

nario, se acostumbra en España que la luz de la obra sea igual al ancho del camino cuando éste sea carretera del Estado ó provincial: se han hecho pasos de 4 metros de claro para caminos vecinales, y no hay inconveniente en descender hasta 3 metros para los de herradura. En cuanto á la elevación, ha de ser, por lo menos, de 5 metros bajo la clave, si el paso está cubierto con bóveda; pero puede reducirse á 4^m,30 si el vano se salva con vigas horizontales de madera ó hierro.

En los pasos superiores con relación al ferrocarril é inferiores á la carretera, esto es, cuando el primero efectúa el cruceamiento por debajo de la segunda, la altura libre medida sobre los carriles habrá de ser de 5 metros como mínimo. Respecto de la luz hay que distinguir dos casos, según que el camino de hierro tenga una ó dos vías. Si es de una sola, la luz del paso no habrá de bajar de 5 metros, quedando entonces un huelgo de 1^m,64 entre los ejes de los carriles y los paramentos de los estribos. Los ferrocarriles de doble vía, suponiendo que la entrevía sea de 1^m,80, exigen luz mínima de 8^m,50, siendo entonces de 1^m,60 el intervalo que separa los estribos de los ejes de los carriles más próximos, latitud suficiente para la circulación del material móvil.

CAPÍTULO III.

FIRMES.

Según se dijo al clasificar las obras que comprende una carretera, el *firme* es un suelo artificial de suficiente resistencia, sobre el que se verifica la rodadura de vehículos y el tránsito de animales de carga. Puede hacerse de materiales muy distintos, pues son muchos los que sirven para formar un manto protector que impida la desagregación del terreno natural por el tráfico y los agentes atmosféricos, á la par que proporcionan superficie bastante tersa y dura para que el movimiento se efectúe en buenas condiciones.

De todos los firmes es el más usado en carreteras el constituido con piedras partidas ó machacadas, bien trabadas entre sí: á éstos habrá, pues, de consagrarse especialísima atención, sin perjuicio de dar á conocer otros, como los empedrados, enlosados, entaru-

gados, de ladrillo y de asfalto, que se aplican principalmente á vías urbanas. Al final del capítulo se dedicarán algunas páginas al estudio de andenes y aceras.

I.—FIRMES DE PIEDRA PARTIDA.

CONDICIONES DE ESTABLECIMIENTO.

Condiciones generales á que han de satisfacer.—El carácter esencial de los firmes de piedra partida ó machacada es que están compuestos de fragmentos irregulares de material, extendidos en montón y no colocados á mano, como sucede en los empedrados. El firme ha de descansar en terreno que ofrezca la suficiente solidez para que los vehículos más pesados que transiten por el camino no ocasionen la introducción de las piedras en el subsuelo: por tanto, si no se satisficiese naturalmente esta condición, sería preciso ejecutar obras de saneamiento ó establecer la plataforma de tal manera que las presiones se repartieran en superficie bastante extensa.

El firme, además, ha de tener el espesor necesario para que no lo desagreguen y corten las cargas más pesadas, y estar dispuesto de modo que no puedan estancarse en él las aguas que recojan los terrenos adyacentes y las que directamente caigan sobre la carretera. Estos últimos requisitos se logran, según se dijo en la página 38, construyendo cunetas y dando á la superficie de rodadura perfil convexo ó cóncavo, á fin de que las aguas se dirijan á aquellas zanjas, ó se reúnan en los costados ó el centro, hasta salir por puntos á propósito.

Firmes antiguos.—En casi todas las naciones de Europa se construyeron los firmes durante mucho tiempo sobre un cimiento de piedras gruesas, dándoles espesor considerable. Este sistema no era absurdo en vista del sistema de conservación que se empleaba, reducido á rellenar groseramente de piedras, las más veces sin machacar, los baches y rodadas que presentaba la carretera, y esto tan sólo en las épocas en que se hacía efectivo el impuesto de prestación personal, por lo común en primavera y otoño, después de la siembra y recolección.

Hasta mediados del siglo XVIII, el tipo general de los firmes era el que representa la figura 41.^a: un cimiento de uno ó dos lechos de losas, *AB*, colocadas de plano; dos filas de piedras gruesas, *C* y *D*, llamadas *maestras*, que sostenían el firme propiamente dicho, formado por piedras de distinto tamaño, cuidando de colocar abajo las mayores. El espesor en el centro, incluyendo la cimentación, no bajaba de 0^m,50 á 0^m,60, y el bombeo de la superficie, ó sea la relación de la cuerda á la sagita, llegaba á ser $\frac{1}{20}$.

Á pesar de la solidez aparente del afirmado, las vías solían estar intransitables, tanto por efecto de su mala conservación, como por la poca estabilidad del enlosado de asiento, sobre todo si el terreno era arcilloso.

Firmes de Trésaguet.—Á mediados del siglo anterior, Trésaguet, Ingeniero de la demarcación de Limoges, estableció nuevos principios para la construcción de firmes, que prevalecieron por bastantes años. Propuso emplear la disposición que indica la figura 42.^a El fondo de la caja tiene el mismo bombeo que la superficie de la vía ($\frac{1}{20}$); el espesor en el centro se reduce á 0^m,27, y las maestras se labran de suerte que no presenten al exterior más que una arista y dejen los bordes ó mordientes de la caja con una inclinación de 20°. El cimiento se limita á una fila de piedras puestas de canto, á modo de nuestros empedrados de cuñas, sin tratar de que todas ellas tengan el mismo tizón. El resto de la piedra debía colocarse por capas, reservando para la última, de 0^m,08 de espesor, la piedra más dura, machacada al tamaño de nueces.

No pueden menos de considerarse como perfeccionamientos casi todas las innovaciones llevadas á la práctica por Trésaguet. La disminución del bombeo, aunque muy exagerado todavía, permite que los vehiculos marchen en mejores condiciones por los costados: la forma especial de las maestras borra en la superficie la división en fajas, origen siempre de surcos primero, y de rodadas más tarde, á lo largo de las líneas que las limitan; la reducción de las capas de cimentación y el menor espesor del firme, responden á una conservación más esmerada. En lugar oportuno se verá que al mismo Trésaguet se deben los primeros pasos para conservar continua y ordenadamente los afirmados; y como desde luego se

comprende y se verá comprobado en lo sucesivo, el sistema que se siga en el establecimiento de las calzadas ha de estar íntimamente ligado con el que se adopte para su conservación. Elogios merece también aquel ilustre Ingeniero, al recomendar que la última capa, esto es, la superior, se forme con material muy duro, aunque sea necesario transportarlo de puntos lejanos: es verdad que así se aumentarán algún tanto los gastos de instalación; pero se obtendrá una superficie dura y resistente, con gran ventaja para la tracción y aun para la conservación del camino.

En cambio, no parece acertado dar perfil convexo al fondo de la caja, pues el horizontal tiene las innegables ventajas de proporcionar el grueso del firme á la cuantía de la frecuentación, que es siempre más grande en el centro que en las márgenes, y de facilitar el ensanche de la zona afirmada, si fuese conveniente á causa de incremento considerable en el tráfico, sin necesidad de cambiar el sistema de construcción ó de dar á las nuevas fajas un espesor de piedra injustificado. Verdad es que hay Ingenieros que combaten el fondo plano por temor á los encharcamientos; pero ya se dijo en las págs. 42 y 43 que, á lo menos dentro de las circunstancias climatológicas de nuestro país, no hay motivo para rechazar el suelo horizontal, que sólo conserva á veces ligeros vestigios de humedad, en firmes bien conservados, siempre que las soleras de las cunetas se establezcan convenientemente.

En la Memoria que en 1775 presentó Trésaguet al Consejo de Puentes y Calzadas (1), proponía el perfil descrito para los tramos en que la inclinación no pasara de 3 por 100; desde este límite se mostraba partidario del perfil cóncavo ó del inclinado. Aquél es en extremo incómodo para el tránsito de vehículos, y sólo ofrece la circunstancia favorable de disminuir los movimientos de tierra y la longitud de las obras de fábrica, por reducirse el ancho de la explanación á causa de suprimirse las cunetas; también es cierto que permite establecer una banqueta continua de tierra, á lo largo de los terraplenes algo elevados, evitando la construcción, no muy frecuente por otra parte, de malecones ó pretilos. Sea como quiera,

(1) Equivalente á nuestra Junta Consultiva.

ni el Consejo aprobó el perfil cóncavo, ni ha prevalecido después.

En cuanto al perfil inclinado del lado del desmonte, en las secciones en ladera, aparte de que es difícil conservarlo, colocaría á los vehículos en posición permanente tan poco á propósito, que no parece se haya empleado nunca.

El método de Trésaguet fué el practicado, por lo común, en casi todas las naciones, si bien modificándolo, según las circunstancias. Se comprende, por ejemplo, que se prescindiese del cimientado de cuñas cuando el firme había de asentarse en roca viva, y tal aconteció en el paso de los Alpes por el Simplón, al abrir el camino militar construído en tiempo de Napoleón I. Sin embargo, las carreteras, ya muy entrado el siglo actual, dejaban mucho que desear, pues la conservación era deficiente, á pesar de la buena doctrina sembrada por Trésaguet.

Firmes de Mac-Adam.—Hacia 1820 empezó á usarse en Inglaterra, y pronto se difundió por toda Europa, el método que Mac-Adam ensayó al principio en las inmediaciones de Bristol, y con el cual se logró tener calzadas en admirable estado, gracias, más bien que al sistema de construcción, á la conservación esmerada á que se sujetaron. No se han observado en lo sucesivo todas las reglas establecidas por aquel Ingeniero; pero no es menos cierto que á él se debe el que las carreteras hayan entrado en nueva fase, como lo comprueba el hecho de que los firmes de piedra partida se conozcan con su nombre, *macádam*, en el lenguaje técnico de la mayor parte de las naciones. Conveniente es, por tanto, analizar con detención los fundamentos del sistema, lo cual facilitará en extremo el trabajo sucesivo.

CIMENTOS.—Mac-Adam se muestra opuesto al lecho de cimentación. «Si es verdad, dice, que la vialidad de un firme de piedra partida depende exclusivamente de la buena conservación de la capa que constituye su superficie; si es cierto también que, una vez atravesada dicha capa, la carretera se pone pronto intran-sitable, porque al penetrar las ruedas en los intersticios que dejan entre sí las piedras de los lechos inferiores destruyen por completo el firme, ¿no es lógico pensar que esas capas de piedras de tamaños diferentes son punto menos que inútiles, y que se podrían suprimir, aumentando en cambio el grueso de la capa de piedras

machacadas, construyéndola con más esmero, y limitando á ella el macizo del afirmado?»

El razonamiento es exacto; pero la conclusión no debe admitirse sin algunas restricciones. En primer lugar, la cimentación podrá ser oportuna en ciertos casos, considerándola como medio de dar al firme asiento sólido en terrenos de escasa resistencia. En segundo, y muy principalmente, no hay que perder de vista que la supresión del cimientto se funda en que las ruedas de los vehículos no han de atravesar nunca la capa de piedra machacada, lo que sólo se consigue merced á una conservación asidua é inteligente; en suma, si ésta se puede organizar, por tener los recursos y el personal idóneo necesarios, no es dudoso que debe admitirse el principio de Mac-Adam; mas de lo contrario, convendrá no prescindir de la base de empedrado con arreglo al método de Trésaguet ó al de Telford, que muy en breve se dará á conocer. Si en España, donde la conservación de carreteras se ha desatendido por largos períodos, se hubieran ejecutado aquéllas con cimientos adecuados, es seguro que, á pesar del aumento de gastos de instalación, la economía definitiva habría sido de mucha entidad, teniendo en cuenta las cantidades enormes que en diversas épocas se han consumido en restablecer firmes completamente deshechos. Otra circunstancia procede considerar: la capa de cimientos da rigidez al afirmado, y disminuye, por tanto, los gastos de tracción, como se puntualizará en este mismo artículo.

Á pesar de todo, la práctica corriente, á lo menos en el centro y mediodía de Europa, es suprimir el cimientto, lo cual está justificado, porque en todos los países se concede atención cada vez más sostenida á los trabajos de conservación.

PERFIL TRANSVERSAL DEL FIRME. — Mac-Adam combate la apertura de caja para colocar el firme, que él disponía elevado sobre la plataforma, constituyendo una especie de pedraplén, por temor á la humedad excesiva que pudiera acumularse en el fondo. Es probable que sea prescripción muy acertada en comarcas húmedas, como Inglaterra; pero ya se ha dicho que en España puede encajonarse sin riesgo la piedra.

El firme debe disponerse, en concepto de aquel Ingeniero, con superficie convexa, de poco bombeo ($\frac{1}{4}$, próximamente), y con un

espesor uniforme que no pase de 0^m,25. No cabe duda de que la disminución de la curvatura es de todo punto favorable para el tráfico, y que no empece al libre movimiento de las aguas hacia las cunetas ó taludes de los terraplenes. Como con excelente criterio decía el Ingeniero Jefe, Dumas, en una notable Memoria escrita en 1843 é inserta en los *Anales de Puentes y Calzadas*, á nada responden los bombeos exagerados, tan comunes en las carreteras antiguas: si éstas se conservaban mal, por grande que fuese la curvatura transversal, las aguas se estancarían en los baches y rodadas de la superficie; al contrario, en firmes tersos corren aquéllas sin obstáculo alguno, con la única salvedad de que la pendiente lateral sea un poco más acentuada que la longitudinal, para evitar que las aguas deslicen á lo largo de la vía.

La uniformidad de espesor podrá estar justificada por el temor de que se produjesen encharcamientos si el firme se asentase en suelo plano; mas de no ser así, siempre convendrá mayor grueso en el centro por las razones que se adujeron en la pág. 42.

El espesor máximo de 0^m,25 aunque bastante inferior al de los firmes antiguos, pudiera aún reducirse, suponiendo una conservación esmeradísima. Los párrafos siguientes de la Memoria de Dumas arrojan mucha luz en este importante asunto, por más que encierren ciertas exageraciones:

«El espesor mínimo que se puede dar al firme depende de las dimensiones de los materiales de que se compone, pues es evidente que con fragmentos de 0^m,10 sería imposible reducirlo á este límite, á menos de colocar las piedras yuxtapuestas; y en tal caso, presentándose aisladas á la acción de las ruedas, se aplastarían ó se hundirían, según la naturaleza del subsuelo. Pero se concibe que con materiales de 5 ó 6 centímetros de dimensión máxima, mezclados con otros más pequeños, se logre formar una masa solidaria, cuyo grueso no exceda de 0^m,10, como se ha comprobado repetidas veces por la experiencia, juez inapelable en asuntos de esta índole. Bastará citar un ejemplo: al suavizar una pendiente entre la glorieta de los Campos Elíseos y el arco de triunfo de la Estrella, fué necesario en 1840 construir un terraplén y un afirmado nuevo en la parte baja de este trozo de la avenida de Neuilly. En cuanto estuvo terminado el terraplén, se cubrió con una capa de guijarros de 0^m,10 de grueso, añadiendo unos 0^m,02 de detritos: la piedra era pedernal de calidad muy mediana, y los fragmentos se extendieron sin machacar y tal como se recogían. A los quince días la trabazón era perfecta y desde entonces el firme se mantuvo en excelente

estado, á pesar de que son muy contadas las carreteras cuya frecuentación sea comparable á la de esta avenida.

»La resistencia de firmes tan delgados, cuando apenas están comprimidos, se explica por el hecho de que la presión que las ruedas ejercen en la superficie se transmite lateralmente y se reparte en la base en una gran extensión: se forma, pues, una pirámide de materiales solidarios, que no pueden ceder más que por el hundimiento de toda la masa, lo cual es casi imposible. Cuando la trabazón es completa, el macizo se asemeja á un monolito, cuya resistencia á la compresión no necesita justificarse.

»Puede ocurrir la duda de si el espesor del firme habrá de depender de la naturaleza de los materiales, de la del suelo y de la entidad de la frecuentación.

»Es innegable que los materiales medianos se desgastan más que los buenos; y cómo por lo común son más baratos, no suele haber inconveniente en aumentar el grueso del firme para obtener mayores garantías. No obstante, si la conservación está bien organizada, si se cuida de que la superficie esté siempre tersa y se reemplaza con oportunidad el material desgastado, no se concibe que la vía pueda correr ningún riesgo. Es cierto que se desgastará aprisa; pero todo se reduce á hacer bacheos ó recargos más frecuentes ó abundantes.

»Lo mismo pasa con la naturaleza del terreno que con la de los materiales: su importancia es escasa, siempre que el firme se conserve bien y constituya una especie de manto impermeable. La buena ó mala calidad del subsuelo es indiferente, en el momento que no esté sometido á la presión de las ruedas ni á los agentes atmosféricos. No cabe duda que la influencia sería grande, si se dejara que se formasen rodadas y, sobre todo, si llegaban á adquirir cierta profundidad; pero en una carretera bien conservada, la superficie no presentará rodadas ni siquiera surcos.

»Por último, aunque la frecuentación sea muy activa, no producirá más efecto en una calzada tersa que aumentar el desgaste, lo mismo exactamente que ocurre con materiales medianos. Si se cuida de reemplazar con continuidad la piedra consumida, nunca llegará á reducirse el espesor del firme á límites que pudieran causar temores: el ejemplo señalado de la avenida de los Campos Eliseos es concluyente.

»En suma, ni la calidad inferior de los materiales, ni la mala naturaleza del suelo, ni la cuantía de la frecuentación, exigen imperiosamente que se aumente el espesor del firme, si se organiza la conservación de suerte que se reemplace constantemente el desgaste y que la superficie esté siempre tersa y bien saneada. No hay, por tanto, sino aplicar el sistema de conservación que satisfaga á esos requisitos.

»Así, pues, con las salvedades expuestas, puede considerarse suficiente, en rigor, el grueso de 0^m,10, en cualesquiera circunstancias. Empero no debe recomendarse la reducción á dicho límite en todos los casos sin tener en cuenta para nada las condiciones especiales en que haya de encontrarse el camino. Quizá sea prudente aumentar el espesor hasta 0^m,15 y aun algo

más en casos excepcionales, si bien todo lo que sea pasar de 0^m,20 deberá calificarse de completamente inútil.

»Concíbese que se podría llegar al mínimo absoluto de firme, no extendiendo en la plataforma de la explanación ninguna capa regular de piedra, sino construyéndolo gradualmente por bacheos sucesivos, operando del mismo modo que se efectúan los trabajos de conservación. Este sistema, con el cual se obtiene pronta y económicamente una buena superficie de rodadura, daría excelentes resultados en terrenos resistentes, siempre que la circulación no fuese demasiado grande: si no se aplica, es porque requiere personal numeroso de peones camineros inteligentes y prácticos.»

Se ha creído oportuno entrar en todos los pormenores que anteceden, porque la cuestión que se debate es de extraordinario interés. Las consecuencias que del examen efectuado se desprenden, son las siguientes: 1.^a, un espesor muy pequeño de firme, poco más de 0^m,10, basta para que el tránsito de vehículos se verifique sin dificultad; 2.^a, el espesor que se adopte está ligado estrechamente con el sistema de conservación, que permitirá reducirlo tanto más cuanto más perfecto y adecuado á las circunstancias sea aquél; 3.^a, si se desatienden en períodos largos las vías sujetas á tránsito algo activo, no sólo habría de aumentarse el grueso del afirmado, sino que convendría que la piedra machacada descanse en cimiento sólido.

CONDICIONES DEL MATERIAL.—Mac-Adam establece que la piedra se ha de machacar, con objeto de que presente formas irregulares y angulosas que faciliten la trabazón del firme, debiendo desecharse los cantos rodados y no empleando material que no se halle exento de substancias térreas, pulverulentas, cretáceas ó arcillosas.

Nada hay que objetar respecto á la necesidad de partir las piedras y de no emplear cantos rodados, que por su tamaño no debieran machacarse; también es verdad que el material ha de estar limpio de arcilla, y en general de cuantas substancias se conviertan rápidamente en polvo ó barro; pero en cambio no se ve inconveniente en que estuviera mezclado con gravilla, que en resumen serviría de cuerpo aglutinante ó *recebo*, como pronto se verá.

No se dirá nada, por ahora, reservándolo para el artículo referente á construcción de afirmados, acerca de las ventajas é inconvenientes que ofrecen las diversas clases de rocas que se suelen emplear.

TAMAÑO DE LAS PIEDRAS.—Daba gran importancia Mac-Adam á que todos los fragmentos fueran de igual tamaño; así es que la recepción se efectuaba por sus agentes con balanzas, rechazando todas las piedras que pesaran más de seis onzas inglesas (187 gramos). Dos puntos hay que discutir: 1.º, si es ó no ventajoso emplear piedras de distintos tamaños; 2.º, cuáles son los elementos que más directamente influyen en las dimensiones á que convenga partirlas.

Á primera vista parece que fragmentos de magnitudes variadas habrían de amoldarse mejor, contribuyendo á que el firme trabase con rapidez; pero la experiencia demuestra que no es así. Verificándose el tránsito por un afirmado compuesto de piedras desiguales, se observa que al cabo de algún tiempo (tanto más corto cuanto más activa es la circulación) las más gruesas suben á la superficie, formando las llamadas *calaveras*, que si no se hacen desaparecer en seguida, ocasionan, sobre todo en pavimentos duros y bien conservados, choques violentos que son perjudiciales en alto grado para los caminos y los vehículos. La aparición de las piedras mayores en la superficie se patentiza llenando un cajón con material mezclado y sometiéndolo á sacudidas: el fenómeno se presenta antes á medida que aquéllas son más violentas. De estos hechos se deduce que siempre es preferible la igualdad de los fragmentos; pero que no puede tenerse tolerancia alguna en este particular, cuando se trate de vías muy frecuentadas. Así lo reconocieron los Ingenieros encargados del servicio municipal de París (1), al establecer que la recepción se haga con gran rigor, no admitiendo ningún canto que no pueda pasar en todos sentidos por un anillo metálico de 0^m,06 de diámetro, ni que lo efectúe por otro de 0^m,02: aun así, en los acopios existirán piedras de 0^m,03 ó 0^m,04, que, tratándose de vías de tanta circulación como las calles de una capital importante, sería ventajoso separarlas para aprovecharlas en otros firmes ó en la capa superior del mismo, si se ejecutase con varias. Para la separación es muy á propó-

(1) Véase la Memoria escrita en 1865 por el Inspector general Sr. Homberg, inserta en los *Anales de Puentes y Calzadas*.

sito la zaranda ó criba cilíndrica, que se supone ya conocida (1).

En cuanto al tamaño á que se ha de machacar la piedra, se comprende desde luego que habrá de variar con la naturaleza de ésta, y que á medida que sea más dura, los fragmentos deberán tener menores dimensiones: así lo juzgaba Mac-Adam al prefijar peso uniforme para los guijarros, pues según la roca es más dura y compacta, su densidad aumenta, y se necesita, por tanto, menor volumen para un peso determinado. La cuestión es clara, aunque algunos Ingenieros españoles, siguiendo las erróneas doctrinas sustentadas por autores franceses, se hayan empeñado en sostener lo contrario (2).

Otro elemento puede justificar las dimensiones que se den á las piedras, que es la naturaleza del tráfico á que esté sujeto el camino y la de los vehículos que lo hayan de recorrer. De ordinario, por las carreteras transitan desde los carros más pesados hasta carruajes ligerísimos; mas en ciertas circunstancias la circulación es muy especial. Una vía destinada exclusivamente, por ejemplo, al acarreo de grandes sillares desde las canteras al punto de embarque ó de empleo, apenas la recorren más que carretas de llantas muy anchas; por el contrario, en un paseo, como el de coches del Retiro, sólo se encuentran vehículos de llanta estrecha. Ahora bien: como se comprende que el firme resistirá mejor si las ruedas se apoyan en varias piedras que en una sola, es claro que, á igualdad de las demás condiciones, convendrá partir el material más menudo en el segundo caso citado.

Las dimensiones máximas de los fragmentos dependerán, por consiguiente, de su naturaleza y de la clase de circulación: suelen variar entre 0^m,03 y 0^m,06 para todo el macizo del firme, si se construye de una capa, ó para la superior si está formado de varias.

EXTENSIÓN DE LA PIEDRA Y CONSOLIDACIÓN DEL AFIRMADO.
—Mac-Adam construía los firmes por capas, reservando el material más duro para la de encima, en caso de que no fuese homo-

(1) Véase la obra de *Materiales de construcción*, del autor de estas líneas (segunda edición, 1891, pág. 184).

(2) Véanse: Vallés, *Études sur les chaussées empierrées*; París, 1855; y el curso autografiado de *Carreteras*, que sirvió de texto en la Escuela de Caminos; Madrid, 1873.

géneo. No admitía consolidación artificial: el afirmado hacía clavo por la acción misma del tráfico, y los huecos que quedan entre las piedras se rellenaban á expensas de los detritos de aquéllas, proscribiéndose terminantemente la adición de recebo.

Por más que diga Debauxe, que ataca la construcción por capas, fundándose en que no se comprende la necesidad en el momento que se prescinde de cuerpo de agregación, parece lógico admitir el principio de Mac-Adam, aun cuando no hubiese heterogeneidad de material. Con efecto, verificándose la trabazón á causa de las presiones ejercidas por las ruedas sobre la calzada, no es posible que las acciones se transmitan á una profundidad de 0^m,20 ó 0^m,25, y la práctica demuestra que sólo alcanza á unos 0^m,08 ó 0^m,10; de suerte que no hay más remedio que acudir á la extensión por lechos, si se quiere que la compacidad del macizo no deje que desear.

Respecto al sistema de consolidación y á la adición de recebo, hay que disentir del parecer del eminente Ingeniero. Comenzando por el segundo punto, salta á la vista, y la experiencia diaria lo comprueba, que un material menudo, que no se convierta en seguida en polvo ó lodo, y que, á ser posible, reúna condiciones complementarias de las de la piedra, no sólo será adecuado para rellenar los intersticios que dejan los fragmentos, aun después de acercarlos cuanto sea dable por la compresión, sino que servirá de cemento para hacerlos más solidarios y lograr la resistencia apetecida. Este principio se admite hoy por todos los Ingenieros y hasta se aplicaba en Inglaterra por algunos, pocos años después de Mac-Adam, como resulta de la Memoria escrita en 1850 por el Sr. Darcy, Inspector general de Puentes y Calzadas, que fué comisionado por el Gobierno francés para estudiar las carreteras de la Gran Bretaña.

Así, pues, se aceptará la conveniencia de recebar los firmes, aunque con la restricción de que la materia empleada sea de buena calidad, desechando todas aquéllas que estén muy mezcladas con tierra y prefiriendo siempre recebo calizo para firmes silíceos y viceversa. En el caso que sólo se pueda disponer de recibos arcillosos, será mejor no emplearlos y acudir al sistema de Mac-Adam, efectuándose la trabazón á expensas del mismo material,

con los déritos que produzca su compresión ó con los que se agreguen procedentes del machaqueo ó de los desperdicios de cantera. Se insiste en este particular, porque es frecuentísimo no prestar á la elección de recebo toda la atención que merece; no hay más que ver el que se usa en Madrid en paseos y calles afirmadas con piedra partida: es una arena arcillosa que en cuanto llueve forma barro tan abundante, que se hace imposible el paso de una acera á la opuesta, y aun resulta incómodo por las cintas de adoquines colocadas en prolongación de las calles transversales.

Resta hablar de la consolidación. Es evidente que construyéndose los caminos para comodidad y facilidad del tránsito, no es lógico hacer que éste coopere á la ejecución de las vías, y que lo natural es entregarlas á la explotación en buen estado de viabilidad. Sin embargo, no merece censuras Mac-Adam por admitir tan sólo la compresión natural ejercida por el tráfico, porque hasta 1830 no se emplearon en Inglaterra rodillos destinados á acelerar la trabazón de firmes, y Polonceau fué uno de los primeros que propuso en Francia, en 1834, la aplicación de aquellas máquinas á la consolidación de afirmados.

Las ventajas que reporta el nuevo sistema se especifican perfectamente en los párrafos de la Memoria ya citada de Dumas, que se copian á continuación:

«La trabazón del firme por el tránsito de vehículos se efectúa lenta é irregularmente y con enorme pérdida de fuerza, porque las presiones obran al azar: claro es que si la consolidación se lleva á cabo por medios racionales, como los que puede emplear la administración, saldrá mucho más económica, porque la regularidad, el orden, la organización del trabajo suponen por necesidad buen empleo y aprovechamiento de fuerzas. Pudiera objetarse que aunque no sea favorable para el público, es beneficioso para el Estado no hacer los gastos que la operación lleva consigo; mas es un error. La administración, que es la encargada de dirigir las fuerzas sociales, no debe aislarse de sus administrados, imponiendo á la tracción una pérdida de 10 por 100 para que el Erario ahorre 1, máxime si se atiende á que esta relación no tiene nada de exagerada.

»Pero hay más: los intereses fiscales y públicos, lejos de ser antagónicos, se hallan en perfecto acuerdo. La administración puede prescindir de consolidar las carreteras, mas no de conservarlas; pues bien, la conservación de un firme nuevo sin trabar es costosísima por mucho tiempo, porque si aquél impone grandes incomodidades á los vehículos, éstos le hacen sufrir

fatiga exactamente proporcional, por el tan conocido principio de la igualdad entre la acción y la reacción: parece como si el tráfico quisiese protestar á su modo contra un sistema defectuoso. Prepárese, por el contrario, una superficie tersa y trabada, y la rodadura de vehículos se verificará con suavidad, sin ocasionar desperfectos, compensándose con creces los gastos de consolidación con la economía realizada en la conservación. De lo dicho se deduce que el Estado, tanto por razones de orden fiscal, como por rendir culto á los sanos principios, no debe abrir al servicio público, más que vías que se puedan recorrer desde luego, sin exigir esfuerzos considerables de tracción. Se examinarán los medios de llegar á este resultado.

»Obsérvese que la compresión ejercida por las ruedas de los vehículos es la que determina la trabazón, y que el efecto será tanto más rápido y completo, cuanto mayor anchura tengan las llantas y más pesadas sean las cargas. El medio indicado para llegar artificialmente al propio resultado, consiste en someter el firme á la presión de una rueda muy ancha y pesada, es decir, en usar el llamado *rodillo ó cilindro compresor*, cuyas excelentes condiciones, señaladas hará veinte años por Polonceau (1), están hoy confirmadas plenamente por la experiencia.

»Para que el rodillo funcione con economía, ha de cumplir dos requisitos: 1.º, reclamar el menor esfuerzo posible de tracción para un peso dado; 2.º, prestarse á recibir cargas variables, de suerte que se pueda aumentar la presión á voluntad, y hacer menos costosos los transportes de la máquina cuando haya que llevarla á otro sitio.

»El cilindro satisfará á la primera condición, si su diámetro es el de las ruedas mayores que se usan, de 1^m,80 á 2 metros, pues se sabe que la tracción es inversamente proporcional á la raíz cuadrada del diámetro (2). Es cierto que con dimensiones mayores se conseguiría disminuir más la fuerza de tiro; pero el aparato sería difícil de mover y presentaría inconvenientes el arrastre por caballerías. El diámetro de 1^m,80 á 2 metros requiere un ancho de 1^m,50 para que el equilibrio de la masa sea bastante estable (3).

»Se puede aumentar el peso haciendo hueco el interior del rodillo, ó agregándole un bastidor con cajones, que reciban carga mayor ó menor.

»Los cilindros usuales son de hierro colado ó de madera con zunchos de hierro: pesan vacíos unos 3.000 kilogramos; 6.000 á media carga, y de 8 á 10.000 con la máxima que pueden admitir. Por tanto, la presión varía de 20 á 67 kilogramos por zona de un centímetro, esfuerzo bastante inferior al que ejercen las ruedas de los vehículos más pesados; pero, en cambio, obra de manera muy distinta, comprimiendo al mismo tiempo, en gran

(1) Recuérdese que Dumas escribió su Memoria en 1843.

(2) Todo lo relativo al coeficiente de tracción se trata en la sección IV de esta obra.

(3) Más adelante se verá que las dimensiones de los rodillos que se construyen en la actualidad son algo menores.

extensión, los materiales, que no pueden escaparse, como ocurre con las ruedas ordinarias. Además, la experiencia acredita que el efecto producido es muy suficiente, siempre que se organicen bien los trabajos.

»Cuando se entrega á la circulación un firme nuevo sin consolidar, las circunstancias que determinan á la larga su trabazón son las siguientes: 1.ª, el aplastamiento de parte de los materiales y la incorporación de las substancias térreas adheridas á las ruedas, que rellenan poco á poco los huecos; 2.ª, la alternativa de las influencias atmosféricas, y, sobre todo, la acción de las lluvias. Como el rodillo aplasta poco el material, no agrega nada al firme y no permite contar con la lluvia por el corto espacio de tiempo en que actúa, es indispensable suplir estas deficiencias con remachaqueo de la piedra de la superficie, extensión de una pequeña capa de recebo y riegos.»

Hasta aquí la Memoria de Dumas, á la que sólo ocurre objetar que la agregación al firme de substancias térreas debe reputarse como perjudicial, y que nada se opone, antes procede recomendar, que se use buen recebo en todos los casos, aun cuando la consolidación se verifique por el tránsito.

Innegables son las ventajas de consolidar artificialmente los firmes; pero, por desgracia, no siempre es factible, ya por no poseer los aparatos necesarios; ya porque en pendientes superiores al 4 ó 5 por 100 los rodillos ordinarios, ó por mejor decir, los tiros, desagregan el afirmado, aparte de lo costosa que resulta la tracción; ya por tratarse de localidades muy secas, como ocurre en varias provincias de España, en que los riegos son imposibles, en el sentido económico de la palabra. En cualquiera de estas circunstancias, no hay más remedio que apelar á la compresión natural, ó en todo caso recurrir al apisonamiento ó al empleo de rodillos pequeños, procedimientos muy caros y mucho menos enérgicos que el cilindrado común.

En el artículo referente á *Ejecución de firmes de piedra partida*, se describirán los rodillos ordinarios movidos por fuerza animal, así como los de vapor, que tanto se usan hoy en vías urbanas; entonces se reseñarán también las diversas operaciones que deben practicarse para que la consolidación artificial produzca los resultados apetecidos.

Parecerán enojosas las prolijas discusiones que preceden; pero gracias á ellas, en pocas palabras cabrá el examen crítico del mé-

todo que hoy se aplica á la construcción de los afirmados de piedra machacada.

Firmes de Telford.—Empezaron á usarse en Inglaterra poco tiempo después que los de Mac-Adam, y señalan una reacción en favor de los procedimientos antiguos, pues en realidad no difieren de los de Trésaguet más que en algunos detalles.

Telford abría la caja con fondo plano, estableciendo en seguida un cimientó bombeado (alrededor de $\frac{1}{60}$) de 0^m,20 á 0^m,25 de espesor en el centro, y 0^m,08 á 0^m,10 en los mordientes, formado por piedras desbastadas, que descansaban en su cara mayor. Se rípiaba el macizo y se igualaba con mazos ó almadenas su superficie, precaución que parece perjudicial para la buena trabazón de aquél con las capas superiores. Éstas eran dos, constituídas por piedra machacada, de unos 0^m,15 de grueso entre ambas, aguardándose para extender la segunda á que hubiese empezado á hacer clavo la primera, y añadiendo muchas veces algo de recebo.

Respecto á las ventajas é inconvenientes del lecho de cimentación, nada hay que agregar á lo dicho en las páginas que anteceden; pero sí conviene discutir otra cuestión interesante. Según el parecer de muchos Ingenieros ingleses, los firmes de Telford son preferibles á los de Mac-Adam, desde el punto de vista de los esfuerzos de tiro que requieren, porque aseguran que de los ensayos practicados resulta que aquéllos están en la relación de 46 á 65. No deben admitirse en absoluto estos números, pues se comprende que han de variar en los diversos casos, según las circunstancias locales, y que la calidad del subsuelo ha de ejercer notable influencia. Mas no puede desconocerse que las calzadas con cimientó son más rígidas que las que carecen de él, y ocurre la duda de si bajo este aspecto convendrá considerarlas como más favorables para el tráfico. No es fácil resolver de plano el problema, porque son igualmente desventajosos para la circulación los pavimentos que pequen por exceso de rigidez ó por extraordinaria elasticidad: tan mala sería una superficie de rodadura durísima y pulimentada, en la que resbalarían los motores, como otra de goma elástica, por ejemplo, que requeriría enorme tracción, pues que hundiéndose el firme bajo la acción de las ruedas, se produciría el mismo efecto que si los vehículos hubieran de reco-

rrer una serie no interrumpida de baches (1). Y no cabe decir que los afirmados elásticos, al recobrar su posición primitiva, devuelven á las ruedas el esfuerzo que de ellas recibieron y que determinó la depresión, porque la reacción nunca es instantánea, aun en los materiales más elásticos.

En suma, es preferible que los firmes tengan rigidez no exagerada, y fácil será que para lograrlo convenga recurrir á la cimentación en terrenos blandos y compresibles, como con tanta frecuencia se presentan en Inglaterra. En España, por lo común, no hay que temer la poca consistencia del subsuelo; pero, dentro de los sistemas usuales de firmes de piedra machacada, es seguro que se conseguirán menores coeficientes de tracción empleando materiales que den pavimentos relativamente rígidos.

En Inglaterra ha prevaecido el método de Telford, con ligeras modificaciones en la construcción de carreteras. De ordinario, tratándose de vías urbanas, se establece sobre la caja, perfectamente consolidada, un cimiento empedrado de 0^m,20 en el centro y 0^m,15 en los mordientes, bien ripiado y apisonado: va encima un lecho de piedras partidas desiguales, de dimensiones máximas comprendidas entre 0^m,025 y 0^m,075, y cuyo grueso de 0^m,10 en el eje descende hasta 0^m,075 en los costados. Añádese recebo y se cilindra la capa, sobre la cual se extiende otra de 0^m,06 á 0^m,07 de espesor, de piedra machacada con mucha igualdad al tamaño de unos seis centímetros. Esta capa se comprime asimismo con el rodillo, agregando sucesivamente la gravilla ó arena necesarias para rellenar huecos (2).

(1) Á pesar de lo que aquí se expresa, conviene advertir que en Hanóver se ha ensayado recientemente un pavimento compuesto, según parece, de láminas de caucho de 0^m,025 de grueso, que descansan en una base de hormigón y se unen con flejes de hierro. Aseguran que el suelo resulta tan duro como el buen granito, lo que induce á creer que se emplea la goma elástica endurecida, formando quizá una especie de ebonita; que la superficie no se altera por los cambios de temperatura, y que amortigua en extremo el ruido producido por la rodadura de carruajes. Todas estas circunstancias harían muy á propósito este sistema de afirmado para vías urbanas, si no fuese por lo elevado de su coste. Conviene acoger con desconfianza estas noticias, mientras hechos repetidos no las confirmen.

(2) Para más pormenores, véase la obra de Percy Boulnois, *The Municipal and sanitary Engineer's Handbook*, segunda edición: Londres, 1892.

Procedimiento muy semejante se sigue en Chicago (Estados Unidos).

Firmes modernos.—Cuanto se ha dicho en este artículo sirve de justificación á los principios á que en la actualidad se ajusta la construcción de los firmes de piedra machacada en Francia, Italia, España y otros países, suponiendo que se conserven con esmero, y prescindiendo de ciertas modificaciones que pueden imponer condiciones locales. Los principios son los siguientes:

1.º Supresión de la capa de cimientó, á menos que la exija la escasa consistencia del suelo.

2.º Apertura de la caja en la plataforma de la explanación, dando á aquélla fondo plano y mordientes verticales.

3.º Elección de material duro, limpio de substancias térreas ó arcillosas y machacado en fragmentos, cuyas dimensiones varían entre 0^m,03 y 0^m,06, según la naturaleza de la piedra y de la circulación.

4.º Adición, siempre que sea posible, de buen recebo, en la cantidad que se especificará en el artículo siguiente.

5.º Extensión de materiales en la caja, colocándolos de suerte que resulte un bombeo tanto menor cuanto más se haya de atender á la conservación, y que, por lo general, varía entre $\frac{1}{50}$ y $\frac{1}{80}$, debiendo advertir, sin embargo, que la curvatura dependerá también de la inclinación de la rasante, pues que la pendiente transversal ha de ser un poco más acentuada que la longitudinal para que las aguas corran hacia las cunetas ó los taludes de los terraplenes.

6.º Diminución racional del espesor del firme, cuya dimensión media no necesita exceder nunca de 0^m,20 á 0^m,25, y que puede reducirse bastante, sobre la base siempre de una buena conservación.

7.º Construcción del afirmado con una ó dos capas, según las circunstancias y los medios que se empleen para consolidarlo.

8.º Compresión artificial, cuando sea factible, con rodillos ó pisones.

En España, siguiendo las huellas de los Ingenieros franceses, se construyeron todos los firmes antiguos con cimientó, al que daba gran importancia en su tratado sobre Carreteras el Inspector general del Cuerpo D. Francisco Javier Barra, que publicó su

trabajo en 1820. Después se ejecutaron con tres capas de piedras de distintos tamaños, cuyas dimensiones respectivas se patentizan con los nombres vulgares de *naranjas*, *huevos* y *nueces* que recibían. Desde hace más de medio siglo es práctica casi universal en nuestro país formar el macizo con dos capas de piedra partida: la primera ó inferior del tamaño de 0^m,06 á 0^m,09, y la segunda ó superior del de 0^m,03 á 0^m,06. Este sistema, que tiene numerosos partidarios, parece á primera vista un término medio entre los de Trésaguet y Mac-Adam; mas en realidad no responde á ningún fin práctico. Con efecto, si el firme se conserva bien, las ruedas no atravesarán nunca la segunda capa y huelga la primera; en caso contrario, con la misma facilidad que las llantas desagreguen la superior, desagregarán también la de abajo, llegando á una descomposición total del afirmado, sin encontrar los obstáculos que oponían los basamentos empedrados de Telford ó Trésaguet. Algunos Ingenieros españoles defienden el procedimiento, alegando que permite obtener economía en el machaqueo: no satisface la explicación, porque menores gastos habría suprimiendo la primera capa, aun cuando se diera al firme grueso algo mayor que el que de ordinario se asigna á la segunda. Los afirmados suelen tener un espesor total de 0^m,25 á 0^m,30 en el centro y de 0^m,12 á 0^m,15 en los mordientes, guarismos que corresponden á la dimensión media de 0^m,21 á 0^m,25 (1), suponiendo un grueso constante: claro es que si se redujera el espesor medio á 0^m,16 ó 0^m,18, se obtendría economía muy marcada, aun cuando toda la piedra se machacase al tamaño de segunda capa. Algunas carreteras se han construído ya en nuestro país con un solo lecho de cantos, y los formularios vigentes para la redacción de proyectos autorizan á los Ingenieros, como se verá en lugar oportuno, á proponer el empleo de una capa única para el firme: todo ello prueba que no son tan evidentes como se ha pretendido las ventajas que ofrece el lecho de piedra gruesa.

No se crea, sin embargo, que España es la única nación en que se disponen los firmes con dos capas de piedras desiguales.

(1) Al explicar los formularios se dará á conocer la expresión para deducir el espesor medio, conociendo los del centro y mordientes.

Desde hace mucho tiempo en las carreteras francesas se emplean guijarros de tamaño uniforme; pero en Italia es muy común construir lo que llaman *capa de fondo* con piedra natural sin machacar, excluyendo los cantos gruesos, ó bien del mismo modo que se hace entre nosotros, con piedra partida de más de 0^m,05 ó 0^m,06 de diámetro máximo. Los Ingenieros italianos afirman que así se consigue que el pavimento se asiente en base más sólida que la movediza del terreno; pero con razón dice Cantalupi, en su obra tantas veces citada, que la piedra de la capa superior suele no trabar bien con la del fondo, resultando en las épocas prolongadas de humedades y sequías baches y rodadas, que producen, primero, la aparición de calaveras ocasionadas por las piedras gruesas, y después, la completa desagregación del firme. Véase cuán conformes están esas ideas con las que antes se expusieron.

Una observación para terminar. Cuanto se ha dicho es en la hipótesis de que el firme se construya con una sola clase de material. Si se busca piedra muy resistente, aunque sea cara, para constituir la superficie de rodadura, precaución que debiera tomarse en muchos casos, las dos capas estarían perfectamente justificadas. Con efecto, para reducir en lo posible los gastos, al lecho superior sólo debería dársele el grueso mínimo que permitiera el tamaño de las piedras, 0^m,06 ú 0^m,08 por ejemplo, y en tal caso, como este espesor no sería suficiente para resistir en buenas condiciones las presiones ejercidas por fuertes cargas, convendría extender una primera capa de material de peor calidad y de la altura necesaria para lograr la solidez indispensable.

MODO DE EJECUCIÓN DE LAS OBRAS.

Se estudiarán sucesivamente: 1.º, la manera de conseguir que el afirmado se asiente en base sólida; 2.º, la elección de los materiales; 3.º, la preparación de los mismos; 4.º, su extensión, y 5.º, la consolidación artificial con rodillos ó pisones.

Asiento sólido del firme.—El terreno tiene, por lo común, la suficiente consistencia para que el firme pueda extenderse directamente en la caja sin preparaciones previas; de no ser así, convendrá, siempre que sea factible, desviar la traza para huir de

suelos pantanosos ó movedizos. Cuando no haya más remedio que atravesarlos, es indispensable ejecutar obras de saneamiento ó consolidación, que podrán consistir en avenar la zona ocupada, establecer cimientos de empedrado ó hacer que la presión se reparta en una superficie extensa, empleando materiales de ramaje. La explicación del primer sistema no cabe dentro del programa adoptado para este libro; de las disposiciones ideadas para los macizos de cimentación se ha hablado ya al reseñar los firmes de Trésaguet y de Telford, y del tercero se dirán aquí algunas palabras.

Las faginas, cuya composición y fabricación son bien conocidas, se usan con ventaja para lograr reparto conveniente de las presiones. Se dispone sobre el suelo natural un lecho de faginas inclinadas respecto al eje del camino (fig. 43.^a), que ocupe la anchura necesaria á fin de que el esfuerzo que transmitan las cargas más pesadas sea menor, por unidad superficial, que el que pueda resistir el terreno; sobre dicho lecho se extiende una capa de grava sin machacar, encima otra de faginas, cuyos tallos formen con el eje ángulo suplementario al de los del primer lecho, y así sucesivamente, cuidando de que el ancho de las capas vaya disminuyendo; pero de suerte que la última de faginas, sobre la que ha de asentarse el firme, tenga la extensión necesaria para establecer con holgura la plataforma del camino. La tracción sobre éste resulta penosa, á causa de la elasticidad y flexibilidad de la base; mas puede efectuarse sin peligro.

Aun cuando el fundamento es el mismo, no deja de ser curioso el método usado en la provincia de Orán (Argelia) por el Ingeniero militar Sr. Poulain, para atravesar el *xot* de Chergui. Conócense en la localidad con aquel nombre árabe, depresiones, á veces de mucha superficie, que corresponden á antiguos lagos salados, cuyos fondos se han levantado á causa de atarquinamientos naturales. En los tiempos lluviosos se llenan de agua y es imposible atravesarlos; y aun cuando el líquido no llegue al suelo, se encuentra éste tan blando y húmedo, que indefectiblemente se hundirían los vehículos que intentaran pasar.

Comenzó el Sr. Poulain (1) por abrir en el terreno natural una

(1) Debaue, *Routes*.

ancha caja, que cubrió de tallos de esparto (*stipa tenacissima*), gramínea que abunda en las inmediaciones: sobre este lecho dejó que pasaran los carros que transportaban materiales, consiguiendo así formar una especie de aglomerado arcilloso, con el agua cargada de substancias térreas, que la presión hacía rezumar del subsuelo. Cubrió este primer lecho de esparto con tierra mojada; puso encima otra capa de atochas, y continuó del mismo modo hasta alcanzar la altura necesaria. Verificóse la consolidación de la superficie general haciendo marchar á los soldados á paso de carga, y se dispuso en seguida sobre el macizo una capa de esparto, con los tallos perpendiculares al eje del camino é inclinados hacia los costados, para que las aguas escurriesen con facilidad, constituyendo una especie de cubierta protectora. En la parte superior se construyó un firme ordinario con buena piedra partida. La obra resultó económica y de rápida ejecución.

Elección de materiales. — **DIVERSAS CLASES DE PIEDRA EMPLEADAS EN LOS FIRMES.** — Por lo común, no hay más remedio que recurrir á los materiales que se encuentran en la zona del camino, cuya naturaleza depende de la formación geológica. Sin embargo, como puede suceder que los haya de cualidades distintas ó que se crea conveniente emplear piedras más duras y resistentes que las de la localidad, á lo menos para constituir la capa superior, se hace necesario reseñar, siquiera rápidamente, las ventajas é inconvenientes de las diversas substancias que suelen usarse (1).

Las piedras *calizas* ofrecen grados muy diversos de dureza, desde el que corresponde á los mármoles compactos y á las calizas metamórficas, hasta el que presentan las margas propiamente dichas. Las calizas duras dan, por lo general, buenos firmes; son bastante higrométricas; el barro que producen es algo plástico, y su polvo se aglutina por la presión. Estas circunstancias explican que den mejor resultado en las comarcas secas que en las húmedas.

Las piedras *silíceas* son, de ordinario, más duras y resistentes

(1) Buena parte de lo que sobre este particular se dice está tomado de la obra de Durand-Claye.

que las anteriores: no son higrométricas, y sus detritos no se aglutinan, desagregándose con facilidad por la acción del calor y las sequías. Son muy adecuadas para localidades húmedas. Claro es que los caracteres varían con la naturaleza de la roca: los que se han reseñado convienen perfectamente al *pedernal*, piedra dura y quebradiza, y que, por tanto, la desgasta poco el roce y la hacen estallar los choques. En cambio la *cuarcita* es mucho menos quebradiza, y da firmes excelentes en todos los países. Para que se comprenda la dureza y compacidad de las cuarcitas que, dicho sea de paso, abundan en España, bastará consignar que de los ensayos practicados por el Sr. Tostain, Inspector general de Puentes y Calzadas, resulta que los firmes construídos con aquel material sólo dan un desgaste de 15 metros cúbicos por año, kilómetro y frecuentación diaria de 100 colleras, al paso que el guarismo oscila entre 40 y 55, como en lugar oportuno se verá, en los afirmados comunes hechos con material corriente.

Las rocas calizas y silíceas son las que se emplean con mayor frecuencia en España.

Las *areniscas* sonoras y compactas son muy duras, poco quebradizas y dan firmes excelentes. Producen detritos áridos, pero no tanto como los de las piedras cuarzosas. Deben proscribirse las areniscas blandas.

El *granito*, el *gneis* y la *sienita* ofrecen cualidades variadísimas: hay entre ellos rocas deleznales ó de escasa resistencia, que se desgastan mucho; producen barro abundante en épocas lluviosas, y no son aceptables para afirmados. Por el contrario, á veces tienen dureza excepcional, como el granito de Guernesey, que asoma también en la costa de Normandía, con el cual se construyen los mejores firmes de Europa.

El granito de Guadarrama es casi siempre de pésimas condiciones para emplearlo en esta clase de pavimentos, porque no resiste bien á la rodadura ni á los choques; sin embargo, en la misma sierra existen, aunque pocos, algunos filones de grano fino y apretado, que dan magníficos firmes (1).

(1) El que esto escribe tuvo ocasión de explotar uno de estos filones y emplear el material para la conservación de la carretera de Madrid á la Coruña, en la parte comprendida entre Villalba y el alto del Puerto, cuan-

Los *pórfidos* y las rocas *feldespáticas* bastante homogéneas, como el *petrosilex* y las *euritas*, constituyen materiales de primera calidad, si bien poco usados, porque suelen salir muy caros. Su dureza y la elasticidad relativa de su pasta hacen que resistan perfectamente y que sus detritos sean muy aglutinantes.

Los *anfíboles*, *serpentinás*, *ofitas* y *dioritas* presentan propiedades análogas, y son materiales muy adecuados para firmes, siempre que se escojan bien, porque su dureza varía entre límites bastante separados.

Los *basaltos*, *trapps*, *lavas*, y en general las rocas *volcánicas*, son muy resistentes y dan detritos grasos. Sin embargo, hay lavas y basaltos porosos que se aplastan con facilidad y producen mucho polvo. El trapp de los Vosgos es material tan bueno quizá como el granito de Guernesey.

Los *esquistos*, las *puñingas* y algunas piedras artificiales, como las *escorias de los hornos altos* y las *de fragua*, son de condiciones esencialmente variables. Las escorias se usan con muy buen éxito en algunas carreteras de España, inmediatas á explotaciones metalúrgicas: pueden citarse ejemplos en las provincias de Murcia y Vizcaya.

Á veces se emplean materiales mezclados, como acontece cuando se utilizan cantos rodados, recogidos en cauces de ciertos ríos, ó cuando se cree oportuno aumentar la dureza de los firmes, agregando piedras resistentes á las blandas que abundan en una localidad. Para que estas mezclas den buenos resultados, es indispensable que las durezas no sean muy distintas; de lo contrario, los desgastes no son uniformes y se forman calaveras: se disminuye algún tanto el inconveniente machacando las piedras en fragmentos muy menudos.

En suma, nada concreto cabe decir respecto á los firmes que se obtendrán con materiales de naturaleza geológica determinada: dentro de cada clase de rocas las hay de condiciones variadísimas,

do este trozo estaba sujeto á una circulación verdaderamente excepcional, á causa de que en aquella época, por los años 1862 y 1863, la Compañía de los ferrocarriles del Norte no tenía aún en explotación el paso de la cordillera. Se consiguió, no obstante, que la carretera estuviese bien conservada, gracias á la bondad del material.

y el éxito de los afirmados construídos con una misma especie de piedra, depende en gran parte de las circunstancias climatológicas de la localidad. Por consiguiente, á ningún fin práctico conducen los experimentos hechos hace ya muchos años por el Ingeniero de Puentes y Calzadas, Boisvillette, que reseña Debauve en su obra, el cual trató de averiguar las resistencias de las piedras en los firmes, colocándolas entre dos mazas de hierro y cargando de pesos la superior, ó bien haciendo que los fragmentos no descansaran directamente en la parte metálica, interponiendo al efecto una tabla, disposición que pretendía asemejaba la situación del material á la que tiene en los firmes: claro es que esta hipótesis no es admisible, y si se agrega la variedad extrema que existe en peder-nales y calizas, á los que principalmente contrajo sus ensayos, quedará patente que los guarismos á que llegó no pueden recibir aplicación de ninguna especie.

Aun es menos factible clasificar las piedras para firmes, como se hizo en unas *Instrucciones para la reparación de carreteras*, aprobadas en 1856 por la Dirección general de Obras públicas, después de oír á la Junta Consultiva de Caminos, Canales y Puertos. El art. 13 decía textualmente lo que sigue:

«El orden de preferencia de los materiales será:

»1.º Piedra caliza dura.

»2.º Cuarzo.

»3.º Piedra arenisca dura de cantera.

»4.º Piedra silíceá gruesa.

»5.º Granito duro.

»6.º Pizarra dura.

»7.º Guijo ó morrillo de mediana magnitud.

»8.º Grava menuda recientemente extraída.

»9.º Piedra desigual en calidad y magnitud, recogida en la superficie del terreno.»

La lectura de las páginas que preceden demuestra el escaso rigor científico de la clasificación, no siendo éste el único punto censurable de la circular oficial. Conviene advertir que las disposiciones que contiene cayeron bien pronto en desuso, y que hoy deben considerarse oficialmente derogadas al no haberlas incluido en la *Novísima legislación de Obras públicas*, formada é im-

presa en 1878, siendo Ministro de Fomento el señor Conde de Toreno.

ELECCIÓN DEL MATERIAL PARA RECEBO.—Nada hay que agregar á lo dicho en el artículo anterior: el recebo conviene que tenga las condiciones más á propósito para que las piedras traben pronta y sólidamente; por tanto, su naturaleza dependerá de la de aquéllas, pues que ha de procurarse que las propiedades de los dos materiales sean, por decirlo así, complementarias. Las calizas, por ejemplo, se aglutinan perfectamente con recebo cuarzoso, y en cambio el calizo es adecuado para firmes de pedernal ó cuarcita: desgraciadamente no siempre es dable realizar en la práctica lo que mejor resultado produjera. De lo que sí debe huirse es de los recibos muy arcillosos, que llenan las vías de polvo ó barro, según las estaciones: cuando no se tenga á mano otros, será necesario emplearlos con extremada parsimonia ó aplicar el método de Mac-Adam, prescindiendo de toda substancia de agregación y aguardando á que lentamente llenen los intersticios los detritos del material empleado en el firme.

Preparación de la piedra.—Extraída de cantera ó recogida del suelo, es preciso machacarla en fragmentos del tamaño prescrito, según los casos. Esta operación se hace *á mano* ó *con máquinas*.

MACHAQUEO Á MANO.—Puede efectuarse dentro ó fuera de la caja. El primer medio ofrece el inconveniente de que se estropea la solera, en especial en los terraplenes, y que el trabajo resulta menos perfecto; pero en cambio permite aprovechar los detritos, que suelen ser á propósito para consolidar el firme. Si el machaqueo se hace fuera de la línea, conviene que sea cerca de la cantera ó en talleres especiales, tanto para que no se llenen las piedras de materias térreas, como para que pueda llevarse á cabo á la par que las obras de explanación y fábrica.

Los operarios trabajan de pie ó sentados. Si trabajan de pie, la herramienta usada es un mazo de dos bocas, de hierro acorado, y que pesa próximamente un kilogramo, montado en un mango flexible, generalmente de fresno, y de 0^m,80 á un metro de longitud, que constituye la *almadana* ó *almadena de mango largo*. El machacador golpea el montón, compuesto de cantos que

no tienen arriba de 0^m,15 á 0^m,20 de dimensión máxima, pues si fueran mayores hay que empezar por marrearlos con mazos de 4 á 6 kilogramos.

Para machacar la piedra cuando el operario se sienta, es preciso también que los fragmentos no sean demasiado grandes, de manera que cada uno de ellos no requiera más que dos ó tres golpes. Se coloca el machacador al lado derecho del montón; pone delante de sí una piedra grande que sirve de yunque, y va echando al otro lado los guijarros partidos. La herramienta se reduce á un martillo ordinario de mango rígido ó montado en una vara flexible de unos 0^m,40 de largo, llamándose en este último caso *almadena de mango corto*: el mazo no suele pesar más de un kilogramo. En este método de machaqueo se utilizan con frecuencia mujeres y peones menores: la operación sale más cara que por el procedimiento anterior; en cambio los fragmentos ofrecen mayor regularidad, y las mermas ó detritos son menores. Así se machacan siempre las piedras en Inglaterra; en España es común adoptar los dos sistemas, conforme se verá más adelante. Sea cual fuere el que se siga, deben desecharse todos los cantos que no tengan cierta regularidad en sus dimensiones: no son admisibles los de apariencia plana, es decir, los que presentan dos aristas del tamaño requerido, pero muy poco espesor; con mayor razón aún no han de recibirse los fragmentos demasiado pequeños en dos sentidos, que se asemejan á prismas alargados.

MACHAQUEO MECÁNICO.—Muchos aparatos se han ideado para partir las piedras: los más usuales son los *cilindros acanalados* y las *máquinas de mandíbulas*. Los primeros se emplean en multitud de industrias y son bien conocidos (1). De las segundas existen varios tipos: se describirá la de Spincer y Clermontel, usada en Inglaterra, y que dió á conocer en Francia el Inspector general de Puentes y Calzadas, Sr. Homberg, que, como ya se ha indicado, estuvo al frente del servicio municipal de París.

El aparato, que se dibuja en corte en la figura 44.^a, se mueve por el vapor, utilizando al efecto, en la mayoría de los casos, la máquina de los cilindros compresores, que pronto se reseñarán, la

(1) *Materiales de construcción*, segunda edición, pág. 426.

cual obra entonces como una locomóvil. La correa de transmisión se arrolla en la polea *C*, y los dos volantes *B*, de los que uno sólo se ve en la sección, sirven de ruedas cuando se invierte la máquina para transportarla de un sitio á otro. La piedra que se ha de machacar se echa en la capacidad *A*, entre dos mandíbulas acanaladas, una de ellas, *K*, fija, y la otra, *M*, animada de movimiento alternativo horizontal: entre ambas forman una tolva *L*, que recibe la piedra, la cual se parte por la presión á que se encuentra sometida entre las dos piezas. La *M* gira alrededor del eje *N* y recibe el movimiento alternativo por las varillas *J*, enlazadas por una parte á la cuña *R* y por otra á la biela *G* por la pieza *I*. Al árbol motor *E* va unido un excéntrico, en que termina la pieza *F*, que comunica al sistema *QRJM* la traslación necesaria para que sucesivamente se acerquen y separen las mandíbulas. El espacio que queda entre éstas se gradúa por medio de la cuña *Q*, que se baja ó sube moviendo el tornillo *P*: de este modo, la máquina puede partir los guijarros al tamaño que se desee. En *O* se indica un resorte, que tiene por objeto hacer retroceder al operador *M*, después de efectuar su trabajo. Con la disposición descrita y un ajuste perfecto de todas las piezas, se logra que el aparato no se rompa, aun cuando se presente accidentalmente una resistencia demasiado grande (1).

Los productos del machaqueo, al caer por el orificio inferior de la tolva, se reciben en una zaranda mecánica clasificadora, que permite separar el polvo, los detritos aprovechables para recebo y la piedra del tamaño prescrito.

COMPARACIÓN DE LOS MACHAQUEOS Á BRAZO Y Á MÁQUINA.— Para la debida inteligencia de lo que sigue, conviene hacer antes una observación de interés. Por lo común, un metro cúbico de piedra en grueso, medida sin descontar huecos, da un volumen menor cuando se machaca, porque se desperdicia parte del mate-

(1) Úsanse en la actualidad muchas otras máquinas de mandíbulas, como las de Newall y Archer, Hope, Baxter y Blake, que están fundadas en el mismo principio que la que se ha dado á conocer. La de Blake no difiere de la de Spincer y Clermontel más que en detalles insignificantes. La descripción de todas las citadas y algunas otras puede verse en la obra de Percy Boulnois, ya mencionada en páginas anteriores.

rial, y además porque las piedras pequeñas suelen ajustarse mejor que las grandes, disminuyendo los vacíos: no obstante, no debe admitirse el principio en absoluto, pues es claro que si se parte en los cálculos del volumen ocupado por la piedra en cantera, ó si se trata de machacar adoquines, y en general piedras de formas regulares, que se midan yuxtapuestas, al dividir las aumentarán los huecos. En la mayoría de los casos hay *mermas*, y es indispensable tenerlas en cuenta para poder calcular el volumen de piedra gruesa que debe acopiarse para producir la cantidad necesaria de material partido: por prescindir de estas *mermas*, así como de las de consolidación, de que se tratará en este mismo artículo, ó por no aparecer claramente que los Ingenieros no las olvidaron, se produjo años atrás un enjambre de reclamaciones de contratistas que costaron muchos millones al Estado.

Pues bien, de los experimentos hechos en Francia por una Comisión nombrada por el Ministro de Obras públicas, resulta: 1.º, que con el machaqueo á brazo se aprovecha mejor la piedra que con el mecánico, pues el material que por el primer procedimiento daba $\frac{1}{6}$ de *mermas*, producía $\frac{1}{3}$ con el segundo; 2.º, que los detritos son más ricos en piedrecillas utilizables para recebo cuando se usan máquinas, no pasando en este caso del 20 por 100 los residuos de polvo, y elevándose en el otro á la tercera parte; 3.º, que los fragmentos no salen de las máquinas con dimensiones tan uniformes como cuando se han partido á brazo, abundando las placas y prismas alargados, esto es, los que no tienen el tamaño requerido en uno ó en dos sentidos; 4.º, que las piedras se separan parcialmente en los aparatos de las substancias térreas con que suelen ir mezcladas; y 5.º, que con el machaqueo mecánico se obtiene una economía que se acerca al 50 por 100.

De las conclusiones que preceden, la primera y tercera son resueltamente favorables al machaqueo ordinario; la segunda es de escaso interés, y la misma Comisión manifestaba que la cantidad de material aprovechable de los detritos ha de variar mucho, según sea la naturaleza de la piedra; á la cuarta tampoco se puede atribuir importancia, porque los fragmentos no se limpian por completo en los aparatos y no debe prescindirse de lavarlos, siempre que estén cargados de materias arcillosas; por manera que sólo

resta examinar la cuestión económica. Ante todo, es de advertir que en la valuación de gastos se supone que la máquina trabaje trescientos días al año, hipótesis inadmisible y que sólo puede realizarse en circunstancias muy excepcionales; pero además el precio que resultó fué de 2,52 francos, próximamente la mitad del medio de 5,05 que se paga en Francia á los contratistas. De estas indicaciones se deduce que la economía efectiva se ha de reducir en proporción notable, y que en España es difícil lograr con máquinas aminoración de gastos, puesto que rara vez se paga el machaqueo del metro cúbico de piedra dura á 2,50 pesetas, á pesar de la perfección con que lo efectúan los peones vascongados, numerosas cuadrillas de los cuales recorren las provincias. Pero hay otra consideración que se opondrá siempre á que se extiendan los aparatos: la tendencia de los Gobiernos es fomentar más y más la competencia de los particulares para la ejecución por contrata de los servicios públicos, y al efecto en la construcción y conservación de carreteras se dividen éstas en trozos pequeños, consiguiéndose de este modo que capitalistas muy modestos puedan aspirar á obtener la contrata de las obras nuevas en corto número de kilómetros ó el acopio del material para conservarlos en un año. En tales condiciones, es evidente que á los contratistas no les puede convenir la adquisición de máquinas relativamente costosas.

No es esto decir que no haya casos en que esté indicado el machaqueo mecánico. Bastará poner dos ejemplos: 1.º La preparación de piedra para grandes extensiones de afirmados de Mac-Adam, encerrados en zona no dilatada, como ocurre en las capitales importantes: en semejantes circunstancias se podrán obtener ventajas bien notorias, ya porque conviniendo tener la piedra en depósitos, el taller se puede instalar en condiciones excelentes, ya porque se logra aprovechar las máquinas de vapor de los cilindros compresores, cuando no se necesiten para consolidar firmes. 2.º La explotación de canteras potentes, con objeto de machacar volúmenes considerables de piedra y surtir á una comarca: tal acontece en Bélgica, de donde se exporta material para firmes hasta París.

Extensión de la piedra y el recebo.—VOLÚMENES QUE

HAN DE ACOPIARSE.—Antes de explicar el modo de verificar la extensión, es necesario entrar en algunos desarrollos, á fin de deducir los volúmenes que se necesitan de ambos componentes para ejecutar un metro lineal de firme. El volumen total del macizo se determina con facilidad, pues basta hallar el área de la sección transversal que se proyecte; pero es preciso no olvidar que al comprimir las piedras en la caja se acercan unas á otras; disminuyen, por tanto, los huecos que quedan entre ellas, y, como consecuencia, con un volumen determinado de material se forma siempre uno menor de firme.

De los experimentos hechos en 1834 por Berthault-Ducreux, que tanto se ocupó en construcción y conservación de carreteras, resulta que los huecos de la piedra machacada representan próximamente el 46 por 100 del volumen, guarismo que ha aumentado hasta 48 como término medio, en 650 clases distintas de materiales ensayados en 1879 en el depósito de la Escuela de Puentes y Calzadas; en lo que sigue se admitirá que los vacíos midan el 47 por 100, en la hipótesis de que la piedra no haya experimentado compresión alguna. Pero estos huecos disminuyen á medida que las piedras se aproximan, y se prolonga el efecto hasta que, llenos todos aquéllos por el recebó y los detritos, cada canto se encuentra como empotrado en una especie de alveolo, de paredes casi incompresibles: entonces el firme es un macizo compacto y muy poco permeable. Cuando ha llegado á este estado, un metro cúbico de piedra partida se reduce, según Berthault-Ducreux, á $0^m^3,71$, poco más ó menos; y como el material macizo ($0^m^3,53$.) ha disminuído á causa de los detritos formados, se puede aceptar que en el volumen $0^m^3,71$ de firme los vacíos que se han rellenado miden alrededor de un tercio, pues que si la piedra hubiera permanecido incólume, representarían el 25 por 100. La relación expresada está de acuerdo con los experimentos hechos por el Ingeniero Monnet, que después de numerosas calicatas en grandes longitudes de afirmados, dedujo que cuando éstos se hallan bien conservados, la proporción de detritos es aproximadamente de $\frac{1}{3}$; que si sube á $\frac{1}{2}$ el camino está mediano y la tracción resulta fatigosa, y que si llega ó pasa de $\frac{3}{4}$, puede asegurarse que el firme es malo.

De lo expuesto resulta que la consolidación determina una mer-

ma considerable en el volumen de piedra, que aun cuando haya resultado de 0,29, por unidad, en los ensayos de que se ha hecho mérito, variará indudablemente con la naturaleza de la piedra, y según sea más ó menos enérgica la compresión natural ó artificial á que se haya sometido el afirmado. En general, si se representa por $\frac{1}{m}$ la merma que experimenta el metro cúbico de piedra machacada medida sin comprimir, claro es que el volumen V de material que se necesitará para construir un metro cúbico de firme consolidado, será $V = \frac{m}{m-1}$; y conociendo lo que cubica aquél por metro lineal, se deducirá en seguida la cantidad de piedra machacada que debe acopiarse.

Para hallar el volumen de materia aglutinante que puede añadirse sin temor de constituir un firme demasiado blando, obsérvese que no conviniendo que exceda de $\frac{1}{2}$ el total de detritos, y formándose algunos de ellos, en proporciones variables, según las circunstancias, á expensas de la misma piedra, no procede emplear nunca arriba de 20 á 25 por 100 de buen recebo. Pero como quiera que no hay interés en macizar desde luego más que la capa superior, en un grueso de 0^m,06 á 0^m,08, porque la inferior se rellena poco á poco con los detritos causados por los roces interiores, es prudente no usar más volumen de recebo que de 10 á 13 por 100 del de piedra. Sobre este asunto se insistirá en la sección siguiente.

APILAMIENTO Y RECEPCIÓN DE LOS ACOPIOS DE PIEDRA MACHACADA.—En España, tanto en las obras nuevas como en las de conservación, se recibía antiguamente la piedra al peso, tomando como unidad el *cargo*, que oscilaba entre 700 y 1.000 kilogramos, según las localidades. Desde hace muchos años el abono y medición se practican por volúmenes, y no es raro aplicar la misma denominación de *cargo* á la cantidad de material que entra en el cajón de madera, sin tapa ni fondo, en que se efectúa la cubicación, y cuya capacidad suele ser de $\frac{1}{3}$ ó $\frac{1}{2}$ de metro cúbico. La piedra, en grueso ó partida, se apila en montones de volumen igual al del cajón que vaya á emplearse, á lo largo de la caja ó los paseos, y en la cantidad necesaria para que resulte, por metro li-

neal, el volumen que haya de invertirse en el firme, si se hace de una sola capa, ó en la que se vaya á construir cuando aquél haya de componerse de varias. La práctica francesa consiste en colocar la piedra partida en el eje del camino, formando un prisma continuo de base trapecial, con taludes á 45° y la altura que corresponda para que el área del trapecio sea igual á la de la sección transversal del firme.

El Ingeniero ó el subalterno en quien delegue debe reconocer perfectamente la piedra antes de emplearla; medir los montones que parezcan escasos; comprobar con anillo, si se creyera oportuno, el tamaño de los fragmentos; hacer que se remachquen si son demasiado gruesos; que se criben si están muy mezclados, ó que se laven si se encuentran revueltos con substancias térreas.

El recebo se apila también en los paseos, y se mide y reconoce antes de usarlo.

EXTENSIÓN DE LOS MATERIALES.—Acostúmbrase en España extender en la caja, con rastras, la piedra de primera capa sin machacar: el machaqueo se hace á *tajo ó corte abierto*, colocándose los operarios de pie, perpendicularmente al eje, y avanzando todos á la vez: la operación resulta económica y los detritos quedan mezclados con la piedra; pero los fragmentos no presentan gran uniformidad. Después de comprimida ligeramente la capa con pisones ó por el tránsito de los vehículos que acarrean materiales, se procede á extender la piedra del segundo lecho, pero no sin que el Ingeniero lo autorice, previo reconocimiento de la obra ejecutada.

El material para segunda capa se machaca, por lo común, fuera de la caja, y se extiende con carretillas ó espuelas, cuidando de que afecte la forma que corresponda, para lo cual se usan cerchas que sirven de maestras. Es evidente que para que el firme tenga después de consolidado los espesores que el proyecto prescriba, será necesario aumentarlos en proporciones que sólo la práctica podrá dar á conocer en cada caso. También debe advertirse que, como por efecto de la compresión el firme tenderá á bajar más por el eje que por los mordientes, es indispensable forzar el bombeo para que resulte el definitivo que se desee.

Cuando no se recurre á la consolidación artificial, se acostum-

bra echar sobre la segunda capa otra de recebo, de grueso uniforme: el tránsito va poco á poco haciendo que el material penetre en los intersticios, sobre todo en las épocas húmedas ó lluviosas. No conviene seguir ese procedimiento: se obtendrán resultados más satisfactorios, aun cuando aumente la mano de obra, extendiendo el recebo por porciones pequeñas y aguardando á que se incorpore al firme cada una de ellas antes de emplear la siguiente.

Consolidación artificial.—En el artículo anterior se reseñaron las ventajas de la consolidación artificial, que debe efectuarse siempre que sea posible; no se insistirá sobre este asunto, entrando desde luego á describir los aparatos usuales y la manera de realizar el trabajo. Á este fin se describirán sucesivamente el cilindrado ordinario, el de vapor y el apisonamiento.

CILINDRADO ORDINARIO (1).—Los rodillos primitivos usados por Polonceau, eran de madera y duraban muy poco tiempo; en la actualidad se hacen de hierro, y entre los muchos tipos corrientes, se darán á conocer dos, contruídos recientemente por el Sr. Bouillant. La figura 45.^a representa uno de ellos, cuya disposición no necesita describirse, pues se comprende desde luego: todas sus piezas son de hierro dulce ó colado, excepto las varas, que se construyen de madera y de las que hay dos juegos para que sea fácil dar la vuelta al llegar el aparato al fin de su excursión, pues que todo se reduce á desenganchar el tiro y engancharlo nuevamente en las varas opuestas. Pesa vacío 3.200 kilogramos, y unos 6.000 cuando los dos cajones de palastro se llenan de grava; el diámetro del cilindro es 1^m,20, y la longitud de sus generatrices 1^m,10; por consiguiente, la presión que ejerce por centímetro lineal es de 29 kilogramos si está vacío y de 56 á toda carga. Desde el punto de vista de la tracción sería conveniente aumentar el diámetro; sin embargo, después de haber usado rodillos de 2 metros, se ha reconocido que no es oportuno llegar á ese límite, por las dificultades que presenta la construcción y porque la sobrecarga queda demasiado elevada, comprometiendo la estabilidad del conjunto: hoy no suele pasar el diámetro de 1^m,60. Respecto á la

(1) Para este estudio han servido de base la obra de Durand-Claye y la Memoria de Dumas.

longitud de los cilindros, parece probado por la experiencia que no debe exceder de 1^m,10 á 1^m,30 para que produzca el máximo efecto útil, se adapte bien á la superficie del firme, resulte el aparato bien equilibrado y no se pase de la presión que puede resistir el subsuelo.

La figura 46.^a muestra otro modelo de rodillo metálico construído también por Bouillant. El aparato no es hueco como el precedente, sino que lleva en su interior un cajón de palastro, que se carga de agua ó piedra, pudiendo reconocerse por el registro que está indicado en el dibujo: en lo demás es semejante al descrito, llevando como éste dos cajones en los extremos del bastidor, capacidades que se llenan de grava. Tiene 1^m,60 de diámetro, 1^m,20 de longitud y pesa 5.300 kilogramos vacío y unos 10.000 con toda la sobrecarga; la presión, por centímetro lineal, variará, pues, entre 44 y 83 kilogramos. Este cilindro ofrece ventajas cuando el cajón interior se puede llenar fácilmente de agua, recibiendo, por tanto, sus principales aplicaciones en los servicios urbanos: ha de cuidarse de que la capacidad se cargue por completo de líquido, para que no se consuma parte del trabajo en vencer rozamientos. El mismo inconveniente presenta la carga incompleta de piedras, aparte del deterioro de las paredes del cajón, ocasionado por el roce.

Los cilindros se arrastran por caballerías ó bueyes: aquéllas se emplean casi siempre en Francia, formando tiros hasta de 6 y 8 motores; en España se acostumbra hacer la tracción con una ó dos yuntas de bueyes.

No sólo es necesario el rodillo para verificar la consolidación artificial: es indispensable contar asimismo con los utensilios para regar si el tiempo está seco. Los riegos se dan con bastante economía cuando se dispone de agua á presión, como ocurre con frecuencia en las vías urbanas: en caso contrario, que es el general tratándose de carreteras, no hay más remedio que apelar á cubas de madera con manga de cuero, ó cubas metálicas con tubos de regadera, que producen mejores resultados, porque ahorran el jornal de un peón: de todos modos, el trabajo sale caro si no hay facilidad de procurarse en puntos cercanos agua de corrientes naturales, de pozos, fuentes, etc.

Para cilindrar, se divide la longitud total en trozos que no excedan de 500 metros, con objeto de dar descansos frecuentes á los motores, y hasta que quede cilindrada una sección no se pasa á la inmediata. Lo más acertado es llevar el rodillo por uno de los costados: al llegar al extremo del trozo, se cambia el enganche del tiro y se le hace recorrer la margen opuesta; se continúa la compresión de estas dos zonas, dando siempre las pasadas en cada una en el mismo sentido; se consolidan luego las fajas contiguas, y se termina por la central.

La primera pasada en cada zona debe darse con el cilindro vacío, después de remachacar ligeramente la superficie del firme: así se consigue acercar los materiales y un principio de alisadura; sin embargo, si los materiales son muy blandos, comienzan á trabar desde luego. Se extiende en seguida una capa delgada de recebo, se riega si no hay humedad natural y se hace pasar el cilindro sucesivamente vacío, á media carga y á carga completa, cuidando, por supuesto, de que ésta no llegue nunca á la que mida la resistencia de la piedra al aplastamiento. Antes de cada pasada se cubren de recebo las partes del afirmado que queden descarnadas, y se dan cuantos riegos sean necesarios para que penetre el aglutinante en el interior y resulte más eficaz su acción. Es oportuno insistir en que no se abuse del recebo, á fin de que el firme no quede blando y, por consiguiente, en malas condiciones para la tracción. Sólo en un caso no importa emplearlo en demasía: cuando se dispone de agua abundante, pues entonces, al finalizar el trabajo, se puede dar un riego copioso, y haciendo pasar el cilindro, subirá á la superficie todo el sobrante, formando una masa de bastante fluidez para echarla con escobas á los desagües de la vía (1).

Se terminará lo relativo á la consolidación con cilindros movidos por fuerza animal, haciendo algunas advertencias:

1.º Al principio las pasadas del rodillo dibujan un ancho surco continuo y forman rebordes laterales, que un peón hace desaparecer, igualando la superficie: estos efectos son menos perceptibles conforme va adelantando la consolidación.

(1) Memoria de Homberg.

2.^a Á pesar de aumentar sucesivamente la sobrecarga, no se necesita, por lo común, reforzar el tiro, porque si bien el peso arrastrado es mayor, en cambio la agregación del firme hace la tracción más suave. De todos modos, es preciso emplear número suficiente de motores para que el esfuerzo que cada uno tenga que desarrollar no sea excesivo; si lo fuere, al hacer hincapié se removería el afirmado, destruyéndose la trabazón conseguida por las pasadas precedentes: ésta es la causa de no ser aplicables los cilindros ordinarios en cuanto la inclinación de las rasantes excede de 4 ó 5 por 100.

3.^a Si el espesor del firme pasa de 0^m,12, la operación hay que hacerla en dos veces, á menos de usar cilindros muy pesados, porque la acción de los comunes no se extiende á profundidades mayores. La compresión que se hace sufrir entonces á la primera capa es mucho más ligera, y en España ya se dijo que es corriente limitarla á un apisonamiento y á la producida por el paso de los vehículos.

4.^a El número de pasadas que hay que dar para consolidar los afirmados, es muy variable y depende de varias circunstancias, como la naturaleza de los materiales, la del subsuelo, el espesor del macizo y el grado de trabazón á que se desee llegar. Respecto de esto último, obsérvese que si se dan pocas pasadas, el cilindrado saldrá barato; pero el firme no quedará bien ligado y requerirá una conservación muy esmerada y, por consiguiente, cara; si las pasadas son muy numerosas, la consolidación subirá de coste, y en cambio disminuirán los gastos ulteriores: en cada caso particular habrá, pues, cierto grado de cohesión para el firme cilindrado, que corresponderá al mínimo desembolso, y que sólo la práctica podrá dar á conocer con alguna aproximación. El número de pasadas no baja nunca de 8 y á veces excede de 30.

CILINDRADO Á VAPOR (1).—Desde hace muchos años se ha intentado aplicar el vapor á la tracción de los rodillos compresores; pero hasta 1861 no ha tenido solución práctica el problema: en

(1) Buena parte de lo que se dice en este párrafo consta en el artículo inserto en los *Anales de la Construcción y de la Industria* (número de 10 de Enero de 1885), escrito por los Ingenieros, en aquella fecha alumnos de la Escuela, D. José Nicolau y D. Antonio Faquineto.

aquel año empezó á funcionar en París el cilindro de Ballaison, que describe Debaüve en su obra (1). Mas en la actualidad los mejores son los ideados por los Sres. Aveling y Porter, de Rochester, usados con profusión en Inglaterra, que se han extendido por todas las naciones de Europa y América, y que están dando resultados excelentes en Madrid y otras poblaciones de España (2). Las figuras 47.^a y 48.^a representan respectivamente los alzados lateral y de frente de la máquina, que viene á ser una locomotora con ruedas modificadas. Consta de una caldera tubular, *A*, de 20 metros cuadrados de superficie de caldeo; de los órganos de transmisión, ocultos por láminas de palastro, con objeto, sin duda, de no espantar á las caballerías, y de un tender de 1.000 litros de cabida. El conjunto descansa en cuatro cilindros: dos de ellos, *B*, *B*, en la parte anterior, que pudieran llamarse *directores*, separados por un pequeño intervalo, y los otros, *C*, *C*, en la posterior: estos últimos reciben la acción del mecanismo, y se designarán con el nombre de *motores*. Apóyase el aparato en los rodillos delanteros, por intermedio de una pieza de hierro, encorvada en sus dos extremos, *D*, *D*, los cuales se unen al eje común de aquéllos; lleva además la pieza, en su punto medio, una clavija que entra en un orificio practicado en la masa de hierro fundido que precede á la caldera, consiguiéndose así que los cilindros directores puedan girar alrededor de un eje vertical, obrando de manera semejante al juego delantero de los vehículos ordinarios.

Se comunica el movimiento á la máquina por sectores, *E*, unidos invariablemente por uno de sus extremos al eje de los cilindros pequeños, *B*; en aquéllos descansan cadenas de transmisión, *F*, que se arrollan á un eje, *G*, paralelo al primero, el cual recibe la acción del motor por una rueda dentada y un tornillo sin fin, que se manejan desde la plataforma posterior del aparato.

(1) En Inglaterra no se construyó ningún cilindro de vapor hasta 1864.

(2) En Inglaterra se usan también los rodillos de los Sres. Green é hijos, los cuales rodillos sirven también como máquinas de tracción. En Francia los aparatos más usados hoy día son los de dos cilindros, del Sr. Gellerat, propietario del privilegio de Ballaison, aunque también se emplean algo los construídos por los Sres. Morland é hijos.

Tanto los rodillos directores como los motores son de hierro colado: á continuación se consignan sus dimensiones:

| CILINDROS. | Díámetro. Metros. | Longitud. Metros. | Espesor. Milímetros. | Peso. Kilogramos. |
|-----------------|----------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|
| Motores..... | 1,752 | 0,609 | 12 | 3.089 |
| Directores..... | 1,094 | 0,685 | 8,2 | 1.810 |

Los motores están dispuestos de suerte que puedan aproximarse para disminuir la anchura de la zona consolidada: los cuatro cilindros llevan cuchillos de acero, *H*, que raen las materias adheridas á sus superficies.

La máquina pesa vacía unas 15 toneladas; su longitud es de 5^m,60, y la máxima anchura 2^m,588. Su fuerza es de 20 caballos; consume 250 kilogramos de carbón en diez horas de trabajo, lo que equivale á 1^{kg},25 por caballo y hora, cantidad que revela las buenas condiciones económicas del aparato.

Los rodillos de vapor marchan con velocidad de unos 4 kilómetros por hora, ó sea poco más de un metro por segundo. Cuando se contrata la consolidación con la Compañía ó particular dueños de la máquina, se toma como unidad la *tonelada kilométrica*, bastando multiplicar el peso del aparato por la distancia recorrida en kilómetros para saber el número de unidades de trabajo que deben abonarse.

La manera de ejecutar la consolidación difiere poco de la explicada para el caso de emplear rodillos ordinarios: debe observarse, sin embargo, que con los de vapor se pueden comprimir de una vez firmes de 0^m,25 de grueso, y que cabe aplicarlos hasta en tramos de 10 por 100 de inclinación y en curvas de radio muy pequeño. Aparte de estas ventajas, que no son de poca entidad, presentan las siguientes:

1.^a La consolidación sale mucho más económica que cuando se emplean motores animados. De los ensayos hechos en Madrid por los agentes del Ayuntamiento, ha resultado que el metro cuadrado de compresión de afirmado nuevo, de 0^m,25 de espesor en

el centro y 0^m,15 en los mordientes, cuesta 0,10 pesetas, al paso que con los antiguos se elevaba el precio á 0,35 y 0,40. Análoga economía resulta cuando se trata de un firme nuevo ó recargo de 0^m,08 á 0^m,10 de grueso, pues entonces salía á 0,25 ó 0,30 pesetas la consolidación del metro cuadrado por el método ordinario, y sólo á 0,08 por el moderno. Con los materiales usados en Madrid los espesores se reducen en $\frac{1}{4}$ ó $\frac{1}{3}$, por la compresión á vapor, según se cilindren firmes de 0^m,25 ó 0^m,10 de grueso.

2.^a Mayor interés aún que la disminución de gastos tiene la del tiempo invertido, sobre todo en vías muy frecuentadas, como las grandes arterias de las poblaciones importantes. En los experimentos hechos en París (1), se compararon, bajo todos aspectos, los rodillos comunes con los de Ballaison (inferiores á los de Aveling y Porter), cilindrando con unos y otros dos superficies iguales y en idénticas condiciones, y se dedujo que la compresión á vapor se hace aproximadamente en la mitad de tiempo.

3.^a La máquina de vapor del rodillo se utiliza con ventaja, cuando no hay firmes que comprimir, en hacer funcionar uno ó varios aparatos de partir piedra, como ya se indicó al hablar del machaqueo.

4.^a Introduciendo púas de hierro en orificios que llevan los cilindros motores en su superficie, se pueden picar los afirmados que hayan de recibir un recargo de piedra machacada: esta operación, que es muy conveniente para facilitar la trabazón de las dos capas, se hace con extremada economía, pues en los ensayos realizados en la ronda de Atocha, se vió que el coste sólo era la décima parte del que resulta con la aplicación de braceros.

Al lado de estas ventajas, los cilindros de vapor ofrecen el inconveniente de que la presión que ejercen es casi constante, no prestándose como los rodillos ordinarios, á aumentar la carga á medida que el firme va trabando. Quizá fuese oportuno construirlos de menos peso, y añadir sucesivamente sobrecargas adecuadas, que pudieran colocarse en cajones.

Á pesar de lo expuesto, los cilindros de vapor no convienen en todas las circunstancias, y no deben desterrarse los antiguos. El

(1) Véase Debaue, *Routes*.

precio elevado de las máquinas (de 15 á 20.000 pesetas); la dificultad de que funcionen continuamente en consolidar firmes ó partir piedra, y el exigir personal permanente é idóneo que devenga jornales crecidos, tienen que restringir muchísimo sus aplicaciones. Rara vez serán á propósito para el servicio general de obras públicas, á menos de concurrir condiciones muy especiales, como la afluencia á un centro de gran número de vías importantes y de activa circulación; pero en cambio están muy indicados para la construcción y conservación de calles y paseos en las capitales que cuenten con muchos kilómetros de firmes de piedra machacada. Los rodillos que se han descrito funcionan hace tiempo en Madrid, con la circunstancia de que la práctica ha demostrado lo infundados que eran los temores de accidentes ocasionados por asustarse las caballerías.

APISONAMIENTO.—Cuando no se tienen á mano rodillos ó no pueden emplearse por ser excesivas las pendientes, por la corta extensión de la superficie que se ha de consolidar ó por cualquier otra circunstancia, suele acudir al *apisonamiento*. Los pisones son de hierro colado ó de madera de olmo, con aros y calzos metálicos; el mango, liso unas veces, tiene otras manijas para facilitar el trabajo de los peones; pesan, por lo común, de 10 á 15 kilogramos.

La extensión de la piedra se hace por capas de 0^m,06 á 0^m,08 de grueso. Se apisona cada una hasta que se acerquen bien los fragmentos; se añade entonces en pequeñas dosis el recebo; se riega, si es necesario, y se sigue apisonando hasta que el firme haga clavo.

Este sistema no da tan buenos resultados como el cilindrado y es más costoso. Úsase poco, por consiguiente, en la construcción de carreteras, prefiriéndose, para las rampas muy inclinadas, rodillos ligeros, generalmente de piedra, que se hacen pasar muchas veces por encima de cada una de las capas, que habrán de ser bastante delgadas, para que la acción del cilindro sea sensible en todo el espesor. En la provincia de Madrid son comunes los rodillos de granito, con varas ó lanza unidas al eje, dando á los cilindros dimensiones adecuadas para que los pueda arrastrar una caballería ó una yunta.

II.—FIRMES EMPEDRADOS.

Se llaman *empedrados* los firmes compuestos de piedras, que se colocan á mano, enlazándolas más ó menos íntimamente. Pueden los fragmentos tener ó no formas geométricas, denominándose *adoquines* en el primer caso: en lo que sigue se estudiarán con alguna detención los *adoquinados*, y se dirán breves palabras de los empedrados de *cuñas* y de *morrillos*, que tienen bastantes aplicaciones; á los *enlosados* se dedicará artículo especial.

ADOQUINADOS (1).

Cimentación.—Los adoquines se yuxtaponen siempre, y como reciben aisladamente las cargas de los vehículos, transmiten íntegras las presiones al subsuelo, en el espacio que ocupa cada uno: es necesario, pues, disponer entre el terreno y el firme una materia elástica que reparta los esfuerzos. La capa de cimentación es indispensable, ya sea el subsuelo duro ó blando: si fuese de roca y descansasen en ella los adoquines, se henderían en seguida, no tardando en aplastarse; si el terreno tuviera naturaleza arcillosa, las aguas lo encharcarían, hundiéndose las piedras del afirmado y refluyendo el barro por las juntas, con la circunstancia, además, de que no siendo regulares los asientos, se deformaría bien pronto el perfil transversal.

Los requisitos á que debe satisfacer, por consiguiente, el basamento, son: 1.º, repartir las presiones en la mayor extensión posible; 2.º, ser en todos sentidos de compresibilidad exigua y uniforme; 3.º, conservar igual resistencia en las diversas estaciones y aun cuando varíe la del terreno. La arena pura es muy á propósito para lograr tales resultados, porque, como todos los materiales reducidos á fragmentos pequeños, reparte las presiones en zona tanto más grande cuanto más menudos son aquéllos; porque si se apisona bien, es poco compresible, ofrece resistencia constante y

(1) Para la redacción de este artículo han servido de base las obras de Durand-Claye, Debaúve y Percy Boulnois.

al mojarse se endurece, y, finalmente, porque no cede á la compresión y conserva en su superficie resistencia invariable, aunque no lo sea la del terreno. Esta última propiedad se patentiza con el experimento hecho por los oficiales de Ingenieros Sres. Moreau y Niel. En un cajón, *ABCD* (fig. 30.^a, lám. 2.^a), cuyo fondo tiene un orificio que se cubre con un disco, *EF*, se coloca arena bien comprimida, y se mantiene cerrada la abertura, aplicando una fuerza, *P*, igual, al principio, al peso del prisma de arena que descansa en el disco; se disminuye poco á poco la intensidad de *P* y no se observa movimiento alguno en la superficie *AD*; en un momento dado, se conserva constante la fuerza *P*, y obsérvase que se separa de la masa un sólido ojival, *EFG*, que descende con el obturador. El ensayo da el mismo resultado, aun cuando se cargue la parte superior con pesos considerables. Es claro que el fondo de la caja puede asimilarse al subsuelo de un empedrado, y que el disco móvil representa las partes reblandecidas. Hay que insistir, empero, en que la arena ha de ser pura; si es arcillosa, sus propiedades se modifican profundamente. La arena angulosa es preferible á la esférica; el tamaño no tiene influencia sensible, mientras no llegue al de la gravilla, pues entonces no se lograría el perfecto asiento de los adoquines, que no descansarían sobre el cimiento en toda la extensión de la cara correspondiente.

El espesor del lecho de arena varía, según las costumbres locales, que son fruto de la experiencia; por lo general, oscila entre 0^m,15 y 0^m,25, si bien á veces baja hasta 0^m,10 ó sube á 0^m,30. Las condiciones climatológicas no dejan de tener influencia, porque conviene que la capa alcance suficiente profundidad, á fin de que el agua que se filtre á través de las juntas del afirmado quede bastante resguardada de las influencias exteriores para que no se hiele. Con efecto, si la congelación llega á producirse, el aumento de volumen del líquido determina subpresiones que levantan los adoquines: este fenómeno, nada favorable por cierto, no tiene, sin embargo, consecuencias tan adversas para el firme, como el que se efectúa al deshelarse el agua, pues entonces recobra ésta el volumen primitivo y las piedras quedan sin asiento sólido, verificándose hundimientos en cuanto experimentan la presión originada por fuertes cargas.

En vías extraordinariamente frecuentadas, como ciertas calles de Londres, los cimientos de arena no son bastante resistentes, y se reemplazan con un macizo de hormigón, al que se da 0^m,15 de espesor, compuesto de una parte de cal ó cemento por 7 de una mezcla de arena y piedras: los adoquines se asientan sobre baño de mortero, interponiendo á veces una capa de 0^m,02 ó 0^m,03 de arena. Aunque el hormigón sea tan árido, como tiene que resultar con las proporciones indicadas, el pavimento sale á precio muy elevado.

En algunas ocasiones se sustituye el cimiento de arena con una capa de mortero, ó se rocía simplemente la arena con una lechada de cal. En localidades de subsuelo arcilloso se han solido asentar las piedras sobre otro empedrado construído con adoquines de deshecho, y en el Norte de Francia sobre una base de marga ó de ladrillos de 0^m,15 ó 0^m,20 de grueso (1). El lecho de mortero estará indicado cuando, como ocurre en los arroyos de las calles, las aguas de lluvia estén cargadas de impurezas que conviertan á la arena en barro.

Juntas.—Conforme se ha dicho ya, los adoquines se yuxtaponen; pero como nunca reciben labra esmerada, dos contiguos no se tocan más que por las partes salientes, quedando, por tanto, intervalos que se llenan de arena fina ó mediana, pues si se dejasen vacíos, en el momento que se desgastasen por los choques los puntos de apoyo, las piedras no tendrían la estabilidad conveniente: la arena, por otra parte, en virtud de las propiedades que reúne, reparte las presiones en mayor zona del cimiento, como se vió al reseñar el ensayo de los Sres. Moreau y Niel. Además, hay que evitar que las juntas se llenen de agua cargada de detritos y substancias orgánicas que, depositándose en la superficie del lecho de cimentación, transformaría poco á poco la arena, haciéndola perder sus propiedades; aun rellenando las juntas, y por muy asidua que sea la conservación, el efecto indicado se produce á la larga, sobre todo en calles sometidas á circulación activa.

Para salvar estos inconvenientes, se han usado para relleno de juntas argamasas de cal hidráulica ó cemento; el sistema no da

(1) Memoria de los Ingenieros Homberg y L'Éveillé.

buen resultado, como la base del empedrado no sea también de mortero ú hormigón, ó en sitios poco frecuentados, como patios y zaguanes, porque las trepidaciones hacen que se desagregue la hojuela de mezcla, que no puede seguir á los adoquines en sus movimientos. En las poblaciones es común, no obstante, tomar las juntas con mortero, en una zona de 0^m,50 á lo largo de los mordientes de la acera; mas entonces conviene que la cimentación sea del mismo material, á tenor de lo que se expuso en el párrafo precedente.

Otros métodos se han ensayado sin que la experiencia los sancione: tal es el de rejuntar con substancias bituminosas, que tienen el grave defecto de no adherirse bien á piedras de estructura compacta. Hoy se aplica bastante el sistema, pero para firmes de ladrillo, como se explicará más adelante.

Adoquines.—**NATURALEZA.**—Los adoquines han de presentar suficiente resistencia para soportar las cargas más pesadas que transiten por la vía: es esencial, además, su homogeneidad, para que el desgaste sea uniforme; desde luego deben preferirse los relativamente blandos y de dureza constante á los más duros, pero heterogéneos.

Los adoquines *calizos* suelen ofrecer escasa resistencia á una circulación activa; no obstante, algunas canteras los proporcionan de dureza considerable, y cuando son de compacidad uniforme dan muy buenos pavimentos. En Bilbao, Murcia, Cartagena, Sevilla y otros puntos se usan estos adoquinados, que á veces tienen el inconveniente de ser resbaladizos.

Las *areniscas duras* resisten bien, se desgastan poco y apenas se pulimentan: se ha intentado, aunque infructuosamente, utilizar las blandas haciéndolas hervir con substancias bituminosas. Los adoquines de arenisca son los empleados casi exclusivamente en París: en España se han adoptado, entre otras poblaciones, en Bilbao y Barcelona; en esta última provienen principalmente de las canteras de Monjuich.

El *granito*, como ya se dijo al estudiar los firmes de piedra machacada, es muy desigual. Ciertas formaciones geológicas, la de Guadarrama, por ejemplo, dan piedras de resistencia muy escasa á los choques y rodadura; así es que los adoquines que de ellas se

sacan se deforman con rapidez y resultan empedrados de superficie áspera y desigual, en los que la tracción es penosa é insoportable el movimiento de los coches. Con este material se construyen los adoquinados en Madrid, y tanto por las malas condiciones de aquél, como por el poco esmero con que se preparan y colocan los prismas, se distingue nuestra capital entre casi todas las de Europa por el lamentable estado de sus vías urbanas, que llaman la atención de los extranjeros que la visitan; por desgracia es achaque antiguo de la Corte, que no pasó inadvertido en el siglo XVII á los viajeros y personajes que escribieron sobre usanzas españolas (1).

Pero hay ciertas piedras graníticas, como las de Guernesey y Normandía, asimilables á los *pórfidos* y *basaltos*, que ofrecen gran resistencia á la compresión y al roce: son muy poco absorbentes y dan adoquines inmejorables, en especial para calles de extraordinario tránsito. Verdad es que el suelo resulta resbaladizo, lo que obliga á adoptar prismas de aristas pequeñas, y á ensanchar algún tanto las juntas á fin de que las caballerías hagan hincapié con más facilidad. En Londres se usan adoquines de granito; en París se ensayaron los de pórfido y granito duro, mas no se extendieron por las frecuentes caídas de caballos: cree Durand-Claye que el efecto desaparecería en cuanto los animales se acostumbrasen á marchar por suelos de esta índole.

Los adoquines de *escorias* están muy en boga, y han dado buenos resultados en Bilbao (2). No se conoce el sistema de fabricación, que es propiedad exclusiva de un establecimiento de Escocia, aunque se cree que deben de prepararse por fusión. Exteriormente, y en 4 ó 6 milímetros de grueso, ofrecen el aspecto de una caliza amarillenta; en el interior son grises, y la fractura concoidea y parecida á la del pedernal. El pavimento no puede ser más agradable á la vista, y tan duro y terso que los carruajes rue-

(1) En estos últimos años, mientras fué Director de vías municipales el Ingeniero del Cuerpo, D. Vicente Rodríguez Intilini, se adoquinaron con más cuidado algunas de ellas, entre las que puede citarse la calle de Argensola.

(2) Las noticias relativas á pavimentos de Bilbao las ha suministrado el Ingeniero D. Ernesto Hoffmeyer, Jefe que fué del servicio municipal desde 1882 á 1886.

dan con la mayor suavidad y con poquísimos ruidos; es oportuno achafianar las cuatro aristas superiores para que el espesor de las juntas impida ó dificulte el deslizamiento del ganado. Suelen asentarse estos adoquines sobre un lecho de arena, como los ordinarios; pero quedan mejor y dan firmes muy duraderos ejecutando un macizo de hormigón é interponiendo una capa delgada de arena de 3 ó 4 centímetros.

FORMAS Y DIMENSIONES.—Tres formas geométricas se adoptan para los adoquines: la cúbica, la de paralelepípedo recto de aristas desiguales y la de tronco de pirámide de base cuadrangular. Los cubos no suelen emplearse más que cuando la piedra es muy dura, y entonces se les da dimensiones pequeñas, 0^m,09 ó 0^m,10 de lado: estos adoquines son caros, porque la preparación es más costosa que la de los mayores, á igualdad de volumen, puesto que la mano de obra viene á ser proporcional á la extensión de la superficie. Es común atribuirles la ventaja de que se pueden volver hasta seis veces, recibiendo, por tanto, mejor aprovechamiento que los demás, utilizándolos en reparaciones sucesivas; mas conforme se verá al reseñar los trabajos correspondientes, nunca resultan buenos firmes variando la cara que los adoquines presentan á la acción directa del tránsito, y conviene proscribir tal sistema.

Los prismas alargados, que se ensayaron en París hace más de cincuenta años, son hoy los corrientes en casi todas las localidades. Tienen desde luego, la circunstancia favorable de que si se coloca el lado mayor perpendicularmente al eje de la vía, se disminuye el número de juntas en sentido del movimiento, que es en el que se desgastan con más rapidez las aristas, y en el que tienden á bombearse las cabezas. Estos adoquines no deben medir arriba de 0^m,10 ó 0^m,12 de ancho; la longitud llega á 0^m,25 ó 0^m,30, y el tizón es, por lo común, de 0^m,15 ó 0^m,16 (1). La ex-

(1) Los prismas que se usan en Madrid tienen de 0^m,26 á 0^m,28 de longitud; 0^m,12 á 0^m,14 de ancho, y tizón mínimo de 0^m,25. Resultan adoquines demasiado grandes, con grave perjuicio para el tránsito. Mucho más adecuadas son las dimensiones de las cabezas de los llamados *pedruscos*, con que se empedran la mayor parte de las calles y paseos, y que no son sino adoquines desbastados: miden respectivamente 0^m,16 y 0^m,10 de largo

perencia demuestra que los prismas pequeños, aun cuando hacen subir el precio de los empedrados, dan pavimentos incomparablemente mejores; por lo demás, no hay que demostrar que todas las piezas han de ser iguales para que se yuxtapongan y produzcan asientos regulares.

Los adoquines de forma de pirámide truncada, que presentan en la superficie su cara mayor, se usan con frecuencia, porque salen baratos, á causa de prestarse á aprovechar más los productos de cantera. Si las dos bases son muy diferentes, no tienen bastante estabilidad, pues las cargas pesadas los hacen girar alrededor de las aristas inferiores, y además, cuando se desgastan, dejan juntas demasiado anchas. Estos inconvenientes se aminoran y casi desaparecen, si las dimensiones homólogas de las dos bases no difieren en más de $\frac{1}{10}$.

Sea cual fuere el patrón admitido, los adoquines se labran con pico en su cara aparente y en 4 ó 6 centímetros de las de junta: en el resto no se hace más que desbastarlos. Nunca conviene labrarlos con perfección, porque las superficies demasiado lisas son poco á propósito para la tracción, y, por otra parte, es necesario que la anchura de juntas sea aproximadamente de 0^m,01, á fin de que quede espacio para la arena, cuyas funciones se han explicado ya.

Disposición de los adoquinados.—PLANTA.—Los adoquines se colocan de ordinario con juntas continuas en sentido transversal, é interrumpidas en el longitudinal. De no ser así, los vehículos llenarían pronto la superficie de rodadas: en el caso de sortarse dos vías, la práctica patentiza que el tránsito se hace con comodidad, disponiendo las filas en dirección de las diagonales del paralelogramo que forma el encuentro (1).

Si el firme está limitado por líneas rectas de aceras ó paseos,

y ancho y 0^m,25 de tizón. Es seguro que si el pedrusco se labrara algo, ó á lo menos se desbastase con cuidado, mejorarían notablemente los tan descuidados firmes de Madrid.

(1) De ensayos practicados recientemente en Inglaterra, parece resultar que colocando los adoquines en filas diagonales, en toda la extensión de las vías, se logra aminorar el ruido causado por los vehículos y que se desgasten menos las aristas de los prismas. (Véase la obra de Percy Boulois.)

y se colocan los adoquines á juntas encontradas, paralelamente al eje, claro es que no bastará un solo patrón, pues si en uno de los costados termina la fila que se considere en un adoquín del modelo corriente, las inmediatas exigirán piezas de longitud mitad. Esto no ofrece obstáculo de ninguna especie cuando se trata de calles en que el empedrado está contenido entre aceras, pues las losas de canto que las terminan sostienen perfectamente las piezas más pequeñas; pero si los costados van siguiendo líneas de paseos, es prudente emplear en los mordientes adoquines cuyo largo sea igual á vez y media el del modelo, y aun suele asentarse una fila de maestras alternadas, de longitudes iguales á vez y media y dos veces la ordinaria.

PERFIL TRANSVERSAL.—Generalmente se hace convexa la superficie de los adoquinados; y como es más tersa que la de los firmes de piedra partida, se disminuye el bombeo, que no pasa en ocasiones de $\frac{1}{100}$, con las restricciones que al estudiar aquéllos se indicaron. El perfil transversal suele ser un arco de círculo, aunque tiene el defecto de dar en las calles demasiada anchura á los arroyos, y exagerar, por el contrario, la pendiente en la unión con los paseos, si se trata de carreteras, lo cual es incómodo para el tráfico de vehículos, por la tendencia de las ruedas á caer en las fajas laterales: aminóranse los inconvenientes trazando en el primer caso, para constituir el perfil, varios arcos tangentes, cuyos radios disminuyen desde el eje á los costados, y formando la curva en el segundo con un arco de parábola ó catenaria.

El perfil cóncavo sólo se admite en calles no alcantarilladas, para que las aguas corran por el eje y encuentren salida en los puntos bajos; ó en terrenos muy húmedos en que convenga dar al fondo de la caja la forma expresada, á fin de que, reunidas las filtraciones, se puedan evacuar en los cambios de rasante ó en los sitios que se juzgue oportunos, por cualquier sistema de avenamiento.

Construcción de adoquinados.—Después de abierta la caja, se perfila y recorre con esmero, transportando los productos de la excavación, en carros ó volquetes, á los vertederos ú obras en que se hayan de emplear. Se extiende en seguida la arena, que debe sujetarse á un reconocimiento detenido, rechazando la que

esté mezclada con tierra, y cribándola, cuando los granos no sean de tamaño uniforme. Es lo común, y en Madrid práctica universal, echarla en montón, igualar la superficie dejándola un poco más alta que el nivel á que ha de quedar, y proceder inmediatamente al asiento de adoquines: el sistema es censurable, porque así no se logra nunca la incompresibilidad relativa del cimientó. Es preciso construir éste por tongadas de unos 0^m,10, regadas y apretadas con pisones de 15 á 20 kilogramos: esta operación reduce en $\frac{1}{3}$ el grueso de la capa, de suerte que si ha de medir 0^m,08 se le dará 0^m,12 al comenzar el trabajo; en cuanto al agua invertida en riegos, puede calcularse en 40 litros por metro cuadrado, si el cimientó consta de tres capas apisonadas. La conveniencia de comprimir la arena se ha reconocido en todos tiempos, hasta el punto de que antiguamente se acostumbraba en algunas regiones de Francia establecer el adoquinado sobre arena ordinaria, abrir la vía al tránsito y rehacer el firme al cabo de un año para asentar los prismas en base bien consolidada.

Preparado el lecho de cimentación, se presentan los adoquines, no sin haberlos examinado antes con el mayor cuidado, bajo los tres aspectos de cantidad, dimensiones y calidad, dando siempre importancia extrema á que sean homogéneos. Para asentar los prismas, usa el empedrador el martillo especial que representa la figura 31.^a de la lámina 2.^a: con el extremo apuntado, remueve ligeramente la superficie de la arena, en la que encaja el extremo inferior del adoquín, afirmándolo en seguida con el mazo y haciendo que quede vertical; llena las juntas con la arena que sacó al principio, y golpea las caras laterales, á fin de que el adoquín se acerque cuanto sea posible á los contiguos. Ejecutando las operaciones con esmero, resultan las juntas bien enarenadas; pero como rara vez se consigue, por lo poco que abundan los empedradores concienzudos, no hay más remedio que introducir la arena que falte con una lámina de hierro, á veces dentada, y que es análoga á la *fijsa* de albañiles. Si se dispone de agua á presión, produce excelente resultado extender sobre el adoquinado una capa de arena y dar un riego abundantísimo, pues se logra que los granos, arrastrados por el agua, penetren en toda la extensión de las superficies de junta; el exceso de material que haya podido em-

plearse se barre hacia los regueros ó cunetas, según los casos.

Después de terminadas las maniobras descritas, se acaba de asentar los adoquines, golpeando las cabezas con pisón de unos 30 kilogramos, procurando que la compresión sea enérgica y uniforme: la última condición exige que todos los prismas reciban igual número de golpes; si algunos se hunden demasiado ú ofrecen resistencia excesiva á la acción de la herramienta, deben quitarse y corregir la cimentación ó reemplazar el adoquín para que desaparezca la anomalía. Termínase el trabajo, repasando las juntas y rellenando con la fija las que hayan experimentado pérdidas de arena por el apisonamiento.

Es práctica generalizada cubrir el adoquinado de arena, en un espesor de 0^m,01 á 0^m,03, antes de abrirlo al tránsito, para que la presión de las ruedas acabe de macizar las juntas y hasta corrija los defectos de ejecución; si ésta fuere esmerada, se puede prescindir de extender la capa.

Paralelo entre adoquinados y firmes de piedra machacada.—La comparación tiene primordial interés cuando se trata de calles: el que convenga adoptar uno ú otro sistema depende de multitud de circunstancias, de suerte que en cada caso habrá de hacerse un estudio detenido antes de dar solución al problema; aquí sólo cabe resumir las ventajas é inconvenientes de ambos afirmados, bajo los aspectos de construcción, conservación, tracción y comodidad para el público.

CONSTRUCCIÓN Y CONSERVACIÓN. — Son incomparablemente mayores los gastos de construcción de los adoquinados que los de firmes de Mac-Adam; en cambio, la conservación de estos últimos resulta mucho más costosa, pues aunque para los empedrados se requieran operarios muy prácticos en su oficio, las faenas de conservación del firme no son continuas. Los pavimentos de piedra partida no se aplican á calles estrechas ó poco ventiladas, por la imposibilidad de mantenerlos en buen estado de vialidad; hace años se afirmó toda la calle de Alcalá, y al cabo de poquísimo tiempo hubo que reponer los adoquines en el trozo, relativamente estrecho, comprendido entre la Puerta del Sol y la desembocadura de la calle de Peligros.

TRACCIÓN.—Para vehículos pesados, la tracción es mayor en las

vías de piedra machacada que en las de adoquines; disminuye la diferencia cuando los animales marchan al trote, y se anula si la velocidad sigue aumentando (1). Las caballerías resbalan más fácilmente en los adoquinados, sobre todo si están formados de piedra dura, que se haga excesivamente lisa por efecto de los roces. Los vehículos y guarniciones se deterioran más en los empedrados, cuando las cabezas de los prismas se redondean, y se comprende bien por los choques, pequeños sí, pero continuos, á que están sometidas las ruedas.

COMODIDAD PARA EL PÚBLICO.—Los firmes de piedra machacada se ponen intransitables en tiempo de lluvia para los peatones, que sólo pueden cruzarlos siguiendo las cintas de adoquines que se acostumbra establecer frente á las bocacalles; pero son ventajosísimos bajo los aspectos de no producir el ruido insoportable ni las trepidaciones, tan perjudiciales para las casas, que son inherentes á los empedrados.

De lo expuesto se deduce que, por regla general, en calles muy frecuentadas por carruajes de carga, deben preferirse los adoquinados, por lo mucho que reducen el esfuerzo de tiro; también es común adoptar el propio sistema en las vías de circulación mixta, en que vienen á compensarse las ventajas é inconvenientes que ofrece, y en las que no estaría justificado el personal de planta que reclaman los firmes de Mac-Adam; por último, éstos reciben aplicación en calles y paseos por que transiten coches ligeros y pocos ó ningún vehículo pesado.

CARRETERAS EMPEDRADAS.—Los caminos adoquinados, y más aún los empedrados con cuñas, de que en seguida se hablará, se usaron bastante hasta hace cosa de medio siglo; pero en la actualidad puede decirse que han desaparecido todos, convirtiéndolos en firmes de piedra machacada. La considerable economía que se realiza en la construcción de estos últimos, es, sin duda, la causa de que se hayan proscrito las carreteras empedradas, á pesar de las ventajas innegables que presentan para el tiro. No parece

(1) Se verá en la cuarta sección que, de los ensayos del eminente Duppit, resulta que pueden admitirse como *coeficientes medios de tracción*, respectivamente para adoquinados y firmes de Mac-Adam, los números 0,02 y 0,03.

acertada solución tan radical: ganarían mucho las condiciones del tráfico si se empedraran los caminos sujetos á circulación excepcional de carros ó carretas. Buen ejemplo se tiene en los primeros kilómetros de la carretera de Madrid á Castellón, por los que transitan innumerables y pesados vehículos cargados de yeso, pedernal, vino, etc.: todos los esfuerzos de los Ingenieros para conservar, siquiera medianamente, el firme de piedra partida resultaron ineficaces, hasta que se autorizó, *por vía de ensayo*, á sustituirlo con empedrado, pues desde entonces el tráfico se hace sin molestias y con gran contento de los industriales. Otro caso en que parece lógico el empedrado se observa también á las puertas de Madrid, en la carretera que va á Extremadura y pasa por el Campamento que ha establecido el Cuerpo de Artillería en término de Carabanchel: el paso continuo de piezas, arzones y carros, arrastrados á veces á aire de trote, destrozan de tal modo el firme, que no hay medio de conservarlo, dentro de las circunstancias económicas normales; los reparos tienen que ser frecuentísimos, y, en suma, es de creer que se ganaría, hasta bajo el aspecto de dispendios, empedrando la carretera en el trozo que se ha señalado.

También es censurable que se afirmen con piedra machacada las travesías de pueblos, que á veces por su estrechez y mala ventilación, y siempre por la entidad y naturaleza del tránsito, así como por la masa de substancias que recibe el suelo, es punto menos que imposible lograr que se conserven aceptablemente. Háganse los firmes de cuñas ó adoquines; establézcanse ó no, según los casos, andenes ó aceras, y seguro es que los buenos resultados se tocarían pronto. No hay para qué decir que no se refiere lo indicado á travesías de grandes poblaciones, que no son más que calles de las mismas y á las que deben aplicarse los principios expuestos en los párrafos anteriores.

Aun cuando la observación no tiene interés en España, donde, como se ha dicho, apenas existen carreteras empedradas, no estará de más advertir que la conversión de estos firmes en otros de piedra partida, sólo debe acometerse después de detenido estudio, porque, aparte de los gastos que ocasiona, es notorio que se aumentarán los de conservación y tiro: podrá justificarse la trans-

formación cuando los adoquines estén en tan mal estado que sea indispensable reponerlos. En 1857 trató esta cuestión el Inspector general de Puentes y Calzadas, Charié-Marsaines, y diez años más tarde el Ingeniero Jefe Du Haut-Plessis: las conclusiones de ambos son atinadas, y las inserta Debauxe en su obra; no se cree necesario transcribirlas.

Firmes mixtos.—En las calles anchas y de gran tránsito es frecuente afirmar unas fajas con piedra machacada y otras con adoquines, para que puedan recorrerlas con comodidad los coches ligeros y los vehículos de carga, respectivamente. No se acostumbra colocar el adoquinado en el centro y el macadam en los costados, porque tal sistema, que sería á propósito en carreteras, ofrece en las calles el inconveniente de que, existiendo siempre en ellas regueros empedrados á lo largo de las aceras, el firme se desgasta antes que el material de aquéllos, formándose pocetas en que se estancan las aguas. De ordinario, el pavimento de piedra partida ocupa la faja central y los adoquinados las dos laterales, como se ha hecho en la parte de la calle de Alcalá comprendida entre la de Sevilla y la plaza de la Independencia.

En algunas poblaciones el eje de la calle sirve de límite á los dos sistemas de firmes, cada uno de los cuales ocupa, por tanto, la mitad de la anchura total. Esta disposición, aceptable para carreteras, suele aplicarse á calles servidas por tranvías, cuyos carriles se asientan en la faja adoquinada.

FIRMES DE CUÑAS Y MORRILLOS.

Firmes de cuñas.—En ciertas localidades, y Madrid es una de ellas, se usan empedrados muy bastos y hechos con material resistente, que se aplican á calles de rasantes fuertes ó sujetas á considerable tráfico de carruajes pesados, á fin de disminuir los resbalones de los tiros, ó evitar los inconvenientes que ofrecerían los adoquinados, que se destruyen con rapidez, si la piedra empleada en ellos no es bastante dura.

Los cantos silíceos con que se construyen estos firmes se denominan *cuñas*, porque tienen la forma aproximada de troncos de pirámide, pero de caras desbastadas groseramente, de modo que

el pavimento queda rugoso y el cruce de una á otra acera no puede ser más molesto para los peatones. Las cuñas usadas en Madrid son de pedernal procedente de los términos de Vallecas y Vicálvaro; su altura es de unos 0^m,18, y las bases tienen apariencia de cuadrados de 0^m,12 á 0^m,14 de lado las cabezas, y de 0^m,08 á 0^m,10 las colas.

Las cuñas se asientan sobre arena, del mismo modo que los adoquines, y la construcción del firme se ajusta en casi todas sus partes á lo dicho en el artículo anterior, procurando, hasta donde sea posible, que las juntas transversales resulten continuas, y cruzadas las paralelas á la dirección del movimiento.

Los empedrados de cuñas salen más baratos que los adoquinados, cuando se dispone de piedra á propósito, porque la preparación del material es económica; pero están plagados de inconvenientes, pues exigen más esfuerzo de tiro que los firmes de adoquines; ocasionan ruido y trepidaciones enormes, y destrozan los pies de los transeúntes que tienen que atravesarlos. En resumen, deben proibirse en calles importantes, reemplazándolos con adoquinados ó macádam, según los casos: disposiciones acertadas han sido la de sustituir con adoquines las cuñas que hasta hace poco hubo en la calle de Trajineros, y la de construir firme de piedra partida en el trozo de la de Bailén comprendido entre las plazas de San Marcial y los Ministerios. Los empedrados que se discuten podrán sustituir á los adoquinados, por razón de economía, en calles de poco tránsito, en travesías de pueblos y en algunas secciones de carretera en que concurren circunstancias análogas á las puntualizadas en el artículo precedente.

En ciertas calles, la de la Montera por ejemplo, se emplean empedrados mixtos de cuñas y adoquines: de ordinario, aquéllas ocupan la zona central, por la que se efectúa el movimiento de vehículos pesados, mientras que los ligeros marchan por las fajas adoquinadas de los costados.

Empedrados de morrillos.—Están constituidos por cantos rodados pequeños, que se asientan de pie en un lecho de arena, formando cabeza la extremidad más gruesa. Si los cantos son silíceos, los firmes, aunque bastante resistentes, ofrecen pésimas condiciones para el tráfico, puesto que la rodadura se efectúa sobre

una serie de superficies redondeadas: los fragmentos demasiado grandes producen en los vehículos movimientos intolerables; los excesivamente pequeños no tienen ese defecto, mas se pulen, son resbaladizos, no permiten que agarren bien los cascos de las ca-ballerías, y sus cabezas puntiagudas molestan por todo extremo á los peatones: suelen preferirse los cantos de dimensiones medias, de 0^m,07 á 0^m,08 de diámetro máximo. Estos empedrados, por más que se usen mucho en el Mediodía de España, no son á propó-sito para vías públicas, como no se trate de pueblos de escasa importancia: se recomiendan, sin embargo, para patios, cuadras, cocheras, etc., y en particular para cubrir las soleras de cunetas fácilmente atacables por las aguas.

Los cantos rodados calizos pierden pronto el bombeo de sus cabezas, que quedan planas y forman pavimentos suaves para co-ches ligeros y peatones: se pueden citar los ejemplos de Bilbao y Santander, en que se construyen pasos de esta naturaleza. Cuando los cantos son pequeños, de 0^m,02 á 0^m,05 de dimensión máxima, los suelos se llaman *mosaicos*, y por lo común se unen las piedre-cillas con argamasa: así está empedrada la parte central de la plaza de Don Pedro, en Lisboa, en la que los cantos son blancos y ne-gros, y se han casado dibujando figuras (1); el piso resulta agra-dable para la gente de á pie.

III.—FIRMES ENLOSADOS.

Se prescindirá, por ahora, de las aceras de losas, de que se ha-blará al fin de este capítulo, concretando el estudio á los pavi-mentos dedicados principalmente á la circulación de vehículos, y examinando los *enlosados generales* y los *carriles de losas*, que apenas se emplean más que en Italia, pero que conviene conocer por si se creyera oportuno ensayarlos en localidades que tuviesen cir-cunstancias á propósito.

Enlosados generales.—Los romanos cubrieron con losas, regulares ó irregulares, la parte central de sus calzadas, como se explica en el Apéndice número 2, que va al final de este libro; y

(1) Rebolledo, *Construcción general*.

tanto por el exiguo tráfico comercial que había por aquellos caminos, como por la ligereza y escasa batalla de los carros que formaban parte del material de guerra, que era el que principalmente circulaba por las vías, se comprende que dieran buen resultado. En la actualidad, los firmes, aun en el interior de poblaciones, se hallan sujetos á considerables presiones por las enormes cargas que á veces se acarrean, y es claro que no sería fácil que resistiesen las losas sin hacer movimientos que exigirían reparos muy costosos y molestos además para la circulación. Por otra parte, las losas muy duras, como deben serlo para que se hallen en buenas condiciones, se pulimentan en seguida, sobre todo si la pendiente pasa del 2 por 100; los cascos de los motores no agarran bien, y son inevitables continuos resbalamientos, aunque se tome la precaución, que sólo es un paliativo, de estriar la superficie, imitando las juntas de los adoquines ordinarios.

Á pesar de todo, ciertas calles casi horizontales y por que sólo se permite el paso á coches ligeros (algunas de Génova, por ejemplo), se enlosan con piedras, irregulares á veces, pero casi siempre de forma geométrica y de 0^m,12 á 0^m,16 de tizón y dimensiones aparentes de 0^m,40 á 0^m,50. Por lo común, y para evitar largas juntas longitudinales, se da á las filas inclinación de 45° con relación al eje.

Por los pavimentos enlosados ruedan los carruajes con mucha suavidad; pero á los defectos que se señalaron hay que añadir el de salir carísimos. Las losas han de ser de piedra muy dura: la igualdad de tamaño y la homogeneidad son aún más indispensables que en los adoquines, porque al ceder una sola de ellas se produce una depresión importante en el pavimento; la labra tiene que hacerse casi con tanto cuidado como la de una obra de cantería; por último, el asiento exige mucha perfección, á fin de que la losa se apoye en toda su cara inferior en la arena, y de que ésta quede comprimida por igual.

En las calles cerradas al paso de vehículos desaparecen gran parte de los inconvenientes reseñados, y es frecuente enlosarlas. Ejemplo ha presentado hasta hace poco la calle de Sevilla en Madrid, y lo ofrece todavía en la capital de aquel nombre la renombrada calle de las Sierpes. Los enlosados reciben también aplica-

ción ventajosa en pavimentos de patios, pasajes, habitaciones de planta baja, etc.

Carriles de losas (1).—En algunas poblaciones de la Italia septentrional se usa hace años un firme mixto: carriles de losas por donde marchen las ruedas, y un adoquinado ó empedrado de morrillo en el centro, destinado á las caballerías. De este modo se realiza, á lo menos en teoría, conservar la suavidad de tracción y movimiento propia de los enlosados, y evitar que los motores resbalen, dándoles suelo adecuado á la constitución de sus remos.

La figura 53.^a de la lámina 5.^a representa la planta y corte de una calle de Milán. Los dos costados de la vía están ligeramente inclinados hacia el eje, donde se recogen las aguas, que por sumideros van á parar á una atarjea longitudinal. Los firmes se asientan sobre un cimiento bien apisonado, de piedra partida, de unos 0^m,15 de grueso, y cubierto con una capa de arena de espesor variable, y cuyo mínimo, de 0^m,05, corresponde á las fajas ocupadas por las losas. Éstas tienen ancho constante, comprendido entre 0^m,60 y 0^m,75; de 0^m,20 á 0^m,25 de tizón, y longitudes diversas, pero que no bajan de 1^m,50; se construyen de granito duro. Entre los carriles va la calzada para las caballerías, á que se da comúnmente 0^m,70 de anchura, y que es un empedrado ordinario, casi siempre de cantos rodados. Á los costados se disponen otras dos vías, de unos 2 metros de latitud, para los vehículos y animales que no sigan la pista; por último, á continuación de aquéllas, y sin ningún resalto, corren aceras de un metro de ancho, enlosadas como indica la planta. Las aguas que caen en las cubiertas de las casas bajan por canalones aplicados á las fachadas á conductos subterráneos que desembocan en el acueducto central.

Á menudo se establecen dos ó más vías enlosadas en una misma calle: cuando ha de haber dos, se asientan tres líneas de carriles, sirviendo para ambas la central, á la que se da mayor ancho que el corriente.

En 1850 se ensayó un sistema parecido en Londres, el cual produjo una economía de $\frac{1}{3}$ en los gastos de tiro en *Commercial*

(1) Véase, para más pormenores que los que se consignan en este párrafo, la obra de Cantalupi, citada ya muchas veces.

Road; pero hay que advertir que ésta es una vía excepcional, que pertenece á las Compañías de los Doques, y se halla expuesta á un tráfico considerable de vehículos de casi iguales condiciones y que caminan con la misma velocidad.

También se hicieron experimentos en París, en 1856, en los 1.800 metros de la avenida de Neuilly, comprendidos entre la glorieta de la Estrella y la puerta de Maillot; las losas eran de arenisca, de 0^m,50 de ancho: se asentaron casi todas sobre arena y una pequeña parte en hormigón. El resultado fué por completo desfavorable, porque los conductores de carruajes no hicieron caso de semejantes carriles. El Gobierno francés dispuso que el Ingeniero Jefe de Puentes y Calzadas, Sr. Rumeau, estudiase la cuestión en Italia y escribiera un informe aclaratorio; de este documento se copian los párrafos siguientes, en que se exponen con lucidez los defectos del sistema:

«No todos los carruajes siguen los carriles enlosados: en primer lugar, por el número excesivo de aquéllos, sus diferentes velocidades y las direcciones diversas que siguen; en segundo, porque 40 por 100, á lo menos, de los conductores, apartan deliberadamente de las losas á los vehículos. Entre los que no se encarrilan hay que contar á casi todos los coches ligeros, y á muchos que no lo hacen por la tendencia de las caballerías á seguir el enlosado; de suerte que las ruedas se mueven en las zonas empedradas, á menos que los tiros estén formados por troncos.

«El desgaste producido por los peatones, pulimenta las losas y las hace muy resbaladizas: ni las ruedas, ni los cascos de los motores causan igual efecto; sin embargo, es conveniente estriar transversalmente los carriles, cuando la pendiente pasa de 2 por 100.

«En París, donde estas vías costarían doble que en Milán y presentarían en mayor escala los inconvenientes reseñados, deben desecharse en absoluto. A lo sumo, pudieran constituir una mejora en algunas poblaciones del Mediodía, en que el empedrado de morrillo ofrece vialidad menos que mediana.»

Cantalupi reconoce la exactitud de las observaciones que preceden, y añade que en estos últimos tiempos en que se han establecido tranvías en las calles principales, las dificultades, tanto para el tránsito ordenado de carruajes, como para la buena conservación de los firmes, han aumentado notablemente. Á pesar de todo, se ha creído oportuno describir el método, que puede ser

aceptable y hasta ventajoso en caminos ó calles que reunan condiciones especiales.

IV.—FIRMES DE LADRILLO.

Firmes holandeses.—En Holanda, donde escasea mucho la piedra, se suele afirmar las calles con ladrillos puestos de canto sobre un cimientó de arena, y enlazados con argamasa. Los pavimentos se desgastan con gran rapidez; los ladrillos se aplastan bajo la acción de cargas nada exageradas, y como consecuencia no tarda en llenarse de baches toda la superficie, á pesar de que apenas circulan más que vehículos ligeros, porque la inmensa mayoría del tráfico se efectúa por canales. Los firmes descritos no se usan ya sino en calles poco importantes; en las demás se han reemplazado con empedrados ó macadám.

Firmes americanos (1).—Hoy están muy en boga en los Estados Unidos los pavimentos de *ladrillos embetunados*, que han introducido los Sres. Caduc y De Valins, de San Francisco de California. Prepáranse los ladrillos sometiéndolos en una caldera á la acción del fuego, por espacio de unas veinticuatro horas, en contacto con un hidrocarburo ó betún líquido, cuya naturaleza no puntualizan los inventores. Parece que el material después de haberse impregnado de aquella substancia, adquiere considerable resistencia á la compresión y rozamientos.

Los ladrillos preparados se asientan en un lecho de arena de unos 5 centímetros de grueso, colocado sobre la caja, á la que se da perfil paralelo al que haya de presentar la vía: tanto el fondo de aquélla como la capa de arena se comprimen enérgicamente con pisones ó rodillos. Colócanse los ladrillos á soga ó tizón, según el espesor que quiera darse al pavimento, pero siempre, como en los empedrados, con juntas corridas en sentido transversal y cruzadas en el otro; todas ellas se llenan de alquitrán mineral ó asfalto muy caliente, con lo que se logra unir con perfección los materiales y hacer impermeable el pavimento. Éste se cubre con

(1) Las noticias que se consignan están tomadas de la obra de Gillmore, *Roads, streets and pavements*, 7.^a edición: Nueva York, 1890.

una capa de la misma substancia bituminosa, también á temperatura elevada, y por fin se extiende un poco de arena gruesa ó grava fina.

En algunas ocasiones se colocan dos dagas de ladrillos: la inferior se compone entonces de piezas sin preparar y asentadas de plano, rellenando las juntas con arena; en la superficie se echa betún caliente, y encima van los ladrillos hidrocarbureados, como en el caso anterior.

No existen datos, hasta ahora, sobre la duración de estos firmes.

V.—FIRMES DE MADERA.

Se prescindirá de los *entablonados*, que se emplearon con mal éxito en América, concretando el estudio á los *entarugados*, ó sea á los pavimentos de *prismas*, *tarugos* ó *zoquetes*.

Entarugados.—CONSIDERACIONES GENERALES (1).—Los entarugados, que tanto se han extendido en los últimos años, ofrecen algunos inconvenientes que, aun cuando se pueden aminorar empleando disposiciones oportunas, no es dable hacerlos desaparecer. No tienen bastante resistencia para soportar cargas pesadas; son muy resbaladizos en tiempos húmedos ó cuando las pendientes exceden del 2 ó 3 por 100; se desgastan rápida y desigualmente á causa de su falta de homogeneidad; salen caros en casi todas las localidades, y, por último, son antihigiénicos, según resulta del parecer de reconocidas autoridades, aunque se tome la precaución de preparar los prismas haciéndoles absorber substancias antisépticas. Respecto de este último punto, conviene entrar en algunos desarrollos.

Es hecho reconocido por todos los higienistas que los pavimentos urbanos ejercen señalada influencia en la salud: por lo general, sólo se atiende á que sean duros y tersos, sin ocasionar resbalamientos; á que se desgasten lentamente y se limpien con economía; pero se prescinde de otros requisitos que tienen indiscutible

(1) Se han tenido á la vista las obras ya citadas de Percy Boulnois, Gillmore y Durand-Claye.

importancia. En todos los suelos formados de prismas ó troncos de pirámide, como los adoquinados y entarugados, no puede evitarse en absoluto que las juntas se impregnen de substancias putrefactivas, como excrementos y orines de animales, que dan lugar á exhalaciones infecciosas, sobre todo en verano; pero el efecto sube de punto en los entarugados, por la porosidad natural de la madera y la estructura esponjosa que adquiere á medida que se desgasta. El grave defecto que se indica se atenúa, es verdad, con antisépticos; pero no desaparece, pues todos los experimentos hechos hasta el día están contestes en que la preparación de los tarugos no impide que se separen las fibras y que absorban materias descomponibles, habiéndose demostrado por el Sr. Sharp, en Inglaterra, que los prismas sacados de un entarugado que se había de reparar estaban todos secos en las cabezas, pero saturados de agua y orines en la parte inferior. Con no menos energía condenan algunos médicos franceses los pavimentos de madera; véase cómo resume su juicio el Sr. Fonsagrives: «Estoy convencido de que una población húmeda, que tuviese firmes de madera en todas sus calles, se convertiría en foco de fiebres palúdicas.» Los esfuerzos se dirigen en la actualidad á sanear, permítase la frase, los entarugados: la preparación de los prismas; las precauciones que se toman en su asiento y en el relleno de juntas; el adoquinar ciertos sitios, como las paradas de los coches de plaza, contribuyen sin duda alguna á disminuir las absorciones perjudiciales, siquiera no se logre la impermeabilidad que fuera de desear.

Varios de los defectos que antes se enunciaron se remedian en gran parte. El desgaste desigual se nota principalmente en las maderas duras, que son de suyo muy heterogéneas; hoy se usan casi siempre especies blandas, que tienen compacidad bastante uniforme; en los Estados Unidos suelen ser los tarugos de pino blanco ó amarillo; en Europa de abeto rojo de Suecia y de pino de la Florida ó de las Landas.

Se facilita la marcha de las caballerías: 1.º, ensanchando las juntas, para lo cual se achaflanán las aristas, ó lo que es más común, se yuxtaponen los prismas en sentido transversal, pero se dejan huelgos entre dos filas consecutivas; 2.º, aumentando el número de juntas, disminuyendo al efecto el tamaño de los pris-

mas: las dimensiones usuales en América varían de 0^m,20 á 0^m,30 de longitud, 0^m,075 á 0^m,10 de ancho y 0^m,15 á 0^m,20 de tizón; en Francia, Inglaterra y España las aristas medias son de 0^m,22, 0^m,075 y 0^m,15; 3.º, cuidando de enarenar con esmero todo el firme en épocas de lluvias ó de hielos.

Otros inconvenientes se atribuyen á los entarugados, pero que no tienen fundamento sólido. Uno de ellos es el temor á incendios, que quizá esté justificado en poblaciones americanas en que no sólo el firme, sino hasta las aceras y casas, son de madera; en Europa no se ha presentado un solo ejemplo de fuegos producidos ó propagados por los pavimentos. Otro se refiere á que el polvillo causado por el desgaste ataca á los ojos de los transeuntes: si los firmes se conservan bien, barriéndolos á diario y regándolos cuando el tiempo esté seco, desaparece aquella contingencia. Por último, tampoco es atendible la censura del mal olor de las materias bituminosas, porque sobre no ser perjudicial para la salud, se disipa al poco tiempo.

No obstante cuanto se ha dicho, los entarugados son tan suaves para la tracción y tan cómodos para los peatones, suprimen hasta tal punto las vibraciones y el ruido y se conservan con tanta facilidad, que hay tendencia manifiesta á entarugar las calles de rasantes poco inclinadas y no sujetas al tránsito de pesados vehículos de carga. Para obtener éxito favorable, es condición precisa que las canalizaciones de agua, gas y electricidad se establezcan por debajo de las aceras ó regueros: de lo contrario, los reparos frecuentes que aquéllas exigen forzarían á levantar los prismas y la base en que se asientan, con detrimento de la vía y desembolso de cuantiosas sumas, y esto sin contar con los accidentes que puede ocasionar en el mismo firme y en las casas adyacentes la rotura de las tuberías de agua. La observación que precede se aplica á toda clase de pavimentos urbanos; mas en los de madera y en los asfálticos, que luego se describirán, es de importancia capital.

Conocidas las ventajas é inconvenientes de los entarugados, bastarán pocas palabras para reseñar los sistemas principales, que se dividirán en cuatro grupos, según la naturaleza de las superficies sobre que se asienten los prismas, á saber: 1.º, de tablonés y

arena; 2.º, de arena; 3.º, de hierro, y 4.º, de hormigón hidráulico.

ENTARUGADOS SOBRE TABLONES Y ARENA.—Nicolson fué el inventor del pavimento, cuya sección longitudinal representa la figura 54.^a: como los prismas se yuxtaponen transversalmente, nada enseñaría el corte en esa dirección. Se abre la caja, á la que se da unos 0^m,23 de profundidad respecto al nivel á que ha de quedar el firme; después de bien perfilada y recorrida, se echa una capa de arena regada y apisonada y con el bombeo correspondiente, sobre la que se dispone un entablonado general de 0^m,025 de espesor, empegado por ambas caras, de manera que su superficie quede algo áspera. Encima del entablonado se asientan los tarugos, impregnados también de antiséptico en la mitad inferior de su altura, de modo que, como en los adoquinados, resulten corridas las juntas transversales y alternadas las que corren paralelas al eje. En este sistema y en todos los que se darán á conocer, los prismas se colocan con las fibras verticales.

Entre dos filas consecutivas se deja un huelgo de 0^m,018 á 0^m,020, al que se ajusta un tablón de aquel espesor y 0^m,025 de anchura, que debe tener algunos cortes de sierra que le den suficiente flexibilidad para adaptarse al bombeo del perfil. El enlace del conjunto se hace más enérgico por medio de alfileres que atraviesan oblicuamente el listón y el tarugo y quedan embutidos en el entablonado. Los espacios vacíos que resultan sobre los listones se llenan con una mezcla de gravilla limpia y de alquitrán mineral hirviendo, que se comprime con pisones de calzos de hierro.

Todo el pavimento se cubre con una capa de la misma sustancia bituminosa y otra de arena y gravilla que no debe medir más de 0^m,025 de grueso.

El método descrito, usado en la América del Norte, se modificó empleando tarugos de dos tamaños diferentes: todos ellos de sección cuadrada, constante; pero la altura, que para la mitad de los prismas era la normal, se reducía en 0^m,08 ó 0^m,10 para los restantes. El asiento se efectuaba disponiéndolos sobre el entablonado, al tope en ambos sentidos, y alternando siempre los tarugos altos con los bajos, de manera que se formaba una especie de tablero de damas con huecos, los cuales se llenaban, como se dijo

en el párrafo precedente, cubriendo también el suelo con las capas que se indicaron.

Los entarugados sobre suelo de madera apenas se emplean ya, porque como no es posible conseguir impermeabilidad absoluta en los prismas ni en las juntas, no puede evitarse que el entablonado se humedezca, se hinche y quizás se pudra, aparte de los empujes que desarrolla y que son en extremo perjudiciales para el pavimento.

ENTARUGADOS SOBRE ARENA.—El sistema más aplicado es el del Sr. Stowe, también norteamericano, que consiste en asentar los prismas sobre un lecho de arena, de espesor variable entre 0^m,10 y 0^m,25, según la mayor ó menor consistencia del terreno natural, cuidando de apisonar bien el cimientó y de darle el mismo perfil que haya de afectar el firme. Los tarugos se colocan como en el procedimiento de Nicolson: el intervalo entre dos filas transversales es de 0^m,025, que se cubre con tablas abiseladas puestas al tope, de anchura igual al tizón de los prismas, las cuales enrasan al principio con éstos, hasta que, después de bien apisonados y sentados, se las golpea para que bajen unos 0^m,07 ú 0^m,08 y queden como marca la figura 55.^a Los huecos que entonces resultan se llenan con una mezcla de gravilla y alquitrán ó asfalto, como ya se explicó, y asimismo se cubre el pavimento con las capas de betún y arena.

Este entarugado se ensayó hace años con bastante buen éxito en Madrid, en la parte de la calle del León inmediata á la del Prado; se levantó, sin embargo, por lo mucho que se dificultaban los reparos de las cañerías de distribución de agua y gas. Aparte de este inconveniente, parece que la arena no ha de constituir base bastante sólida para los prismas, y quizá sea ésta la causa de que no haya prevalecido el método, á pesar de su economía relativa.

ENTARUGADOS SOBRE ENREJADO DE HIERRO.—Se usa en América, aunque no con frecuencia, introducir la cara inferior de los prismas en un enrejado de hierro fundido, sujetando las laterales entre placas del mismo metal, que forman cuerpo con la celosía y cuya altura viene á ser la mitad de la de los tarugos. Los prismas se preparan previamente con un antiséptico, y llevan un estribo de hierro que se apoya en las cabezas de los tabiques

divisorios de casillas. Colócanse, por tanto, al tope todos los tarugos, proporcionándose hincapié á las caballerías por medio de estrías transversales continuas, abiertas en el eje de aquéllas, las cuales se llenan de alquitrán ó asfalto. Es indispensable que los prismas ofrezcan exactitud en sus formas y dimensiones, para que encajen bien en la celosía y su yuxtaposición sea perfecta; únicamente se logra por medios mecánicos, lo que se traduce en mayores gastos de instalación.

Todos los procedimientos reseñados han tenido origen en los Estados Unidos, donde los entarugados se han propagado en grande escala, á pesar de sus defectos. En Chicago es donde gozan de más favor, y no estará de más consignar que, según las noticias suministradas por el Sr. Chesbrough, Ingeniero de aquella ciudad, los pavimentos de madera duran á lo sumo nueve años; en algunas vías muy frecuentadas y en que los vehículos tienen que ir en filas, se destruyen á los dos ó tres, y la duración media puede considerarse de siete años en calles anchas, cuando los firmes se construyen y conservan bien. El mismo Ingeniero expresa que en dicha ciudad se prefieren los prismas de encina blanca (1) á los de pino, y que en la actualidad se disponen oblicuamente con relación al eje de la calle, consiguiéndose así disminuir el desgaste.

ENTARUGADOS SOBRE BASE DE HORMIGÓN.—Los entarugados que se construyen hoy en casi toda Europa, y de que tenemos ejemplos en Madrid, en las calles del Arenal, Príncipe, Carrera de San Jerónimo, Peligros, Sevilla y Barquillo, se cimientan en un macizo de hormigón hidráulico (figuras 56.^a y 57.^a), con lo cual los prismas tienen apoyo sólido, y se prescinde del entablado que tantos inconvenientes lleva consigo. El sistema fué importado por *The Improved Wood Pavement Company*.

Un metro cúbico de hormigón se compone de igual volumen de una mezcla de arena y piedra menuda, en la relación de 1 á 2, y 200 kilogramos de cemento de Portland. Al lecho se le da de 0^m,15 á 0^m,20 de espesor, y se cubre con una capa de mort-

(1) Variedad de encina, propia de la América septentrional. Tiene corteza blanca, y su madera es bastante más elástica que la de la encina europea.

ro fino bien bruñado. La superficie ha de presentar la misma curvatura que se quiera dar al firme: á este fin, de trecho en trecho se traza el perfil con piquetes, á los que se clavan tablas flexibles que sirven de maestras para poder regularizar la forma por medio de reglas que se apoyan en aquéllas.

Los prismas, preparados previamente con antisépticos, se yuxtaponen, como de costumbre, en sentido transversal: dos filas consecutivas dejan entre sí un huelgo de 0^m, 01, cuya uniformidad se asegura con listones que se colocan en las juntas y que suelen quitarse cuando se han presentado todos los prismas correspondientes, por más que en Madrid se conservan. Viértese en la superficie alquitrán mezclado con creosota ó betún fundido, que baja hasta la chapa de cemento ó el listón, y llena los huecos en una profundidad de 2 á 4 centímetros, constituyendo al cuajarse una especie de costra antipútrida y hasta cierto punto impermeable. Se completa el relleno de juntas con mortero claro de cemento, que se puede hacer penetrar con escobas. Sobre el pavimento conviene echar una capa de piedrecillas muy menudas y angulosas, que se incrustan en la madera y consolidan el afirmado (1).

De las naciones de Europa, Inglaterra es la primera que ha usado los entarugados y en la que se han adquirido ya datos acerca de su duración, los cuales están bastante conformes con los que se han expuesto relativos á París. En las calles de gran circulación, el desgaste medio anual pasa de un centímetro: según el Sr. Haywood, Ingeniero eminente, encargado del servicio municipal de la *City* de Londres, la duración de los entarugados varía entre seis y diez y nueve años, y puede admitirse de ocho á diez como término medio.

(1) En estos últimos años se han introducido en París algunas modificaciones, que tienden á disminuir el coste sin perjuicio de la obra. Las principales son: 1.^a, reducir á 150 kilogramos la dosis de cemento, por metro cúbico de hormigón; 2.^a, reemplazar el Portland con cemento romano para la construcción de la base y el relleno de juntas, conservando el primero para la capa de mortero fino sobre que se asientan directamente los tarugos; 3.^a, no empegar sino los prismas destinados á vías de poco tránsito, usándolos al natural en cuanto el desgaste llega á 0^m, 005 al año, pues en estos casos tienen que reemplazarse antes de que se pudran. (Brown Vibert, *Le pavaje en bois à Paris*, 1892.)

En París se construyeron 350.000 metros cuadrados de entarugado desde 1881 á 1885, y en 31 de Diciembre de 1891 se habían repuesto 47.100, poco más de la octava parte, los cuales han durado de siete á nueve años (1).

En Madrid ha recibido muy bien el público los entarugados, á pesar de que, por el exceso de riegos, resbalan con frecuencia las caballerías, y de que sin duda por defectos de construcción ó conservación en algunas calles, en especial en la del Barquillo, se ha deformado mucho la superficie, produciéndose numerosos baches (2).

Una de las diferentes modificaciones ensayadas en el procedimiento que se ha descrito, se debe al Sr. Henson, de Inglaterra, y consiste en disponer una capa de fieltro alquitranado entre el hormigón y los tarugos, así como entre las filas transversales de éstos, con objeto de aumentar la elasticidad, pues se cree que el lecho de hormigón ofrece rigidez excesiva (3). El sistema se adoptó en Bilbao y duró el firme cuatro años en perfecto estado; pero después empezaron á podrirse los prismas, atribuyéndolo á la mala calidad del pino empleado en algunos y á la mucha humedad del país. Sea como quiera, el sistema no debe ser recomendable, bajo el aspecto higiénico, porque, á pesar de la empegadura, el fieltro acabará por humedecerse y añadir sustancias putrefactivas á las que naturalmente absorben los prismas, y que son la causa de las censuras que los higienistas dirigen á los pavimentos de madera.

PAVIMENTOS DE TARUGOS IRREGULARES.—El sistema que se va á describir, se empezó á emplear en Italia hará unos tres años, y se ha ensayado muy recientemente en París y Barcelona, aplicándolo en esta última población á la calle de la Princesa y plaza de Cataluña. Consiste, en principio, en yuxtaponer tronquitos de roble cortados en trozos de unos 0^m, 10 y descortezados, semejantes en su sección á los que se usan en la alimentación de chimeneas, suprimiendo además toda empegadura.

(1) Véase la obra citada en la nota anterior.

(2) Al corregir estas líneas (Marzo de 1892), se ha empezado á reparar el pavimento de la calle del Barquillo.

(3) Otras muchas innovaciones, más ó menos ingeniosas, se describen en la obra citada del Sr. Percy Boulnois.

Después de abrir y perfilar la caja, se extiende en su fondo un lecho de grava gruesa de 0^m,10 á 0^m,12 de espesor, cuya superficie se iguala con arena fina. Se colocan encima los trozos de madera con las fibras verticales y sin apretarlos demasiado, rellenando también los intervalos con arena; se riega y apisona todo el macizo, repitiendo varias veces las operaciones: al cabo de un par de días, el agua ha empapado los tarugos de roble, que al hincharse constituyen, en sentir de los partidarios del procedimiento, una masa compacta y homogénea, propia para soportar las cargas más pesadas.

No cabe duda de que los gastos de instalación serán pequeños y que, bajo este aspecto, el firme lleva mucha ventaja á los entarugados ordinarios; también es cierto que los reparos se simplifican notablemente, y que los resbalones de las caballerías se producirán con poca frecuencia, por los apoyos que á sus cascos ofrecen las uniones de tarugos de sección casi circular; pero á pesar de todo, es dudoso que los pavimentos presenten resistencia para el tránsito de vehículos pesados, que sean todo lo homogéneos que conviene y, por último, que no se pudran pronto los tarugos, que se hallan en disposición bien poco á propósito para conservarse, pues que la evaporación rápida, á consecuencia de la acción de los rayos solares, del líquido que los empapa, produce siempre en las maderas efectos muy perniciosos.

Sin embargo, nada debe asegurarse, mientras la experiencia no dicte su fallo: sólo se añadirá que, según informes fidedignos, al poco tiempo de abrir al servicio público en Barcelana las vías que se expresaron, aparecieron en la superficie del suelo multitud de depresiones que, aunque no profundas, vienen á confirmar los temores señalados.

VI.—FIRMES ASFÁLTICOS.

Los firmes asfálticos tienen hoy grandísima importancia en Europa y América, aunque en nuestro país apenas se han ensayado. Procede estudiar con alguna detención los de *asfalto comprimido*, que son los de mayores aplicaciones; dar idea de los formados por *prismas* del mismo material, que están muy de moda

en los Estados Unidos, y consagrar brevísimas palabras á los de *betún asfáltico*, que si bien en pocas, se han usado en ciertas ocasiones. Se comenzará por estos últimos.

Firmes de betún asfáltico.—El betún asfáltico, cuya composición y preparación son bien conocidas (1), se aplica con mucha frecuencia á las aceras; pero es raro utilizarlo para firmes de vías, porque no tiene la suficiente resistencia á las presiones ejercidas por vehículos de carga, y sólo es aceptable para calles de muy poco tránsito, según se dedujo de las pruebas hechas en París hace cincuenta años. Sin embargo, en Lyon existen, ó por lo menos existían en 1873 (2), 10.000 metros cuadrados de pavimentos de esta clase, formados por una capa de 0^m,05 de grueso, constituida por tres partes en volumen de betún y dos de gravilla, la cual capa se asentaba sobre un lecho de hormigón de 0^m,10 de profundidad. Aunque en el caso especial que se cita se obtuviera buen resultado, es lo cierto que el sistema no ha prevalecido.

Tanto por esta razón, cuanto porque el empleo del betún se hace de manera análoga á la que se explicará al tratar de aceras, en el artículo siguiente, no hay para qué insistir en este punto.

Firmes de asfalto comprimido.—DESCRIPCIÓN.—Muchos experimentos se han hecho desde 1837 para aplicar, en una ú otra forma, el asfalto, y en general las sustancias bituminosas, á los firmes de vías urbanas. Aparte del sistema indicado en el párrafo que precede, se intentó hacer adoquines artificiales, aglomerando cantos con betún asfáltico, y rellenando las uniones con esta misma substancia. Se ha probado también construir los firmes extendiendo en la caja una mezcla de piedra partida y betún; mezcla que se preparaba secando primero la piedra por la acción del fuego, agregando luego la substancia bituminosa caliente y removiendo las materias hasta que cada canto quedase envuelto y aun impregnado de betún. Este método, que da buen resultado en algunas poblaciones inglesas, cuyas calles están sometidas á tránsito poco activo, se ensayó también en Bilbao hace pocos años, empleando, en lugar del producto asfáltico, alquitrán mineral de la fábrica

(1) *Materiales de Construcción*, 2.^a edición, págs. 180 á 187.

(2) Debauve, *Routes*.

del gas: obtúvose un pavimento más duradero que el ordinario, suave para la tracción y de poco polvo y barro. Quizá ayuden en la Gran Bretaña y en Vizcaya las condiciones climatológicas, porque en casi todos los puntos de Francia en que se ha usado el betún, en condiciones parecidas, se pulverizaba en invierno y se hacía muy pastoso en verano, dificultando la tracción.

Hacia 1850 se hicieron en Londres las primeras tentativas para afirmar calles con asfalto comprimido; cuatro años después en París, por los Ingenieros Homberg y Vaudrey, y desde entonces han adquirido estos pavimentos extensión considerable en las poblaciones más importantes del mundo. En las dos capitales citadas, en Berlín, en Nueva York, en Washington, en localidades de climas bien distintos, producen excelentes resultados, y los pocos fracasos ocurridos se explican por mala ejecución ó materiales inadecuados. En Berlín se han propagado en tales términos, que contando en 1876 sólo con 10.000 metros cuadrados de vías asfaltadas, llegaba el área en 1884 á 320.000 (1).

El fundamento de los firmes de asfalto comprimido estriba en reconstituir la roca primitiva, después de haberla desagregado y extendido sobre un suelo resistente. La invención del sistema fué casual: las carretas que transportaban la piedra de las canteras de Seyssel á las fábricas de tortas bituminosas, dejaban caer fragmentos en el camino, los cuales, al calentarse por el sol, crepitan espontáneamente, y al comprimirse poco á poco el polvillo por la acción de las ruedas de los vehículos, se formaba una costra sólida, que no difería en esencia de la que hoy se establece en calles de primer orden. El Ingeniero suizo Sr. Mérian aprovechó la lección y construyó en 1849 un firme asfáltico en la carretera cantonal de Val-de-Travers.

La capa bituminosa ha de asentarse en base sólida, que es, por lo común, un lecho de hormigón de cemento de Portland, análogo en un todo al que se describió al hablar de los entarugados que se construyen en la actualidad en Madrid y otras capitales. Pero la cimentación puede asimismo ser un firme ordinario de piedra machacada, de superficie tersa y cubierto con una película de mortero

(1) Malo, *Rapport à la Société d'Ingénieurs Civils*.

de cemento; ó bien un adoquinado cuyas juntas se llenen de argamasa en los 2 ó 3 centímetros superiores, cubriéndolo asimismo con aquella mezcla.

VENTAJAS É INCONVENIENTES.—Antes de entrar en algunos pormenores de construcción, se señalarán los principales inconvenientes y ventajas del asfalto comprimido. Figuran entre aquéllos:

1.º Los firmes resultan, como los entarugados, muy resbaladizos, si bien no ofrecen temor de ninguna especie cuando las rasantes no tienen inclinación superior al 2 por 100, sobre todo si se limpian bien en todas las estaciones y se enarenan en épocas de heladas y de barro pegajosos.

2.º En el coeficiente de tracción, ó sea en la relación del esfuerzo á la carga arrastrada, tienen más influencia las variaciones termométricas que en los firmes de piedra partida, adoquines ó tarugos. En tiempo muy frío el betún se endurece y el tiro se efectúa con tanta facilidad como en un enlosado; en cambio, durante los fuertes calores de verano, la masa se hace algo pastosa y la tracción puede compararse á la que requiere el macadam. Este defecto no tiene la importancia que generalmente se le atribuye: es opinión muy común que en Madrid, por ejemplo, no puede pensarse en asfaltar las calles, porque la superficie se pondría tan blanda en el estío, que sería imposible el tránsito de vehículos. Á esta objeción se responde con un hecho que no admite réplica: en Nueva York, cuyo clima es de los más duros en las estaciones extremas, el asfalto da admirable resultado, aun en épocas calurosas, siempre que se prepare convenientemente. Muy pronto se puntualizará un caso que no deja lugar á la menor duda.

3.º La experiencia demuestra que para que el asfalto se ligue bien con el cimientó, es indispensable que éste se halle perfectamente seco, de suerte que ni las construcciones ni los reparos pueden efectuarse en condiciones adecuadas, en épocas de lluvia ó humedad. Claro es que respecto de las obras nuevas la dificultad desaparece, porque nada obliga á que se emprendan en tiempo poco á propósito; mas no sucede lo mismo con los trabajos de conservación, cuyo retraso produce funestos resultados, á causa de la entidad que adquieren los desperfectos y de las molestias que

mientras tanto ocasionan al público. Claro es que tomando precauciones especiales, como la de operar á cubierto y ejercer vigilancia incesante, sería factible vencer las dificultades; pero en la práctica no es sencilla la observancia de reglas minuciosas que, por otra parte, ocasionan siempre dispendios considerables.

4.º El establecimiento de firmes asfálticos no es prudente cuando las canalizaciones urbanas, sobre todo la de gas, van por el centro de la calle. Además de los obstáculos que se indicaron en el artículo relativo á entarugados, se presenta otro en el caso actual. Las fugas no se advierten en seguida; el fluido acaba siempre por llegar al asfalto, y le hace experimentar una alteración, que se va propagando hasta la superficie, y cuyo efecto es reblandecer el betún, hasta el punto de no resistir á las acciones de las ruedas y de los cascos de las caballerías.

5.º Es sabido que la mayor parte de los medios que se han intentado para preparar asfaltos artificiales, impregnando de betún las calizas, han fracasado, porque los productos están lejos de reunir las propiedades que caracterizan á los extraídos de canteras. Para asegurar buen éxito es conveniente que la base de las mezclas sean asfaltos naturales; y como las formaciones geológicas que los suministran son escasas, se comprende que si continúa extendiéndose su aplicación á afirmados, subirá el precio, crecido ya de suyo, hasta hacerlos económicamente inaceptables. No obstante, hay que reconocer que en estos últimos tiempos ha adelantado algo la industria, en especial en América, gracias á reemplazar la caliza con arena, y á introducir en el amasijo aceites pesados, como se indicará en este mismo artículo.

El coste de los firmes bituminosos, la limitación de pendientes que requieren, y los utensilios que se usan en la construcción y reparos, justifican que no deba pensarse en asfaltar las carreteras propiamente dichas, reservando para calles este género de pavimento.

Enfrente de las dificultades y defectos que se han puntualizado, el asfalto comprimido goza de cualidades excelentes, que explican el gran desarrollo que van adquiriendo los firmes de aquel material en la vialidad urbana. Éstos, lo propio que los entarugados, requieren poca tracción en casi todos los días del año; amortiguan

el ruido y las vibraciones, y reúnen condiciones aceptables siempre que las pendientes no sean superiores al 2 por 100, conforme se indicó, y que el tránsito de carros y carretas no pase de los límites ordinarios en calles frecuentadas: para circulaciones excesivas, como la que se verifica en algún trozo de Broadway, en Nueva York, en que por cada sección transversal pasan diariamente de 12 á 14.000 vehículos de todas clases, se echa de ver desde luego que convendrá adoptar pavimentos algo rugosos y que presenten numerosas juntas para evitar resbalones, pues en esas vías excepcionales, en las cuales es imposible mantener seca la superficie, que se moja continuamente con la orina de los motores, el asfalto daría lugar á repetidos deslizamientos.

Pero aparte de las ventajas comunes á los firmes que se estudian y á los entarugados, poseen aquéllos otras especiales, sobre las que conviene llamar la atención. Son las siguientes:

1.^a Los firmes asfálticos tienen mucha resistencia. Cita Gillmore el caso notable de haber pasado en la última semana de Junio, por el asfalto de la 5.^a avenida en Nueva York, un camión de 3 toneladas de peso, cargado con una caldera que pesaba 21, sin dejar el menor surco: prueba este hecho, no sólo las presiones considerables que estos pavimentos pueden soportar, sino que la substancia bituminosa no se había reblandecido á consecuencia del calor. Punto es éste del mayor interés, á que se consagrarán pronto algunos renglones.

2.^a El desgaste de la capa asfáltica es casi insignificante, con la circunstancia de que á medida que disminuye el espesor, aumenta el peso específico, ó lo que es lo mismo, el tránsito va comprimiendo más y más el afirmado. En Londres se ha comprobado, en una calle de las de mayor movimiento, que al cabo de cuatro años el grueso del asfalto se había reducido en $\frac{1}{10}$, creciendo en la misma relación el peso de la unidad de volumen. En la calle Bergère, en París, en quince años, el espesor menguó 12,5 por 100, mientras que el peso absoluto tan sólo 5 por 100.

3.^a Los pavimentos asfálticos no producen polvo y, por consiguiente, tampoco barro. Por lo demás, se limpian con mucha más facilidad que los adoquinados y entarugados, entre otras causas, por carecer de juntas.

4.* La misma ausencia de uniones y la impermeabilidad de la capa, impiden la absorción de sustancias que por su fermentación den lugar á emanaciones deletéreas. Desde el punto de vista de salubridad, están contestes los higienistas en colocar en primer lugar á los firmes de asfalto comprimido; en segundo á los de adoquines, y en tercero á los de tarugos.

La lectura atenta de cuanto precede habrá llevado al ánimo el convencimiento de que, en el estado actual, no hay más soluciones para afirmados de carretera que los de piedra partida ó los empedrados, siendo, por lo común, preferibles aquéllos. En vías urbanas cabe elegir entre los mismos dos sistemas, los entarugados y el asfalto comprimido: cada uno tiene ventajas é inconvenientes que habrán de pesarse antes de adoptar solución definitiva; en una misma población, es seguro que no convendrá idéntica clase de firme para todas sus calles, y habrá que practicar ensayos, pues, por desgracia, el problema de la vialidad urbana está lejos aún de hallarse resuelto. No hay para qué decir que en la elección que se haga entrará como factor importante la economía, asunto sobre el cual nada puede precisarse, pues que las circunstancias locales tendrán influencia decisiva (1). En los renglones anteriores nada se dice acerca de los resultados de algunos firmes, como los de ladrillos embetunados, que ya se han descrito, y los de adoquines asfálticos artificiales, que pronto se reseñarán, porque son demasiado modernos para que se puedan aducir datos experimentales.

EJECUCIÓN DE LOS FIRMES DE ASFALTO COMPRIMIDO.—En ge-

(1) Es curiosa la estadística de pavimentos usados en París, que se estampa á continuación tomándola de la Memoria ya citada del Sr. Brown Vibert, y advirtiendo que los datos se refieren á 31 de Diciembre de 1891:

| | Metros cuadrados. |
|------------------------------|-------------------|
| Adoquines | 6.300.000 |
| Macadam | 1.560.000 |
| Entarugados | 540.000 |
| Asfalto comprimido | 300.000 |
| TOTAL | 8.700.000 |

neral se cimientan sobre un lecho de hormigón hidráulico, que se construye lo mismo que el de los entarugados, cuidando de que la capa de mortero que lo cubre afecte con exactitud el perfil que haya de darse al firme. Si el subsuelo es resistente, suele tener el nuégado 0^m,15 de grueso, y casi nunca pasa de 0^m,25 si el terreno natural es húmedo ó arcilloso. En cuanto á las dosis de los ingredientes, son adecuadas las que se expresaron al hablar de los firmes de madera, aunque á veces, sobre todo en los Estados Unidos, se usa una mezcla de cal ordinaria y cemento, en lugar del Portland. Es requisito primordial que la capa bituminosa se asiente en cimiento sólido y perfectamente seco: si al extender el asfalto está húmedo el hormigón, se vaporiza el agua, abriéndose paso á través del betún, que se llena de grietecillas, dando aspecto de mosaico á la superficie, y el paso de los vehículos, lejos de hacer que se suelden las partículas, aplasta y desagrega la masa. Á fin de que no se produzcan efectos análogos, es preciso también que el cimiento no presente depresión alguna y que ofrezca bastante resistencia para conservarse terso y perfilado, bajo la acción de las cargas más pesadas que se arrastren por la vía.

En París se usa con gran éxito para formar la costra superficial el asfalto de Seyssel: los panes se parten en cilindros acanalados, pulverizándose después los fragmentos en un triturador de Carr, compuesto de cuatro linternas. Mas hay que advertir que un asfalto que dé excelentes resultados en una localidad, podrá ser detestable en otra de condiciones climatológicas distintas. Los Ingenieros norteamericanos admiten que los betunes están constituidos por dos principios inmediatos, la *petrolina* y la *asfaltina*, que es necesario estén en proporción determinada para que la substancia no se ablande por el calor ni se haga quebradiza en épocas de grandes fríos; un exceso de petrolina produce el primer efecto, y el segundo se debe á preponderancia de asfaltina. Fundados en esta teoría, más ó menos exacta, pero que parece confirmada por la práctica, mezclan en proporciones variables para cada caso, y á temperatura de 120 á 140° centígrados, betunes naturales de Trinidad, Cuba, Canadá ú otras procedencias, con aceites pesados de petróleo ó residuos del refino y con arena muy fina, que contenga cerca del 50 por 100 de carbonato cálcico, logran-

do así formar asfaltos artificiales á propósito y en armonía con las condiciones especiales de la localidad. Así se explica que modificado el asfalto de Seyssel, no se ablande en Nueva York ni en Boston durante los fuertes calores estivales (1), y se demuestra que hay que acudir á ensayos directos para la elección de pasta bituminosa.

Sea como quiera, el polvillo asfáltico se lleva á un tostador cilíndrico, horizontal y giratorio, de unas $3\frac{1}{2}$ toneladas de cabida, que se asemeja en su forma y disposición á las vasijas que se usan para tostar café. El combustible es carbón mineral, y en la torrefacción se invierte hora y cuarto, conduciendo en seguida la pasta en vehículos especiales al sitio en que se ha de emplear. En el trayecto apenas se enfría, gracias á su poca conductibilidad.

Sobre el cimientto se extiende la capa de asfalto, dándole espesor constante que oscila entre $0^m,04$ y $0^m,075$, según los casos, y atendiendo, en especial, á la entidad y naturaleza del tráfico. Procede advertir que los guarismos señalados se refieren al grueso con que ha de quedar la capa después de comprimida, y que hay que aumentarlos en cosa del 40 por 100 al efectuar la extensión.

Se acostumbra echar el asfalto por fajas de $1^m,20$ á $1^m,80$ de anchura, que ocupan todo el perfil transversal del firme, cuidando de cortar el extremo de cada uno como indica la figura 58.^a, que representa una sección en sentido del eje, con objeto de que liguen bien dos fajas consecutivas. Si por cualquier causa se enfríase el reborde de la porción extendida, antes de aplicar la inmediata, se embetuna aquél con una brocha.

La extensión se verifica con palas ó rastras de hierro, y la compresión con pisones, también metálicos, de sección circular, cuadrada ó rectangular, como el que se dibuja en la figura 59.^a, de 7 ú 8 kilogramos de peso: los golpes se dan con suavidad al principio, aumentando gradualmente la energía. Termínase de consolidar el pavimento con un alisador de hierro, que pesa unos 17 kilogramos, y que va provisto de un mango inclinado (figura

(1) Para mayores detalles y explicación de los procedimientos, véase la obra citada de Gillmore.

60.^a). Todos los utensilios se calientan para que el asfalto no se enfríe.

Es práctica corriente en Francia é Inglaterra, después de apisonar y antes de la alisadura, pasar uno ó más rodillos pequeños de 250 á 500 kilogramos, comenzando por los menos y concluyendo por los más pesados. Gillmore ataca al sistema fundándose en que el asfalto, si está aún correoso, se levanta por delante de los cilindros, y si se ha enfriado algo puede arrancarse la chapa.

Cuando la superficie está ya casi fría y bien alisada, se pasa un doble rodillo de hierro colado, de 1^m,50 de diámetro, é inmediatamente se enarena y abre al tránsito público.

REPAROS.—Son muy fáciles de ejecutar y queda la superficie con gran regularidad, siempre que se lleven á cabo en tiempo seco: basta recortar con una hacha pequeña los bordes de la depresión; extraer la parte de substancia bituminosa que limitan (la cual puede aprovecharse, si no se ha alterado, en preparaciones ulteriores), y aplicar la nueva, siguiendo las reglas establecidas en los párrafos que anteceden. Lo que no se ha logrado hasta ahora es poder recargar directamente los baches, porque el polvo asfáltico en capa demasiado tenue no conserva bastante calor para soldarse al betún ya comprimido (1).

Pavimentos de prismas asfálticos (2).—Conservar las ventajas de los firmes de asfalto comprimido, disminuyendo á la vez los inconvenientes que presenta la tersura de la superficie para su aplicación á tramos algo inclinados y para el movimiento de las caballerías, es problema que se estudia hace tiempo y que parece se está en camino de resolver. El principio es lógico á la par que sencillo: en lugar de echar la capa bituminosa y comprimirla después, empiécese por moldear prismas asfálticos, sométanse á la presión que se juzgue oportuna y asiéntense luego sobre la base de hormigón, del mismo modo que se colocan los adoquines comunes, rellenando las uniones con pasta bituminosa. De este modo se logrará que, á causa de las juntas, agarren bien los cascos de los animales, y que el pavimento, sin perder la im-

(1) *Memoria* de Homberg.

(2) Gillmore, obra citada.

permeabilidad, resulte más homogéneo y comprimido, pues que los prismas se han preparado con presiones más enérgicas y mejor repartidas que las que actúan en los firmes asfaltados comunes. Tal es en suma, el procedimiento que se sigue hace pocos años y con muy buen éxito, al parecer, en San Francisco de California.

Fabrécase allí la pasta con betún de Trinidad (1), aceites densos y caliza ó escorias en polvo; pero claro es que nada impediría usar el asfalto de Seyssel ó cualquier otra caliza ó esquisto bituminoso. Los prismas tienen 0^m,30 de longitud y sección cuadrada de 0^m,10 á 0^m,125 de lado, y se asientan como los tarugos, sobre un cimientó sólido de hormigón, piedra partida ó adoquinado, idéntico al que se emplea para el asfalto comprimido, cuidando de llenar las juntas con la misma pasta de que se construyen los prismas. Éstos reciben la presión de una tonelada por pulgada cuadrada (próximamente 160 kilogramos por centímetro cuadrado), aplicándola á la cara menor.

Cuando están recién colocados los adoquines, las juntas son tan estrechas que la superficie no es menos lisa que la de los pavimentos asfálticos ordinarios: al poco tiempo, la acción del tráfico las ensancha algún tanto, y permiten que los motores se muevan sin temor á resbalones. Cuerda es la observación de Gillmore de que podía realizarse desde el principio esta ventaja, achaflando ligeramente las aristas superiores de los prismas.

Otra ventaja propia del sistema que se examina es que no sólo se simplifican los trabajos de reparación, sino que los adoquines que se extraigan por haberse deformado pueden recrecerse aglutinando pasta nueva y volverse á usar en el mismo ú otro firme.

No obstante lo expuesto y lo racional del método, hay que aguardar á conocer los resultados prácticos de los ensayos que se efectúan en los Estados Unidos.

(1) *Materiales de construcción*, 2.^a edición, pág. 186.

VII.—ANDENES Y ACERAS.

Andenes.—Nada hay que decir respecto á los paseos de las carreteras, que sólo se acostumbra cubrir con una capa de recebo. Los andenes elevados, conforme se dijo al describir las obras de tierra, se mejoran para el tránsito de peatones dejando crecer la hierba ó extendiendo sobre ellos cascajo ó gravilla. Pero á veces se perfeccionan más aún, ya echando piedra partida en un espesor que no excede de 0^m,08 á 0^m,10, ya empedrándolos con cuñas ó adoquines de desecho, ya enlosándolos y convirtiéndolos en aceras. De lo que debe cuidarse es de proteger el borde interior de los andenes contra la acción de las ruedas y de las aguas, cuando éstas corren por regueros laterales como en las calles: al efecto, se establece una fila de maestras, constituídas por adoquines usados ó pedruscos, ó en último término por piedras irregulares, si bien presentan éstas el inconveniente de su poca fijeza.

Aceras.—Llámanse así los pasos para peatones, elevados sobre el resto del piso, cubiertos de muy diversas maneras, y que se construyen en calles, plazas, paseos, etc. Conócense desde muy antiguo, como lo comprueban las ruinas de Pompeya y de Numancia, en las que se ven contenidos en su perímetro por cintas de sillares, acunados á trechos por otros más elevados, que, según algunos escritores, se destinaban á servir de apeaderos ó estribos á los jinetes (1).

Lo más común hoy en las principales poblaciones del mundo es cubrir las aceras con losas, betún asfáltico ó mortero de cemento; pero se usan á veces morrillos, pastas cerámicas y madera. Sea cual fuere el método que se siga, se da á las aceras una altura de 0^m,08 á 0^m,15 sobre los regueros ó arroyos, para que no las invadan los vehículos, y una inclinación hacia aquéllos de 3 á 5 por 100, á fin de que las aguas que caen sobre las mismas y las que recogen de los edificios contiguos tengan fácil salida. No estará de más observar que si el afirmado para vehículos es de

(1) Clairac, *Diccionario de Arquitectura é Ingeniería* (tomo I: Madrid, 1877).

pedra machacada, se acostumbra adoquinar ó acuñar los regueros para evitar desperfectos ocasionados por la corriente.

El ancho de las aceras depende del de la calle y del movimiento relativo de carruajes y gente de á pie: como mínimo, debería ser igual al necesario para que se crucen dos personas, próximamente un metro. Sin embargo, en calles muy estrechas, como muchas de Génova, Sevilla, Granada, Córdoba, etc., para no citar más que ciudades importantes, es de todo punto imposible llegar á dicha dimensión.

ACERAS ENLOSADAS.—Están formadas por una cinta de adoquines ó losas puestas de canto, que enrasan con el pavimento y quedan á la altura conveniente sobre el arroyo. Es frecuente que las piedras del encintado tengan la forma de paralelepípedos rectos de base rectangular; pero también se les da talud hacia el exterior, como indica la figura 61.^a, para evitar que las ruedas de los vehículos las desportillen y que el arroyo tenga demasiada extensión. Cuando el terreno natural es malo, las cintas se asientan en un cimientado de arena, piedra en seco, mampostería ú hormigón, de 0^m,30 á 0^m,50 de anchura, y que baja hasta alcanzar suelo bastante resistente. Otras veces se hace que las aguas corran por debajo de las maestras, labrándolas con forma adecuada (figura 62.^a).

La acera propiamente dicha se cubre con losas de 0^m,10 á 0^m,15 de grueso, asentadas y acuñadas sobre una capa de mortero de 0^m,03 á 0^m,05, que se tiende en el fondo apisonado de la caja abierta en el suelo, si éste es sólido. En caso contrario, se establece un cimientado de arena como el de los adoquinados, ó mejor aún, un macizo de hormigón de 0^m,10 de espesor. Las juntas superficiales, que deben ser muy delgadas, se toman con argamasa hidráulica.

Según la importancia de la vía, se desbastan las losas, se labran toscamente ó se cincelan.

La piedra natural ó artificial empleada en estos enlosados, ha de ser bastante dura para no pulimentarse por el roce: la mayor parte de las rocas calizas tienen este defecto, lo que obliga á estriarlas, de no ser posible reemplazarlas con otras de mejor calidad.

En Madrid, aunque suelen usarse losas artificiales silicatadas, lo común es adoptar el granito de Guadarrama, mucho más á propósito para el paso de peatones que para el de vehículos. Los adoquines para encintar deben tener un metro de longitud mínima, 0^m,28 de tizón y anchura de 0^m,30 ó 0^m,14, según los casos, aun cuando el último guarismo es el que corresponde al tipo corriente. Las losas miden de 0^m,80 á 0^m,84 y de 0^m,50 á 0^m,60 en los dos lados visibles, y 0^m,10 de grueso.

Las aceras enlosadas son las más antiguas y en suma las mejores, si razones económicas no inducen á prescindir de la piedra. Y tan es así, que cuando el material natural es muy caro, la primera solución que ocurre es sustituirlo por otro artificial de condiciones análogas. En Bilbao se han empleado losetas de mortero de cemento de Portland, preparadas en la fábrica *La Progresiva* de la misma población: tienen color gris azulado ó amarillento y su sección presenta dibujos en cuadros de unos 0^m,08 de lado, separados por canales para el paso de las aguas. El pavimento es muy resbaladizo, si no se gradúa bien la cantidad de arena que ha de encerrar la masa.

ACERAS ASFALTADAS.—Las aceras asfaltadas se separan de los regueros con una cinta de adoquines, dispuesta de idéntico modo que cuando limita losas. Después de apisonar el fondo de la caja, se echa una capa de hormigón de 0^m,05 á 0^m,10, según la consistencia del terreno, cuidando de que la cal esté perfectamente apagada para evitar la formación de ampollas en la superficie del asfalto: sobre el nuégado se tiende un enlucido de mortero hidráulico de 0^m,01 por lo menos de espesor, y encima va el betún asfáltico mezclado con gravilla, al que se da de 0^m,015 á 0^m,025 de grueso. Nada hay que decir respecto al modo de preparar el betún (1); la gravilla tiene por objeto, no sólo disminuir el coste, sino atenuar la pastosidad del betún por la acción del calor. En las localidades en que éste sea intenso, hay que forzar la cantidad de piedra; el mal éxito de estos pavimentos en ciertas poblaciones, y entre ellas Madrid, débese sin duda á no haber graduado bien las dosis de ingredientes: basta consignar que en Sevilla han dado re-

(1) *Materiales de construcción*, 2.^a edición, pág. 185.

sultado aceptable á pesar del clima. La composición de la masa que se usa en París es la siguiente, por metro cuadrado de acera (1):

| | |
|---------------------------------|----------------|
| Betún asfáltico de Seyssel..... | 23 kilogramos. |
| Gravilla..... | 15 — |
| Betún libre..... | 1,50 — |

En una caldera especial y al pie de obra, se echa el betún libre, que facilita la fusión y que reemplaza además los aceites perdidos por evaporación; cuando se ha derretido, se añaden las tortas asfálticas que correspondan, partidas en 8 ó 10 pedazos, y se prolonga la acción del fuego hasta que toda la pasta esté fluida. Agrégase en seguida la piedra, en pequeñas cantidades, batiendo la mezcla, de suerte que todos los granos queden impregnados y envueltos por el asfalto, pudiendo entonces procederse á tender la capa, siempre que esté perfectamente seca la base de hormigón. Al efecto, un peón vierte la masa sobre aquél, valiéndose de un cazo, y otro operario la aplica y extiende con una espátula lisa, cuidando de que el espesor de la costra sea uniforme y de trabajar con suficiente rapidez para que no se enfríe el betún antes de laminarlo: para estas maniobras se necesitan oficiales prácticos é inteligentes.

Además del piso igual y agradable, las aceras asfaltadas tienen la ventaja de lo mucho que duran, á consecuencia de la lentitud con que se desgastan: de los ensayos hechos en Lyon resulta que, por término medio, resisten veinte años, cuando la capa es de 0^m,022 de grueso; pero claro es que nada puede precisarse, porque la duración ha de depender de circunstancias locales y de la entidad del tránsito. Parece que las aceras no exigen que se cubran con betún nuevo hasta que el grueso del primitivo se haya reducido á 3 ó 4 milímetros.

En cuanto á inconvenientes, aparte de lo correoso que el calor pone al asfalto, si no se ha proporcionado bien la cantidad de gravilla, hay que señalar las dificultades que ofrecen los reparos de cañerías cuando las canalizaciones van por debajo del pavimento.

(1) *Memoria de Malo.*

á causa de que éste forma superficie continua y es forzoso cortar un trozo más ó menos largo y reponer el betún, instalando al costado las calderas, con las molestias que son consiguientes para vecinos y transeuntes.

Los suelos bituminosos se aplican ventajosamente á almacenes y depósitos, mercados, claustros y galerías de planta baja, etc., desapareciendo entonces los defectos apuntados.

Hasta hace muy poco tiempo sólo se han empleado asfaltos naturales en la preparación del betún para aceras; pero comienzan ya á usarse, sobre todo en América, los artificiales, fabricados con arreglo á los principios que se expusieron en el artículo anterior.

ACERAS DE MORTERO DE CEMENTO.—Se ensayó para afirmar vías destinadas al paso de vehículos, un macizo de hormigón, cubierto por una capa de mortero; pero la experiencia demostró pronto, y en Madrid se comprobó en un trozo de la calle del Príncipe, que el suelo era demasiado liso y continuas, por tanto, las caídas de los caballos, á pesar de la imperceptible pendiente de la rasante. Este sistema, desterrado ya para el tránsito de carruajes, se halla bastante extendido para el de peatones por calles y paseos: cierto es que aun para aquéllos resulta resbaladizo; pero desaparece ese defecto estriándolo, de manera que las líneas semejen uniones de baldosas.

En la caja se construye un cimientó de hormigón hidráulico, de 0^m,08 á 0^m,10 de grueso, cuyo mortero se compone, por lo común, de cal del Teil y cemento de Portland: sobre esta base extiéndese una capa de mortero, formado de los mismos ingredientes que entran en el del hormigón, habiendo producido muy buenos resultados las proporciones de una parte en volumen de cal apagada en polvo, $\frac{3}{4}$ de cemento y 4 de arena fina y limpia. El grueso de la argamasa viene á ser de 0^m,01 á 0^m,015, cuando se ha comprimido suavemente con pisonés de calzos de hierro. Antes de que se haya endurecido demasiado se trazan juntas á mano, sirviéndose de reglas y marcadores de hierro, después de haber impreso en la masa, plástica todavía, los puntos salientes de un rodillo, que se pasa por encima: todo ello tiene por objeto aumentar los roces y facilitar el paso de la gente. Debe recordarse que el Portland se dilata sensiblemente por la acción del calor, pro-

duciéndose resquebraduras perjudiciales para la buena conservación del piso: para evitarlas conviene dejar huelgos, lo cual es fácil, pues todo se reduce á colocar de trecho en trecho juntas verdaderas, que no se distinguen á simple vista de las figuradas.

Terminada la obra, se cubre su superficie con arena ú otra substancia que la resguarde del sol y evite un endurecimiento excesivamente rápido: en esas condiciones debe permanecer á lo menos diez días, y antes de permitir el tránsito por el pavimento conviene extender una capa de arena, que no se retira hasta que transcurran dos ó tres semanas. Al cabo de un mes, contado desde que se extendió el mortero, la pasta tiene ya la mitad de la resistencia y dureza definitivas, y puede transitarse por la superficie sin temor á desperfectos. Por el sistema que se acaba de reseñar se construyó en Madrid, en 1891, la acera de uno de los costados del paseo de Recoletos.

Los suelos de argamasa así dispuestos, ofrecen el inconveniente, común á todos los formados por superficies continuas, de hacer penosos los reparos de las tuberías que vayan por debajo. Se pueden seguir dos métodos para aminorarlo. Consiste uno de ellos en vaciar el mortero entre listones de madera, cuyas aristas superiores estén exactamente á la misma altura á que haya de quedar la mezcla: el primer día sólo se llenan casillas alternadas, y al segundo las restantes, á fin de que la masa de aquéllas esté bastante dura para que no las perjudique el apisonamiento de la de las contiguas. Es oportuno untar con yeso ó aceite los bordes de los rectángulos que se preparan al principio, para impedir adherencias. De este modo, el suelo se compone en realidad de varias piezas independientes, siendo posible levantar las que se necesite para dar cima á trabajos de reparación, bien del mismo pavimento ó de las canalizaciones subterráneas.

Es más radical y seguro el sistema de fabricar losetas de cemento y asentarlas como las ordinarias: entonces el pavimento no es más que un enlosado de piedras artificiales, de que ya se trató en la página 149.

ACERAS DE MORRILLO Y DE MOSAICO.—Nada hay que añadir á lo dicho anteriormente, al describir los empedrados de morrillos.

ACERAS DE CERÁMICA.—Se consagrarán breves renglones á

las aceras de ladrillo y á las de baldosines de arcilla refractaria.

Las aceras de ladrillo son de escasa resistencia, y no conviene emplearlas más que para el servicio de propiedades particulares ó en calles de poco tránsito. Deben escogerse ladrillos recochos, que se colocan de canto y con sus aristas mayores perpendiculares ú oblicuas, con relación á la línea de fachada: se cogen las juntas con mortero, y se apoyan los prismas en un cimiento bien apisonado de gravilla ó arena, ó interponiendo á veces tablones creosotados, á fin de evitar asientos desiguales (1).

Existen fábricas de baldosines de arcilla refractaria, entre las que debe citarse la de Quaregnon (Bélgica), de la que provienen los que se usan en Bilbao. Son de aspecto y tamaño parecidos á los de cemento (pág. 149), y se colocan diagonalmente al eje de la acera. No se asientan con tanta exactitud como aquéllos, porque la contracción ocasionada por la cochura no es rigurosamente uniforme, y, por tanto, tampoco sus dimensiones; en cambio, la superficie algo rugosa da piso menos resbaladizo.

ACERAS DE MADERA.—Los entablonados que se adoptan en ciertas poblaciones de ambas Américas no deben recomendarse: la humedad los hincha y se producen alabeos que determinan roturas ó separación de piezas.

Mucho más á propósito son los entarugados construídos por los mismos métodos que los destinados al paso de vehículos, aunque disminuyendo el grueso de la cimentación, que no ha de pasar, si es de hormigón, de 0^m,08 á 0^m,10. Los encintados pueden construirse con adoquines, y también con tarugos de mayor tizón que los corrientes. El piso es suave y agradable para los peatones, desapareciendo casi todos los defectos que se le imputan cuando se destina á la tracción.

(1) Gillmore, obra citada