

sultado fué completamente satisfactorio, llenándose el sifón en pocos minutos, sin que se notara por ello la más ligera deformación.

En este lisonjero éxito parte es debida a la inteli-

que secundó con gran celo e inteligencia las órdenes recibidas. También me es grato mencionar, por el auxilio que me prestaron en la formación del proyecto, desarrollando cálculos y confeccionando gráfi-

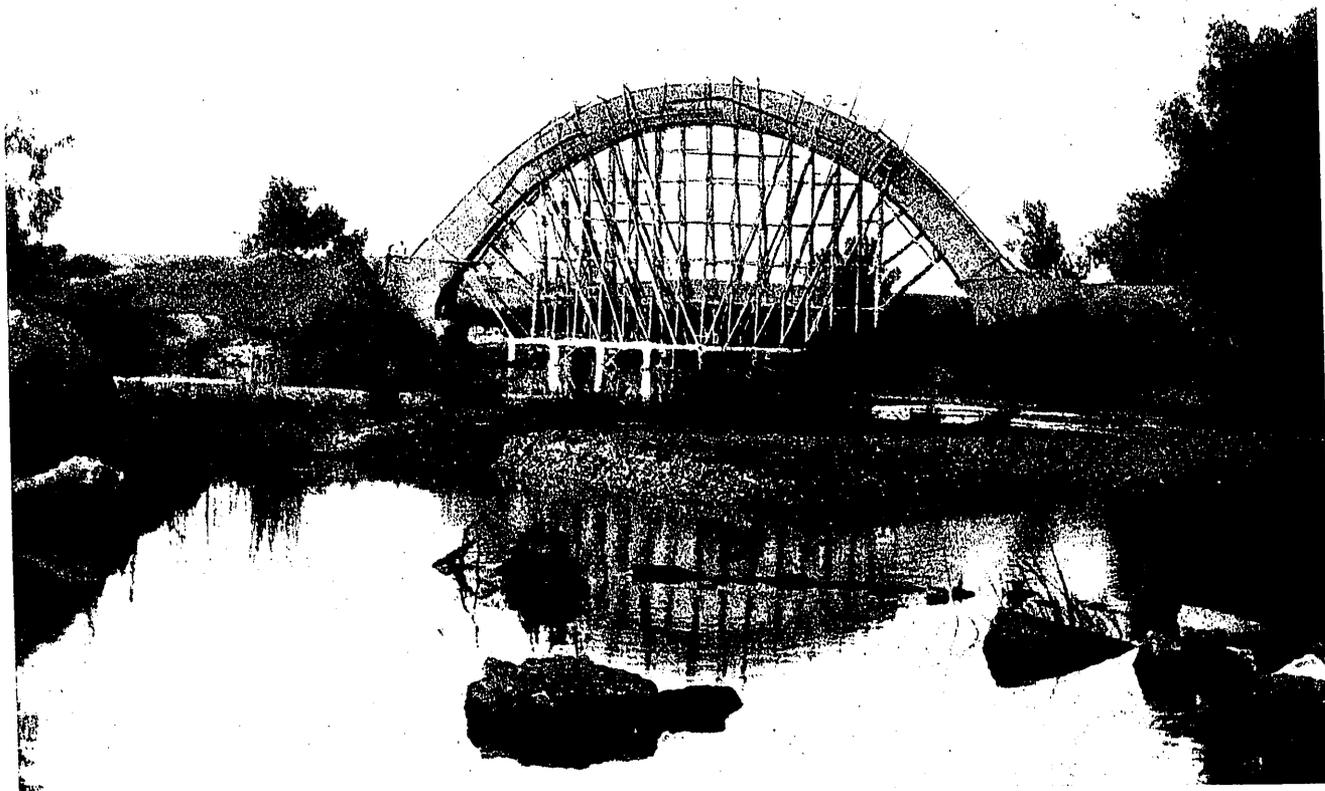


Fig. 8.ª: Arco del Majacete sobre su cimbra.

gente colaboración que me prestaran en la vigilancia de las obras, el entonces auxiliar y hoy ingeniero director de aquéllas D. Enrique Godel, y en la ejecución de las mismas el destajista D. Manuel Távora,

cos, a los ingenieros entonces a mis órdenes D. Luis Sánchez Guerra y D. Ramón Serret.

Pedro M. GONZÁLEZ QUIJANO
ex director del pantano del Guadalcañi.

Algunos datos y observaciones prácticas acerca de los adoquinados

Es de actualidad el problema de los adoquinados. Las más importantes poblaciones de España renuevan sus pavimentos o se disponen a ello, y las travesías y carreteras radiales de los centros de intenso tráfico se orientan hacia la sustitución del afirmado por más resistentes y perfectas superficies de rodadura.

Entre todas ellas, comprendidas las modernas calzadas de hormigón, los adoquinados son los mejores pavimentos que pueden construirse para la circulación general, desde todos los puntos de vista, excepto el económico de primer establecimiento. Claro es que precisa se dispongan en armonía con las necesidades del tránsito moderno, caracterizado por los grandes pesos y las grandes velocidades. Su empleo,

exclusivamente urbano hace poco tiempo, se generaliza y conviene a las vías que rehuyan la frecuente reparación.

Con piedras duras, bien cimentadas y concertadas, los adoquinados igualan o superan a todos los otros pavimentos en los siguientes aspectos:

Resistencia a la deformación permanente, suavidad de la rodadura, resbalamiento, grandes cargas unitarias, continuidad, limpieza, higiene, estética y conservación barata, cómoda y fácil.

En los adoquinados debe estudiarse la clase de piedra y la constitución y forma del pavimento, en relación con el subsuelo, el tránsito y las conveniencias o disponibilidades económicas.

I

Naturaleza de los materiales.

Pueden emplearse toda clase de rocas hipogénicas y sedimentarias, excepto las arcillosas y parte de las calizas, con tal de que sean densas y resistentes a la compresión, al choque y, sobre todo, al rozamiento, coeficiente de mucha importancia en los adoquinados. Además, no han de ser heladizas.

Los comprimidos artificiales pueden sustituir en algunos casos a las piedras naturales, pero no en las calzadas en que haya tracción animal, pues son excesivamente resbaladizos. Además, su costo es tan grande o mayor que el de las piedras en las regiones en que éstas se encuentran cerca de los centros de consumo.

Son preferibles, en general, los microgranitos, pórfidos y basaltos. Las calizas se desgastan demasiado y a ellas siguen los basaltos, lo que no tiene importancia en tramos horizontales y de tráfico indiferente, pero sí en los inclinados o de circulación encauzada, pues resbalan los tractores y se producen carriladas.

A continuación se indican los coeficientes obtenidos por ensayo de algunos granitos porfídicos, pórfidos y basaltos:

Clase y procedencia del material	Densidad	Rotura por compresión	Desgaste por rozamiento
		Kg. por cm ²	Mm ² por cm ²
Granito porfídico de Avila.	2,653	2 422	69
Granito porfídico de «La Colilla» (Avila).....	3,074	2 370	70
Granito porfídico de Zarzalejo (Madrid).....	2,581	1 332	96
Granito porfídico, meteorizado, de Zarzalejo (Madrid).....	2,640	1 157	200
Pórfido de Colmenar Viejo (Madrid).....	2,800	2 278	232
Basalto de Aldea del Rey (Ciudad Real).....	2,588	2 106	370
Basalto de Veredas (Ciudad Real).....	2,977	2 388	307
Basalto de El Tardío (Ciudad Real).....	3,075	2 056	449

Estos ensayos se realizaron en el laboratorio de la Escuela de Caminos, desgastando en la máquina de disco giratorio cubos de 7 cms de lado, labrados a puntero y alisados previamente al ensayo en la misma máquina hasta obtener las dimensiones exactas. Se desgastaron en cada cubo las tres caras de un triedro, con recorrido de 1 000 metros lineales de la circunferencia media del disco contra cada cara, durando diez y ocho minutos cada recorrido y empleando 0,82 grs de limadura de acero por cm². Se varió continuamente el peso sobre el cubo de ensayo para obtener presión constante contra el disco y la limadura de 612,24 grs por cm², y se tomó la media aritmética de los resultados obtenidos sobre las tres caras como coeficiente de desgaste por rozamiento.

Con este preciso e invariable procedimiento, los desgastes de los diversos materiales son compara-

bles entre sí y acusan una gran superioridad del granito sobre el pórfido y el basalto.

También son comparables las densidades, que no tienen importancia directa sino por su relación con otras constantes físicas y mecánicas.

En cuanto a la rotura por compresión, los ensayos de granitos y pórfidos se han hecho aplastando cubos de 6,66 cms de arista, y los de basalto, cubos de 5,68 cms, restos de los cubos desgastados; de modo que, para comparar los coeficientes obtenidos en las distintas piedras, hay que reducir algo los de los basaltos, que, en definitiva, no difieren mucho de los del granito y del pórfido.

El desgaste por rozamiento es esencial en los adoquinados que han de servir de tracción de sangre. Son deseables desgastes máximos de 100 mm³ por cm² en rasantes fuertes, de un 6 por 100, y se pueden admitir hasta 300 mm³ por cm² en tramos horizontales.

La rotura por compresión de las piedras ensayadas satisface con mucho las necesidades prácticas. Trabajando acunados los adoquines entre un cimiento de hormigón y las cargas usuales, no se ha observado rotura de ninguno en cerca de 400 000 m² de superficie adoquinada últimamente en Madrid.

A primera vista, parece importante un cuarto coeficiente: la rotura por choque. Lo es en pavimentos desiguales, que no deben hacerse. La continuidad, sin resaltos, de superficie de calzada, le hace pasar a segundo término, pero es, sin duda, cualidad antagónica con la dureza y, por tanto, con el desgaste por rozamiento, que ocupa el primero.

En resumen: deben preferirse para los adoquinados las piedras naturales de textura microgranítica, más duras que tenaces y no heladizas. La práctica sanciona las enseñanzas de la teoría.

II

Constitución del pavimento adoquinado.

Hay dos sistemas de adoquinados completamente distintos: los deformables y los rígidos. Esta deformabilidad no es la elástica, sino en cierto modo la permanente. El pavimento elástico se aproxima más al adoquinado rígido que al deformable.

Antiguamente se hacían todos los adoquinados sobre arena, y aun hoy mismo se hacen así calzadas urbanas de poco tránsito, no faltando ingenieros que preconizan el sistema para las de circulación intensa.

Los adoquinados rígidos, sobre cimiento de hormigón y rejuntados con mortero de cemento, son incomparablemente más perfectos, con poca diferencia de coste.

Los adoquinados sobre arena hacen, ciertamente, más blanda y apagada la rodadura; son más baratos de primer establecimiento y se prestan mejor a las calas, pero, en cambio, necesitan una esmeradísima conservación, que anula su baratura y es molesta al tránsito; tienen siempre prácticamente baches y, sobre todo, son antiligiénicos, en especial sobre subsuelos impermeables. Aun sobre subsuelo arenoso, su discontinuidad no permite una limpieza tan absoluta como en los adoquinados rejuntados con mortero de cemento, rejuntado que exige la rigidez complementaria del cimiento de hormigón. Si

el riego es con agua a fuerte presión—como ocurre en Madrid y otras muchas poblaciones—, la junta de arena desaparece y los adoquines quedan sueltos y movelizos.

Dentro del tipo de adoquinado rígido se obtiene tanto mejor pavimento cuanto mejores son los hormigones y morteros; pero la obra, cara por su naturaleza, debe tener un límite económico, armónico con las disponibilidades de la entidad que la ejecute y con el servicio que vaya a prestar. Así, en Inglaterra, país rico y amante de la buena construcción, los adoquinados se asientan sobre cimientos de hormigón de 40, 50 y más centímetros de espesor. No hace falta tanto; estudiaremos separadamente todas las partes que constituyen el adoquinado y que, aparte los adoquines, son: cimiento, lecho y junta lateral.

Cimiento.—Su espesor depende de las dosificaciones. Un límite mínimo es el de 15 cms de espesor de hormigón dosificado con 125 kgs de cemento, 500 litros de arena de río y un metro cúbico de grava. Es preferible aumentar el espesor del cimiento a 20 cms que hacer más rica la dosificación.

Mortero del lecho.—Debe ser lo indispensable para embeber las diferencias de tizón de los adoquines. Bastan 2 a 3 cms de espesor medio.

Para que los adoquinadores puedan manejar el mortero del lecho fácilmente, conviene que su consistencia sea seca; pero siempre verdadero mortero, con agua y batido. Se dosifica con 150 kgs de cemento por m³ de arena de río, y recibe luego cemento del mortero fluido y rico de la junta lateral. Esta dosificación mínima conviene aumentarla a 200 kgs de cemento, si hay posibilidad económica.

Adoquines.—No han de ser muy grandes ni muy pequeños, debiendo disminuir sus dimensiones con las pendientes de las calzadas para multiplicar las juntas. Es tipo medio 17 a 22 cms de largo, 10 a 12 cms de ancho y 13 a 15 cms de tizón.

La disminución de tizón es muy conveniente, porque abarata mucho los transportes para una misma superficie pavimentada, y los transportes son muy caros. Al disminuir el tizón hay que disminuir también el largo, a fin de procurar buen asiento a la pieza—lecho en relación con la junta lateral—, y se llega al *petit pavé* de los franceses, muy bueno para el tránsito ligero, aunque sea intenso, formado por adoquines cúbicos de 8 a 10 cms de lado. Para la gran carretería no es aconsejable.

En horizontal pueden hacerse adoquines de 26 × 13 × 15 cms, y en fuertes rampas, del 6 por 100, rebajarse a 18 × 9 × 13 cms. Los adoquines grandes abaratan la mano de obra del pavimento y el rejuntado lateral.

Los adoquines deben tener sus caras laterales ligeramente ataludadas, para permitir juntas de superficie muy estrechas. La labra evitará rugosidades convexas, más que cóncavas, con el mismo objeto.

Es muy importante que las juntas sean lo más pequeñas posible. Con juntas de 1 cm se han observado dislocaciones, a pesar del rejuntado con mortero de cemento. Debe procurarse que la junta media de superficie no sea superior a 4 mm, y que todas las piezas queden bien acuñadas antes de rejuntar.

Mortero de la junta lateral.—El cimiento de hormigón no exige que el adoquinado se rejunte con mortero, pero es convenientísimo su empleo para dar continuidad e impermeabilidad al pavimento.

El mortero para las juntas laterales debe ser de consistencia fluida, dosificado como mínimo con 400 kgs de cemento por m³ de arena muy fina, a la que se mezcla un poco de arena de miga, para dar cuerpo al mortero y evitar que se deslave antes de su empleo. La presencia de pequeña cantidad de arcilla, muy diluida, no perjudica al fraguado.

El mortero fluido se bate constantemente en una artesa, de donde se toma en jarras con pico vertiente, que manejan peones menores, y llenan con ellas las juntas del adoquinado por los bebederos naturales. Los chicos agitan constantemente el mortero en las jarras con espátulas. El rejuntado se hace en dos veces, hurgando con la espátula en las juntas después de la primera, para que no queden silbatos, repicando el adoquinado con pisón y barras, para que entre bien el mortero y quede igual el paramento y calzados los adoquines, y completando después las mermas del mortero en las juntas, también con las jarras de pico. Al final, se vierte una capa del mismo mortero fluido sobre todo el adoquinado y se barre con escobas, lo que asegura la perfección de las juntas, y se retunden éstas y señalan con hierros alisadores.

Si es posible, conviene aumentar la dosis de cemento hasta 500 ó 600 kgs, según la marca.

III

Forma del pavimento.

La más conveniente depende en cada caso de sus particulares circunstancias: ancho de la calzada, pendiente longitudinal, pistas especiales establecidas en ella, etc., etc.

Debe procurarse asegurar la evacuación rápida de las aguas, asignando pendientes medias transversales del 3 por 100 en los tramos horizontales, que pueden reducirse en las rasantes más fuertes si lo aconsejan otras circunstancias, bien entendido que un fuerte bombeo no molesta en absoluto a la circulación, como ha podido comprobarse en un tramo del 10 por 100 de pendiente longitudinal y 6,7 por 100 de transversal, dado al tránsito en Madrid, en la calle de Lope de Vega, sin inconveniente práctico.

El perfil transversal puede ser circular o parabólico. Para los efectos constructivos, la ecuación de la circunferencia, referida a la horizontal del vértice del perfil y a la vertical del eje, es:

$$V^2 + h^2 - \frac{a}{p} V = 0;$$

siendo a el semiancho de la calzada y p la pendiente transversal.

La ecuación de la parábola, con los mismos ejes y notaciones, es:

$$h^2 = \frac{a}{p} V.$$

No hay inconveniente en emplear curvas distintas en los dos semiperfiles de un transversal, con tal de acordarlas en su vértice.

Es muy frecuente la existencia de tranvías en las calles y en las carreteras, precisamente en las que deben adoquinarse por su proximidad a las poblaciones. La igualdad de nivel entre los dos rieles en los tramos rectos obliga a variar el perfil transversal de la calzada, haciéndolo línea mixta de curvas y rectas horizontales, de modo que no quede en él ningún punto bajo que impida el desagüe hacia los arroyos laterales.

IV Andenes.

Complemento importante de las calzadas son los andenes, que además de servir, naturalmente, para los peatones, contribuyen poderosamente a la estética de la calle.

Éstos andenes deben estar más elevados que los extremos laterales de la calzada, apoyándose en bordillos de variadas dimensiones, según la importancia de la vía y la anchura de los andenes.

Realmente, ésta es la que debe decidir, pues los paseos o aceras estrechos dicen mal con bordillo grande, y los anchos lo necesitan desde el punto de vista estético. Son recomendables los tipos de 14 por 28 cms y de 20 por 30 cms de sección transversal, puestos de canto.

La pestaña vista de bordillo, o sea la altura del andén, debe variar con el ancho de la calzada, desde 12 cms para calzadas de 4 m hasta 16 cms para las superiores a 10 m. Más altura es incómoda a los peatones.

Dicha pestaña no debe ser vertical, pues da la impresión de desplome, sino con talud de $\frac{1}{3}$. El bordillo no tendrá, por tanto, sección completamente rectangular. Debe ponerse sobre cimiento de hormigón, prolongación del de la calzada.

Los pasos de carruaje a las edificaciones adyacentes deben suprimirse, sustituyéndose por tabletes portátiles que ganen en rampa la altura del bordillo. Si esto no es posible, por razón de servidumbres legales, los pasos se curarán completamente con la acera en dos tercios de su anchura, a contar desde la fachada, y el otro tercio bajará a buscar un bordillo de testa, a lo largo del arroyo, alto de 6 cms y con su arista redondeada en la zona de paso de las ruedas. Si ha de pasar por ellos carretería, se harán de adoquín; si sólo vehículos ligeros, da muy buen resultado, y se señala muy bien, la loseta exagonal de mortero de cemento comprimido. En planta, los bordillos transversales a la acera, que limitan el paso de carruajes, se enlazan con los bordillos generales de la calzada por medio de piezas curvas, de distintos radios, para formar derrames.

En los andenes con arbolado es interesante la cuestión de los alcorques.

Debe prescindirse, siempre que sea posible, de los árboles arrimados a las casas, pues quitan luz y vis-

tosidad a los edificios, además de enredar frecuentemente basura en sus ramas, por limpia que sea la población. Si la calle es ancha, está indicado el andén central con arboleda.

En el caso de conservar los árboles junto a las casas, las aceras deben cubrirse completamente de losas, cemento continuo, asfalto, losetas comprimidas, etc., dejando alcorques octogonales alrededor de los árboles para respiración y riego. Los árboles no sufren gran perjuicio.

Si la calle es importante, las pocetas de los alcorques se coronarán con un busco de hierro en escuadra, sobre el que asienten dos medias tapas móviles y calzadas de hormigón armado. No es aconsejable el empleo de tapas metálicas, que son feas, se rompen y desaparecen con facilidad.

Tampoco es práctico ni recomendable enlazar los alcorques por regatos para el riego de pie, pues se ensucian en seguida, no dejan correr las aguas y son antihigiénicos e incómodos al tránsito.

En calzadas muy anchas y de gran circulación son utilísimos refugios fraccionados para el cruce de los peatones y servicio de los tranvías. Éstos refugios deben tener quitamiedos y luces para balizarlos, procurando disposiciones sencillas y no muy resistentes que faciliten la reparación y eviten accidentes graves en los choques de los vehículos.

V Observaciones generales.

Los adoquinados sobre el cimiento de hormigón y las aceras continuas no acusan prácticamente las fugas de agua, aunque se dejen mecinales permeables. Esto puede producir socavaciones y hundimientos, que en general no tienen importancia ni peligro, pero que conviene evitar, así como las destructoras calas, canalizando todos los servicios del subsuelo en galerías visitables; procedimiento caro, pero indispensable a la larga en las grandes poblaciones.

* * *

He procurado reunir en los párrafos anteriores sencillas observaciones y resultados de la práctica constructiva de adoquinados y de experimentaciones hechas para resolver pequeños problemas que en ella se presentan. La índole del asunto excusa mayores desarrollos, y sólo pretendo facilitar una orientación a los numerosos ingenieros que hayan de ocuparse por primera vez de tan interesantes pavimentos, en la seguridad de que pronto completarán y mejorarán las enseñanzas de una práctica sencilla, que yo me limito a transcribir traducidas a nuestro idioma constructivo.

Francisco RUIZ Y LOPEZ
Ingeniero de Caminos