

ro, como son, por ejemplo, la pintura de las escalas, la limpieza y engrasado de los cables, la limpieza de los pozos y tuberías, reparación de caminos, etc., etc.

COSTE DE LOS AFOROS.—El importe de las obras y trabajos de montaje e instalación de las estaciones de aforo en servicio, sin contar los limnigrafos y molinetes, ha sido el siguiente:

	Pesetas
Estación de aforo núm. 1, «Villachica».....	27 381,33
Estación de aforo núm. 2, «Bretó».....	31 691,22
Estación de aforo núm. 3, «Vegalatrave»....	5 899,46
Estación de aforo núm. 4, «Muelas».....	42 212,18
Suma	107 184,19

y como el costo de los limnigrafos y molinetes se elevó a..... 20 605,60

el valor total de las instalaciones de aforo en servicio y aparatos ha sido de..... 127 789,79

El coste medio de cada aforo realizado en el año 1924, en el que ya funcionaban las cuatro estaciones enclavadas en la provincia de Zamora, ha sido de 94,72 pesetas. En el servicio de aforos de dicho año se invirtieron 15 061,55 pesetas, distribuidas en la forma siguiente:

	Pesetas
Por jornales y sueldos del personal.....	8 567,70
Por materiales.....	1 273,25
Por transportes de materiales.....	200
Por diversos (cochecito de la Sociedad, reparación de aparatos, etc., etc.).....	5 020,60
TOTAL	15 061,55

y se hicieron (Cuadro primero) 159 aforos.

Víctor DE NÓ
Ingeniero de Caminos

Ensayos de firmes especiales para carreteras ⁽¹⁾

IV

En nuestro anterior artículo anunciábamos que reuniríamos en otro los ensayos hechos en varias provincias de afirmados capaces de resistir, en buenas condiciones, el tránsito intenso de vehículos con llantas metálicas fuertemente cargados.

Técnicamente el problema está completamente resuelto con los adoquinados modernos, a los que se ha llegado después de dilatada práctica. Un cimiento de hormigón de cemento portland con grueso de 15 a 20 cm; una almohadilla de mortero rico para asiento de los adoquines y una capa para la rodadura, de 12 a 14 cm de grueso, compuesta de elementos pétreos de gran resistencia al desgaste, de formas regulares y dimensiones relativamente pequeñas, esmeradamente labrados y tomadas sus juntas con mortero, proporcionan la resistencia requerida para contrarrestar los enormes esfuerzos que ha de sufrir el afirmado en las condiciones de tránsito antedichas. Por otra parte, la rodadura en esta clase de pavimentos es relativamente suave, aunque naturalmente no lo sea tanto como en los pavimentos continuos. Si se tiene en cuenta, además, que en algunas poblaciones españolas, Madrid entre ellas, se ha comprobado que después de diez años de ejecutados se encuentran en condiciones de durar veinte o treinta años más, con gasto de conservación moderado, y que al ser necesaria la renovación probablemente podrá utilizarse el mismo cimiento sin hacer de nuevo más que la capa de rodadura, parece deducirse que vale la pena de hacer los sacrificios económicos necesarios para conseguir tan halagüeños resultados.

Y así está sucediendo, por fortuna, en algunas grandes capitales; pero el Estado y las localidades pequeñas tienen otro modo de ver las cosas. Asusta el costo inicial, y sólo el enunciar que el metro cuadrado de esta clase de afirmados puede costar de cuarenta a cuarenta y cinco pesetas, es bastante para que se renuncie a su empleo o se recurra a él sólo en casos especiales y en escala reducida.

Los ingenieros se han visto, pues, obligados a buscar por todos los medios la reducción del costo de los adoquinados, estudiando en cada caso los medios de lograrlo, y a ensayar otros afirmados especiales más económicos, tales como el hormigón de cemento portland, los hormigones asfálticos, el tar-macadam, etc. La experiencia ha demostrado pronto que donde existen pocos carros con llantas estrechas excesivamente cargados, aunque la circulación de automóviles y carros sea muy intensa, los resultados de estos afirmados especiales son excelentes, y que únicamente dejan algo que desear en los casos de existencia de gran número de carros excesivamente cargados. Parecía lógico, en vista de ello, limitar la carga por centímetro de ancho de llanta y llevar la limitación a la práctica con todo rigor; pero se ha preferido conceder un nuevo plazo a los carros destructores para hacer la transformación de llantas. No hemos de discutir los hechos consumados, pero es evidente que el plazo concedido, que puede no ser el último, indica la conveniencia de seguir estudiando afirmados capaces de resistir el tráfico absurdo que padecemos.

Pueden mejorarse bastante los hormigones de cemento portland y los hormigones asfálticos; el estudio en cada caso de las dosificaciones, la vigilancia constante durante la ejecución y el empleo de maquinaria adecuada, darán lugar, evidentemente, a excelentes pavimentos. De ello nos ocuparemos en otra ocasión, limitándonos ahora a describir los ensayos hechos con miras a reducir notablemente el costo de los adoquinados cuando sea posible, sin sacrificar sus elevadas características.

Para reducir dicho costo, se ocurre desde luego la disminución del grueso del cimiento de hormigón y hasta la supresión del mismo, sustituyéndolo por una capa de arena. Esta solución, desechada en general para poblaciones, puede en carreteras ser en ocasiones conveniente. El cimiento de hormigón sirve para transmitir las presiones al terreno y para evitar la llegada de las aguas superficiales al subsuelo; si una carretera tiene bastante espesor de firme y está bien saneada y soleada, tendrá buenas con-

(1) Véase la REVISTA, números 2 437, 2 439 y 2 440.

diciones para resistir las presiones y las aguas superficiales no llegarán al afirmado, a menos de ser el clima lluvioso. La arena reparte las presiones mucho peor que el hormigón; pero si, como decimos, el afirmado antiguo tiene buen espesor, su resistencia para soportar presiones es elevada por unidad de superficie. La conservación de los adoquinados sobre cimiento de arena es más costosa que cuando el cimiento es de hormigón, pero no tanto que aconseje construir siempre esta última clase de adoquinados.



Fig. 1.ª

La reducción de precio obtenida con la sustitución del cimiento de hormigón por arena, aunque de alguna importancia, no es, sin embargo, suficiente para el propósito perseguido. La parte más cara del adoquinado es la capa de rodadura; solamente el metro cuadrado de adoquín de microgranito o de pórfido diabásico cuesta en Madrid de 22 a 24 pesetas. Y siendo esto así, con mayor razón los procedimientos en los que se conserva el cimiento de hormigón y únicamente se sustituye la almohadilla y juntas de mortero por arena, tendrá por objeto obtener pavimentos menos rígidos y sonoros, pero no llegar a economías de importancia.

La utilización de piedra fácil de labrar en la capa de rodadura proporciona economía considerable y da lugar a pavimentos con juntas estrechas y de excelente aspecto. En las condiciones de tráfico intenso y pesado, la economía resulta en definitiva ilusoria, pues los adoquines se desgastan rápidamente. Ejemplo concluyente de ello es el empleo de areniscas de Deva en las pavimentaciones de Bilbao, San Sebastián y otras poblaciones.

Empleando piedra resistente al desgaste y tenaz, puede reducirse el costo notablemente, siempre que se prescinda de exigir forma regular a los adoquines. Los adoquinados de elementos pequeños con labra tosca, o cortados por medios mecánicos (*petit pavé*) constituyen excelentes pavimentos, si se rellenan las juntas entre los elementos con mortero de cemento portland. El progreso en la fabricación de los cementos ha cambiado bastante las ideas que teníamos acerca del grueso permisible de las juntas.

Con este criterio se ejecuta actualmente en Barcelona un empedrado muy interesante. Al sustituir los adoquinados antiguos hechos sobre cimientos de arena por otros sobre cimientos de hormigón, cabía utilizar los adoquines viejos para obtener piedra partida, como se ha hecho en muchas ocasiones; pero más acertadamente pensó nuestro distinguido compañero D. Rafael Carrera utilizar los adoquines viejos para la capa de rodadura. La naturaleza de

éstos es granítica, con grano muy fino, y haciendo desaparecer por golpes de martillo las partes redondeadas se obtienen pedruscos de cola comprendida entre 8 y 10 cm y dimensiones en la cara de paramento que permiten colocarlos en obra formando hiladas no muy irregulares (fig. 1.ª).

Por lo demás, se conservan en este caso el cimiento grueso de hormigón (14 cm) y la almohadilla y juntas de mortero. A pesar de hacer hormigones quizás demasiado ricos (200 kg de cemento portland por metro cúbico) y morteros de 500 kg de cemento por metro cúbico de arena, el metro cuadrado de pavimento sólo ha resultado a 19,72 pesetas.

Como se tuvo la precaución de llevar exacta cuenta de los gastos del ensayo, se pudo deducir muy fácilmente el precio por metro cuadrado en la forma siguiente:

Número de metros cuadrados hechos.....	959,30
GASTOS	
52 jornales de albañil, a 13 pesetas.....	676
162 ídem de empedrador, a 12,50.....	2 025
140 ídem de peón empedrador, a 9,50.....	1 330
268 ídem de peón de afirmados, a 9.....	2 367
40 ídem de carrero, a 9.....	360
95,930 m³ de piedra relabrada, a 25,50 ptas..	2 446,21
143,890 m³ de piedra arenisca para hormigón, a 14,50.....	2 086,41
174,000 m³ de arena, a 15.....	2 610
50 toneladas de cemento portland, a 100.....	5 000
TOTAL.....	18 900,62

Precio de ejecución por administración del metro cuadrado

$$\frac{18\,900,62}{959,30} = 19,72 \text{ pesetas.}$$

La rodadura en este empedrado tuvimos ocasión de comprobar que es suavísima, mucho mejor que en el adoquinado ordinario. En la parte derecha de la figura 2.ª puede observarse el aspecto de la obra terminada, y aunque pudiera creerse que la suavidad de los movimientos depende de la continuidad de la



Fig. 2.ª

capa de mortero, que al introducirse en las juntas refluje algo, con lo que desaparecería al cabo de poco tiempo al desaparecer el mortero, no es así, pues depende principalmente de que la relativa pequeñez de los elementos pétreos hace que las ruedas se apoyen en varios a la vez.

Este ensayo demuestra que puede rehacerse un adoquinado viejo a poco costo, con tal que las pie-

dras de la capa de rodadura tengan la tenacidad y resistencia al desgaste necesarias para constituir una buena capa de rodadura. En este caso están los pavimentos de muchas poblaciones. También puede deducirse que los adoquinados con elementos pequeños (*petit pavé*) resultarían bastante económicos si los adoquines fuesen baratos. Esta última parte es aún una incógnita entre nosotros, pues parece que con nuestros granitos y basaltos resulta muy costosa la preparación de los pequeños adoquines; pero teniendo en cuenta que en Alemania se usan mucho y siendo su naturaleza basalto y grauwacka, quizás pudiera llegarse a obtenerlos económicamente en

naría en resistencia; por otra parte, la capa de rodadura tiene por principal misión resistir al desgaste; es, pues, lógico reducir su espesor, y con tal de emplear elementos muy resistentes a dicha acción, relativamente pequeños y asimismo pequeñas las juntas, no hay razón para labrarlos.

Sin embargo, no fué así, probablemente porque los adoquinados representan para nosotros una notable mejora sobre los empedrados y repugnaba a nuestras ideas la regresión que significaba volver a los primeros, más que por nada por considerar que la rodadura sería muy violenta. Los empedrados con o sin cimiento de hormigón se reservaban para patios

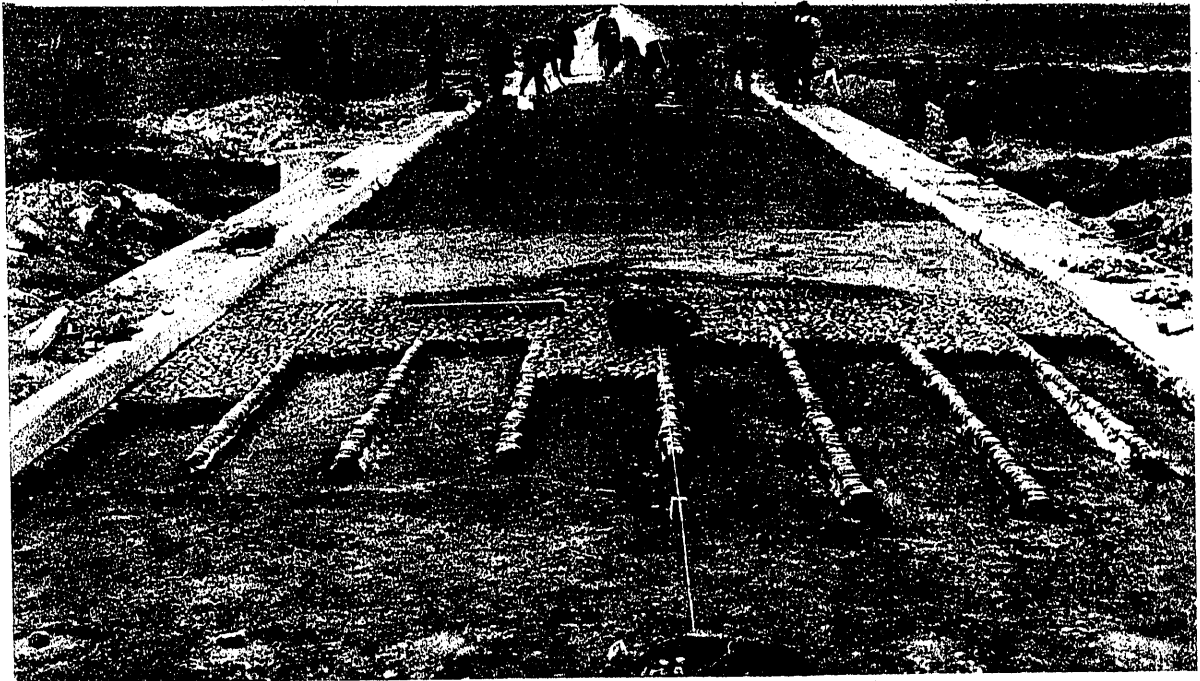


Fig. 3.

España empleando maquinaria para tallarlos, y la materia es de suficiente importancia para estudiarla, aunque no se tenga mucha confianza en el éxito.

Continuando con la exposición de los ensayos hechos para tratar de reducir el costo de los adoquinados, vamos a describir ahora los que atacan más resueltamente el problema, esto es, aquellos que llevan a su límite la reducción del espesor del cimiento de hormigón simultáneamente con la transformación de la capa de rodadura. Nos referimos a los tan inteligentemente y con tanta constancia llevados a cabo por el ingeniero D. Gregorio Barrios, primeramente en la provincia de Albacete y con posterioridad en otras varias.

La idea directora de estos ensayos podía haber sido la siguiente: los adoquinados son los pavimentos más fuertes, pero están constituidos por dos elementos casi independientes: cimiento y capa de rodadura, pues la almohadilla tiene sólo por objeto absorber las inevitables desigualdades de los adoquines, y si ambas capas se hicieran solidarias, el conjunto ga-

y aceras, habiéndose llegado hasta combinar piedras diferentes en forma tan artística que en muchas poblaciones constituye parte del ornato público.

El Sr. Barrios ha tenido el acierto de sacar los empedrados a la calzada; pero el proceso ideal no partió de la indagación de medios de hacer economías en los adoquinados, sino de buscar la perfección de los afirmados de hormigón en masa. Estos forzosamente han de ser heterogéneos y en la superficie de rodadura habrá sitios con sólo piedra y otros con sólo mortero; si el tráfico es capaz de producir la rotura del mortero, quedan sueltas las piedras pequeñas adyacentes y se forma un principio de bache que los impactos subsiguientes irán agrandando. En cambio, si sobre un cimiento de hormigón se coloca una capa de piedras en forma concertada para que existan entre ellas juntas estrechas, y esta capa está perfectamente unida al cimiento; si, además, se toman las juntas entre piedras con mortero rico, la acción del tráfico no será capaz de desprender piedra alguna. En esta forma las piedras de la capa de rodadura

pueden ser de material durísimo, y de aquí la garantía de grandísima duración. El Sr. Barrios denomina *hormigón blindado* a esta clase de afirmados.

Es fundamental en el sistema que las piedras se coloquen estando aún fresco el hormigón, a baño flotante de mortero, procurando que la cola de las piedras penetre en el cimientó. Para la capa concertada pueden emplearse cantos rodados o piedra partida; el relleno de la parte superior de las juntas se hace extendiendo mortero y haciéndole penetrar.

El procedimiento de ejecución es sencillo, pues una vez hecho el cimientó de hormigón, y sin dar lugar a que fragüe, se van colocando maestras especiales unos 70 cm (fig. 3.^a) y haciendo el relleno de mosaico entre los mismos, colocando las piedras sobre mortero de 500 kg de cemento por metro cúbico de arena. Terminada esta parte de la obra, se tiende una capa de mortero de la misma dosificación, que se hace penetrar en las juntas, apisonando después enérgicamente con pisón de madera. La esencia del procedimiento no se altera por variantes en la ejecución, y se han hecho ensayos de suprimir las maestras colocando una cercha transversalmente a la carretera, sobre la que se apoyan reglas para guiar el trabajo de los empedradores. También se han apisonado con una viga de madera que comprime el empedrado en sentido longitudinal, en vez de emplear pisones ordinarios.

Los resultados en general han sido buenos, y como el pavimento, además de ser bastante económico, presenta la ventaja muy importante de poder hacer la obra por partes (fig. 4.^a), pues efectuando con cuidado las juntas longitudinales quedan en buenas con-

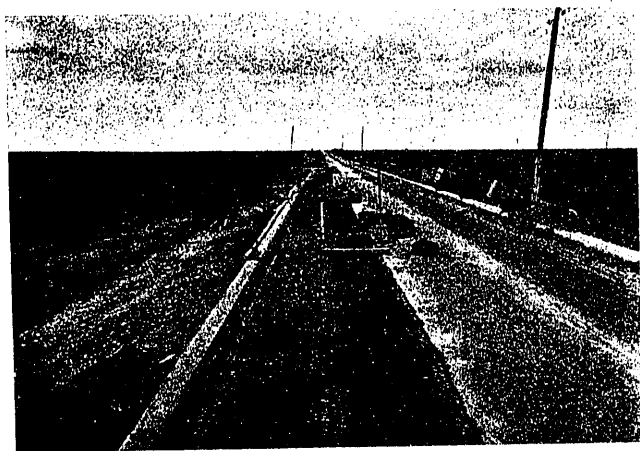


Fig. 4.^a

diciones, se está extendiendo considerablemente el procedimiento. Conviene, sin embargo, que no caiga en poder de gentes inexpertas, pues la determinación de los espesores de cimientó y capa de rodadura deben hacerse en cada caso con todo cuidado, y la ejecución de la capa de rodadura es operación delicada. Por estas causas algunos afirmados se han destruído rápidamente, y, en cambio, llega casi a un centenar de kilómetros la parte construída en buenas condiciones técnicas y de ejecución, algunos de los cuales llevan más de tres años soportando tráfico pesadísimo y se halla en perfecto estado.

En nuestro entender, hay una circunstancia ventajosísima en este procedimiento, que consiste en poder aprovecharse para la capa de rodadura piedras durísimas que no se prestan a la labra de adoquines. Cuarzitas, serpentinas, ofitas, resultan así de gran empleo, sin olvidar el canto rodado. Este último tiene el inconveniente grave de no ser todos los cantos de la misma naturaleza en las graveras y exige, por tanto, separar los apropiados. He podido comprobar que en alguna carretera los cantos de cuarzo estaban apenas desgastados cuando los de arenisca se hallaban reducidos a la mitad de su primitivo grueso.

Lo más curioso para el que observa un afirmado de esta clase es que cuando el mortero se ha desgastado hasta el extremo de sobresalir algo los cantos, la superficie de la carretera aparece irregular, y, sin embargo, el movimiento en los vehículos automóviles es muy suave, porque siendo los cantos pequeños, los neumáticos se apoyan en varios de ellos. Desde luego la circulación es mucho más cómoda que en los adoquinados.

Como es lógico, siempre que aparece un procedimiento bueno y económico, cada ingeniero que lo aplica pretende mejorarlo, con lo que es de esperar que se irá perfeccionando cada día más. Particularmente la ejecución de la capa de rodadura ha excitado el ingenio de los constructores, por ser la parte más cara, pues aun los obreros hábiles no ejecutan más de seis u ocho metros cuadrados al día. Otra tendencia ya bastante acentuada es el aumento de grueso de la capa de rodadura, eligiendo las piedras procedentes del machaqueo que tengan mayor cola y desechando todas las inferiores a siete centímetros.

La comprobación de que la superficie irregular del hormigón blindado no produce mal movimiento en los vehículos está dando lugar al nacimiento de una técnica nueva para ejecución de hormigones en masa con el empleo de piedra relativamente gruesa y proscripción de la demasiado pequeña. Asimismo se ensaya actualmente la ejecución de afirmados de hormigón haciendo penetrar el mortero en una capa de piedra extendida y apisonando con rodillos a continuación. Esperamos en plazo relativamente breve poder dar noticias interesantes de estos ensayos.

Como resumen, parece que existen dos tendencias, aunque no están perfectamente definidas: una, a la ejecución de empedrados con elementos sin labrar, escogiendo entre la piedra machacada la de forma más regular y apropiada para que las juntas sean estrechas y la capa de rodadura resulte gruesa; la otra, a perfeccionar los hormigones en masa. Ambas representan orientaciones acertadas; pero en nuestro entender no debe exagerarse el afán de hacer afirmados extraordinariamente económicos, pues suelen calcularse sin tener en cuenta que soportan esfuerzos muy repetidos y puede producirse la rotura por fatiga. He tenido ocasión de ver afirmados en estado excelente durante algunos años, que casi de repente han quedado en tal estado de destrucción que ha sido preciso levantarlos por completo.

No debemos olvidar que nuestros carros de llantas estrechas producen esfuerzos estáticos enormes y que la carencia de muelles da lugar a que puedan en ocasiones multiplicarse por un factor muy elevado.