

TRATAMIENTOS SUPERFICIALES CON AGLOMERADO ASFALTICO FINO

Por JOSE LUIS MONTALVO DE ANGEL
y JULIO VELAZQUEZ VELAZQUEZ
Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Los tratamientos superficiales clásicos (riegos) han sido casi abandonados en los países de adelantada técnica vial y sustituidos, particularmente en Francia, por tratamientos consistentes en extender con motoniveladora una mezcla de arenas diversas con betún dopado. Sería posible que los años próximos vieran una difusión notable de esa técnica en España; es, pues, muy oportuna la aparición de este artículo, en el que tras exponerse las bases generales que rigen el empleo de los aglomerados finos, se analiza la interesante experiencia ya existente en nuestro país.

De los riegos al tratamiento con mezcla asfáltica.

A fines del siglo pasado se hicieron en la Riviera los primeros ensayos de tratamiento superficial de firmes, procedimiento que pronto experimentó un auge extraordinario hasta llegar a convertirse en panacea del entretenimiento de carreteras. El riego sigue gozando del favor de los Ingenieros y es innegable su validez en ciertos casos; sin embargo, es opinión bastante generalizada que dicho método no está en consonancia con la moderna técnica vial, y no falta quien aboga por su total proscripción.

El tratamiento superficial clásico consiste, como es bien sabido, en extender sobre el firme a tratar una capa delgada de ligante e inmediatamente otra de gravilla, que queda adherida a la primera. Es difícil lograr una capa perfectamente uniforme de ligante, por lo que con frecuencia la gravilla queda suelta y es desplazada a las cunetas al paso de los vehículos o, lo que es peor, es despedida por las ruedas de los mismos provocando desperfectos en los que le siguen; o bien resulta un firme peligrosamente deslizante por exceso de betún, peligro que existe siempre durante la ejecución del riego y ha dado lugar a numerosos accidentes. Incluso con dosificación exacta, un tráfico intenso hace subir el ligante a la superficie.

Hace tiempo que existe en Francia la tendencia a suprimir los riegos.

Ya en 1948 Paul Cadenat, siendo Ingeniero Jefe del Departamento de Loire-Atlantique puso en práctica el reperfilado con capa delgada de aglomerado 3/8 extendido con motoniveladora, ofreciendo así al tráfico superficies de rodadura muy cómodas y económicas a partir de las existentes. Pero con estos aglomerados abiertos sobrevinía inevitablemente la disgregación de los áridos, lo que hacía indispensable un riego para protegerlos.

Aparecieron después los aglomerados densos en capas de espesor medio, menos perfectos que los hormigones bituminosos, pero todavía demasiado caros para competir con el tratamiento superficial clásico.

Por fin, los aglomerados finos o morteros bituminosos extendidos en capa delgada con motoniveladora, ofrecen una solución satisfactoria desde los puntos de vista técnico y económico, como capa de radadura, como protección contra los agentes destructores y como remate impecable de un firme nuevo.

Cualidades del tratamiento con aglomerados finos.

Se citan a continuación las más importantes.

Homogeneidad. — Se ha visto que los inconvenientes de los riegos provienen en su mayoría de la irregularidad de distribución del ligante. Los morteros bituminosos para tratamiento superficial, en cambio, se fabrican en una planta de aglomerado en caliente, lo que permite alta calidad del producto, homogeneidad del mismo y posibilidad de control en su fabricación.

Reperfilado. — Otro fin que debe perseguirse con los modernos tratamientos superficiales es el reperfilado del firme primitivo, fin que el riego no cumple, o cumple en una medida insignificante. Con una cantidad moderada de mezcla asfáltica (25 a 30 kilogramos/m.²) extendida irregularmente de modo que rellene las depresiones regularizando así el firme antiguo, pueden conseguirse mejoras notables de coeficiente via-grafo, que llega a reducirse en un 75 por 100; las ventajas que se obtienen de semejante reperfilado son muy grandes.

En efecto, según estadísticas americanas, una reducción del coeficiente via-grafo como la citada arriba, equivale a un ahorro del 8 por 100 en los gastos de tracción.

Por otra parte, se obtiene una rodadura extraordinariamente confortable lo que, además, reduce los riesgos de accidente por derrape, ya que la regularidad de la marcha del vehículo hace que se mantenga constante la adherencia de los neumáticos.

Esa misma regularidad suprime los golpes del vehículo sobre el firme, lo que da lugar a una mayor duración de la misma, es decir, a un ahorro en los gastos de conservación.

En resumen, *reperfilado* equivale a:

- Economía en gastos de tracción.
- Economía en gastos de entretenimiento.
- Enorme comodidad.
- Mayor seguridad.

Impermeabilidad. — No puede pensarse en un tratamiento superficial con aglomerado abierto, cuya permeabilidad constituye un peligro tanto para el suelo de cimentación como para el aglomerado mismo, que se disgrega con relativa facilidad a menos que se proteja con un riego anulando así la economía que hubiera podido obtenerse al emplear granulometría abierta. El *sheet-asphalt*, con más de un 10 por 100 de filler y un 8 a 9 por 100 de ligante es completamente impermeable, pero resulta muy caro. Parece, pues, preferible el tipo *sand-asphalt* (6 al 10 por 100 de filler, 7 por 100 de ligante) a pesar de su proporción de huecos del 10 al 15 por 100. Como dice D. Mario Duriez, gracias a la granulometría muy fina de esos aglomerados, los huecos quedan en forma de aire ocluido, y el revestimiento resulta impermeable. Para mencionar un caso concreto y español, en la mejora del firme de la

carretera de Chamartín-Alcobendas se empleó un *sand-asphalt* activado, con la finalidad específica de impermeabilizar el aglomerado denso ya extendido.

Flexibilidad. — Teniendo en cuenta que no se espera refuerzo alguno del firme por parte de un revestimiento con mortero bituminoso, es evidente que conviene dar a éste la mayor flexibilidad posible; de ahí la necesidad de pequeño espesor de la capa, y la recomendación de usar un ligante blando (betún 180/200). Esta flexibilidad es compatible con una estabilidad suficiente, que se estima por el ensayo *Hubbard-Field* y debe ser superior a 1.100 Kg. a las veinticuatro horas y a 1.300 Kg. después de secado (siendo la relación de las estabilidades antes y después de la inmersión, 08).

Rugosidad. — El empleo de áridos silíceos, muy duros, y la estructura superficial del pavimento terminado, análoga a la del papel de lija, dan por resultado una superficie muy rugosa; además, siendo la proporción de huecos bastante alta, los aglomerados finos tienen una gran capacidad para absorber posibles excesos de ligante del firme primitivo. Por ambas razones un revestimiento de este tipo constituye el remedio ideal para el peligro por deslizamiento, cosa que ya ha quedado demostrada en España, como luego se verá.

• • •

Ya hace más de trece años, la Administración francesa, y muy principalmente el Ingeniero Jefe don Pedro Tessonneau trabajaba, en colaboración con una empresa de París, en la puesta a punto de un tratamiento superficial con mezcla asfáltica que reuniera todas las cualidades citadas.

Un aglomerado fino del tipo *sand-asphalt* o *sheet-asphalt* se veía como solución siempre que se consiguiera su resistencia a los agentes atmosféricos una vez extendido en capa muy delgada (1 cm. y hasta menos). Tras laboriosas investigaciones, un ingeniero químico de la empresa en cuestión, Sr. Decourcelles, logró la obtención de un activante que confería al *sand-asphalt* las cualidades requeridas: adherencia perfecta al firme antiguo sin necesidad de riego de imprimación, adhesividad ligante-áridos y manejabilidad para la puesta en obra, todo ello con una independencia casi total de las condiciones atmosféricas (en ocasiones se ha extendido este aglomerado bajo lluvia intensa e incluso nevando sin notarse desperfecto alguno). Se puso a punto un procedimiento para la preenvuelta de los áridos con el activante y el de aplicación con motoniveladora, a la que se equipó de manera especial, y a partir de entonces esa técnica se aplicó en gran escala y con éxito creciente, no sólo en el departamento de Indre-et-Loire, donde nació, sino prácticamente en todo el territorio francés y más tarde también en Suiza, Alemania, Benelux, Italia y España. En el cuadro adjunto puede verse la evolución del consumo en estos países.

MILES DE TONELADAS	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964
Francia	98	100	88	136	202	350	464	620	690
Benelux	—	26	27	23	29	28	30	32	34
Alemania	—	—	—	22	16	16	25	30	32
Italia	—	3	3	5	6	6	14	15	22
Suiza	—	—	—	—	1	—	2	19	32
España	—	—	—	—	—	—	19	15	4

Composición.

Estudiemos brevemente la composición de un aglomerado fino ideal para tratamiento superficial: es una mezcla de arenas, filler, alquitrán dopado y ligante, que se realiza en una planta clásica de aglomerado en caliente.

Arenas: pueden usarse diversas combinaciones de arena natural (en general de río), de machaqueo y triturada, mezcladas en proporciones variables según los casos para obtener la granulometría especificada.

Las arenas naturales deben ser limpias (equivalente de arena superior a 70), regulares y bien graduadas; su granulometría estará comprendida entre 0/3 y 0/5 siendo indispensable eliminar los elementos superiores a 5 mm. y que el contenido de filler sea inferior al 2 por 100; la arena de mar puede usarse si está libre de restos de conchas.

Las arenas de machaqueo aportan el filler necesario para la obtención de una buena compacidad, a la vez que dan a la mezcla un ángulo de rozamiento interno suficiente. Deben usarse sólo las procedentes de machaqueo secundario o terciario con contenido de filler del 15 al 20 por 100 y granulometría comprendida entre 0/2 y 0/4; lo mismo puede decirse de la arena triturada (procedente de un molino de bolas o de barras) con la única diferencia de que pueden tener hasta un 25 por 100 de filler.

El filler usado es el clásico, pudiendo emplearse filler calizo, cenizas volantes y excepcionalmente cal y cemento. Se añaden sólo si las arenas de que se dispone son pobres en material inferior a 0,08 mm. y es preferible prescindir de ellos siempre. claro está, que se disponga de arenas que lo permitan.

El ligante es generalmente betún 180/200 aunque en ocasiones puede emplearse otros, según veremos; el módulo de riqueza en ligante del aglomerado debe oscilar entre 4 y 4,75, según sea el estado del firme a reperfilarse, la naturaleza de la arena, la intensidad y naturaleza del tráfico previsto, las condiciones atmosféricas, etcétera.

Debe aplicarse el sistema de preenvuelta de los áridos con un alquitrán fluido y deshidratado en el que va diluido el activante patentado de que ya se habló.

Fabricación.

La fabricación de los aglomerados finos para tratamiento superficial no difiere esencialmente de la de los aglomerados ordinarios salvo en la temperatura de mezcla que es inferior (120 a 140 grados) para evitar la descomposición del activante. Es imprescindible, por lo tanto, una planta clásica de aglomerado en caliente, a ser posible con dispositivo para la preenvuelta.

En cuanto al control, la tendencia francesa es emplear los métodos estadísticos preconizados por D. Pedro Tessonmeau, quien los aplicó por primera vez a la técnica de carreteras, y precisamente en la fabricación de los aglomerados finos de Indre-et-Loire, en 1958. Reproducimos una de las hojas de control empleadas. En la bibliografía inserta al final se encontrará referencia a este tema.

CONTROLE DE FABRICATION

Centre d'enrobage
D'ESVRES-sur-INDRE - Téléph. 66

TYPE D'ENROBÉS *Binder 0/20..*

Chantier n° : *Warkel Green.*
 Poste :
 Opérateur :
 Date :
 Formule théorique

Agrégats	A ... <i>Concassé 0/20</i> : <i>45%</i>
	B <i>sable de Loire 0/5</i> : <i>40%</i>
	C <i>sable broyé 18%</i> : <i>15%</i>
Filler :
Bitume ou C.B.	<i>80/100</i> : <i>5,80%</i> = <i>5,80%</i>
Dope :

RÉSULTATS AVANT ENROBAGE :

Teneur en eau	Sable de Loire	%	Pénétration DOW =
	Sable broyé à % f - à % f	%	Viscosité B.R.T.A. =
	Concassé	%	
	Calculée du mélange	%	
Teneur en filler	du mélange après séchage	%	

DATE	N° de l'échantillon	Température	PRISES		CARACTÈRES CONTROLÉS					OBSERVATIONS
			HEURE	Désignation	EAU	LIANT e	FILLER f	MORTIER ou SABLE s	RICHESSE z	
				A	<i>0,11</i>	<i>5,90</i>	<i>3,60</i>	<i>54,26</i>	<i>3,98</i>	
				B	<i>0,07</i>	<i>5,98</i>	<i>4,18</i>	<i>48,19</i>	<i>3,96</i>	
				C	<i>0,07</i>	<i>5,59</i>	<i>3,86</i>	<i>47,88</i>	<i>3,74</i>	
				D	<i>0,07</i>	<i>5,78</i>	<i>4,15</i>	<i>44,31</i>	<i>3,82</i>	
				E	<i>0,09</i>	<i>5,27</i>	<i>3,86</i>	<i>50,60</i>	<i>3,80</i>	
Moyenne \bar{x}					=	<i>5,704</i>	<i>3,83</i>	<i>49,048</i>	<i>3,80</i>	
Moyenne corrigée					=	<i>5,818</i>				
Ecart-type σ'					=	<i>0,253</i>	<i>0,316</i>			
Meilleure estimation $\sigma'' = \frac{\sigma'}{bn}$					=	<i>0,300</i>	<i>0,375</i>			
<u>Contrôle du réglage</u>						<i>+ 6,32</i>	<i>+ 4,59</i>			
Intervalle de confiance de la moyenne $\left\{ \bar{x} \pm t_{\alpha, n-1} \frac{\sigma'}{\sqrt{n}} \right.$					=	<i>- 5,09</i>	<i>- 3,07</i>			
Spécification : m					=	<i>5,80</i>	<i>3,60</i>	<i>65,00</i>	<i>R = 3,93</i>	
Intervalle de confiance de la variable $\left\{ \bar{x} \pm t_{\alpha, n} \sigma' \sqrt{\frac{n+1}{n}} \right.$					=	<i>+ 7,22</i> <i>- 4,19</i>	<i>+ 5,72</i> <i>- 2,94</i>			
Intervalle des tolérances T_i, T_s					=	<i>4,40-6,40</i>	<i>2,60-4,60</i>			

Tonage fabriqué :
 État du temps :

Le Représentant de l'Entreprise
 à Esvres-sur-Indre, le

La puesta en obra.

Se vió antes que el reperfilado de los firmes era uno de los principales requisitos que debía cumplir el tratamiento superficial con aglomerado fino. La aplicación del mismo con extendedora tiene un efecto nivelador que tiende a reducir las irregularidades de poca longitud presentadas por la capa soporte, mediante variaciones en el espesor de la capa de aglomerado. Las irregularidades de mayor longitud sólo son parcialmente corregidas por la terminadora, por lo que se impone el empleo de la motoniveladora, que por su gran separación entre ejes reperfila el firme con mucha



Fig. 1.^a - Motoniveladora extendiendo aglomerado fino.

eficacia. Por ésta y otras razones, desde que empezó a aplicarse el método de reperfilado con aglomerado fino se adoptó decididamente la motoniveladora como máquina de extendido, y pronto ese fué el símbolo de la nueva técnica (fig. 1.^a).

Se hicieron ligeras modificaciones en la motoniveladora clásica, que se eligió desde luego, con mandos mecánicos y con un mínimo de 100 CV. de potencia. Los neumáticos traseros son lisos para evitar que el aglomerado se adhiriera a ellos, y se limpian, de vez en cuando, con una cantidad moderada de gasolina, a pesar de lo cual dejan sobre el firme definitivo unas huellas características, apenas perceptibles, que desaparecen con el tiempo.

La hoja está sustituida por un cajón especial cuyo esquema indica la figura 2.^a, dotado de unas placas laterales que contienen al aglomerado. Este cajón consta de cuatro segmentos articulados que permiten adoptar para la superficie definitiva diversidad de formas.

Las dimensiones de los segmentos y sus suplementos permiten adaptarse a todas las anchuras de firmes. Extendida la primera franja, se da la segunda pasada, hacien-

do coincidir el borde inferior del cajón con lo ya ejecutado, resultando así una junta impecable.

El proceso de la puesta en obra del aglomerado es como sigue:

El camión procedente de la planta vuelca lentamente su contenido sobre el cajón dosificador especial, llamado Ben-Hur en argot de obra (fig. 3.^a), que se engancha

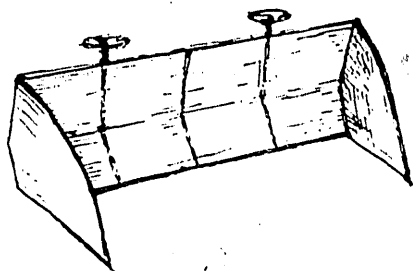


Fig. 2.^a—Hoja especial de la motoniveladora.

a la trasera del vehículo y que deposita sobre el firme a reperfilar un cordón continuo con la dosificación deseada. Sigue inmediatamente la motoniveladora, que ex-

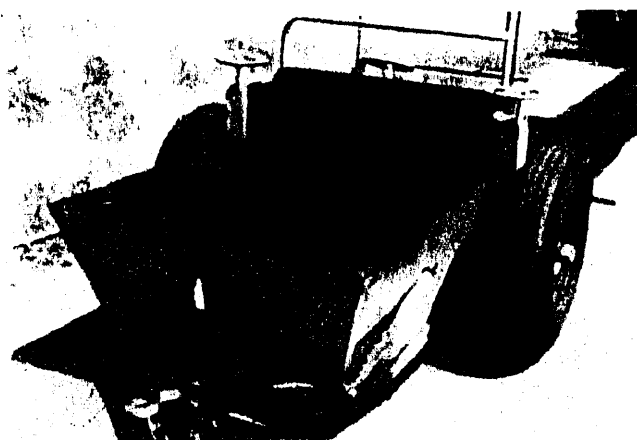
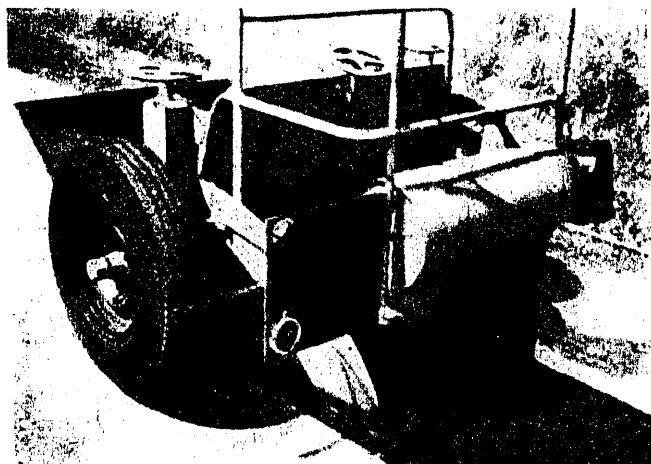


Fig. 3.^a—Dos vistas del dosificador de cordón.

tiende el cordón en el ancho previsto, y a continuación los cilindros apisonadores que terminan la capa. Inmediatamente queda abierto el tráfico sobre el tramo apisonado (figura 4.^a).

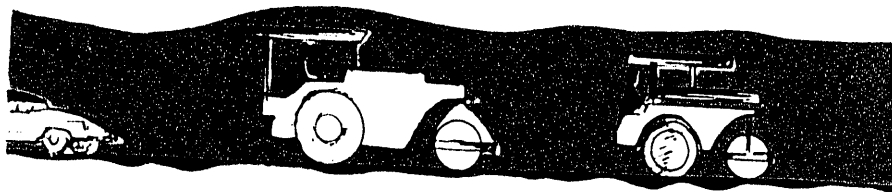
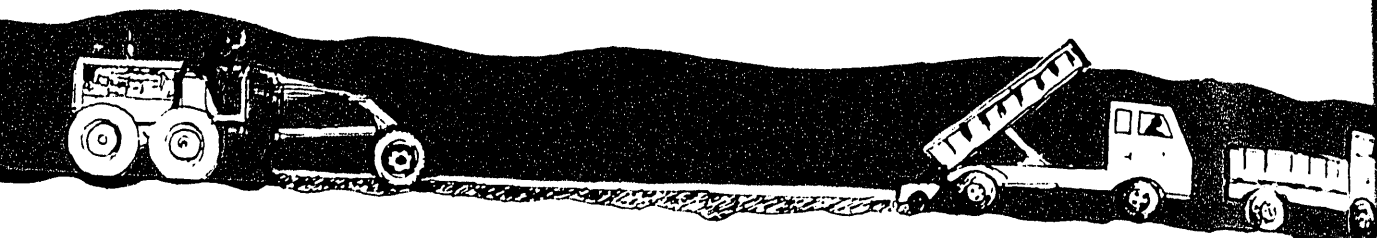


Fig. 4.^a — Proceso de puesta en obra de un aglomerado fino clásico.

Previamente a todas estas operaciones se lleva a cabo un barrido energético de la calzada a tratar.

Las figuras 5.^a y 6.^a indican en esquema, la corrección de los perfiles longitudinal y transversal que se consigue con la motoniveladora.



Fig. 5.^a — Corrección del perfil longitudinal.

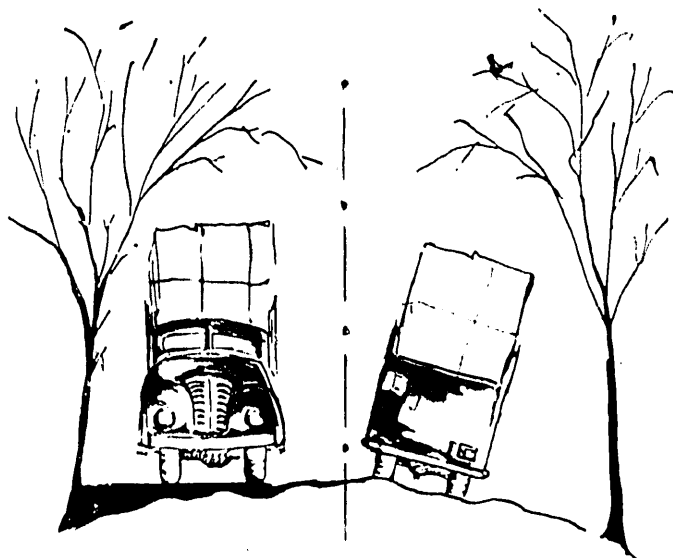


Fig. 6.^a — Corrección del perfil transversal.

Al final de la campaña 1964 (noviembre), en las obras servidas por una planta instalada en Esvres-sur-Indre (200 Tn./h.) la organización en cuanto a personal era como sigue:

- 1 Jefe de equipo.
- 1 conductor de la barredora mecánica.
- 1 peón que abría la compuerta del camión regulando la caída del aglomerado al Ben-Hur.
- 2 peones junto a las ruedas traseras de la niveladora, con rastrillos, que vigilaban el pavimento resultante y retocaban la junta.
- 2 vigilantes para desviar el tráfico.
conductores de niveladora, apisonadoras, cisterna para aprovisionar a las apisonadoras.

La puesta en obra puede realizarse igualmente con extendedora, como un aglomerado clásico. De hecho, todas las obras ejecutadas hasta ahora en Madrid con el aglomerado fino en cuestión lo han sido con dicha máquina.

Economía.

El procedimiento de reperfilado con aglomerado fino es económico. En efecto, un tratamiento de este tipo cuesta muy poco más que un riego bicapa y los resultados obtenidos son incomparablemente superiores.

Lo que no debe esperarse de los aglomerados finos.

La rapidez de puesta en obra de estos aglomerados finos, su aspecto impecable y su colocación sin molestias para el usuario, pueden inducir a un empleo abusivo del mismo. Sin embargo, dichos aglomerados tienen un campo de acción bien definido y salirse de él sólo puede conducir al fracaso.

Hay que recordar esencialmente que no se trata de un elemento estructural del camino. Por lo tanto, si un firme carece de resistencia por ser su espesor insuficiente para el tráfico actual, por ejemplo, habrá que reforzarlo previamente al tratamiento superficial; la aplicación directa de éste no conduce a nada.

En el caso de carreteras con exceso de bombeo hay que evitar que en los bordes aparezca un espesor excesivo de aglomerado fino; en consecuencia, habrá que elevar previamente las orillas con aglomerado denso, por ejemplo.

La cobertura directa de adoquinado por medio de mortero bituminoso ofrece algunos peligros si aquél no es muy estable. No obstante, se emplea a veces el aglomerado fino con esta finalidad (la ciudad de Tours está cubriendo todo su adoquinado con mortero asfáltico del tipo que estudiamos).

Los aglomerados finos en España.

Ya hace algún tiempo que se aplican en España los tratamientos superficiales con mortero asfáltico, y, en general, los organismos de la Administración Pública están satisfechos de su comportamiento lo que, junto con la excelente reputación adquirida en Francia y con la puesta al día de nuestra técnica vial, permite augurarle un brillante porvenir.



Fig. 7.^a — Madrid, avenida del Generalísimo.

Llevaron este tipo de revestimiento: en Madrid, la Avenida del Generalísimo, la Avenida de Portugal, la nueva carretera Chamartín-Alcobendas y varias calles del barrio de Usera y de la Canalización del Manzanares; en Gerona, la carretera Gerona-S. Feliú de Guixols, y en Guadalajara, la carretera nacional N-II en el tramo comprendido entre los puntos kilométricos 74,500 y 140,32 (figs. 7.^a, 8.^a, 9.^a y 10).

El aglomerado fino de Guadalajara.

El tramo de la N-II comprendido entre Torija y el límite de la provincia de Guadalajara con la de Soria, presentaba dos secciones completamente distintas, como puede apreciarse en la figura 11. La primera con anchura de explanación 12,50 metros (10,50 de pavimento y arcenes de un metro), con riego superficial asfáltico entre bordillos enterrados; la segunda, salvo algunas variantes efectuadas anteriormen-

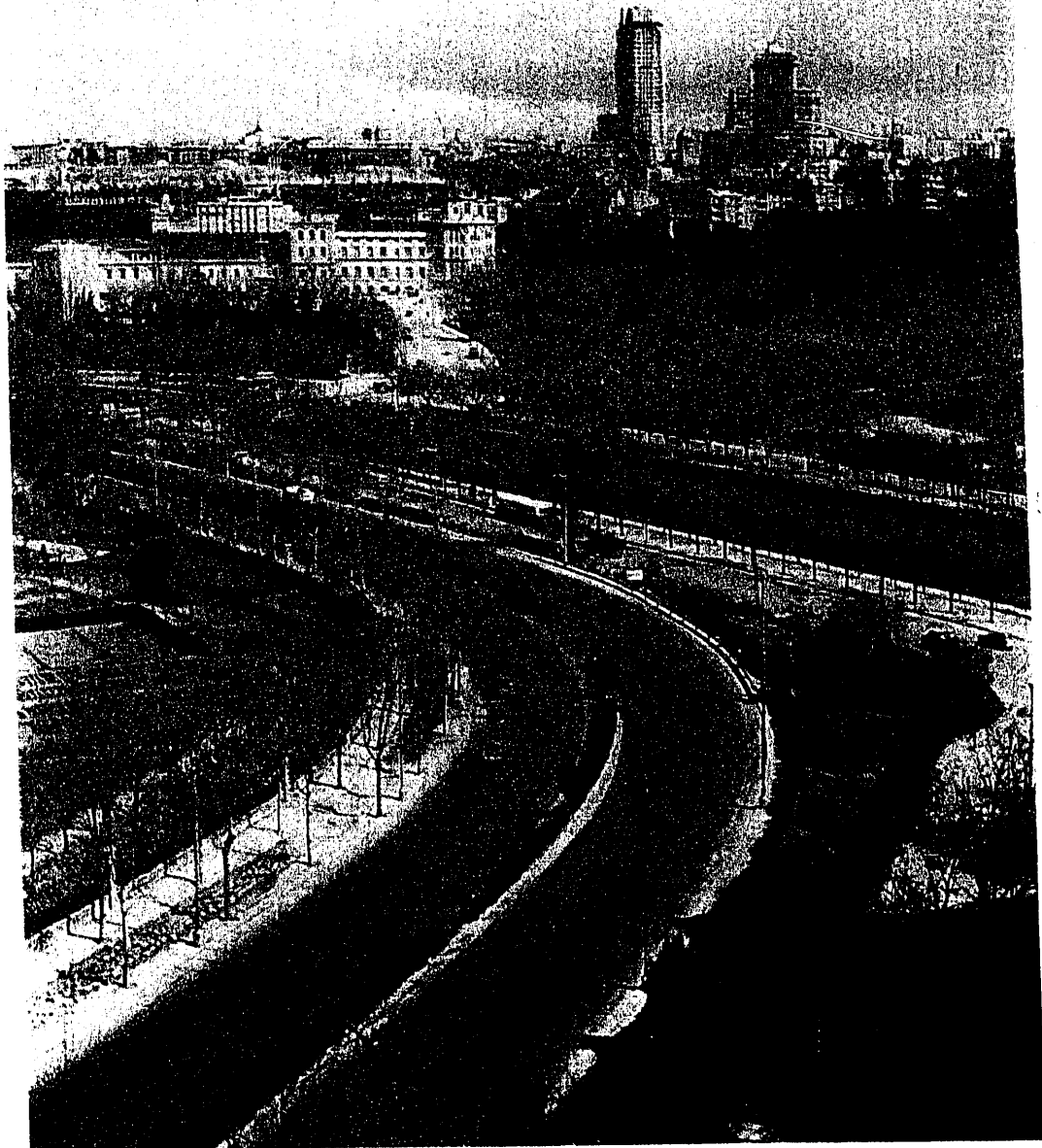


Fig. 8.^a — Madrid, avenida de Portugal.

te, con 8 m. de explanación (7 de pavimento y arcenes de medio metro) con riegos asfálticos entre bordillos elevados.

En el tramo de 10,50 m. de anchura (tres circulaciones), y a un metro del bordillo, la calzada estaba unos 15 cm. por debajo de éste (fig. 12), con lo cual los vehículos que marchan por su vía se inclinaban peligrosamente (fig. 6.^a), y para evitarlo tendían a circular por el centro (las mediciones realizadas mostraron que las ruedas más próximas al bordillo pasaban siempre a una distancia de por lo menos



Fig. 9.^a --- Madrid, carretera Charmartín-Alcobendas.

2,20-2,30 m.); el problema se acentuaba en tiempo de lluvia al llenarse de agua las depresiones.

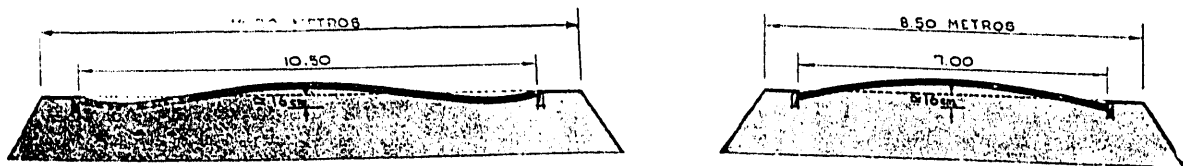
A este firme venían aplicándose desde tiempo inmemorial riegos con gravillas calizas que el tráfico pulimentaba rápidamente; la aplicación periódica de los riegos dió como resultado, a la larga, un exceso tal de ligante que en algunos puntos fue preciso quemarlo. Consecuencia: unos coeficientes de deslizamiento alarmantes. Los ensayos con el péndulo del Road Research Laboratory, tipo T, modelo 11-4, realizados por la Jefatura de Obras Públicas de Guadalajara de acuerdo con el Laboratorio del Transporte en más de 200 puntos, daban una zona central de 4,50 metros de anchura con un coeficiente medio de 36; en el resto del firme, de 48 (fig. 13). Según experiencias inglesas, un firme es peligroso cuando su coeficiente de deslizamiento baja de 45.

La reunión de todos los factores enumerados hacían al firme enormemente peligroso, lo cual refleja el gráfico de accidentes de la figura 14.



Fig. 10. -- Guadalajara, carretera N-11.

ESTADO PRIMITIVO



ESTADO ACTUAL

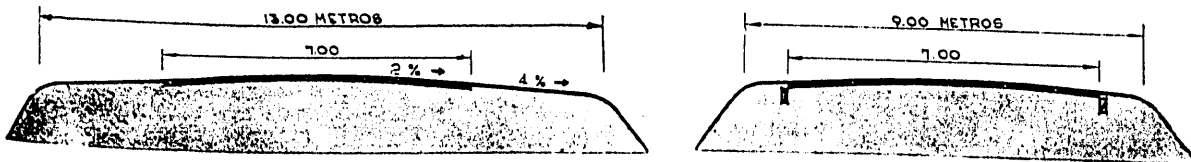


Fig. 11. Secciones transversales: del 7,4500 al 105,000, estado primitivo y del 105,000 al 1,40302, estado actual.

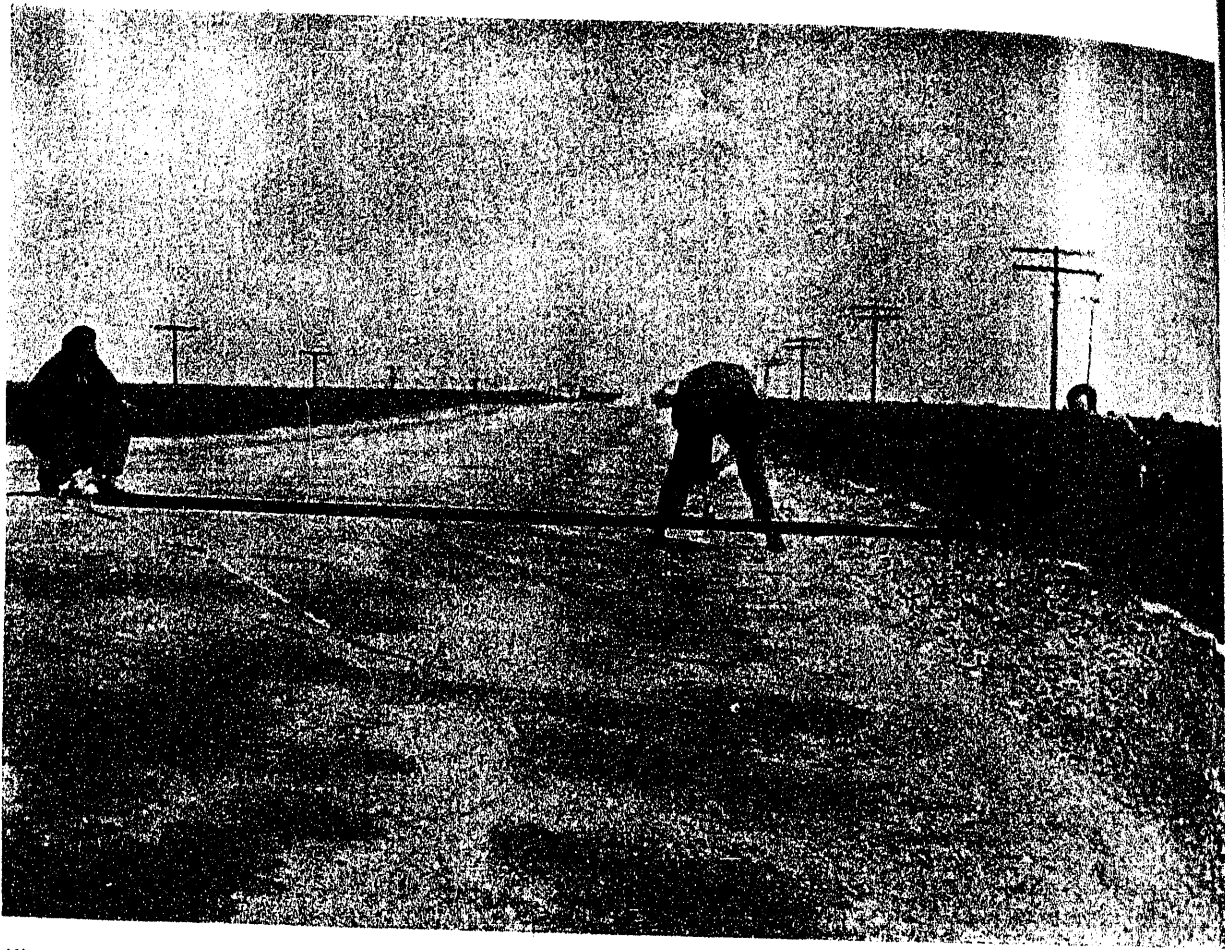


Fig. 12.— En la fotografía puede apreciarse claramente que parte de la calzada tenía un nivel inferior al del bordillo, con diferencias de 15 cm., lo que, prácticamente, reducía a dos circulaciones el tramo de tres.

Una solución precaria del problema era la aplicada por la Jefatura desde hacía algún tiempo. Consistía en efectuar los riegos con gravillas silíceas, riegos desde luego más caros debido a que en la provincia de Guadalajara existen pocos lugares de

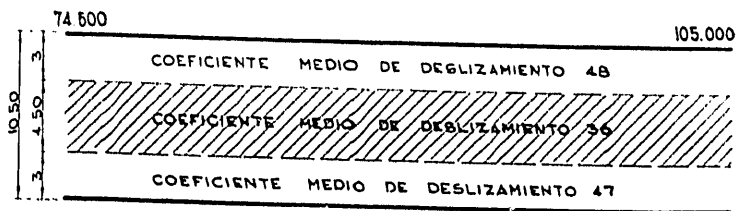


Fig. 13.— Resultado de los ensayos de deslizamiento efectuados entre los puntos kilométricos 71,500-105,000.

donde sacar este tipo de árido. Lo escaso de las consignaciones para conservación de esta provincia en los años anteriores al Plan de Carreteras hacía que el número de kilómetros con riego silíceo aumentara muy lentamente; y el problema de exceso de ligante seguía en pie.

Por ello, la Dirección General de Carreteras ordenó a dicha Jefatura redactar un proyecto de obra que además de eficaz fuese de ejecución rápida; la Jefatura redactó un proyecto que incluía:

- a) Desmante de algunas lomas peligrosas y supresión del bordillo elevado.
- b) Escarificación de dos franjas del firme primitivo en el primer tramo (p. K. 7450 a 105), dejándolo reducido a 7 m. de anchura.

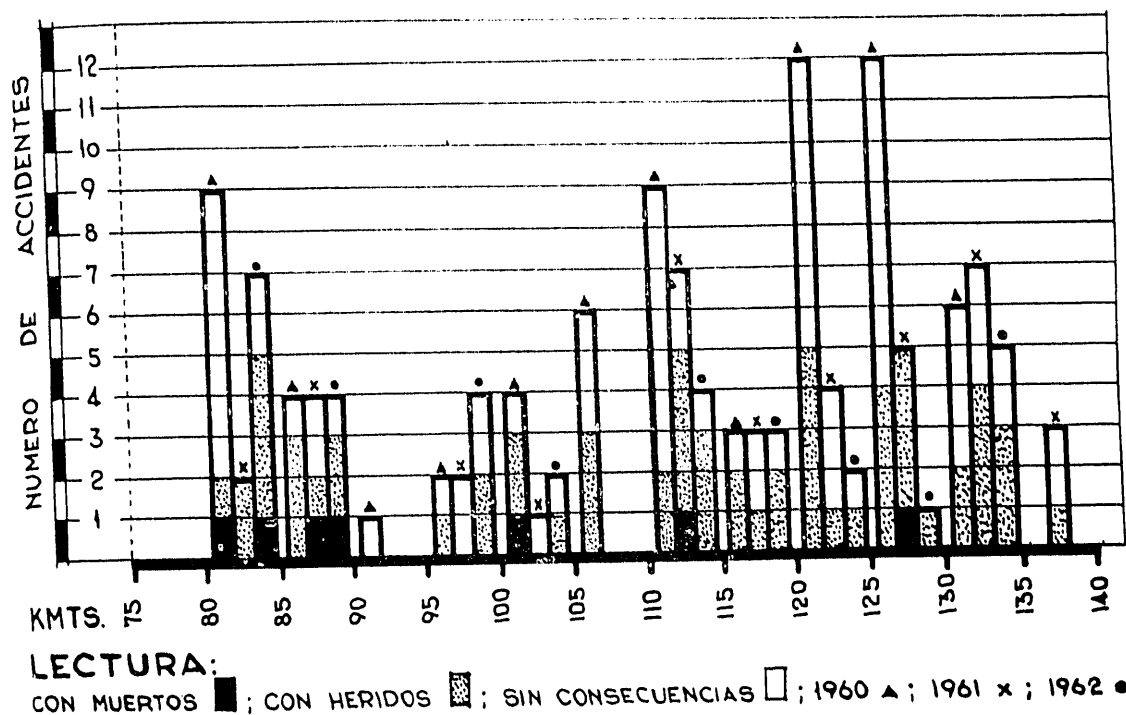


Fig. 14.—Gráfico de accidentes en la carretera N-11 en los años 1960, 1961 y primer cuatrimestre de 1962.

Se adaptó esta decisión teniendo en cuenta los siguientes razonamientos:

- 1.º Hacer un revestimiento con mortero asfáltico en toda su anchura (10,50 metros), con el consiguiente consumo de aglomerado para regularizar, representaba un 50 por 100 más de gasto que si se hacía sólo en 7 metros.
 - 2.º La sección *práctica* de las carreteras era de dos circulaciones, como se vió antes.
 - 3.º Las carreteras de tres vías, tan corrientes en Francia, pueden considerarse peligrosas.
 - 4.º Las características geométricas del tramo en cuestión (distancia de visibilidad de más de un kilómetro en muchos puntos y superior siempre a 450 m.) le dan, con sólo dos circulaciones, una capacidad práctica de 900 vehículos-hora, muy superior a la que pueda esperarse en él.
 - 5.º La escarificación de las franjas no aprovechadas para el tráfico lo encauzaría, evitaría despistes y permitiría la habilitación de amplios arcenes.
- c) Regularización del perfil transversal con 12.000 Tn. de aglomerado asfáltico en caliente.
 - d) Revestimiento con un mortero bituminoso de patente francesa, a razón de 35

kilogramos/m.². Teniendo en cuenta sus grandes cualidades como antideslizante ya mencionadas.

Las obras en la parte correspondiente al mortero asfáltico se empezaron el 27 de septiembre de 1962 y terminaron el 9 de diciembre del mismo año. El aglomerado fino se fabricó en una planta Barber Greene de 60 Tn./h. y se extendió con una motoveladora Caterpillar de 100 CV.

La fórmula de trabajo empleada fué la siguiente:

Aridos.

- 40 por 100, arena natural del Tajo (Trillo);
 - 29 por 100, arena machacada del Tajo (Trillo);
 - 30 por 100, arena natural de Arganda, y
 - 1 por 100, de filler artificial.
- Tamaño máximo, 5 mm.

Ligante.

- 6,7 por 100 de betún, 180/220;
 - 0,6 por 100, de activante.
- Módulo de riqueza, 4,25 (Duriez).

A los dos años y medio de terminadas las obras se volvió a medir el coeficiente de resistencia al deslizamiento y de irregularidad en la superficie (Viágrafo), cuyos resultados son:

El coeficiente de resistencia al deslizamiento aumentó entre el 50 y 70 por 100, siendo el mínimo obtenido de 62, muy por encima del coeficiente crítico, 45.

El coeficiente de irregularidad de la superficie disminuyó entre el 80 y 90 por 100; puntos donde el coeficiente era de 79 bajó a 8 y de 33 a 1.

Desde entonces han desaparecido prácticamente los accidentes por deslizamientos y en absoluto el número de muertos por tal motivo.

Se convirtió, pues, una carretera peligrosísima de tres circulaciones teóricas, con pavimento deslizante y secciones transversal y longitudinal irregulares, en otra de dos circulaciones, con amplios arcenes, muy rugosa, cómoda y con capacidad vial suficiente para no tener que modificar la sección transversal en muchos años, cualquiera que sea el aumento de tráfico que se presente.

Más tarde se ejecutaron otros dos pequeños tramos en los kilómetros 50 y 59, a razón de 25 Kg. de mortero asfáltico por metro cuadrado. En este caso se fabricó el aglomerado fino en una planta Wibau de 25 Tn./h. y se colocó con extendedora.

Tipos especiales de aglomerados finos.

Resulta indispensable contar con un tipo de aglomerado que pueda emplearse en las pequeñas reparaciones. Se ideó para ello el aglomerado fino acopiable (*stockable*), que sólo difiere del normal en el ligante utilizado; que se aplica con un módulo de riqueza de 4,25 y consta de un *cut-back* 400/600 y de un activante especial que se añade en la proporción del 1 por 100 sobre el peso de los áridos.

Aglomerados finos antikeroseno.

Para luchar contra la acción nociva del keroseno (pistas de aeródromos), o de fuel-oil, o gas-oil, hay que elegir una fórmula que dé una compacidad elevada, del orden del 91 por 100 y un ligante poco sensible a la acción de los solventes de petróleo: se toma, en general, un alquitrán cuya temperatura de equiviscosidad (EVT) sea de 48 a 54° C.

Si no se cuenta con un alquitrán de ese tipo (caso de España) o si la sustitución del betún por el alquitrán en la planta del aglomerado trajera consigo complicaciones excesivas para la importancia de la obra, puede utilizarse un betún 80/100, pero con una fórmula compacta (por ejemplo, 8,5 a 9 por 100 de filler, compacidad 91 a 92 por 100) con módulo de riqueza no demasiado alto (4,2).

Hasta que la circulación no ha hecho su efecto de compactación total, es decir, durante las primeras semanas, es recomendable proteger el revestimiento con un material que absorba el fuel-oil caído en ese período.

Bibliografía.

- MONTALVO, J. L.: "Guadalajara. Revestimiento con *Tapisable* de un tramo deslizante en la C. N. 11". *Boletín de Información del M. O. P.*, septiembre de 1962.
- "Aménagement d'un tronçon de la R.N. 2 dans la province de Guadalajara avec emploi de *Tapisable*". *Revue Générale des Routes*, febrero 1963, págs. 93 y 94.
- TESSONNEAU, P.: *Le profilage des Chaussées Modernes*. Eyrolles. París, 1963.
- "Les enrobés fins". Science et Industrie, número especial *La Route*, 1964.
- *Mejora de pavimentos mediante recubrimientos asfálticos*. Conferencia pronunciada en el Instituto Eduardo Torroja el 11 de mayo de 1965.
- "Le contrôle statistique de la qualité des matériaux routiers". *Annales de Ponts et Chaussées*, septiembre-octubre 1960, págs. 617 a 679.
- "Application de l'analyse statistique aux contrôles des matériels et matériaux routiers". *Bulletin de l'Association Internationale Permanente des Congrès de la Route*, cuarto trimestre 1964, págs. 34 a 70; primer trimestre 1965, págs. 16 a 37.
- "Application de l'analyse statistique aux contrôles des matériels et matériaux routiers". *Revue Générale des Routes*, junio 1964, págs. 99 a 106.