

## OBRAS PUBLICAS

### *Pisos de las carreteras*

*Superestructura o afirmado.*—Se da este nombre a todas las clases de firmes contruídos, ya sea con piedras naturales o artificiales, o firmes contruídos con materiales pétreos de distintos tamaños, ligados entre sí, por un cemento, sea hidráulico o bituminoso; el objeto de estos afirmados es resistir las cargas que circulan por las carreteras, y transmitir los esfuerzos al terreno subyacente.

Es necesario distinguir entre las zonas que comprende el perfil transversal de una carretera. La más importante es la calzada, llamada igualmente afirmado, por ser la única provista de firme; su importancia se debe no sólo a sus dimensiones, sino al mayor costo de su construcción y conservación, ya que sobre ella circula la mayor parte del tráfico. Debe pues soportar las fatigas más importantes, y de sus cualidades dependen las posibilidades de tráfico de la carretera.

Las condiciones que debe reunir el afirmado de una carretera son las siguientes:

*Impermeabilidad al agua.*—El agua es el peor enemigo del afirmado. La humedad no sólo produce el resblandecimiento de la infraestructura, especialmente en los subsuelos arcillosos, sino que destruye más o menos rápidamente el afirmado. Por consiguiente, el afirmado deberá contruírse de tal modo que el agua fluya rápidamente a las cunetas o desagües sin estancarse en la superficie.

*Dureza y tenacidad para resistir al desgaste y al choque.*—El afirmado de una carretera debe ser lo suficientemente resistente a las acciones de desgaste y choque a que está sometido por el tránsito de vehículos, que su desgaste sea lento y uniforme, y que se mantenga el perfil transversal, para hacer posible así la evacuación de las aguas. En la actualidad tiene extraordinaria importancia que el revestimiento pueda resistir a los efectos de absorción producidos por las llantas elásticas de los vehículos mecánicos, que de no ser así, no sólo es molesto para el tránsito, sino que se destruye rápidamente.

*Resistencia y compacidad.*—El afirmado debe soportar las presiones debidas al tránsito, sin descomponerse o triturarse por dicha causa, y transmitir dichas presiones al terreno infrayacente, sobre la mayor superficie posible, gracias a la unión entre los diferentes elementos.



*Rugosidad.*—La seguridad del tráfico exige que la superficie posea y conserve cierta rugosidad; la superficie del afirmado no debe ser deslizante ni aún en tiempo húmedo. Desde luego, cualquier clase de afirmado puede resultar deslizante si está enlodado o sucio.

Al lado de estas condiciones de carácter técnico, no debe olvidarse la cuestión económica. Por esta razón debe tenderse en lo posible a emplear para la construcción o mejora de carreteras los materiales de cada región. Las consideraciones de orden económico obligan también, naturalmente, a elegir el tipo de firme de acuerdo con las características del tráfico en cada carretera, contentándose con afirmados baratos y simples para las vías de tráfico escaso, y recurriendo sólo a los sistemas más perfeccionados y caros para las carreteras de gran interés.

En los países en donde el tráfico automóvil ha alcanzado un gran desarrollo, ha sido necesario abandonar los antiguos sistemas de afirmados ordinarios, insuficientes para esta clase de tráfico, y buscar nuevos tipos, más perfectos y resistentes. Estos tipos de gran resistencia son, la mayoría, procedimientos modernos, sin que la práctica haya podido emitir todavía un juicio definitivo sobre sus buenas cualidades. Nos encontramos en este particular, en una época de intensa evolución, y los procedimientos se suceden unos a otros, sin que, sin embargo, sus diferencias sean en muchos casos más que detalles, siendo muy a menudo sólo perfeccionamientos de otros conocidos, y a veces ni aun cabe llamarlos de tal manera, por lo cual es de esperarse que con el tiempo desaparezcan muchos de ellos.

La consecuencia de esto es que hoy ya no existe una diferencia esencial entre los afirmados de carreteras y los de calles urbanas.

Para entrar a analizar los distintos firmes de carreteras, dividiremos estos en tres grupos, a saber:

**PRIMER GRUPO.**—*Afirmados de piedras naturales o artificiales.*

**SEGUNDO GRUPO.**—*Afirmados de piedras naturales o artificiales, mejorados por riegos superficiales o profundos, o por revestimientos delgados de asfalto fundido o comprimido.*

**TERCER GRUPO.**—*Afirmados de elementos pétreos de distintos tamaños, ligados entre sí por un cemento hidráulico o bituminoso, como ocurre en firmes de hormigones de cemento o bitúmenes.*

**PRIMER GRUPO.**—Afirmados sencillos. En esta clase de afirmados existen varios tipos o modos de construcción, así: (1). Afirmados sencillos de gravas y arenas rodadas, construídas por elementos rodados de tamaños hasta de 5 cms., y recebados con arena y un pequeño porcentaje de arcilla (10%); su espesor varía de 20 a 30 cms.; son difíciles de cilindrar por ser sus elementos redondeados, lo que dificulta el encajamiento. Pueden emplearse en vías de poco tráfico y escasa importancia, o en regiones donde la falta de otros materiales obligue a recurrir a ellos, en cuyo caso cabe mejorarlos mediante riegos superficiales de materiales bituminosos. (En este caso debe prescindirse de la



arcilla). (2). Afirmados de escorias semejantes a los anteriores, pero sin aplicación entre nosotros. (3). Afirmados contruídos con rocas naturales. Los modos de utilización de esta clase de materiales son muy variados, y han evolucionado con el tiempo. Los empleados en la actualidad son: *Afirmados de piedra partida (macadam)*; *empedrados irregulares*; y *adoquines de diversos tamaños*.

*Afirmados de piedra partida*.—Estos tipos son los más usados en la construcción de carreteras; aun cuando son poco apropiados para el tráfico automóvil, su baratura y sus excelentes condiciones de rodadura, lo indican como apropiado para las vías secundarias, o como infraestructura para otra clase de afirmados. Entre los muchos sistemas de este tipo se distinguen los de Trésaguet y el Macadam; la diferencia consiste en que el Trésaguet se compone de dos capas de diferentes tamaños; la inferior de 15 cms. de piedra cúbica gruesa, y la otra capa de rodadura de tamaño menor de 4 a 5 centímetros.

El macadam está constituido por una sola capa de piedra de igual tamaño (5 a 6 cms.), el grueso de la capa varia de 15 a 25 cms., según la clase de terreno. Naturalmente el espesor de estos firmes depende de las clases de terreno que se vayan a consolidar, pues como el objeto del firme es repartir los esfuerzos en un área suficientemente segura de acuerdo con los coeficientes de trabajo que el terreno pueda soportar, variará según los subsuelos. Así, para un subsuelo sólido, roca o lechos de grava y arena compactos, es suficiente 15 cms., pero es insuficiente muchas veces la de 25 cms., en terrenos menos firmes como margas o arcillas. Si la capa pasa de 25 cms., es mejor emplear una capa de piedra gruesa como el sistema Trésaguet. En ambos sistemas es absolutamente indispensable el cilindrado, y de su manera de ejecutarlo depende en mucho el éxito futuro. El recebo debe ponerse después de cilindrado, y nunca antes de que la piedra haya alcanzado el máximo de consolidación. Es muy importante la calidad del recebo que se utilice, sobre todo si la carretera se piensa mejorar posteriormente con revestimientos asfálticos (preferibles arena o gravillas).

*Empedrados irregulares*.—Este tipo sólo tiene aplicación en caminos y calles de localidades de poca importancia; son excesivamente rugosos y desiguales, y se prestan poco para el tráfico mecánico. Por esta razón tienden a desaparecer.

*Adoquines de diversos tamaños*.—Este tipo tiene más que todo una importancia histórica; fue bastante empleado en calles y carreteras de gran tráfico, sobre todo en Europa, en donde constituían, antes del uso del asfalto comprimido, la mayor parte de las calles de gran movimiento. Entre nosotros puede decirse que no tienen aplicación. Pertenecen igualmente a este tipo de pavimentos las losetas o piedras artificiales; han recurrido a este sistema, bien por escasez de piedra natural o tratando de buscar pavimentos de mejor tersura superficial que los adoquines de piedra natural.

Los más usados han sido los pavimentos de ladrillo. En carreteras de



tráfico muy intenso, parecen poco prácticas, y su campo de aplicación está limitado a regiones en donde existan grandes fábricas.

La tendencia general de estos pavimentos es a desaparecer, pues cumplen mejor otros tipos de pavimentos.

*Losetas de hormigón comprimido.*—Este pavimento está constituido por un cimientado de hormigón, de espesor variable, sobre el cual se extiende una capa de mortero de cemento de 2 cms.; sobre este mortero se asientan las losetas; las juntas de 3 a 5 milímetros se rellenan con lechada de cemento; el pavimento es, en definitiva, un pavimento de hormigón de tipo rígido, y se caracteriza por su excesivo costo; aún no puede decirse si las ventajas compensan este exceso de costo que suponen con relación a un hormigón ordinario.

Los firmes más resistentes, pero también los más costosos, son los adoquinados, mosaicos u ordinarios. Resisten las cargas más pesadas, pero su costo es elevado, sobre todo por la obra de mano que requieren; son ruidosos y en general tienden a ser reemplazados por pavimentos de tipo superior que los aventajan.

Los afirmados de empedrados irregulares no deben usarse sino en calles o caminos de último orden, por ser excesivamente desiguales y molestos para el tráfico.

Del análisis de los diferentes tipos de este grupo, llegamos a las siguientes conclusiones:

Los afirmados de piedra partida no se adaptan por sí solos al tráfico mecánico, pero son una base de extraordinario valor, susceptible a numerosas mejoras; por lo tanto deben ser adoptados como iniciación, y como bases para mejoramientos sucesivos.

**SEGUNDO GRUPO.**—*Afirmados de piedras partidas, naturales o artificiales, mejoradas por riegos superficiales o profundos, o por revestimientos delgados de asfalto fundido o comprimido.*

Con la aparición y desarrollo del automóvil comenzó también la plaga del polvo, lo cual hizo preocupar seriamente a los técnicos de todos los países, por encontrar solución a este problema. Una de las primeras soluciones con que se combatió esta plaga fue el riego con aceite de petróleo, descubierto y empleado en América. Pero como pocos países poseían reservas naturales de petróleos, el elevado costo de este producto impidió su generalización. De tal suerte que en este proceso se marcaron dos tendencias, caracterizadas por la obtención de producto poco costoso.

Partiendo de la base de obtener firmes de poco costo y rápida ejecución, capaces de evitar el polvo, y resistir las acciones del tráfico mecánico, se ensayaron varias substancias, tales como aceites, asfaltos naturales, alquitranes, cloruros, sulfatos y silicatos. Naturalmente los estudios se encaminaron en cada país preferentemente por los productos que cada uno poseía, o que podía obtener al más bajo costo.

De los sistemas de riegos, sólo prosperaron aquellos en que las substan-



cias empleadas reunían las condiciones de cementar los elementos (aglutinantes), e impermeabilizar la superficie, para evitar la penetración en la masa del enemigo más temible: el agua.

Los riegos de sales delicuescentes, como cloruros, o las soluciones de sulfitos, empleadas para evitar la formación del polvo por absorción de la humedad atmosférica, no han prosperado por no llenar las condiciones antes mencionadas, y por lo tanto su uso se ha limitado solamente como medios de curar o facilitar la limpieza de otros tipos de pavimentos.

*Silicatos.*—Estos tienen por objeto, ligar y endurecer los elementos de que está constituido el firme. Los silicatos solubles son los sódicos y potásicos. Se obtienen fundiendo arenas cuarzosas con carbonato potásico o sódico. En Europa se ha empleado para silicar las calizas blandas de la región.

El empleo de silicato sódico, como tratamiento superficial de afirmados de piedra caliza, está todavía en período de investigación. Entre nosotros no parece que tenga mucha aplicación, máxime si se tiene en cuenta que Colombia es país productor de petróleo.

De lo anterior se desprende que los riegos superficiales sólo llenan las condiciones técnicas; y son sistemas eficaces para el mejoramiento de firmes de piedra, los aceites de petróleo, y los materiales bituminosos, asfaltos y alquitranes.

*Riegos con aceites.*—Los primeros ensayos de riegos de aceite se hicieron como procedimiento para combatir el polvo, y fueron hechos con aceites ligeros, solubles en agua; la solubilidad se obtenía por la adición de alcalis diversos. Su gran fluidez les permitía penetrar fácilmente el afirmado; pero esta misma fluidez, unida a su volatilidad, hacía que su efecto fuera solamente transitorio. En la actualidad se usan aceites insolubles en agua, tales como el Impregmol; la composición se mantiene en secreto por los productores, pero en conjunto es una mezcla de aceites ligeros con sustancias bituminosas, y ciertos disolventes químicos. Los riegos de esta clase se comenzaron en Viena, en donde se han extendido considerablemente. En el año de 1926, de 5.000,000 de mt.<sup>2</sup> de macadam ordinario, se trataron 2.000,000 de mt.<sup>2</sup>. El gran éxito del procedimiento ha hecho que su uso se extienda considerablemente.

El procedimiento puede aplicarse a cualquier firme de carretera que esté en buen estado de conservación. Antes del riego es necesario limpiar cuidadosamente de polvo y barro el afirmado, hasta dejar completamente descarnadas las juntas entre las piedras. Si queda alguna oquedad, se repara previamente con gravilla impregnada en aceite, empleando para este fin la calidad que contiene mayor cantidad de betún. Inmediatamente se procede a extender el aceite, repartiéndolo uniformemente por medio de cepillos; por último se recurre al riego con gravilla, y se da al tráfico.

Para tratamientos con Impregmol, sirven todas las calidades de piedra que puedan ser utilizadas para la construcción de un afirmado.

La cantidad necesaria oscila entre 1 y 1½ kg por mt.<sup>2</sup> (para piedras duras), y 0,5 para tratamientos ulteriores; con afirmados de calizas es necesario emplear un 20% más.



Es de suma importancia para el éxito de estos riegos, la clase de aceite empleado, y los riegos periódicos; igualmente, es preciso tener en cuenta que el valor de un afirmado, depende de la perfección con que se ejecute, y de la buena calidad de los materiales empleados. Más aún que en cualquier otra clase de trabajos es esencial esta cuestión, en toda clase de tratamientos con materiales bituminosos.

*Riegos con materiales bituminosos.*—Comprende los ejecutados con alquitranes y asfaltos. Los sistemas de ejecución, tanto para los unos como para los otros, son los mismos y sólo se diferencian de las temperaturas de aplicación.

Mientras en Europa se ha desarrollado bastante el uso del alquitrán, en Estados Unidos se ha desarrollado el uso del asfalto. En ambos materiales existen los riegos superficiales y los riegos profundos, riegos en frío (emulsiones), o riegos en caliente; exigen los mismos requisitos en cuanto a infraestructura y clases de áridos empleados.

Los revestimientos bituminosos se emplean en general en capas de espesor bastante reducido, oscilando, según los distintos tipos, entre 3 y 8 cms. Si el espesor es superior a 6 cms., se construyen en dos capas. Se comprende fácilmente que estos revestimientos no pueden ser el único elemento resistente de las carreteras. El objeto de los pavimentos bituminosos, es constituir una capa lisa y elástica, que suavice y reparta los esfuerzos de choque y compresión debidos al tránsito, transmitiéndolos a la capa resistente propiamente dicha. Este último papel es el que corresponde a la infraestructura.

El caso general, al construir revestimientos asfálticos, es utilizar como cimiento un firme de macadam ordinario. En primer lugar, debe comenarse por investigar el espesor y resistencia del antiguo firme. Cuando el espesor total alcance o pase de 25 cms., y se haya observado que resiste bien, no hay inconveniente en servirse de tal firme.

Si el espesor total del firme es inferior a 0,25 cms., es necesario proceder a un recargo, hasta completar este espesor. Por otra parte, cuando el bombeo de la carretera exceda de un 3% debe procederse al escarificado, rebajando en el centro y cargando hacia las orillas; hecho esto, se procede de nuevo al cilindraje; este escarificado debe hacerse superficial (5 cms.), pues de lo contrario se desmorona el firme.

Cuando sea preciso ensanchar el firme, conviene repartir el aumento de ancho a ambos lados, para aprovechar el antiguo firme. Antes de colocar el cimiento en los ensanches, debe ensayarse el terreno. Si se trata de terrenos arcillosos, debe profundizarse la excavación de la caja unos 40 a 50 cms., que se rellenarán con piedra gruesa bien apisonada. De esta manera se evita el peligro de que se abran grietas, entre el antiguo firme y las fajas de ensanche. Es necesario que el perfil de la infraestructura sea exactamente el que debe tener el revestimiento asfáltico. Para limitar lateralmente los revestimientos, se emplean ordinariamente encintados o bordillos de piedras naturales o artificiales. En este último caso, se construyen de hormigón de cemento, in situ o moldeados aparte.



Los riegos superficiales con betunes asfálticos, se han venido construyendo desde hace bastantes años; el estudio científico de sus cualidades es relativamente reciente. Los progresos realizados en estas cuestiones son extraordinarios. Basta observar, que en la actualidad existen carreteras con riegos superficiales, sometidas a un tráfico diario de 1.500 a 2.000 toneladas, mientras que en los comienzos estos métodos se reservaban a carreteras con un tráfico inferior a 500 toneladas. Las carreteras con tráfico automóvil predominante, bien soleadas y aireadas, y con subsuelo arenoso, permiten esperar buenos resultados. Por el contrario, son desfavorables los caminos sombríos en zonas de bosques, los terrenos húmedos o mal drenados, y especialmente los terrenos fangosos.

Ya se trate de riegos en caliente o en frío, las diferencias de denominaciones de los productos bituminosos empleados no constituyen diferencias esenciales del sistema.

La preparación del macadam para recibir el material bituminoso es de la mayor importancia para el buen éxito del trabajo. Es indudable que si el macadam se hace de manera conveniente es posible obtener buenos resultados con los riegos superficiales. En carreteras en donde se haya usado recebo arcilloso o terroso, es necesario escarificar, prescindir del material malo, y recibir con gravilla y arenas, y cilindrar antes de proceder al recubrimiento asfáltico; el fundamento de esto es que la carretera, en tales condiciones, tiene en su superficie un exceso de materiales térreos que no podrían ser eliminados por el barrido, y la consecuencia, una adherencia imperfecta. En muchos casos en que se han usado recibos malos, en lugar de proceder al barrido y limpieza del firme, el cual resultaría muy costoso, es preferible extender una capa delgada de arena y cilindrar, y sobre ésta, una capa de piedra (3 a 4 cms.) partida, de 5 cms. de espesor, bien cilindrada, y sobre ella regar el asfalto.

Muchos son los productos bituminosos que pueden emplearse para los riegos superficiales; asfaltos, aceites asfálticos, alquitranes, mezclas de asfalto y alquitrán, emulsiones asfálticas, etc. Todos ellos deben reunir la condición de poseer un alto grado de fluidez. Aquellos productos que no sean fluidos a las temperaturas ordinarias deberán ser calentados a la temperatura conveniente, para que tengan la necesaria fluidez al extenderlos sobre la superficie de la carretera. Para favorecer la penetración del asfalto entre los huecos de las piedras del firme, y la absorción de la gravilla, especialmente en climas fríos, es conveniente agregar al asfalto cierta cantidad de alquitrán, lo que aumente la fluidez de aquél. La cantidad más conveniente es de un 10 a un 30 %

Los mejores aparatos para la ejecución de los riegos asfálticos son las máquinas regadoras que pulverizan el asfalto a presión. El empleo de regaderas debe proscribirse por la desigualdad del trabajo, y por la menor adherencia conseguida por el asfalto y el firme.

Las cantidades de betún asfáltico dependen de la clase de asfalto, del estado de la superficie de la carretera, y de circunstancias especiales.

Cuando la superficie de la carretera es muy compacta y cerrada, o cuan-



do se trata de la repetición de un riego, la cantidad es menor que cuando la superficie es muy rugosa. La cantidad de betún para un primer riego, oscila entre 2 y  $2\frac{1}{2}$  kg. por mt.<sup>2</sup>, según el estado de la carretera. (Para riegos de asfalto en caliente, aceites asfálticos, o mezclas de asfalto y alquitrán). También dan buenos resultados las emulsiones en frío para estos trabajos. Los riegos en frío, lo mismo que los riegos en caliente, exigen que la carretera esté bien limpia, y bien a la vista las caras de la piedra. Cuando se realizan riegos en frío, con emulsiones, hay que tener en cuenta que sería un error aplicar la misma cantidad de emulsión que se emplearía tratándose de asfalto puro, puesto que de la cantidad de emulsión empleada sólo el 50% es asfalto, siendo el resto agua que se va, y sin acción práctica. Es necesario por consiguiente emplear el doble.

Entre nosotros no se producen hasta ahora emulsiones prácticas, y el precio de las emulsiones dobles del asfalto, por la cantidad de agua que llevan, las hace prohibitivas.

Los riegos superficiales pueden clasificarse en dos tipos principales.

La primera clase comprende los revestimientos de materiales bituminosos, de débil espesor, y recebados con gravillas menudas o arenas gruesas. Cuando se emplean estos revestimientos, es preciso rehacerlos periódicamente, cada año o cada dos años.

La segunda clase comprende los revestimientos de espesor más fuerte, conseguidos mediante repetición varias veces del riego superficial, y recebándolos cada vez. Este tipo tiene el inconveniente de que es difícil conseguir una completa uniformidad de espesor, y al cabo de cierto número de riegos el material tiende a desplazarse, lo que se traduce en ondulaciones y desigualdades. En el caso de optar por este tipo, lo mejor es dar la primera aplicación, y recebar con gravilla; al cabo de algún tiempo de dada al tráfico, se extiende sobre la superficie una capa delgada, de 2 a 3 cms. de piedra pequeña partida, o gravilla ( $1\frac{1}{2}$  a  $2\frac{1}{2}$  cms.) y una vez cilindrada, hacer la aplicación de asfalto a razón de 4 a 5 kilos por mt.<sup>2</sup>, recebándolo con gravilla de 10 a 12 milímetros.

Las causas del fracaso de los diferentes riegos superficiales se deben la mayoría de las veces a impericia, otras veces a las malas condiciones del firme para recibir el riego superficial, al empleo de materiales inadecuados, y otras a la humedad superficial o profunda, debido a falta de saneamiento.

Estos revestimientos, bien proyectados sobre firmes apropiados, pueden costar de \$ 0,60 a \$ 1,00 el mt.<sup>2</sup>, según se adopte el de la 1a. o el de la 2a. No debe olvidarse que son necesarios los riegos posteriores al año o dos años. El mismo firme indica la necesidad, pues empieza a formarse pequeños huecos, lo que indica la debilidad del revestimiento. Son convenientes para tráficos hasta de 800 vehículos diarios, y tonelaje máximo (5 toneladas).

Entre nosotros existe un kilometraje del tipo de 2a. clase (50 a 70 kms.)



en las carreteras municipales de Medellín, con buenos resultados; las aplicaciones han sido necesarias alrededor de los dos años. Estas aplicaciones posteriores requieren de uno a uno y medio ks. de asfalto por mt.<sup>2</sup>, y su costo ha sido de \$ 0,10 a \$ 0,12.

*Revestimientos profundos.*—Los revestimientos profundos contruidos por penetración, también llamados riegos profundos o macadams asfálticos, constituyen un sistema moderno muy extendido y apreciado. El procedimiento consiste en inyectar asfalto caliente en un firme de piedra, cilindrado sin recebo alguno. Tiene la ventaja de exigir pocos elementos auxiliares, y permitir la construcción de grandes superficies, en poco tiempo, siendo además relativamente económico y de excelentes resultados.

Para ejecutar bien revestimientos asfálticos por penetración se requiere una gran pericia o experiencia, pues hay una cantidad de detalles que si no se ejecutan bien pueden conducir al fracaso. La piedra debe reunir las mismas condiciones que la empleada para la construcción de un buen macadam. El tamaño requerido varía de 3 a 5 cms. o de 4 a 6.

No pudiéndose usar recibos, al cilindrar la piedra no se logrará una consolidación perfecta, y es necesario contentarse con obtener un perfil bien acabado, sin prolongar demasiado, porque lo único que se conseguiría con ello sería triturar demasiado la piedra, lo que sería una desventaja.

Es de gran importancia emplear la cantidad de betún necesaria, pues si se emplea en exceso, el firme queda defectuoso, lo mismo en defecto.

También es de gran interés el diseño para esta clase de tipo, el grueso de la capa, el tamaño del triturado y la cantidad de asfalto. Hay muchas personas que creen que mientras más gruesa sea la capa de revestimiento, será mejor el tipo, lo cual es un gran error; otros hay, que hacen destruir la infraestructura para rehacerla, creyendo obtener mejores tipos, con la cual cometen un gravísimo error.

El tipo standard de esta clase de trabajos es el siguiente:

Sobre un firme de macadam bien inspeccionado y a propósito, se extiende una capa de piedra (de 4 a 7 cms.) y un espesor de 8 cms., el cual queda reducido a 5½ después de cilindrado; se le da una aplicación de asfalto de 6 a 7 kilos por mt.<sup>2</sup>; todavía en caliente, se le riega gravilla de dimensión igual o la mitad del tamaño empleado para el firme, o sea de 2 a 3 cms., hasta rellenar los intersticios que deja la primera capa, y se cilindra; después de terminado el cilindrado, se le da una barrida, con el objeto de retirar la gravilla que no se ha adherido o encajado al firme; es necesario observar que no se vea en ninguna parte el betún de la primera capa al descubierto. Una vez hecho esto, se dará un nuevo riego de asfalto de 2 a 3 kilos por mt.<sup>2</sup> y se recubrirá con gravilla de 15 mm. de tamaño máximo, y se cilindrará a continuación.

Dada la estructura de los revestimientos por penetración, de menor compacidad, especialmente en las orillas, que los revestimientos por los métodos de mezcla, es conveniente emplear bordillos enterrados, que limiten y contengan el revestimiento.



Si después de pasado un año se da un nuevo riego superficial con un kilo de asfalto por mt.<sup>2</sup>, se puede esperar tener para muchos años un firme barato, resistente y cómodo para el tráfico. Como ejemplo notable pueden citarse los firmes de esta clase construídos en New York hace tres años, y que se conservan en excelente estado, a pesar del intenso tráfico a que están sometidos, sin haber sido objeto de ninguna reparación posterior. (Su precio varía de \$ 1.50 a \$ 2.00 según las condiciones locales).

Entre nosotros tenemos ejemplos de este tipo (carreteras de la América y Poblado, de Medellín), sin ninguna reparación o sostenimiento.

La principal desventaja del método es la de tener que trabajar en tiempo seco y emplear solamente piedra dura de la mejor calidad.

Tiene sin embargo la ventaja sobre los revestimientos construídos por los métodos de mezcla, de no exigir el empleo de costosas instalaciones de preparación.

*Revestimientos delgados de asfalto comprimido.*—El asfalto comprimido es el más antiguo de los procedimientos de utilización del asfalto que han tenido intenso desarrollo; hasta poco antes de la guerra era considerado en Europa como el sistema mejor para la pavimentación de calles urbanas; sin embargo su uso se ha restringido bastante en la actualidad; debido a la excesiva tersura y falta de adherencia, resulta excesivamente deslizante y peligroso para el tráfico automóvil.

Este pavimento tiene una resistencia excelente y es propio para gran tráfico.

La resistencia de las losetas asfálticas es semejante a la de los morteros asfálticos (sheet-asphalt). Estas cualidades dependen de la composición granulométrica y de la preparación de los materiales.

La materia prima, es decir, las calizas asfálticas, son de extraordinaria porosidad, por lo cual el betún asfáltico resulta extraordinariamente dividido en toda la masa. En la masa comprimida a cierta temperatura no existen poros, porque cada partícula tiene la cantidad necesaria de betún para unirse sólidamente a las que la rodean.

Como infraestructura para estos pavimentos se emplea exclusivamente hormigón de un espesor de 20 cms.

La forma de la ejecución es la siguiente:

El material, o sea la caliza asfáltica, se calienta en tambores o artesas metálicas, hasta la temperatura de 130° C. Es necesario realizar esta operación con mucho cuidado, y revolviendo el material a mano, o mediante agitadores mecánicos, para no quemar el material durante este proceso.

Una vez llevado el material a esta temperatura, se seca y se lleva a la obra en vehículo cubierto, y una vez en la obra se extiende en una capa de espesor uniforme.

El espesor que ha de darse al material al extenderlo debe ser casi el doble del espesor que se desee obtener. Así, para obtener un espesor de 5 cms., que es el usado para calles, debe darse a la capa de material suelto unos 8 cms.

Una vez extendido el material con el espesor conveniente, se comienza



por cilindrarlo con rulos movidos a mano, y luego apisonando con pisones de hierro calientes. Es frecuente la práctica de regar una ligera cantidad de cemento sobre la superficie acabada.

Entre nosotros existen areniscas impregnadas de asfalto, que se vienen usando en la forma indicada para aceras y calles. En aceras se colocan en espesores de 2 cms., y en calles, de 5 cms.; antes acostumbraban colocar sobre firmes comunes la capa fundida de mortero; hoy acostumbran hacerlo sobre una capa de gravilla mezclada con asfalto que llaman grueso (binder) y sobre ésta el mortero.

Estas areniscas impregnadas resultan de diversos porcentajes variables de asfalto, dando por resultado masas no homogéneas.

Después resolvieron agregarles a las mezclas pobres asfalto puro, y últimamente han prescindido del uso de este material, para la confección de asfaltos.

El sistema que usan hoy en Bogotá (no me refiero al sistema de la Warren), es el sistema de mezcla, hecho de una manera empírica y sin graduación granulométrica, en pequeñas artesas metálicas, revolviendo a mano y usando gravillas y arenas mezcladas con arcilla.

Sin embargo, puede decirse que en general ha dado buenos resultados, y que las ondulaciones se deben a defectos en la infraestructura.

*Asfalto fundido.*—Es más o menos igual al anterior, sólo que en lugar de usar como materia prima las calizas impregnadas se usan arenas de río, mezcladas con polvo de rocas calizas y una cantidad de asfalto del 10% del peso de los áridos.

Ya se emplean mezclas de asfaltos naturales y asfaltos de petróleo, ya asfaltos naturales fluidificados, calizas asfálticas o calizas puras, es de la mayor importancia la exactitud en la dosificación de los diferentes elementos que intervienen en la preparación, pues de otro modo es imposible conseguir una absoluta uniformidad de composición de los productos obtenidos, y la uniformidad en la composición es la clave del éxito de estos pavimentos.

No es recomendable el verter de una sola vez en la caldera las cantidades totales de los componentes que deben ser mezclados; es preferible llenar la caldera regularmente con pequeñas cargas. Por otra parte, al introducir en la caldera caliente pequeñas cantidades de material frío, éstas funden más fácilmente que si se trata de grandes masas.

Las temperaturas de trabajo más convenientes son las siguientes: al principiar a cargar la caldera, la temperatura no debe exceder de 160° C., elevándose después de cargada completamente a 1570 C., o a 190° C., para facilitar la mezcla, sin que exceda en ningún caso de 1900 C.

Es preciso controlar la temperatura de las calderas, pues de otro modo el material se quema y el pavimento obtenido tiene escasa resistencia.

El sistema de ejecución es igual al anterior; a veces al material fundido, todavía caliente, se le agrega gravilla, con lo cual se pretende aumentar la rugosidad de la superficie del pavimento, ya que el mayor inconveniente de este tipo es el ser muy deslizante.



Antiguamente, los pavimentos de asfalto fundido se construían casi invariablemente sobre cimientos de hormigón, de pocos centímetros para las aceras, y de 15 a 20 cms. para las calzadas.

En los últimos tiempos se han empleado bastante para cimientos de estos pavimentos firmes ordinarios de macadam y también, a veces, macadam asfáltico. El espesor de la capa de asfalto fundido para las aceras es de 15 a 20 mm. y de 40 a 50 mm. para las calzadas. Cuando se emplea una capa inferior de macadam asfáltico, suele darse a ésta un espesor de 5 cms., reduciendo entonces a 2,5 cms. la capa de asfalto fundido.

El asfalto fundido ha sido empleado como pavimento urbano. En parte también se ha utilizado para la construcción de revestimientos en las carreteras.

Tiene el inconveniente de la lentitud en la construcción, defecto que se exagera empleando para el cimiento hormigones de concreto, porque obliga a interrumpir el tráfico durante largos períodos; además, como ya se dijo, es demasiado deslizante e impropio para pendientes mayores de un 3%. Entre nosotros su uso es muy frecuente en áreas urbanas.

El asfalto fundido duro se adapta bien a pavimentos de pequeña extensión, ya que el trabajo puede hacerse económicamente, con muy escasos elementos auxiliares, y se presta bien para trabajos de reparación y baches.

Gabriel Hernández

## MINERIA

### *Nuestra planta metalúrgica y su orientación*

En días pasados apareció, en uno de nuestros diarios, un artículo sobre la orientación de la planta metalúrgica, firmado por el actual jefe doctor Jorge Gómez. La importancia de esa publicación y la materia de que trata, es lo que me ha movido a escribir estos apuntes, no como crítica al contenido de dicho artículo, sino más bien a manera de observaciones tendientes, más que todo, a orientar, por un camino más corto y eficiente, a las directivas de dicha empresa, para que nuestra planta preste un servicio seguro y adecuado a nuestros pequeños mineros y a la industria minera en general.

Los propósitos de nuestro gobierno, en un principio, fueron los de hacer un estudio completo sobre las regiones mineras, el cual comprendía, más o menos: 1o. la parte geológica y formación de los filones y rocas mineralizadas y 2o. el estudio petrográfico, mineralógico y metalúrgico de dichos filones. Con estos datos se haría en seguida el estudio financiero de la empresa, a fin de determinar, en conclusión, el lugar donde se debía montar la central metalúrgica y qué clase de maquinaria debía requerir dicha planta. Con el propósito de satisfacer dichas miras, se nombró primer jefe de estudios preliminares al distinguido y