

MACADAM, RIEGOS ASFALTICOS SUPERFICIALES Y PAVIMENTOS RIGIDOS

(RIEGOS MONOCAPA)

Por LUIS CABALLERO DE RODAS Y COLMEIRO

Ingeniero de Caminos.

Muy interesantes normas y comentarios, fruto de gran experiencia, presenta el autor sobre el tema del epigrafe, reuniendo una serie de principios muy estimables para la confección de proyectos de reparación de carreteras.

PRIMERA PARTE

El macadam, al que suele llamarse firme *ordinario*, es tratado por las Jefaturas con cierto desprecio, ciertamente inmerecido: es la solución en muchos casos, el menos caro de los firmes y una magnífica base para una capa de rodadura a base de ligante asfáltico, betún, *cut-back* o emulsión, sea en forma de riego superficial o aglomerado asfáltico.

Quizá las normas relativas a los materiales y ejecución de las obras que más deben variar son precisamente las relativas al macadam. Hace años se imponía la piedra de tamaño comprendido entre 7 y 9 cm., limpia, exenta de detritus (el *distrito* de muchos camineros y de otros que no lo eran): se obtenía así un tapiz *superabierto*, por decirse así, en clara oposición con lo que debe ser impermeable, que exige una granulometría cerrada.

La ejecución del firme se hacía en tres etapas, tal vez mejor, a base de tres operaciones: extensión de la piedra, consolidación *en blanco*, recebado y terminación de la consolidación; algunas veces a la extensión de la piedra precede un escarificado del firme existente, lo que puede dar un cierto volumen de aquella y da ciertamente un recebo magnífico. De todas ellas, la que se descuidaba y se descuida es el recebado; se emplea cualquier cosa, incluso tierra vegetal, arcilla con mucha frecuencia, no es raro ver sacar el recebo de los taludes de la carretera, sea cual sea el terreno. Se abusa del recebo porque se desvirtúa su finalidad de tapar huecos y se le asigna la de ocultar defectos de consolidación. Es corriente pasar por un tramo en reparación y cruzar un barrizal con todos sus defectos y peligros; ese tramo de carretera no estará jamás bien: en verano, una nube de polvo cegará a los usuarios; en invierno, el peligro de patinazos en el barro será cierto. Claro que hay muchas carreteras en las que el recebo durará poco más de lo que tarda en secarse; se lo lleva el viento, las piedras del firme se sueltan y se tiene una carretera sin baches ni roderas, pero incómoda para el tránsito. Los tramos de esas condiciones son los preferidos para el recebado como medio de *puntada a tiempo*, que estaría muy bien si se emplease en aquella operación un material apropiado; se llegan a ver ¡hasta tepes!

Un excelente material para recargos de firmes de macadam es el producto de excavación en conos de deyección, graveras o álveos, una vez que se le separan los tamaños mayores de 70 mm.; el resultado es previsible, la granulometría natural es la de máxima compacidad, que vuelve a adquirir con la consolidación. El resultado es un firme más elástico que el de piedra machacada; en la carretera Sagunto-Burgos se han ejecutado varios kilómetros por el sistema citado y se nota el paso del firme corriente al de gravera en ese caso, cauce de rambla.

Volviendo al macadam de piedra machacada, insisto ha de ser de granulometría cerrada (para macadam) y sirve de ejemplo el siguiente cuadro, que se inserta en las Normas del Gabinete Técnico de la Dirección General de Carreteras y Caminos Vecinales "Bases":

Material grueso para macadam.

| Tamaño de la malla — cm. | POR 100 QUE PASA | | | | |
|--------------------------|------------------|----------|----------|----------|----------|
| | M1 (3/5) | M2 (7/4) | M3 (6/4) | M4 (5/3) | M5 (4/2) |
| 8 | 90-100 | 100 | — | — | — |
| 7 | — | 90-100 | 100 | — | — |
| 6 | — | — | 90-100 | 100 | — |
| 5 | 0-10 | — | — | 90-100 | 160 |
| 4 | — | 0-10 | 0-10 | — | 90-100 |
| 3 | 0-5 | — | — | 0-10 | — |
| 2 | — | 0-5 | 0-5 | — | 0-10 |
| 1 | — | — | — | 0-5 | 0-5 |

Como recebo debe emplearse un material que complete la granulometría con los finos que faltan, proscribiendo las arcillas. La consolidación debe realizarse por capas de un espesor máximo de 15 cm.; en la última que proporciona la superficie de rodadura, el final de aquella con la extensión de recebo, debe llevarse a cabo con una verdadera inundación del firme, los finos *penetran* en la masa de piedra machacada.

En la autopista Arras-Lille, la base de macadam se receba con arena, y es tal la cantidad de agua empleada, que ésta penetra en el firme; el resultado es una superficie lisa y apta, no ya para base del aglomerado asfáltico, sino como capa de rodadura sin más preparación.

Preveo que la idea de imponer una granulometría graduada en el macadam suscitará reacciones diversas, pero con toda innovación sucede lo mismo. Desde luego, como consecuencia inmediata, surge la imposibilidad de machacar a mano en parva, esto no tiene importancia; el coste del machaqueo a mano es hoy prohibitivo; por otra parte, la construcción es una industria y no una suma de trabajos de artesanía.

Como resumen de lo expuesto, considero necesario para ejecutar un firme de macadam nuevo:

1.º Perfilar y compactar cuidadosamente la plataforma; esta última debe llevarse hasta un límite fijado en el Pliego de Condiciones facultativas, que debe serlo en tanto por ciento de la densidad Proctor, sistema objetivo y nunca dejarla "a juicio del ingeniero encargado", sistema subjetivo.

2.º Extender la piedra machacada en una capa de espesor máximo de 15 cm., con la granulometría que se señale, bien homogénea.

3.º Consolidar a fondo; la última capa deberá ser recepada con el producto que señale el Pliego de Condiciones facultativas, nunca arcilla; la terminación de la consolidación se hará con un riego abundante.

Si se trata de una reparación (no bacheo), el primer punto que hay que estudiar es el volumen necesario por kilómetro a la vista del estado de la carretera. Hay que pensar que las obras deben estar bien hechas, el descrédito viene de no seguir ese criterio. Conviene escarificar y separar el detritus para recebo; al fijar el volumen por kilómetro no hay que perder de vista la realidad; un proyecto no supone, en general, la ejecución fulminante de las obras, hay que contar con el retraso que, como máximo, se cifrará en un año.

Se comprende fácilmente que si se sigue el método desarrollado en las líneas que preceden, resultarán los firmes nuevos y las reparaciones a un precio

superior al actual. En el primer caso la cosa no tiene demasiada importancia; el aumento de los presupuestos de las obras nuevas no tendrá *gravedad* relativa. En las reparaciones el efecto será reparar menos kilómetros con la consignación disponible, pero hay que tener en cuenta que la vía debe seguir en sus condiciones las de los vehículos. ¿Qué se diría si por no gastar las renovaciones de carril se hicieran con uno de 30 Kg. de peso por metro lineal?

El caso es el mismo, no hay que contar con sólo carros y camionetas; los camiones de diez y más toneladas van hoy a todas partes, sin olvidar los autobuses; cubren la red de carreteras y parecen exigir carreteras *posibles*.

* * *

Los riegos superficiales asfálticos. — Dentro de la ejecución de los firmes asfálticos, es la obra más corriente y a la que no se presta la atención debida en general. Sin embargo, de sus acertados proyectos y ejecución depende su duración, que en definitiva es economía.

Como primera observación diré que de los países de Europa que conozco, España es el único en el que se emplea el betún puro en riegos asfálticos superficiales, y el nuestro es el país en el que ese producto cuesta más (el doble aproximadamente que en Francia, por ejemplo). Las emulsiones bien manejadas ofrecen enormes posibilidades.

Otra cuestión que es preciso tener en cuenta es que un riego superficial, monocapa, no reperfila jamás el firme, las desigualdades que existan, subsistirán un poco elevadas, pero con toda su importancia.

Para redactar un proyecto de riego asfáltico no basta copiar los anteriores, es necesario considerar cada caso. A continuación voy a exponer unas reglas sencillas y un cuadro que pueden servir de auxiliares eficaces para formular proyectos de riegos superficiales; si se siguen habrá una ventaja inapreciable para los que hayan de examinar la uniformidad. Una advertencia: no se trata de nada *inventado*, son datos recogidos de revistas y libros:

$$\text{Cuadros para riegos superficiales asfálticos} = \text{calibre medio} = \frac{d + D}{2} d = 0,6 D.$$

| Calibre medio de la gravilla — mm. | Volumen de gravilla por m ² .ls. | | DOSIFICACION DE LIGANTE POR METRO CUADRADO | | | | | | |
|------------------------------------|---|--------|--|------------------|---------|--------|-----------------|---------------------|---------------------|
| | Total | Fijado | Betún — Kg. | Cut - back — Kg. | | | Alquitrán — Kg. | Emulsión 50 % — Kg. | Emulsión 55 % — Kg. |
| | | | | 400/500 | 150/200 | 50/100 | | | |
| 25 | 20 500 | 19 000 | 1 775 | 1 800 | 1 825 | 1 900 | 2 085 | — | — |
| 20 | 17 400 | 16 000 | 1 520 | 1 545 | 1 565 | 1 625 | 1 775 | — | — |
| 15 | 14 000 | 12 600 | 1 250 | 1 275 | 1 290 | 1 335 | 1 465 | — | — |
| 10 | 10 200 | 9 000 | 0,950 | 0,975 | 0,985 | 1 025 | 1 115 | 1 450 | 1 350 |
| 5 | 6 000 | 5 000 | 0,615 | 0,640 | 0,650 | 0,665 | 0,705 | 0,950 | 0,875 |

Tolerancias admisibles: Betún $\pm 5\%$. Resto de ligantes $\pm 10\%$.

Correcciones según la obra. { Pavimento rico en ligante en la superficie, blando. Reducir ligante en 15 %.
Pavimento blando, pero con ligante normal. Reducir ligante en 8 %.
Pavimento rugoso, aumentar ligante de 5 a 20 %. Experimentar la cantidad que entra (penetraciones, por ejemplo).

Correcciones por intensidad de tráfico. { Más de 800 vehículos diarios, disminuir ligante en 5 %.
De 200 a 800 vehículos diarios, dosificación normal.
De 50 a 200 vehículos diarios, aumentar ligante en 6 %.

Correcciones por clima. { En España no hay comarcas frías todo el año, el verano es muy extremado al sol; en las zonas cálidas se puede reducir el ligante en 4 %.

Correcciones por la forma de la gravilla. { Gravilla redondeada natural, aumentar ligante en 5 %.
Gravilla con ángulos muy vivos, disminuir ligante en 2 %.

Corrección por la porosidad de la gravilla. { En general no es necesaria.

CLÁUSULAS QUE DEBEN INCLUIRSE EN EL PLIEGO DE CONDICIONES FACULTATIVAS INEXCUSABLEMENTE

A) *Calibre de la gravilla.* — La gravilla estará comprendida entre mm. y mm. Se comprobará el ajuste de calibres a lo dispuesto en este artículo; la tolerancia en los tamaños máximos y mínimos será de 10 por 100.

B) *Limpieza de la gravilla.* — La gravilla estará exenta de polvo, se tomarán las medidas precisas durante el engravillado para que el árido empleado esté perfectamente limpio. En todos los tajos habrá un cedazo para comprobar la limpieza del material.

C) *Comprobación de la distribución de ligante.* — Se comprobará la distribución de ligante en sentido transversal; la máxima tolerancia será más, menos 10 por 100.

D) *Cilindrado.* — Si la gravilla es caliza o análoga poco dura; el cilindrado de fijación, el suficiente para inmovilizar el árido.

Parece que el empleo del cuadro es muy sencillo y que con un poco de criterio las correcciones no son difíciles; sin embargo, la cosa se complica si de un

modo que llamaré tradicional se emplean otras dosificaciones. Surgen entonces problemas más o menos reales que justifican (sic) el no hacer caso de los frutos de una larga experiencia y conformarse con la propia, pueden resumirse en tres puntos:

1.º Que es desconocido el momento de la ejecución del riego y por tanto no se conocen las condiciones climatológicas.

2.º Que desde que se redacta el proyecto hasta que se ejecuta la obra pueden variar las condiciones del pavimento.

3.º Que puede suceder que se cambie la procedencia de la gravilla y, por tanto, su forma.

Todas las objeciones tienden a demostrar que si se emplean las cifras y correcciones del cuadro no es posible fijar, *a priori*, la cantidad de ligante necesaria realmente, que puede resultar mayor o menor que la figurada en el proyecto. Esto no tiene valor como razón, es un pretexto; hay que suponer que en los riegos superficiales de una provincia todas las causas de corrección van a variar en el mismo sentido, previsión que se aleja bastante de lo racional y lógico. Es algo así como asegurar un solo inmueble contra incendios y suponer que arda; lo más natural es que haya diversas circunstancias y que por lo menos en cierta medida se compensen.

Pero examinemos la cuestión con más detalle:

La corrección por condiciones climatológicas supone, como máximo, una reducción de ligante de 4 por 100 si tal cosa ocurriese; no alcanzo a ver el inconveniente de que, una vez terminada la obra, sobrase emulsión (por ejemplo), tiene un empleo muy definido y útil en bacheos que nunca sobran.

La corrección por forma de la gravilla no debe existir, hay que suponer que el proyecto está lo suficientemente estudiado para saber de antemano si se va a emplear gravilla natural o artificial.

Lo que puede tener más importancia es el estado del pavimento, si bien el caso de riqueza de ligante en la superficie, como por ejemplo en muchos tramos ejecutados por el Circuito Nacional de Firmes especiales, no es fácil que varíe. Los pavimentos rugosos pueden deteriorarse, pero entonces no es cuestión de ligante, ya que un riego superficial no corrige desigualdades, es preciso un bacheo.

Estimo que si se fijan cifras de ligante por metro cuadrado superiores en 10 por 100 al estrictamente necesario para tener margen de correcciones, y se establece en el Pliego de Condiciones facultativas que la dosificación por metro cuadrado se fijará en el momento del empleo, no habrá complicaciones administrativas, es decir, el conjunto de obras en una provincia se podrá ejecutar con toda comodidad.

Para final, voy a calcular los datos de un proyecto de riego superficial por dos caminos distintos y comparar los resultados.

A) Con el cuadro:

Condiciones supuestas: No es precisa corrección por condiciones climatológicas.
 Pavimento duro, con ligante normal.
 Gravilla procedente de machaqueo artificial.
 Ligante, emulsión a 50 % de betún.

Deduzco: Calibre medio de la gravilla, 10 mm.

$$\text{Calibre máximo, } \frac{0,6D + D}{2} = 10 \text{ m. } 1,6D = 20 \text{ mm. } D = 12 \text{ mm.; } d = 7 \text{ mm.}$$

Dosificación de árido por m.², 10 200 ls. (extendido).

» » » 9 000 ls. (fijado).

» de emulsión m.² =

Tipo, 1 450 Kg.

Disminución por ligante existente, 0,116 Kg.

Dosificación real, 1 334 Kg. = 1 300 Kg.

» de betún, 0,650 Kg.

Gravilla fijada por Kg. de betún, $\frac{9}{0,65} = 13,8$ litros.

Parece llegarse a una dosificación de árido/Kg. de betún, demasiado elevada, hay que tener en cuenta que se trata de un riego sobre pavimento con ligante.

Si no se hiciese descuento alguno, resultaría $\frac{9}{0,725} = 12,4$ ls.

El compuesto que se coloca en la carretera tiene, por tanto, un 8 por 100 de betún por metro cúbico de árido. En peso, a razón de 1.800 Kg./m.³ de gravilla, se colocan por metro cuadrado 16 Kg. de aquella, lo que supone, sin reducción, 4,5 por 100.

B) El Sindicato de fabricantes de emulsión francés, en un fascículo que publicó, sigue otro camino.

El calibre de la gravilla debe ser, próximamente, en milímetros, el número de litros de aquella por metro cuadrado; por tanto, si se quieren fijar 9 litros, el tamaño será 9 mm.

Por otra parte, la escasa viscosidad de la emulsión limita a 1,5 Kg./m.² la cantidad posible de puesta en obra con aprovechamiento; la emulsión corriente en España es a base de 50 por 100 de betún; es decir, que el máximo de betún de situarse en obra es de 0,750 Kg./m.² si admitimos la regla 1 Kg. emulsión-12 litros de árido; tendremos para dosificación de ligante $\frac{9}{12} = 0,750$ Kg./m.², el máximo.

Como puede verse, la flexibilidad del método es grande, porque permite partir del árido o del ligante; por ejemplo, se quieren colocar 0,600 Kg. de betún por metro cuadrado en emulsión a 50 por 100. Se pueden fijar $14 \times 0,6 = 8,4$ litros de gravilla por metro cuadrado, y su calibre deberá ser 8 mm. Si lo que se pretende es obtener una capa de árido de 6 mm.,

lo que puede ocurrir para un sellado; caben 6 litros de gravilla por metro cuadrado, para cuya fijación es preciso $\frac{6}{12} = 0,500$ Kg. de betún o 1 Kg. de emulsión.

Los resultados que se obtienen por cualquiera de los dos caminos son bastante concordantes, no cuesta trabajo ensayarlos y podría calcularse el tipo por el segundo método y corregir con los datos del primero.

La ejecución de los riegos asfálticos superficiales fué uno de los temas de discusión en el Congreso europeo del alquitrán, el año 1957, en Essen. Los alemanes eran partidarios de la puesta en obra a mano para poder graduar la cantidad de ligante en armonía con el estado del firme; los franceses preconizaban el riego a máquina. Los dos tenían razón, la red de carreteras alemana había sufrido mucho y las reparaciones que se habían hecho eran parciales, la superficie de rodadura era muy irregular. En Francia, el riego superficial tenía el carácter de un recubrimiento de aquella.

Como consecuencia del estado de la capa de rodadura se dispone el método de riego; es lógico y aconsejable; hay otro factor que tener en cuenta, el presupuesto de la obra; los medios han de ser proporcionales a él. En teoría, en el puro terreno de la especulación, puede escogerse libremente el método de trabajo.

La ejecución de los riegos superficiales a mano tiene el inconveniente de no garantizar una distribución uniforme de ligante, si es precisa y la dificultad de comprobarla, si se colocaran chapas de control, un reflejo inevitable haría que se cubrieran de más ligante del preciso, con lo cual el resultado sería falso. Repito: si hay *peladuras*, la superficie de rodadura es heterogénea y el riego es una labor de artesanía; la mano es insustituible.

El riego superficial a máquina requiere dos condiciones principales: posibilidad de comprobar que el producto cargado en los tanques es el exigido y que a la velocidad marcada el ligante esparcido por metro cuadrado es el figurado en el proyecto. No es difícil resolver ambas cosas con un poco de cuidado: en Bélgica se lleva a cabo una comprobación periódica del rendimiento por metro cuadrado de las regadoras. Un detalle, pequeño, pero que tiene su importancia; no hay en las *rampas* de riego un dispositivo que corte el paso desde los orificios de salida del ligante a la carretera, porque aun cuando se cierran las llaves queda líquido en las tuberías; cada detención del tanque produce un charco de momento, un posible punto peligroso por deslizamiento después.

El engravillado, en cualquier caso; si se hace a mano, debe realizarse con cedazos, no espuelas, para dar al árido un cernido final que separe el polvo y naturalmente realizado de modo que éste no vaya a la carretera, que es precisamente lo que se trata de evitar. Las máquinas repartidoras de gravilla, automó-

trices, son cómodas; las que precisan un camión que carga y empuja, no tanto, un día en marcha atrás es bastante molesto para el conductor. Si bien la granulometría de un riego superficial está comprendida entre límites muy próximos, conviene vigilar y evitar la segregación.

La consolidación debe seguir muy de cerca al engravillado y ser ligera, lo justo para fijar el árido; no siempre las gravillas son muy duras y su trituración por el rodillo es catastrófica; se produce polvo, molesto y perjudicial.

El ideal es trabajar con el tránsito cortado, pero en general no es posible; de todos modos conviene no establecerlo sobre la obra hasta una hora después de extendido el ligante; muchos fracasos se deben a no observar esa precaución; es algo así como perturbar el fraguado del cemento.

* * *

Creo que, como final, se debe tratar de una posible duda de los Servicios, al haber acaso variación de la dosificación del ligante por metro cuadrado, surge la cuestión precio del abono de metro cuadrado de riego asfáltico. Naturalmente, si se calcula para 1 500 kilogramos de emulsión, no es aplicable al caso de ser ésta mayor o menor.

La dificultad tiene una solución fácil en los dos documentos fundamentales, Pliego de Condiciones facultativas y Presupuesto; en efecto:

Para el Pliego de Condiciones facultativas: "La dosificación base del ligante será de kilogramos por metro cuadrado, que podrá variarse de acuerdo con las condiciones climatológicas y el estado de la superficie de rodadura en el momento de la ejecución de las obras. La dosificación definitiva se comunicará por escrito al Contratista y será la que sirva de base para la liquidación de las obras.

La posible modificación de la cantidad de ligante llevará aparejada la proporcional de árido. Caso de sobrar material del acopio, la Administración se hará cargo de él y lo abonará a los precios fijados en el cuadro correspondiente."

En el Presupuesto: se consignarán precios de "kilogramo de ligante extendido en obra y metro cúbico de gravilla colocada sobre aquél, separadamente". El cilindrado tendrá también precio por metro cuadrado. De esta manera no habrá dificultad.

Aún queda un *cabo* por atar: ¿y si falta material?; ya se ha tratado este punto e indicado las precauciones que se deben tomar; con ellas, y estudiando el

proyecto con un poco de cuidado; no parece que debe presentarse el caso.

* * *

Hasta aquí se ha tratado de obras clásicas, con técnicas importadas; se aprovechan los estudios de países en los que la experimentación se dota lo suficiente para llegar a resultados eficaces. Pero en esos países no hay vehículos de llanta metálica, que en España existen, y aunque disminuyen, aún los habrá mucho tiempo; el transporte por carros a larga distancia no cuenta, los carros o *galeras* de cinco y seis toneladas con recuas de otras tantas caballerías han *muerto* a manos del camión.

Pervive el carro agrícola, que en la época de la recolección, uva, remolacha, por ejemplo, hace el papel de carro de transporte, sin reunir ninguna de las condiciones que deben exigirse. Los pavimentos sufren una *punta* de tráfico de las peores características imaginables; cierto que actúa peso y cantidad, pero lo más grave es la acción local del metal sobre la gravilla, aun la más dura (coeficiente "Los Angeles" del orden de 12) es pulverizada, en la primera pasada o en varias; riegos superficiales realizados en abril, se apreciaron en julio, por un ingeniero alemán como de tres años de edad.

He ensayado un sistema, no nuevo, pero adaptado a las circunstancias: forzar el tamaño mínimo del árido a 20-25 mm, a fin de obtener un mosaico ligado, y cuidar la calidad de aquél, pórfido y basalto; el resultado ha sido satisfactorio. Ya no hay elementos pulverizables, por decirlo así; la acción local no es destructora.

Hay que recurrir al *cut-back* como ligante y emplearlo con dosificación próxima a los dos kilogramos por metro cuadrado (ver el cuadro), pero se obtiene una superficie de rodadura resistente; conviene evitar un tránsito anticipado; el ideal es *sellar* aquélla, sobre todo para impermeabilizarla; evidentemente habrá que dejar transcurrir un plazo suficiente para la evaporación de los aceites esenciales; para el sellado hay muchos productos, y ninguno caro; en cada caso cabe escoger.

* * *

No he pretendido descubrir nada, pero conviene plantear cuestiones que animen al estudio y a los ensayos; los fracasos enseñan; pero a veces lo perdido en uno se recupera con creces en las obras siguientes. Me dirijo principalmente a los jóvenes; el problema de las carreteras es de dinero, pero también de administrar con el máximo cuidado el que disponemos; buscar la máxima eficacia.