



Asociación Técnica
de Carreteras
Comité nacional español de la
Asociación Mundial de la Carretera



RUTAS

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CARRETERAS

Nº 171 ABRIL - JUNIO
2017

ISSN 1130-7102
Revista Trimestral

RUTAS TÉCNICA

El fallo por fatiga de los materiales bituminosos. Una nueva interpretación de los procesos de recuperación y deterioro

Análisis y prevención de la fisuración a edad temprana en losas de hormigón de pavimento mediante HIPERPAVE

RUTAS DIVULGACIÓN

BIM⁷ para infraestructuras

CULTURA Y CARRETERAS

La "Carretera de la Muerte" boliviana

ATC

Jornada Técnica refuerzo con materiales compuestos de puentes de hormigón

Jornada Técnica Carreteras 2+1. Debate de una solución con futuro



CARRETERA A ESTRENAR CADA DÍA

En Cepsa queremos cuidar y conservar las carreteras siempre en perfecto estado. Por ello, disponemos de una amplia gama de betunes convencionales, desde la Gama ELASTER de última generación en betunes modificados con polímeros, hasta masillas sellantes.

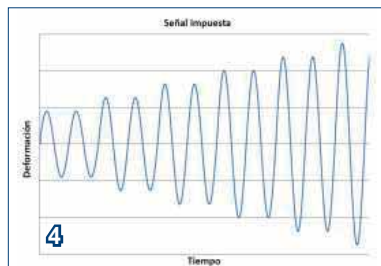
Mantener las carreteras es fácil con los Asfaltos de Cepsa.

Más información en el **91 265 47 13** o en cepsa.com/asfaltos



CEPSA

Tu mundo, más eficiente.



Tribuna Abierta

- 3 No van a darte aquello por lo que no pagas ni de lejos
Manuel Romana

Rutas Técnica

- 4 El fallo por fatiga de los materiales bituminosos. Una nueva interpretación de los procesos de recuperación y deterioro
Fatigue failure of bituminous materials. A new interpretation of the recovery and damage processes
Félix Edmundo Pérez Jiménez
- 14 Análisis y prevención de la fisuración a edad temprana en losas de hormigón de pavimento mediante HIPERPAVE
Analysis and prevention of cracking at early age in pavement concrete slabs using HIPERPAVE
Jesús Díaz Cuevas

Rutas Divulgación

- 26 BIM⁷ para infraestructuras
Javier Peñafiel

Cultura y Carreteras

- 33 La "Carretera de la Muerte" boliviana
The bolivian "Carretera de la Muerte"
Ing. Oscar Fariña

Nota de Lectura

- 44 Rural. Crónica de un conflicto

PIARC

- 46 Reunión del Comité TC.D2. "Firmes de Carreteras" de PIARC
- 48 Reunión del Comité TC.D3. "Puentes de Carretera" de PIARC

Actividades del Sector

- 50 Mención honorífica Luis Antona de la Junta Directiva de ACEX 2017 a Luis Alberto Solís Villa
- 51 Cinco Comunidades Autónomas se reúnen con ASEFMA para presentar presupuestos y compromisos medioambientales

ATC

- 52 Curso de formación de Operadores de Centro de Control de Túnel de Carretera 2017
- 53 Jornada Técnica refuerzo con materiales compuestos de puentes de hormigón
- 59 Jornada Técnica Carreteras 2+1. Debate de una solución con futuro
- 65 Junta Directiva, Comités y Socios de la Asociación Técnica de Carreteras



Asociación Técnica de Carreteras
Comité nacional español de la Asociación Mundial de la Carretera



La revista RUTAS se encuentra incluida en la siguiente lista de bases de datos científicas:

DIALNET · ICYT ·
LATINDEX (Catálogo y Directorio)



Edita:

ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CARRETERAS
Monte Esquinza, 24 4º Dcha. ♦ 28010 ♦ Madrid
Tel.: 913 082 318 ♦ Fax: 913 082 319
info@atc-piarc.com - www.atc-piarc.com

Comité Editorial:

Presidente:

Luis Alberto Solís Villa Presidente de la Asociación Técnica de Carreteras (España)

Vicepresidente de estrategia:

Sandro Rocci Profesor Emérito de la Universidad Politécnica de Madrid (España)

Vicepresidente Ejecutivo:

Óscar Gutiérrez-Bolívar Álvarez Dirección General de Carreteras, M. Fomento (España)

Vocales:

Ana Isabel Blanco Bergareche	Subdirectora Adjunta de Circulación, DGT, M. Interior (España)
María Luisa Delgado Medina	Subdirectora General de Transferencia de Tecnología, M. Economía y Competitividad (España)
Diana María Espinosa Bula	Presidenta de la Sociedad Colombiana de Ingenieros, SCI (Colombia)
Alfredo García García	Catedrático de la Universitat Politècnica de València (España)
Jaime Huerta Gómez de Merodio	Secretario del Foro de Nuevas Tecnologías en el Transporte, ITS España (España)
María Martínez Nicolau	Directora Técnica de Innovia-Coptalia (España)
Hernán Otoniel Fernández Ordóñez	Presidente HOF Consultores (Colombia)
Félix Pérez Jiménez	Catedrático de Caminos de la Universidad Politécnica de Barcelona (España)
Clemente Poon Hung	Director General de Servicios Técnicos, Subsecretaría de Infraestructura (México)
Manuel Romana García	Profesor Titular de la Universidad Politécnica de Madrid (España)
Jesús J. Rubio Alférez	Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos (España)

Comité de Revisores Técnico-Científicos. Presidentes de Comités Técnicos de la ATC:

Rafael López Guarga	Túneles de Carreteras
Julio José Vaquero García	Firmes de Carreteras
Fernando Pedraza Majarrez	Planificación, Diseño y Tráfico
Álvaro Parrilla Alcaide	Geotecnia Vial
Vicente Vilanova Martínez-Falero	Conservación y Gestión
Luis Azcue Rodríguez	Vialidad Invernal
Gerardo Gavilanes Ginerés	Financiación
Álvaro Navareño Rojo	Puentes de Carreteras
Roberto Llamas Rubio	Seguridad Vial
Antonio Sánchez Trujillano	Carreteras y Medio Ambiente
Andrés Costa Hernández	Carreteras de Baja Intensidad de Tráfico

Redacción:

Asociación Técnica de Carreteras

Diseño, Maquetación, Producción, Gestión Publicitaria y Distribución:

Ediciones Técnicas PAUTA
direccion@edicionespauta.com

Publicidad:

Ediciones Técnicas PAUTA
Tel.: 915 537 220 ♦ publicidad@edicionespauta.com

Arte Final e Impresión:

Gráficas ARIES

Depósito Legal: M-7028-1986 - ISSN: 1130-7102

Todos los derechos reservados.

La revista Rutas publica trabajos originales de investigación, así como trabajos de síntesis, sobre cualquier campo relacionado con las infraestructuras lineales. Todos los trabajos son revisados de forma crítica al menos por dos especialistas y por el Comité de Redacción, los cuales decidirán sobre su publicación. **Solamente serán considerados los artículos que no hayan sido, total o parcialmente, publicados en otras revistas, españolas o extranjeras.** Las opiniones vertidas en las páginas de esta revista no coinciden necesariamente con las de la Asociación ni con las del Comité de Redacción de la revista.

Precio en España: 18 euros +IVA

©Asociación Técnica de Carreteras

REVISTA RUTAS

La Asociación Técnica de Carreteras (Comité Nacional Español de la Asociación Mundial de la Carretera) edita la revista Rutas desde el año de su creación (1986).

Las principales misiones de la Asociación, reflejadas en sus Estatutos son:

- Constituir un foro neutral, objetivo e independiente, en el que las administraciones de carreteras de los distintos ámbitos territoriales (el Estado, las comunidades autónomas, las provincias y los municipios), los organismos y entidades públicas y privadas, las empresas y los técnicos interesados a título individual en las carreteras en España, puedan discutir libremente todos los problemas técnicos, económicos y sociales relacionados con las carreteras y la circulación viaria, intercambiar información técnica y coordinar actuaciones, proponer normativas, etc.
- La promoción, estudio y patrocinio de aquellas iniciativas que conduzcan a la mejora de las carreteras y de la circulación viaria, así como a la mejora y extensión de las técnicas relacionadas con el planteamiento, proyecto, construcción, explotación, conservación y rehabilitación de las carreteras y vías de circulación.



N° 171 ABRIL - JUNIO 2017

RUTAS

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CARRETERAS



No van a darte aquello por lo que no pagas ni de lejos

Todo necio confunde valor y precio

(A. Machado, Proverbios y Cantares, LXVIII)

Si bien es famoso el dicho de Machado, hay dos formas de verlo. La primera, más común, es asumir que algo es bueno porque es caro. Es obvio que no tiene por qué ser así. Pero hay una segunda: la de creer que son independientes, y que pagando poco se obtendrá mucho. Dicho de otra manera: que la baja no importa en la calidad final del producto. Eso no ocurre más que cuando las cosas son dudosas y lo que se compra es un objeto o un bien.

¿A qué llamamos dudoso? Pues a la calidad o a las circunstancias. Si la calidad es dudosa, el precio que estamos pagando suele ser caro aunque parezca poco. Es la esencia de no pocos timos. Crees que estás comprando a precio de ganga un objeto muy valioso; y en realidad estás pagando lo que no vale el "bien", sino mucho más. Es el test de la codicia castigada. Hay otras dos posibilidades. La segunda, por citar otro dicho, este de Rothschild, se resume en "cuando haya sangre en la calle, compra propiedades". Los aprovechados ofrecen poco dinero por bienes valiosos cuando el propietario está obligado a venderlo por las circunstancias. Finalmente, es posible que un bien encontrado o robado, pero no adquirido a su valor, se venda por mucho menos de lo que vale, por ignorancia, prisa o falta de transparencia.

Toda esta discusión es apropiada si se habla de bienes, que pueden robarse o malverse. Y se puede estafar con ellos o con su espejismo. ¿Y los servicios? ¡Ah! Eso es harina de otro costal. Un servicio no puede venderse por menos de lo que vale, a menos que se acepte perder dinero. ¿Se conocen industrias en las que se pierda sistemáticamente dinero? Pues no. Las industrias ruinosas como las artes, en las que se puede perder mucho dinero, no se sostienen más que con mecenas. Véase la estupenda novela de Fernán Gómez "El Vendedor de Naranjas", el *gángster* de Woody Allen en "Balas sobre Broadway", y muchos otros ejemplos.

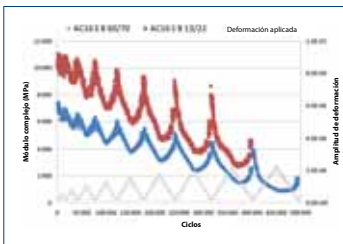
Esto nos lleva a la ingeniería y las obras públicas. Tanto el proyecto como la construcción son servicios, que si se cobran a lo peor no se dan; pero si no se cobran ¡despídete de la calidad! ¿Por qué? Porque se hacen a partir de horas de profesionales. Si no son profesionales los que lo hacen, el resultado será irremediablemente malo. Si los profesio-

nales tienen poca experiencia, tardarán más tiempo en hacerlo y el resultado final contendrá errores, que implican un sobrecoste o una merma de calidad. Y, si finalmente, los autores son profesionales experimentados ¿van a dar mucha calidad por poco dinero?

Pretender que una baja del 40 % o más no influye en la calidad es como pretender comer en un restaurant de dos estrellas Michelin por el precio de un menú de una hamburguesería de cadena rápida (insértese el nombre que se quiera). Y si el precio no importa ¿se vestirán los ministros con ropa de una cadena de hipermercados de gran distribución muy extendida y propiedad de una empresa francesa? No me lo parece, no me lo parece. Creo que nadie compra sus trajes con un 50 % de descuento habitualmente, especialmente si se los hace un sastre. Algún chollo puede haber, pero por norma...

Por tanto, otorgar un contrato por más de un 15 ó 20 % de baja, en términos generales, es engañarse. ¿Quiere esto decir que todas las bajas son temerarias o abusivas? No, claro que no. Pero no por norma. Excepcionalmente, un concursante puede tener una idea genial que abarate el proceso o el producto. Cierto. Hay numerosos precedentes. Pero excepcionalmente, y en una proporción muy baja de los concursos. Además, incluso en esos casos, solo uno de los concursantes tendrá una idea genial. Los demás concursantes, para cumplir lo que se pide, tenderán a ir al tipo, ya que cualquiera que confíe en quien convoca el concurso cree que el tipo es una cantidad que el cliente considera que cumplirá razonablemente sus expectativas. Cuando el grueso de los ofertantes hace una baja por encima del 10 ó 15%, quiere decir que los ofertantes no esperan ganar el concurso si no ofertan con una baja "normal en este mercado en este momento". ¿Por qué ocurre esto? Porque el organizador del concurso tiene precedentes que así lo indican, puede que muchos. Y obliga de esta manera a los ofertantes. ¿Afectará esto a la calidad del servicio o producto? Sí, claro, porque o quien convoca no conoce los precios, o no falla de manera tan estrepitosa. Es imposible que el grueso de los ofertantes haga una baja importante y el producto no se resienta. Imposible. Tenlo claro: No van a darte aquello por lo que no pagas ni de lejos. ❖

El fallo por fatiga de los materiales bituminosos. Una nueva interpretación de los procesos de recuperación y deterioro



Fatigue failure of bituminous materials. A new interpretation of the recovery and damage processes

Félix Edmundo Pérez Jiménez
 Doctor Ingeniero de Caminos
 Catedrático Caminos
 Universidad Politécnica de Cataluña

Resumen

En la evaluación de la resistencia a la fatiga de los materiales bituminosos se han usado los mismos criterios y ensayos que para otros materiales de construcción: acero y hormigón. No se ha tenido en cuenta que estos materiales presentan un comportamiento viscoso (tixotrópico) y que esto afecta la respuesta de los materiales bajo carga cíclica, haciendo que pueda bajar su módulo al aumentar la carga aplicada (respuesta no lineal) y que recuperan gran parte de esta pérdida de módulo al retirar la carga. Esto explica la gran pérdida de módulo que presentan estos materiales al inicio del ensayo (fase I) y como recuperan su módulo (healing) al retirar la carga.

En este artículo se muestra este comportamiento de las mezclas bituminosas a partir de la comparación de los ensayos convencionales de barrido de tiempo y la aplicación de un nuevo ensayo de barrido de deformaciones puesto a punto en el Laboratorio de Caminos de la UPC, ensayo EBADE. Este nuevo ensayo permite obtener las leyes de fatiga de los materiales bituminosos de una manera más rápida y eficiente. Por último se pone de manifiesto el efecto que tienen la secuencia de cargas y los periodos de reposo entre cargas para aumentar la vida a fatiga de los materiales bituminosos.

Abstract

For evaluating the fatigue resistance of bituminous materials, the same criteria and tests have been used as for other building materials: steel and concrete. It has not been taken into account that these bituminous materials show a viscous (thixotropic) behavior and that this affects the response of the materials under cyclic loading, causing a modulus decrease when the applied load is increased (nonlinear response) and a recovery of great part of this modulus loss when the load is removed. This explains the great modulus loss shown by these materials at the beginning of the test (phase I) and how they can recover their modulus (healing) when the load is removed.

This article shows the behavior of the bituminous mixtures arising from the comparison of the conventional time sweep tests and the application of a new strain sweep test developed at the Road Research Laboratory of the UPC, EBADE test. This new test enables to obtain the fatigue laws of bituminous materials in a faster and more efficient way. Finally, the effects of the load sequence and the rest periods between loads on the increase of the fatigue life of the bituminous materials are exposed.

Nota: Este artículo recoge la conferencia impartida por el autor en la Universidad Tecnológica Metropolitana de Chile. En ella se presenta un resumen del trabajo de investigación realizado en el Laboratorio de Caminos de la UPC por los profesores Félix Pérez, Rodrigo Miro, Adriana Martínez y Ramón Botella. El profesor Botella realizó su tesis doctoral dentro de esta línea de investigación y actualmente lo está realizando la ingeniera Teresa López.

1. Presentación

En la caracterización de la resistencia a la fisuración por fatiga de los materiales bituminosos apenas se han tenido en cuenta las características reológicas especiales que tienen estos materiales; y se ha intentado aplicar los mismos procedimientos de ensayo y los mismos criterios que se usan para otros materiales más elásticos, rígidos y frágiles, como es el caso de los metales y hormigones. El procedimiento habitual de caracterización de todos estos materiales es el de aplicar, en un ensayo de tracción-compresión o de flexotracción, una sollicitación cíclica de amplitud constante y esperar el fallo del material. En el caso de los materiales elásticos y rígidos se observa un deterioro continuo y progresivo de las características mecánicas del material durante el ensayo, hasta que se produce una rotura más o menos brusca, con lo que no hay grandes problemas para determinar el número de ciclos que produce su fallo. No es este el patrón de comportamiento de los materiales bituminosos, especialmente de los más dúctiles y flexibles-betunes o mezclas con betunes modificados-. Cuando se ensaya un material bituminoso se observa en primer lugar una caída muy acusada de sus características mecánicas en los primeros ciclos del ensayo. Luego esta caída se reduce notablemente, para hacerse más o menos lineal con el número de ciclos y llegar finalmente a una caída más acentuada de sus propiedades. El proceso de fatiga de los materiales bituminosos se asocia fundamentalmente con la parte lineal del deterioro, fase II. La fase I, pérdida brusca de características mecánicas, solo se tiene en cuenta para establecer las características iniciales del material; pero no se analiza la naturaleza de esta caída, que se asocia de forma no concreta a diferentes motivos: tixotropía, adaptación de los materiales a las mordazas y al ensayo, no linea-

lidad, etc. La fase III tampoco es fundamental en el ensayo, pues estos materiales se considera que fallan cuando sus propiedades mecánicas se reducen al 50% de las iniciales, y esto ocurre con frecuencia en la fase II. El introducir este criterio de fallo es debido a que la rotura de estos materiales es dúctil; a veces no se aprecia la caída brusca de la fase III, y es difícil establecer dónde se produce este fallo de no recurrir al criterio cuantitativo antes indicado. Este criterio hace, Figura 1, que en el ensayo de algunas mezclas o betunes se establezca su fallo en la fase II, cuando falta un número de ciclos muy grande para llegar a su fallo. [3], [8] y [11].

Otro fenómeno que se presenta al ensayar estos materiales, que no suele ocurrir en el caso de los metales y hormigones, es la recuperación de sus propiedades mecánicas al poco tiempo de detenerse el ensayo. Esto ha llevado a muchos autores a hablar del "self-healing", autorreparación de los materiales bituminosos. Las microfisuras que se supone que se producen durante el proceso de fatiga se cierran total o parcialmente debido a las características especiales de estos materiales. [12] y [9].

Realmente la fuerte caída de módulo que se produce en la fase I de los ensayos de los materiales bituminosos, y su recuperación durante los periodos de reposo, pueden ser comprendidos

de una forma más sencilla y natural si se tiene en cuenta la respuesta tixotrópica de estos materiales, la energía disipada y su cambio de temperatura interna durante el ensayo. En este artículo se recoge el análisis llevado a cabo por el Laboratorio de Caminos de la UPC, a partir de la implementación de un nuevo ensayo de fatiga de barrido de deformaciones, ensayo EBA-DE, y la comparación de los resultados obtenidos en este ensayo con los de barrido de tiempo sobre los mismos materiales. El análisis de estos resultados ha llevado a una serie de conclusiones, que cuestionan cómo se están realizando o aplicando estos ensayos en el dimensionamiento de las capas bituminosas de los firmes flexibles.

En este análisis se ha tenido muy en cuenta la energía disipada en cada ciclo de carga, tanto en los ensayos de barrido de tiempo como de deformación, y la relación que hay entre este parámetro y el deterioro de los materiales bituminosos, lo que ha proporcionado una nueva visión sobre las respuesta de los materiales bituminosos en los ensayos bajo cargas cíclicas. Como resultados más importantes de este estudio, que se muestran a continuación, cabe destacar:

- No se debe diferenciar en los ensayos de fatiga la fase I de la fase II. Es un proceso continuo que está relacionado con la pérdida de energía disipada en cada ciclo de carga.

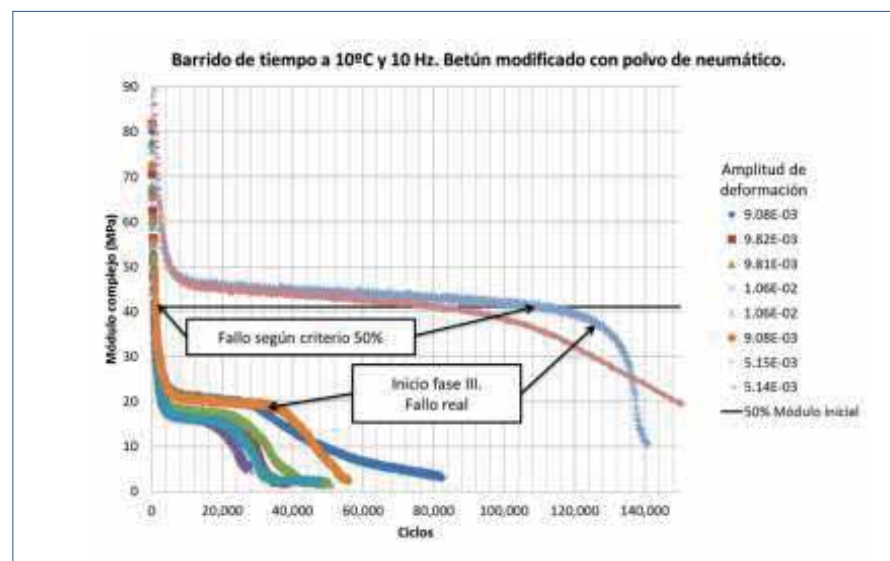


Figura 1. Curvas de deterioro de los materiales bituminosos. Fases del ensayo y criterio de fallo.

- La magnitud del descenso que experimenta el módulo en la fase inicial del ensayo está relacionada con el nivel de deformación aplicado. Respuesta no lineal de los materiales bituminosos.
- La respuesta de estos materiales en los ensayos cíclicos varía al cambiar el nivel de la deformación aplicada. Esto hace que recuperen sus propiedades mecánicas al disminuir la deformación aplicada o al detener el ensayo (self-healing). No obstante, si se continúa el ensayo se puede llegar a la fase III y al fallo del material, dependiendo del nivel de deformación aplicado.
- El ensayo EBADE permite estimar los niveles de deformaciones que no produciría ningún tipo de deterioro, y los que causarían su rápido fallo en ensayos clásicos de barrido de tiempo. Esto permite estimar la ley de fatiga de forma más rápida y eficiente.
- En el ensayo de betunes con el proceso EBADE se ha podido medir el aumento de temperatura que se produce en su interior durante el proceso de fatiga. Esto lleva a considerar esta variación interna de la temperatura como un factor que explica el proceso de deterioro de los materiales bituminosos en los ensayos de fatiga, así como su recuperación al cambiar el nivel de deformación aplicada o detener el ensayo.

la deformación aplicada va aumentando progresivamente cada 5000 ciclos. Este ensayo ha sido implementado por el Laboratorio de Caminos de la UPC en dos modalidades de ensayo, una para la caracterización de betunes y otro para mezclas bituminosas.

En el caso de betunes el ensayo se aplica sobre probetas cilíndricas de betún de 20 mm de diámetro y 40 mm de altura que se adhieren con un pegamento especial a dos soportes colocados en la prensa dinámica, uno de ellos en su placa de base y el otro en el actuador. La deformación inicial aplicada es de 760 $\mu\text{m}/\text{m}$, que se van aumentando cada 5000 ciclos en esta magnitud, la frecuencia de la carga cíclica aplicada es de 10 Hz. El ensayo se realiza dentro de una cámara climática a temperatura constante. La temperatura normal en los ensayos de betunes es de 10°C, aunque se han realizado ensayos de betunes en un rango más amplio de temperaturas entre -10 y 20°C. En el ensayo se controla el desplazamiento vertical del pistón de la prensa para que este aplique sobre la probeta el rango de deformaciones mencionado. [4].

El ensayo sobre mezcla se realiza sobre probetas prismáticas de aproximadamente 50x50 mm de base y 60 mm de altura. Estas probetas tienen una ranura en su parte media con el fin de inducir la fisuración de la probeta en su parte central. En este caso la carga cíclica aplicada es también de 10Hz. Se parte de una deformación inicial de 25 $\mu\text{m}/\text{mm}$, que se va aumentando cada 5000 ciclos. La probeta va agarrada por unas placas

y mordazas especiales a la prensa y el ensayo se controla mediante un extensómetro. El ensayo se realiza normalmente a 20°C, aunque se han realizado ensayos en un mayor rango de temperaturas, -15 a 35°C. [6] En la Figura 2 aparece las fotos del ensayo EBADE en los que se pueden apreciar la forma de ensayo y de las probetas en las dos modalidades.

En el análisis de los resultados de estos ensayos se ha tenido muy en cuenta la energía disipada en cada ciclo. Los materiales bituminosos presentan una respuesta viscosa y se produce un desfase entre la tensión y la deformación aplicada, Figura 3a. Esto da lugar a un ciclo de histéresis en el plano tensión-deformación, cuya área es directamente proporcional a la energía disipada en cada ciclo.

$$W_{\text{disipada}} = \Pi \cdot \sigma \cdot \epsilon \cdot \sin\phi = \text{F} (\text{Área Circulo Histéresis}) \cdot c$$

Como resultado del ensayo EBADE se obtiene en primer lugar la evolución de la tensión con los ciclos para cada nivel de deformación, Figura 3b. En esta figura se observa como la tensión aumenta al inicio con el nivel de deformación y disminuye dentro de cada escalón de deformación con el número de ciclos. Al ir aumentando el nivel de deformación se llega a un máximo de la tensión y esta empieza a caer tanto al aumentar el nivel de deformaciones como el número de ciclos. A partir de la medida de la tensión se obtiene la evolución del módulo con cada ciclo dentro de cada nivel de deformación, Figura 3c. En este

2. Ensayo EBADE

El ensayo EBADE es un ensayo cíclico de tracción-compresión en que

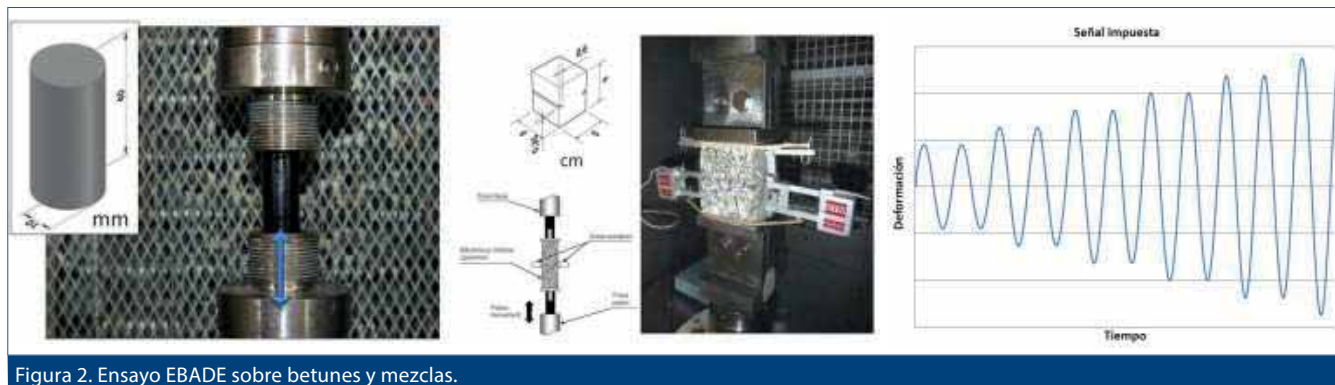


Figura 2. Ensayo EBADE sobre betunes y mezclas.

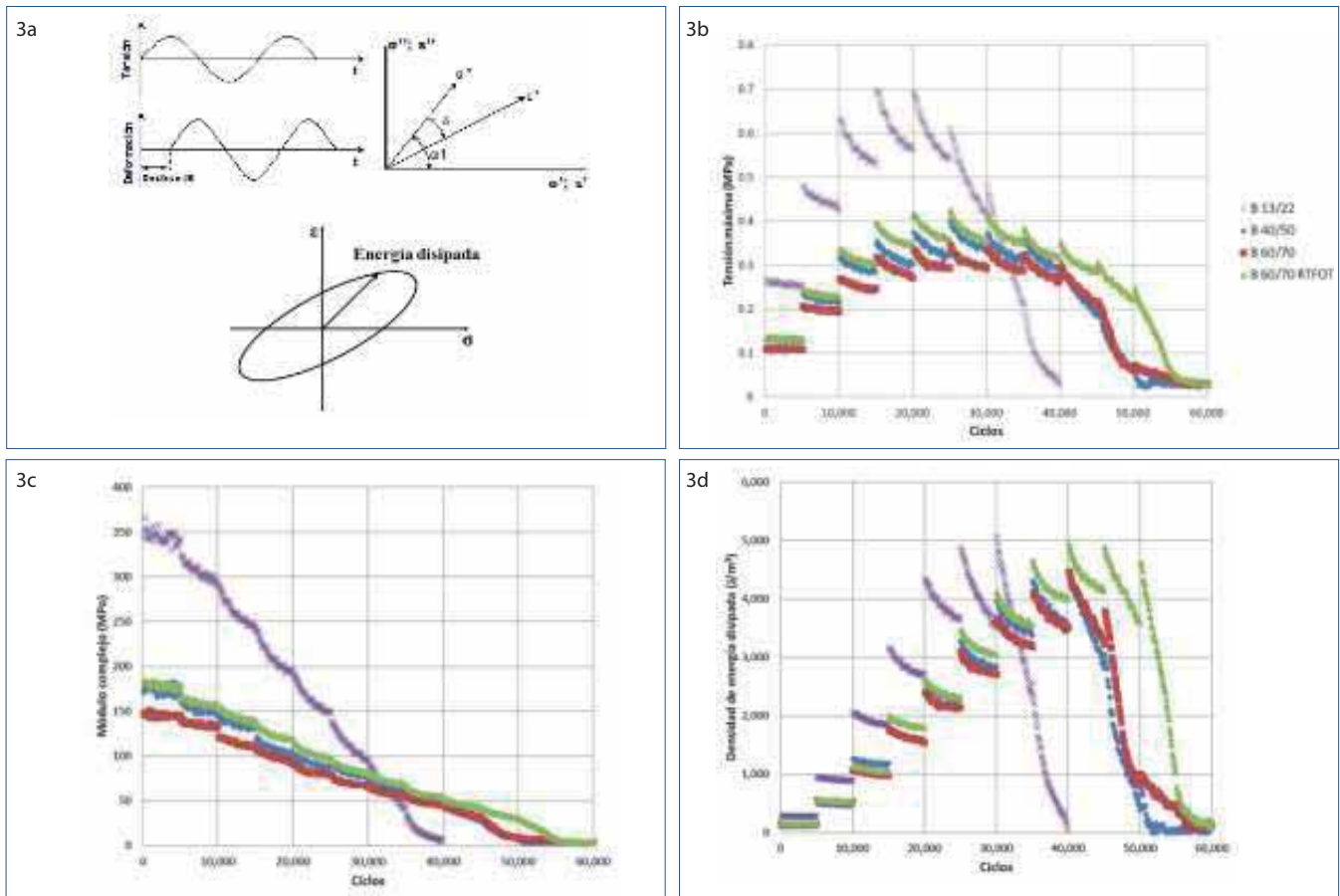


Figura 3. Resultados del ensayo EBADE aplicado a la caracterización de cuatro betunes

caso se observa que el módulo siempre decrece tanto al aumentar el nivel de deformación como con cada ciclo.

Por último, se ha representado también la evolución de la energía disipada, Figura 3d. Esta aumenta con cada escalón de deformación y disminuye con cada ciclo de carga. Sin embargo, en los últimos ciclos, la energía ya no aumenta con el nivel de deformación y se produce una brusca caída con cada ciclo de carga. Esta brusca caída de la energía disipada se asocia al fallo del material. La deformación de fallo se asocia con el nivel de deformación en que la energía disipada desciende por debajo del 50% del valor máximo de energía registrada durante el ensayo.

Como parámetros más significativos del ensayo se consideran el módulo inicial y la deformación de fallo. Así los resultados recogidos en esas figuras muestran que hay un betún duro B13/22 con un alto módulo y baja deformación de fallo, que apenas hay diferencia en la respuesta

de los betunes B40/50 y B60/70, similares módulos y el mismo nivel de deformación de fallo, y que el betún modificado presenta un módulo inicial ligeramente más bajo pero su deformación de fallo es sensiblemente más alta.

3. Energía disipada y deterioro mecánico de la mezcla. Ensayos de barrido de tiempo y barrido de deformaciones.

Al aplicar el ensayo EBADE en la caracterización de materiales bituminosos una de las cuestiones que se planteaba era si el ensayo de barrido de deformaciones podía modificar la respuesta de los materiales bituminosos frente a los ensayos de barrido de tiempo. Si, por ejemplo, el ensayo de barrido de deformaciones podría dar lugar a una deformación plástica de la probeta y produciría su fallo en una deformación más alta. Por ello se llevaron a cabo sobre los mismos ma-

teriales bituminosos-betunes o mezclas-ensayos de barrido de tiempo y barrido de deformaciones, comparando sus resultados. En la Figura 4 se han recogido los resultados de ambos tipos de ensayo para un betún B60/70. [5].

Los ensayos de barrido de tiempo presentan una caída del módulo al principio, tanto mayor cuanto más alta es la deformación aplicada, y posteriormente un tramo más o menos horizontal. Salvo en los dos ensayos realizados con un mayor nivel de deformación, donde se produce al final del ensayo una caída importante del módulo, fase III. El ensayo de barrido de deformaciones es una única curva que representa la caída del módulo con cada nivel de deformación y con los ciclos de carga aplicados en cada nivel de deformación.

Al comparar los resultados se aprecia claramente que para el mismo nivel de deformación el ensayo de barrido de deformaciones tiende a superponerse a la curva obtenida en el barrido de tiempo. Es decir:

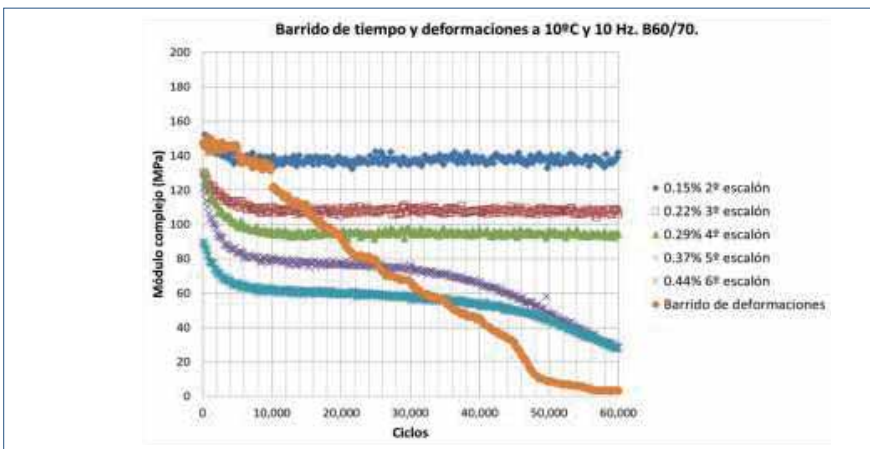


Figura 4. Resultados ensayos de barrido de tiempo y deformaciones (EBADE) sobre un betún B60/70

que la respuesta que presenta un material bituminoso al inicio de la fase II de los ensayos de fatiga depende básicamente del nivel de deformación aplicada. El material va cambiando su rigidez en el ensayo de barrido de deformaciones, adaptándose de forma progresiva al nivel de deformaciones aplicado, mientras que en el ensayo de barrido de tiempo se produce una caída brusca en la fase I para adaptarse lo antes posible al nivel de deformación aplicado.

La igualdad de respuesta de estos materiales para el mismo nivel de deformaciones puede apreciarse también en la Figura 5, donde se ha representado para cada nivel de deformación la relación entre el módulo y la energía disipada. [3]. Al representar los resultados del barrido de deformaciones se obtienen unas líneas rectas cuyas pendientes aumentan

con el nivel de deformación. Los resultados de los ensayos de barrido de tiempo se superponen con los de barrido de deformaciones para el mismo nivel de deformación. Además, los resultados que corresponden a la fase I y fase II en el barrido de tiempo se encuentran en la misma línea recta para el mismo nivel de deformaciones. El cambio de la rigidez del material obedece en ambos casos a la energía disipada. No habría que asociar los resultados de los ensayos de fatiga en fase I y fase II a diferentes mecanismos de deterioro, ya que ambos están asociados con la evolución de la energía disipada durante el proceso. En la fase I pasa el material de estar en reposo a tener que disipar una elevada energía, lo que hace bajar rápidamente su rigidez, hasta llegar a un nivel en que tanto la variación de la energía disipada por ciclo como la del módulo, es más pequeña, fase II.

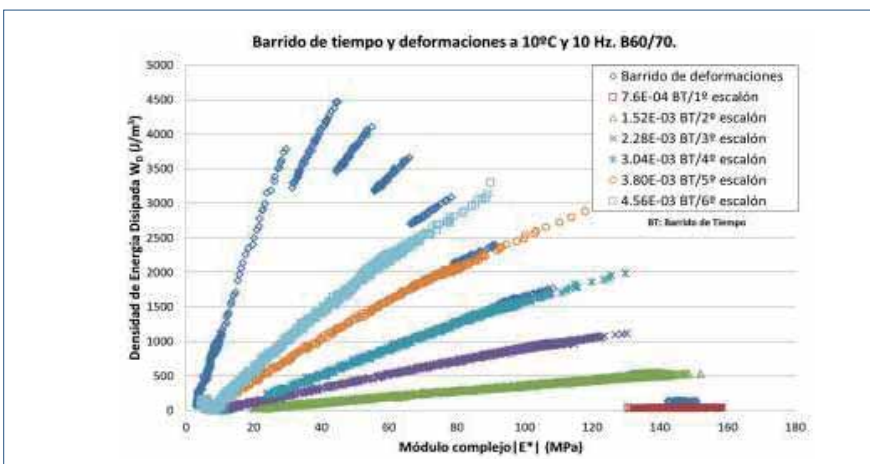


Figura 5. Relación entre la variación del módulo y de la energía disipada en los ensayos de barrido de tiempo y de deformaciones, para el mismo nivel de deformaciones

4. El efecto de la disminución de las solicitaciones aplicadas y periodos de reposo

Al observar en la figura 4 la superposición de la evolución del módulo en ambos tipos de ensayos, se concluye que, el módulo que adopta el material depende fundamentalmente del estado de sollicitación al que está sometido. No importa el camino seguido, ni el número de aplicaciones de carga, sino el estado de sollicitación aplicado. Por tanto, podría desaparecer el deterioro observado, si se entiende éste como una disminución de la rigidez, al reducir o eliminar por completo la sollicitación impuesta. Para comprobar hasta qué punto se podría admitir esta hipótesis se hicieron ensayos de barrido de deformaciones en que al principio se iba incrementando los escalones de deformación cada 5000 ciclos y luego se iba disminuyendo estos escalones cada 5000 ciclos también. En la Figura 6 aparecen estos resultados en el caso del ensayo de un betún B40/50 a 10°C. [6]. Se ha repetido dos veces el procedimiento de ensayo mencionado y en ambos casos se ha llegado hasta el quinto escalón. Se observa que al ir subiendo el nivel de la deformación aplicada aumenta la tensión para luego descender con el número de ciclos dentro de cada escalón. En el quinto escalón la pérdida de módulo por ciclo es bastante significativa, (50 % porcentaje del inicial); pero al ir bajando el escalón de deformación el módulo se va recuperando, y al final del último ciclo de este escalón se llega a un módulo similar al inicial. Es decir, lo que a veces consideramos como deterioro por fatiga no es tal, sino que se corresponde con la respuesta tixotrópica del material. El módulo que tiene se corresponde con el nivel de deformación impuesto.

Los materiales tixotrópicos se diferencian de los viscoelásticos, esquema a la derecha de la Figura 6, en que en estos al reducir la deformación aplicada

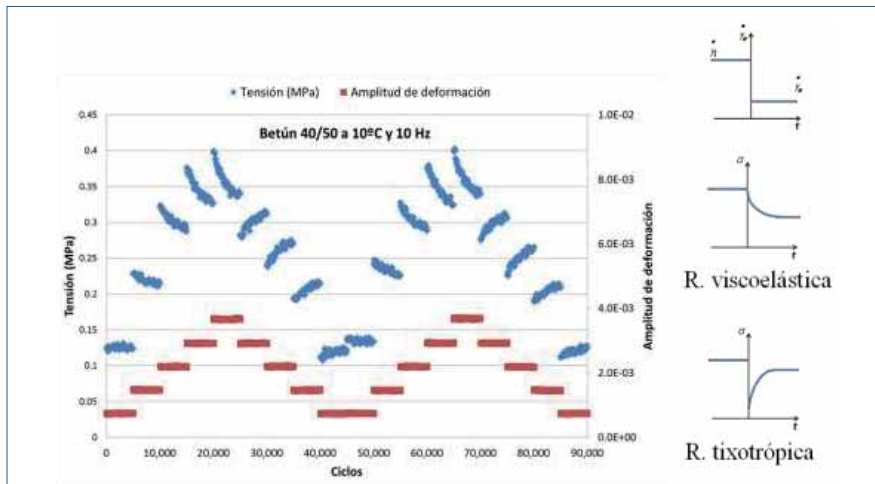


Figura 6. Ensayo EBADE con barridos ascendentes y descendentes de deformación



Figura 7. Modelo de inercia mecánica de los ciclos para los betunes

la tensión a la que está sometido el material disminuye progresivamente. Mientras que en los tixotrópicos se produce una pérdida notable de la tensión y luego esta aumenta hasta llegar a una tensión de equilibrio. Esto

es claramente lo que ocurre con el betún ensayado al reducir progresivamente los escalones de deformación.

La respuesta mecánica que presentan estos materiales ante la subida y bajada de los escalones de de-

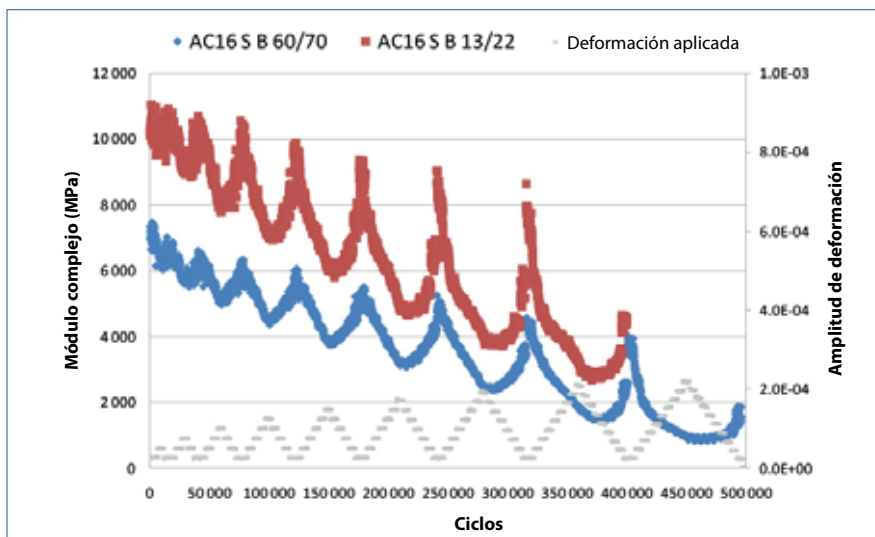


Figura 8. Aplicación del ensayo EBADE con barridos ascendentes y descendentes de deformación hasta rotura

formaciones la podríamos comparar, Figura 7, con lo que ocurre en una bicicleta cuando en llano cambiamos a un piñón con más dientes porque deseamos reducir la velocidad. Apreciamos al principio que disminuye bruscamente el esfuerzo que tenemos que dar a los pedales; pero a medida que la bicicleta pierde velocidad e inercia, nuevamente nos tenemos que esforzar con los pedales hasta llegar al nivel de esfuerzo que mantenga constante la nueva velocidad de la bicicleta. Al ser esta menor también lo será el esfuerzo.

Al ensayar un material menos dúctil se aprecia que, al reducir el escalón de deformación, ya no recupera el material todas sus propiedades; y al repetir un nuevo ciclo de carga la resistencia del material baja progresivamente hasta que se produce su fallo, es decir, que también puede haber un deterioro que no se recupera al detener el ensayo o bajar la deformación más bajos. En la Figura 8 se han representado los resultados de una serie de ensayos de barrido ascendente y descendente en lo que se ha ido aumentando el nivel máximo de deformación. [6]. En esta figura se observa como la mayor parte de la pérdida de módulo es por tixotropía; y que este se recupera en su mayor parte al detener el ensayo, para los niveles de deformación. Pero si pasamos a niveles más altos, cerca de la deformación de fallo, la recuperación de propiedades es menor y al final acaba fallando.

Cuando detenemos un ensayo de barrido de tiempo se observa también una recuperación importante de las propiedades del material, pero queda también un daño permanente y el material rápidamente vuelve a este estado de deterioro en cuanto se reanuda el ensayo, Figura 9. No hay, por tanto, una recuperación del daño, "self-healing", sino que lo único que se observa es cómo cambian las propiedades mecánicas del material por tixotropía pero manteniendo el nivel de daño producido. En la Figura 9 se representa los resultados del ensayo

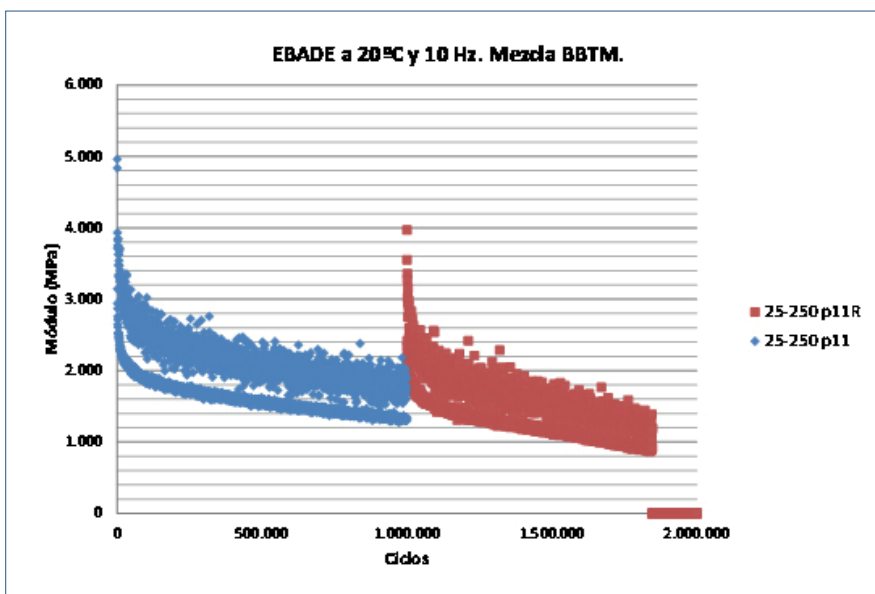


Figura 9. Ensayo de barrido de tiempo para los dos niveles de deformación. Periodo de reposo a los 1,2·10⁶ ciclos

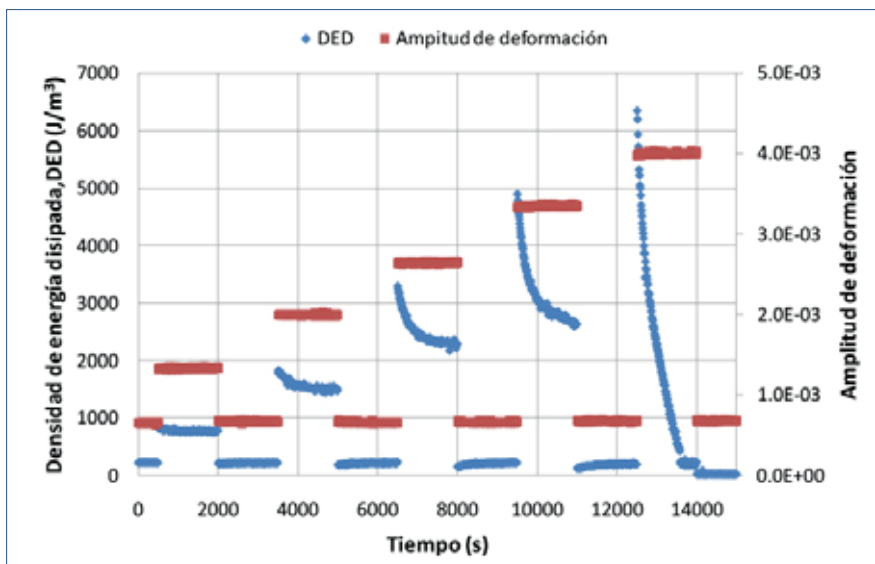


Figura 10. Medida de la energía disipada

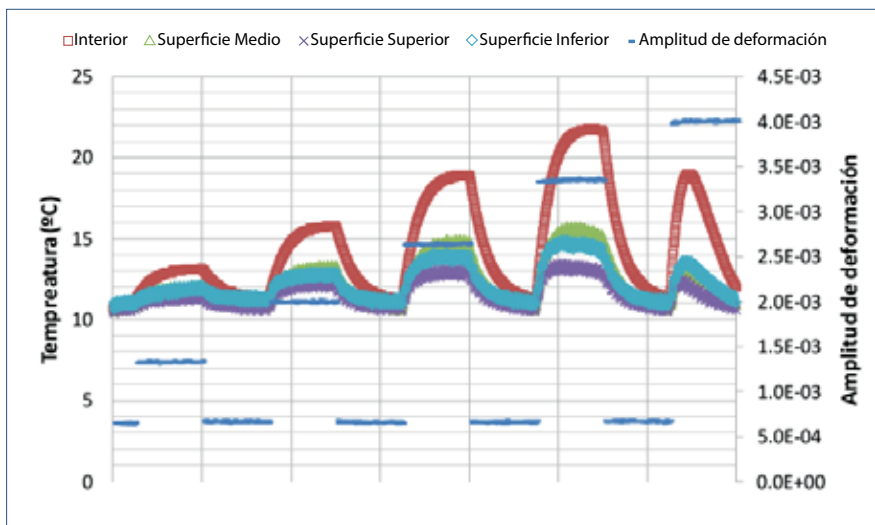


Figura 11. Medida de temperatura

de barrido de tiempo en que se iban intercalando los niveles de deformación cada 5000 ciclos y en el que se detuvo el ensayo durante 8 horas a los 1,2·10⁶ ciclos.

5. Energía disipada e incremento de temperatura

En la realización de algunos ensayos con betunes se han medido los cambios de temperatura que se producen en el interior de la muestra de betún ensayada. Estos ensayos han consistido en realizar un ensayo de barrido de deformaciones pero intercalando entre cada escalón 5000 ciclos a la deformación inicial. En la Figura 10 se representa la variación de la energía disipada durante el ensayo. Se observa cómo esta se incrementa al cambiar cada escalón de deformación y disminuye dentro de los 5000 ciclos del escalón correspondiente. Cuando se regresa al escalón inicial la energía es más baja y se mantiene prácticamente constante. En el último escalón de fallo, la energía decrece bruscamente hasta unos niveles bajos, prácticamente despreciables.

En la Figura 11 se representa la evolución de la temperatura. Se observa que aunque el ensayo se hace en una cámara que mantiene la temperatura a 10°C, la temperatura en el interior de la probeta sube con los escalones de carga para reducirse cuando se vuelve al escalón inicial. Al aumentar la deformación aplicada el incremento de la temperatura es cada vez mayor. Se han registrado temperaturas de 22°C en el interior de la probeta, lo que supone un incremento de 12°C respecto de la temperatura inicial. En el último escalón, aunque se registran niveles altos de energía disipada en más del 50% de los 5000 ciclos aplicados, solo inciden en el aumento de la temperatura de la probeta los ciclos iniciales, y luego se produce un rápido descenso de la temperatura. Esto puede ser debido a que en este escalón la mayor parte de la energía disipada está produciendo la rotura de la muestra y no su calentamiento.

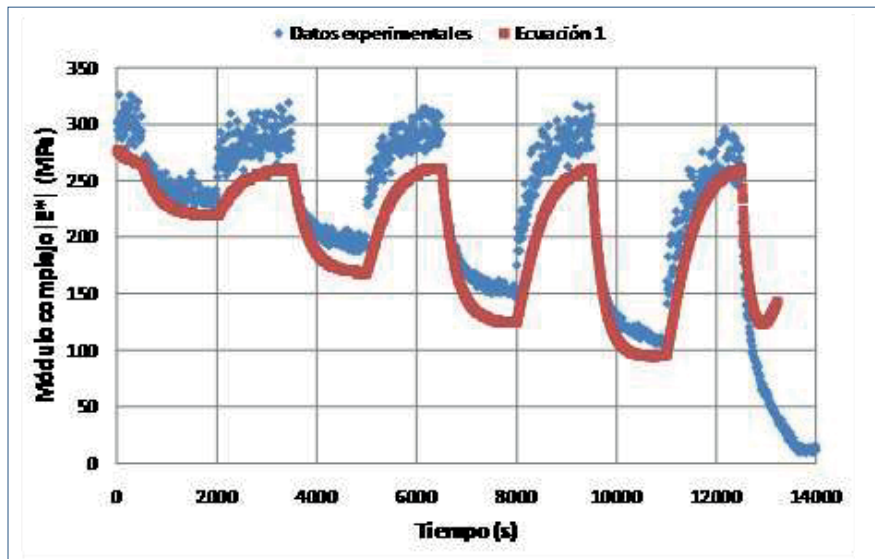


Figura 12. Módulo medido en el ensayo frente al estimado a partir de la temperatura y la curva patrón del betún

De este betún se ha obtenido su curva patrón que relaciona su módulo con la temperatura de ensayo, ecuación [1]. Esto ha permitido transformar la curva de evolución de temperaturas en una curva de módulos y comparar esta nueva curva de evolución de módulo con los módulos medidos durante el ensayo, Figura 12.

$$|E^*| = 780 \cdot 14 \cdot e^{-0.097T} \quad [1]$$

siendo:

$T = \text{Temp } (^{\circ}\text{C})$

$|E^*| = [\text{MPa}]$

Se aprecia una buena similitud y aproximación entre los valores estimados a través de la temperatura y los medidos experimentalmente. De acuerdo con esta gráfica se podría decir que ha sido la variación de temperatura la responsable de los cambios mecánicos y de rigidez observada durante el ensayo. Cuando aumenta la temperatura el módulo disminuye y cuando disminuye la temperatura se recuperan los valores iniciales del módulo de la muestra. Esta variación de temperatura explicaría también la respuesta tixotrópica de los betunes.

Siempre se ha admitido el comportamiento reológico simple de los betunes en que el efecto tiempo o velocidad de aplicación de carga y temperatura son intercambiables. Esto

sería una nueva muestra de este comportamiento, ya que podemos llegar a la misma respuesta mecánica del betún cambiando su temperatura o la velocidad de la deformación aplicada.

6. Aportaciones derivadas del estudio

El amplio estudio realizado en el Laboratorio de Caminos desde el desarrollo del ensayo EBADE ha servido para conocer mejor los mecanismos de deterioro en los ensayos de fatiga, y poner de manifiesto el importante papel que desempeña la energía disipada a lo largo del proceso. También ha tenido una consecuencia de tipo más práctico, implementar un procedimiento que permite estimar las leyes de fatiga de manera más rápida y eficiente. [2]. Otra consecuencia que también ha tenido el estudio es poner de manifiesto la enorme importancia que tiene la secuencia de las cargas aplicadas en los resultados obtenidos. [1]. Esto cuestiona la aplicación de las leyes de fatiga determinadas en ensayos cíclicos continuos para estimar la vida de fatiga de los pavimentos asfálticos, donde la aplicación de cargas tiene otra cadencia y es mucho más lenta, con amplios intervalos de tiempo, en algunos momentos, entre sucesivas aplicaciones de cargas.

6.1. Estimación de la ley de fatiga bajo cargas cíclicas continuas

El estudio realizado pone de manifiesto que la energía disipada tiene una gran incidencia en el proceso de fatiga. Esta energía es capaz de cambiar la temperatura en el interior de la muestra ensayada y producir en algunos casos su fallo.

Se observa que este fallo ocurre cuando la energía disipada va siempre decreciendo a lo largo del ensayo. Existen escalones en que la energía disipada se mantiene constante, aunque puede dar lugar a un cambio de módulo como consecuencia del aumento de la temperatura.

Esto puede observarse en la Figura 5, donde se ha representado la evolución del módulo respecto a la energía disipada para diferentes escalones de deterioro. En ella aparecen los resultados de los ensayos de barrido de tiempo, y se observa que solo fallan los que presentan una cierta pendiente en la relación energía-módulo. En estos casos, la energía disipada, bien por aumentar la temperatura o por microfisuración, va bajando el módulo y, por tanto, la energía disipada en el siguiente ciclo. Si continua este proceso iterativo se produce el fallo, con una caída más brusca del módulo hasta llegar a valores muy bajos.

Esto nos ha llevado a seleccionar, en los ensayos de barrido de deformaciones, dos escalones de deformación: uno que asociamos al no fallo, $\epsilon_{\text{no fallo}}$, en el que la energía disipada se mantiene constante; y otro al fallo rápido, $\epsilon_{\text{fallo rápido}}$, que se asocia con el escalón anterior al del fallo del material en el ensayo EBADE. Asociando estas dos deformaciones con los niveles de ciclos abajo reseñados, se ha implementado un procedimiento para estimar las leyes de fatiga de materiales bituminosos bajo cargas cíclicas. [2].

$\epsilon_{\text{no fallo}}$: 10^7 aplicaciones de carga. Para esta deformación la mezcla soportaría infinitas aplicaciones de carga. Se ha considerado un número muy superior a la que suele ocurrir el

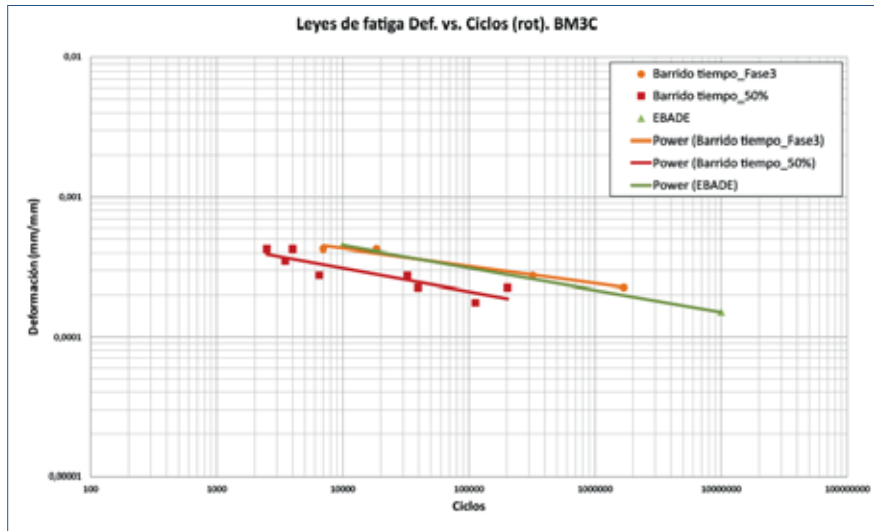


Figura 13. Leyes de fatiga estimadas por el procedimiento convencional y ensayo EBADE

fallo en los ensayos de laboratorio, entre 20 000 y $2 \cdot 10^6$ ciclos.

$\epsilon_{\text{fallo rápido}}$: 10^4 aplicaciones de carga. En ese escalón el material supera las 5000 aplicaciones de carga, aunque con un deterioro muy notable. En el siguiente escalón falla.

Las leyes así obtenidas, Figura 13, muestran una excelente similitud con las obtenidas en los ensayos de fatiga de barrido de tiempo, cuando se establece su fallo en la Fase III y no para el 50% de pérdida de tensión. Parecen más adecuadas estas leyes para caracterizar estos materiales que las usadas actualmente, ya que parten del fallo real del material y no del criterio del 50%. Por otra parte, el aplicar este procedimiento resultaría mucho más rápido y es una buena estimación de la respuesta de estos materiales.

6.2. Cadencia de las aplicaciones de carga

Otro de los fenómenos observados en el estudio es la rápida caída de módulo que experimentan estos materiales en los primeros ciclos de carga, y cómo se recupera esta pérdida de módulo al descender la deformación impuesta o detener el ensayo. Esto hizo pensar en que la secuencia de aplicación de carga podría tener un gran efecto en el proceso de deterioro. Se pueden aplicar las cargas de

forma continua y entrar en una fase de deterioro progresivo, o bien detener el ensayo, recuperarse el material, y volverlo a cargar controlando el deterioro. Si se deja un periodo entre ciclos de cargas y el deterioro de los nuevos ciclos no supera la recuperación habida, el material puede tener una vida mayor.

El efecto que puede tener la cadencia de las aplicaciones de carga se ha analizado en diferentes tipos de mezclas y en estos ensayos se ha podido observar como al aplicar un nivel de deformación de 200 $\mu\text{m/m}$ que produce el fallo de la mezcla en 100 000 ciclos de carga cuando se aplica de forma continua, no se llega a la rotura del ma-

terial aplicando una serie de 200 ciclos de este mismo nivel de deformación e intercalando un reposo de 10 minutos entre ciclos, Figura 14.

Aunque la secuencia de carga puede que no sea la habitual de una carretera, el periodo de reposo o el número de cargas seguidas aplicadas puedan ser excesivos; los resultados de los ensayos muestran el importante efecto que tiene la alternancia de los periodos de reposo y carga.

De acuerdo con estos resultados no parece que las leyes de fatiga obtenidas a partir de ensayos cíclicos continuos de fatiga puedan ser aplicadas directamente en el cálculo de la vida a fatiga de los firmes, como se hace hoy día en los métodos analíticos: habría que considerar cómo es la secuencia de cargas. Por otra parte, tampoco se podría usar la ley de Miner para la suma de deterioros, ya que esto supone un deterioro asociado a cada aplicación de carga.

$$D = \sum d_i = \sum n_i / N_i$$

donde:

d_i : deterioros por las cargas tipo i

n_i : número de cargas tipo i

N_i : número de cargas tipo i para producir el fallo

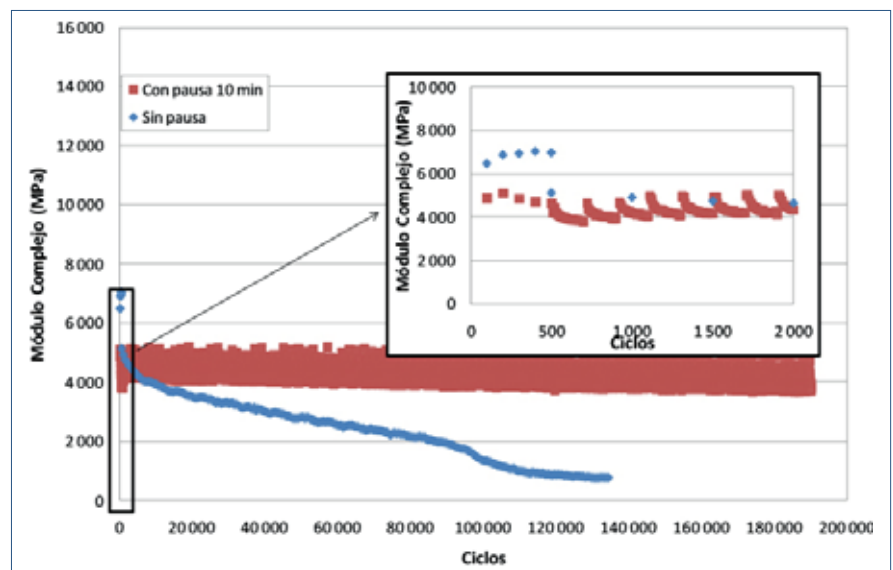


Figura 14. Proceso de fatiga bajo cargas cíclicas continuas o con periodo de reposo cada 200 ciclos

Estos resultados cuestionan ambos supuestos, ya que no se puede asociar un deterioro con una carga: este es el inverso del número de ciclos que aguanta esta carga en los ensayos de fatiga, N_f , 200 000 o infinito según la secuencia de cargas. Ni tampoco hay una suma continua de deterioros, cuando hay periodos de reposos entre ciclos de carga. En este caso desaparece el deterioro del ciclo anterior.

Conclusiones

Los estudios realizados en el Laboratorio de Caminos de la UPC sobre la respuesta de los materiales bituminosos bajo cargas cíclicas han servido para poder profundizar en el proceso de deterioro que va apareciendo, en estos materiales, al ir cambiando sus características en función de la energía disipada en cada ciclo. En este estudio se han deducido las siguientes conclusiones.

- No se debe diferenciar en los ensayos de fatiga la fase I de la fase II. Es un proceso continuo que está relacionado con la pérdida de energía disipada en cada ciclo de carga.
- La magnitud del descenso que experimenta el módulo en la fase inicial del ensayo está relacionado con el nivel de deformación aplicado. Respuesta no lineal de los materiales bituminosos.
- La respuesta de estos materiales en los ensayos cíclicos varía al cambiar el nivel de la deformación aplicada. Esto hace que recuperen sus propiedades mecánicas al disminuir la deformación aplicada o al detener el ensayo (self-healing). No obstante, si se continúa el ensayo se puede llegar a la fase III y al fallo del material, dependiendo del nivel de deformación aplicado.
- El ensayo EBADE permite estimar los niveles de deformaciones que no llegan a producir ningún tipo de deterioro, y los

que producen su rápido fallo. Esto permite estimar la ley de fatiga de forma más rápida y eficiente.

- En el ensayo de betunes con el proceso EBADE se ha podido medir el aumento de temperatura que se produce en su interior durante el proceso de fatiga. Esto lleva a considerar esta variación interna de la temperatura como un factor que explica el proceso de deterioro de los materiales bituminosos en los ensayos de fatiga, así como su recuperación al cambiar el nivel de deformación aplicada o detener el ensayo.

Al aplicar en los métodos analíticos las leyes de fatiga obtenidas en ensayos continuos obtendríamos unos valores mínimos para la vida de fatiga del firme. En el firme, el proceso de aplicación de cargas no es continuo y, como se ha puesto de manifiesto, cualquier periodo de reposo dará lugar a una recuperación y a un aumento de la vida del firme.

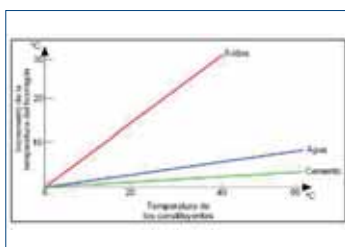
Bibliografía

- [1] Pérez-Jiménez, F., Botella, R., López-Montero, T., Miró, R., Martínez, A.H.; *Complexity of the behaviour of asphalt materials in cyclic testing. International Journal of Fatigue*, 98, pp. 111-120; 2017.
- [2] Botella, R., Pérez-Jiménez, F.E., Miro, R., Martínez, A.H.; *New methodology to estimate the fatigue behavior of bituminous mixtures using a strain sweep test. Construction and Building Materials*, 135, pp. 233-240; 2017.
- [3] Pérez-Jiménez, F.E., Botella, R., Miró, R., Martínez, A.H.; *Analysis of the thixotropic behavior and the deterioration process of bitumen in fatigue tests. Construction and Building Materials*, 101, pp. 277-286; 2015.
- [4] Botella, R., Pérez-Jiménez, F.E., Miró, R.; *Application of a strain sweep test to assess fatigue beha-*

viour of asphalt binders. Construction and Building Materials, 36, pp. 906-912; 2012.

- [5] Pérez-Jiménez, F., Botella, R., Miró, R.; *Damage and thixotropy in asphalt mixture and binder fatigue tests. Transportation Research Record*, (2293), pp. 8-17; 2012.
- [6] Pérez-Jiménez, F.E., Botella, R., Miró, R.; *Differentiating between damage and thixotropy in asphalt binder's fatigue tests. Construction and Building Materials*, 31, pp. 212-219; 2012.
- [7] Pérez-Jiménez, F., Valdés, G., Miró, R., Botella, R., Campana, J.M.; *Effect of thermal stresses on fatigue behavior in bituminous mixes. Transportation Research Record*, (2210), pp. 90-96; 2011.
- [8] Pérez-Jiménez, F.; Miró, R.; Martínez, A.; Botella, R.; Reyes, O.; Valdés, G.; *False failure in flexural fatigue tests. 4PBB Workshop. Proceedings of the 2nd Workshop Four Point Bending Beam*. pp. 47-57; 2009.
- [9] Mangiafico, S., Sauzéat, C., Di Benedetto, H., Pouget, S., Olard, F., Planque, L.; *Quantification of biasing effects during fatigue test on asphalt mixes: Non-linearity, self-heating and thixotropy. Asphalt Paving Technology: Association of Asphalt Paving Technologists-Proceedings of the Technical Sessions*, 84, pp. 143-180; 2015.
- [10] Hintz, C., Velasquez, R., Johnson, C., Bahia, H.; *Modification and validation of linear amplitude sweep test for binder fatigue specification. Transportation Research Record*, (2207), pp. 99-106; 2011.
- [11] Di Benedetto, H., De la Roche, C., Baaj, H., Pronk, A., Lundström, R.; *Fatigue of bituminous mixtures. Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, 37 (267), pp. 202-216; 2004.
- [12] Kim, Y.-R., Little, D.N., Lytton, R.L.; *Fatigue and healing characterization of asphalt mixtures. Journal of Materials in Civil Engineering*, 15 (1), pp. 75-83; 2003. ❖

Análisis y prevención de la fisuración a edad temprana en losas de hormigón de pavimento mediante HIPERPAVE



Analisis and prevention of cracking at early age in pavement concrete slabs using HIPERPAVE

Jesús Díaz Cuevas

*Dr. Ingeniero de Materiales e Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Isolux Corsan*

Resumen

En este artículo se analizan la necesidad y adecuación del diseño del hormigón y las condiciones de puesta en obra para la prevención del riesgo de fisuras a edad temprana. El diseño del hormigón y la puesta en obra deben adaptarse a los cambios de las condiciones climáticas que el pavimento soportará en las primeras horas, pues son de especial importancia para la aparición de fisuras por retracción. En este artículo se analiza, mediante el software HIPERPAV III, un pavimento de losas de hormigón no armado de la Instrucción 6.1 "Secciones de Firme", elaborado con cementos de la misma resistencia pero con diferente calor de hidratación y contenido de alúmina. Expuestos a condiciones meteorológicas opuestas. Analizando los efectos que conllevaría una elección inadecuada de los componentes o de su puesta en obra.

Abstract

This article discusses the need and adequacy of PCC design and circumstances for starting work, to prevent the risk of cracks at an early age. They must be adapted to changes in the climatic conditions the pavement will withstand in the first hours, since they are of special importance for the appearance of shrinkage cracks. In this article, a plain concrete slab pavement according to Standard 6.1 "Secciones de Firme", is analyzed using the HIPERPAV III software. Made with cements of the same strength but with different hydration heat and alumina content. Exposed to opposite meteorological conditions. Analyzing the effects that would lead to an inadequate choice of components or their start work.

1. Introducción

En este trabajo se analiza un pavimento de firme de hormigón de cemento Portland con una resistencia a flexotracción a 28 días de 4,5 MPa, con un espesor de losa de 25 cm y juntas cada 5 m, sección 134 de la Instrucción 6.1 [16]. Se diseñan dos hormigones iguales, pero con cementos diferentes. El primer hormigón contiene un cemento tipo I, según AASHTO M-85 [17], con una resistencia a compresión a 28 días de 42,5 N/mm². El segundo hormigón contiene un cemento tipo V, según AASHTO M-85 y con la misma resistencia a compresión. Ambos cementos se diferencian principalmente en el calor de hidratación y contenido de alúmina inferior en el tipo V, denominado también sulfurresistente. Ambos diseños se exponen a dos escenarios meteorológicos opuestos. En el primer escenario se simula una puesta en obra en invierno y en el segundo una puesta en obra en verano. El análisis se lleva a cabo mediante el software HIPERPAV III validado por el U.S. Department of Transportation de la FHWA, a través del cual se introducen los parámetros de diseño del pavimento, dosificación del hormigón, puesta en obra y ante todo la meteorología a la que se enfrentará el pavimento durante las siguientes 72 h, en el análisis a edad temprana. Evaluando, entre otros parámetros, la ganancia de la resistencia

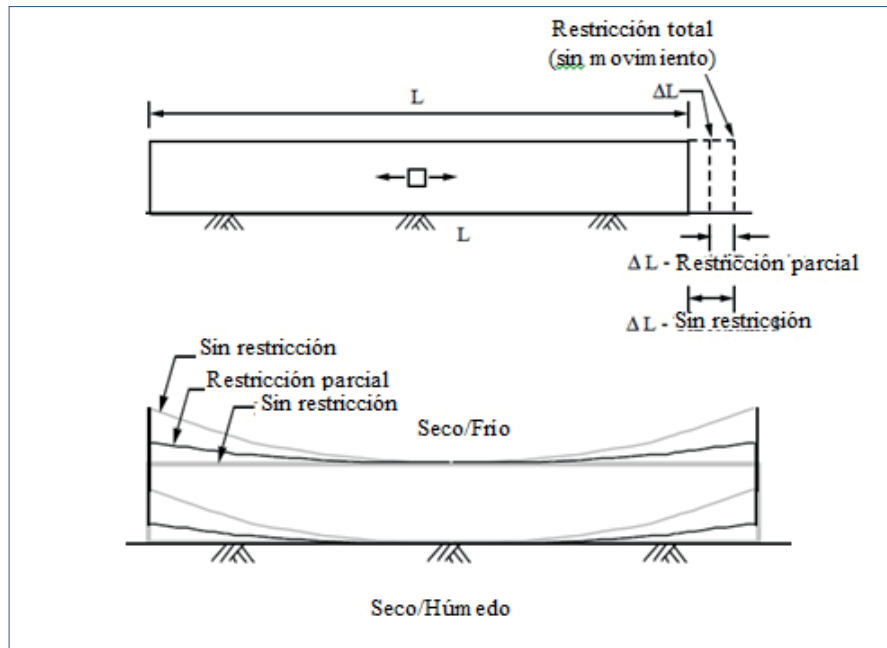


Figura1. Deformaciones horizontales y verticales en el periodo crítico

a tracción del hormigón ($f_c(t)$) y el aumento de las tensiones críticas ($\sigma(t)$): si éste supera a la primera se puede provocar la fisuración del pavimento en zonas no controladas, según la expresión (1). Teniendo establecidas las tensiones críticas y cuando se producen, se puede adaptar el tipo de diseño del hormigón o puesta en obra para que estas tensiones no superen la resistencia del hormigón y por tanto paliar las fisuras.

Las tensiones críticas se componen de: tracciones-compresiones por pandeo, debidas al efecto térmico (positivo o negativo), retracción y relajación por fluencia indicada en la expresión (2) y establecida en la Figura 1.

$$\sigma(t) \geq f_c(t) \tag{1}$$

$$\sigma = f(\pm \sigma_{axial} \pm \sigma_{pandeo} \pm \sigma_{retracc} \pm \sigma_{fluec}) \tag{2}$$

El periodo crítico abarca la zona de transición, tras la fase plástica hasta la ganancia de rigidez del hormigón o zona de comienzo de mayor adquisición de propiedades mecánicas, como se aprecia en la Figura 2 (izquierda) (Mehta y Monteiro) [1]. En la misma figura (derecha), el comienzo de la ganancia de resistencia se establece en la rampa de subida de la temperatura de la losa, debida a la formación, principalmente, de C-S-H (silicato cálcico hidratado) y CH (hidróxido cálcico).

Por ello, si al aumento de las temperaturas del hormigón de carácter

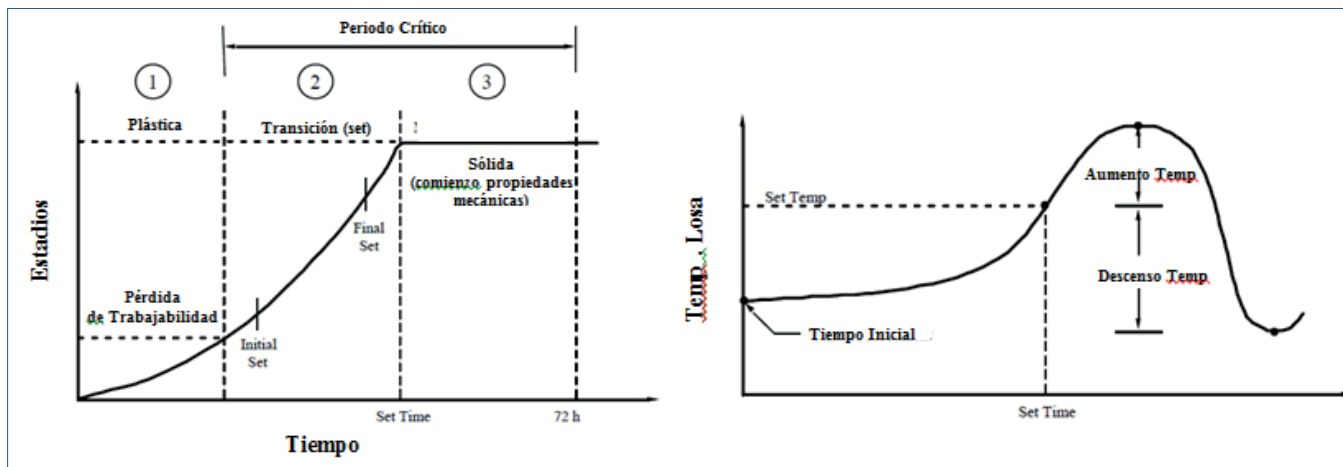


Figura2. Evolución de los cambios de fase en el hormigón y periodo crítico

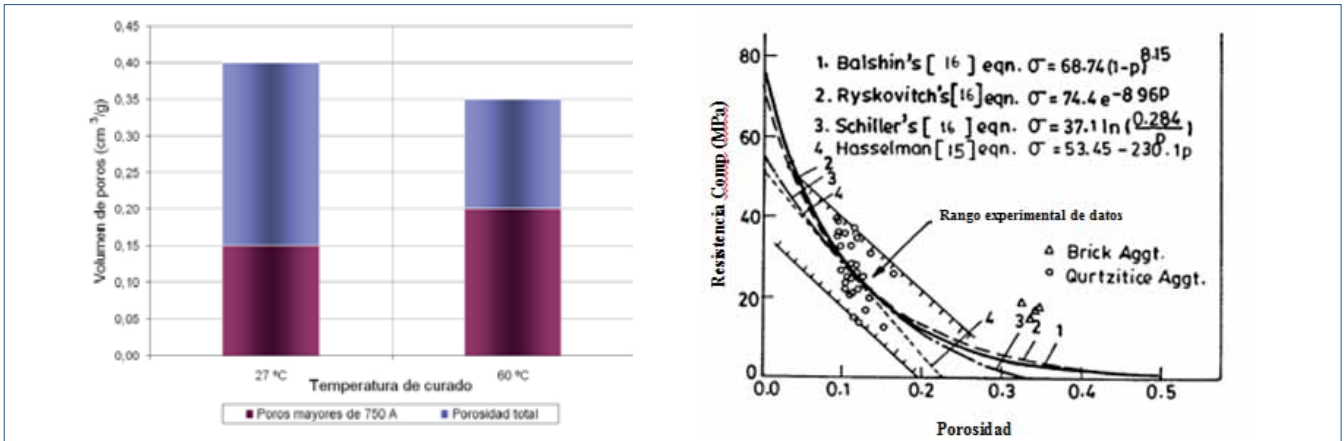


Figura 3. Diferencia de porosidad total y tamaño de poro en hormigones curados a distintas temperaturas

interno, por la formación de sus componentes, se suman condiciones externas adversas, se llegará a patologías no deseables en el hormigón. A continuación se exponen causas que afectarían al hormigón fabricado.

1 Temperatura ambiente y radiación solar: Los cambios térmicos entre la superficie de apoyo del hormigón y la superficie expuesta al sol deben minimizarse con el fin de evitar posibles fisuraciones térmicas. La Figura 3 (izda.) (Soroka) [11,12] muestra como hormigones de la misma resistencia, curados a temperaturas más altas tienen menos porosidad total; sin embargo, el tamaño del poro es mayor. Esto es de especial importancia para la permeabilidad del hormigón. En la misma figura (dcha.) (Kumar) [13], se aprecia la reducción de la porosidad con el aumento de la resistencia a compresión.

2 Velocidad del viento: La velocidad del viento afecta a las propiedades del hormigón en estado fresco, bajo el mecanismo principal de la evaporación del agua. Este efecto también tiene consecuencias sobre las propiedades del hormigón en estado endurecido, ya que la hidratación no es completa, lo que disminuye las propiedades mecánicas y la impermeabilidad. La Figura 4 [9] muestra esta evaporación en función de la temperatura, velocidad del viento y humedad relativa.

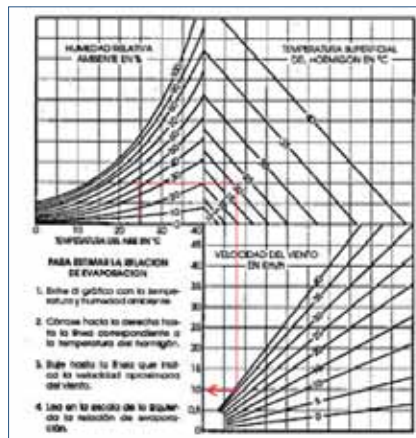


Figura 4. Evaporación superficial del hormigón (ACI 305)

3 Temperatura y tipo de los constituyentes: Una mayor temperatura del cemento o de los áridos favorece las reacciones, lo que conlleva una mayor hidratación y por consiguiente un asentamiento más rápido: lo que puede favorecer la aparición de fisuras. En la

Figura 5 se aprecia cómo influyen los distintos componentes en el incremento de la temperatura del hormigón: prevalecen los áridos, dado que representan el 75% de la masa; las propiedades térmicas de éstos también afectan al conjunto. La relación A/C también afecta, aumentando la temperatura con relaciones bajas. Los contenidos altos de superplastificante también favorecen dicha retracción. El ajuste de la dosificación de los productos de curado, en función de las condiciones ambientales, es importante para evitar las fisuras por retracción. Lo mismo ocurre con el contenido de cemento: cementos más finos y con valores altos de C₃A y C₄AF favorecen la retracción. Cementos con mayor resistencia tienden a sufrir mayor retracción autógena y es en la

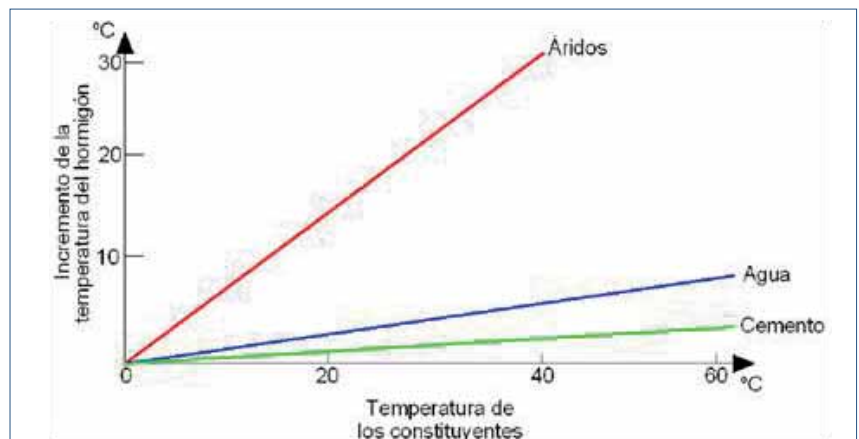


Figura 5. Incremento de la temperatura del hormigón en función de sus componentes

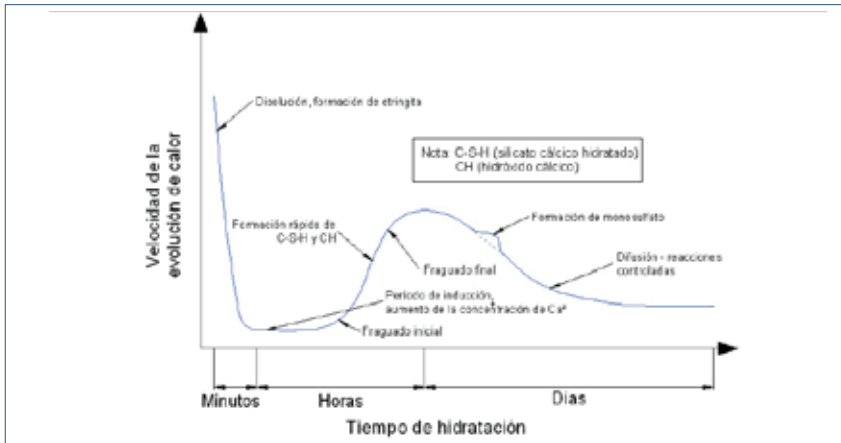


Figura 6. Representación esquemática de la hidratación del cemento

primeras 24 h donde representan un mayor papel (Nawa et al.) [4]. En la Figura 6 se puede observar la representación de la hidratación del cemento en el tiempo y velocidad de la evolución del calor [11,12]. Se aprecia como, desde el inicio del fraguado hasta unas horas después de su final, con la formación de C-S-H (silicato cálcico hidratado), la velocidad de evolución de fraguado es superior; y por tanto cuando pueden aparecer las mayores tensiones que provoquen las fisuras mencionadas. En las primeras horas (2-3 h) se produce una retracción en la fase plástica del hormigón que puede dar lugar a pequeñas fisuras de forma aleatoria, que por estar en fase plástica pueden ser corregidas. Es un fenómeno motivado por la tensión capilar del agua en el interior de los poros. Si por las razones que fueren, la pérdida de agua en superficie excede de la cantidad aportada por exudación, se invierten las fuerzas capilares en los poros y se produce un vacío en su masa. Si la disminución de volumen se obstaculiza por armadura o encofrado en las zonas donde se ha tenido lugar la evaporación de agua, la probabilidad de fisuración aumenta (Metha y Montero 2008 [1]). La retracción plástica es mayor en la pasta de cemento que en el hormigón, por lo que hormigones fabricados con mayor conte-

nido de cemento y pasta tendrán mayor retracción plástica. También existen las retracciones por secado y autógena. Pueden tener como principio la fisuración por retracción plástica. La retracción por secado, de mayor importancia que la autógena, está relacionada con la migración del agua en los poros capilares hacia zonas externas: si el gradiente es fuerte se provoca una descompensación de humedad que conlleva a una posible fisuración (Mindess et al.) [2]. Por ello existe reversibilidad en la retracción por secado cuando, en cierto intervalo de tiempo, la microestructura vuelve a estar en contacto con el agua (Figura 7). La retracción autógena tiene como origen las reacciones químicas entre el cemento y el agua. El volumen de los productos resultantes de la hidratación es

menor que el volumen original del cemento deshidratado y del agua, provocando la deformación de la pasta hidratada del cemento, y consecuentemente, del hormigón (Bibm et al) [3]. Ambas se producen de forma aleatoria, como las plásticas, y en sitios no determinados. Su longitud y profundidad también es variable. Esta contracción puede llegar a ser de hasta el 1%. La retracción autógena tiende a incrementarse con temperaturas elevadas.

- 4 **Tipo de base:** En los pavimentos de hormigón afectarán el tipo de base y sus condiciones, el grado de humedad y la temperatura, así como las restricciones, el grado de adherencia, el rozamiento y la curvatura, como se indicó en la Figura 1. Las bases húmedas permiten que el hormigón fresco colocado no pierda agua de hidratación debido a la absorción por la base. El grado de rugosidad de la base según el tipo de material (suelo tratado, fresado, mezcla asfáltica, granallado etc) afectará al rozamiento y a la curvatura, aumentando con el módulo elástico de la base.
- 5 **Método, tipo y tiempo curado:** El método y tipo de curado afecta a la transferencia de calor entre el hormigón y el exterior, y viceversa. Una duración inadecuada del tiempo de curado con el método elegido afectará también al comportamiento del hormigón.

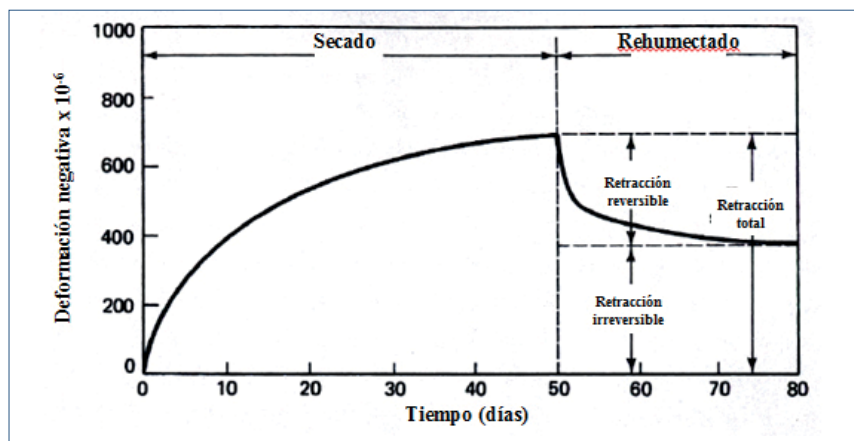


Figura 7. Retracción de secado compuesta por retracción reversible e irreversible (Mindess y Young, 1981)

6 Corte de juntas transversales y separación entre ellas: El corte de las juntas previene y acota la fisuración aleatoria, a mayor separación entre juntas, mayor superficie expuesta y por lo tanto mayor posibilidad de fisuración.

El software implementa, para el estudio a corto plazo, los modelos siguientes:

- Modelo de hidratación del cemento.
- Modelo de afección de la temperatura y humedad en el pavimento.
- Modelo de retracción por secado.
- Modelo de fluencia.
- Modelo de restricción axial no lineal.

2. Descripción del pavimento, tipo de base y hormigón

Para un correcto seguimiento y simulación es necesario implementar adecuadamente el diseño del hormigón, tipo de base, condiciones de la base, de puesta en obra y datos meteorológicos esperados en las 72 h siguientes, si se pretende efectuar una simulación a corto plazo.

El pavimento está compuesto por losas de hormigón de 3,5 m de ancho con juntas transversales cada 5 m y un espesor de losa de $HP=25$ cm y $HM=15$ cm. Corresponde a la sección 134 de la Instrucción 6.1. Para la visualización del comportamiento durante el curado del hormigón y la interacción con la base de suelo estabilizado S-EST3 se establece que la capa de hormigón magro y de hormigón de pavimento sea única, con un módulo elástico equivalente y con un espesor de 40 cm. El hormigón magro tiene una resistencia a compresión a 28 días de $R_c \geq 15$ MPa. El hormigón de pavimento tiene una resistencia a flexotracción de $MR \geq 4,5$ MPa a 28 días: a través de la expresión 21 de la ACI 330R podemos obtener el valor de la resistencia a compresión F_c a 28 días, obteniéndose un valor de 32,9 MPa. Según la expresión 22 de la ACI se pueden obtener los módulos elásticos de ambos hormigones. Los módulos elásticos obtenidos son, para el hormigón

magro, $E=19\ 200$ MPa y para el hormigón de pavimento, $E=25\ 300$ MPa. Se establece un módulo equivalente para una carga por rueda de 32 kN y presión de neumático de 0,9 MPa un valor de 22 800 MPa [18]. Según el art.512 del PG3 la explanada tipo E3 deberá tener un valor del módulo de compresibilidad mínimo de $E_{v2} \geq 300$ MPa, según la expresión 23 y para un coeficiente de Poisson de $\nu = 0,35$, el módulo elástico será $E \geq 276$ MPa. La explanada apoyará en un subyacente de suelo tolerable con un módulo de compresibilidad mínimo (según el art.330 del PG3) de $E_{v2} \geq 60$ MPa, a través de la expresión 23 y para un $\nu = 0,35$ se obtiene un valor de $E = 55$ MPa.

$$MR=2.3 \cdot F_c^{(2/3)} \text{ (lb/in}^2\text{)} \quad (3)$$

$$E=3.32 \cdot f_{ck}^{0.5} + 6.3 \text{ (GPa)} \quad (4)$$

$$E=\pi \cdot (1-\nu^2) \cdot E_{v2} / 3 \text{ (MPa)} \quad (5)$$

Como se ha indicado, el pavimento de hormigón se simula con dos tipos de cementos de la misma resistencia. Los cementos empleados son tipo I y V con una resistencia a compresión a 28 días de 42,5 N/mm², según AASHTO M-85, cuya diferencia estriba, principalmente, en el contenido de C_3A . El cemento tipo I tiene un calor de hidratación de 486 J/g a 7 días, y el cemento tipo V un valor de 436 J/g.

La dosificación base del hormigón es semejante para ambos tipos, sin embargo, se analizará cómo adaptar mejor la dosificación a los cambios climáticos con el fin de reducir las tensiones críticas. Los áridos empleados son de naturaleza silíceo y con tamaño máximo de 25 mm. Se emplea aditivo superfluidificante con el fin de reducir el contenido de agua. Con cierta función retardante, que permitirá el mantenimiento de la consistencia en el transporte del hormigón mediante camión convencional, aditivo clasificado como Tipo G según ASTM C 494 [14], capaz de reducir al menos un 12% en peso el contenido de agua. En la tabla siguiente se establecen los valores de los componentes del hormigón diseñado, sin corrección de

humedades ni absorciones. El diseño se ha realizado según la ACI 211 [15].

Tabla 1. Diseño del hormigón	
Materiales	Valores
Consistencia (mm)	25-50
Contenido de aire (%)	5
Superfluidificante (%)	0.25
Agua (Kg/m ³)	146
Relación A/C	0,42
Cemento (kg/m ³)	348
Árido grueso (kg/m ³)	1120
Árido fino (kg/m ³)	776
Densidad (kg/m ³)	2390
A/C	0,42

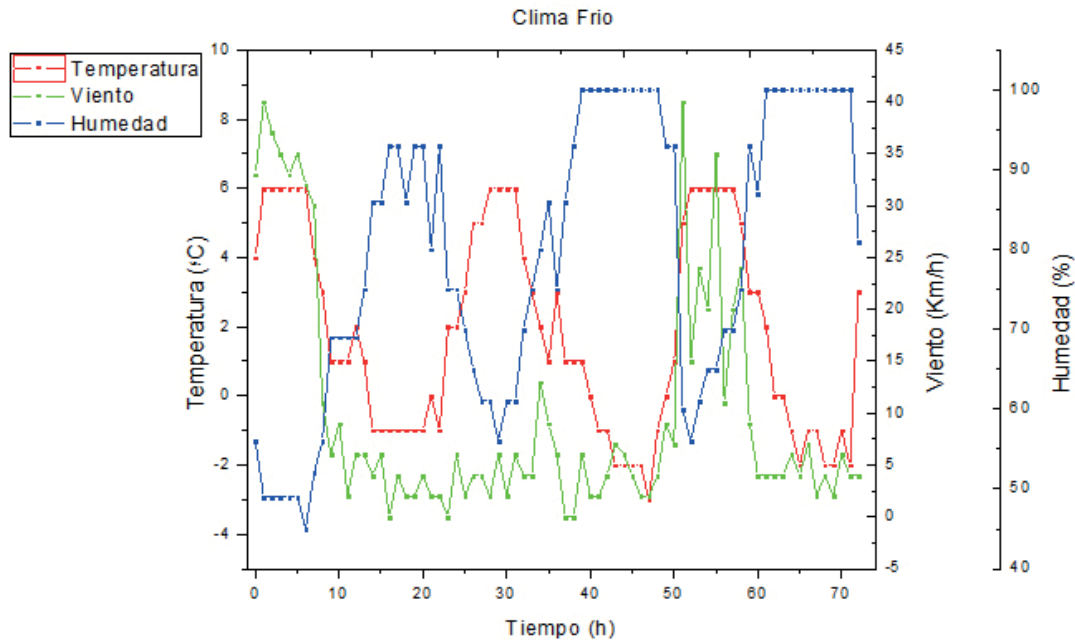
3. Descripción de las condiciones climáticas y de construcción.

Como se ha indicado se simulan dos escenarios climáticos, el primero en invierno y el segundo en verano. Se han elegido la ciudad de Madrid y la estación meteorológica de Barajas para recabar los datos necesarios. El año de construcción es el 2015, los días de hormigonado en tiempo frío y caluroso son el 19 de enero y el 6 de julio; se opta por ambas fechas para efectuar el hormigonado, por lo que se deben tener los datos meteorológicos de las 72 horas posteriores al mismo. El hormigonado en tiempo frío se establece a las 11:00 AM y en tiempo caluroso a las 8:00 AM.

En las figuras siguientes se ha representado en gráficas los valores de la temperatura, humedad y velocidad del viento para los climas frío y cálido.

En el clima frío se alcanzan temperaturas bajo cero y una máxima de 6 °C, con velocidad del viento de hasta 40 km/h y una humedad media del 79.8%. En el clima cálido se alcanzan temperaturas máximas de 40 °C, con un shock térmico de 20° C. La velocidad máxima del viento es de 40 km/h y la humedad mínima del 8%. Estos valores permiten calcular el grado de evaporación en las primeras horas, según se indicó en la Figura 4, y modificar así las actuaciones sobre el curado o bien retrasar el hormigonado.

	Tem. (°C)	Viento (km/h)	Humedad (%)
Máxima	6	40	45
Mínima	-3	0	100
Media	1,8	9,8	79,8
Dif.	9	40	55



	Tem. (°C)	Viento (km/h)	Humedad (%)
Máxima	40	40	8
Mínima	20	0	53
Media	31,5	14,8	23,1
Dif.	20	40	45

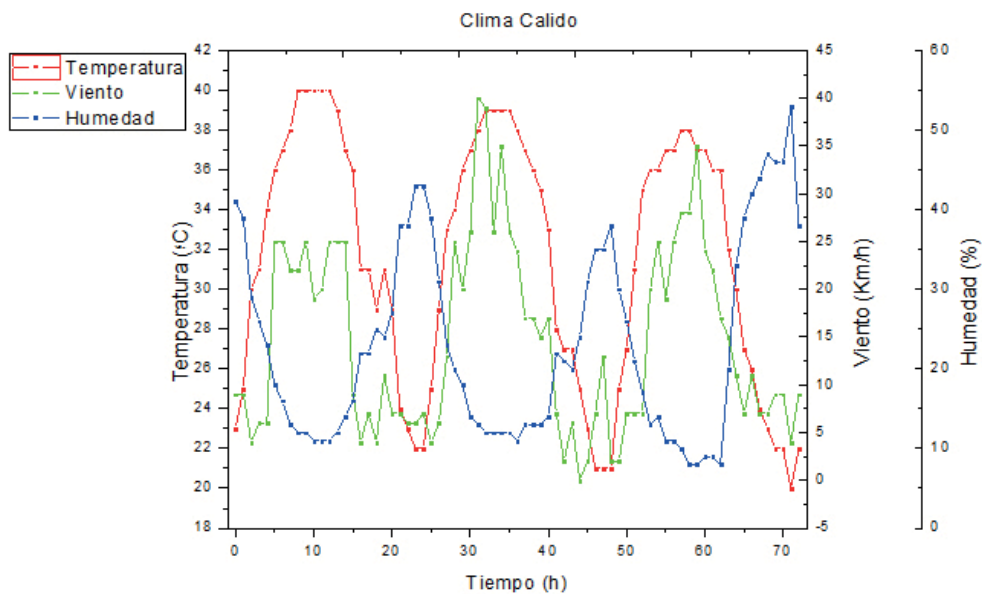


Figura 8. Valores de temperatura, velocidad del viento y humedad en las primeras 72h en clima frío y cálido

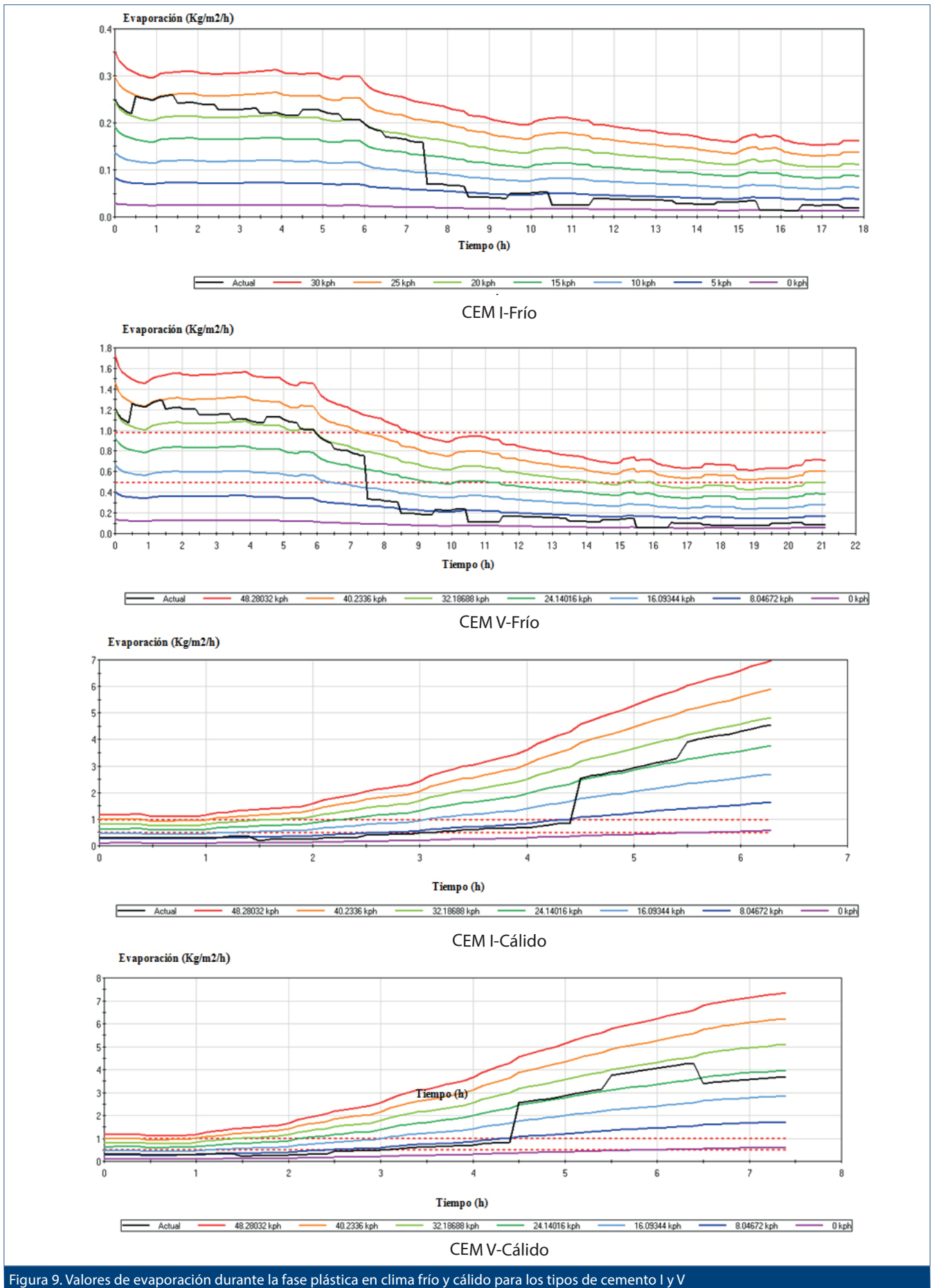


Figura 9. Valores de evaporación durante la fase plástica en clima frío y cálido para los tipos de cemento I y V

En las figuras siguientes se establecen los valores de evaporación en función de los datos meteorológicos para los dos climas y para los dos tipos de cemento, durante la fase plástica del hormigón (línea negra). La duración de esta fase es diferente para cada clima y tipo de cemento, siendo más

prolongada para el clima frío que para el clima cálido y para el hormigón con cemento tipo V que para el tipo I.

Se puede apreciar que la fase plástica del hormigón en clima frío, para el cemento tipo I, tiene una duración de 17,9 h y para el cemento tipo V de 21,3 h. En clima cálido la

duración es de 6,3 h y de 7,3 h respectivamente.

Se establece que la base de suelo estabilizado está húmeda antes de recibir el hormigón, tanto en el clima frío como cálido, evitando así una absorción no deseada por parte de la base del agua de hidratación del hormigón. La protección tras el extendido se establece mediante un riego de curado con producto filmógeno que se efectúa en tren de riego tras la extendedora. El primer aserrado de juntas se efectúa tras la fase plástica del hormigón, determinadas anteriormente.

4. Análisis de resultados

4.1 Diseño Inicial

Para el diseño inicial y procedimiento de construcción, establecidos en puntos anteriores, se obtiene para el clima frío y para el cemento tipo I que las tensiones críticas superan la resistencia a tracción alcanzada por el

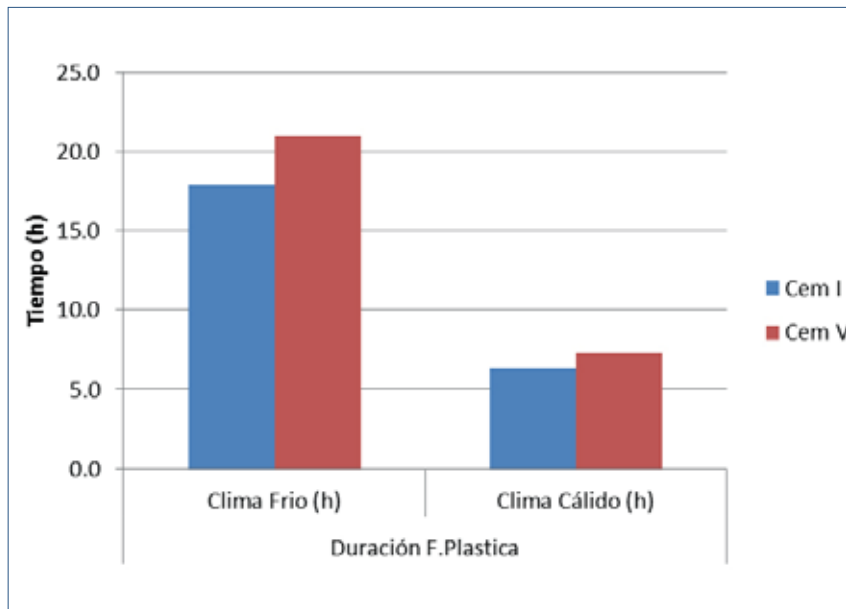


Figura 10. Duración de la fase plástica

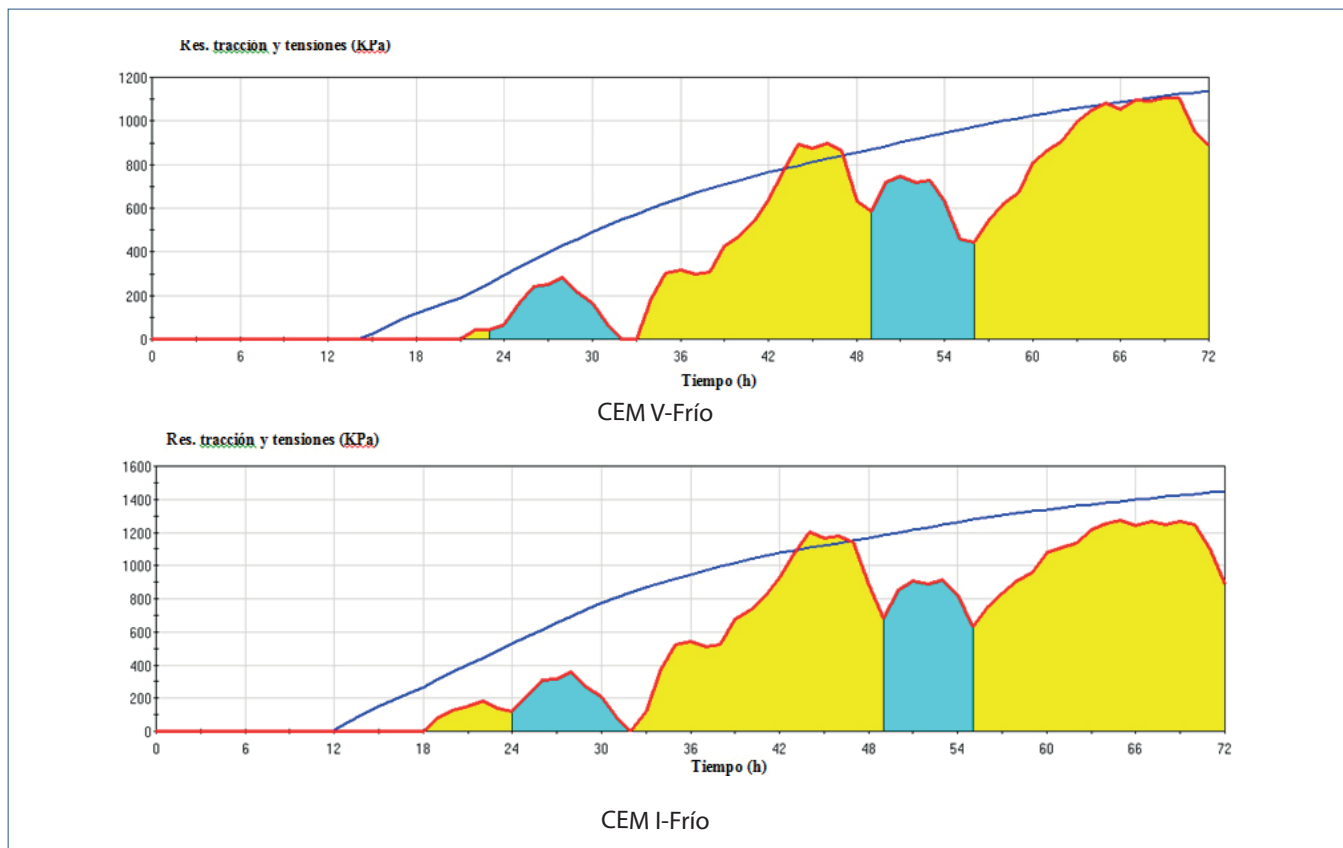


Figura 11. Curvas tensiones críticas vs ganancia de resistencia a tracción

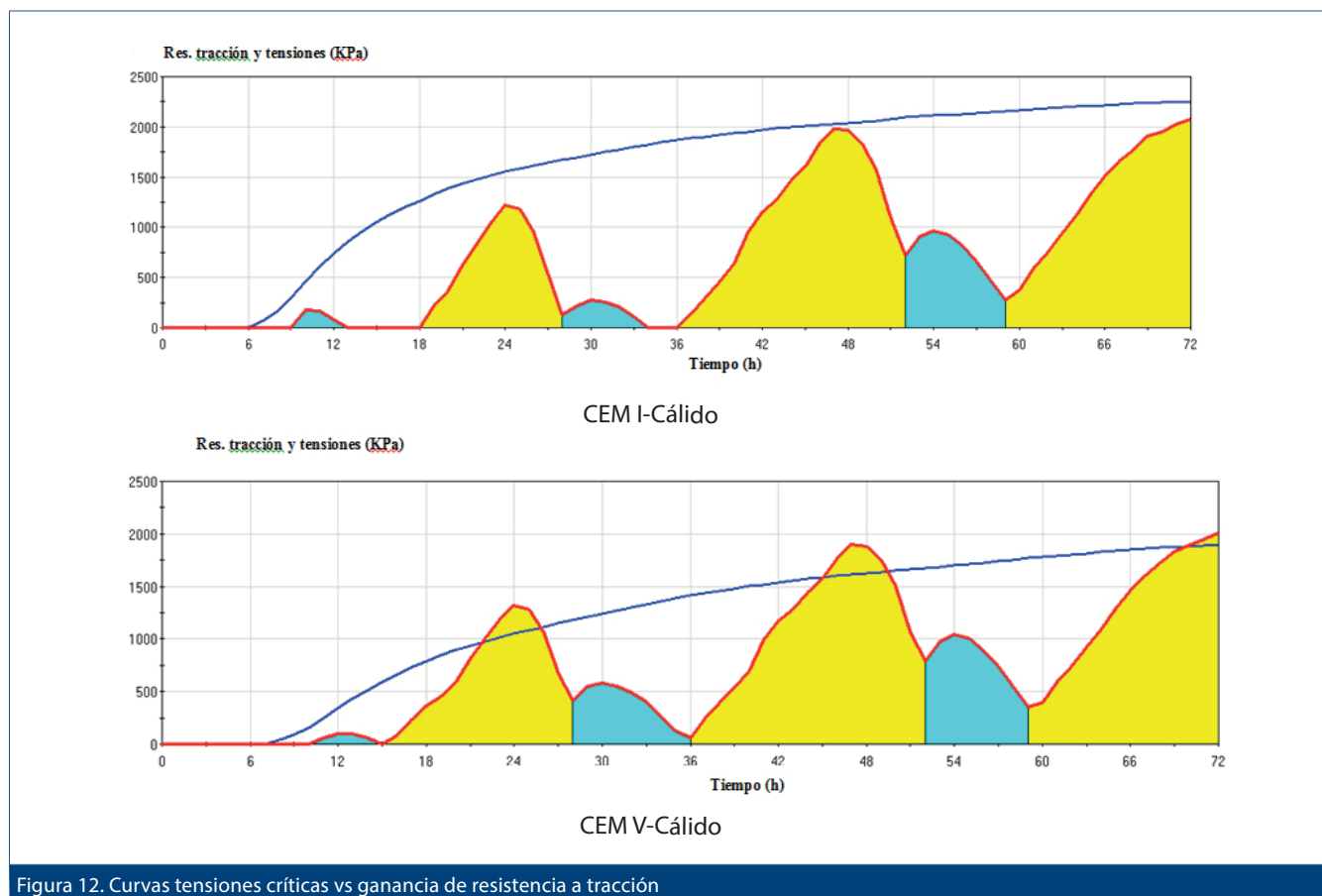


Figura 12. Curvas tensiones críticas vs ganancia de resistencia a tracción

hormigón a las 44 h. Con el cemento tipo V las tensiones críticas superan la resistencia a tracción alcanzada por el hormigón a las 44, 65 y 67 h (Figura 11). Es decir, el riesgo por fisuración es superior empleando un cemento tipo V, con menor calor de hidratación, que un cemento tipo I con mayor calor de hidratación. La menor ganancia de resistencia del hormigón tipo V conlleva que las tensiones críticas superen la resistencia y con ello aumente el riesgo de fisura. En la Figura 11 se puede apreciar cómo las tensiones críticas, establecidas por la línea roja del perímetro de tensiones, intersectan a la curva de ganancia de resistencia del hormigón en las primeras 72 h. También se puede ver que la ganancia de resistencias con el cemento tipo I es superior a la del tipo V.

Para el clima cálido y para el cemento tipo I las tensiones críticas no superan la resistencia alcanzada, no existiendo riesgo de fisuración. Con el cemento tipo V las tensiones críti-

cas superan la resistencia a tracción alcanzada por el hormigón a las 22, 46 y 70 h (Figura 12). En este caso, al contrario de lo que se puede pensar a priori, el riesgo por fisuración es superior empleando un cemento tipo V, con menor calor de hidratación, que un cemento tipo I. La ganancia de resistencia es superior, para ambos hormigones, tanto en el clima cálido como en el clima frío. Sin embargo, para el cemento tipo V la ganancia no es suficiente como para superar las tensiones críticas que se producen.

4.2 Optimización del diseño o procedimiento.

Se ha comprobado, para los ejemplos establecidos, que el cemento tipo I es más recomendable para ambos tipos de clima. La diferencia de calor de hidratación entre ambos cementos podría indicar que es más adecuado el cemento tipo I para clima frío y el cemento tipo V para cli-

ma cálido, pero como se ha podido comprobar no es una decisión que se deba tomar sin un análisis concreto y particular.

En diversas normativas se establece que los cementos sean sulforresistentes o indican un valor máximo de contenido de alúmina, de cara a una mayor durabilidad ante el empleo de materiales como sales o productos químicos en la fase de conservación. El cemento tipo I tiene un contenido de alúmina de $C_3A = 9\%$, no siendo resistente al ataque de sulfatos. Por ello, si existiese una restricción para su empleo, se debería adaptar el diseño o la puesta en obra del hormigón con cemento tipo V para que no se produjera riesgo de fisuración a edad temprana.

A continuación se establecen simulaciones, para ambos climas, atendiendo a la restricción mencionada, empleándose sólo cemento tipo V. Determinando qué modificaciones se pueden establecer para eliminar el riesgo de fisuración.

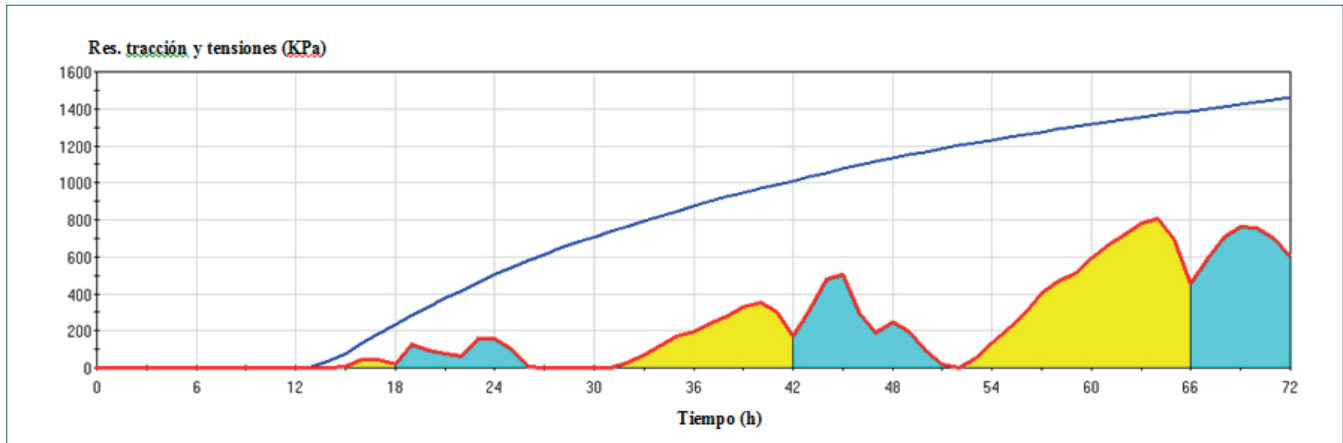


Figura 13. Curvas tensiones críticas vs ganancia de resistencia a tracción

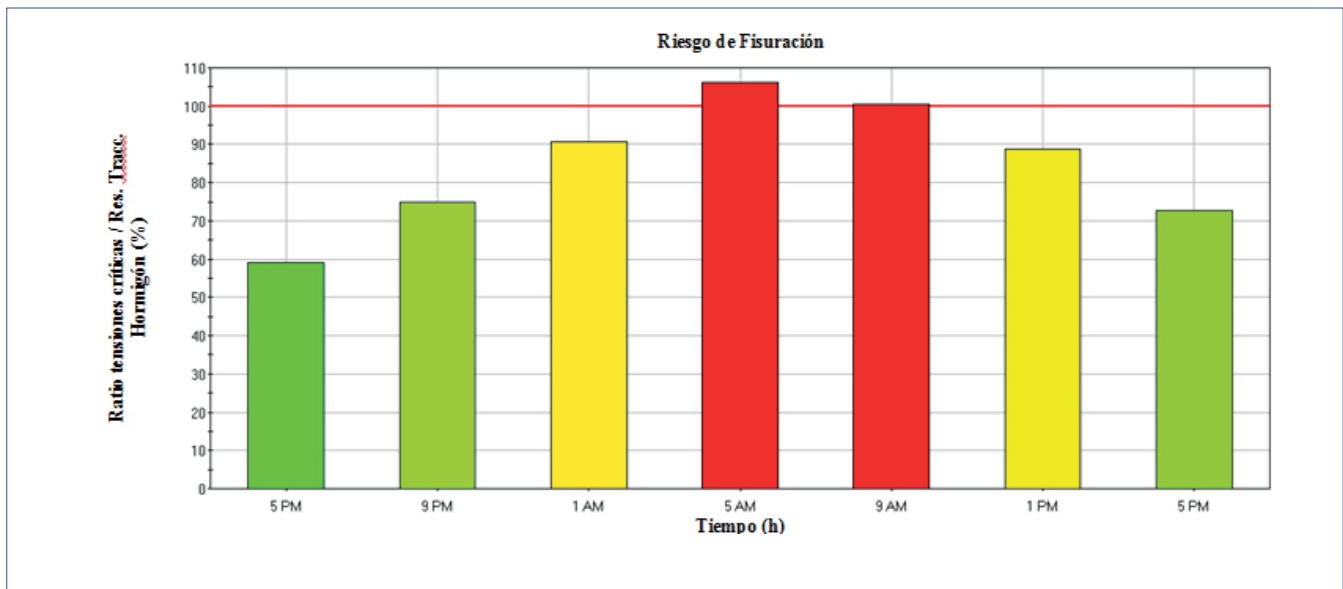


Figura 14. Riesgo de fisuración según hora de comienzo del hormigonado

En el clima frío se estableció la hora de comienzo del hormigonado a las 11 AM. En este caso se obtuvieron riesgos de fisuración a las 44-65-67 h, obteniéndose las mayores tensiones en la parte superior de la losa (sombreado amarillo). El tiempo en el que se produce el mayor calor de hidratación coincide con las horas del día donde se registra más temperatura y donde se produce más evaporación (6 °C-0.25 kg/m²/h). Pasando en 14 h a un descenso de temperatura de hasta -1 °C, este gradiente térmico favorece el riesgo de fisuración [19], pues a esa edad se produce la mayor velocidad de evolución del calor y formación de C-S-H, tal y como se mostró en la Figura 6. A la vista de los valores de

evaporación se opta por retrasar el comienzo del hormigonado en 6 h, estableciendo además una protección con manta de algodón durante las 72 h siguientes. La Figura 13 muestra que la curva tensiones críticas no superan la resistencia del hormigón, obteniéndose un ratio máximo tensiones críticas/resistencia hormigón del 59%.

En la Figura 14 se establecen los riesgos de fisura dependiendo de la temperatura de comienzo del hormigonado, puede verse que la hora modificada es la más óptima para comenzar el hormigonado.

Para el clima cálido se establece la misma dosificación pero cambiando el tipo de curado. En la Figura 15 se puede ver que una protección del

pavimento durante las primeras 72 h con manta de algodón o plástico más manta establece el riesgo de fisuración por debajo del 100%.

En la Figura 16 se establece una modificación de la hora de comienzo del hormigonado, que inicialmente era a las 8 AM. Se puede ver que comenzar el hormigonado entre las 4-8 PM disminuye el riesgo de fisuración por debajo del 100%. Debido al descenso de la temperatura, velocidad del viento y aumento de la humedad.

Una disminución de la relación A/C reduce la retracción y por tanto el riesgo de fisuración [20]; una mejora de estos parámetros reduciría el riesgo de fisuras para los métodos de curado mencionados en la

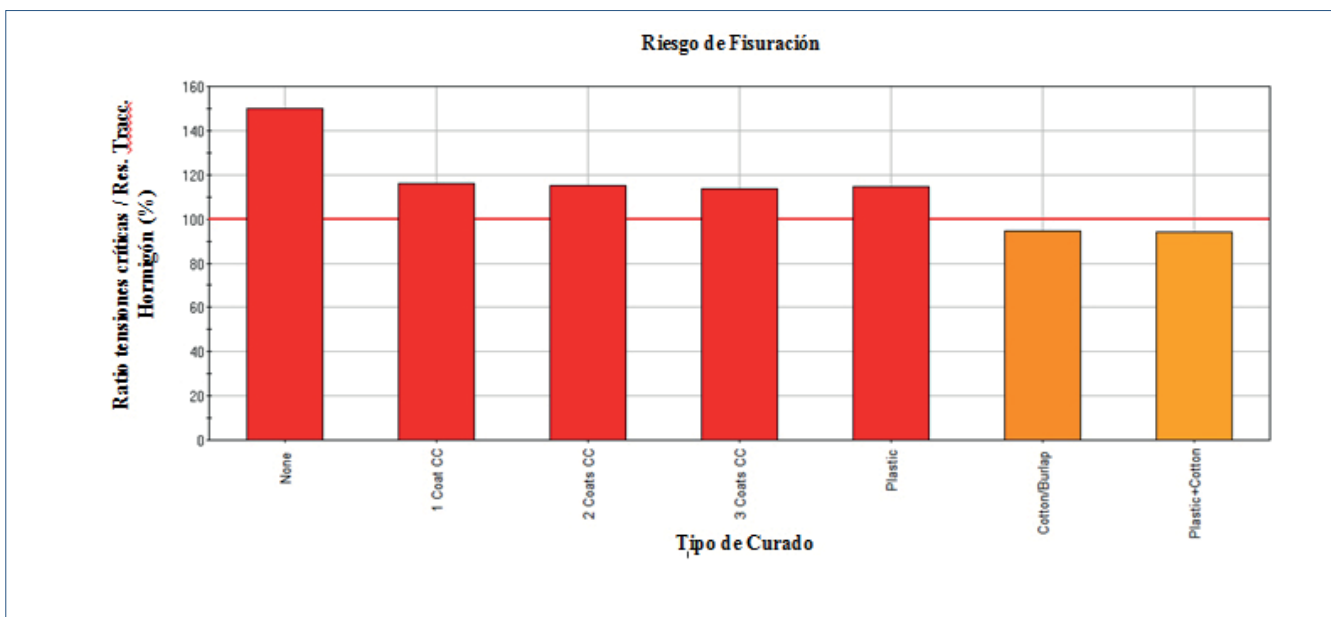


Figura 15. Riesgo de fisuración según el método de curado

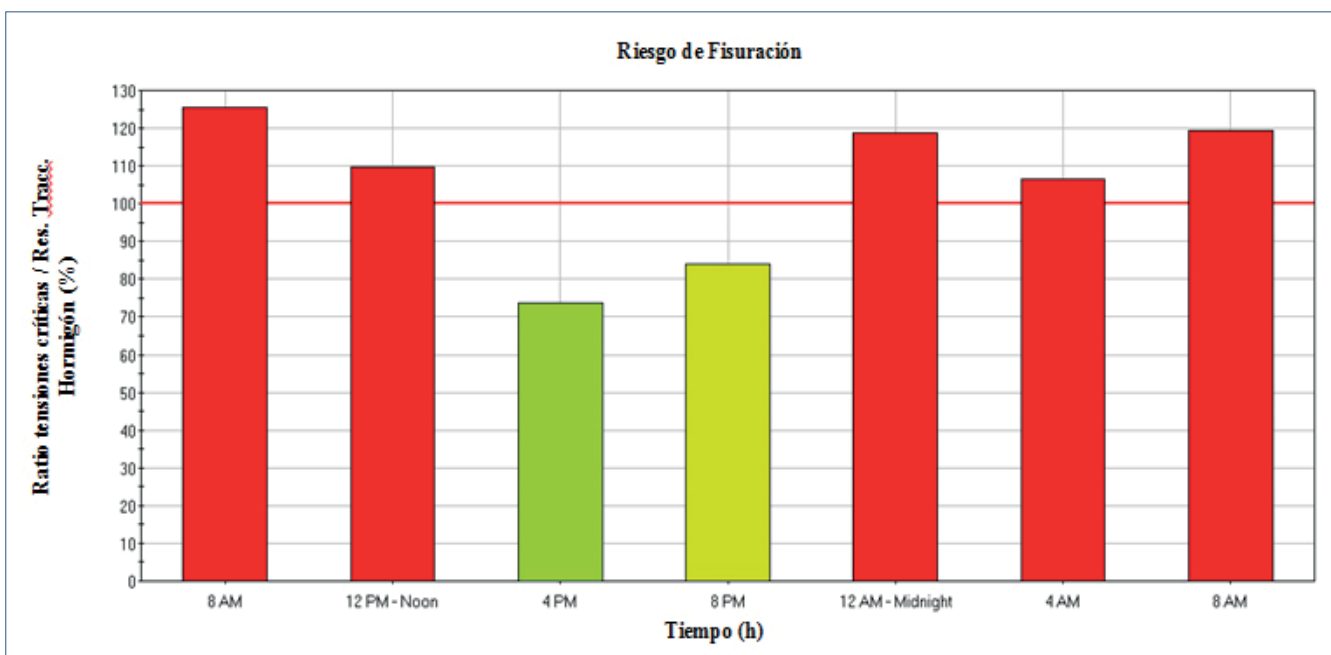


Figura 16. Riesgo de fisuración según hora de comienzo del hormigonado

Figura 15. Reducir la temperatura del hormigón y de la base también mejora la posibilidad de formación de fisuras. La combinación de algunos de los elementos indicados también conllevaría a reducir el riesgo. A modo de ejemplo se simula en la Figura 17 un diseño con 10 kg/m³ más de cemento, con un aumento de la relación árido grueso/cemento del 2,7%, un descenso de la relación A/C a 0,40, un descenso de la temperatura del hormigón de 8 °C y de la base de 4 °C

(mediante enfriamiento de árido en planta y riego de base en extendido). Puede verse que las tensiones críticas ya no superan la resistencia a tracción del hormigón.

5. Conclusiones

A continuación se establecen las conclusiones más importantes del estudio realizado.

- 1 Se analiza mediante HIPERPAVE el comportamiento del hormigón a

edad temprana de la sección 134 de Instrucción 6.1 “Secciones de Firme” en dos escenarios climáticos opuestos y con cementos de diferente contenido en alúmina y calor de hidratación.

- 2 Se evalúan las tensiones críticas y resistencia del hormigón durante las primeras 72 h, con el fin de determinar el riesgo de fisuración del hormigón. Para clima frío el cemento tipo I tiene un mejor comportamiento, con un ratio de riesgo de fisura del 109% a las 44 h, frente al 112% para

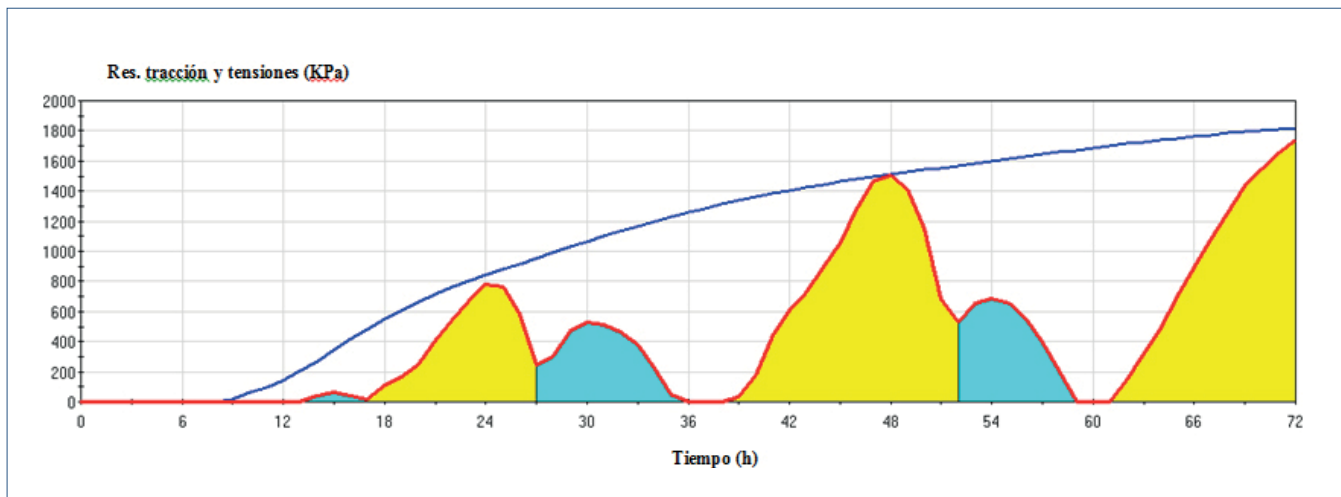


Figura 17. Curvas tensiones críticas vs ganancia de resistencia a tracción

- el cemento tipo V a la misma edad. Para clima cálido, al contrario de lo que podría pensarse y para las condiciones establecidas, el cemento tipo I también tiene un mejor comportamiento, no presentando riesgo de fisura, frente a un riesgo del 122% a las 22 h para el cemento tipo V.
- 3 La obligatoriedad de emplear cementos con bajo contenido en alúmina, como el tipo V, hace necesario modificar el diseño o puesta en obra del hormigón. En los casos estudiados un retraso en el hormigón en ambos climas y una protección mediante manta de algodón reduce el riesgo de fisuración por debajo del 100%.
 - 4 Aumentos en la relación árido/cemento, reducción de la relación A/C, aumento del contenido de cemento, enfriamiento de la temperatura del hormigón y de la base, adecuación del momento de corte de la junta reducen el riesgo de fisura de forma adecuada.
 - 5 Como conclusión final se puede indicar que el estudio del diseño del hormigón, de su puesta en obra y de las condiciones meteorológicas mediante herramientas como HIPERPAVE permiten reducir la aparición de ciertas patologías no deseadas en las losas de hormigón. O incluso determinar qué ha ocurrido en losas con patologías establecidas a edad temprana.

6 Bibliografía

- 1 Metha, P.K.; Monteiro, P.J.M.; *Concreto: Microestructura, Propiedades e Materiais*. Ibracon; 2008
- 2 Mindess, S., Young, F.J., Darwin, D.; *Concrete*. Prentice-Hall; 2003
- 3 Bibm, Cembureau, EFCA, EFNARC, ERMCO. *The European Guidelines for Self-compacting Concrete*; 2005
- 4 Nawa, T., Horita, T.; *Autogenous Shrinkage of High Performance Concrete. Proceedings of the International Workshop on Microstructure and Durability to Predict Service Life of Concrete Structures*; 2004
- 5 ACI 209.2R-08 *Guide for Modeling and Calculating Shrinkage and Creep in Hardened Concrete*. American Concrete Institute.
- 6 Ministerio de Fomento; *EHE-08 Instrucción de Hormigón Estructural*; 2008
- 7 CEB-FIB MC90-99. *Model Code 1999. International Federation for Structural Concrete*.
- 8 B. Persson et al.; *Self-desiccation and its Importance in Concrete Technology*; Lund Institute of Technology. Lund University; 2005
- 9 ACI 305.1-06; *Hot Weather Concrete*. American Concrete Institute.
- 10 Jawed, I., Skalny, J. y Young J.F.; *Hydration of Portland Cement*; 1983
- 11 Velasco A. T.D.; *Estudio experimental sobre la reacción álcali-silice en el hormigón producida por áridos de reacción lenta*; UPM. EICCP. 2014
- 12 Soroka, I. (1993), *Concrete in Hot Environments*.
- 13 Kumar et al.; *Porosity, pore size distribution and in situ strength of concrete*. Bridges Division, Central Road Research Institute, New Delhi 110 020, India.; 2001
- 14 ASTM C494; *Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete*.
- 15 ACI 211.1-91; *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete*.
- 16 Ministerio de Fomento; *Norma 6.1-IC Secciones de Firme, Instrucción de Carreteras*.
- 17 AASHTO M-85; *Standard Specification for Portland Cement (Chemical and Physical)*.
- 18 одн218.046-01. Проектирование нежестких дорожных одежд. Отраслевые дорожные нормы.
- 19 HIPERPAVE. Case Study: *Cold Front*. The Transtec Group, Inc.
- 20 Neville, A. M., *Properties of concrete*, Pearson Prentice Hall, 4th edition, 2002. ❖

BIM⁷ para infraestructuras

Javier Peñafiel

MBA & Master en Ingeniería,
Graduado en Ingeniería Geomática,
Ingeniero Técnico en Topografía.

Introducción

A menudo escuchamos el acrónimo BIM y solemos asociarlo a programas de software. No hay nada más alejado de la realidad. BIM es un concepto, no una aplicación de software. Eso sí, para ponerlo en práctica se vale de potentes aplicaciones de Software.

Es de todos sabido que estos años de crisis mundial están produciendo cambios significativos en todos los sectores productivos. El sector de la construcción y en particular la metodología del proceso constructivo, adolecen de defectos subsanables que piden a gritos un cambio en la forma de trabajo. Este cambio empieza en la implantación de la metodología BIM.

Lo mejor es que demos una definición de lo que es BIM.: BIM es el acrónimo de **Building Information Modeling** (Modelado de Información para la Construcción). A día de hoy no existe una definición unificada, aunque todas coinciden en términos generales. Por esta razón, a continuación citamos varias definiciones que creemos, mejor se ajustan a la necesidad real de la construcción:

BuildingSMART, asociación privada, establece:

“Building Information Modeling (BIM) es una metodología de trabajo colaborativa para la creación y gestión de un proyecto de construcción. Su objetivo es centralizar toda la información del proyecto en un modelo de información digital creado por todos sus agentes. BIM supone la evolución de los sistemas de diseño tradicionales basados en el plano, ya que incorpora información geométrica (3D), de tiempos (4D), de costes (5D), ambiental (6D) y de mantenimiento (7D). El uso de BIM va más allá de las fases de diseño, abarcando la ejecución del proyecto y extendiéndose a lo largo del ciclo de vida del edificio, permitiendo la gestión del mismo y reduciendo los costes de operación.”

Según la National Institution of Building Sciences (NIBS 2015):

“A BIM is a digital representation of physical and functional characteristics of a facility. As such it serves as a shared knowledge resource for information about a facility forming a reliable basis for decisions during its lifecycle from inception onward”

Como sumario, podemos decir que mientras el programa de CAD utiliza sólo geometría en 2D o 3D sin diferenciar los elementos, el programa BIM utiliza bibliotecas de objetos

inteligentes y paramétricos, interpreta la interacción lógica entre los diferentes tipos de objetos y almacena la información referente a estos objetos.

El BIM diseña la nueva forma de trabajar para los profesionales de la Arquitectura, Ingeniería y Construcción, que no sólo ahorrarán tiempo al crear y modificar sus proyectos sino que también facilitarán la interacción con sus colaboradores, asociados o colegas, al compartir contenidos específicos de cada especialidad en el mismo modelo BIM.

La metodología BIM se ha implantado de forma progresiva en diferentes países, principalmente, Estados Unidos, y en Europa, Alemania, Reino Unido o Francia, siendo para algunos de ellos objetivo prioritario de sus Administraciones Públicas, las cuales están valorado su uso en obra pública, siguiendo la recomendación de la Directiva Europea de Contratación Pública 2014/24/UE.

Es importante reseñar que en España durante el año 2015, el Ministerio de Fomento ha creado una Comisión Nacional que analiza cómo implementarlo en el sector y sobre todo su introducción en las licitaciones públicas.

Características

Las características de BIM más representativas son:

Contenedor único

Un modelo BIM, es un modelo único en 3D accesible a todos los agentes intervinientes en el proceso constructivo que incorpora toda la información relativa al proyecto, que queda almacenada en una única base de datos, pudiendo ser consultada y modificada en cualquier momento. Por tanto, la información es bidireccional, es posible extraerla, gestionarla y devolverla al modelo, siendo también por ello información multidisciplinar. En el caso de BIGMonitor, este concepto va más allá. Se utiliza una plataforma WEB on-line, con el fin de que sea consultable por todos los agentes intervinientes en el proceso constructivo. Su fácil uso hace que pueda ser utilizable por cualquier interviniente, tanto técnico, de gestión o el propio usuario.

Diseño paramétrico.

Para que el modelado sea controlable y rápido, los elementos se definen como objetos paramétricos cuyas características y comportamientos vienen preestablecidos. El término paramétrico se refiere a las relaciones existentes entre todos los elementos del modelo que permiten la coordinación y la gestión de cambios del software.

Esta tecnología, permite cuantificar eficazmente los parámetros no formales de un edificio (mediciones, volúmenes de aire, recorridos de evacuación, consumo energético y otras variables que no son tratables desde el punto de vista de las herramientas de representación tradicionales).

Interoperatividad

La metodología openBIM está basada en el uso de estándares abiertos, como el IFC, que sirve como formato de intercambio de datos entre

agentes, procesos y aplicaciones, y que viene definido por la Norma ISO 16739:2013. El formato IFC, (Industry Foundation Classes), es un formato de datos de especificación abierta para facilitar el intercambio de información entre los programas del sector de la construcción. Fue desarrollado por el IAI (International Alliance for Interoperability), predecesora de la BuildingSMART.

Ahora vamos a describir cuales son las dimensiones del concepto BIM: 1D, 2D, 3D, 4D, 5D, 6D, y 7D. Digamos que el ciclo de vida de un proyecto BIM comienza con una idea y termina con el derribo al final de su vida útil. Este ciclo puede dividirse en las siete fases que se han dado en denominar las 7 dimensiones BIM

7 Dimensiones BIM.

El proyecto, la idea: 1D

Tomamos como punto de partida una necesidad, presupuesto aceptado,



Las siete dimensiones BIM para infraestructuras



Visualización del proyecto constructivo con la cartografía pre-existente

vivienda, edificio, tramo de carretera, túnel, viaducto, subestación eléctrica, etc. y definimos las condiciones iniciales, la localización; realizamos unas primeras estimaciones -superficie, presupuesto y costes-; establecemos el plan de ejecución, etc.

Software de trazado, diseño. 2D y 3D

Cogemos nuestro software de proyectos para crear el entorno de trabajo con sistema en 3D, plantea-

mos los materiales; definimos las cargas estructurales, energéticas; y establecemos las bases para la sostenibilidad del proyecto. A partir de toda la información recopilada se genera el modelo 3D que nos servirá como base para el resto del ciclo de vida del proyecto. Es más que una representación gráfica de la idea. El modelo 3D no solo es algo visual, sino que incorpora toda la información que se necesitará para las siguientes fases del entorno BIM.

Evolución temporal del proceso constructivo y mantenimiento: 4D

A partir de ahora cualquier modelo 3D, tendrá una componente temporal 4D. Es decir definiremos el proyecto con una variable más que es el tiempo. Es importante que la aplicación que utilicemos tenga en cuenta este parámetro, y nos permita ver la evolución del proyecto a lo largo del tiempo, así como comparar cada elemento en instantes distintos.



Visualización del modelo 3D generado a partir de la nube de puntos mediante un dron



Comparación del terreno antes del comienzo de las actuaciones y con el proyecto casi finalizado

Control y seguimiento del presupuesto 5D:

En esta parte controlaremos los costes y seguimiento de avance de obra. Se trata del control de costes y estimación de gastos del proyecto. El principal objetivo de esta dimensión es mejorar la rentabilidad del proyecto y su ejecución plazo para no incurrir en indeseables costes adicionales.

Alternativas o simulación: 6D

En ocasiones llamada BIM verde, consiste en simular las posibles variantes del proyecto para finalmente llegar a la alternativa óptima. Para ello analizaremos y aplicaremos todo tipo de modelos para tomar las decisiones adecuadas.

Manual de ejecución y de mantenimiento: 7D

Gracias al concepto BIM tendremos una trazabilidad de la ejecución del proyecto, del proceso constructivo y de las distintas actuaciones durante su vida útil. Esto permitirá tener un control exhaustivo de cómo y cuándo se realizaron las distintas acciones sobre nuestra unidad estudiada. En resumen, se puede definir como el manual que debemos seguir durante la vida del proyecto tanto para su ejecución como para el uso y mantenimiento del mismo.

Todo esto implica que el concepto BIM debe estar alimentado en toda la vida útil del proyecto, tanto

en su inicio como en su fase de explotación. De este modo podremos establecer una correspondencia lineal entre modelo BIM y realidad del proyecto.

Retos y oportunidades

Puntos débiles

Cambio de mentalidad

Como en todo cambio, el principal escollo, es su implementación y la adaptación a la nueva filosofía de trabajo, ya que requerirán algo de tiempo y esfuerzo adicional. BIM significa una nueva forma de trabajar, dejar atrás las erróneas costumbres y aprender nuevas herramientas que mejoren los procesos.



Comparación del terreno de una presa en 1946 antes del comienzo de la construcción) y 2011 de la presa



Formación necesaria

Es por tanto necesario, destinar tiempo y dinero al aprendizaje de estas nuevas herramientas. Es necesario invertir tanto en equipos más potentes como en las correspondientes licencias de los software, etc. Aunque BIGMonitor es sencillo de utilizar y la curva de aprendizaje es rápida, también necesita su tiempo.

Ventajas

La metodología BIM presenta ventajas en todas las fases del proceso y para todos los agentes intervinientes. Las podemos agrupar en tres grupos que suponen un ahorro económico, un ahorro de tiempo y una mejor visualización para una mejor comprensión del proyecto.

Coherencia de la información:

Toda la base de datos del proyecto está contenida en un único soporte, BIGMonitor, evitando errores derivados de distintas versiones del proyecto. Tendremos tantos modelos como modificaciones hayamos realizado. Las versiones ahora corresponden al instante en el tiempo. Todo cambio que se haga en el modelo se actualiza en todas las vistas y cálculos, haciendo que esté siempre actualizada. Cada entidad tendrá coordenadas y una variable más; el instante de esa modificación. Así veremos que una

misma entidad pueda tener las mismas coordenadas X,Y,Z y una variable t distinta (4D)

Colaboración:

Facilita el intercambio de información entre los distintos agentes, posibilitando la cooperación y evitando las contradicciones entre las distintas partes. Gracias a BIGMonitor, que es una plataforma WEB, podemos ver desde cualquier dispositivo; PC, Tablet, celular, toda la información de nuestro activo.

Visualización 3D:

Además de facilitar el entendimiento de las infraestructuras y posibilitar la toma de decisiones, previamente a la ejecución, prevé y detecta conflictos e incoherencias de diseño antes de su construcción, pudiendo aportar soluciones y evitando costes innecesarios.

Conclusiones

Frente a la tecnología tradicional CAD el BIM se presenta como una tecnología mucho más eficiente debido a los siguientes factores:

- Existe un único modelo 3D del proyecto, contenedor único de toda la información. Sobre una sola plataforma. BIGMonitor soporta este contenido, haciéndolo consultable por cualquier agente interviniente de la infraestructura.

- Se evita la duplicidad de la información o incoherente entre los documentos asociados.
- La información está siempre actualizada y al alcance de todos los agentes intervinientes, facilitando así la colaboración entre ellos. BIG-Monitor facilita el intercambio, ya que no es necesario conocer complejos software para gestionar y consultar la información.
- El diseño paramétrico, facilita el trabajo, pues los objetos contienen más información de la que vemos a simple vista y además cualquier cambio se actualiza en todas las vistas y todos los documentos.
- Existe trazabilidad, y al fin al cabo calidad en todo el proceso. Podremos saber cómo estaba antes y después de cualquier actuación.
- El intercambio de información con software BIM es más sencillo a través de formatos de interoperatividad, IFC, basados la Norma ISO 16739:2013
- BIM permite anticiparse a las toma de decisiones, pues se prevén los conflictos entre elementos constructivos e incluso instalaciones en el modelo virtual, así como antes de ser construido, disminuyendo así el impacto que tendría el cambio en fases posteriores del proceso, y el incremento de costes.



Gráficos de explotación de un aerogenerador comparando velocidad del viento e inclinación de la torre

- Al tener un modelo 3D facilita el entendimiento del proyecto, facilitando así la relación entre el cliente, los proyectistas y con todos los agentes que intervienen en la construcción del proyecto.

Una herramienta como BIGMonitor, integra el espíritu y la metodología BIM. De hecho muchos de los usuarios de BIGmonitor han adoptado esta solución sin saber que implantaban un sistema BIM, sino que lo hacían por el convencimiento de que incorporaban una herramienta que les iba a ahorrar costes de ejecución, de mantenimiento, mejoraría el control y seguimiento de sus obras o activos.

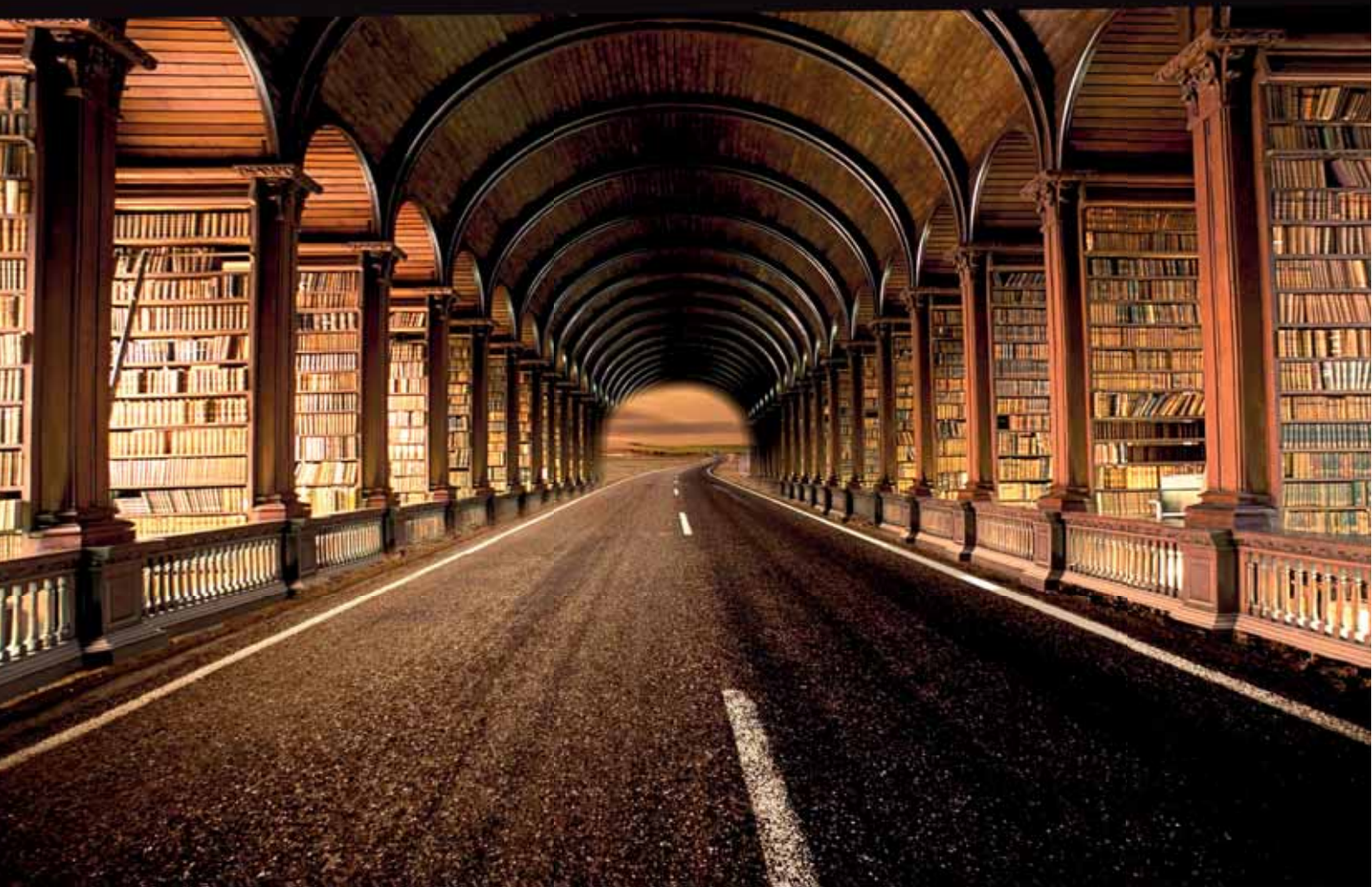
Bibliografía

- <http://www.esbim.es/> fecha de consulta: febrero de 2017
- Peñafiel J.(2015), "Fotogrametría con drones (aviones) sin puntos de apoyo" Mapping, ISSN 1131-9100, págs. 56-59
- <https://youtu.be/rqsUIVygGq8>, fecha de consulta: febrero de 2017
- <http://bigm.es/> fecha de consulta: febrero de 2017
- <https://www.linkedin.com/pulse/2014041417482946913284-bim-el-futuro-de-la-arquitectura>, Milton Chanes. fecha de consulta: febrero de 2017
- BIGMonitor: <http://bigmonitor.bigm.es/>, fecha de consulta: febrero de 2017
- VV. AA. "Los Drones y sus aplicaciones a la ingeniería civil". Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid. Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid, 2015
- <https://www.iso.org/standard/51622.html>. fecha de consulta: febrero de 2017
- <https://www.buildingsmart.es/bim/>. fecha de consulta: febrero de 2017
- <https://www.nibs.org/>. fecha de consulta: febrero de 2017 ❖



Información obtenida de seguimiento con satélite TERRASAR-X con deslizamiento de laderas. Informe de piezómetros instalados en la presa

“EL SABER NUNCA HA ESTADO TAN CERCA”



Descubre más en
www.atc-piarc.com

La “Carretera de la Muerte” boliviana



The bolivian “Carretera de la Muerte”

Ing. Oscar Fariña

(Artículo originalmente publicado en la Revista Carreteras, en el número de Diciembre de 2016)

En este artículo se analiza la Ruta Nacional N°3, que vincula a la ciudad de La Paz, capital del Estado Plurinacional de Bolivia en el altiplano andino, con la localidad de la Santísima Trinidad, ubicada a unos 600 km de distancia y capital del departamento del Beni, en el centro de la región de las llanuras orientales de este país sudamericano.

La elección de este camino no se hizo sólo por razones viales, sino también porque es mundialmente conocida como la “Ruta de la Muerte”, y para destacar el verdadero esfuerzo realizado en los últimos años por la Autoridad Boliviana de Carreteras para resolver la vinculación del transporte a través de una geografía difícil, y evitar así la permanente pérdida de vidas humanas.

Introducción

La ciudad de La Paz se encuentra en el Altiplano de la Cordillera de Los Andes, a una altitud de 3650 m. A partir de allí se desarrolla la Ruta Nacional N° 3, como vía de comunicación hacia el este/noreste, alcanzando los 4650 m en la zona denominada “La Cumbre”, para ir descendiendo unos 3000 m hacia la localidad de Coroico, a través de una geografía montañosa con las laderas escarpadas de los cerros y a lo largo de las quebradas por las que se abren los ríos que descienden hacia las planicies orientales.

Esta ruta fue construida en los años 30 y, según se puede comprobar en numerosas referencias, participaron en la obra



Figura 1. Vista de la denominada “Ruta de la Muerte”

prisioneros paraguayos de la Guerra del Chaco. Es indudable que haber trazado los caminos con la maquinaria disponible en ese entonces, en un medio tan hostil, fue una tarea titánica: por lo que las angostas calzadas resultaron insuficientes para el desplazamiento de tránsito simultáneo en ambas direcciones. Las continuas curvas, con un ancho de calzada, enripiada por tramos, inferior a los cinco metros (que a menudo se reducen a tres), sin defensas laterales que protejan de los abismos, puede resultar una receta mortal para conductores, pasajeros y carga en vehículos de todo tipo (automóviles, camiones, buses, etc.) que se desplazaban por este camino. A ello hay que sumarle el clima, con fuertes lluvias cotidianas en la zona del bosque subtropical de Las Yungas.

En el año 2007 finalmente se construyó un nuevo camino con calzada pavimentada hasta la localidad de Santa Bárbara, en las inmediaciones de Coroico. Una parte de la vieja traza quedó restringida a ciertas actividades turísticas.

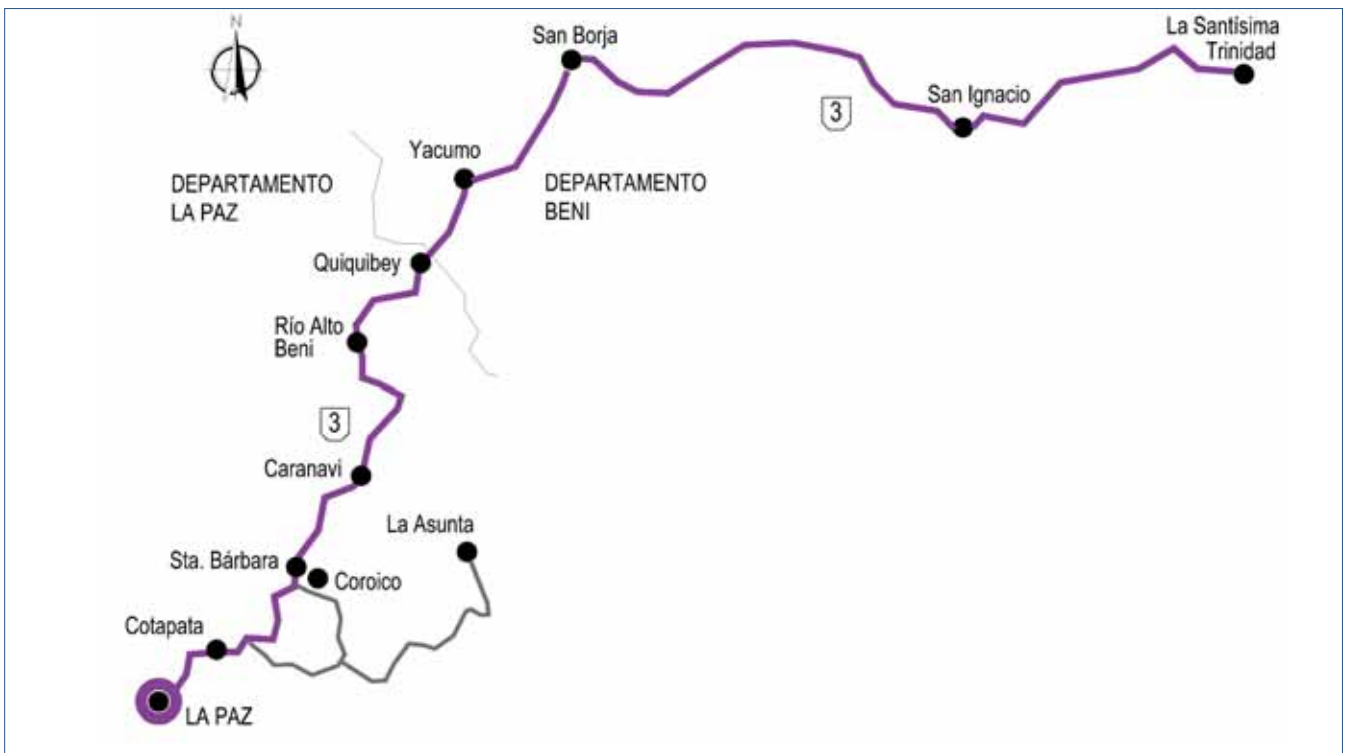


Figura 2. Plano General de la Ruta Nacional N° 3 – Bolivia

No obstante, el camino continúa, si bien a menor altura, con el mismo tipo de dificultades hasta Caranavi; y a partir de esta localidad se va internado progresivamente en la geografía de Las Yungas, que anticipa la selva amazónica. También en este segundo tramo la Autoridad Boliviana de Carreteras encaró en los últimos años obras de renovación de caminos, todo ello dentro del Departamento de La Paz.

Finalmente, en un tercer tramo la Ruta Nacional N° 3 atraviesa el departamento del Beni con un camino no pavimentado, afectado especialmente en la época de las lluvias, hasta la localidad de la Santísima Trinidad.

La Ruta Nacional N°3: La Paz - Trinidad

La Ruta Nacional N° 3, a partir de la ciudad de La Paz, se extiende hacia el Noreste atravesando los departamentos de La Paz y el Beni hasta alcanzar la localidad de la Santísima Trinidad, a unos 600 km de distancia.

A continuación se acompañan las progresivas de las distintas localidades, tomadas a partir de la Plaza de Isabel La Católica en la ciudad de La Paz, agrupadas en tres tramos (ver Figura N° 2):

Tramo 1: La Paz – Santa Bárbara

(Departamento de La Paz)

La Paz: km 0

Santa Bárbara (acceso a Coroico): km 96

Tramo 2: Santa Bárbara – Quiquibey

(Departamento de La Paz)

Caranavi: km 162

Río Alto Beni: km 223

Quiquibey: km 287

Tramo 3: Quiquibey – Santísima Trinidad

(Departamento del Beni)

Yucumo: km 321

San Borja: km 372

San Ignacio de Moxos: km 510

Santísima Trinidad: km 602:

Primer tramo: La Paz – Santa Bárbara

La ciudad de La Paz se encuentra en la zona del altiplano de la Cordillera de Los Andes, a una altitud de 3650 m. La localidad próxima de El Alto (donde opera el aeropuerto internacional) está a 4090 m. Es la capital del país, y también la cabeza del Departamento. Fue fundada en octubre de 1548, y tiene una población de alrededor de un millón de habitantes. Otros tantos residen en la localidad de El Alto.

El camino en el corto tramo de 100 km se desarrolla desde La Paz y asciende a La Cumbre, a más de 4600 m, al atravesar la cordillera oriental, para luego ir descendiendo hasta alcanzar la localidad de Coroico, a unos 1700 m.



Figura 3. La Cumbre y el Monumento a Cristo

En el primer tramo se registra el mayor nivel de demanda de transporte, y la nueva carretera ha reemplazado a la antigua "Ruta de la Muerte" hasta llegar a Santa Bárbara, que es el acceso a Coroico, en la zona subtropical de Las Yungas.

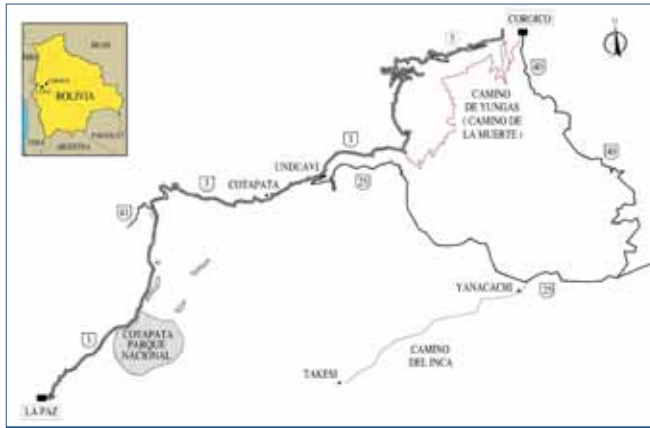


Figura 4. Plano de la Ruta Nacional N°3 hasta Coroico

En la Figura N° 4 se observa la nueva Ruta N° 3 y el tramo de la antigua calzada, como así también el camino de origen incaico denominado Takesi.



Figura 5. Calzada del nuevo camino Ruta N° 3

Sin bien la ruta es un camino de montaña con dificultades, su nuevo diseño brinda adecuadas condiciones de seguridad al tránsito. A partir del km 55,5 la traza se separa geográficamente de la antigua, por lo que el viejo camino queda como una alternativa de aventura al que las autoridades viales regulan el acceso por la peligrosidad que implica una senda sin mantenimiento y afectada por continuos desmoronamientos, especialmente provocados por las fuertes lluvias y los deslizamientos de las caídas en cascada de las aguas.

Como se observa en la Figura N° 6, el nuevo camino se interna en otra geografía a través de un túnel, buscando un desarrollo vial con un diseño de calzada adecuado a las modernas exigencias de seguridad.

A partir del km 63,5 comienza un faldeo prolongado de descenso hacia la localidad de Santa Bárbara, con importantes obras de infraestructura.

En el km 94,8 se encuentra el puente sobre el Río Huanilla, en Santa Bárbara; y en sus proximidades se encuentra el camino de acceso para ascender al cerro donde se desarrolla la urbanización de Coroico. Esta pintoresca localidad



Figura 6. Túnel en el camino Ruta N° 3



Figura 7. Infraestructura de puentes en la Ruta N° 3

perteneciente a la provincia de Nor Yungas, del Departamento de La Paz, cuenta con una población cercana a los 25 000 habitantes y es utilizada como lugar de recreación, con un clima cálido y húmedo. Recibe importantes corrientes turísticas, especialmente los que se acercan con el formato de aventura a través de la Ruta N° 3.



Figura 8. Plaza Central e Iglesia en Coroico

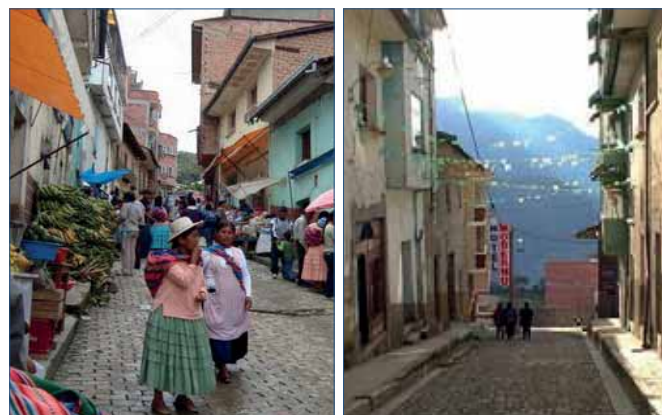


Figura 9. Vista de Coroico, Mercado y calles típicas

Figura 10. Imágenes de la localidad de Coroico

El camino de la muerte

Como se ha señalado, la nueva traza de la Ruta Nacional N° 3 ha dejado fuera de uso gran parte del trazado antiguo de este camino hasta Coroico, que por sus características se hizo famoso por la enorme cantidad de accidentes que costó la vida a numerosos pasajeros que se desplazaban por el lugar habida cuenta de que era la única vía de enlace entre el altiplano y la zona de Las Yungas. Su escaso ancho, sin defensas laterales, sumado a las intensas lluvias y consecuentes derrumbes, han provocado miles de accidentes. El más notable fue el caso de un autobús que se precipitó al barranco en julio de 1983, con el trágico desenlace de más 100 pasajeros muertos.

La seguridad del camino ha pasado a ser tal vez el objetivo central de todas las acciones que se encaran en la actualidad en materia vial: por lo que no se puede admitir que una carretera responda a las características aquí descritas. No obstante, el sabor de la aventura e incentivos de tipo turístico impulsan a muchos (especialmente extranjeros) a recorrerla.

Debe aclararse que en Bolivia se conduce por la derecha. Sin embargo, el viejo camino obligaba a desplazarse por la izquierda para que los conductores que estuviesen de ese lado en un cruce de vehículos pudieran ver con mayor facilidad el borde del camino, que en la mayoría de los casos es un abismo, llegando en varios lugares hasta los 800 m en vertical.



Figura 11. Ciclistas y motos en el camino hacia Coroico



Figura 12. Ciclistas y motos en el camino hacia Coroico



Figura 13. Imágenes de la calzada del antiguo camino a Coroico



Segundo Tramo: Santa Bárbara – Quiquibey



Figura 14. Carretera Nacional N° 3 Santa Bárbara – Caranavi

En el XVI Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito, realizado en el año 2012 en la ciudad de Córdoba, se hizo una presentación sobre las obras en ejecución en la Ruta N° 3 de Bolivia a cargo de un consorcio denominado ARBOL, integrado por empresas argentinas y bolivianas. El proyecto contemplaba, en principio, la construcción de un nuevo camino alternativo al existente precisamente en el tramo donde se producían gran número de accidentes, y la remodelación y pavimentación del Corredor Amazónico Oeste – Norte.



Figura 15. Carretera Nacional N° 3 a Quiquibey- Departamento La Paz

La Administradora Boliviana de Carreteras había programado el enlace con una moderna carretera en la traza de la Ruta Nacional N°3, que uniera a la ciudad de La Paz con la localidad de Trinidad, capital del Departamento del Alto Beni; y en la etapa mencionada se encaraba la vinculación a partir de Santa Bárbara con Caranavi, Alto Beni y Quiquibey.

Si bien a partir de Santa Bárbara el camino va descendiendo, la geografía mantiene su estructura y el desplazamiento de faldeo de montaña en la zona de Las Yungas presenta dificultades para las cuales el nuevo diseño propone mejoras, a fin de ajustar el desarrollo del camino a pautas modernas de seguridad, con calzadas pavimentadas. Véase en la Figura 15 la antigua calzada con circulación por la izquierda en forma similar al tramo anterior descrito, lo que ha sido progresivamente remodelado.



Figura 16. Carretera Nacional N° 3 al Norte de Caranavi.



Figura 17. Vistas de la Localidad de Caranavi

El camino continúa con una infraestructura no pavimentada, pero que contiene puentes para atravesar los importantes cursos de agua existentes, como el caso del río Alto Beni (ver Figuras 18 y 19).



Figura 18. Puente sobre el Río Alto Beni



Figura 19. Ruta N° 3 Sapecho, departamento de La Paz

Tercer Tramo: Quiquibey – Santísima Trinidad

Este tramo se desarrolla en el Departamento del Beni, y la geografía se ha alejado de las cumbres de los Andes: presenta unas llanuras de bosque tropical atravesada por importantes ríos, como el Alto Beni, Maniquí o Mamoré, afluente de la cuenca hídrica del río Amazonas.

Por sus características, el camino no presenta las condiciones de peligro de los tramos anteriores, y dispone de una calzada no pavimentada. A partir del límite departamental se encuentran las localidades de Yucumo y San Borja, como se puede observar en las figuras adjuntas.



Figura 21. Ruta N° 3, Tramo Río Alto Beni- Yucumo

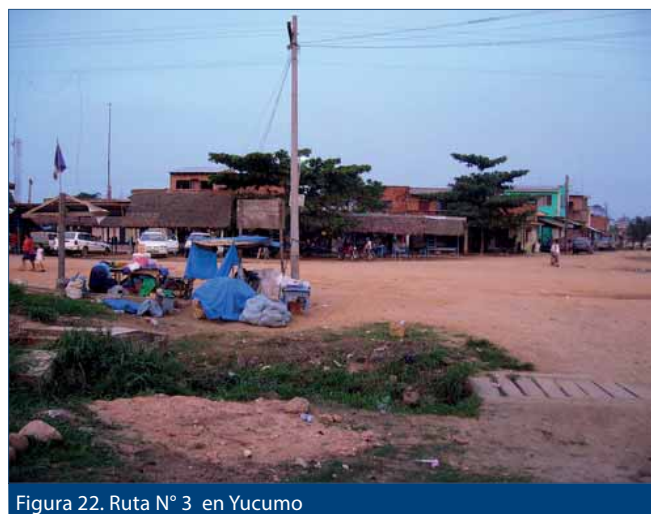


Figura 22. Ruta N° 3 en Yucumo



Figura 20. Carretera Nacional N° 3 A. de Quiquibey – Trinidad

A través de los 138 km que separan a San Ignacio de Moxos de San Borja, la Ruta N° 3 se extiende por una llanura con camino consolidado, conforme se ilustra en la Figura N° 24.

En los 100 km restantes entre San Ignacio de Moxos y La Santísima Trinidad el camino corre por la llanura con una calzada mejorada no pavimentada, y la traza se encuentra

cerca de su destino final frente al importante río Mamoré, que debe ser sorteado mediante el cruce de vehículos en barcazas, conforme se puede observar en la Figura N° 28.

La localidad de La Santísima Trinidad es la capital del Departamento del Beni, y tiene una población de unos 110 000 habitantes. La Ruta N° 3 en este tramo no está asfaltada, por lo que solo se puede circular sin inconvenientes en



Figura 23. Plaza en San Borja



Figura 26. Misiones Jesuíticas San Ignacio de Moxos



Figura 24. Ruta N° 3 Puente sobre el río Maniqui



Figura 27. Calle principal San Ignacio de Moxos



Figura 25. Ruta N°3 San Borja- San Ignacio de Moxos



Figura 28. Cruzando el río Mamoré



Figura 29. Prefectura Beni en Trinidad

las épocas secas: en la épocas de lluvias los caminos del Departamento son prácticamente intransitables. No obstante, la Ruta Nacional N° 9, que conecta con Santa Cruz, está pavimentada y es transitable todo el año.

Takesi: el camino del inca

“Takesi” es el nombre con que se ha designado esta senda construida en épocas precolombinas: es un vocablo de origen aymará que significa “subir”, por lo difícil que implica recorrer esta vía, que fue desarrollada para conectar el altiplano con Coroico. Si bien no es la única es una de las mejor conservadas; y podría decirse que es un buen ejemplo de lo que actualmente se llama movilidad sustentable, como puede observarse por la infraestructura de la calzada de no más de dos metros de ancho, de piedras ordenadas, que se ha mantenido considerablemente bien a pesar de los siglos transcurridos, y que aún hoy facilita el desplazamiento a pie de numerosos visitantes (especialmente turistas), que hacen de esta actividad de ir recorriendo la prodigiosa red de comunicaciones incaica un verdadero homenaje a los pioneros americanos del camino.



Figura 30. Casa de la Cultura y Mercado en Trinidad



Figura 31. Señalización Camino del Inca



Figura 32. Comienzo de la senda

Debe destacarse, además, que el hecho de que este camino presente tan buen estado de conservación es una muestra de que en principio no ha sido deteriorado por las corrientes de agua que descienden de los cerros, ni por las lluvias que arrastran todo a su paso; es decir, su diseño ha tenido especialmente en cuenta los problemas hidráulicos.

Desde La Paz se llega en ómnibus hasta unos 20 km hacia el Este, a un punto desde donde se accede a la senda a recorrer, que está perfectamente señalizada.

Crónicas del camino

Entrevista a una caminante del Takesi

ENTREVISTADOR: ¿Cómo fue que se te ocurrió recorrer el Takesi?

LAURA: Siempre me ha gustado mucho viajar; y después de hacer el camino Inca a Machu Picchu, mi admiración por la cultura Inca me ha llevado a querer seguir caminando sobre sus huellas, para poder seguir descubriéndolas en esos parajes donde solo quedan piedras y naturaleza, como mudos testigos de una historia que fue

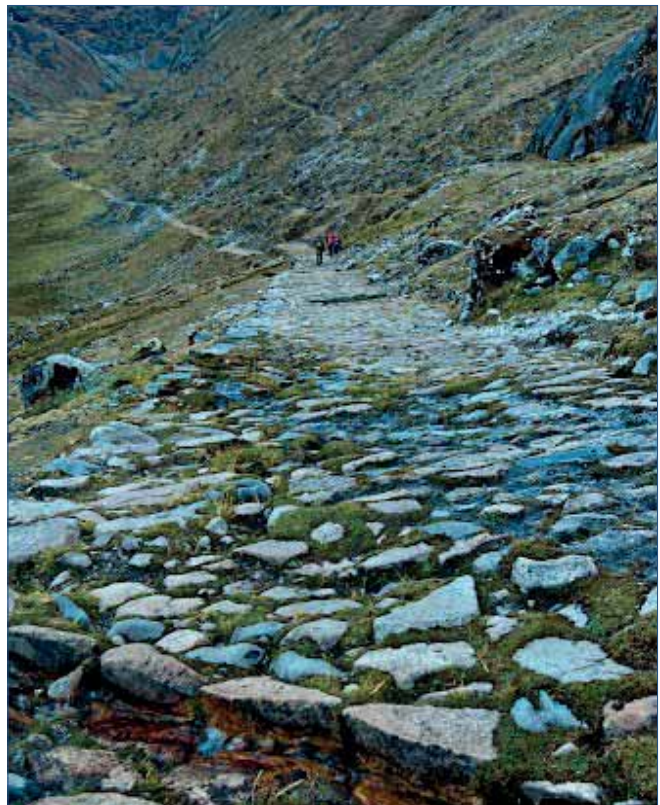


Figura 33. Vistas de la calzada de la senda del Inca

silenciada... y aun hoy permanece envuelta en misterios sin respuesta. Hace ya varios años, cuando estaba en la Isla del Sol con una compañera de viaje canadiense, oímos hablar de este camino y decidimos hacerlo... Caminamos desde las altas cumbres hasta Las Yungas y partimos hacia La Paz

E: ¿Se pueden conocer los detalles del viaje hacia Las Yungas?

L: -Existen excursiones programadas con guías y transporte desde La Paz; pero nosotras lo hicimos solas. Tomamos un micro hasta las afueras de la ciudad, hasta un lugar donde no había nada; pero el chofer nos dijo que bajaríamos ya que ahí empezaba el camino. Al comienzo hay una subida muy pronunciada y difícil (por lo cansadora). Así

empezamos a subir hasta las altas cumbres, para luego comenzar a descender, pasar del clima frío de montaña a la calidez del trópico.

Íbamos con una especie de plano. Igualmente, cuando nos cruzábamos con algún lugareño (muy, muy pocas veces), le preguntábamos si estábamos en el camino correcto.

**E: ¿Tuvieron que hacer noche en el camino?
¿Dónde?**

L:.- Llevábamos lo mínimo necesario por una cuestión de peso; es decir, una bolsa de dormir, algo de ropa, un poco de comida y agua. Sabíamos cuántas horas debíamos caminar para llegar al poblado y hacer noche. Era una carrera contra la luz del sol para llegar a tiempo. La primera noche estuvimos en un poblado con poquitísimas casas sencillas, donde nos dieron alojamiento; pero ya entrada la noche empezamos a oír sonidos e imaginamos roedores. Las casas eran de madera, así que decidimos dormir bajo las estrellas y aguantar el rocío. Pudimos bañarnos en algunas vertientes naturales cuando el clima fue volviéndose más cálido también. En la segunda noche dos personas que vivían en el poblado (que constaba de no más de tres casas), abandonaron sus lechos para que durmiéramos nosotras. ¡Las camas estaban calentitas! Esta vez el sol nos había ganado al ocultarse antes de tiempo. Esa jornada había sido más difícil. Ya teníamos cansancio acumulado y dormimos en esas camas. También nos ofrecieron comida siempre que encontramos poblados. Es muy amable la gente del lugar.

E: ¿Algo para destacar del camino?

L: La naturaleza. ¡Maravillosa! Caminas en total soledad, con tus pensamientos, en la inmensidad de la cordillera. Los caminos incas te transforman... de alguna manera nunca se vuelve como antes. Estar tan lejos de la civilización es una experiencia muy poco frecuente... Hay un momento, pasando más de la mitad del camino, cuando aparece una increíble escalera de piedra... está intacta... uno empieza a subir fascinado, pero es larga...muy larga... y se necesita parar para recuperarte... y no se termina... sigue subiendo y sigue... Esa escalera logró sacarme los demonios afuera y después supe que estaba sintonizada, ya que la llamaban la cuesta del Diablo. De a poco la aridez va dejando lugar al verde, que se hace cada vez más intenso, y la temperatura va aumentando al adentrarse en la selva, Las Yungas. Agua, verde intenso por todos lados, cascadas...y ahí aparece Coroico, un pueblo de veraneo con su plaza e iglesia de estilo colonial. Todo el pueblo está sobre la ladera de la montaña. Tiene unas vistas hermosas. Allí nos alojamos merecidamente en uno de los muchos hoteles. Su dueña era francesa y nos contó bastante de su

vida en Bolivia. ¡Tenía piscina! Lástima que usarla fue casi imposible pues cuando al salir del agua una horda de mosquitos salía al ataque ... Otra cosa notoria era que en el pueblo había muchos grupos de adolescentes en plan de turismo extremo. Llegaban de La Paz en bicicletas por unas bajadas que ponían la adrenalina a tope, y luego se emborrachaban para festejar... En los antípodas de La Paz y la soledad de Takeshi, el Camino del Inca.

E: ¿Cómo regresaron a La Paz?

L: En Coroico había muchas combis hacia a La Paz, cuyos conductores gritaban a los cuatro vientos los horarios de partida. Así que contentas de alejarnos de los mosquitos y de la lluvia nos fuimos en la primera combi que partía.

E: ¿Y el viaje de regreso?

L: Arrancamos el regreso con lluvia; no paraba nunca de llover... Yo iba despreocupada: era un viaje relativamente corto, y estaba feliz de volver al confort de la civilización. La naturaleza es fascinante pero indómita. Requiere un esfuerzo permanente. Al poco de andar me di cuenta de que por la ventanilla no veía camino sino directamente la quebrada, es decir, el vacío... En la combi había un silencio pesado, nadie hablaba, y los rostros estaban serios. Entonces empecé a preocuparme y vi al fondo de la quebrada los restos de algún vehículo desbarrancado. Ahí empecé a recordar los carteles de las agencias de turismo que promocionaban el "camino de la muerte"... y caí en la cuenta de que por allí estábamos transitando. Me puse a hablar mentalmente con alguien que quisiera escucharme, diciéndole que no tenía ningún deseo de morir en ese momento. Uno es bastante inconsciente de los riesgos a veces. El chofer manejaba concentrado y con intrepidez. Pero los vehículos desbarrancados seguían apareciendo como mudos testigos de un destino posible. Con horror comprobé que el camino, a pesar de ser de una sola calzada, era de doble mano: entonces, cuando aparecía un vehículo de frente, el otro debía retroceder hasta encontrar un hueco para dejarlo pasar, por la izquierda. A eso se le suma el barro: la huella era de un ripio bastante fangoso, y como corolario funesto caían cascadas con un volumen de agua importante sobre el camino. En fin, una pesadilla pero despierta... Cuando llegamos al hotel de La Paz me sentí una sobreviviente. Estaba contenta solo con pensar en una ducha caliente. Suspiré profundamente y pensé que el universo me había dado la posibilidad de continuar entre los vivos. A los dos días cerraron el camino por derrumbes. Lo vi por televisión, en el noticiero.

E: Muchas gracias. ❖



SALÓN INTERNACIONAL
DE LA MOVILIDAD
SEGURA Y SOSTENIBLE

24-27
OCTUBRE
2017

ORGANIZA



CONECTIVIDAD



SMART CITY



MEDIO AMBIENTE

2017 TRAFIC

MOVILIDAD SEGURA
Y SOSTENIBLE



SEGURIDAD



APARCAMIENTO



INFRAESTRUCTURAS

www.trafic.ifema.es

Rural. Crónica de un conflicto

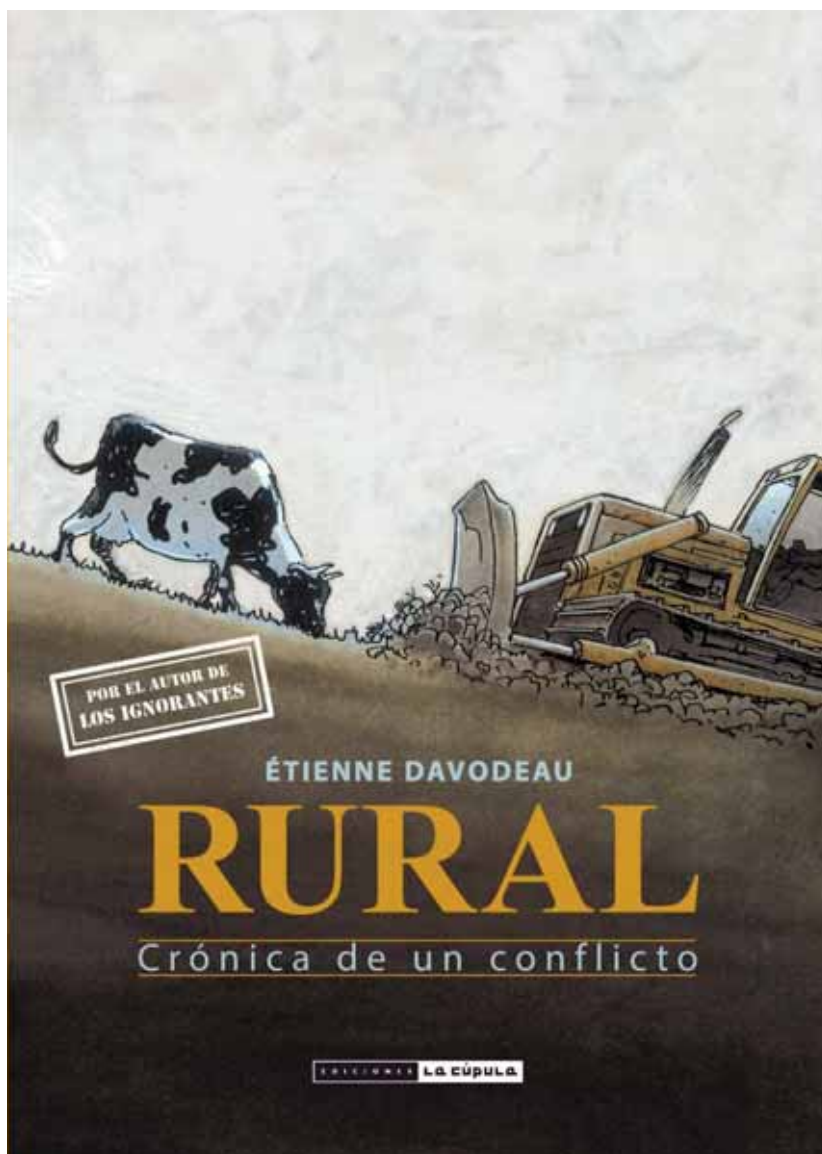
Étienne Davodeau
Ediciones la Cúpula. Enero 2014

Tal como el autor declara en el preámbulo, la publicación que hoy comentamos es un cómic, pero no solo eso: también es un documental, un reportaje producto de un año de intensa observación, lápiz en mano sobre el terreno, de un conflicto que la A-87, en Francia, generó al expropiar unas fincas de producción biológica en Anjou.

Este cómic debería ser de obligada lectura para cualquiera que se incorpore a trabajar en el mundo de la carretera, porque plantea perfectamente el desarrollo de una obra desde la fase de planeamiento, hasta su puesta en servicio. Y nos explica en un caso real, cómo nuestro trabajo afecta, en ocasiones de forma determinante, a las personas que viven cerca, o se ven afectadas por las carreteras.

El conflicto narrado es el del interés general en oposición a unos intereses particulares y expone la necesidad de que los periodos de información pública sean lo más completos posible, y aunque esto no sea suficiente para evitar las afecciones, debe procurarse que la falta de información a los afectados no aumente la angustia y la crispación.

El estilo documental no quiere decir que no sea subjetivo. Todo documental supone una elección del punto de vista, destacar unas situaciones y dar más relevancia a unos personajes que a otros. El punto de vista elegido nos permite ver lo que veríamos



con nuestros ojos si estuviésemos presentes en las escenas que se desarrollan. La cámara a la altura de los ojos

es una elección que nos acerca a los agricultores franceses que al principio no piensan que puedan verse afecta-

dos por la futura autopista porque, según ellos, tendría trazados alternativos más ventajosos para cualquiera que hiciese la selección con criterios objetivos.

Sin embargo, poco a poco van siendo conscientes de los intereses que se mueven alrededor del mundo de la carretera, y de cómo las decisiones finales son fruto de equilibrios, a veces expuestos con claridad y otras solamente deducibles al observar quiénes son los beneficiados. La narración continúa en planos subjetivos, sin utilizar los recursos específicos del cómic como utilizar puntos de vista imposibles, simultanear acciones en el mismo plano o insertar detalles en planos generales para añadir dramatismo. La decisión de intentar ser un testigo fiel de lo observado hace que se incluya una viñeta atípica, con trazos temblorosos, por estar dibujada en el asiento de un tractor en plena faena.

El conflicto objeto del reportaje fue especial porque afectó a unas fincas que en 1999 se planteaban el cultivo ecológico y eran un modelo de agricultura campesina avanzada.

La batalla legal de los afectados queda descrita con detalle y nos permite recordar situaciones parecidas en nuestro país. Las respuestas genéricas, adecuadas para responder políticamente a los medios de comunicación, no son suficientes para las personas que van a verse directamente afectadas: - no existe presupuesto para acometer reformas en las carreteras existentes, que ciertamente resultarían menos impactantes; - al intervenir la iniciativa privada el coste para el contribuyente va a ser nulo; - se ha seleccionado la mejor de las alternativas que es viable como autopista.

Al pensar en procesos de información pública realizados en nuestro país en épocas de mucha actividad por la construcción de las actuales autovías, cabe recordar iniciativas de la Dirección General de Carreteras como la creación de un periódico del afectado, realizado íntegramente por los afectados en un ambiente rural pare-



cido al descrito en el cómic, y financiado con cargo al proceso de información pública, para evitar que la falta de información generase una desconfianza añadida; o la explicación detallada con maquetas de unas estructuras difíciles de entender en plano, para ver cómo afectaban las distintas alternativas de un enlace a una sede vecinal, especialmente valiosa para ellos porque la habían construido en sus ratos libres. En muchas ocasiones la actuación conjunta con el ayuntamiento del municipio más afectado ha permitido dar las suficientes explicaciones "in situ" durante más de dos meses, y que los particulares, las instituciones y las asociaciones pudieran expresarse con alegaciones después de haber expuesto sus argumentos y haber recibido las explicaciones pertinentes. Recuerdo de manera singular la alegación de un obispado que, dado el ambiente de participación masiva en la elección de una variante de la ciudad, no quiso quedarse al margen, y también aportó su opinión.

Sin entrar en la satisfacción o insatisfacción que las alternativas finalmente seleccionadas y ejecutadas generaron, porque hay ejemplos en todos los sentidos, es evidente que cuanto mayor sea la afección, más tiempo y recursos deben destinarse a explicar a los vecinos el porqué de las decisiones, y cuando no ha sido así, pensando que la falta de información disminuiría el conflicto, el resultado ha sido el contrario: la desconfianza y la sensación de falta de respeto ha convertido las protestas en denuncias y en dificultades añadidas para encontrar una solución viable.

Como decía al principio, la descripción del proceso de gestación de la autopista A-87 en Francia, hará reflexionar a todo el que trabaje en carreteras, desde la planificación y la ejecución a la conservación y explotación, pero también a personas ajenas al sector que puedan plantearse a quién benefician realmente determinadas actuaciones gestionadas y realizadas en nombre del bien común. ❖

Reunión del Comité TC.D2 “Firmes de Carreteras” de PIARC



Julio Vaquero García

*Presidente del Comité Técnico de Firmes de la Asociación Técnica de Carreteras
Miembro del Comité Técnico TC D2*

Madrid fue el lugar elegido por el Comité Internacional de Firmes de la Asociación Mundial de Carreteras (PIARC) para celebrar su tercera reunión, tras las celebradas previamente en París y Praga. Con una duración de tres días (del 29 al 31 de marzo) el encuentro tuvo lugar en el Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas (CETA) del CEDEX, y contó con la participación de 40 delegados procedentes de 25 países pertenecientes a los cinco continentes (Alemania, Australia, Austria, Bélgica, Canadá, Corea del Sur, Eslovaquia, España, Estados Unidos, Estonia, Francia, Irán, Japón, Lituania, Mali, México, Noruega, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Ru-

mania, Sudáfrica y Suecia).

Con carácter previo a las reuniones técnicas los miembros del Comité visitaron las instalaciones del Cajón Ferroviario donde les acompañó D. José Estaire Gepp, responsable de los ensayos de secciones ferroviarias que se realizan en el mismo, quienes les explicó las principales características de este laboratorio a escala real, los trabajos realizados así como los previstos para los próximos años.

Finalizada la visita técnica, el director del CEDEX, D. Mariano Navas, dio la bienvenida a todos los asistentes a quienes expuso la estructura organizativa de este centro de investigación en siete grandes áreas de actividad: carreteras, ferrocarril-

les, estructuras, geotecnia, puertos y costas, medio ambiente y obras hidráulicas. Tras su intervención Dña. M^a del Carmen Picón, en representación de la Dirección General de Carreteras, hizo una presentación de la estructura y organización de la red de carreteras en España, describiendo con mayor profundidad la Red de Carreteras del Estado. Por último, intervino el presidente del Comité de Firmes de la ATC, D. Julio Vaquero, para explicar las actividades que se están desarrollando por parte de los distintos grupos de trabajo que lo componen.

Tras la aprobación de la agenda comenzaron las reuniones del Comité Internacional bajo la dirección de

su presidente, Mr. Seung-Hwan Han (Corea del Sur), así como las de sus tres grupos de trabajo.

Issue D.2.1 "Green paving solutions and sustainable pavement materials"

Este grupo de trabajo, bajo la coordinación de Mrs. Gina Ahlstrom (EEUU), ha preparado y distribuido una encuesta entre países miembros de la AIPCR con el objetivo de conocer el grado de conocimiento e implantación de medidas sostenibles para firmas de carreteras. De acuerdo con sus previsiones, a finales del mes de mayo esperaban haber recibido todas las respuestas para poder preparar un primer análisis de las mismas a finales de junio de 2017.

Issue D.2.2 "Low cost pavement systems"

Tras varias reuniones este grupo de trabajo ha terminado por definir el alcance de su actividad, ya que no resulta sencillo definir qué se entiende por un firme de bajo coste. Mr. Cheolwoo Park (Corea del Sur) indicó que para la reunión del primer semestre de 2018 el grupo que dirige tendría un primer borrador que incluiría una guía y unas recomendaciones para poder seleccionar soluciones entre las distintas opciones posibles de pavimentos de bajo coste.

Como documentos de apoyo, los representantes de Eslovaquia (Mr. Zsolt Boros) y Reino Unido (Mr. Martyn Jones) han puesto a disposición del grupo de trabajo sendos documentos sobre vías de baja intensidad de tráfico.

Issue D.2.3 "Non-destructive pavement monitoring and testing techniques"

Este grupo de trabajo, coordinado por Mr. Margo Briessinck (Bélgica), está trabajando en un informe sobre técnica de auscultación de firmes que va a complementar a la ya publicada en el periodo anterior entre congresos con nuevos e inno-



Visita al Cajón Ferroviario



Cena ofrecida por la ATC

vadores sistemas que en el momento de su redacción estaban en fase de experimentación, así como casos prácticos en los que se describirán su utilización y la explotación de los resultados obtenidos.

Próximas reuniones y congresos

Las próximas reuniones del Comité Internacional de Firmes coincidirán con diversos Seminarios y Congresos nacionales e internacionales, según se indica a continuación.

- Cancún (México), 21 y 22 de agosto de 2017, en coincidencia con el Congreso Mexicano del Asfalto (23 y 24 de agosto) se va a organizar un Seminario PIARC en el que participarán miembros del comi-

té y que se desarrollará en torno a cinco temas principales: innovaciones en firmes, firmes ecológicos, firmes de bajo coste, sistemas de auscultación y la utilización de sus resultados en el proyecto y la conservación.

- Brisbane (Australia), 4, 5 y 6 de mayo de 2018, en coincidencia con el Congreso Internacional SURF 2018 (2, 3 y 4 de mayo) sobre características superficiales.
- Durban (Sudáfrica), 9 a 11 de octubre de 2018, donde se organizará un segundo Seminario Internacional en coincidencia con el 6º Congreso Regional SARF / IRF "Roads to Social and Economic Growth". ❖

Reunión del Comité TC.D3 “Puentes de Carretera” de PIARC



Álvaro Navareño Rojo

*Presidente del Comité Técnico de Puentes de la Asociación Técnica de Carreteras
Miembro del Comité Técnico TC.D3*

Los pasados 4 y 5 de abril tuvo lugar en Madrid la 3ª reunión del grupo de trabajo TC D.3, Puentes de Carretera, de PIARC. Esta reunión se enmarca dentro del periodo 2015-2019, que abarca desde el Congreso Mundial de Seul de noviembre de 2015 hasta el que se celebrará en Abu Dabi en octubre de 2019. Este encuentro tuvo lugar en las aulas del edificio CETA (Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas) C/Alfonso XII, 3 del CEDEX.

La apertura y bienvenida a los asistentes de diversos países estuvo a cargo de D. Mariano Navas, Director del CEDEX y de D.ª M.ª del Car-

men Picón, por parte de la DGC, que hizo una presentación de la Red de Carreteras de España y de sus principales características a los asistentes. Así mismo el presidente del comité de puentes de PIARC, Mr. Imai Kiyohiro, hizo una exposición preliminar de los trabajos que estaba realizando el comité y de la agenda prevista para los dos días. Intervino también D. Oscar Gutierrez Bolivar, coordinador del Tema Estratégico D, que expuso los objetivos trazados para este ciclo y las líneas de trabajo a seguir, deseando y confiando en que el Comité seguirá con la misma tónica de ciclos anteriores que le ha

hecho merecedor de ser uno de los que más actividad desarrolla en el seno de PIARC.

Los dos miembros españoles, D. Gonzalo Arias y D. Alvaro Navareño dieron la bienvenida a los asistentes así mismo, y dieron unas explicaciones sobre la agenda prevista en Madrid.

A media mañana intervinieron también D. Miguel caso, como Director Técnico de la Secretaría General de PIARC, que expuso las medidas para garantizar la adecuada calidad de los trabajos que realice la PIARC, y D.ª Marina Domingo, Responsable de comunicación de PIARC, que ex-

puso novedades interesantes en la estrategia de comunicación y difusión de los trabajos de PIARC.

A continuación, se celebraron las primeras reuniones paralelas de los distintos grupos de trabajo creados:

- **Issue D.3.1: Diseño de puentes enfocado hacia un mejor mantenimiento e inspección.**

El coordinador es Luis Rojas, que excusó su ausencia a esta reunión y presentó su renuncia al puesto; hizo sus funciones el co-leader, Mohamed Parak, quien a partir de este encuentro ejercerá de coordinador.

- **Issue D.3.2: Consideraciones técnico económicas en los métodos de rehabilitación de puentes.**

El coordinador es Pierre Gilles.

- **Issue D.3.3: Técnicas de Inspección y evaluación de daños.**

El coordinador es Scot Becker.

Ya el día 5 continuaron las distintas reuniones de los grupos de trabajo a lo largo de la mañana. A mediodía, antes del almuerzo se realizó una visita técnica al Cajón ferroviario del CEDEX, situado junto al laboratorio de Estructuras. Una instalación de 21 m de longitud, 5 m de anchura y 4 m de profundidad que permite ensayar a escala 1:1 secciones completas de vías férreas convencionales y de alta velocidad. En ella puede simularse el movimiento horizontal de ejes y bogies a velocidades comprendidas entre 100 y 400 km/h. La visita estuvo dirigida y presentada por D. Jose Estaire, responsable de la instalación.

Por la tarde, se reunió todo el comité y se expusieron los avances realizados desde la anterior reunión, en septiembre de 2016 en Sudáfrica, así como los resultados de la reunión de Madrid y los trabajos propuestos para la próxima cita en Santiago de Chile. Los tres grupos tienen sus cuestionarios preparados, sobre las materias relacionadas, y los miembros de cada país han rellenado la mayoría de los mismos habiendo re-



Reunión de todo el Comité



Reunión del grupo de trabajo Diseño de puentes enfocado hacia un mejor mantenimiento e inspección

cibido entre 15 y 20 respuestas cada grupo. Los trabajos se encuentran en este momento en una fase de síntesis y revisión.

Finalmente el D. Marcelo Márquez, de Chile, expuso unas líneas generales sobre el congreso internacional de puentes que se celebrará del 18 al 20 de Octubre en Santiago de Chile, coincidiendo además con la siguiente reunión del comité internacional de puentes.

El día 6 de abril de 2017 tuvo lugar la Jornada sobre "Refuerzo con materiales compuestos de puentes de hormigón" organizada por la ATC, con la colaboración del comité internacional de puentes de PIARC. Se celebró en el Colegio de Ingenieros

de Caminos, Canales y Puertos de Madrid y contó con la asistencia de unas 150 personas entre profesionales y técnicos de la materia. Los asistentes recibieron un ejemplar del libro "Refuerzo con materiales compuestos de puentes de hormigón" que se presentó en dicha jornada, realizado en el marco de un grupo de trabajo del comité de puentes de la ATC. Así mismo se presentaron distintas conferencias sobre esta materia de técnicos de España, Suiza, Rumanía, Francia, Japón, EEUU y Chile. La charla inaugural estuvo a cargo del actual presidente de la FIB, D. Hugo Corres, y versó sobre "Los puentes existentes en FIB MO-DEL CODE 2020". ❖

Mención honorífica Luis Antona de la Junta Directiva de ACEX 2017 a Luis Alberto Solís Villa

Manuel Niño, secretario general de Infraestructuras del Ministerio de Fomento, fue el encargado de entregar la Mención Honorífica Luis Antona de la Junta Directiva de Acex 2017 a Luis Alberto Solís Villa, director general de Carreteras e Infraestructuras de la Junta de Castilla y León, por ostentar, a lo largo de más de 22 años, la Dirección General de Carreteras de la Consejería de Fomento de la Junta de Castilla y León, siendo el máximo responsable técnico de la construcción y modernización de las redes de carreteras castellanas y leonesas.

Bajo su dirección Castilla y León fue una de las primeras comunidades autónomas en modernizar la gestión de la conservación. Y en los años de crisis, con los ajustes imprescindibles que ha impuesto el entorno económico, ha mantenido la conservación como prioridad absoluta de una gestión eficiente, siendo un ejemplo y referente nacional.

En su discurso de agradecimiento, el señor Solís, hizo referencia a sus inicios profesionales en el CEAT de Zaragoza y sus diez años como responsable de conservación y explotación en la Jefatura de Ávila:

“En 1981 la conservación y el mantenimiento de la vialidad de las carreteras, se hacía con medios propios, tanto humanos como de maquinaria. No se disponía apenas en una provincia pequeña, de empresas colaboradoras y, desde luego los contratos de servicios para asistencias técnicas eran inexistentes. Las estaciones meteorológicas disponibles para la vialidad invernal, eran el calendario zaragozano, las cabañuelas que hacía el



celador y como medio más avanzado, la parte de Mariano Medina.”

También hizo referencia al antiguo debate sobre la importancia de la conservación, citando a Francisco Javier Barra, uno de los tres Comisarios de la Inspección General de Caminos y Canales creada en 1799. Decía Barra:

“... así los caminos son una de las cargas del Estado que deben mantenerse entre todos y del propio modo que en el orden moral, la fuerza armada y la magistratura no son cuerpos productivos, esto es, que las grandes utilidades que reportan no se pueden sujetar a calculo, así tampoco en el orden físico se pueden sujetar a calculo, ni reducir a dinero la utilidad de los caminos...”

Proyectos premiados

ACEX premió también a dos proyectos, cuyas ideas ingeniosas y sencillas suponen una gran mejora en la

seguridad de los trabajos de conservación.

El proyecto “elevador de biondas en hincadora”, presentado por la empresa INNOVÍA COPTALIA, galardonado en la categoría asociados. Consiste en un sistema hidráulico, instalado sobre la hincadora, que disminuye los factores de riesgo ergonómicos, durante la operación de colocación de barrera metálica de seguridad.

Asimismo, el proyecto “trípode soporte trípode extensible”, presentado por la UTE empresas AUDECA y FIRPROSA, ganador en la categoría general, tiene como objetivo mejorar la señalización de obra con un soporte trípode extensible, que solventa las posibles irregularidades que pueda tener el terreno y garantiza la máxima visibilidad frente a los usuarios de la vía, con el consecuente aumento de la seguridad de los trabajadores de conservación de carreteras.

Cinco Comunidades Autónomas se reúnen con ASEFMA para presentar presupuestos y compromisos medioambientales

Los titulares de carreteras de Madrid, Cataluña, Andalucía, Castilla y León y Asturias responden a la llamada de los fabricantes españoles de asfalto.

La Asociación Española de Fabricantes de Mezclas Asfálticas (ASEFMA) se reunió durante su XII Jornada Nacional con el Director General de Carreteras de Castilla y León, y Presidente de la Asociación Técnica de Carreteras, Luis Alberto Solís, el Director General de Carreteras de la Comunidad de Madrid, José Trigueros, el Director General de Infraestructuras de Movilidad de la Generalitat de Cataluña, Xavier Flores, la Subdirectora General de Infraestructuras de Andalucía Susana Benavides y el Director General de Infraestructuras del Principado de Asturias José María Pertierra.

Los titulares de carreteras de las cinco Comunidades Autónomas explicaron su inversión en infraestructuras viarias y expusieron la necesidad de valorar el impacto medioambiental de la conservación viaria, tanto en materia de reducción de emisiones de CO₂ mediante la conservación de carreteras como en la reutilización de materiales y en la incorporación de soluciones innovadoras medioambientalmente amigables para pavimentos..

Luis Alberto Solís Villa, como Director General de Carreteras de Castilla y León, comentó:

“En Castilla y León este 2017 recuperamos el nivel de PIB del año 2008, pero lamentablemente el pre-

supuesto de carreteras es escasamente el 50% del que era antes de la crisis. Tenemos el mismo nivel de riqueza, un patrimonio viario más extenso y con un déficit de atención de 8 años, pero el presupuesto está reducido a más de la mitad. En Castilla y León la obra pública todavía no ha iniciado su recuperación”.

“En el programa de inversiones para 2015-19 dentro del plan regional de carreteras 2008-20, el bloque de actuaciones prioritarias pretende licitar durante esta legislatura 525 millones de euros, de los cuales el 95% para actuaciones de conser-

vación. En materia de refuerzos de firmes y renovaciones superficiales, significaría la actuación sobre 2.300 kilómetros”.

“En 2016 se licitaron 100 millones de euros, de los cuales 35 millones para refuerzo de firmes y renovaciones superficiales en 26 actuaciones para 415 kilómetros. Este 2017 están previstas 30 actuaciones en 382 kilómetros y 38 millones de euros, pero los presupuestos no están aprobados y las perspectivas de poder llevarlo a cabo son muy desfavorables”.



Curso de formación de Operadores de Centro de Control de Túnel de Carretera 2017

En las aulas de la ATC se impartió, del 23 al 25 de mayo de 2017, una nueva edición del Curso de Operadores de Centro de Control de Túneles. El curso está dirigido a personal en activo de salas de control de túneles de carretera, principalmente Operadores y Jefes de Sala, cuya finalidad es transmitir los conocimientos técnicos y jurídicos, así como la inestimable experiencia práctica de los profesionales escogidos para impartir el curso, proporcionando de esta manera una formación adecuada e imprescindible para la gestión y atención de incidentes y emergencias en túneles de carretera.

En los últimos años, la mejora en la seguridad y calidad de servicio en los túneles de carretera viene siendo una preocupación constante, en la cual se ha invertido un gran esfuerzo en el plano nacional e internacional. En este sentido, el RD 635/2006 sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de carretera del Estado, marca como imprescindible la adecuada formación de los Operadores de Centro de Control para el desarrollo de su cometido. A nivel internacional esta formación incluye el aprovechamiento de la experiencia acumulada y la recopilación y el



análisis de incidentes y simulacros en túneles existentes.

En este contexto, no siendo ajeno a esta necesidad, el Comité de Túneles de la Asociación Técnica de Carreteras viene organizando este curso de formación desde junio de 2013, con una excelente acogida por parte del personal interesado en el mismo.

Los temas tratados incluyeron un repaso al marco legislativo y a los distintos equipamientos técnicos que disponen los túneles, una exposición del contenido que debe formar parte de los manuales de explotación, y el análisis de la gestión eficaz de incidentes de tráfico y averías. Este último aspecto se abordó no únicamente mediante el relato de la experiencia práctica del profesorado, sino además de una manera activa, a tra-

vés de ejercicios prácticos de simulación de incidentes reales planteados a los alumnos.

El curso contó además con una interesante visita técnica al Centro de Explotación y Control de la AP-6, gracias a la colaboración de Abertis, desde donde se controlan los túneles de Guadarrama. Esta visita permitió mostrar el funcionamiento de la gestión del tráfico e incidentes de este tramo de autopista soterrada, así como el equipamiento e instalaciones del centro de control, de los 3 túneles y sus galerías.

De vuelta en las instalaciones de la ATC, tuvo lugar el acto de clausura, poniendo fin a un curso cuya utilidad y aprovechamiento por parte de los asistentes explica el éxito del mismo en sus sucesivas ediciones. ❖



Ignacio del Rey impartiendo su ponencia



Centro de Explotación y Control de la AP-6 gestionado por Abertis



JORNADA TÉCNICA

REFUERZO CON MATERIALES COMPUESTOS DE PUENTES DE HORMIGÓN

MADRÍD

6 de abril de 2017

El pasado 6 de abril de 2017, en la Sala Agustín de Betancourt del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, C/ Almagro nº 42 de Madrid, tuvo lugar esta Jornada organizada por la ATC; Contó con la asistencia de unas 150 personas entre profesionales y técnicos de la materia.

Comenzó el programa técnico con la presentación, por parte de D. Alberto Bardesi, director de ATC, D. Jesús Santamaría, director técnico de la DGC, D. Imai Kiyohiro, presidente del comité internacional de puentes de PIARC y D. Alvaro Navareño, presidente del comité de puentes de ATC. Este último señaló que el grupo de trabajo del comité de puentes de ATC

fue creado para tratar sobre “refuerzo con materiales compuestos de puentes de hormigón” y empezó a trabajar hace ya más 5 años. Como resultado del esfuerzo realizado han elaborado el documento, del mismo nombre que el grupo, que fue presentado y entregado a los asistentes a dicha jornada. Es el fruto de una labor de reflexión y síntesis, a partir de una serie de guías y recomendaciones internacionales existentes y sancionadas por la experiencia. Abarca tanto la definición y caracterización de los llamados materiales “compuestos”, como recomendaciones de diseño, aplicación y control de calidad, específicamente dedicados al refuerzo de puentes de hormigón.

Tras la apertura de la jornada, la charla inaugural estuvo a cargo del actual presidente de la fib, D. Hugo Corres, y versó sobre “el tratamiento de los puentes existentes en el nuevo código modelo”, señalando que no se prevé un capítulo especial para el tratamiento de dichas obras, sino que se pretende englobarlas dentro del mismo formato que las nuevas, aunque lógicamente con sus especificidades en cuanto a coeficientes de seguridad y otros parámetros a considerar. Destacó como fundamental el diseño conceptual de cualquier refuerzo en los puentes existentes. Puso como ejemplo la ampliación del Viaducto de los Santos, en Asturias, construido a mediados de los años 80; un puente

de voladizos sucesivos cuya capacidad se duplicó tras la obra, con una concepción estructural para la ampliación muy estudiada e interesante.

Sesión 1

Estuvo moderada por D. Emilio Criado y dedicada a la presentación de los distintos capítulos del libro.

En primer lugar D. Alfonso García, como coordinador del grupo de trabajo, hizo una "breve presentación del documento" a través de los distintos capítulos; introducción, definición de los materiales compuestos, recomendaciones de diseño, recomendaciones constructivas, de aplicación, control de calidad, ejemplos de realizaciones y referencias bibliográficas. Concluyó que en numerosas ocasiones las personas son los verdaderos talones de Aquiles de los refuerzos de las estructuras, y que ha de implantarse un proceso de capacitación del personal para que esté formado y sea adecuado para el uso de estas aplicaciones.

A continuación, Dña Elena Díaz, trató sobre "las recomendaciones de diseño, normativas". En su exposición comentó la definición de material compuesto que habían empleado en el documento: unión de dos o más componentes insolubles que da lugar a uno nuevo con características propias, y superiores a las de los materiales que lo constituyen cuando actúan independientemente.

La conjunción de la "Matriz polimérica" y los diversos tipos de "Fibra" forman el Material Compuesto, adquiriéndose ya los productos en el mercado en forma de "tejidos, laminados, perfiles o barras"; a su vez mediante el adhesivo se pone en contacto con la superficie a reforzar. Existiendo diversos sistemas y aplicaciones en el mercado actualmente.

Señaló como característica importante de estos refuerzos que la estructura sin reforzar ha de resistir la combinación de acciones accidentales.

En cuanto a las guías de referencia empleadas, éstas han sido: Guide for



Conferenciantes de la sesión 1

the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures (ACI 440.2R-08); Design guidance for strengthening concrete structures using fibre composite materials (TR nº55 Concrete society); Guide for design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening existing structures (CNR-DT 200 R1/2013); Externally bonded FRP reinforcement for RC structures (Bulletin 14 fib), esta última publicada en el año 2001, ha sido el documento de referencia más utilizado en nuestro ámbito, y actualmente se está finalizando su revisión con el fin de adaptarlo al estado del conocimiento actual.

D. Carles Cots trató sobre "el refuerzo por flexión" e hizo hincapié en algunas recomendaciones particulares de diseño: que para la combinación de acciones accidentales la estructura sin reforzar debía garantizar su estabilidad (no colapso). Este requisito viene motivado por la vulnerabilidad de las láminas ante situaciones de incendio, impacto o vandalismo. En general este criterio limita la cota máxima de refuerzo asumible por esta tecnología, al ser el más restrictivo. Idénticamente, al ser un refuerzo puramente colaborante, resulta fundamental el conocimiento del estado previo de la estructura a todos los niveles, caracterización física y tensional. Algo que resulta compli-

cado y costoso, pero imprescindible si se quiere hacer un refuerzo con garantías. También se trataron comprobaciones de diseño (ligadas al empleo de materiales compuestos): en estado límite último por pérdida de adherencia, y en los estados límites en servicio, en lo relativo a estados tensionales, anchos de fisura y deformaciones.

D. José Luis Sánchez trató sobre "el refuerzo por cortante". Señaló que cada vez es más frecuente su empleo, que hay gran controversia teórica sobre este tema aún debido a la gran dispersión en los resultados experimentales relativos a la contribución del FRP en este tipo de refuerzos y que es muy importante la configuración del refuerzo que se haga (bandas espaciadas, continuas, en varias caras, envolviendo en U, etc). Entre las conclusiones señaló que el refuerzo a cortante con materiales compuestos es un sistema efectivo. La puesta en obra resulta sencilla y rápida. Y resulta imprescindible una evaluación del modelo resistente para la estimación de la contribución del refuerzo. Además existe una tendencia a limitar conservadoramente la tensión efectiva. En su opinión existen tres retos de futuro, como son, el ajuste de los factores de influencia en la tensión efectiva, la influencia del grado de fisuración previa, y el efecto de los anclajes y la concentración de tensiones.

Dña Ana de Diego trató sobre “el refuerzo por confinamiento”. El adecuado confinamiento con FRP mejora la resistencia y deformación última de pilares de hormigón armado. En las guías de diseño existentes pueden encontrarse diferentes formulaciones sencillas para obtener la resistencia y deformación última del hormigón confinado. Hay dos parámetros clave para definir el comportamiento:

Deformación última efectiva: rotura del refuerzo para valores de deformación muy inferiores a los que se obtienen al ensayar a tracción cupones de FRP. Punto esencial para el ajuste de los modelos de cálculo aún no resuelto.

Confinamiento en secciones no circulares: hay que redondear las esquinas, y la eficiencia es menor, por lo que existe necesidad de experimentación a escala real.

D. Miguel Angel Vicente trató sobre “los estados límites de servicio” (fisuración, deformación y vibraciones). En general, el refuerzo tiene una influencia nula en la verificación del Estado Límite de Vibraciones. Se sigue el mismo procedimiento de cálculo que para hormigón armado, con algunos cambios. Se comprueba este estado límite sin tener en cuenta el refuerzo.

D. Miguel Arranz habló sobre “las recomendaciones generales para la ejecución y el control de calidad”. Específicamente sobre el control documental y de la recepción de materiales, el control de los acopios (almacenaje en obra), la preparación del soporte que debe estar sano (garantizado mediante ensayos de resistencia, carbonatación o impermeabilidad y existiendo unos valores máximos de apertura de fisura tolerable con la eficacia del refuerzo), ser firme, con adecuada rugosidad (según unos patrones normalizados de texturas, en función de distintas normativas) y porosidad, y estar perfectamente limpio. Las condiciones ambientales son también determinantes según los distintos productos empleados y los fabricantes, sobre todo la ausencia de lluvias o condensaciones

y determinación de temperaturas de aplicación.

Para el control de calidad final se pueden plantear una serie de ensayos bien no destructivos (ensayo de adherencia “Tap-test” o método de impacto, termografía, ultrasonidos o tomografía) o bien parcialmente destructivos (ensayo de adherencia por tracción directa “pull-off”, ensayo de adherencia a cortante o a torsión). Sobre los criterios de aceptación y medidas correctoras como resultado de los ensayos de adhesión destacó que las zonas donde se aprecie falta de adherencia en tejidos o laminados deberán ser reparadas por inyección o, en caso necesario, proceder a una nueva instalación, según se trate de defectos admisibles o no, según se indica en el documento de referencia ACI 440.2R-08. Hizo una serie de recomendaciones para la recepción, mantenimiento y explotación consistente fundamentalmente en un sistema de inspecciones posteriores acordes con el sistema de gestión implantado por el titular de la estructura.

Sesión 2

Estuvo moderada por D. Pablo Díaz, que presentó al presidente del comité de puentes de PIARC Mr. Imai Kiyohiro que hizo una exposición a cerca de la labor del citado comité, de las reuniones ya celebradas en este periodo y de las futuras hasta el congreso mundial de la carretera que se celebrará en Abu Dabi en octubre del 2019. Durante su presentación puso de manifiesto que la Asociación Mundial de la Carretera (PIARC) es una asociación sin fines lucrativos creada en Francia el 29 de abril de 1909, tras el primer Congreso Mundial de la Carretera, celebrado en París el año anterior, con el fin de agrupar a los organismos relacionados con las carreteras en todos los países, tanto del ámbito gubernamental como territorial o local, entidades públicas y privadas, empresas y o interesados a título individual por las carreteras y vías urbanas.

Las siglas, PIARC, reconocidas mundialmente, responden al nombre de la Asociación Mundial de la Carretera y constituyen el nombre de la Asociación en inglés Permanent International Association of Road Congresses (PIARC).

Actualmente PIARC cuenta ya con más de 120 Gobiernos nacionales de todo el mundo como miembros; y tiene miembros en más de 140 países.

El Trabajo Técnico de la Asociación Mundial de la Carretera se divide en cinco Temas Estratégicos, que se actualizan cada cuatro años con la celebración de los Congresos. Los temas estratégicos para el período actual 2016-2019 son: Gestión y Finanzas, Acceso y Movilidad, Seguridad, Infraestructura y Cambio Climático, Medioambiente y Catástrofes.

Bajo estos Temas Estratégicos hay 18 Comités Técnicos Internacionales (entre ellos el comité de puentes) y 4 Grupos de Estudio, que profundizan en diversas áreas en el campo de la carretera y del transporte por carretera.

En este periodo 2016-2019, el comité de puentes se enmarca en el plan estratégico D: Infraestructuras.

Además del citado presidente, el comité cuenta con un secretario anglófono, Mr Scot Becker (EEUU), uno francófono Pierre Gilles (Bélgica), y uno hispanohablante Luis Rojas (Méjico). El número de miembros es de 76 (42 países). En cuanto a los grupos de trabajo creados en este periodo dentro de este comité señaló que son tres:

Issue D.3.1: Bridge design toward improved inspection and maintenance (Group 1). Issue D.3.2: Technical and economic considerations of bridge rehabilitation methods (Group 2). Issue D.3.3: Inspections and damage assessment techniques (Group 3).

A continuación D. Manuel Alvarez, de Suiza, habló sobre “las Prácticas suizas en refuerzo de puentes existentes con materiales compuestos”. En primer lugar sobre el refuerzo de puentes existentes con CFRP (Carbon Fibre Reinforced Polymers), a continuación sobre refuerzo de puentes existentes con UHPFRC (Ultra-High Performance

Fibre-Reinforced Concrete, or rather cement-based composite material) y finalmente sobre un concurso de proyectos-diseño usando UHPFRC.

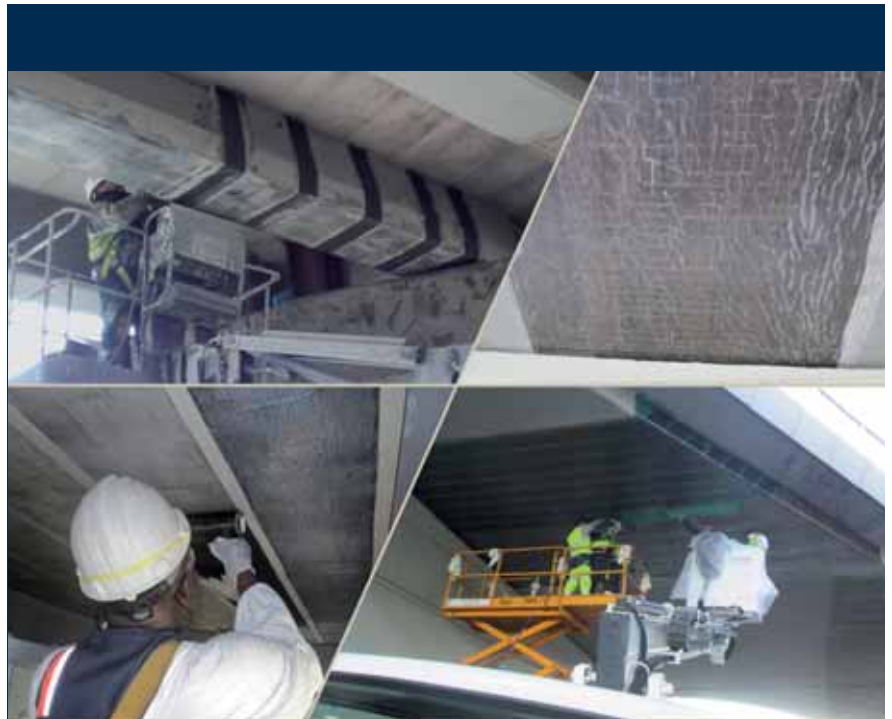
D. Adrian Bota, de Rumanía, en su ponencia sobre “la experiencia en refuerzos con FRP en puentes existentes en Rumanía”, empezó describiendo la red estatal de carreteras de Rumanía, que cuenta con unas 3800 estructuras de unos 50 años de antigüedad. Hizo una descripción general de los distintos tipos de refuerzo (flexión, cortante -con tejidos o tecnología NSM- y confinamiento). Puso dos ejemplos de realizaciones uno por refuerzo y confinamiento de las pilas cilíndricas con FRP, el otro por refuerzo a flexión de un puente con tablero tipo losa nervada de hormigón.

Sesión 3

La moderó D. Gonzalo Arias, se expusieron las ponencias de un miembro de Francia, un representante de la empresa Freyssinet, de la empresa LRA Consultoría, un miembro de Japón, de EEUU y de Chile.

D. Daniel Llop, expuso su ponencia sobre “el refuerzo del puente Sac’h Quéven sobre el río Scorff”, en la Bretaña francesa. Se trata de un puente de voladizos sucesivos de dos calzadas independientes, de luces 53, 97 y 53 metros. Tras el análisis de la estructura se detectaron importantes fisuras de flexión, espesor de pavimento muy variable e importante, tráfico frecuente de transportes especiales con gran carga, fuerte insuficiencia de armado en ciertas secciones, y tras su monitorización, insuficiencia en ELU (seguridad estructural). Se estudiaron distintas soluciones de refuerzo (para todas las soluciones se propuso una reducción de las cargas muertas - pavimento fundamentalmente-):

- solución 1: refuerzo sólo por material compuesto, (cantidad excesiva de material compuesto necesario)
- solución 2: refuerzo sólo por pretensado externo añadido (excesiva compresión generada en hormigón),



REFUERZO CON MATERIALES COMPUESTOS EN PUENTES DE HORMIGÓN

Comité de Puentes de la Asociación Técnica de Carreteras

Grupo de Trabajo: Refuerzo con materiales compuestos en puentes de hormigón



Portada del libro presentado en la Jornada

La solución final consistió en reforzar con pretensado externo añadido limitado y empleo de materiales compuestos (compresión aceptable en losas, reducido esfuerzo cortante). Por ello recomendó respetar las normas de aplicación de los materiales compuestos (temperatura), tener cuidado con la preparación de superficies de hormigón, para evitar la degradación del material compuesto: las grietas se inyectarán con material rígido y baja carga (las grietas abiertas).

D. Angel Rozas, en su ponencia sobre el “proyecto de ejecución de refuerzos de FRP (tejido y NSM) en

grandes obras: puente de las Américas (Panamá)” hizo una descripción del puente de las Américas, con una longitud de 1669 m, 14 vanos y 4 carriles de circulación. El puente se reforzó mediante TFC (tejido de fibra de carbono) y RFC (Barras de fibra de carbono- Refuerzo NSM).

Se reforzó la losa de tablero, basado en la normativa ACI440.2R-08, FIB Boletín 14 y EN 1504, mediante tejidos de fibra de carbono en cara inferior y con barras de fibra de carbono en cara superior además del tratamiento de las fisuras. Habló sobre el procedimiento y el control de la ejecución y finalmente nos comentó los principales aspectos

del plan de inspección y mantenimiento de la estructura.

D. Tomas Ripa en su exposición titulada “ejemplos de refuerzos con FRPS en España, la experiencia desde el punto de vista del proyectista”, señaló que los refuerzos con materiales compuestos son una opción excelente para el refuerzo a flexión de estructuras. Presentó un ejemplo de un puente de la M-30 con necesidad importante de refuerzo a flexión. Se proyectó un refuerzo con CFRPs insertados en rozas (solución de refuerzo de tipo NSM o Near Surface Mounted). La elección de esta solución de refuerzo se hizo conscientemente, a pesar de la dificultad de ejecución de rozas en techo. Las ventajas eran una mayor protección frente a roturas accidentales, por

un impacto, por ejemplo; por otro lado, una mejor estética, al quedar el refuerzo oculto y, además, la preparación superficial no requería el amolado de las irregularidades del hormigón derivadas del tableado del encofrado. Sin embargo, la gran ventaja del sistema NSM es su mejor adherencia y comportamiento frente al despegue. Los despegues en fisuras intermedias no resultan críticos y se reduce la incidencia de los modos de rotura frágil que presentan los laminados exteriores por fallo de adherencia. Aunque, finalmente hubo de reemplazarse por un laminado externo debido a que el recubrimiento encontrado de las armaduras transversales resultó inferior, de forma sistemática, a los 3 cm previstos en los planos de proyecto original.

Destaca, no obstante, la buena estética del refuerzo al observar la estructura en perspectiva, ya que las bandas parecen una superficie continua.

Señaló otro ejemplo de aplicación del refuerzo con FRPs para refuerzo de la flexión transversal de voladizo en los puentes en los que se sustituye el pretel. Si la armadura existente en el voladizo es insuficiente para el momento de impacto que transmite el pretel a la estructura puede proyectarse y ejecutarse un refuerzo con laminados de FRP dispuestos localizadamente en la zona a reforzar, en torno a las placas de anclaje del poste del pretel. El refuerzo se adhiere a la capa superior de la losa y se prolonga transversalmente una longitud suficiente para que la sollicitación de impacto, una vez difundida en el voladizo, no supere el momento de fisuración y, a partir de esa sección, se ancla el laminado. En la zona de voladizo, bajo la placa del pretel, el anclaje del laminado se mejora disponiendo bandas transversales adheridas. Sin embargo, la losa queda muy irregular debido al fresado del pavimento por lo que es preciso disponer una torta de mortero de regularización de altas prestaciones bajo cada zona de refuerzo y comprobar, como en todos los refuerzos pero más si cabe en este caso, la resistencia mínima a tracción del soporte y de la torta de mortero de regularización mediante ensayos de tracción directa.

Como conclusión señaló que este tipo de refuerzos son una realidad, y según los casos presentan ciertas ventajas además de su versatilidad. Los métodos de cálculo tienen bases suficientes de conocimiento para abordar el diseño con garantía y seguridad, más en los modos de fallo clásicos y menos en los modos de fallo específicos del refuerzo por despegue, aún en plena investigación y traslado a formulaciones normativas.

D. Naoki Toyama, de Japón, habló del “refuerzo sísmico con materiales compuestos del Puente Chamagawa”. Tras describir cuales habían sido los



Integrantes de la sesión 2



Intervención de Mr. Kiyohiro Imai

terremotos más importantes en Japón en los últimos tiempos, señaló que los principales daños en puentes se centran en aparatos de apoyo y vigas de hormigón o acero cerca de los apoyos, así como en las constricciones de vigas de borde. Generalmente sobre la subestructura, pilas y cimentaciones, no se suelen dar daños de mucha consideración.

Posteriormente habló de la puesta en marcha de un proyecto para reforzar frente a sismo los puentes de la autopista Kobe- isla de Awaji- Naruto, en el centro de Japón. De ellos expuso en detalle el refuerzo del puente Chamagawa. Un puente arco de hormigón de unos 103 m de luz y 160 m de longitud. Abierto al tráfico en 1997, calculado para las especificaciones nacionales de puentes de autovía y sismo de puentes de menos de 200m.

Hoy día se planteó un refuerzo de los arranques del arco, mediante recido de hormigón con armadura adicional. Y en el resto del arco y los montantes verticales de hormigón un refuerzo con tejido de aramida debido a una geometría complicada, y fundamentalmente a la flexibilidad y ligereza y a su fácil manipulación, adecuada para espacios reducidos en comparación con el tejido de fibra de carbono.

D. Scot Becker, de EEUU; habló sobre “la evolución del uso de FRP para puentes en el estado de Wisconsin: Guía para el refuerzo del hormigón en puentes en servicio”. Concluyó señalando que el empleo de la normativa AASHTO es más conservadora en el cortante y que la ACI es más conservadora en la estimación del refuerzo a flexión. La acción de los materiales compuestos supone mayor incremento de la capacidad resistente con la normativa ACI que con la AASHTO. Bajo la AASHTO el hormigón a menudo se fisura antes de que el FRP alcance la tensión límite de 0.005. Por último indicó que en el estado de Wisconsin están implementando y desarrollando una guía de uso de estos materiales.

D. Marcelo Marquez, en su conferencia titulada “refuerzo con fibra de



Participantes de la sesión 3

carbono: aplicación en puentes en Chile” destacó que entre las principales patologías de los puentes tradicionales en Chile, considerando amenazas externas, están los efectos de los eventos sísmicos. Lo anterior se complementa con el deterioro de la estructura con el paso del tiempo y la socavación de la infraestructura.

En Chile, con el aumento de las sollicitaciones debido a las actuales cargas de tráfico, se requiere contar con técnicas de refuerzo de superestructura de puentes que sean de rápida ejecución. El refuerzo de puentes utilizando fibra de carbono es una solución que presenta ventajas técnicas y económicas respecto de otras alternativas para puentes que tienen limitaciones estructurales.

El empleo de esta técnica de refuerzo no es habitual en Chile, no obstante que es una alternativa válida de reparación y refuerzo de puentes. Se requiere la especialización de los profesionales del área de puentes en esta tipología de refuerzo, estableciendo procedimientos de cálculo y especificaciones técnicas a incluir en el Manual de Carreteras (futura línea de trabajo del subcomité de mantenimiento del Comité de Puentes Chile).

Finalmente señaló que en el segundo semestre del año tendrá lugar en Chile el SECOND INTERNATIONAL BRIDGES CONGRESS - CHILE

2017, DESIGN, CONSTRUCTION AND MAINTENANCE. Al cual nos invitó amablemente.

Mesa Redonda

Estuvo moderada por D. Tomás Ripa, con los representantes de la sesión 3, en la que se debatió sobre el futuro de este tipo de materiales y qué líneas de investigación existían, así como si estaban correctamente definidas en los códigos normativos. En general hubo un consenso sobre la validez e idoneidad de este tipo de materiales así como de las guías actuales, dejando constancia de que debía hacerse un uso adecuado de los mismos con las limitaciones que marcan las normativas y que se pusieron de manifiesto a lo largo de la jornada.

Además, se puso de manifiesto el problema que pueden aparecer tras un sismo en la inspección de estructuras con refuerzos ya realizados, y cómo evaluar el comportamiento de los mismos tras el sismo.

Por último el presidente del comité de puente de la ATC D. Alvaro Navareño y el Coordinador del grupo de trabajo D. Alfonso García clausuraron la jornada agradeciendo a los miembros del grupo de trabajo el esfuerzo realizado y al público de la sala la asistencia y participación y esperando que la misma hubiese sido interesante y productiva. ❖

JORNADA TÉCNICA

CARRETERAS 2+1

DEBATE DE UNA SOLUCIÓN CON FUTURO



BARCELONA

13 de junio de 2017

La Asociación Técnica de Carreteras celebró el pasado 13 de junio la Jornada Técnica “Carreteras 2+1, debate de una solución con futuro”, que tuvo lugar en Barcelona, en la Sala de Actos del Departamento de Territorio y Sostenibilidad, de la Generalitat de Cataluña.

La jornada fue inaugurada por el Director General de Infraestructuras de Movilidad, D. Xavier Flores García, acompañado por D. Luis Alberto Solís Villa, Presidente de la ATC, y D. Fernan-

do Pedraza Majárrez, Director Técnico de la Jornada y Presidente del Comité de Planificación, Diseño y Tráfico.

Este evento se organizó con el objetivo de analizar en detalle la “solución 2+1”, y avanzar en el consenso de los aspectos de diseño que todavía requieren de desarrollo.

Abrió la Jornada Fernando Pedraza, quien recordó la anterior Jornada sobre el mismo tema (noviembre de 2015), y tras destacar que no siempre es posible llegar a soluciones

perfectas, alabó las realizaciones que se visitarían por la tarde.

Sesión 1

El Prof. Alfredo García, Catedrático de Ingeniería de Carreteras de la Universidad Politécnica de Valencia, evocó la anterior Jornada Técnica dedicada a este mismo tema (noviembre de 2015), y calificó las soluciones “2+1” como un nuevo concepto de carretera, glosando los impactos sobre la operación del

tráfico y sobre la seguridad. Estuvo de acuerdo en que el modelo de las carreteras convencionales presenta síntomas de agotamiento, pues no sólo la peligrosa maniobra del adelantamiento se sigue realizando de la misma manera, sino que la función de estas carreteras incorpora de manera creciente la accesibilidad. Para el aumento de la capacidad y de la seguridad se planteó originalmente, sin solución de continuidad, su transformación en autovías o autopistas. Las carreteras "2+1" representan una solución intermedia: se puede adelantar sin interferir al tráfico opuesto, integrando los eventuales carriles adicionales aislados. Puede haber separación física entre sentidos o no.

Expuso el Prof. García que, originadas en el Norte de Europa, las carreteras "2+1" se han extendido a otros países. En Alemania se reservan para itinerarios interurbanos de media y larga distancia, sin separación física. En otros países se han dispuesto carriles aislados de adelantamiento, protegidos por barreras. Se trata, en el fondo, de integrar este nuevo concepto "2+1" en el ya existente "1+1". No sólo se reduce el riesgo de accidentes frontales, sino que se mejora el nivel de servicio al reducirse la demora debida a la imposibilidad de adelantar; y todo ello con mucho menor coste e impacto ambiental que la duplicación de la calzada. La reducción de la siniestralidad es muy acusada, desde un 35 % sin barrera, al doble con ella. Esto es, el equivalente a la que se consigue con la duplicación. También hay inconvenien-

tes: no se puede aplicar a obras de paso o túneles existentes, no se puede adelantar en los tramos de un solo carril, y se complican los accesos a colindantes al exigir mayores recorridos. Otros inconvenientes incluyen la impaciencia de algunos conductores en tramos de un solo carril muy largos, los conflictos en la convergencia al final del carril adicional, y las eventuales faltas de claridad en la separación de sentidos. El rango óptimo para la utilización de las carreteras "2+1" está entre 10 y 20 000 v/d.

Distintos estudios que citó el Prof. García indican que la velocidad media de recorrido aumenta, aunque no sustancialmente; y que la demora disminuye de forma mucho más acusada. La capacidad (marcada por los tramos de un solo carril) no aumenta, e incluso puede disminuir algo por las turbulencias al final del carril adicional. El efecto del carril adicional se prolonga hasta una distancia apreciable después de él. También mencionó unos estudios de microsimulación (programa AIMSUN), que mostraron que la efectividad, medida por la proporción de adelantamiento, aumenta con la longitud del carril adicional; pero que a partir de unos 700 – 800 m, para intensidades superiores a unos 800 v/h, dicha efectividad decae.

Terminó el Prof. García abogando por la redacción de una Guía de diseño y adaptación para el empleo de esta solución.

Fernando Angulo, miembro de la Comisión que redactó la nueva Norma 3.1-IC "Trazado" (2016), expuso que ésta man-

tiene los carriles adicionales en rampa o pendiente de la normativa anterior, e introduce en su apartado 8.7 los denominados "carriles de adelantamiento". Éstos se pueden añadir en algunos tramos de carreteras convencionales para mejorar el nivel de servicio o reducir la siniestralidad por falta de oportunidades de realizar una maniobra de adelantamiento.

Según la Norma, si son aislados:

- Se basarán en un estudio del tráfico que analice los niveles de servicio.
- No podrán coincidir con carriles adicionales en rampa o pendiente.
- No podrán coincidir en ambos sentidos de circulación.
- Se dispondrán por la izquierda del carril normal.
- Se dispondrá una mediana provista de un sistema de contención de vehículos, flanqueada por arcenes interiores de 1 m.

También introduce la Norma los carriles de adelantamiento dispuestos de forma alterna (base de las carreteras 2+1), cuya longitud no debe ser mayor de 1500 m y que deben cumplir las condiciones adicionales resumidas en la figura 1.

J. Enrique Usechi, de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento, destacó la importancia de que la señalización vertical y horizontal de una carretera "2+1" facilite a los conductores una toma de decisiones segura y cómoda, de manera que los adelantamientos se puedan realizar de forma clara y rápida.

Por lo tanto, adquiere una especial importancia la señalización vertical de indicación del número de carriles y de

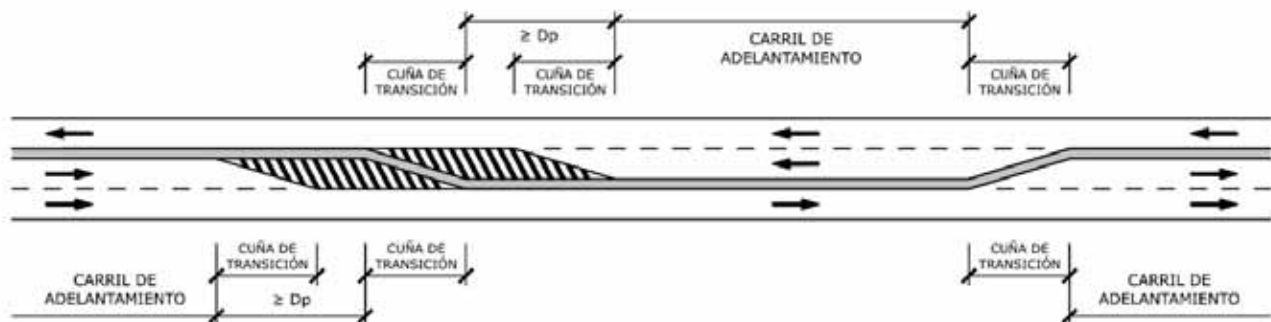


Figura 1



La Jornada tuvo una gran aceptación entre los asistentes

la longitud disponible de carril adicional, así como las marcas viales (bordes de la calzada y separación del carril adicional) y las zonas de cebreado en la zona de transición crítica que cierra el carril adicional. Donde sea importante la proporción de vehículos pesados, se puede estudiar la prohibición del adelantamiento a los camiones correspondientes (R-306).

Asimismo, en el inicio o final del carril adicional, la desviación de los carriles normales opuestos para crear o anular la separación que permita alojarlo no debe exigir a los conductores maniobras excesivamente bruscas. Para ello se necesita una adecuada disposición de las zonas de cebreado.

Lidia Hipólito, Servicio de I+D+i, en nombre propio y en el de Jorge Mijangos, Asesor Técnico, ambos del Grupo OHL, expuso alguna de las investigaciones del proyecto OASIS (Operación de Autopistas Seguras, Inteligentes y Sostenibles) para aumentar la seguridad en los márgenes en relación a la gravedad de los accidentes, y reducir al mínimo las interferencias al tráfico por las labores de mantenimiento. El diseño de los márgenes habituales en desmonte en muchos casos produce el vuelco del vehículo, el impacto contra el talud con gran violencia o una extrema gravedad de los daños de los ocupantes. Y en el caso de márgenes en terraplén, no

siempre los sistemas de contención garantizan que, en caso de salida de la plataforma, el vehículo no rebote y obstaculice la calzada.

Se planteó un diseño de margen seguro en desmonte con una nueva geometría. Los resultados obtenidos se consideraron satisfactorios, puesto que con la nueva configuración de margen las ruedas se mantuvieron sobre el suelo todo el tiempo, no sufriendo ningún tipo de inestabilidad que indujera un vuelco, y los daños a los ocupantes no fueron muy graves.

En el caso de un margen seguro en terraplén, se determinó que conviene alejar de la plataforma el sistema de contención a distancias superiores a las que actualmente se aplican, siempre que se realice un diseño adecuado de la zona entre ambos. Además, esto conlleva ventajas en el mantenimiento.

Otra de las líneas investigadas fue la utilización de lechos de frenado paralelos al eje de la vía aunque los resultados no fueron del todo concluyentes.

Sesión 2

Sebastián Guerrero, Director del Área de Estudios de ESTEYCO, expuso que las carreteras "2+1" representan una innovación en la gestión de la red viaria en tiempos de crisis, al dar respuesta a un problema específico y optimizar los recursos disponibles. Deben llevar aparejados un análisis de la rentabilidad (razón beneficio/coste) y un seguimiento de la evolución de la siniestralidad. Su coste aproximado es de 0,5 M€/km, mientras que el de una duplicación de calzada o autovía es de 5 M€/km.

A continuación comentó algunas realizaciones recientes en carreteras de la provincia de Barcelona:

- Carretera N-II entre Montgat y Mataró. Discurre por zonas densamente pobladas (IMD 30 000 v/d) y es el único itinerario libre de peaje. En el año 2009 se acometieron actuaciones de configuración 2+1, con separadores de flujo

Tabla 1			
Categoría			
Límite de velocidad (km/h)	60 - 120		
IMD (x 1000)	5 - 25		
Longitud en la red viaria (km)	> 200		
Longitud carril adelantamiento (km)	0,8 - 1,5 (rec); 2,0 máx rec		
Ancho carril (m)	2 carriles	Izquierda	3,0 - 3,50
		Derecha	3,50
	1 carril	3,50	
Ancho arcén (m)	0,50 - 1,75		
Ancho de plataforma (m)	13 - 15		
Isleta central: transiciones (m)	Crítica	300	
	No crítica	100	
Tipo de mediana	Marca vial / Cable		

consistentes en barreras de hormigón. La siniestralidad global se ha reducido un 45 %.

- Carretera C-55 en Manresa. Esta carretera discurre paralela a la autopista C-16, de peaje, y supone el único acceso libre de peaje a Manresa (Sur) desde el área de Barcelona. La IMD es superior a 20 000 v/d, con una siniestralidad muy elevada que ha necesitado importantes medidas de seguridad vial. Para implantar la configuración 2+1, se ha seguido el criterio de aprovechar toda la plataforma existente (excepto en algunos sitios puntuales). Se sigue actuando en varios tramos.
- Carretera C-16 entre Berga y Bagà. Un tramo de 21 km con un profundo desequilibrio del tráfico, especialmente en época invernal, para acceder a las zonas de esquí y volver de ellas. Empieza donde finaliza la carretera con calzadas separadas existente entre Barcelona y Berga. Las condiciones topográficas hacen muy costosa la duplicación de la calzada a partir de Berga. Para combinar la separación de los flujos de tráfico con una mayor capacidad en los momentos de mayor demanda, se proyecta la implantación de una barrera móvil, capaz en unas dos horas de invertir la disponibilidad de dos carriles de circulación para un sentido.

Ignacio Hinojosa, adjunto a la Dirección General del Área de Ingeniería Civil y Arquitectura de AYESA, destacó que desde principios del siglo XXI se percibe un creciente interés por las carreteras "2+1", con experiencias recientes en EE.UU., Canadá, Australia, Nueva Zelanda, Holanda, Portugal, España y Polonia. Suecia y Dinamarca se pueden considerar las "pioneras". En concreto, citó el caso de Polonia que incluso ha desarrollado un Manual sobre la implantación de las carreteras "2+1", del que se ha extraído la tabla 1 con sus características principales. Describió varios ejemplos de actuaciones en Polonia, como la N7/E77 Jędrzejów – Cracovia (79 km) y la Variante de Nysa.



Mesa Redonda

Destacó asimismo un aspecto importante y poco regulado en la normativa: la utilización de sistemas de contención de vehículos en la mediana, y de qué tipo. Este tema debe ser objeto de reflexión para el futuro.

Xavier Flores García, Director General de Infraestructuras de Movilidad, Ferran Camps Roqué, Inspector Técnico del Departamento de Territorio y Sostenibilidad, y Albert Gómez Ametller, Subdirector General de Explotación Viaria, explicaron las actuaciones realizadas y los proyectos futuros en Cataluña. Las actuaciones 2+1 ya realizadas han supuesto una inversión de 15,6 M€ con un total de 20,4 km en 5 obras sobre un total de 41 km.

En la zona norte 2,3 km de 2+1 en la C-16 con IMD de 6000. Los tramos más significativos por su impacto en la seguridad, y que posteriormente se vieron en la visita técnica, se centran en 8 km de la C-55, tramo Castellbell-Terrassa (29 000 v/d de IMD pese a existir una autopista de peaje en paralelo con una IMD de 15 000 v/d) y 5,3 km en la C-58, tramo Viladecavalls-Vacarisses (IMD entre 11 500 y 13 300). El índice de accidentalidad era muy alto y la presión en los medios y la alarma social muy elevadas.

Las actuaciones en la C-58 han permitido reducir los accidentes mortales

y graves de forma radical: de 6-8 en 2008-2014 a ninguno en 2016-2017. En la C-55 la reducción también ha sido muy significativa, aunque se ha notado un incremento de los leves por alcance.

Las inversiones realizadas han alcanzado los 7,6 M€ y el impacto en términos de coste social ha supuesto una reducción desde 11,1 M€ /año a 1,8 M€/año.

Los principales condicionantes han sido el aprovechamiento del trazado existente, la necesidad de gestionar incidencias con una barrera de separación de sentidos (asegurando una semi-plataforma "pisable" de 5,5 m), tramos sin limitación de accesos, y algunas limitaciones de visibilidad en curvas a izquierda. La barrera de separación proyectada ha sido de hormigón en tramos rectos y metálica de 80 cm en los tramos curvos. Se han dispuesto transfers, que no se están utilizando porque los equipos de emergencia prefieren los pasos fijos abiertos para giro con balizas abatibles. También se han realizado varias actuaciones en firmes, cunetas, taludes, pintura con banda rugosa, señalización específica (p.e., para giros a izquierdas), etc.

A futuro, el departamento tiene prevista la realización (2016-2020) de 4 tramos con soluciones 2+1 (C-5,

C-35, C-66 y C-352) en los que se ha identificado una mayor accidentalidad. El presupuesto destinado es de 46,6 M€ y se espera una reducción del 25 % de víctimas mortales, 20% de víctimas graves y un 10% en el colectivo de motoristas, actuando de forma que se reduzcan drásticamente los accidentes frontolaterales. También se ha planteado la solución 2+1 en la nueva ronda Costa Brava Sur.

Mesa Redonda

El largo debate que siguió a las ponencias fue abierto por Fernando Pedraza, quien abordó el tema de las barreras de seguridad en la mediana. Expresó su preocupación por este tema, ya que hay problemas con la errónea percepción que pueden tener los usuarios de nuevas soluciones a las no están acostumbrados, a pesar de que éstas cumplan las exigencias de la buena práctica.

Xavier Flores se mostró de acuerdo, y citó el ejemplo del Eix Transversal donde hubo que acabar duplicando la calzada. A veces, como ocurre en la variante de Vinaroz (Comunidad Valenciana), el trazado parece mejor de lo que en realidad es. Con la solución "2+1", con un 5 % de sobrecoste se logran reducciones del 85 % en la siniestralidad.

Mostró Xavier Flores su recelo ante las normas que pueden llegar a convertirse en un impedimento, y su preferencia por otros instrumentos como las Guías, las inspecciones y las auditorías de seguridad viaria. Primero se han de abordar realizaciones, y después de éstas puede llegar la norma.

El Prof. Alfredo García coincidió en que las normas pueden llegar a regular en exceso: por ejemplo, en las transiciones hacia y desde el carril adicional, sobredimensionarlas lleva a perder longitud en este último; se puede ser menos estricto en la transición no-crítica, que en algunos lugares se puede aprovechar como puerta de emergencia.

En cuanto al tema de la barrera de seguridad en la mediana, lo consideró un tema abierto a distintas soluciones

para circunstancias distintas; comparándolo a lo que ocurrió con las autovías de 1ª generación que, aunque al final debieron ser mejoradas, lograron una importante mejora en la circulación y aun en su seguridad.

Xavier Flores comentó que se podría empezar sin barreras de seguridad y, eventualmente, ponerlas si fuere necesario. Ferrán Camps señaló que, para ello, se ha de disponer inicialmente del espacio necesario.

Sandro Rocci, quien fue responsable de la normativa técnica de la Dirección General de Carreteras del hoy Ministerio de Fomento de 1985 a 1991, también se mostró partidario de la flexibilidad que, por ejemplo, permiten las Guías (citó, al respecto, la Guía de Nudos de 2016, en la que actuó como Ponente).

En la intervención de Enrique Usechi le parecieron excesivas para el usuario las 16 señales verticales que se exigen, según la normativa, para una transición no-crítica: lo que le llevó a pedir que se adelgacen las normativas de señalización. También mencionó que los conductores actuales han perdido la habilidad de adelantar.

Felicito al equipo de Xavier Flores por su capacidad e iniciativa en relación con las realizaciones "2+1", que constituyen un Programa más que un Plan; y preguntó quién decidía si la velocidad máxima se fijaba en 80 o en 110 km/h.

Xavier Flores aclaró que se trata de la velocidad genérica fijada por el Reglamento General de Circulación. También mostró su preferencia por los Programas sobre los Planes, y que se deje a los técnicos resolver las cuestiones técnicas (con lo que se mostró de acuerdo Sandro Rocci). Por último, mencionó la conveniencia de que se use el arcén para facilitar del adelantamiento.

Sebastián Guerrero opinó que se debe mejorar la coordinación en materia de velocidades máximas genéricas; y señaló que la transformación de una carretera de calzada única de dos carriles a una "2+1" sólo cuesta del or-

den de 0,5 M€/km, un 10 % de lo que costaría la duplicación de su calzada.

Fernando Pedraza, tras destacar la importancia de las transiciones no-críticas donde se segrega el tráfico y se pueden producir alcances, señaló que la actual Norma de trazado prevé explícitamente las mitigaciones; y que en ella las velocidades de diseño se han gradado de 10 en 10 km/h en vez de 20 como en la anterior, y se ha previsto también la de 130 km/h.

Rafael López Guarga, Jefe de la Demarcación de Carreteras del Estado en Aragón, se felicitó por la realización de esta Jornada, y señaló que se podrían promover carreteras "2+1", como por ejemplo en el tramo Candanos – Bujaraloz – Pina de Ebro de la N-II (IMD de 14 000 v/d, con un 60 % pesados). Pero estimó que la actual normativa, que no prevé explícitamente este tipo de vía, incluso aunque éste se reflejara en la Orden de estudio, puede dar lugar a responsabilidades penales para los que actúen en ese sentido. Por otro lado, los responsables de la carretera se ven presionados por el día a día de los accidentes. También destacó que en la antigua normativa de trazado se admitía que las entonces llamadas "vías lentas" tuvieran una anchura de carril de sólo 3,00 m; y citó la posibilidad de disponer balizas cilíndricas flexibles en la mediana.

Ferrán Camps comentó que en el caso de las carreteras catalanas transformadas a "2+1" había un grave problema de siniestralidad, por lo que lograr una mejora era relativamente fácil. Con el apoyo de auditorías de seguridad viaria y el convencimiento de todo el equipo y de la cadena de mando, se plantearon y realizaron soluciones muy detalladas que la realidad ha justificado.

Xavier Flores corroboró la colaboración de los políticos, que quedaron convencidos y participaron en las explicaciones que se ofrecieron, por ejemplo, a los Ayuntamientos; y destacó que hubo defensa incluso procedente de los propios usuarios. Se preguntó cómo, si no, se van a lograr innovaciones: somos ingenieros, no abogados. Críticas va a haber siempre...

VISITA TÉCNICA

La tarde se dedico a una visita de campo a dos de los tramos ejecutados por la Generalitat de Cataluña:

- C-58 del pk 25 al 37 tramo Viladecavalls-Castellbell y el Vilar
- C-55 del pk 19 al 26 tramo Sant Vicenç de Castellet-Manresa

La visita resulto de gran interés entre los asistentes.



Ignacio Hinojosa opinó que se pueden plantear las mejoras por etapas, por ejemplo en lo referente a la barreira en la mediana, diferenciando entre rectas y curvas, por ejemplo. Las numerosas excepciones que permiten las actuales normas se pueden aplicar, sobre todo, a las actuaciones sobre carreteras existentes. Recordó los excesos a los que han llevado las duplicaciones de calzada, que han terminado por dejar la existente como vía de servicio y construir una autovía de nuevo trazado.

Pedro Berruezo, Subdirector General de Construcción de la Comunidad Autónoma de Madrid, tras felicitar por las actuaciones realizadas, se interesó por cómo han resuelto los accesos que implican giros a la izquierda (prohibidos a nivel por la normativa actual a partir de 5000 v/d), y el punto de giro del peralte.

Camps explicó que se ha estudiado individualmente cada acceso, aplicando criterios razonables y procurando disponer de suficiente visibilidad; se ha recurrido incluso a la utilización de bauxita en el pavimento, para lograr una mayor resistencia al deslizamiento. Disminuir la velocidad ha sido un último recurso. No ha habido problemas con el punto de giro del peralte.

Xavier Flores comentó la conveniencia de disponer de señalización de mensaje variable, por ejemplo cuando llueve; aunque esto provoca ciertos conflictos con la Dirección General de Tráfico que estima que es de su competencia, resultando en un freno al desarrollo de la ITS.

El Prof. Alfredo García que, para soportar las mitigaciones de la Norma, es necesaria una Guía

de diseño de las carreteras "2+1", atendiendo no sólo a la seguridad viaria, sino también a los múltiples compromisos que presentan las carreteras existentes. Los técnicos no nos podemos olvidar de los usuarios. Este tipo de carreteras debe resultar auto-explicativo, y sería bueno que se designara por una etiqueta identificativa: para la cual propugna el término "carreteras semi-separadas".

Rafael López Guarga reivindicó el empleo de la designación de "tramos experimentales"; aunque Xavier Flores mostró cierta disconformidad por asignar a los usuarios el papel de conejillos de Indias.

Lo avanzado de la hora, a la vista del apretado programa de visitas de la tarde, puso fin a este largo e interesante debate. ❖

Composición de la Junta Directiva de la ATC

PRESIDENTE:	- D. Luis Alberto Solís Villa
CO-PRESIDENTES DE HONOR:	- D. Jorge Urrecho Corrales - D. Gregorio Serrano López
VICEPRESIDENTES:	- D. Jesús Santamaría Arias - D. José María Pertierra de la Uz - D. Jesús Díaz Minguela
TESORERO:	- D. Pedro Gómez González
DIRECTOR:	- D. Alberto Bardesi Orúe-Echevarría
SECRETARIO:	- D. Pablo Sáez Villar
VOCALES:	



Asociación Técnica de Carreteras
Comité nacional español de la Asociación Mundial de la Carretera



- Presidente Saliente:
 - D. Roberto Alberola García
- Designados por el Ministerio de Fomento:
 - D. Carlos Bartolomé Marín
 - D. Jaime López-Cuervo Abad
 - D. Jesús Santamaría Arias
 - D. José Manuel Cendón Alberte
 - D. Ángel García Garay
- En representación de los órganos de dirección relacionados con el tráfico:
 - D. Jaime Moreno García-Cano
 - D.ª Ana Isabel Blanco Bergareche
 - D.ª Sonia Díaz de Corcuera Ruiz de Oña
- En representación de los órganos de dirección de las Comunidades Autónomas:
 - D. Luis Alberto Solís Villa
 - D. José Trigueros Rodrigo
 - D. Xavier Flores García
 - D. José María Pertierra de la Uz
 - D. Carlos Estefanía Angulo
 - D. Juan Carlos Alonso Monge
- Designados por los órganos de la Administración General del Estado con competencia en I+D+i:
 - D. Ángel Castillo Talavera
 - D. Antonio Sánchez Trujillano
- En representación de los departamentos universitarios de las escuelas técnicas:
 - D. Félix Edmundo Pérez Jiménez
 - D. José Manuel Vasallo Magro
- Representantes de las sociedades concesionarias de carreteras:
 - D. Bruno de la Fuente Bitaine
 - D. Rafael Gómez del Río
- Representantes de las empresas de consultoría:
 - D. José Polimón López
 - D. Casimiro Iglesias Pérez
 - D. Juan Antonio Alba Ripoll
- Representantes de las empresas fabricantes de materiales básicos y compuestos de carreteras:
 - D. Aniceto Zaragoza Ramírez
 - D. Francisco Javier Lucas Ochoa
 - D. Sebastián de la Rica Castedo
 - D. Juan José Potti Cuervo
- Representantes de las empresas constructoras de carreteras:
 - D. Jorge E. Lucas Herranz
 - D. José Luis Álvarez Poyatos
 - D. Camilo Alcalá Sánchez
- Representante de las empresas de conservación de carreteras:
 - D. Pablo Sáez Villar
- Representante de los laboratorios acreditados:
 - D. Anselmo Soto Pérez
- Representantes de los Socios Individuales de la Asociación:
 - D. Jesús Díaz Minguela
 - D. Enrique Soler Salcedo
- Entre los Socios de Honor:
 - D. José María Morera Bosch
 - D. Pedro Gómez González
 - D. Francisco Javier Criado Ballesteros
 - D. Sandro Rocci Boccaleri
- Nombrado a propuesta del presidente:
 - D. José Luis Elvira Muñoz

Comités Técnicos de la ATC

COMITÉ DE VIALIDAD INVERNAL

- Presidente	D. Luis Azcue Rodríguez
- Secretaria	D.ª Lola García Arévalo

COMITÉ DE FINANCIACIÓN

- Presidente	D. Gerardo Gavilanes Ginerés
- Vicepresidente	D. José María Morera Bosch
- Secretario	D. José A. Sánchez Brazal

PLANIFICACIÓN, DISEÑO Y TRÁFICO

- Presidente	D. Fernando Pedraza Majarrez
- Secretario	D. Javier Sáinz de los Terreros

TÚNELES DE CARRETERAS

- Presidente	D. Rafael López Guarga
- Vicepresidente	D. Ignacio del Rey Llorente
- Secretario	D. Juan Manuel Sanz Sacristán

CONSERVACIÓN Y GESTIÓN

- Presidenta	D.ª María del Carmen Sánchez Sanz
- Presidente Adjunto	D. Vicente Vilanova Martínez-Falero
- Secretario	D. Pablo Sáez Villar

FIRMES DE CARRETERAS

- Presidente	D. Julio José Vaquero García
- Secretario	D. Francisco José Lucas Ochoa

PUENTES DE CARRETERAS

- Presidente	D. Álvaro Navareño Rojo
- Secretario	D. Gonzalo Arias Hofman

GEOTECNIA VIAL

- Presidente	D. Álvaro Parrilla Alcaide
- Secretario	D. Manuel Rodríguez Sánchez

SEGURIDAD VIAL

- Presidente	D. Roberto Llamas Rubio
- Secretaria	D.ª Ana Arranz Cuenca

CARRETERAS Y MEDIO AMBIENTE

- Presidente	D. Antonio Sánchez Trujillano
- Secretaria	D.ª Laura Crespo García

CARRETERAS DE BAJA INTENSIDAD DE TRÁFICO

- Presidente	D. Andrés Costa Hernández
- Secretaria	D.ª Paloma Corbí Rico

Socios de la ATC

Los Socios de la Asociación Técnica de Carreteras son:

- Socios de número:
 - Socios de Honor
 - Socios de Mérito
 - Socios Protectores
- Socios Colectivos
- Socios Individuales
- Otros Socios:
 - Socios Senior
 - Socios Júnior

Socios de Honor

D. ENRIQUE BALAGUER CAMPHUIS
 D. JOSÉ LUIS ELVIRA MUÑOZ
 D. FRANCISCO CRIADO BALLESTEROS
 D. SANDRO ROCCI BOCCALERI
 D. JOSÉ MARÍA MORERA BOSCH
 D. LUIS ALBERTO SOLÍS VILLA
 D. JORDI FOLLIA I ALSINA
 D. PEDRO D. GÓMEZ GONZÁLEZ
 D. ROBERTO ALBEROLA GARCÍA

Socios de Mérito

D. FRANCISCO ACHUTEGUI VIADA
 D. CARLOS OTEO MAZO
 D. ADOLFO GÜELL CANCELA
 D. ANTONIO MEDINA GIL
 D. CARLOS DELGADO ALONSO-MARTIRENA
 D. ALBERTO BARDESI ORUE-ECHEVARRIA
 D. RAFAEL LÓPEZ GUARGA
 D. ÁLVARO NAVAREÑO ROJO
 D.ª MERCEDES AVIÑÓ BOLINCHES
 D. FEDERICO FERNANDEZ ALONSO
 D. JUSTO BORRAJO SEBASTIÁN
 D. JESÚS RUBIO ALFÉREZ
 D. JESÚS SANTAMARÍA ARIAS
 D. ENRIQUE DAPENA GARCÍA
 D. ROBERTO LLAMAS RUBIO
 D. FÉLIX EDMUNDO PÉREZ JIMÉNEZ
 D. PABLO SÁEZ VILLAR
 D. VICENTE VILANOVA MARTÍNEZ-FALERO
 D. ÁNGEL GARCÍA GARAY

Socios Protectores y Socios Colectivos

Administración General del Estado

- DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS. MINISTERIO DE FOMENTO
- DIRECCIÓN GENERAL DE TRÁFICO. MINISTERIO DEL INTERIOR
- DIRECCIÓN GENERAL DE PROTECCIÓN CIVIL Y EMERGENCIA. MINISTERIO DEL INTERIOR
- SECRETARÍA GENERAL TÉCNICA. MINISTERIO DE FOMENTO

Comunidades Autónomas

- COMUNIDAD DE MADRID
- GENERALITAT DE CATALUNYA
- GOBIERNO DE ARAGÓN, DEPARTAMENTO DE VERTEBRACIÓN DEL TERRITORIO, MOVILIDAD Y VIVIENDA
- GOBIERNO DE CANARIAS
- GOBIERNO DE CANTABRIA
- GOBIERNO DE EXTREMADURA. CONSEJERÍA DE ECONOMÍA E INFRAESTRUCTURAS
- GOBIERNO DE NAVARRA. DEPARTAMENTO DE DESARROLLO ECONÓMICO
- GOBIERNO VASCO
- GOBIERNO VASCO. DIRECCIÓN DE TRÁFICO
- JUNTA DE ANDALUCÍA
- JUNTA DE CASTILLA Y LEÓN
- JUNTA DE COMUNIDADES DE CASTILLA - LA MANCHA
- PRINCIPADO DE ASTURIAS
- XUNTA DE GALICIA. CONSELLERÍA DE MEDIO AMBIENTE

Ayuntamientos

- AYUNTAMIENTO DE BARCELONA
- MADRID CALLE 30
- AREA METROPOLITANA DE BARCELONA

Diputaciones Forales, Diputaciones Provinciales, Cabildos y Consells

- EXCMA. DIPUTACIÓN FORAL DE ÁLAVA
- EXCMA. DIPUTACIÓN FORAL DE BIZKAIA
- EXCMA. DIPUTACIÓN DE BARCELONA
- EXCMA. DIPUTACIÓN DE GIRONA
- EXCMA. DIPUTACIÓN DE TARRAGONA
- EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE ALICANTE
- EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE ÁVILA
- EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE HUESCA
- EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE LEÓN
- EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE SALAMANCA
- EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE SEGOVIA
- EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE SEVILLA
- EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE VALENCIA
- EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE VALLADOLID
- EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE ZARAGOZA
- CABILDO INSULAR DE TENERIFE
- CABILDO DE GRAN CANARIA
- CONSELL DE MALLORCA. DIRECCIÓN INSULAR DE CARRETERAS

Colegios Profesionales y Centros de investigación y formación

- COLEGIO DE INGENIEROS TÉCNICOS DE OBRAS PÚBLICAS E INGENIEROS CIVILES
- INSTITUTO CIENCIAS DE LA CONSTRUCCIÓN EDUARDO TORROJA
- CENTRO DE ESTUDIOS DEL TRANSPORTE, CEDEX
- ESCUELA DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS DE BARCELONA. CÁTEDRA DE CAMINOS
- UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID. ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA CIVIL

Asociaciones

- AGRUPACIÓN DE FABRICANTES DE CEMENTO DE ESPAÑA, OFICEMEN
- ASOCIACIÓN DE EMPRESAS DE CONSERVACIÓN Y EXPLOTACIÓN DE INFRAESTRUCTURAS, ACEX
- ASOCIACIÓN DE FABRICANTES DE SEÑALES METÁLICAS DE TRÁFICO, AFASE-METRA
- ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE FABRICANTES DE MEZCLAS ASFÁLTICAS, ASEFMA
- ASOCIACIÓN NACIONAL DE AUSCULTACIÓN Y SISTEMAS DE GESTIÓN TÉCNICA DE INFRAESTRUCTURAS, AUSIGETI
- ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE EMPRESAS CONSTRUCTORAS DE ÁMBITO NACIONAL, SEOPAN
- ASOCIACIÓN TÉCNICA DE EMULSIONES BITUMINOSAS, ATEB
- FORO DE NUEVAS TECNOLOGÍAS EN EL TRANSPORTE, ITS ESPAÑA
- FUNDACIÓN REAL AUTOMÓVIL CLUB DE CATALUÑA, RACC

Sociedades Concesionarias

- ABERTIS AUTOPISTAS ESPAÑA, S.A.
- ACCIONA CONCESIONES, S.L.
- AP - 1 EUROPISTAS, CONCESIONARIA DEL ESTADO, S.A.U.
- AUCALSA, AUTOPISTA CONCESIONARIA ASTUR - LEONESA, S.A.
- AUDENASA, AUTOPISTAS DE NAVARRA, S.A.
- AUTOPISTAS DEL ATLANTICO, CONCESIONARIA ESPAÑOLA, S.A.
- CEDINSA CONCESIONARIA, S.A.
- CONCESIONARIA VIAL DE LOS ANDES, S.A. (COVIANDES)
- SACYR CONCESIONES, S.L.
- TÚNEL D'ENVALIRA, S.A.

Empresas

- 3M ESPAÑA, S.A.
- ACCIONA INFRAESTRUCTURAS, S.A.
- ACCIONA INGENIERÍA, S.A.
- AECOM INOCSA, S.L.U.
- A. BIANCHINI INGENIERO, S.A.
- ACEINSA MOVILIDAD, S.A.
- AGUAS Y ESTRUCTURAS, S.A. (AYESA)
- ASFALTOS Y CONSTRUCCIONES ELSAN, S.A.
- ALAUDA INGENIERÍA, S.A.
- ALVAC, S.A.
- API MOVILIDAD, S.A.
- ARCS ESTUDIOS Y SERVICIOS TÉCNICOS, S.L.
- AUDECA, S.L.U.
- BARNICES VALENTINE, S.A.U.
- BASF CONSTRUCTION CHEMICALS, S.L.
- BETAZUL, S.A.
- CARLOS FERNÁNDEZ CASADO, S.L.
- CEPESA COMERCIAL PETROLEO, S.A.
- CHM OBRAS E INFRAESTRUCTURAS, S.A.
- CINTRA SERVICIOS DE INFRAESTRUCTURAS, S.A.
- COMPOSAN PUENTES Y OBRA CIVIL, S.L.
- CONSERVACIÓN INTEGRAL VIARIA, S.L. (CONSVIA)
- CORSAN - CORVIAM, CONSTRUCCIÓN, S.A.
- CLOTHOS, S.L.
- CYOPSA - SISOCIA, S.A.
- DRAGADOS, S.A.
- DINÁMICAS DE SEGURIDAD, S.L.
- EIFFAGE INFRAESTRUCTURAS GESTIÓN Y DESARROLLO, S.L.
- ELSAMEX, S.A.
- EMPRESA DE MANTENIMIENTO Y EXPLOTACIÓN DE LA M-30, S.A. (EMESA)
- ESTEYCO, S.A.P.
- ETRA ELECTRONIC TRAFIC, S.A.
- EUROCONSULT, S.A.
- FCC CONSTRUCCIÓN, S.A.
- FCC INDUSTRIAL E INFRAESTRUCTURAS ENERGÉTICAS, S.A.U.
- FERROSER INFRAESTRUCTURAS, S.A.
- FERROVIAL AGROMÁN, S.A.
- FHECOR INGENIEROS CONSULTORES, S.A.
- FIBERTEX ELEPHANT ESPAÑA, S.L. SOCIEDAD UNIPERSONAL
- FREYSSINET, S.A.
- GEOCONTROL, S.A.
- GEOTECNIA Y CIMIENTOS, S.A. (GEOCISA)
- GINPROSA INGENIERÍA, S.L.
- GPYO INGENIERÍA Y URBANISMO, S.L.
- HUESKER GEOSINTÉTICOS, S.A.
- IDEAM, S.A.
- IDOM CONSULTING, ENGINEERING, ARCHITECTURE, S.A.U.
- IKUSI, S.L.U.
- IMPLASER 99, S.L.L.
- INCOPE CONSULTORES, S.L.
- INDRA SISTEMAS, S.A.
- INES INGENIEROS CONSULTORES, S.L.
- INGENIERÍA Y ECONOMÍA DEL TRANSPORTE, S.A. (INECO)
- INNOVIA COPTALIA, S.A.U.
- INVENTARIOS Y PROYECTOS DE SEÑALIZACIÓN VIAL, S.L.
- INVESTIGACIÓN Y CONTROL DE CALIDAD, S.A. (INCOISA)
- KAO CORPORATION, S.A.
- KAPSCH TRAFFICOM TRANSPORTATION S.A.U.
- KELLER CIMENTACIONES S.L.U.
- LRA INFRASTRUCTURES CONSULTING, S.L.
- MATINSA, MANTENIMIENTO DE INFRAESTRUCTURAS, S.A.
- OBRAS HERGÓN, S.A.U.
- PADECASA OBRAS Y SERVICIOS, S.A.
- PAVASAL EMPRESA CONSTRUCTORA, S.A.
- PAVIMENTOS BARCELONA, S.A. (PABASA)
- PROBISA VÍAS Y OBRAS, S.L.U.
- PROES CONSULTORES, S.A.
- PUENTES Y CALZADAS INFRAESTRUCTURAS, S.L.U.
- RAUROSZM.COM, S.L.
- REPSOL LUBRICANTES Y ESPECIALIDADES, S.A.
- RETINEO, S.L.
- S.A. DE GESTIÓN DE SERVICIOS Y CONSERVACIÓN (GESECO)
- S.A. DE OBRAS Y SERVICIOS (COPASA)
- SENER, INGENIERÍA Y SISTEMAS, S.A.
- SEÑALIZACIONES VILLAR, S.A.
- SERBITZU ELKARTEA, S.L.
- SOCIEDAD IBÉRICA DE CONSTRUCCIONES ELÉCTRICAS, S.A. (SICE)
- SGS TECNO, S.A.
- TALLER, S.A.
- TALLERES ZITRÓN, S.A.
- TÉCNICA Y PROYECTOS, S.A. (TYPSA)
- TECNIVIAL, S.A.
- TECYR CONSTRUCCIONES Y REPARACIONES, S.A. (TECYRSA)
- TENCATE GEOSYNTHETICS IBERIA, S.L.
- TPF GETINSA EUROESTUDIOS, S.L.
- TRABAJOS BITUMINOSOS, S. L.
- ULMA C Y E, SOCIEDAD COOPERATIVA
- VALORIZA CONSERVACIÓN DE INFRAESTRUCTURAS, S.A.
- VSING INNOVA 2016, S.L.
- ZARZUELA, S.A. EMPRESA CONSTRUCTORA

Socios Individuales

Personas físicas (49) técnicos especialistas de las administraciones públicas; del ámbito universitario; de empresas de ingeniería, construcción, conservación, de suministros y de servicios; de centros de investigación; usuarios de la carretera y de otros campos relacionados con la carretera. Todos ellos actuando en su propio nombre y derecho.

RUTAS

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CARRETERAS



Asociación Técnica de Carreteras
Comité nacional español de la Asociación Mundial de la Carretera



Si quiere suscribirse por un año a la revista **RUTAS**, en su edición impresa y digital, cuyo importe es de 60,10 € para socios de la ATC y 66,11 € para no socios (+ I.V.A. respectivamente) rellene sus datos en el formulario de abajo y envíelo por Fax o por correo postal a la sede de la Asociación:
C/ Monte Esquinza, 24, 4.º Dcha. 28010 Madrid.

http://www.atc-piarc.com/rutas_digital.php

Si quiere anunciarse en **RUTAS** póngase en contacto con nosotros:
Tel.: 913082318 Fax: 913082319
info@atc-piarc.com www.atc-piarc.com



Para más información:
puede dirigirse a:
Asociación Técnica de Carreteras
Tel.: 913082318 Fax: 913082319
info@atc-piarc.com
www.atc-piarc.com

Desde este link http://www.atc-piarc.com/rutas_digital.php, podrá consultar los artículos de la Revista *Rutas*, así como los de otras publicaciones, Congresos y Jornadas que organiza la ATC

Forma de pago:

Domiciliación bancaria CCC nº _____

Transferencia al numero de cuenta: 0234 0001 02 9010258094

Nombre

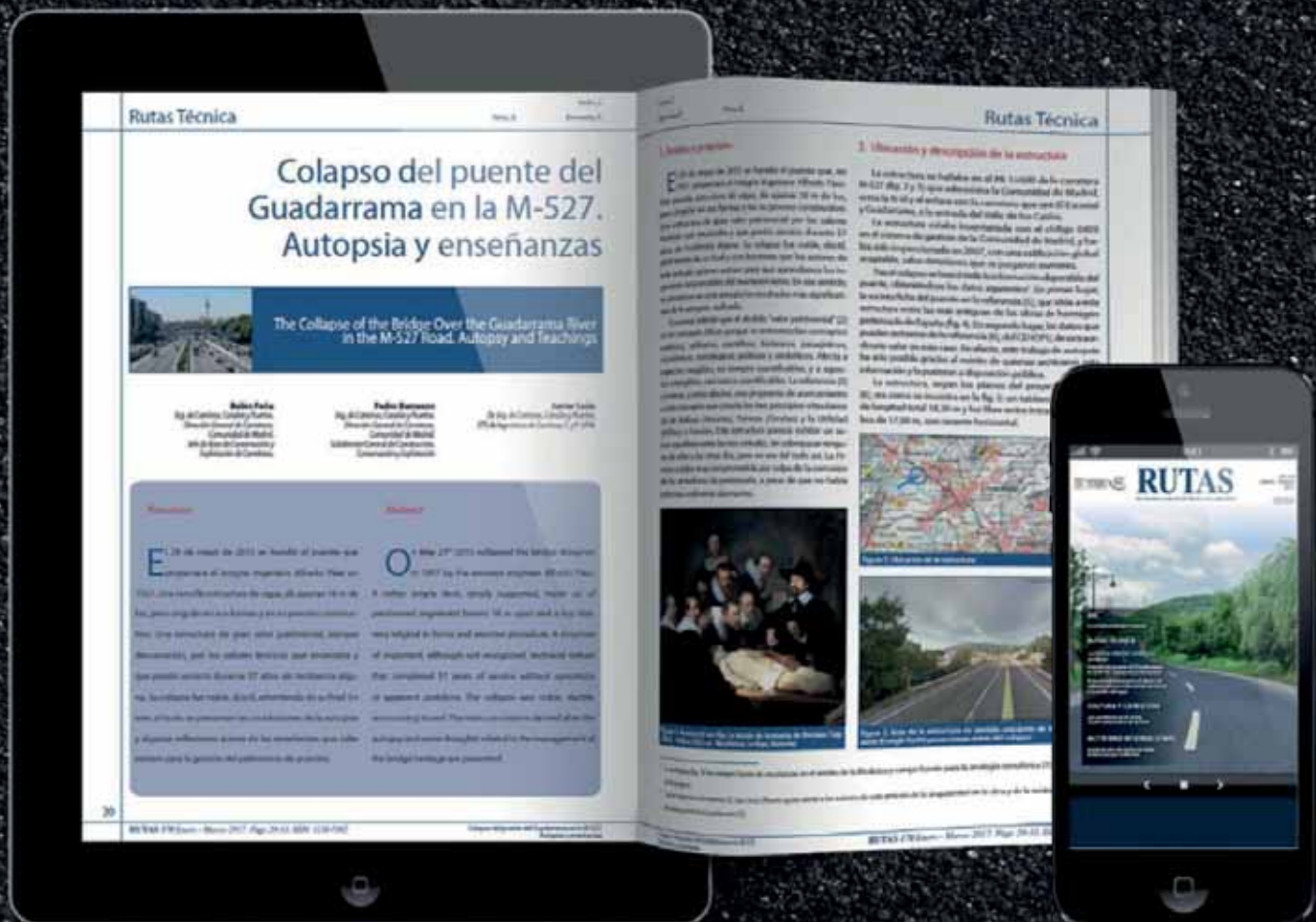
Empresa NIF

Dirección Teléfono

Ciudad C.P. e-mail

RUTAS

Digital



RUTAS se actualiza

Desde la redacción de la ATC nos complace mostraros la nueva edición de la revista RUTAS.

Desde hace ya tiempo que los dispositivos móviles y electrónicos están presentes en nuestra vida diaria. El acceso es más rápido, directo y eficaz que en otros formatos. Por esto queremos presentaros la edición Digital de RUTAS, creada especialmente para adaptarse a los nuevos tiempos.

No obstante, seguimos editando la revista en modo impreso, para todos aquellos amantes del papel y de la lectura tradicional.

Y como novedad, traemos una renovación del histórico para que no te pierdas ningún artículo. Todo esto y mucho más lo puedes encontrar en nuestra página web:

www.atc-piarc.com

Subscríbete en info@atc-piarc.com



Innovar está en nuestros genes

En Repsol, la innovación forma parte de nuestra esencia. Por eso, en el Centro de Tecnología Repsol, dedicamos todo nuestro esfuerzo a la investigación y desarrollo de asfaltos que hacen nuestras carreteras más seguras, eficientes y sostenibles.



REPSOL

Inventemos el futuro

Repsol Lubricantes y Especialidades, S.A.
Más información en repsol.com