



## ENSAYOS DE MATERIALES PARA CARRETERAS

• POR LUIS VALERO

**E**l Comité Técnico de Ensayos para los materiales empleados en la construcción de carreteras ha continuado después del Congreso de Sidney con la labor de unificación que se le encargó en el Congreso de Méjico de 1975. Esta labor de revisión y homogeneización de la terminología y de los ensayos empleados por los distintos países para valorar las características de los materiales empleados en la construcción de las carreteras presenta una doble dificultad. De una parte la propia del tema, pues si bien la mayoría de los ensayos han tenido un origen común, su empleo por técnicos de distintos países ha ido modificando el procedimiento de ensayo para adaptarlo a sus circunstancias particulares, alterando los resultados obtenidos y las especificaciones para los mismos, haciendo difícil actualmente la homogeneización. De otra, la amplitud de conocimientos que exige el tratar de valorar una gama tan amplia de materiales, que comprende desde suelos y rocas naturales hasta pinturas, plásticos, geotextiles, etc., materiales procedentes de procesos industriales de buena tecnología.



Esta labor ha de ser abordada por el Comité mediante la creación de grupos de trabajo y la participación de especialistas, por lo que durante el último período ha sido necesario aumentar el número de grupos y personas participantes en los trabajos del Comité.

Durante las sesiones del Congreso de Bruselas, después de la exposición general realizada por el presidente del Comité, profesor Moraldi, sobre la labor de conjunto realizada por los siete grupos de trabajo creados dentro del Comité, cada uno de los coordinadores pasó a exponer con mayor detalle ante los asistentes la labor realizada para someterla a la discusión general.

## Fidelidad de los ensayos

El grupo de trabajo, basándose en las definiciones de fidelidad, precisión y variabilidad establecidas anteriormente y en la Norma ISO 5725, ha intentado, mediante una encuesta realizada entre los diversos países, obtener los datos existentes para la fidelidad de los ensayos más importantes empleados para caracterizar los suelos, los áridos, el filler, los ligantes hidrocarbonados, las mezclas bituminosas y el hormigón hidráulico.

Los datos recogidos, muy limitados en cuanto a ensayos sobre suelos y hormigón hidráulico, no han permitido elaborar más que las tablas correspondientes a los ensayos más importantes empleados con los ligantes hidrocarbonados y las mezclas bituminosas.

Se ha podido constatar que no todos los países adoptan las definiciones de fiabilidad de la norma ISO 5725, especialmente en relación con la repetibilidad.

No obstante, existe una buena correlación entre los valores considerados para la fidelidad de los ensayos más empleados para valorar los ligantes bituminosos y una peor correlación en los referentes a las mezclas bituminosas.

Hay una cierta confusión entre la diferenciación de la propia fidelidad del método operatorio del ensayo considerado y la variabilidad debida a la toma de la muestra y a la preparación a partir de ésta de la muestra para ensayo. Una buena normativa en este aspecto haría más fructíferos los necesarios ensayos interlaboratorios para fijar la reproducibilidad, máxime teniendo en cuenta las dificultades y el coste que representa la realización de estos ensayos.

Se discutió ampliamente la falta de un ensayo que permitiera valorar anticipadamente la susceptibilidad al envejecimiento de los ligantes hidrocarbonados, solucionada en cuanto a la que se produce durante la puesta en obra, pero difícil por el momento de valorar en lo que concier-



El Comité Técnico de Ensayos trata de unificar los métodos de ensayo.

ne a la que van a experimentar durante su vida en la carretera por el número de factores implicados en la misma.

El tema de la fidelidad de los propios métodos de ensayo, así como la fidelidad de la toma de muestras y de la preparación de las mismas para su ensayo, constituye un factor de la máxima importancia para poder determinar características fiables y con ello unas especificaciones más correctas, más universales y más económicas.

## Ensayos sobre los materiales bituminosos

La labor de este grupo de trabajo se ha visto ampliamente reforzada por la coordinación establecida con la Comisión Técnica RILEM 56 MHM «Materiales hidrocarbonados» por la existencia de miembros comunes en ambos organismos.

Fruto de esta colaboración ha sido la realización de un ensayo interlaboratorio

entre diez países para la valoración de un nuevo método de recuperación del ligante bituminoso de una mezcla, más rápido y fiable que los existentes, puesto a punto previamente durante los trabajos de la citada Comisión. Como consecuencia de este ensayo interlaboratorio ha sido posible establecer la validez del método y fijar los valores de la repetibilidad y reproducibilidad superiores a los de los métodos que hasta ahora se venían empleando.

Es necesario hacer constar que este nuevo método de ensayo fue puesto a punto en el antiguo Laboratorio de Carreteras del CEDEX en el transcurso de los trabajos que la Comisión RILEM le asignó.

Este nuevo método de recuperación con evaporador rotatorio está siendo de máxima utilidad en los estudios de reciclado de mezclas bituminosas, ha sido propuesto como método de ensayo recomendado por ambas organizaciones.

Las críticas al ensayo Marshall induje-



ron al Comité a considerar la propuesta de un nuevo método de ensayo práctico de las mezclas bituminosas que pudiera ser una alternativa y que permitiera valorar las características mecánicas de los testigos extraídos de la carretera. El método belga de compresión diametral parecía el más adecuado para este fin y estaba siendo utilizado por varios países con distintas variantes.

El grupo de trabajo ha realizado una labor de unificación de criterios y ha redactado el método operatorio propuesto a la consideración del Congreso.

Según se puso de manifiesto, las ventajas del método son, además de emplear un equipo relativamente sencillo, la posibilidad de ser realizado a temperaturas de -20° C a 60° C, es decir, en el margen a que va a estar sometida la mezcla en la carretera, así como del control de la puesta en obra al poder realizar el ensayo sobre los testigos tomados de la capa de mezcla bituminosa realmente existente en la obra. La medida de la resistencia y de la deformación permite establecer los módulos a las diferentes temperaturas a las que se realiza el ensayo.

En relación con el ensayo Marshall, el grupo de trabajo ha proseguido sus esfuerzos para tratar de coordinar sus esfuerzos con el Comité de la ASTM, y conseguir tener un método de ensayo unificado que mejorase la fiabilidad del mismo, sin lograr un resultado positivo. El Comité se ratifica en los criterios, ya expuestos en Sidney, en que para mejorar la fiabilidad es necesario, de una parte, el respetar el propio método de ensayo en cuanto al material empleado y la metodología, y de otra, prestar la máxima atención a la preparación de las probetas de ensayo, así como el definir la deformación que se mide en el ensayo.

No obstante todos sus inconvenientes, su sencillez y la experiencia acumulada hace de momento prácticamente insustituible a este ensayo.

Prosiguiendo los trabajos ya realizados en relación con la necesidad de disponer de métodos normalizados de preparación de las probetas de mezclas bituminosas para su empleo en los distintos ensayos, el grupo de trabajo ha realizado una encuesta sobre los métodos de compactación empleados, los tipos de probeta y la homogeneidad conseguida, así como la repercusión de la preparación en la fidelidad de los ensayos.

Los resultados de esta encuesta, dados en el informe del Comité, muestran la diversidad de los métodos empleados, compactación estática, dinámica con rodillos o segmentos de rodillo, compactadores autopropulsados, compactador giratorio, vibrocompresión, etc., así como las variantes que dentro de cada modo de compactación son utilizadas.

Como consecuencia, se ha puesto de manifiesto la necesidad de realizar un verdadero esfuerzo para tratar de conocer cuáles son los procedimientos más aconsejables para conseguir unas probetas de ensayo más homogéneas y con una textura interna más semejante a la que se consigue en la carretera.

Los futuros estudios deberán orientarse a encontrar un método de compactación, por medio del cual se reproduzca lo mejor posible esta textura de la mezcla en la carretera y así determinar sobre estas probetas las características mecánicas reales.

La compactación con rodillos de planchas de mezcla y el serrado o extracción de testigos de la plancha parece el sistema más idóneo para conseguir esta textura y, con ella, una mejor caracterización de las mezclas y una mayor fiabilidad en el ensayo, siempre que se consiga una buena homogeneidad de las probetas.

Desde el punto de vista de la fiabilidad es también de gran importancia el tratamiento previo de los materiales y el método empleado en la realización de la mezcla de los áridos con el ligante hidrocarbonado.

El grupo de trabajo ha realizado una encuesta sobre los ligantes modificados, los regeneradores utilizados en el reciclado de las mezclas bituminosas y sobre los efectos de las bajas temperaturas y las sales en los ligantes hidrocarbonados, tratando de conocer la valoración que cada país daba a estos temas.

La valoración de la influencia del empleo de los ligantes modificados en las mezclas es de un interés general por el empleo que se viene haciendo de los mismos, no obstante su mayor precio, debido a crearse un procedimiento para poder resistir los mayores tráficos actuales y la ejecución de capas y tratamientos de conservación con capas más finas.

El interés general no se reduce tan solo a esta valoración, sino al modo de caracterizar a estos ligantes modificados y las características que confieren a las mezclas con ellos fabricadas. Es evidente que estos ligantes modificados disminuyen la susceptibilidad a la temperatura y a los tiempos de carga y que se dispone de una cierta experiencia en el empleo de una serie de polímeros, pero existen todavía interrogantes sobre su estabilidad al almacenamiento y durante las operaciones de fabricación y puesta en obra y su evolución en el tiempo.

Existen actualmente métodos para la identificación cualitativa y cuantitativa de los polímeros más corrientemente empleados por medio de la espectroscopia infrarroja, la cromatografía sobre gel permeable (GPC) y la cromatografía en fase líquida de alta resolución (HPLC), pero no se dispone hasta la fecha de ensayos nor-

malizados sencillos para la valoración de los ligantes modificados en el laboratorio.

Para determinar las modificaciones producidas en la mezcla realizada con ligantes modificados, se consideran como ensayos más utilizados los ensayos de deformación estáticos, la determinación del módulo E, los ensayos en pista y los ensayos dinámicos de fatiga.

Los ligantes modificados constituyen por tanto un campo en el que es necesario proseguir los estudios, tanto para valorar sus propiedades actuales como, lo que es más importante, su evolución durante la vida en la carretera.

De las encuestas realizadas y de la discusión no se considera que los ligantes hidrocarbonados sufran ninguna alteración en sus características por efecto de las bajas temperaturas, excepto las debidas a su susceptibilidad a la temperatura, es decir, la variación a consistencias más duras y frágiles.

En relación con el posible ataque químico de las sales empleadas como fundentes del hielo, sobre los ligantes y las mezclas bituminosas, no se han detectado efectos perjudiciales, quizá debido a un empleo casi generalizado de mezclas densas, impermeables, que hacen difícil el contacto con el ligante ya de por sí bastante inerte ante estos compuestos.

La resistencia de los ligantes a las bajas temperaturas se sigue valorando en casi todos los países por medio del ensayo del punto de fragilidad según Fraas y en algún caso por la determinación de la ductilidad a baja temperatura.

En cuanto a las mezclas, se sugieren los ensayos en pista a baja temperatura.

### Ensayos sobre los materiales tratados con ligantes hidráulicos y puzolánicos

La puesta a punto de un dispositivo extensométrico que permite la medida de la deformación en el plano paralelo a los platos de la prensa, cuando se ensaya una probeta a compresión diametral, ha permitido al grupo cambiar los criterios dados en el Congreso de Sidney de que para caracterizar los materiales tratados con ligantes hidráulicos era necesario realizar dos ensayos sucesivos, el ensayo de compresión simple y el de compresión diametral, con el fin de obtener el par de características, módulo-resistencia a tracción, que caracterizan a estos materiales.

La puesta a punto en Francia de este extensómetro, que permite la determinación de la deformación transversal de la probeta y el aumento del diámetro en función de la carga aplicada durante la realización del ensayo de compresión diametral de un probeta del material, permite la determinación de estas dos características mediante la ejecución de un solo ensayo. Los ensayos realizados han mostra-



do que los módulos así determinados tienen la precisión suficiente para permitir la caracterización de estos materiales.

La descripción detallada del extensómetro, el método operatorio y los cálculos, se incluyen en el informe del Comité.

El efecto destructivo de las bajas temperaturas sobre los materiales tratados con ligantes hidráulicos es motivo de preocupación de muchos países en los que el clima invernal es severo.

El grupo de trabajo ha realizado una encuesta entre estos países con objeto de conocer los ensayos que se vienen realizando para determinar la resistencia a la helada de los materiales tratados y del hormigón, con el fin de dar una recomendación generalizada.

Como se deduce de la recopilación realizada, la mayoría de los ensayos aplicados a los materiales tratados provienen de la técnica del hormigón hidráulico.

Existe una gran disparidad en cuanto a la forma y dimensiones de la probetas, la edad al someterlas al ensayo, el estado y método empleado en la saturación con el agua, las temperaturas y la duración de los ciclos de hielo y deshielo, el número de ciclos así como en el procedimiento para determinar los efectos producidos en la probeta por la acción destructiva del hielo.

Es evidente que las diferentes condiciones climatológicas deben ser la causa principal de esta disparidad, y por eso mismo ha sido imposible dar un método para los materiales tratados que pudiera responder a las preocupaciones generales sobre el comportamiento de los mismos ante la acción de la helada.

No obstante, pueden hacerse las siguientes recomendaciones de tipo general para la adopción de una metodología de ensayo en función de las condiciones climáticas y la estructura del firme:

- las temperaturas extremas del ciclo deberán estar comprendidas entre  $-20^{\circ}\text{C}$  y  $+20^{\circ}\text{C}$ ;
- el número de ciclos no será inferior a 5 ni mayor de 100, recomendándose 25;
- las probetas deberán estar saturadas de agua;
- el material no deberá presentar fisuras, descascarillados, hinchamiento apreciable, y la disminución de su resistencia a tracción en el ensayo de compresión diametral no será mayor del 25% después de los ciclos de hielo y deshielo.

## Ensayo sobre los áridos

El informe presentado en Sidney, que daba por terminadas las recomendaciones de los ensayos de áridos, se ha considerado que era necesario completarlo

con dos nuevos ensayos por circunstancias muy diferentes.

Para valorar la adhesividad del betún a los áridos se recomendaron los ensayos de inmersión total TWIT y el ensayo de pérdida de estabilidad Marshall después de inmersión en agua.

Habiendo recomendado el Comité un nuevo ensayo práctico para valorar las características de las mezclas bituminosas, ensayo de compresión diametral, se ha considerado que la aplicación del concepto de pérdida de resistencia por la acción del agua debía ser también aplicado al nuevo ensayo.

El procedimiento de ensayo recomendado es similar al del ensayo Marshall, sustituyendo la estabilidad por la resistencia medida en este ensayo.

Debido al enorme incremento que en la actualidad tienen los riegos con grava para los más diversos tipos de tráfico, y considerando la importancia de la adhesividad en este tipo de aplicación y lo inadecuado de los otros métodos recomendados para su medida en esta técnica, se ha seleccionado como más recomendable para su aplicación a los riesgos el empleo del ensayo Vialit, cuyo procedimiento de ensayo se describe detalladamente en el informe del Comité.

## Ensayos sobre los materiales marginales

Los trabajos de este grupo se han realizado, de acuerdo con el mandato del Congreso de Sidney, en colaboración con el Comité Técnico de Firmas Flexibles, citándose exclusivamente a los materiales y los métodos de ensayo empleados en su caracterización.

La encuesta realizada entre los distintos países no ha permitido hacer una selección de métodos de ensayo recomendables, porque el empleo de estos materiales que no cumplen las especificaciones dadas para los materiales tradicionales no es ni general ni homogénea dentro del firme, y porque los diversos tratamientos empleados para mejorar sus características pretenden distintos fines, lo que hace difícil una sistematización.

La labor realizada se ha centrado en hacer una clasificación de estos materiales según su naturaleza o procedencia, agrupándolos en materiales naturales, subproductos industriales y desechos, sin incluir los materiales artificiales con características específicas para un empleo determinado.

Para la valoración de los cuarenta y tres materiales citados en la encuesta se cita el empleo de ensayos tradicionales, como granulometría, ensayo Proctor, límites de Atterberg, CBR, hielo y deshielo, hinchamiento y retracción, Los Angeles, etc.,

y ensayos especiales, consistentes en una modificación de los normalizados o nuevos, fundamentalmente basados en estudios petrográficos o químicos.

Para dar una mejor información de las posibilidades de empleo para los países que no usan estos materiales se han confeccionado una serie de cuadros para cada material, en los que se recogen los países que los emplean, su empleo como conglomerante o como árido, la capa en que se emplea, el clima, los ensayos empleados en su caracterización y la norma y las especificaciones si existiesen. Estos cuadros se incluyen en el informe del Comité.

Con ello es posible disponer de una información básica, apoyada en la experiencia, para una posible aplicación de los materiales estudiados, considerando que un más amplio empleo de los mismos irá permitiendo en un futuro próximo un mejor conocimiento de su comportamiento y la posibilidad de normalizar los métodos de ensayo y las especificaciones para los distintos empleos.

## Ensayos para los geotextiles

La preocupación existente en relación con el comportamiento a largo plazo de estos materiales, de empleo relativamente reciente, ha llevado al grupo de trabajo a realizar una encuesta sobre este tema, en la que se demandaba la información existente en cada país sobre los ensayos realizados para valorar la resistencia de los geotextiles a largo plazo ante las sollicitaciones mecánicas, hidráulicas, físicas, químicas y biológicas, así como la necesidad o no de un método de ensayo.

De forma general, las experiencias hasta ahora obtenidas del comportamiento a largo plazo de los geotextiles empleados en la carretera, parecen indicar que su durabilidad es buena ante los diversos agentes destructivos, con la excepción de su comportamiento ante las radiaciones ultravioletas solares.

No obstante, diferentes países están realizando estudios encaminados a comprobar su comportamiento ante los diferentes agentes agresivos mecánicos, hidráulicos, físicos, químicos y biológicos, fundamentalmente en aspectos tales como la fatiga, la abrasión, fluencia, colmatado de los poros, agentes químicos, rayos UV, ataque por microorganismos, etc., sin estar muy seguros si estos ensayos de envejecimiento del material son representativos de las condiciones reales, como suele suceder cuando se trata de valorar el comportamiento de los materiales en el tiempo.

En relación con la puesta en obra y el comportamiento mecánico a largo plazo,



el grupo ha considerado necesario recomendar un ensayo de valoración de la resistencia residual a tracción después del ensayo de perforación, basándose en el ensayo recomendado por la AIPCR para el ensayo de tracción y la norma suiza VSS 3 para el ensayo de punzonamiento, que pretende valorar la resistencia residual en caso de rotura accidental o debida a los efectos del tráfico.

La propuesta detallada del método de ensayo se incluye en el informe del Comité.

### Recomendaciones sobre los ensayos de los materiales empleados en la señalización horizontal de las carreteras.

El nuevo grupo de trabajo para los materiales de señalización horizontal de las carreteras ha realizado una labor de recopilación del estado de la situación en relación con el tema.

Ha comenzado por clasificar los productos empleados en cuatro clases: pinturas de aplicación en capa fina (unas 300 micras), productos termoplásticos, productos de dos componentes y bandas prefabricadas, además de las esferas de vidrio utilizadas para mejorar la visibilidad nocturna.

Las cualidades deseables para un material empleado en la señalización pueden resumirse en una buena visibilidad diurna y nocturna, una buena resistencia al desgaste y a los agentes atmosféricos, junto con unas características antideslizantes similares a las de la superficie de la carretera. Junto a estas características, el material tiene que presentar una buena facilidad de aplicación con la maquinaria empleada y un curado rápido para facilitar la apertura al tráfico.

Para asegurarse de la calidad del material es necesario realizar en el laboratorio o en la carretera una serie de ensayos que permitan identificar el material y asegurarse de su buen comportamiento bajo la acción de los vehículos y de los agentes atmosféricos.

Dentro de los ensayos realizados sobre la carretera para aceptar u homologar un producto hay que prestar la debida atención a las condiciones del ensayo en cuanto a tráfico, tipo de firme, clima y condiciones de aplicación, ya que las cualidades y el futuro comportamiento va a depender de estos factores.

Las medidas de luminosidad realizadas sobre la carretera son, generalmente, realizadas siguiendo las recomendaciones de la CIE, lo que hace que el factor de luminosidad diurno se mida en condiciones geométricas completamente diferentes de la realidad (vertical respecto a la señal) y con ello no se tenga en cuenta



Laboratorio de ensayos para carreteras.

la enorme influencia de la lluvia o del sol rasante.

La visibilidad nocturna, medida mediante retrorreflexión, difíciles de realizar de noche, medidas por una gran variedad de minicámaras negras con gran influencia de los ángulos de medida, conduce a resultados muy dispares difíciles de correlacionar.

La textura superficial, medida con los mismos dispositivos empleados para su medida en la carretera, presenta menos problemas y las especificaciones difieren tan sólo ligeramente.

Las medidas del desgaste son realizadas, generalmente, por medios fotográficos o visuales, comparando la evolución del recubrimiento por medio de escalas o plantillas.

La calificación del comportamiento de las marcas viales en la carretera por medio de ensayos *in situ* constituye el procedimiento más apreciado por los ingenieros encargados, debido a la importancia que tienen las condiciones de aplicación y los factores ambientales.

Los ensayos en el laboratorio, que son realizados por casi todos los países, a pesar de su aparente mayor facilidad de realización, tienen el inconveniente de la extrapolación de sus resultados al comportamiento en obra, por la dificultad de reproducir en el laboratorio el conjunto superficie de la carretera-marca vial y la elección de los medios para simular el desgaste.

No obstante, la mayoría de los países realizan ensayos de envejecimiento, abrasión, resistencia mecánica, comportamiento térmico, adherencia, etc., junto

con los ensayos de identificación físicos o químicos de densidad, viscosidad, extracto seco, contenido de ligante identificación por IR, etc., con una normalización más internacionalmente aceptada.

Las esferas de vidrio, empleadas para conseguir la visibilidad nocturna, tienen una normalización, en cuanto a ensayos y especificaciones, de aceptación casi internacional.

Como consecuencia de esta revisión general realizada por el grupo y la dificultad de la realización de los ensayos de comportamiento en el laboratorio, se considera como objetivo inicial la puesta a punto de un ensayo de aceptación a realizar en la carretera, pero adaptado a las condiciones de cada país, lo que permitiría la homologación en tramos de ensayo y la reducción de los ensayos de aceptación durante las obras.

### Conclusiones.

La labor realizada por el Comité mediante sus siete grupos de trabajo ha sido ampliamente reconocida durante la sesión del Congreso por los asistentes.

El poco tiempo disponible ha impedido un debate más amplio de la labor realizada, que hubiera sido de la mayor importancia para contrastar los puntos de vista de los miembros del Comité, generalmente con una formación más académica, con las de los ingenieros más implicados en las labores de construcción y control con unos puntos de vista más prácticos.

Igualmente, un mayor intercambio de ideas hubiera podido informar al Comité sobre las necesidades más actuales con el fin de programar los futuros trabajos.

Pero teniendo en cuenta el tiempo realmente disponible y la amplitud y variedad de los temas que debe tratar, la labor realizada puede considerarse como muy válida si se consigue dar continuidad a los trabajos emprendidos y se prosigue con la labor de colaboración con otras organizaciones implicadas en temas similares para lograr un intercambio de información y una distribución de tareas.

\* Luis Valero es Doctor en Ciencias Químicas. Asesor Técnico de la Asociación Técnica Española del Asfalto.