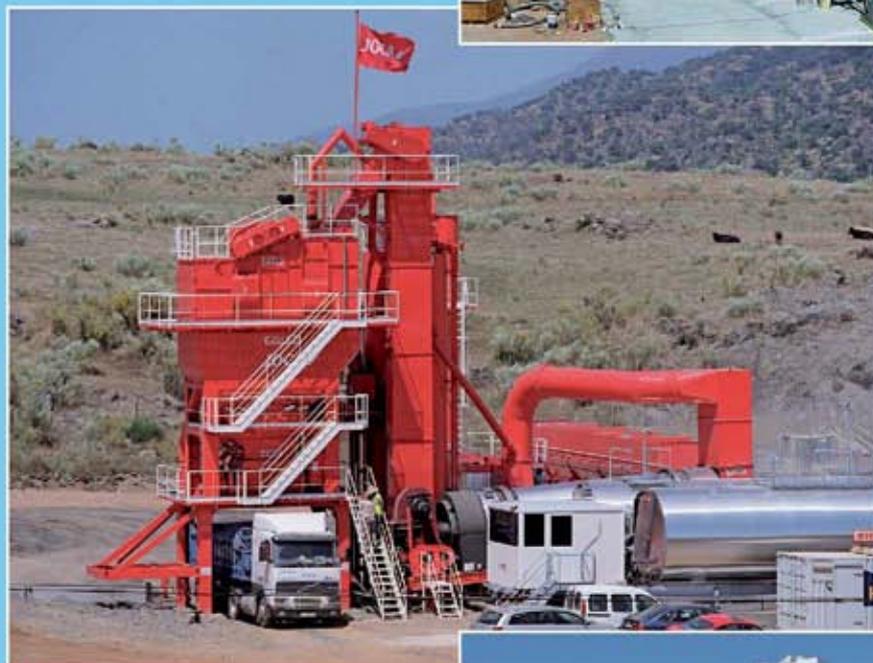
Promovida por Cerveceros de España, “La Carretera te pide SIN” se desarrolla en colaboración con la DGT y el apoyo, además de la Asociación Española de la Carretera (AEC), de la Confederación Nacional de Autoescuelas (CNAE), la Asociación Española de Operadores de Productos Petrolíferos (AOP), el Real Automóvil Club de España (RACE), RACC Automóvil Club, Ayuda del Automovilista (ADA), la Fundación Instituto Tecnológico para la Seguridad en el Automóvil (FITSA), el Comisariado Europeo del Automóvil (CEA) Stop Accidentes, Rotary International, la Fundación Española para la Seguridad Vial (FESVIAL) y la Federación Española de Hostelería (FEHR). Además, forma parte del Convenio Europeo de Carreteras Seguras de la Unión Europea (European Road Safety Charter), que busca reducir a la mitad las víctimas de accidentes de tráfico antes de 2010. 

INTRAME

PLANTAS ASFÁLTICAS ▶ DEL TIPO ESTACIONARIO

Producciones de 80 a 400 t/h.

Equipos de reciclado en frío y en caliente como accesorios.



◀ PLANTAS ASFÁLTICAS ULTRA-MÓVILES

Producciones de 80 a 400 t/h.

Equipos móviles de reciclado en frío y en caliente como accesorios.

PLANTAS ASFÁLTICAS ▶ MODULARES

Producciones de 80 a 400 t/h.

Transporte y montaje rápidos.
Todas las unidades montadas sobre repartidores de carga.

INTRAME

Industrial de Transformados Metálicos S.A.

Oficina Comercial:

Núñez de Balboa, 85-28006 Madrid
Tel.: 91 577 60 08 - Fax: 91 576 09 37
e-mail: comercial@intrame.com



Pérez Rubalcaba en el 50º aniversario de la DGT:

“Tenemos 250.000 razones para seguir trabajando”

En julio de 1959, cuando por las carreteras españolas circulaban 240.000 vehículos a motor y un elevado número de carruajes, carros y carretas, nace la Jefatura Central de Tráfico, convertida años más tarde en Dirección General de Tráfico (DGT).

El nuevo organismo, dependiente del entonces Ministerio de la Gobernación -hoy Ministerio del Interior-, se creó con la idea de ser el único órgano competente en la dirección, ordenación y coordinación en materia de circulación y transporte por carretera, vigilancia del tráfico y facultad sancionadora.

Se constituyó, a la vez, la Agrupación de Tráfico de la Guardia Civil, que inició su actividad con un equipo de 560 guardias y que a día de hoy cuenta con una plantilla de 10.600 agentes.

Ambos organismos cumplen, pues, sus 50 años de existencia, una fecha clave que el sector viario al completo celebró el pasado mes de julio, con el Ministerio del Interior y la propia DGT a la cabeza, en un acto conmemorativo y emotivo.

El Ministro del Interior, Alfredo Pérez Rubalcaba, que presidió la celebración, agradeció a la Dirección General de Tráfico, a la Agrupación de Tráfico de la Guardia Civil y a toda la sociedad española el esfuerzo para que los accidentes de circulación se hayan reducido de forma muy significativa. Desde 1959, el riesgo de morir en accidente de carretera es 20 veces menor que entonces. Las

muerteras a bordo de un vehículo o por atropello han caído drásticamente en España, si se compara con el escaso número de coches que circulaban entonces.

No obstante, Rubalcaba señaló que las 250.000 vidas perdidas en estos 50 años

son “250.0000 razones para seguir trabajando”. Junto a Pérez Rubalcaba, se sentaron en la mesa presidencial el Director General de Tráfico, Pere Navarro, y el Director General de la Guardia Civil y la Policía, Francisco Javier Velázquez.

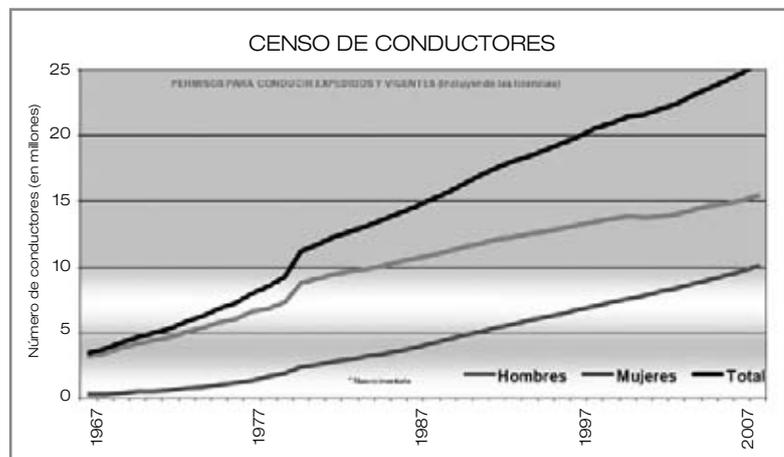
Durante el acto fueron distinguidos con la Medalla de Oro al Mérito en la Seguridad Vial con Distintivo Azul dos importantes centros sanitarios que tratan a las personas gravemente heridas tras un siniestro de circulación: el Instituto Guttmann y el Hospital de Paraplégicos de Toledo. Además, se recordó especialmente a los 311 guardias civiles fallecidos mientras realizaban su trabajo en la carretera, el último, el pasado 15 de junio en Baleares. 



José Luis Torroba Llorente, primer Director General de Tráfico.



La DGT y la Agrupación de Tráfico de la Guardia Civil nacen a la vez. Su objetivo, vigilar y controlar la circulación y sancionar las infracciones.



El Comisario de Transportes visita Madrid ante la presidencia española de la UE

Tajani: “España es el país que más financiación recibirá del Plan de Estímulo”

España es el país al que se han asignado más fondos europeos del Plan de Estímulo de la Unión Europea (UE), con casi 90 millones de euros de los 500 destinados al conjunto de países miembro. Es una muy buena noticia que favorecerá el trabajo en esta época de crisis”, anunció el Vicepresidente de la Comisión Europea y Comisario de Transportes, Antonio Tajani, el pasado 10 de julio en una conferencia ofrecida en la Sede de la Representación de la Comisión Europea en España, en Madrid.

El Vicepresidente, que en su visita a España mantuvo una reunión de trabajo con el Ministro de Fomento, José Blanco, y otro encuentro con el líder de la oposición, Mariano Rajoy, está conociendo de primera mano las iniciativas políticas de cara a la Presidencia española de la UE durante el primer semestre de 2010.

Tajani detalló en su discurso los cuatro proyectos que se beneficiarán de esta financiación. Dos de ellos corresponden a construcción de carreteras –con un monto de casi 35 millones- y los otros dos al ferrocarril. España, al igual que el resto de países, “recibirá este apoyo económico antes de finales de año”, aseguró.

Uno de los proyectos de infraestructura viaria corresponde a la autovía la A-49, en la sección que va desde Huelva a Dos Hermanas. El coste total estimado es de casi 240 millones de euros, de los cuales casi 24 (un 10%) serán financiados por la Comisión Europea. Esta ayuda se destinará a la obra principal de la actuación, un túnel que se construirá entre 2009 y 2010.

El otro corresponde a la construcción de dos secciones de la A-32 Linares-Albacete, cuyo presupuesto total asciende a 110 millones. La Comisión asumirá también el 10%, aportando 11 millones. En concreto se actuará en dos tramos entre Torreperojil y Villanueva del Arzobispo, a lo largo de 30,8 km.

Las otras dos obras corresponden a la construcción de tres secciones de la línea férrea Madrid-Galicia para el tráfico mixto -en concreto el tramo que va desde Iniesta a Cenadilla-, y a la Línea de Alta Velocidad Valladolid-Burgos-Vitoria. En este caso, las aportaciones serán de 35,2 y 15,4 millones de euros respectivamente. En ambos proyectos, los fondos europeos cubrirán un 20% del coste total.



Antonio Tajani, Comisario europeo de Transportes.

Tajani habló también de otros temas preferentes para la Comisión Europea en materia de transportes y que el Comisario pretende impulsar a lo largo del semestre español en la presidencia europea. Entre ellos, destacó la seguridad, los Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS), los sistemas de navegación para el transporte EGNOS y GALILEO, además de la posibilidad de un tercer satélite en España que complemente a los de Italia y Alemania.

Otra de las prioridades expuestas por el Comisario de Transporte es la seguridad aérea, en relación a la cual anunció la intención de “elaborar una lista negra mundial, ya que ahora sólo existe la europea”, y que considera “una idea positiva que obliga a todas las compañías aéreas a mejorar sus niveles de seguridad”.

Asimismo destacó la importancia de desarrollar una nueva orientación de las redes transeuropeas de transporte, así como de “lograr que esta red sea sostenible”, un proyecto que desean “materializar en un Libro Verde sobre el futuro del transporte, después de someterlo a consulta pública entre los estados”, adelantó.

La conexión Europa-África y el papel clave que en ello juegan las autopistas del mar es otro asunto clave en la agenda europea y por ello Tajani cree que “es muy importante revalorizarlas”. 

Los puntos del carné, más seguros con la nueva Ley de Tráfico

El Pleno del Congreso aprobó el pasado mes de julio la reforma de la ley de tráfico que, entre otras modificaciones, simplifica y agiliza el sistema de notificación de las sanciones, revisa a la baja la pérdida de puntos y aumenta el porcentaje de descuento de las multas por pronto pago.



En concreto, contempla una única notificación, en lugar de las tres actuales, y premia el pago voluntario de los infractores con una reducción del 50%, en lugar del actual 30%. Eso sí, con estas multas exprés, el periodo para conseguir este descuento disminuye de 30 a 15 días.

La ley se relaja en lo que a la pérdida de puntos se refiere. Así, a partir de noviembre, no se quitarán puntos por circular a 111 kilómetros por hora en vías con un límite máximo de 80; tampoco por aparcar en curva, en túneles, cambios de rasante o en carril bus. En autopistas y autovías no se restarán puntos hasta los 151 kilómetros

por hora, y habrá un sistema de velocidad variable en las entradas a las grandes ciudades.

La norma -que fue aprobada por 193 votos a favor, dos en contra y 137 abstenciones- establece que el conductor con dos sanciones firmes graves

no podrá renovar el permiso de circulación ni vender el vehículo, y los agentes podrán inmovilizar el coche si no se dispone del seguro obligatorio, se circula con inhibidores de radar o no se han pagado dos multas. Tampoco se podrá pasar la ITV si no está pagado este seguro, aunque no será necesario llevar la documentación en el coche, sino que bastará con tener los papeles en regla.

Otra de las novedades más significativas de esta Ley es que el 100% de lo que se recaude en concepto de multas se destinará a seguridad vial. Se invertirá en carreteras y en medidas de educación del conductor. 

La OMS publica un informe sobre la situación actual de la seguridad vial

El tráfico se cobra más de 50 millones de víctimas al año en todo el mundo

El Informe sobre la situación mundial de la seguridad vial publicado recientemente por la Organización Mundial de la Salud (OMS) refuerza la visión que este organismo tiene de los traumatismos por accidentes de tráfico como un problema mundial de salud y desarrollo.

Según sus últimas cifras, todos los años fallecen más de 1,2 millones de personas como consecuencia de accidentes de carretera, y nada menos que otros 50 millones sufren heridas de distinta consideración. Más del 90% de estas defunciones se produce en los países en vías de desarrollo.

El informe detalla en un cuadro comparativo las principales causas de mortalidad en 2004 y las previstas en 2030, año en que los traumatismos por accidentes de tráfico ascienden del noveno al quinto puesto. En 2004 ésta era la primera causa de fallecimiento en el grupo de edad comprendido entre los 15 y 29 años, y la segunda en el grupo de menores de entre 5 y 14. Por

su parte, los peatones, los ciclistas y los conductores de vehículos de motor de dos ruedas y sus pasajeros representan casi la mitad de las víctimas mortales por causa del tránsito en el mundo.

El estudio también revela que apenas el 29% de los países tiene límites de velocidad urbanos de 50 km/h o menos y permite que las autoridades locales los reduzcan aún más.

Más allá del enorme padecimiento que provocan, estos accidentes pueden llevar a la pobreza a una familia, ya que los supervivientes y sus familiares deben hacer frente a las consecuencias a largo plazo de la tragedia.

Este informe supone la primera evaluación de la situación de la seguridad vial en el mundo. 



An aerial photograph of a multi-lane highway cutting through a dense, lush green forest. A large blue REPSOL tanker truck is driving on the right side of the road. The truck's tank is decorated with the REPSOL logo, which consists of a stylized sun with orange and red segments. The truck is a Volvo model, as indicated by the logo on the side of the chassis. The road has white lane markings and a metal guardrail on the left side. The overall scene is bright and clear, suggesting a sunny day.

REPSOL

Un camino sólido hacia el bienestar de todos.

Las infraestructuras viales y su constante mejora constituyen el motor del progreso que nos permite a todos aumentar nuestra calidad de vida, aportándonos seguridad, ahorro de tiempo y comodidad. Por eso trabajamos para facilitar la vida de las personas que recorren con nosotros el camino hacia el futuro y el bienestar.

REPSOL YPF Lubricantes y Especialidades, S.A.
Glorieta Mar Caribe, 1. 28043 Madrid.

Más información en repsolypf.com

El polvo de neumático llena la carretera

Productos Asfálticos S.A. (PROAS), compañía del Grupo CEPSA, y la empresa Gestión Medioambiental de Neumáticos (GMN) han alcanzado un acuerdo comercial por el cual ésta última compañía suministrará a PROAS polvo procedente de neumáticos fuera de uso (NFU) para la fabricación de una nueva gama de betunes modificados y mejorados con caucho que servirá para pavimentar las carreteras.

Desde julio de 2006, GMN forma parte de la Red Operacional del Sistema Integrado de Gestión de Neumáticos Usados, SIGNUS. Como tal, realiza actividades de recogida de neumáticos en desuso para transformar el residuo en materias primas secundarias, entre las cuales destaca el polvo procedente de neumáticos fuera de uso.

PROAS, por su parte, ha desarrollado una avanzada y novedosa tecnología de producción industrial de betún mejorado y modificado con caucho estable al almacenamiento, con un comportamiento óptimo en la pavimentación de carreteras y con el cumplimiento de la más estricta normativa de calidad establecida.

Con este acuerdo y la comercialización de esta nueva gama de productos, PROAS y GMN dan un paso importante en la mejora de la pavimentación de la red viaria y colaboran en el desarrollo sostenible y en la optimización del proceso de gestión medioambiental del reciclado de los neumáticos cerrando su ciclo de vida y devolviendo a la estructura de la carretera un producto diseñado y utilizado para vivir en ella. 



Tramo ejecutado con mezcla F-10 fabricado con Flexodur BMC-3b en la AC - 242 entre Padrón y Pontevea.

Homenaje a Heriberto Linares en Canarias

El túnel de Balito, situado en Mogán (Gran Canaria), abandonó su antigua denominación el pasado 20 de julio para tomar el nombre del ingeniero Heriberto Linares Coronado, ex Jefe de Planeamiento y Construcciones de la Consejería de Obras Públicas y Construcciones del Gobierno de Canarias y asiduo colaborador de la Asociación Española de la Carretera.

Con este homenaje se reconoce la labor de un técnico que ha trabajado desde 1969 por la mejora de las carreteras insulares desde distintos cargos de responsabilidad en la administración autonómica y local.

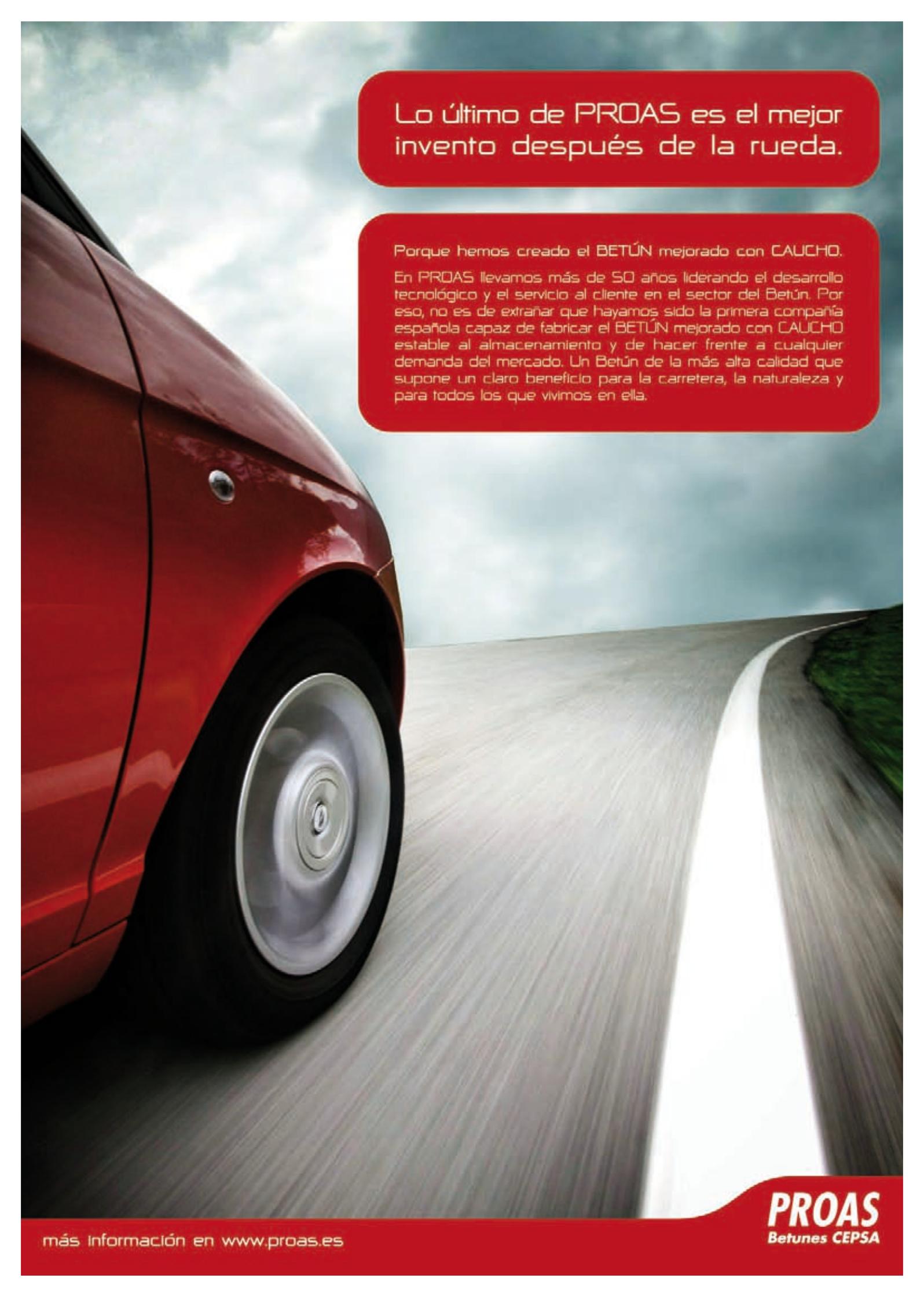
Junto al túnel se celebró un emotivo acto en el que Heriberto Linares estuvo acompañado por muchos de sus compañeros de los departamentos de Obras Públicas y Carreteras del Gobierno de Canarias y del Cabildo de Gran Canaria. Tras descubrir el cartel que señala el túnel con su nombre en el kilómetro 59,462 de la GC-1, Linares destacó que no considera este reconocimiento como una distinción individual. "Creo que éste es un tributo al esfuerzo de todos los técnicos que han trabajado por las carreteras de Gran Canaria", fueron sus palabras. Heriberto Linares también agradeció que este homenaje haya sido alentado por sus compañeros y avalado por las diversas autoridades canarias que acudieron al acto. 

La renovación de las autovías más antiguas se desbloquea

Al cierre de esta revista, el Ministerio de Fomento ultimaba una solución para desbloquear la ejecución del plan de renovación de las autovías de primera generación, plan que persigue mejorar estas infraestructuras para equipararlas en seguridad y calidad a las de reciente construcción.

De esta forma, se pondrá en marcha un proyecto que supone actuar sobre 1.137 kilómetros de las autovías más antiguas (construidas entre las décadas de los ochenta y noventa), movilizar una inversión de 5.550 millones de euros y generar unos 14.000 puestos de trabajo.

Los diez contratos de la primera fase del denominado Plan Renove de Autovías están adjudicados desde 2007, pero no se han podido ejecutar por varias razones. Entre ellas, las dificultades que, ante la crisis, tienen las empresas adjudicatarias para cerrar la financiación de las obras. La solución a este problema, diseñada por Fomento en colaboración con el sector y que actualmente se ultima, pasa por conceder créditos participativos a las empresas que se hicieron con los contratos, entre las que destacan los seis grandes grupos cotizados. 



Lo último de PROAS es el mejor
invento después de la rueda.

Porque hemos creado el BETÚN mejorado con CAUCHO.

En PROAS llevamos más de 50 años liderando el desarrollo tecnológico y el servicio al cliente en el sector del Betún. Por eso, no es de extrañar que hayamos sido la primera compañía española capaz de fabricar el BETÚN mejorado con CAUCHO estable al almacenamiento y de hacer frente a cualquier demanda del mercado. Un Betún de la más alta calidad que supone un claro beneficio para la carretera, la naturaleza y para todos los que vivimos en ella.

Durante el acto de inauguración del Vyodeal Núñez Feijóo llama a la coordinación como clave de la gestión viaria

Planificación, coordinación y optimización de recursos parecen ser los ingredientes de la fórmula magistral que permitiría definir un nuevo modelo de gestión para las carreteras gallegas frente a los actuales retos que plantea su financiación, especialmente en el caso de la red secundaria. Así lo manifestó el Presidente de la Xunta de Galicia, Alberto Núñez Feijóo, durante la ceremonia inaugural de la vigésima edición del Symposium Nacional de Vías y Obras de la Administración Local (Vyodeal), un congreso organizado por la Asociación Española de la Carretera (AEC) con el patrocinio de la Xunta y la Diputación de Pontevedra.

Núñez Feijóo se refirió en su intervención a la descoordinación territorial y funcional como el principal problema de las carreteras locales gallegas y puso sobre la mesa la necesidad de una planificación coherente en la que participen todas las administraciones públicas con competencias en materia viaria, "porque el usuario ni se fija ni se pregunta ni está interesado en saber a qué organismo corresponde la gestión de un vial; el usuario busca exclusivamente circular en condiciones de seguridad y eficacia".

La presencia del recién nombrado Presidente de la Xunta fue sin duda uno de los muchos alicientes de este congreso, que congregó a más de 250 personas en Pontevedra entre los días 15 y 19 del pasado mes de junio.

Una coyuntura financiera desfavorable

El Vyodeal es uno de los pocos congresos centrados en las carreteras



El Presidente de la Xunta inauguró el Vyodeal junto a su homólogo de la Diputación y al Consejero de Infraestructuras.

gestionadas por las diputaciones provinciales y los ayuntamientos. En la actualidad, el problema de estas redes es, sin duda, la crisis económica, que condiciona en gran medida la marcha de los planes de inversión de las Administraciones Públicas. Núñez Feijóo, sin embargo, ha insistido en que, pese a la situación económica, "no nos podemos permitir carencias en la red de infraestructuras".

Galicia cuenta con más de 30.000 núcleos de población (la mitad del total de toda España) y unos 17.000 kilómetros de carreteras. "Vivimos a lo largo de nuestras carreteras", señalaba el Presidente de la Xunta, ya que un tercio de la red convencional es travesía de población. Esta circunstancia genera inseguridad, y por ello la Xunta tiene previsto corregirla definiendo una red de viales supra-municipal que permita conectar los distintos modos de transporte de la Comunidad. Todo ello bajo el paraguas del Plan de Infraestructuras y Movilidad 2009-2015.

El Presidente de la Diputación de Pontevedra, por su parte, aseguró durante la inauguración que es necesario realizar "un análisis riguroso de la conveniencia de definir nuevas fórmulas de colaboración público-privada para acometer actuaciones en infraestructuras viarias, lo que permitiría, además, dinamizar la economía e incrementar la competitividad". Louzan abogó por una gestión conjunta de las carreteras, y señala, como objetivo prioritario, la "necesaria coordinación con otras administraciones".

Por su parte, Pedro Escudero, vicepresidente de la Asociación Española de la Carretera, citó a Juan Benet - "Las carreteras son caminos de justicia, libertad e igualdad de oportunidades para todos los ciudadanos"- para mostrar la importancia de las vías secundarias, objeto desde hace décadas de la atención prioritaria de esta Asociación.

El Vyodeal se clausuró el 18 de junio con la lectura de las conclusio-

CONGRESOS

nes por parte del Ponente General, Justo Borrajo, aunque el viernes 19 aún quedó tiempo para realizar una visita técnica a la Ciudad de la Cultura, un espacio diseñado por el arquitecto Peter Eisenman en Santiago de Compostela, concretamente en el monte Gaiás. Actualmente en fase de construcción, el proyecto está concebido como un espacio arquitectónico y cultural unitario. Los edificios que se están construyendo son la Biblioteca y el Archivo Nacional de Galicia, el Centro de Ciencias de Conservación del Patrimonio, el Museo de Historia de Galicia, el Centro de Arte Internacional y el Centro Obradoiro, un espacio destinado a las artes escénicas, visuales y musicales gallegas.

El reto de las travesías

Una geografía accidentada en casi el 80 por ciento del territorio, un gran número de núcleos urbanos muy dispersos y un crecimiento urbanístico que ha seguido los márgenes de las carreteras son algunas de las peculiaridades que presenta la ordenación territorial gallega.



El Consejero de Infraestructuras, Agustín Hernández, participó en un coloquio en el marco del congreso.

Estas peculiaridades territoriales tienen como consecuencia que un porcentaje muy importante de la red viaria atravesase núcleos de población. Así, el 30 por ciento de la red autonómica son travesías y el mismo porcentaje aparece en la red de la Diputación Provincial de Pontevedra (527 kilómetros de travesías de los 1.700 de red total).

Esta sucesión de travesías genera una situación muy grave para la seguridad vial, y por ello, en Galicia, "los ratios de accidentalidad se disparan respecto al resto del país".

Así lo aseguraba el Consejero de Medio Ambiente, Territorio e Infraestructuras, Agustín Hernández, durante una cena-coloquio organizada en el marco del XX Vyodeal a la que asistieron representantes de las empresas del sector viario, así como de las distintas administraciones de carreteras.

El nuevo Gobierno autonómico gallego considera, según Hernández, que la mejora de la seguridad vial en estas carreteras pasa por una ordenación territorial más coherente. "Hemos continuado con el proyecto ya iniciado de Directrices de Ordenación del Territorio". En ellas, se incorporan "medidas de seguridad vial en todas las actuaciones que se realicen en carretera", explicó Hernández, así como otras para reducir el impacto ambiental de las infraestructuras viarias.

Además, se estudia eliminar las travesías mediante la ejecución de variantes en poblaciones de más de 4.000 habitantes. Hernández también habló del proyecto de limitar las áreas de expansión de suelo de núcleo rural, fomentar soluciones de diseño que promuevan el transporte colectivo y la implantación de nuevos modos que sirvan de alternativa al vehículo privado. 



De los 1.700 kilómetros de carreteras de la Diputación de Pontevedra, el 30% son travesías.

CONGRESOS

Barcelona estudia a fondo los nudos de carretera...

La Asociación Española de la Carretera (AEC) ha recibido las primeras inscripciones para el Curso sobre Nudos de Carreteras, que se celebrará del 7 al 9 de octubre en Barcelona gracias al acuerdo firmado con la Fundación Politécnica de Cataluña. Dirigido a universitarios interesados en ampliar sus conocimientos sobre infraestructuras viarias, el curso será impartido en el Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Cataluña y los asistentes podrán obtener un Diploma de Postgrado.



El encargado de abrir las sesiones de trabajo es Pau Nobell, Director del foro y Profesor Titular de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona. Los accidentes de tráfico en estos enlaces, la iluminación de

los mismos o las diferentes intersecciones que existen y la tipología de nudos viarios serán los temas que tratarán con detenimiento los expertos que participan en la jornada del miércoles 7 de octubre.

Para la sesión de la mañana del jueves, 8 de octubre, el encargado de iniciar la jornada es Xavier Massallé Puig, Profesor de la Escuela de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona. Los distintos elementos que conforman el trazado de los enlaces, su morfología

y diseño serán algunos de los motivos centrales de su intervención. Ya por la tarde, los técnicos analizarán algunos casos prácticos de nudos viarios en Cataluña y darán a conocer varios programas informáticos de diseño de infraestructuras viarias.

La última jornada dará comienzo con la ponencia de Ángel Aparicio, Catedrático de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Ciudad Condal, sobre los condicionantes de las estructuras en los enlaces. El cierre de este encuentro correrá a cargo de José

Antonio Hinojosa, Subdirector General Adjunto de Proyectos de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento, quien abordará diferentes estudios sobre la nueva normativa de nudos, actualmente en fase de redacción. □

...y también el ciclo de vida de los firmes

La Ciudad Condal acogerá del 2 al 4 de noviembre otro de los cursos organizados por la Asociación Española de la Carretera (AEC) en colaboración con la Fundación Universidad Politécnica de Cataluña. Enfocado a técnicos de la administración, concesionarias, ayuntamientos y consultoras, así como a universitarios, este encuentro se centra en el Proyecto, la Conservación y la Gestión de Firmes, y permitirá a los asistentes

con titulación superior obtener un diploma de posgrado.

Dividido en clases teóricas y prácticas, el curso cuenta con destacados profesores del Departamento de Infraestructuras del Transporte y Territorio de la Universidad Politécnica de Cataluña. Se trata de Félix Edmundo Pérez, Rodrigo Miró y Adriana Martínez. Junto a ellos estarán presentes técnicos especialistas en la gestión de la conservación de firmes.

El objetivo de este curso es estudiar el proyecto y la conservación de firmes para carreteras, presentando en primer lugar los métodos de dimensionamiento disponibles para después abordar las causas de su deterioro.

Otra parte muy importante del curso estudiará los equipos y sistemas usados en la auscultación de firmes. Por último, también se abordarán diversos sistemas de gestión. □

Emulsionantes:
ASFIER
Activantes de adhesividad:
ASCOTE
Aditivos:
PLASFALT

AL SERVICIO DE LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS

Kao Corporation, S.A.
Puig dels Tudons, 10
E-08210 Barberá del Vallés (Barcelona) Spain
Tel: +34/937399-300
Fax: +34/937399-377
e-mail: marketing@kao.es



CONGRESOS

El espíritu de Santo Domingo llega a la conservación de firmes

Con motivo del noveno centenario de la muerte de Santo Domingo, figura inspiradora de la Ingeniería de Caminos por su gran labor de construcción de calzadas en torno al Camino de Santiago, la Asociación Española de la Carretera (AEC) ha programado en colaboración con la Asociación de Empresas de Conservación y Explotación de Infraestructuras (ACEX) una jornada técnica que tendrá lugar el próximo 30 de septiembre en el municipio riojano de Santo Domingo de la Calzada.

El nombre y tema central de este encuentro, patrocinado por el Gobierno de La Rioja y que se celebrará en el Parador Fray Bernardo

de Fresneda, es La conservación y rehabilitación superficial de los firmes de las carreteras. Con este planteamiento de partida, se tratarán temas como la gestión de conservación de firmes, las causas del deterioro de los pavimentos y las ventajas de las lechadas

bituminosas como capa de rodadura, entre otros.

Además, como en otros encuentros organizados por la AEC, se ha instalado en la sede del congreso el Museo de la Carretera, un espacio en el que se propone al visitante un recorrido por la historia de nuestra red viaria, por las técnicas de construcción y gestión de carreteras más habituales en España durante el siglo pasado.

La víspera del inicio de la jornada tendrá lugar una reunión de los responsables de conservación viaria de las Comunidades Autónomas en la que se expondrán puntos de interés común con el fin de coordinar políticas y estrategias. 



Vista de una calle de Santo Domingo de la Calzada.

Un año más, la AEC responde a la cita de Trafic

Como ya es habitual, la Asociación Española de la Carretera (AEC) estará presente en TRAFIC 2009, el Salón Internacional de la Seguridad Vial y el Equipamiento para Carreteras organizado cada dos años por la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento y la Dirección General de Tráfico del Ministerio del Interior.

Como en anteriores ediciones, el recinto ferial IFEMA acogerá este encuentro del 27 al 30 de octubre de 2009. Allí, las principales empresas, administraciones y organismos públicos y privados con intereses en el sector de la seguridad y el equipamiento viario tendrán la oportunidad

de exponer sus más innovadoras realizaciones. Será el caso de los especialistas en alumbrado, balizamiento, elementos de contención de vehículos, señalización horizontal y vertical, sistemas de cobro y tecnologías ITS, entre otros campos de actividad.

Como viene sucediendo desde hace varios años, la AEC forma parte de la nómina de entidades colaboradoras y acudirá a la cita del próximo mes de octubre junto a otras asociaciones muy representativas del sector. Además, a lo largo del año, la Asociación

dará cobertura a este encuentro a través de sus diversos canales de comunicación. Asimismo, la exposición comercial de TRAFIC 2009 dispondrá de un espacio reservado para la AEC. 



Stand de la AEC en Trafic 2007.

El 30 de septiembre se conocerán los trabajos admitidos al Congreso Mundial de IRF

Bajo el lema “Compartiendo la carretera”, Lisboa se prepara para acoger el XV Congreso Mundial de la Federación Internacional de la Carreteras (IRF), que se celebrará en mayo de 2010. La Asociación Española de la Carretera es la encargada una vez más de organizar la delegación española y la exposición comercial, así como de coordinar el pabellón español. Además, como miembro fundador del Instituto Vial Ibero-Americano (IVIA), la AEC se ha ofrecido por primera vez a centralizar, a través de este instituto, la participación de aquellos técnicos y delegados de cualquier país ibero-latinoamericano que deseen hacer uso de este servicio. De este modo se les facilitará la inscripción, alojamiento y viaje.

Una vez finalizado el plazo de envío de los resúmenes, se han contabilizado más de 400 comunicaciones libres procedentes de más de 65 países. El 30 de septiembre se dará a conocer cuáles de ellas han sido seleccionadas, y se hará público el preprograma del congreso. Éste se estructura en torno a cinco ejes temáticos: movilidad, infraestructura y transporte; seguridad vial; carreteras sostenibles; financiación y gestión, y técnicas e innovación. Elena de la Peña, Subdirectora General Técnica de la AEC y miembro integrante del Comité Técnico de este encuentro internacional, será la coordinadora del grupo de “Carreteras sostenibles”.

Las nuevas estrategias que salgan de este Congreso Mundial deberán ser capaces de responder a las necesidades de una sociedad en constante evolución en términos de transporte y movilidad. 

CARRETERAS

RESERVA YA TU ESPACIO PUBLICITARIO

La eficacia y rentabilidad están garantizadas.

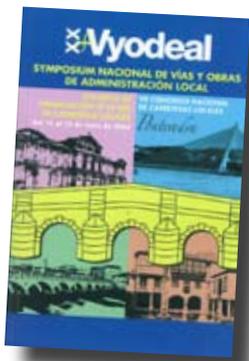


Comunicación y Diseño

comdis@cydiseno.com

Dpto. de Publicidad y Contratación: Tfn. 914324318. c/ O'Donnell 18 5º H - 28009 Madrid.

EDICIONES DE LA ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE LA CARRETERA



XX Vyodeal. Los retos de financiación de la red de carreteras locales	
Nº páginas	608
Fecha:	2009
Idioma:	Español
PVP:	60 €
P.V. Socios:	50 €



	PVP:	P.V. Socios:
Documento 31 – XX Vyodeal. Modelo de gestión y financiación de carreteras locales. ¿Hacia dónde ir en el futuro?	30€	25€
Documento 32 – XX Vyodeal. REDIMOVE: Recomendaciones sobre dispositivos de moderación de la velocidad	30€	25€
Documento 33 – XX Vyodeal. Sistemas de contención	30€	25€
Libro XX Vyodeal + Documentos 31, 32 y 33	150€	125€

En un contexto económico como el que se vive en la actualidad, toda propuesta que contribuya de manera activa a abrir nuevas vías de financiación para la Administración Provincial y Local es bienvenida. El libro de ponencias del XX Vyodeal –celebrado en Pontevedra entre el 15 y el 19 de junio– ofrece de la mano de los técnicos participantes en el congreso soluciones para que estas administraciones puedan mantener e incrementar su ritmo inversor en infraestructuras viarias. Además, la Asociación Española de la Carretera, entidad organizadora del encuentro, ha elaborado como en anteriores ocasiones tres nuevos documentos técnicos Vyodeal que suman ya un total de 33.



Anuario de la Carretera 2008-2009	
Fecha:	2009
Idioma:	Español
PVP:	50 € (IVA incluido)
P.V. Socios:	Gratuito 1 ^{er} ejemplar.
Segundos ejemplares: 30 €	

La segunda edición del Anuario de la Carretera sale a la luz. Con interesantes novedades como los reportajes sobre las obras más emblemáticas de la Administración Autonómica y el completo Quién es Quién de las Administraciones de Carreteras ilustrado, la edición 2008-2009 del Anuario de la Carretera regresa para convertirse en una herramienta de consulta de referencia. Como en la anterior edición, sus páginas incluyen información comercial sobre empresas e instituciones y sobre la actualidad de la economía nacional y del sector.



IV Congreso Nacional de Seguridad Vial	
Fecha:	Mayo 2009
Idioma:	Español
PVP:	35 €
P.V. Socios:	28 €
Disco CD	

Este importante foro nacional volvió a Logroño para abordar los principales retos de futuro en materia de seguridad vial. Con esta edición, ya son tres las celebradas en la capital riojana. Todas las ponencias presentadas en este encuentro han sido recopiladas en un CD editado por la Asociación Española de la Carretera. Accidentes por salida de vía, problemas de seguridad en travesías y política europea de seguridad vial son algunos de los muchos temas reunidos en este CD.



II Congreso Internacional Paisaje e Infraestructuras	
Fecha:	Noviembre 2008
Idioma:	Español
PVP:	35 €
Disco CD	

Este disco compacto contiene las Ponencias y Comunicaciones del II Congreso Internacional Paisaje e Infraestructuras, celebrado entre los días 12 y 15 del pasado mes de noviembre en Granada. El Congreso, que giró en torno al tema central de "Las infraestructuras y los paisajes en transición", fue organizado por la Consejería de Obras Públicas y Transportes de la Junta de Andalucía, conjuntamente con el Centro de Estudios Paisaje y Territorio (CEPT), y la Asociación Española de la Carretera (AEC), y con la colaboración de la Demarcación andaluza del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, el Colegio de Geógrafos y la Universidad de Granada. Nada más insertar el disco en el ordenador, arranca la presentación y aparece el índice.



XXVII Semana de la Carretera	
Nº páginas	196
Fecha:	Septiembre 2008
Idioma:	Español
PVP:	90 €
P.V. Socios:	75 €

La XXVII Semana de la Carretera ha analizado en su última edición la transición hacia un nuevo modelo de desarrollo y gestión de la red viaria. El encuentro reunió a más de medio millar de expertos en Valencia entre el 22 y el 26 de septiembre, donde se impartieron dos talleres formativos y se expusieron 21 ponencias, además de 22 comunicaciones libres. La financiación, la conservación y la sostenibilidad de las carreteras valencianas fueron, junto a la seguridad vial, los principales temas que centraron el debate. Los resúmenes de las ponencias se recogen ahora en esta edición, que viene acompañada de un CD con los textos completos.

BOLETÍN DE PEDIDO

Nombre persona o empresa: E-mail:
 ¿Es socio? Tel.: Fax:

DATOS PARA LA FACTURA

Nombre persona o empresa: N.I.F.:
 Dirección:
 Ciudad: Provincia: C.P.

DATOS PARA EL ENVÍO

Los mismos datos anteriores (señale con una cruz, si procede)
 Nombre persona o empresa:
 N.I.F.:
 Dirección:
 Ciudad: Provincia: C.P.

Gastos de envío:

Cant.	Título	P.V.P.	V.Socios	Parcial
	NI´ 5 Monografías: Plantas de fabricación de hormigón y grava-cemento	21,88	17,43	
	NI´ 7 Monografías: Tractor de orugas. Trabajos con hoja de empuje y ríper	25,00	19,83	
	NI´ 8 Monografías: Mototraíllas	25,00	19,83	
	NI´ 9 Monografías: Dúmperes y tractovagones	25,00	19,83	
	NI´ 10 Monografías: Motoniveladora	25,00	19,83	
	NI´ 11 Monografías: Palas cargadoras de neumáticos y orugas	25,00	19,83	
	XVI VYODEAL: "La gestión de las carreteras locales. Necesidades y Recomendaciones"	40,63	36,06	
	Documentos técnicos del XVI VYODEAL	75,01	62,51	
	Documento suelto del XVI VYODEAL	21,88	15,03	
	XVII VYODEAL "Las carreteras y el desarrollo local"	42,25	37,50	
	Documentos XVII VYODEAL (7 números)	78,00	65,00	
	Documentos técnicos del XIV VYODEAL (3 números)	37,50	31,25	
	Documentos técnicos del XV VYODEAL (4 números)	51,09	39,07	
	Documento técnico suelto del XV VYODEAL	18,75	12,62	
	Jornadas sobre la política del transporte y el cambio climático	37,50	31,25	
	XXIII Semana de la Carretera. La nueva era de la gestión privada de las..	43,75	40,63	
	CD 1er Simposio Internacional sobre Estabilización de Explanadas y reciclado..	30,00		
	XXIV Semana de la Carretera. V Encuentro Nacional de la Carretera	50,00	45,00	
	Innovaciones Técnicas en la Construcción de Carreteras. La Maquinaria y su Legislación	31,25	25,24	
	III Congreso Andaluz de Carreteras (CD Rom incluido)	120	100	
	VI Congreso Nacional de Firms. "Normalización e Innovación"	60	48	
	XXV Semana de la Carretera VI Encuentro Nacional de la Carretera	52	42	
	"Una Red de Transporte Sostenible" I Congreso Nacional de Seguridad Vial	41,6	33,28	
	Nuevos Sistemas de Gestión y Financiación de Infraestructuras del Transporte	50	40	
	La vida de los puentes	60	48	
	XVIII Vyodeal. Hacia una mejor explotación de las carreteras	40	32	
	Documentos técnicos XVIII Vyodeal nº 24, 25, 26 y 28	40/ud	32/ud	
	Documentos técnicos XVIII Vyodeal nº 27	60	48	
	II Congreso Nacional de Seguridad Vial. Hacia una seguridad sostenible: "una estrategia para todos" (CD 30€)	67	54	
	I Jornada de Participación Ciudadana en la planificación de infraestructuras	62	49,60	
	I Congreso Nacional de Medio Ambiente en Carreteras	60	48	
	XXVI Semana de la Carretera. "Carreteras para el transporte de mercancías"	52	42	
	XIX Vyodeal "Carreteras, Territorio y Accesibilidad"	40	32	
	Documento Técnico del Vyodeal Nº29: Drenaje y pequeñas obras de fábrica para carreteras locales	40	32	
	Documento Técnico del Vyodeal Nº30: Plan de Seguridad Vial para una red de carreteras locales	40	32	
	Libro del XIX VYODEAL + Documentos 29 y 30	100	80	
	XXVII Semana de la Carretera. "Transición hacia un Nuevo Modelo de Desarrollo y Gestión de la Red Viaria"	90	75	
	II Congreso Nacional de Medio Ambiente en Carreteras (CD ROM)	35	35	
	VIII Congreso Nacional de Firms	120	100	
	II Congreso Internacional Paisaje e Infraestructuras (CD ROM)	35	35	
	Anuario de la Carretera 2008-2009	50	30	
	IV Congreso Nacional de Seguridad Vial	35	28	
	XX Vyodeal "Los retos de financiación de la red de carreteras locales"	60	50	
	Documento Técnico del Vyodeal Nº31: "Modelo de gestión y financiación de carreteras locales. ¿Hacia dónde ir en el futuro?"	30	25	
	Documento Técnico del Vyodeal Nº32: "REDIMOVE: Recomendaciones sobre dispositivos de moderación de la velocidad"	30	25	
	Documento Técnico del Vyodeal Nº33: "Sistemas de contención"	30	25	
	Libro del XX Vyodeal + Documentos técnicos nº 31, 32 y 33	150	125	
	Gastos de envío			
	TOTAL			

Una vez recibido este boletín de pedido, se le comunicará el importe más los gastos de envío.

Forma de pago:

- Contra-reembolso. Talón adjunto a nombre de la ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE LA CARRETERA.
 Transferencia al BANCO CENTRAL HISPANO (C/. Goya, 25 - 28001 MADRID)
 Código de cuenta: 0049-0271-30-2811165823. (Adjuntar copia de la orden de transferencia)

Enviar el Boletín de Pedido a:

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE LA CARRETERA
 Goya, 23 - 4ª Dcha. - 28001 MADRID
 Tel.: 91 577 99 72 • Fax: 91 576 65 22 • e-mail: aec@aecarretera.com



ASFALTOS Y CONSTRUCCIONES ELSAN, S.A

DOMICILIO: **C/ Enrique Larreta 10**

C.P.: **28036**

CIUDAD: **Madrid**

TELÉFONO: **91 384 74 00**

FAX: **91 767 11 94**

WEB: **www.elsan-pacs.com**

ÁMBITO DE ACTUACIÓN: **Nacional**

FACTURACIÓN: **de 60,11 millones a 300,51 millones de euros**



Elsan
Grupo OHL

EJECUCIÓN DE TRABAJOS

SERVICIOS URBANOS

Conservación y Mantenimiento

- Parques, jardines y mobiliario urbano
- Tratamiento de cubiertas y fachadas
- Conservación de galerías
- Conservación de pasos a distinto nivel y

estructuras

- Conservación de alcantarillados
- Conservación de pavimentos
- Conservación de bocas de riego
- Conservación de redes hidráulicas

Rehabilitación y Remodelación

- Obra Civil:
 - Urbanización; Viales; Pavimentación; Puentes; Pasarelas; Aparcamientos; Aceras
- Hidráulicas y medioambientales:
 - Instalaciones de riego; Hidrantes; Acometidas; Tuberías y canalizaciones; Parques y jardines; Alumbrado; Mobiliario urbano

CONSERVACIONES VIARIAS

Servicios Viarios

- Conservaciones integrales
- Conservaciones preventivas

- Refuerzos de firmes
- Reparaciones de pavimentos

Servicios Industriales

- Producción asfáltica en las plantas de:
 - Arganda (Madrid) 350 tn/n
 - Valencia 250 tn/n
 - Seseña (Toledo) 200 tn/n

SERVICIOS A LAS INFRAESTRUCTURAS

A las infraestructuras de obra civil

- Mantenimiento y conservación de infraestructuras

- Servicios a las infraestructuras:
 - Canales; Presas; Regadíos; Acequias

- Costas
 - Paseos Marítimos

- Conducciones y canalizaciones

- Urbanizaciones industriales

- Redes horizontales de gas

A las infraestructuras del medio natural

- Hidrológico – forestal
- Cauces y márgenes de ríos
- Márgenes de carreteras

- Costas:
 - Recuperación medioambientales

- Infraestructuras agrarias

- Reforestaciones

- Infraestructuras de residuos:
 - Soterramiento de contenedores

- Transporte neumático de basuras y otros productos

- Tratamiento de residuos:
 - Sellado de vertederos

- Descontaminación de suelos

A las infraestructuras de edificación

- Mantenimiento inmobiliario

- Edificación modular

- Remodelación y rehabilitación

- Redes verticales de gas

- Instalaciones interiores de gas

Servicios viarios portuarios y aeroportuarios

- Handling

- Sistemas ITS

- Áreas y estaciones de servicios

- Áreas de descanso

Cepsa Proas, Productos Asfálticos, S.A.

DOMICILIO: **C/ Ribera del Loira, 50**

C.P.: **28042**

CIUDAD: **Madrid**

TELÉFONO: **91 337 71 27**

FAX: **91 337 71 32**



SUMINISTROS

MATERIALES

Másticos para sellado de juntas

MATERIAS PRIMAS Y ADITIVOS

Betunes asfálticos
Betunes asfálticos modificados

Emulsiones asfálticas
Emulsiones de betunes modificados

Construcciones y Obras Llorente, S.A.

DOMICILIO: **C/ Aluminio, 17**
C.P.: **47012**
CIUDAD: **Valladolid**
TELÉFONO: **983 21 81 91**
FAX: **983 21 81 92**
E-MAIL: **construccion@collosa.es**
CAPITAL SOCIAL: **2.000.000 euros**
ÁMBITO DE ACTUACIÓN: **Internacional**
FACTURACIÓN: **de 60,11 a 300,51 millones euros**



SUMINISTROS

MAQUINARIA Y EQUIPOS

Vialidad invernial

MATERIALES

Mezclas asfálticas en caliente
Mezclas asfálticas en frío
Mezclas asfálticas con ligantes modificados
Mezclas drenantes

MATERIAS PRIMAS Y ADITIVOS

Materiales granulares

EJECUCIÓN DE TRABAJOS

CONSTRUCCIÓN Y CONSERVACIÓN

Conservación Integral
Movimiento de tierras
Pavimentación con mezclas asfálticas en caliente
Pavimentación con mezclas asfálticas en frío
Pavimentación con mezclas de ligantes asfálticos modificados
Pavimentación con mezclas drenantes
Puentes
Reciclado de pavimentos

Riegos asfálticos
Riegos con ligantes modificados

CONSULTORÍA E INGENIERÍA

Evaluación de firmes
Inventario de carreteras
Proyectos de rehabilitación

CONTROL DE CALIDAD

En laboratorio

Eiffage Infraestructuras, S.A.

DOMICILIO: **Pol. Ind. Ctra de la Isla, parcela E.L.-3**
(Ctra. el Copero-esq. calle Río Viejo)
C.P.: **41703**
CIUDAD: **Dos Hermanas (Sevilla)**
TELÉFONO: **954 610 400**
FAX: **954 610 112**



SUMINISTROS

MATERIALES

Aglomerados asfálticos en caliente
Fabricante de emulsiones
Áridos
Investigación en la fabricación de mezclas bituminosas templadas

EJECUCIÓN DE TRABAJOS

CONSTRUCCIÓN Y CONSERVACIÓN

Asfaltado de carreteras, calles y aparcamientos

Construcción y mantenimiento de carreteras
Obras públicas
Pavimentos industriales
Fresado de pavimentos
Lechadas y Slurrys
Barreras de hormigón "in situ" a 1 y 2 caras
Ejecución de caz
Ejecución de bordillos de todo tipo y medida
Ejecución de acequias y cunetas
Pavimentos de hormigón
Reciclado en frío "in situ"

CONTROL DE CALIDAD

En obra
En laboratorio
En planta
Ensayo de materiales
Medio Ambiente

I+D+I

INVESTIGACIÓN EN LA FABRICACIÓN DE NUEVOS PRODUCTOS

Mezclas bituminosas templadas
Mezclas con reciclado
Mezclas con polvo de neumático

EMSA (Estudios Comerciales e Industriales de Maquinaria, S.A.)

DOMICILIO: **Crta. de la Marañoso Km 0,8**
C.P.: **28320**
CIUDAD: **Pinto (Madrid)**
TELÉFONO: **91 307 81 33**
FAX: **91 357 47 62**
E-MAIL: **emsa@emsa-machinery.net**



ÁMBITO DE ACTUACIÓN: **Nacional**

SUMINISTROS

Maquinaria y equipos
Fresadoras de asfalto

Extendedoras de asfalto y hormigón
Plantas asfálticas
Estabilizadores de suelos
Compactadores de asfalto y tierras

Equipos de machaqueo y cribado
Zanjadoras de orugas
Cisternas de emulsión
Camiones de limpieza

INTRAME

DOMICILIO: **Núñez de Balboa 85, Esc. Izq., 1º der.**
C.P.: **28006**
CIUDAD: **Madrid**
TELÉFONO: **91 577 60 08**
FAX: **91 576 09 37**
WEB: **www.intrame.com**
E-MAIL: **comercial@intrame.com; internacional@intrame.com**
ÁMBITO DE ACTUACIÓN: **Nacional e internacional**



SUMINISTROS

MAQUINARIA Y EQUIPOS

Plantas de fabricación de mezclas
asfálticas en caliente.

Kao Corporation, S.A.

DOMICILIO: **C/ Puig dels Tudons, 10**
C.P.: **08210**
CIUDAD: **Barberà del Vallès (Barcelona)**
TELÉFONO: **93 739 93 00**
FAX: **93 739 93 77**
E-MAIL: **Kao@Kao.es**
ÁMBITO DE ACTUACIÓN: **Internacional**
FACTURACIÓN: **de 60,11 a 300,51 millones euros**



SUMINISTROS

MATERIAS PRIMAS Y ADITIVOS

Productos químicos

Postigo Obras y Servicios, S.A.

DOMICILIO: **C/ Juan de la Cierva, 9**
C.P.: **46940**
CIUDAD: **Manises (Valencia)**
TELÉFONO: **96 154 51 41**
FAX: **96 153 33 72**
E-MAIL: **psadir@grupo-postigo.es**
CAPITAL SOCIAL: **1.806.000,00 euros**
ÁMBITO DE ACTUACIÓN: **Nacional**
FACTURACIÓN: **hasta 60,10 millones euros**



SUMINISTROS

MATERIALES

Balizas
Barreras

SEGURIDAD VIAL Y GESTIÓN DEL TRÁFICO

Balizamiento
Barreras antirruído
Información variable
Pantallas antideslumbrantes
Pórticos y banderolas
Señalización horizontal
Señalización vertical

VARIOS

Mobiliario urbano

EJECUCIÓN DE TRABAJOS

CONSTRUCCIÓN Y CONSERVACIÓN

Obra civil
Recuperación de trazados: Vías verdes y caminos naturales.
Pasarelas peatonales.
Restauración paisajística
Conservación integral
Estructuras

CONSULTORÍA E INGENIERÍA

Evaluación de la señalización
Gestión de carreteras
Inventario de carreteras
Inventario de señalización
Proyectos de acondicionamiento
Proyecto de estructuras metálicas

MEDIO AMBIENTE

Control de vegetación
Impacto ambiental
Medición de índices de ruido
Paisajismo
Plantaciones vegetales
Protección y revegetación de taludes
Paneles antirruído

Probisa Tecnología y Construcción S.A.

DOMICILIO: **C/ Gobelas, 25-27 3ª plta.**

C.P.: **28023**

CIUDAD: **La Florida (Madrid)**

TELÉFONO: **91 708 29 54**

FAX: **91 372 90 22**

ÁMBITO DE ACTUACIÓN: **Nacional - Internacional**

FACTURACIÓN: **de 60,11 a 300,51 millones euros**



SUMINISTROS

MAQUINARIA Y EQUIPOS

Evaluación de firmes
Laboratorio
Plantas de fabricación de betunes
Plantas de fabricación de emulsiones asfálticas

MATERIALES

Másticos para sellado de fisuras
Másticos para sellado de juntas
Mezclas asfálticas en caliente

Mezclas asfálticas en frío
Mezclas asfálticas con ligantes modificados
Mezclas drenantes
Producción de Aridos

MATERIAS PRIMAS Y ADITIVOS

Aditivos para asfaltos
Betunes asfálticos
Betunes asfálticos modificados
Emulsiones asfálticas

Emulsiones de betunes modificados
Materiales granulares
Productos químicos
Resinas

SEGURIDAD VIAL Y GESTIÓN DE TRÁFICO

Pavimentos especiales

VARIOS

Libros y Software para carreteras

EJECUCIÓN DE TRABAJOS

CONSTRUCCIÓN Y CONSERVACIÓN

Conservación integral
Consolidación de terrenos
Drenajes
Estructuras
Fresado de pavimentos
Impermeabilización
Juntas prefabricadas de puentes
Limpieza
Movimiento de tierras
Pavimentación con hormigón hidráulico
Pavimentación con mezclas asfálticas en caliente
Pavimentación con mezclas asfálticas en frío
Pavimentación con mezclas de ligantes asfálticos modificados
Pavimentación con mezclas drenantes e hidráulicas
Perforación de túneles

Protección de taludes
Puentes
Reciclado de pavimentos
Rehabilitación de puentes
Restitución de servicios
Riegos asfálticos
Riegos con ligantes modificados
Sellado
Voladuras

CONSULTORÍA E INGENIERÍA

Auscultación de firmes
Evaluación de firmes
Gestión de carreteras
Inventario de carreteras
Proyectos de acondicionamiento
Proyectos de estructura de fábrica
Proyectos de rehabilitación
Proyectos de trazados

CONTROL DE CALIDAD

En obra
En laboratorio y en planta
Ensayo de materiales

MEDIO AMBIENTE

Impacto ambiental
Paisajismo
Plantaciones vegetales
Protección y revegetación de taludes
Paneles antirruído

SEGURIDAD VIAL Y GESTIÓN DE TRÁFICO

Alumbrado público
Balizamiento

Barreras
Pantallas antideslumbrantes
Pavimentos especiales

OTROS CAPÍTULOS NO INCLUIDOS

Validación de diversos tipos de residuos

Repsol YPF Lubricantes y Especialidades S.A.

DOMICILIO: **EDIFICIO TUCUMÁN, Glorieta Mar Caribe, 1**

C.P.: **28042**

CIUDAD: **Madrid**

TELÉFONO: **91 753 97 10**

FAX: **91 753 68 81**

ÁMBITO DE ACTUACIÓN: **Nacional**



SUMINISTROS

COMBUSTIBLES Y LUBRICANTES

Lubricantes

MATERIAS PRIMAS Y ADITIVOS

Betunes asfálticos
Betunes asfálticos modificados

Emulsiones asfálticas
Emulsiones de betunes modificados
Productos químicos

ADMINISTRACIÓN CENTRAL

- Dirección General de Carreteras (Ministerio de Fomento)
- Dirección General de Tráfico (Ministerio del Interior)

ASOCIACIONES

- Agrupación de Fabricantes de Cemento de España (OFICEMEN)
- Asociación de Empresas Constructoras de Ambito Nacional (SEOPAN)
- Asociación de Empresas de Conservación y Explotación de Infraestructuras (ACEX)
- Asociación de Empresas de Tecnología del Suelo y Subsuelo (AETESS)
- Asociación de Fabricantes de Señales Metálicas de Tráfico (AFASEMETRA)
- Asociación de Ingenieros, Funcionarios de Administración Local
- Asociación de Sociedades Españolas Concesionarias de Autopistas, Túneles, Puentes y Vías de Peaje (ASETA)
- Asociación Española de Empresas de Ingeniería, Consultoría y Servicios Tecnológicos (TECNIBERIA)
- Asociación Española de Fabricantes de Mezclas Asfálticas (ASEFMA)
- Asociación Española de Fabricantes de Sistemas Metálicos de Protección Vial (SIMEPROVI)
- Asociación Nacional de Empresas Constructoras de Obra Pública (AERCO)
- Asociación Nacional de Fabricantes de Cales y Derivados de España (ANCADE)
- Asociación Nacional de Fabricantes de Luminarias (ANFALUM)
- Asociación Nacional de Industriales de Pantallas y Dispositivos Antirruído (ANIPAR)
- Asociación Patronal de Empresas de Tráfico (PEMTRA)
- European Union Road Federation (ERF) / International Road Federation (IRF)
- Confederación Nacional de Autoescuelas (CNAE)
- Federación de Áridos (FdA)
- ITS España

AUTOMÓVILES

- Toyota España S.L.U.

AUTOPISTAS

- Abertis
- Accesos de Madrid
- Acega
- Acesa
- AP-1 Europistas
- Aucalsa
- Aucat
- Aucosta

- Audasa
- Audenasa
- Aulesa
- Aumar
- Ausur
- Autema
- Autoestradas de Galicia
- Autopista de la Costa Cálida
- Autopista Eje Aeropuerto
- Autopista Madrid Levante
- Autopista Madrid Sur
- Autopista del Sol
- Avasa
- Castellana de Autopistas
- Cintra
- Ciralsa
- Globalvia Infraestructuras
- Guadalcesa
- Henarsa
- Iberpistas
- Iridium
- Tabasa
- Túnel del Cadí
- Túnel del Sóller
- Túneles de Artxanda
- Autopista Madrid-Toledo

AYUNTAMIENTOS

- Barcelona
- Madrid
- Valladolid

CENTROS DE INVESTIGACIÓN Y FORMACIÓN

- Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX).
- E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- E.U. de Ingenieros Técnicos de Obras Públicas
- Fundación Agustín de Betancourt
- Fundación CIDAUT - Investigación y Desarrollo en Transporte y Energía

COLEGIOS PROFESIONALES

- Colegio de Geógrafos
- Colegio de Ingenieros , Caminos, Canales y Puertos
- Colegio de Ingenieros Técnicos de Obras Públicas

COMUNIDADES AUTONOMAS

- Ciudad Autónoma de Melilla
- Comunidad Autónoma de la Región de Murcia
- Comunidad Autónoma de La Rioja.
- Comunidad de Madrid
- Diputación General de Aragón
- Generalitat de Catalunya
- Generalitat Valenciana
- Gobierno de Canarias

- Gobierno de Cantabria
- Gobierno de Navarra
- Gobierno Vasco
- Junta de Andalucía
- Junta de Castilla y León
- Junta de Castilla - La Mancha
- Junta de Extremadura
- Principado de Asturias
- Servei Catalá de Transit
- Xunta de Galicia

CONCESIONARIAS DE INFRAESTRUCTURAS

- Concesiones de Madrid, S.A.
- Itinere Infraestructuras S.A.
- Ruta de los Pantanos, S.A.
- OHL Concesiones.

CONSTRUCTORAS

- Acciona Infraestructuras S.A.
- Aldesa Construcciones S.A.
- Asfaltos y Construcciones Elsan, S.A.
- Azvi, S.A.
- COMSA S.A.
- Constructora Hispánica, S.A.
- Corsán - Corviam, Construcción S.A.
- Construcciones Araplaza, S.A.
- CRECOC
- Dragados, S.A.
- Eiffage Infraestructuras, S.A.
- Elsamex, S.A.
- FCC Construcción, S.A.
- Ferrovia - Agroman, S.A.
- JOCA, Ingeniería y Construcciones, S.A.
- Pavimentos Asfálticos de Castilla, S.A.
- Pavimentos Asfálticos de Salamanca, S.L.
- Pavimentos Barcelona, S.A.
- PROBISA, Tecnología y Construcción, S.A.
- Rodio Cimentaciones Especiales, S.A.
- Sedesa Obras y Servicios, S.A.
- Sorigué, S.A.
- Stachys, S.A.U.
- Tebycon, S.A.
- Torrescámara y Cía, S.A.
- TRABIT
- Vías y Construcciones, S.A.
- Virton, S.A.

DIPUTACIONES, CABILDOS Y CONSELLS

- Alava
- Alicante
- Almería
- Avila
- Badajoz
- Barcelona

- Burgos
- Cáceres
- Cádiz
- Ciudad Real
- Córdoba
- Gerona
- Gran Canaria
- Granada
- Guipúzcoa
- Huelva
- Huesca
- Ibiza y Formentera
- León
- Lugo
- Málaga
- Mallorca
- Menorca
- Orense
- Pontevedra
- Salamanca
- Segovia
- Sevilla
- Soria
- Tarragona
- Tenerife
- Teruel
- Toledo
- Valencia
- Valladolid
- Vizcaya
- Zaragoza

ESTABILIZACIÓN DE SUELOS Y RECICLADO DE PAVIMENTOS

- Asfaltécnica, Tecnología de Firmes, S.A.
- Asfaltómeros, S.A.
- Firmes Ecologicos Soltec, S.A.

GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURAS

- Bidegi, S.A.
- Giasa, Gestión de Infraestructuras de Andalucía, S.A.

INGENIERÍA Y CONSULTORÍA

- Aepo, S.A.
- Auditores de Seguridad Vial
- APPLUS NORCONTROL, S.L.Ut.
- Ayesa
- B.B. & J. Consult, S.A.
- CPS Ingenieros, Obra Civil y Medio Ambiente, S.L.
- Civil Mateng S.L.
- E.T.T. , S.A.
- Euroconsult, S.A.
- Eyp Scap, S.A.
- Eyser, Estudios y Servicios S.A.

- GEOCISA
- GESSING
- GETINSA Ingeniería, S.L.
- GINPROSA Ingeniería, S.L.
- G.O.C.
- Grupo Azierta
- IBERINSA
- INECO
- Ingeconsult Ingeniería, S.A.
- Inocsa
- INTECSA-INARSA
- Inzamac Asistencias Técnicas, S.A.
- Labama Ingeniería, S.L.
- Payject XXI
- Prointec, S.A.
- SAM_RO
- Sener, Ingeniería y Sistemas, S.A.
- SERCAL, S.A.
- Steer Davies Gleave Limited (sucursal en España)
- Tairona Consultores S.L.
- Técnicas Reunidas Initec Infraestructuras
- Técnicas y Proyectos, S.A. (TYPESA)
- TEMA Grupo Consultor, S.A.
- VIANOVA Systems Spain S.L.

MAQUINARIA DE OBRA PÚBLICA

- Emsa
- Corinsa
- TEMAC

PETRÓLEOS

- Asfaltos y Construcciones UCOP, S.A.
- Bitumex, S.A.
- BP OIL España
- Campezo Construcción, S.A.
- GALP Energía
- Nynas Petróleo, S.A.
- PROAS
- Productos Bituminosos de Galicia, S.A.
- Repsol, S.A.
- SOCOTHERM SPA.

PRODUCTOS QUÍMICOS - ADITIVOS

- Campi y Jove, S.A.
- Composan Construcción, S.A.
- Kao-Corporation, S.A.
- SIKA, S.A.
- Tecus Plásticos, S.L.

SEGURIDAD VIAL

- Editorial Tráfico Vial, S.A.
- Fundació RACC
- Instituto de Seguridad Vial de la FUNDACIÓN MAPFRE

SEGUROS Y ASISTENCIA

- ADA, Ayuda del Automovilista, S.A.
- Automovilistas Europeos Asociados.
- RACE, Real Automóvil Club de España.

SEÑALIZACIÓN

- 3M España, S.A.
- API Movilidad.
- DÍEZ Y CÍA, S.A.
- GIVASA
- GRUPISA
- Grupo Villar
- IBERSEÑAL, S.L.
- Industrias Ban, S.L.
- Industrias Saludes, S. A. U.
- Jerol Vial, S.L.
- Lacroix Señalización, S.A.
- MOSA
- Nippon Carbide Industries España, S.A.
- Postigo Obras y Sevicios, S.A.
- PROSEÑAL
- Proyectos Integrales de Balizamiento
- REYNOBER, S.A.
- Rótulos Ayllón, S.A.
- S.A. de Señalizaciones NYD
- Somar Málaga, S.A.
- Sovitec Ibérica, S.A.U.
- Trafic Vial, S.L.
- Tecnivial, S.A.
- Tevaseñal, S.A.
- Transfer, Sociedad de Marcas Viales, S.L.

SISTEMAS DE CONTENCIÓN DE VEHÍCULOS

- Asebal, S.L.
- HIASA

SISTEMAS INTELIGENTES DE TRANSPORTE Y REGULACIÓN DE TRÁFICO

- ACISA
- BKB Electronica, S.A.
- Canal de Comunicaciones Unidas, SAU
- Conservación y Sistemas, S.A.
- Desarrollo Sistemas Tecnológicos Avanzados (DSTA)
- Geonica, S.A.
- GMV
- IKUSI, Angel Iglesias, S.A.
- INDRA SISTEMAS, S.A.
- Kapsch TrafficCom Ab (Combitech).
- Odeco Electrónica, S.A.
- SICE, S.A.
- SISTEM, S.A.
- Tecno Solydi, S.L.
- Telvent Tráfico y Transporte S.A.

TRATAMIENTOS SUPERFICIALES DE ALTA FRICCIÓN

- Color Vial, S.L.

VARIOS

- BCA España
- Carlson Wagonlit España, S.L.U.
- Comunicación y Diseño S.L.

Comprometidos con
La sostenibilidad



Construcciones y Obras L.Lorente, S.A.



C/ Aluminio, nº 17 - 47012 Valladolid - Tel. 983 218 191 - Fax: 983 218 192
Paseo de la Castellana, nº 163 - 28046 Madrid - Tel. 915 672 548 - Fax: 915 672 528

13 - 15 de octubre de 2010
SEVILLA (ESPAÑA)

11^o

S I M P O S I O
I N T E R N A C I O N A L
D E P A V I M E N T O S D E
H O R M I G Ó N

LA RESPUESTA A LOS NUEVOS DESAFÍOS

Organizado por:



oficemen
Agrupación de fabricantes de cemento de España



afca
Cementos de Andalucía

Con la
colaboración de:



Patrocinado por:



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

Más información en www.2010pavimentosdehormigon.org