

Ante el próximo Congreso de Carreteras de Munich¹

II

Pavimentos bituminosos y asfálticos

Respecto a este tema han presentado Memorias Alemania, Australia, Austria, China, Dinamarca, Egipto, Francia, Holanda, Hungría, India, Inglaterra, Italia, Japón, Luxemburgo, Polonia, Suecia y Suiza.

Así como al tratar los pavimentos de hormigón, en el anterior artículo, se hizo una detallada exposición de lo indicado en la Memoria de cada país, emplearemos en este trabajo un método diferente, pues, de seguirse el mismo, incurriríamos en frecuentes repeticiones, ya que la técnica es muy parecida en la mayoría de los países y sólo se encuentran soluciones originales en muy pocos.

El tema propuesto dice "Progresos realizados con posterioridad al Congreso de Washington, en la preparación y empleo, para la construcción y conservación de carreteras, de los alquitranes, betunes y emulsiones".

Empezando por los progresos en la preparación, son muy notables las Memorias de Francia, Holanda y Alemania, de que procuraremos dar una idea.

En Francia, como en otros países, se producen frecuentes quejas por las molestias que ocasiona al tránsito el tiempo grande que tardan en secarse los enlucidos de alquitrán. Por otra parte, los servicios de conservación se veían agobiados, en los riegos superficiales, por el espacio, relativamente corto, de que podían disponer anualmente, durante el cual se reuniesen las condiciones necesarias de buen tiempo y sequedad. Si a esto se añade la necesidad de evitar el frecuente fenómeno del agrietamiento de los enlucidos de alquitrán en tiempos fríos, se comprende que era absolutamente necesario mejorar, tanto el material, como los métodos de colocación en obra, ya que, tratándose de un producto eminentemente nacional, no se podía pensar en sustituirlo.

La extensión del alquitrán a temperaturas elevadas ha permitido emplearlo aun en tiempos húmedos, y la modificación de los alquitranes, añadiéndoles betunes o materias pulverulentas, acelerar el secado en términos muy importantes.

La mezcla alquitrán-betún parece tener dos regiones de estabilidad: una corresponde a solución de alquitrán en el betún, con proporción de alquitrán hasta 30 por 100, y la otra, a solución de betún en el alquitrán, con proporción de betún nunca superior al 20 por 100. Como el betún es mucho más caro en Francia que el alquitrán, sólo se emplean las mezclas de la segunda categoría. Para realizar la mezcla se funde el betún y se le vierte en el alquitrán caliente, estando ambos cuerpos aproximadamente a la misma temperatura. Parece que, desde el punto de vista de la estabilidad, no conviene que se dejen en-

friar las mezclas y calentarlas en el lugar de empleo. Es mejor prepararlas inmediatamente antes de utilizarlas. El alquitrán-betún presenta la importante ventaja de que seca muy rápidamente, debido a la gran diferencia entre la viscosidad a la temperatura de extensión y la viscosidad a la temperatura ambiente.

Para modificar aún más la viscosidad de los alquitranes y de las mezclas alquitrán-betún se les añade de una materia pulverizada (*filler*), en general, carbón.

La experiencia ha demostrado que se puede extender perfectamente un alquitrán al que se le haya adicionado hasta el 50 por 100 de carbón finamente pulverizado. Se llega así a un secado casi instantáneo, y, como el producto incorporado es menos costoso, se obtiene una importante economía.

Conviene fijarse en que esto altera las ideas que teníamos sobre proporciones de carbón libre en los alquitranes, que se determinaba en los Pliegos de Condiciones de casi todos los países. Puede objetarse que el carbón añadido no tiene el mismo papel que el carbón libre; pero, de todas maneras, será difícil, de aquí en adelante, mantener la condición que antes se exigía.

Los estudios teóricos efectuados por los señores Leauté y Berger han demostrado la influencia de la densidad del *filler*, o más bien de la diferencia de su densidad con la del alquitrán y de la tensión capilar relativa del *filler* y del alquitrán.

Pero, en este orden de cosas, conviene fijarse particularmente en los experimentos de M. Nellesteyn, conocido de todos los que se ocupan de la técnica de carreteras, y que ha realizado muchas y muy notables investigaciones, que después se han traducido en aplicaciones prácticas. Colaborando en la Memoria holandesa con M. Kerkhof, da cuenta de nuevos y muy interesantes trabajos.

Uno de éstos es la aplicación de los rayos Roentgen a los alquitranes y betunes para determinar los cuerpos que se encuentran en los alquitranes en forma de micrón, y en los betunes, al contrario, en forma de ultra-micrón. Se ha demostrado que estos pequeñísimos cuerpos no son otra cosa que carbón elemental. El estudio de la constitución de las asfaltinas por polimerización, aunque no haya conducido a resultados concluyentes, ha hecho avanzar un gran paso en este camino.

Describe a continuación el Dr. Nellesteyn la manera de medir, por un procedimiento sencillo, la tensión superficial y límite de los cuerpos sólidos, si nuevos ensayos permitieran que correctamente se extendiera a los cuerpos sólidos la regla de Antonow. Esto daría lugar a determinar, de un modo bastante preciso, la adherencia de los betunes a las piedras, cosa de la mayor importancia, tanto para saber la manera de enlucir las piedras en los métodos de mez-

¹ Véase el número anterior, página 302.

clas, como para conocer los fenómenos de ruptura de emulsiones.

Un gran paso en esta dirección se ha dado al determinar la tensión superficial vidrio-aire, deducida de la tensión superficial-mercurio-aire, y la tensión de adherencia vidrio-mercurio al aire, según la fórmula

$$\sigma_{v-a} = \frac{1}{2} (\sigma_{m-a} - \sigma)$$

en la que σ_{v-a} es la tensión superficial vidrio-aire, σ_{m-a} tensión superficial mercurio-aire y σ tensión superficial mercurio-vidrio al aire.

En cuanto a los fundamentos teóricos del deslizamiento, indica el Dr. Nellensteyn que, en general, se busca la solución del problema aumentando la cantidad de piedra en la superficie, admitiendo, por consiguiente, que el betún es por sí mismo resbaladizo.

Pero hay varios hechos experimentales que contradicen esta creencia. En primer término, con áridos minerales idénticos, los revestimientos a base de alquitrán son más rugosos que los revestimientos a base de betunes, y, por otra parte, se ha demostrado, en Holanda, que los betunes asfálticos de penetración aproximada a 200 son mucho más resbaladizos que los betunes asfálticos más duros, lo que prueba que el betún asfáltico debe tener un coeficiente específico de deslizamiento.

El deslizamiento no aparece sino en tiempo de lluvia, y es mucho mayor al comienzo de ésta, cuando aún no ha desaparecido la película untuosa pegada al revestimiento; pero, desaparecida ésta, el deslizamiento, aunque menor, continúa, y, por consiguiente, hay que atribuirlo a la formación de gotas de agua en la superficie o a la impregnación mayor o menor de las piedras en betún. En todo caso, para esclarecer el problema sería necesario determinar la adherencia superficial, betún-agua, betún-aire, betún-piedra, etc. Las dos primeras son de capital importancia, y la de betún-agua puede estimarse por extrapolación, según las medidas que se conocen hechas en estado semifluido a baja temperatura. Se ha comprobado que el agua se extiende más sobre el alquitrán, menos sobre el betún duro y aún menos sobre el betún blando. Sobre todo a las temperaturas ordinarias es cuando el agua se extiende más sobre los alquitranados que sobre los alfaltados; si la temperatura sube, las diferencias se hacen menores.

La concordancia entre los fenómenos de deslizamiento y la manera de extenderse el agua sobre la superficie indica que la solución del problema está en esa dirección, para lo que es fundamental el conocimiento de la adherencia superficial y límite de los sólidos.

El problema del carbón libre en los alquitranes lo trata M. Nellensteyn de un modo completamente nuevo. Entiende que el carbón libre puede compararse, en cierto modo, con las asfaltinas de los betunes, con la diferencia de que en las asfaltinas sólo existen ultramicrones y en el carbón libre hay también micrones. En consecuencia, hay que llegar a que los aglomerantes bituminosos tengan en sí un mínimo de huecos, por tener cierta clasificación los corpúsculos sólidos.

Se llegaría así a exigir que en los alquitranes exis-

tiese un número mínimo de micrones, en vez de fijar la cantidad de carbono libre, pues no es equivalente exigir cantidad que calidad (fase dispersa del alquitrán).

Con arreglo a estas ideas, los Pliegos de Condiciones en Holanda rechazan todo alquitrán que contenga menos de 10 millones de micrones, y los resultados prácticos han sido satisfactorios en extremo. Por otra parte, no sólo se exigen condiciones previas al alquitrán, sino que se han establecido, para las mezclas de piedra y alquitrán, dos ensayos: uno, de determinación del punto de fusión del alquitrán, obtenido por centrifugación de la mezcla, y otro, del número de micrones contenidos en ese alquitrán. Así se consigue, por medio de ensayos fáciles, conocer, en una mezcla hecha, las cualidades más importantes del alquitrán que se empleó en la misma.

En la Memoria alemana se trata con alguna extensión de un producto nuevo, que denomina *betún blando* (penetración 300, punto de ablandamiento por el método de la bola y el anillo 27° a 37°), que parece ha dado resultados excelentes para enlucidos, pues penetra mucho en los intersticios de las piedras y, aun con temperaturas relativamente bajas, se conserva lo bastante blando para poder incrustar en él abundante cantidad de gravilla.

Los *alquitranes fríos*, que consisten en alquitranes normales a los que se añaden ciertos aceites para darles mayor fluidez, se emplean mucho en alquitranados y particularmente para hacer hormigón de alquitrán. De este modo se ha extendido el campo de aplicación de productos para los que les estaban vedadas ciertas aplicaciones.

Gran importancia atribuye la Memoria alemana a la composición granulométrica de los áridos, y afirma que para los grandes tráficos es mucho más importante este extremo que la calidad de la roca, y aun la del aglomerante, siempre, bien entendido, que no se aparten sensiblemente de cualidades medias.

Resulta, generalmente, que cuando se clasifican bien los áridos la proporción de huecos es relativamente baja. Las condiciones actuales exigen 25 %, como máximo, para mortero asfáltico, y 22 % para asfalto fundido y hormigón asfáltico fino (proporciones medidas en los áridos asentados por medio de vibraciones). Pero la gran compacidad no es el solo objetivo que se pretende. Tan importante o más es la perfecta cohesión que tal composición granulométrica da a los áridos, y que tiene efectos particulares cuando hay que emplear un aglomerante que excede la proporción de huecos (como en el asfalto fundido), o un aglomerante muy blando (como en el hormigón de alquitrán). Otra propiedad muy interesante de un árido bien graduado es su gran estabilidad granulométrica, que hace que un esfuerzo de presión o de choque muy elevado no llega a modificar la composición granulométrica de la masa mineral, mientras que si la composición es mala se produce la destrucción de la piedra, teniendo el tráfico que producir, en definitiva, la graduación necesaria.

Consecuencia de este punto de vista es que, en los enlucidos y en los revestimientos de poco espesor que no contienen más áridos que gravilla, se han de producir transformaciones granulométricas, por rotura de piedra. Así, es necesario que el aglomerante sea

de consistencia blanda y aun flúida, en parte, es decir, maleable y aglutinante. Con objeto de que la destrucción de la piedra no vaya más rápidamente que la mezcla producida por la circulación, es preciso que la gravilla sea dura. En cambio, en los pavimentos en que los áridos estén bien clasificados y proporcionados, tiene menos importancia la calidad de la piedra.

El rellenador (*filler*) tiene varias funciones: colma los huecos pequeños de la arena, que sin él tendrían que llenarse con betún; otra parte del rellenador se colocará entre los granos de los áridos, haciendo el oficio de cojín, que absorbe los choques y obliga, en último término, a la máxima repartición del aglomerante, que no tiene resistencia propia y que no ha de intervenir más que como aglutinante en película muy fina.

El rellenador que mejora más las cualidades del aglomerante, desde el punto de vista de contrarrestar algunas deficientes cualidades de éste, tales como puntos de ablandamiento bajo y sensibilidad a los choques en tiempos fríos, es el micro-asbesto, de densidad débil y de naturaleza lanosa; pero habitualmente se utilizan rellenadores de polvo de piedras, de escorias, etc. Se ha demostrado que polvos de diferentes piedras, aunque den los mismos resultados al tamizarlos, pueden tener granos de formas muy variadas, lo que se comprueba por medidas microscópicas, por sedimentación o por centrifugación.

Un hecho importante para la práctica es que las materias pulverulentas empleadas como rellenadores pueden tener, como consecuencia de su estructura, propiedades particulares; así, por ejemplo, el polvo de caliza blanda tiene, después de que se le consolida por el método vibratorio, un gran volumen de huecos (35 a 42 %); pero, sometido a fuerte presión (800 kg/cm²), se reduce a 25 %; por el contrario, el polvo de rocas cuarzosas no pierde, por compresión, mayor volumen de huecos del que contiene una vez vibrado.

Quizá lo más interesante de la Memoria alemana sea el estudio que hace de las cantidades óptimas de material aglomerante. Llega a la conclusión de que las cantidades de betún asfáltico en los hormigones han de ser distintas según la época del año en que se hace el revestimiento. En primavera y verano conviene basarse, para determinar la cantidad de aglomerante, en la proporción de huecos de la masa de áridos fuertemente comprimida, sobre todo cuando el tráfico es intenso y pesado; si el tráfico fuese ligero, y no se espera, por tanto, una fuerte compresión por el tráfico, puede emplearse algún betún en

exceso, calculado por la media de los huecos obtenidos en la masa de áridos por compresión y por vibración, resultando así el revestimiento impermeable. Si los trabajos se hicieran al principio del invierno hay que asegurar completamente la impermeabilidad, por temor a la humedad y a las heladas, adoptando para cada cantidad de betún el volumen de los huecos de la masa de áridos simplemente vibrada. Es verdad que así el revestimiento es menos estable y menos rugoso; pero son defectos preferibles a los que resultarían de excesiva permeabilidad. Se sabe, en efecto, que el agua detiene los asientos de consolidación, y su acción prolongada da lugar a un trabajo interno análogo al de las heladas y en el desecamiento se producen grietas. Después de muchos ensayos, prolongados largos años, se ha llegado a la consecuencia de que casi siempre las hinchazones en los revestimientos se deben a la arcilla que existe en las arenas, en los rellenadores que proceden de rocas graníticas, pórfidos, grauwacas y basaltos, en el betún de Trinidad y en las calizas asfálticas. Por eso todos los revestimientos asfálticos *porosos* se hinchán apenas sufren la acción del agua. Como consecuencia, cada vez se es más exigente en cuanto al empleo de materiales que puedan contener arcilla.

Hasta aquí hemos procurado extraer lo más interesante respecto a materiales, y tendríamos que continuar haciendo lo mismo en lo referente a la colocación en obra; pero nos damos cuenta de que este artículo es ya muy largo, y lo sería en proporciones excesivas si lleváramos a cabo nuestro propósito.

Por ello terminamos, no sin proponernos continuar el trabajo después de celebrado el Congreso, pues los pavimentos a base de betunes asfálticos, alquitranes y emulsiones se han desarrollado, particularmente en Europa, de tal modo, que constituyen la inmensa mayoría de los pavimentos de alta calidad. Consecuencia de tal desarrollo es que se han estudiado y se siguen estudiando con tal intensidad, que es ya difícil poder leer toda la literatura técnica publicada sobre el particular.

Aparte de los sistemas ya consagrados, existen numerosísimos ensayos de soluciones nuevas, tendiendo, sobre todo, a conseguir pavimentos permanentes, pues se considera ya sobrepasada la fase que tan interesante fué de los enlucidos, que resolvió un agobiante problema de modo económico, pero que ya sufre las críticas de los usuarios, que no les satisfacen porque les obliga a reducir velocidades.

En artículos sucesivos mencionaremos, pues, lo más saliente respecto a sistemas de ejecución.

Manuel AGUILAR
Ingeniero de Caminos

Estudios sobre los filtros rápidos¹

II

Proceso de la filtración

La condición ideal para la explotación de un filtro

¹ Véase el número de 1.º de agosto, página 285.

rápido es obtener una velocidad uniforme de filtración sobre el área total de arena, así como una velocidad también uniforme de subida del agua de lavado en el plano de división de la grava y la arena. Para mantener la tendencia a la uniformidad de la