

EL EMPLEO DEL ALQUITRAN EN LOS PAVIMENTOS DE CARRETERA

Por OLEGARIO LLAMAZARES GOMEZ

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Consideramos de gran interés la completa y detallada exposición que hace el autor sobre los usos del alquitrán en la moderna técnica de pavimentos flexibles, complementando su experiencia con una información general sobre las características de los distintos tipos y aplicaciones de este ligante. A la vista de los resultados que con él pueden obtenerse, propone se aproveche en mayor escala, ordenando su fabricación de modo que el mercado nacional pueda ofrecer un alquitrán apto para su empleo en la carretera.

1. Información previa.

La industria del alquitrán está muy desarrollada en diversos países de Europa y de ella sacan partido los ingenieros de carreteras aprovechando las buenas cualidades de este producto hidrocarbonado para la construcción y conservación de pavimentos.

En España, sin embargo, el alquitrán se emplea muy poco actualmente, sin duda por la falta de garantía en el de fabricación nacional, que hasta ahora era prácticamente el único disponible.

Los datos de consumo anual obtenidos en reciente encuesta por el Grupo de Destilación del Sindicato de Industrias Químicas (1) nos indica la poca importancia del alquitrán frente al resto de los ligantes:

Alquitrán	6 641 Tn.
Betunes de penetración	187 971 »
Betunes fluidos	142 171 »
Emulsiones asfálticas	93 878 »

Debiendo añadir que del consumo de alquitrán consignado se emplearon solamente 500 toneladas en la red de carreteras del Estado. Registremos también el dato de que en nuestro país se destilan al año 120 000 toneladas de alquitrán.

En Francia, que no es precisamente de los países de Europa más destacados en la utilización del alquitrán en pavimentos, se ha llegado a un consumo anual de 350 000 toneladas, aproximadamente la tercera parte del total, que comprende la producción nacional y lo que se importa del Sarre. El consumo de betún, incluidos todos los tipos, es aproximadamente 900 000 toneladas, influyendo, desde luego, en esta superioridad una anomalía fiscal, ya que los alquitranes franceses se gravan con un impuesto doble que el del betún.

(1) Véase la revista ALEMAS, núm. 7, abril 1963.

En el informe que presentamos dando cuenta de nuestro viaje de estudios a América en 1957, indicamos la conveniencia del aprovechamiento del alquitrán para tratamientos superficiales y mezclas, a la vista de su utilización en los Estados Unidos, donde el producto cubre una amplia gama de funciones en la ejecución de afirmados, y las especificaciones de la AASHO incluyen una larga serie de alquitranes para carreteras y aeropuertos, del RT-1 al RT-12, por orden de viscosidad. Asimismo se emplean allí alquitranes fluidificados (tipos RTCB-5 y RTCB-6) preparados a base de un solvente de rápida evaporación, que pueden aplicarse con bajas temperaturas para tratamientos superficiales o mezclas abiertas *in situ*, y tienen la ventaja de un rápido curado.

Respecto a nuestra experiencia durante un período de once años en la Jefatura de Obras Públicas de León, diremos que hasta 1953 se empleó este ligante en tratamientos superficiales y *tarmacadam* para bacheo y regularización, pero a partir de esa fecha, por la mala calidad de los suministros, especialmente por la falta de adhesividad, hubo que dejar de emplearlos en estos fines, reduciéndose su aplicación, que en todo caso no ha pasado de 60 toneladas por año, en las mezclas que más adelante se describen.

El gran volumen de obra a que da origen el Plan General de Carreteras, en marcha, y en el que una de las atenciones principales es la mejora, ensanche y refuerzo de firmes, exige el aprovechamiento de todos los recursos, habiendo llegado el momento de la revalorización del alquitrán para carreteras, de lo que ya se ocupa con preferente interés nuestra Dirección General, en colaboración con el Laboratorio del Transporte y Mecánica del Suelo (1). Un paso sig-

(1) Por tal motivo, en el tramo de ensayo de la CN-II se ha previsto el empleo del alquitrán en dos secciones: una, con revestimiento de aglomerado, y otra, con tratamiento superficial.

nificativo ha sido la preparación del cuadro de características y exigencias para la recepción, que comprende seis tipos de alquitranes, definidos por los correspondientes ensayos normalizados de laboratorio. Incluido este cuadro, con sus condiciones complementarias y frecuencia de ensayos, en la circular número 137-62 P. O. remitida a los Servicios, sustituye al antiguo Pliego aprobado por orden de 23 de marzo de 1936, muy incompleto, y, por tanto, poco útil, ya que tenemos la experiencia de que algunas partidas de alquitrán que cumplían las características en él exigidas no pudieran emplearse en obra por la imposibilidad de sujetar el árido.

Las nuevas recomendaciones de la Dirección General de Carreteras a que nos referimos pueden servir de base para ordenar la fabricación nacional de alquitranes en el aspecto que nos interesa. Debemos aprovechar este producto para la carretera todo lo posible, y es, por tanto, de urgente necesidad la ordenación de la industria, de modo que se exija a los fabricantes una renovación de procesos y equipos para conseguir substanciales mejoras en la calidad del producto, con la natural elevación de precios a que obligue este perfeccionamiento. Pero lo importante es conseguir buenos alquitranes de todos los tipos, que se pueden emplear según los distintos fines: imprimaciones, tratamientos superficiales, mezclas abiertas o cerradas y lechadas para sellado.

El establecimiento de factorías de destilación de alquitrán en todas las cuencas productoras de hulla (Asturias, León, Puertollano, etc.) reducirá las distancias de transporte en beneficio del coste del producto a pie de obra.

Con motivo de la Conferencia Internacional del Alquitrán para Carreteras, celebrada en Madrid del 5 al 8 de mayo último, y a la que tuvimos el honor de ser invitados, pudimos apreciar la importancia de este ligante e informarnos de su actual evolución hacia modificaciones del producto que mejoran notablemente sus cualidades más valiosas para los afirmados, así como de las normas constructivas para su aplicación en capas de revestimiento o tratamientos superficiales.

2. Experiencias de utilización.

Haciendo historia de nuestra experiencia en lo que se refiere al empleo del alquitrán, citaremos los simples tratamientos superficiales aplicados en 1952 y 1953 mientras la calidad del producto lo permitió. Fueron, en general, primeros riegos sobre firme de macadam, con una dotación de 2 Kg./m.², o sea abundante para conseguir con este ligante fluido una impregnación de la calzada, buscando un fin análogo al de los riegos de imprimación que hoy exigen las nuevas normas. El resultado de estos tratamientos era comparable al de los riegos con *cui-back* que posteriormente les sustituyeron.

En aquella época empleábamos también para regularización de la capa de rodadura y restablecimiento de mordientes que cortados por los carros de llanta rígida producían el estrechamiento de la calzada, *tarmacadam* en mezcla abierta sin arena, con gravilla de 20 y a veces hasta 25 mm. como máximo, que se calentaba en bandejas a 60° C. y se hacía la envuelta a mano. Se empleaban del orden de 75 Kg. de alquitrán por metro cúbico de árido, o sea un 5 por 100 en peso. La mezcla se cerraba por el efecto del tráfico, que producía una compactación complementaria juntamente con algo de fragmentación de la gravilla, que mejoraba la discontinua granulometría inicial.

Al empezar los suministros de alquitrán de mala calidad, no aptos para los usos antes descritos, se utilizaron para la fabricación en vía experimental de aglomerados en frío. Con el alquitrán se hacía una preenvuelta del árido para que mejorara la adhesividad con el betún, con el que se mezclaba a las veinticuatro horas. Posteriormente, y para evitar la doble envuelta que exigía mucha mano de obra, se pensó mezclar el alquitrán con el betún en la caldera — lo que se consiguió sin dificultad — y fabricar así el aglomerado con una sola envuelta y poder emplearlo seguidamente.

Las características de este aglomerado, tal como viene empleándose con éxito, gran utilidad y economía desde hace tres años, son las siguientes:

- *Ligante.* — 50 Kg. por metro cúbico de árido de una mezcla de betún 180/200 y alquitrán de baja viscosidad, la proporción oscila gradualmente desde 2/3 de alquitrán y 1/3 de betún en invierno a la relación inversa en verano, de modo que se adapte el producto resultante a las exigencias de la temperatura ambiente respecto a viscosidad.
- *Árido.* — Gravilla silicea de 6/20 mm., con 2/3 de 12/20 mm. A partir de ahora se va a emplear arena y finos de la trituración, que aunque exijan mayor proporción de ligante, darán lugar a mezclas más cerradas.
- *Fabricación.* — El aglomerado se fabrica en hormigonera con período de mezclado de cinco minutos. No se calienta el árido, pero se procura mantenerle seco; en caso de que esté húmedo se añade al ligante un activante de adhesividad en proporción del 1 por 100. El ligante se calienta a 90° C.
- *Empleo.* — El aglomerado suele acopiarse poco tiempo, ya que se hace a la medida del consumo y adaptado, como se ha dicho, a las condiciones de la estación y un aglomerado de invierno, por ejemplo, no puede emplearse en verano, ya que la mezcla con alta temperatura ambiente se mantendría blanda, deformable y el árido no podría ser fijado. No obstante, se

puede estimar que en un volumen grande puede conservarse el aglomerado dos meses protegido por la capa superficial endurecida. Está dando un magnífico resultado por su economía y rapidez para quitar grandes ondulaciones, baches profundos, restitución de mordientes y capa de rodadura de los *blandones* reparados. El apisonado con rodillo vibratorio mejora notablemente la compactación de la mezcla.

Las proporciones de alquitrán y betún no se adaptan a las limitaciones que imponen los fenómenos físico-químicos, según la técnica de estas mezclas, que fijan normalmente el 25 por 100 como máximo de uno u otro ligante. No hemos podido comprobar de si se debe al alto contenido de aceite de antraceno en el alquitrán empleado, en cuyo caso sería estabilizador de las resinas asfálticas y, por tanto, pueda mezclarse en cualquier proporción con el betún. No obstante, por la variable composición del producto, unas veces se nota mucha más dificultad que otras para conseguir la mezcla de ambos ligantes.

El alquitrán empleado se produce en la provincia de León por destilación de la hulla en las instalaciones de *Hulleras de Sabero* y *Anexas*; su coste en origen es de 1.000 pesetas/tonelada.

Los ensayos llevados a cabo en el laboratorio de la Jefatura para definir las características de este ligante dieron los siguientes resultados:

Viscosidad B.R.T.A. (10 mm.) a 20°	26 seg.
Idem id. id. a 30°	6 seg.

Destilación en volumen respecto del total hasta 360° C.:

A 190°	3,50 %
A 225°	3,75 %
A 260°	4,00 %
A 315°	10,00 %

El producto es, pues, un alquitrán muy fluido, correspondiente al tipo A.Q.1 de las nuevas recomendaciones españolas.

Para hacer destacar la economía, que es una de las principales ventajas de los aglomerados que hemos descrito, damos a continuación los costes resultantes, para las mezclas de invierno y verano:

— Mezcla-tipo para tiempo frío:

33 Kg. de alquitrán, a 1,15 ptas.	37,95 ptas.
17 Kg. de betún 180/200, a 3,25 ptas.	55,27 »
1 m. ³ de gravilla	150,00 »
0,500 Kg. de activante	27,00 »
Mano de obra	50,00 »
Leña para el caldeo y carburante	10,00 »
Medios auxiliares y demás gastos	12,78 »
TOTAL	343,00 »

— Mezcla-tipo para tiempo cálido:

17 Kg. de alquitrán, a 1,15 ptas.	19,55 ptas.
33 Kg. de betún 180/200, a 3,25 ptas.	107,25 »
1 m. ³ de gravilla	150,00 »
Mano de obra	50,00 »
Leña para el caldeo y carburante	14,00 »
Medios auxiliares y demás gastos	12,20 »
TOTAL	353,00 »

Ambos precios son comparables, ya que lo que se ahorra en invierno por la menor proporción de betún, casi se compensa con el coste del activante.

3. Características generales de los alquitranes.

Proceden los alquitranes, como se sabe, de la destilación destructora de la hulla. Esta destilación se lleva a cabo a altas temperaturas, generalmente superiores a 1 000° C. en retortas u hornos de coque, obteniéndose los crudos de alquitrán. La proporción en que se obtiene este subproducto es del orden de una tonelada de crudo por veinte toneladas de carbón.

De los crudos, por eliminación de los componentes que no son determinantes de las propiedades que necesita un ligante de carreteras y que, sin embargo, tienen rentable aplicación en la industria, se obtiene el alquitrán que nos interesa para su empleo en la carretera.

Los alquitranes, como los betunes, son productos más o menos viscosos, dotados de cohesión de origen coloidal y adhesividad a los áridos. Ambos productos están compuestos por hidrocarburos cíclicos, pero con la diferencia de que en los betunes predominan los hidrocarburos saturados y en los alquitranes los no saturados. Esta circunstancia determina una mayor actividad química en los alquitranes y una mayor estabilidad en los betunes, lo que desde el punto de vista del empleo de estos ligantes en carreteras, se traduce por una mayor adhesividad de los alquitranes, cualquiera que sea la polaridad del árido. La estabilidad de los betunes les hace resistir mejor a los efectos de la evaporación y la oxidación y, por tanto, en ellos es mucho menos acusado el fenómeno de envejecimiento.

Las causas del envejecimiento del alquitrán son fundamentalmente la evaporación y, en menor escala, la oxidación. Al evaporarse los aceites plastificantes, que son los que mantienen la flexibilidad en un pavimento, éste se hace frágil y se agrieta bajo el efecto de las cargas del tráfico.

Las nuevas especificaciones exigen por esto un mínimo de aceites pesados plastificantes y también un máximo de fenoles, ya que con ellos disminuye la

adhesividad, así como un máximo de naftalina, componente que da susceptibilidad al ligante. La susceptibilidad — que es la derivada de la viscosidad respecto a la temperatura — tiene el grave inconveniente para un pavimento de carretera de que le hace blando y deformable en verano y frágil y quebradizo en invierno. Las nuevas recomendaciones de la Dirección General de Carreteras fijan para los fenoles contenidos máximos del 5 al 2 por 100, y para la naftalina del 6 al 2,5 por 100, según los tipos de alquitranes, de menor a mayor viscosidad.

La tendencia al envejecimiento de un alquitrán se caracteriza por la temperatura de reblandecimiento superficial, que se mide por el ensayo T.R.S. pinchando la superficie endurecida de la muestra, con una aguja, a diferentes temperaturas. Se obtiene así la temperatura crítica por debajo de la cual la aguja no se pega; se exige que no sea inferior a 35°, como por otra parte tampoco interesa un alquitrán con exceso de aceites plastificantes, de muy difícil curado, se impone un límite mínimo: la T.R.S. superior a 15° a la media hora. Los tiempos y las temperaturas se han elegido de modo que correspondan a una duración determinada en el pavimento, tratándose, por tanto, de un ensayo acelerado.

Otra de las características fundamentales de un alquitrán es su viscosidad, que es determinante de la cohesión del ligante. La que debe exigirse depende de la aplicación que va a dársele (tratamiento superficial, mezcla, etc.) y también de si se emplea en verano o invierno. Esta última circunstancia suele fijar los límites máximos y mínimos de las especificaciones.

Como la viscosidad varía con la temperatura, se define la temperatura de *equiviscosidad*, o sea la temperatura para la que la viscosidad del ligante en cuestión es igual a una viscosidad determinada. Se adopta para ésta la de 50 segundos (B.R.T.A.) y orificio normal de 10 mm. de diámetro. En el cuadro de exigencias para la recepción de las nuevas recomendaciones españolas figuran los valores límites para viscosidades y temperaturas de *equiviscosidad*.

Como ventajas del alquitrán frente al betún, derivadas de sus características reológicas, se tienen la de dar lugar a pavimentos menos deslizantes y resistir el efecto disolvente de la gasolina o gasoil. El peligro de una capa de rodadura deslizante es mayor con el betún, que por su menor densidad es más fácil que refluya a la superficie, en cuanto se ha dosificado con exceso, permaneciendo en ella durante un largo período dada su inalterabilidad a los agentes exteriores, lo que no sucede al alquitrán, que desaparecería bajo los efectos de la evaporación y oxidación.

La resistencia a la acción disolvente de los derivados del petróleo hace que los pavimentos de alquitrán estén especialmente indicados para aparcamientos, aeropuertos y estaciones de autobuses.

4. Tipos de alquitranes.

En la fabricación del alquitrán hay tres factores determinantes: el crudo de base, el tratamiento térmico y los aceites plastificantes que se añaden en sustitución de los destilados. Jugando con estos factores se pueden obtener tipos muy diferentes para cubrir la amplia gama que responde a su diversa utilización en la carretera, desde las imprimaciones y estabilización de suelos a las mezclas de alta calidad. Al Ingeniero corresponde saber elegir y emplear el apropiado para cada caso, prescindiendo de este ligante si el mercado no ofrece un tipo que pueda servir con absoluta garantía la función que se le pide.

Con el tratamiento térmico se consigue un efecto estabilizante, eliminando los aceites que retrasan el curado y no evitan el envejecimiento, llegando en la destilación hasta la brea y sustituyendo sus propios aceites antracénicos por otros más pesados que aumentarán la vida del ligante.

Actualmente todo el alquitrán que se emplea en carreteras es *reconstruido*, y casi siempre a partir de la brea, residuo sólido de la destilación constituido por aceites muy pesados, resinas coloidales y partículas de hollín. A la brea se le añaden aceites de diferentes viscosidades: los ligeros y medios, que hacen el efecto de la gasolina, keroseno o gasoil en los *cut-backs*, o sea de fluidificantes para facilitar su aplicación, especialmente en tratamientos superficiales y después desaparecen por evaporación. Y los aceites antracénicos, sobre todo los pesados, de efecto plastificante, que deben conservarse incorporados al ligante el mayor tiempo posible para mantener la flexibilidad y cohesión que necesita un pavimento.

Con los alquitranes *reconstruidos*, y especialmente con los de alta viscosidad, que son productos muy adhesivos y de gran resistencia al envejecimiento, han perdido su interés los alquitranes *fillerizados* que estuvieron en boga hace veinte años. Se preparaban incorporando al ligante un 25 por 100, en peso, de *filler*, generalmente calizo. Con ello se aumenta la viscosidad y la adhesividad, al mismo tiempo que se disminuye la susceptibilidad y el envejecimiento, ya que este material fino retiene los aceites plastificantes que va cediendo con el paso del tiempo. Tiene el inconveniente de que es difícil conseguir la homogeneidad necesaria en la mezcla y de que dan lugar a firmes deslizantes. Como decíamos, su empleo está prácticamente proscrito.

Los tipos de alquitranes que se incluyen en las recomendaciones de la Dirección General de Carreteras son seis, designados como AQ.1, AQ.2, AQ.3, AQ.4, AQ.5 y AQ.6, corresponden a los del tipo A de las especificaciones inglesas, o sea los de mayor proporción de aceites volátiles y son de viscosidad creciente, recomendándose por este orden para tratamientos superficiales, tarmacadam y hormigones de alquitrán.

5. Mezclas de alquitrán y betún.

Cada vez son más apreciadas las mezclas de alquitrán y betún para obtener un ligante mixto que se beneficia de las propiedades de ambos componentes. La proporción de uno de ellos no debe ser muy alta, ya que entonces en la mezcla se produce una separación de fases con precipitación de resinas. En todo caso se forma una película resinosa que protege la superficie del pavimento, aislándole de los agentes atmosféricos y, por tanto, impidiendo la evaporación y oxidación, con lo que retrasa considerablemente el fenómeno de envejecimiento.

El alquitrán se incorpora al betún en la proporción del 25 por 100 como máximo, con el fin de que actúe como fluidificante, y para mejorar la adhesividad a los áridos silíceos. Se emplea esta mezcla, por ejemplo, para aglomerados densos en caliente sustituyendo al betún puro.

Por lo que se refiere al betún por encima del 20 por 100 de éste no se disuelve en el alquitrán por producirse floculaciones en la mezcla. En caso de que el alquitrán sea muy viscoso puede llegarse hasta el 30 por 100 de betún.

Como excepción a esta limitación de proporciones, tenemos el caso de los alquitranes de alta proporción de aceites de antraceno, ya citados, y los betunes muy duros con abundancia de asfaltenos, con los que puede llegarse a mezclas al 50 por 100.

Las mezclas de alquitrán-betún pueden emplearse para la fabricación de emulsiones — emulsionar el alquitrán es muy difícil por su elevada densidad — y están especialmente indicados para emulsiones ca-tiónicas.

6. Tratamientos superficiales.

Los tratamientos o riegos superficiales son en los períodos de no sobrados créditos el único medio de conservar los pavimentos en buen estado, salvo, naturalmente, en los casos que con espesor insuficiente de firme para la capacidad portante de la explanada en que se asienta, haga impropio esta sencilla protección de la capa de rodadura, que en todo caso sería un derroche.

Como revestimiento de la calzada, el tratamiento superficial es solución aceptada hasta una I.M.D. de 1 500 vehículos, y hay que pensar que con menor circulación vamos a tener — según las bases de previsión de tráfico — en el año 1977 cuando termine el período de vigencia del Plan General de Carreteras, un 85 por 100 de la red de carreteras del Estado. Además hay que considerar los tratamientos para sellado de aglomerados abiertos o corrección de pavimentos deslizantes.

Queda, pues, un gran campo — sumémosle el de las carreteras provinciales, caminos vecinales y vías

urbanas y privadas — para los tratamientos superficiales, en los que tendrá aplicación el alquitrán.

Las dotaciones y características del árido y alquitrán a emplear, dependerán de la intensidad de tráfico, estado de la capa de rodadura y temperatura ambiente. Esta es decisiva en la elección de la viscosidad del alquitrán de modo que se conserve lo suficientemente fluido en el momento de aplicación, para mojar los áridos para que se adhieran entre sí y al firme antiguo. Si el árido está húmedo se puede mejorar la adhesividad incorporando un activante al alquitrán o aplicándolo sobre la capa extendida de éste.

Las gravillas deben ser duras (coeficiente Los Angeles menor que 30) y de arista; su tamaño depende de la I.M.D., pues en tramos de mucho tráfico no conviene pasar de 12 mm., ya que la gravilla mayor no se sujeta bien y es desplazada por el tráfico, con peligro de que rompa los parabrisas de los vehículos. En carreteras de menor tráfico puede emplearse árido de hasta 18 mm.

Próximamente vamos a regar un tramo de prueba con alquitrán inglés en la CN-120 de Ponferrada a Vigo, donde la I.M.D. es del orden de 1.000 vehículos. Las dotaciones previstas son:

- 1,60 Kg./m.² de alquitrán (A.4 ó A.5).
- 14 l./m.² de gravilla sílicea de 12/16 mm.

El alquitrán es del tipo correspondiente al AQ.4 de las normas españolas, que es el que se recomienda para la zona Norte.

Para asegurar la sujeción del árido en los tramos de intenso tráfico se emplean las gravillas preenvueltas; esto tiene especial interés cuando se utilizan alquitranes de la máxima viscosidad — del tipo del AQ.6 — según la actual tendencia inglesa. Se recomienda para curvas cerradas o pendientes fuertes, donde es mayor el desplazamiento del árido por el tráfico o en días calurosos en que los alquitranes de menor viscosidad podrían reblandecerse. Cuanto mayor es la I.M.D. y el tiempo más cálido es preciso emplear alquitrán más viscoso.

Citamos un ejemplo de tratamiento con gravilla preenvuelta, correspondiente a una carretera inglesa con I.M.D. de 39 000 vehículos que se aplicó con el fin de corregir un tramo muy deslizante:

- 1,40 Kg./m.² (reducido a 1,25 Kg. en las bandas interiores que soportan la mayor parte del tráfico) de alquitrán, con temperatura de equivalencia de 46° C. (equiparable al AQ.5).
- 10 l./m.² de árido basáltico de 7/11 mm., preenvuelto.

El tratamiento se hizo en buenas condiciones, sin pérdida de gravilla, en un día caluroso. No se suspendió el tráfico, ni siquiera se redujo la velocidad normal.

La preenvuelta del árido se hizo con un 99 por 100 de éste calentado a 135° C. y un 1 por 100 de alquitrán, asimilable al tipo español A.Q.3. Se utilizó una instalación automática con dispositivo de pesado y dos secadores rotatorios. El ciclo de mezcla tenía una duración de dos minutos.

7. Riegos de imprimación.

Quando el tratamiento superficial debe aplicarse sobre una base granular, especialmente si es una base densa o de granulometría continua cuya textura es homogénea, se recomienda un riego de imprimación que mejore la cohesión de la parte superior de esta base, la impermeabilice y asegure la unión con la capa asfáltica.

En la imprimación el ligante penetra por capilaridad y la profundidad oscila entre 1 y 3 cm., según la textura más o menos cerrada de la base.

Esta es otra de las aplicaciones del alquitrán, a la que se presta por su adhesividad a los áridos y su resistencia al emulsionado en caso de que llueva intensamente al poco tiempo de su aplicación.

Se emplearán para la imprimación los alquitranes de menor viscosidad, aunque en la elección de ésta habrá que tener en cuenta la textura más o menos cerrada de la base, la temperatura ambiente y el período en que pueda interrumpirse el tráfico. Para bases cerradas se utilizará el A.Q.1, que exige suspender la circulación durante cuarenta y ocho horas; para bases abiertas, el A.Q.2 y también el A.Q.3 si el tiempo es muy cálido. La dosificación varía entre 1 y 2,5 kilogramos. Si se retrasa el curado y es preciso abrir el tramo al tráfico, se enarenará con arena gruesa y limpia, sin finos que retengan el ligante en la superficie, para que prosiga lentamente la penetración.

Antes de proceder al establecimiento de la capa de rodadura, sea de revestimiento con mezcla bituminosa o tratamiento superficial, se esperará a la evaporación completa de la fracción de aceites ligeros y medios, cuya misión es exclusivamente fluidificar el alquitrán.

8. Revestimientos de tarmacadam.

Los tarmacadam que más se emplean actualmente son los finos, o tarmacadam de gravilla, en revestimientos de poco espesor para protección y reperfilado de pavimentos. Es una solución intermedia entre el tratamiento superficial y las capas de aglomerados, que resulta a precio asequible y, desde luego, es preferible a los triples riegos comparables en coste y con el peligro de una dosificación de ligante poco uniforme y, por tanto, de resudación.

El comportamiento de estas capas finas de tarmacadam — con espesor de 2,5 cm. como máximo y

45 Kg./m.² — mejorará mucho con el perfeccionamiento del ligante. Se tiende a emplear alquitranes de poca susceptibilidad o mezclas de alquitrán-betún, que dan capas flexibles que se adaptan a las deformaciones de la base sin agrietarse formando la llamada *piel de cocodrilo*; y aunque se forme, las grietas pueden soldarse de nuevo gracias a la menor viscosidad del ligante, lo que no cabe esperar en los revestimientos de aglomerados a base de betunes duros.

Como se sabe, están especialmente indicados para la fabricación de tarmacadam, y la práctica ha sancionado su buen comportamiento, los áridos procedentes de la trituración de escorias de horno alto. En los Estados Unidos hemos visto el aprovechamiento de este subproducto para tal fin, a cuyo efecto algunas factorías siderúrgicas tienen como anejo grandes instalaciones de machaqueo, e incluso de mezclado, para servir a las obras de una determinada zona de influencia condicionada por el coste del transporte.

Los tarmacadam para revestimientos de poco espesor no suelen llevar "filler" y responden a fórmulas del tipo:

- 85 % de gravilla de 5/16 mm.
- 15 % de arena.
- 7 % de alquitrán en peso.

9. Hormigones de alquitrán.

Son estos hormigones mezclas de alta calidad equiparables a los hormigones asfálticos y, por tanto, con su mismo destino, o sea para capas de rodadura de tramos de intenso tráfico o refuerzos de firme que, por insuficiente espesor, ceden bajo las cargas y es preciso suplementar con capas compactas, preferiblemente de más de 6 cm., para que aseguren la estabilidad de la calzada por el llamado efecto-losa.

Estos hormigones son esencialmente diferentes de los tarmacadam, que tienen una estructura más abierta y son puestos en obra a temperaturas más bajas. En éstos el esqueleto mineral del revestimiento juega un papel decisivo, mientras que en los hormigones la mezcla *filler*-ligante es la que da al pavimento su cohesión y su resistencia a la tracción, reduciéndose el árido grueso a resistir el esfuerzo cortante.

Los alquitranes que se emplean deberán ser de los tipos A.5 o A.6, dependiendo uno u otro de la intensidad del tráfico en el tramo. En algunos casos se adicionan pequeñas cantidades de caucho sintético, que aumentan notablemente la viscosidad, disminuyen la susceptibilidad térmica y aumentan la resistencia a la rotura del revestimiento.

Una fórmula típica para capa de rodadura es:

Gravilla de 5/16 mm.	50 %
Arena	40 %
Filler	10 %
Alquitrán (en peso del total del árido)...	8 %

Con tráfico ligero puede reducirse el contenido de *filler* a un 3 por 100. Cuando se proyecta para *capa intermedia (binder)*, la gravilla puede ser hasta de 22 mm.; el *filler*, como máximo, el 5 por 100, y el alquitrán, del 5 al 6 por 100.

El árido debe calentarse para que quede lo más seco posible; su temperatura, por ser el material de volumen dominante, es la que determina la de la mezcla. Esta debe ser tal que mantenga al ligante en una viscosidad crítica: ni demasiado alta para que le falte la fluidez que exige la envuelta completa y rápida del árido, ni demasiado baja para que forme con los elementos finos un mortero poco consistente que fluya y se separe de la gravilla gruesa en el vertido y transporte, dando lugar a una mezcla de poca homogeneidad.

La temperatura en la envuelta depende, naturalmente, del tipo de alquitrán elegido, y pueden recomendarse los siguientes:

AQ.5	80 a 100° C.
AQ.6	100 a 120° C.

El límite superior corresponde a un largo transporte y tiempo frío.

Para la *capa intermedia* con estructura más abierta y menor proporción de *filler* no se necesita tanta fluidez en el ligante y pueden reducirse estas temperaturas en 20°.

Las condiciones que deben exigirse para la puesta en obra de los hormigones de alquitrán son similares a las de los asfálticos. Hay alguna diferencia en las temperaturas de extendido y compactación, que son inferiores en 20° ó 30° para los alquitranes, por ser éstos menos viscosos que los betunes empleados. Las temperaturas que se recomiendan son:

- Para el extendido: Capa intermedia, 70 a 90° C.
Id. de rodadura, 90 a 110° C.
- Para la compactación: En ambas capas, 50 a 70° C.

Las normas de ejecución suelen prescribir el empleo de dos rodillos: primero un tándem de 3 a 6 Tn., con el que se empieza a cilindrar cuando la mezcla está a la temperatura indicada, y después otro más pesado (8 a 10 Tn.), de tres ruedas, que termina la compactación y perfila la capa de rodadura.

Los hormigones de alquitrán pueden emplearse en cualquier época del año; el gran especialista inglés Mr. Ledger Lee nos contó en el Seminario de Carreteras cómo habían construido el revestimiento de un aeropuerto en condiciones climatológicas muy desfavorables, en los meses de diciembre y enero, trabajando de seis de la mañana a once de la noche. El resultado fué totalmente satisfactorio.

10. Conclusión.

Hemos pasado revista, en lo que antecede, a las aplicaciones del alquitrán en carreteras, múltiples, como se ha visto, y de gran resultado gracias a la calidad del producto perfeccionado con las nuevas técnicas de destilación y *reconstrucción*.

En España el desarrollo de los programas del Plan General de Carreteras exigirá un gran consumo de ligantes, y, dentro de éstos, debe contarse con el alquitrán, producto nacional que es preciso utilizar en mucha mayor proporción que hasta ahora en la construcción y conservación de pavimentos.

Como dijo el Director General de Carreteras en la clausura de la Conferencia del Alquitrán, nuestro país no está sobrado de recursos y tiene que aprovecharlos todos. Se impone, por tanto, una ordenación de la industria de este ligante orientada a la producción de alquitranes de carretera que se adapten a las características que para los distintos tipos fijan las nuevas recomendaciones españolas. El control riguroso de fabricación y el estímulo en el aumento razonable de precio — consecuencia de la mejora de métodos e instalaciones — hará posible que el mercado nacional ofrezca alquitranes comparables a los que con absoluta garantía de su comportamiento se emplean actualmente en el extranjero.