

REVESTIMIENTOS DE CARRETERAS

POR MARCELINO AHIJÓN, INGENIERO DE CAMINOS

Presenta el autor una completa e interesante información sobre el tema del epígrafe, y demuestra que no hay razones suficientes para que en España no se hayan adoptado, ni aun ensayado debidamente, los pavimentos de hormigón en las carreteras.

Hormigón vibrado.

El empleo del hormigón de cemento para el revestimiento de carreteras ha tenido una reducida aplicación en España. Refiriéndonos a los itinerarios principales, la longitud construida de revestimiento de esta clase pasa escasamente de la media centena de kilómetros, habiéndose establecido adoquinados o empedrados sobre cimiento de hormigón en una longitud que se aproxima a los 1 400, llegando los revestimientos bituminosos a la cifra de 14 000 kilómetros.

El establecimiento de una u otra clase de revestimientos, parece haber respondido a normas sencillas de cierto carácter de relatividad. Ello se explica por el rápido proceso de admirable transformación de estas carreteras, que, sin duda, no permitió el estudio y aplicación de meditadas reglas de carácter técnico. El que con atención recorra algún itinerario principal podrá apreciar la sucesión de revestimientos que van apareciendo a su vista. En general, al adoquinado establecido a la salida de una gran población, sigue un empedrado sobre cimiento de hormigón y, en algún caso, el hormigón asfáltico, y a continuación el macadam ordinario con variedad de riegos asfálticos en grandes longitudes, sucediéndose en sentido inverso el desfile de revestimientos al aproximarse a otra población importante. Pequeños tramos aislados en algunas travesías o en tramos de especial perfil, son, en ocasiones, excepciones de las normas señaladas. Así, pues, de revestimientos de aplicación a tramos de carreteras de grande y pesado tráfico, se pasa bruscamente a revestimientos más bien destinados a tráficos débiles, con exclusión de los hormigonados. Al hormigón sólo se le asigna el modesto, aunque insustituible, papel de cimiento, sobre el que se asientan revestimientos de gran dureza y rigidez como adoquinados o empedrados y, en algún caso, el flexible hormigón asfáltico o similares, y llama la atención que un material que puede alcanzar conjuntamente condiciones de dureza y flexibilidad no haya alcanzado sino limitadas aplicaciones, pues apenas si en algunas carreteras, como en la de Madrid a Sevilla, por Mérida, en las proximidades

de la segunda población, o en la de Madrid a Barcelona por Lérida, en esta provincia y alguna otra carretera, hay reducidos tramos de esta clase de revestimientos.

Actualmente continúa la exclusión de los hormigones como capa de rodadura. Cuando se estima insuficiente el macadam ordinario con riego asfáltico, para sufrir un tráfico, se recurre al empedrado concertado con cimiento de hormigón, o incluso al adoquinado, para resolver el problema planteado, sin que, salvo rara excepción, se proponga como solución el macadam-cemento o el hormigón, y sin que pueda justificarse la solución adoptada por la dificultad de adquisición de cementos, dado el uso de éste en cimientos y morteros de aquéllos.

¿Cuál puede ser la causa de esta exclusión?

a) ¿Un tráfico de caracteres distintos al de otras naciones que han establecido muchos kilómetros de esta clase de pavimentos en sus carreteras?

b) ¿Carencia de materiales elementales necesarios para su establecimiento?

c) ¿Consideraciones de orden técnico o económico?

Es indudable que es elevado el porcentaje de vehículos con llanta metálica que por nuestras carreteras circulan, pero no lo es menos que Italia, Francia, Bélgica, por no citar más, tienen un problema, especialmente la primera, en cierto modo semejante, y que, sin embargo, adopta esta clase de revestimiento en tramos de sus carreteras, estudiando las condiciones de su establecimiento, para que pueda resistir esta clase de tráfico. Italia ha construido trozos experimentales en que el tráfico se desarrolla en las formas más diversas, sometiendo a numerosas circulaciones de carruajes de tracción animal, cuyos resultados han servido para sucesivas aplicaciones de esta clase de revestimientos. Francia y Bélgica han hecho múltiples aplicaciones experimentales en tramos de diversa longitud, con doble o simple capa, con dosificaciones diferentes de cemento, con diversos métodos de trabajo y con cantidades de piedra y arena distintas. Alemania y Estados Unidos, han continuado mejorando su técnica, estableciendo muchos miles de metros cuadrados de revestimientos de hor-

migón, obteniendo resultados muy satisfactorios. Otros países de Europa, y algunos de América, teniendo en cuenta los estudios y resultados obtenidos en aquellas naciones, han construido tramos de revestimientos de esta clase. Hay, pues, una experiencia suficiente y una técnica, aplicada a la resolución del problema, que puede servir en España para establecer sobre ellos esta clase de revestimientos en algunos tramos definidos de sus carreteras.

De otra parte, los cementos españoles y los áridos que pudieran integrar los hormigones, tienen la calidad suficiente para dotar a éstos de las condiciones exigibles.

Por último, el punto de vista económico, se inclina cada vez más del lado de los revestimientos de esta clase. El precio cada vez más elevado de la mano de obra especializada, que exigen los adoquinados y empedrados y la dificultad creciente para obtener productos bituminosos y su precio alarmante, aconsejan el estudio para la construcción de los revestimientos de hormigón.

El fracaso sufrido en algún tramo establecido en condiciones poco conocidas, no debe servir para argumentar en contra de la extensión de esta clase de revestimientos en nuestro país, que han tenido un buen resultado en otros; sino que, muy al contrario, estos pequeños fracasos deben ser elementos de estudio para futuras aplicaciones.

El intentar fijar unas ideas generales y sucintas de aplicación, teniendo en cuenta los estudios y experiencias referidos anteriormente, es el objeto que nos proponemos.

Los defectos principales de que pueden adolecer o adolecen los revestimientos de hormigón, son: la desagregación y desgaste, la fisuración y las juntas.

A tratar de evitar los primeros y al establecimiento de juntas en las mejores condiciones para salvar este punto débil de esta clase de revestimientos, ha tendido la técnica de todos los países que marchan en cabeza en la aplicación de los mismos.

Es indudable que las especificaciones que han servido y sirven de base para el hormigón en general, aplicado en la construcción, no pueden tener en muchos aspectos aplicación al hormigón para revestimientos de carreteras. En principio, la fórmula granulométrica de los primeros, da en general una estructura demasiado rígida aplicada a los segundos.

Las condiciones esenciales exigibles a éstos pueden concretarse en las siguientes:

- a) Tener una gran resistencia al desgaste.
- b) Tener una gran compacidad a base de contener el máximo de agregados gruesos.
- c) Su retracción debe ser muy reducida.
- d) Su resistencia a la tracción y a la flexión debe ser elevada.

Las dos primeras, que se relacionan principal-

mente con la desagregación y desgaste, se obtienen adoptando agregados de gran dureza y gran resistencia a éste último, y estudiando la adecuada composición granulométrica de los áridos, forma y dimensiones de los elementos gruesos y menudos y empleando medios de ejecución convenientes y eficaces, para que los primeros constituyan el máximo de la masa del hormigón y formen apareciendo en la superficie del revestimiento a modo de un empedrado concertado, que pueda resistir el choque, y con elevado coeficiente al desgaste.

Las condiciones *c)* y *d)*, que se relacionan muy especialmente con la fisuración, pueden obtenerse a base de dosificaciones convenientes de cemento, agua, etcétera, y unas y otras vienen afectadas en elevada proporción por una inteligente, esmerada y atenta puesta en obra del hormigón, por personal experimentado y material adecuado; factores esenciales para la obtención de un revestimiento de las condiciones fijadas anteriormente.

La piedra, pues, ha de ser de excelente calidad y de las condiciones referidas, partida, de forma uniforme, paralelepípedica, con tendencia cúbica, siendo sus caras de fractura plana y rugosa. Estas condiciones las cumplen los pórfidos, las cuarcitas, los microgranitos, que abundan en nuestro país, estudiando bien procedencias perfectamente definidas, que serán las únicas aplicables después de suficientes tomas de muestras y ensayos de resistencia de las piedras, especialmente las de choque y desgaste. El tamaño de la piedra debe ser el de 20-40 mm., o bien el de 35-50 mm., o mejor aún el de 40-60, dependiendo del espesor de la capa o capas del hormigón de revestimiento. Las combinaciones binarias 20-40 con 5-20, ó los 40-60 con 5-20, ó las ternarias 40-80 con 10-30 y 5-20, u otras más complejas, conforme a los estudios de d'Abrans y Bolomey, son cada vez menos frecuentes, ya que con los medios mecánicos modernos de ejecución del hormigón en revestimientos se ha llegado a compacidades elevadas, partiendo de las sencillas fórmulas granulométricas primeramente enunciadas, sin que se estime necesario adoptar composiciones complejas de agregados gruesos, puesto que no se ha traducido su empleo en mejoras sensibles en la resistencia y compacidad final.

La arena debe ser silícea, limpia (con preferencia de río) y no contener más del 3 por 100 de arcilla. Su fórmula granulométrica será la que dé la máxima compacidad al mortero, sin restarle docilidad. Del mismo modo que en la piedra, deberá, previa toma de muestras y ensayos suficientes, señalarse procedencias bien definidas, que serán las de única aplicación.

Con respecto al cemento, ninguna especificación particular se hace necesario consignar. Son de aplicación los cementos corrientes, sin que, salvo casos

excepcionales de rapidez de puesta en servicio de la carretera u otra consideración, haga necesario emplear cementos especiales. A título de información, transcribimos la indicación de Hanwermeiren, que estima que los cementos muy finos deben ser excluidos, por ser los más fisurantes.

La dosificación de los materiales que integran el hormigón deberá ser objeto de la máxima atención.

Desde los primeros revestimientos, en que el cemento entraba en proporciones de 700 a 800 Kg. por metro cúbico de hormigón, con exclusión de arena en algunos casos, hasta las modernas, en que el cemento ha sido reducido a 400 y 350 Kg., e inferiores, y dosificaciones reducidas de arena, se ha recorrido un largo período de experiencias y estudios. A los hormigones con gran cantidad de mortero o pasta de cemento, faltos de la debida compacidad, con espesores de 25 y 30 cm. y capa superficial de mortero rico, han sustituido los hormigones de gran compacidad, en los que la piedra de gran dureza aparece en la superficie en forma de empedrado o mosaico salientes, en condiciones de sufrir el tránsito automóvil y de llanta metálica, reduciéndose los espesores de 16 a 20 cm., salvo algún caso excepcional, debido a condiciones especialmente particulares. Por último, los hormigones plásticos y hasta fluidos se han sustituido por los de consistencia muy seca.

Las cantidades medias de agregados, cemento, agua, etc., oscilan entre las siguientes cifras por metro cúbico de hormigón:

Agregado grueso	1 150 a 1 250 litros.
Arena	220 a 300 "
Cemento	350 a 400 Kg.
Agua/cemento, <—0,30.	

Los hormigones obtenidos con estas dosificaciones tienen una elevada compacidad a base del máximo de agregado grueso posible, teniendo una gran resistencia al desgaste y choque y una débil o reducida retracción, con alta resistencia a la flexión y tracción, y en los que la tendencia a la fisuración ha disminuído notablemente con respecto a hormigones antes empleados.

La composición del hormigón en cada caso, ha de ser objeto de un estudio especial. Partiendo de una piedra de procedencia y calidad definida, como anteriormente hemos dicho, la fijación de su volumen absoluto o peso por metro cúbico de hormigón establecido, dependerá de la forma y dimensiones de la piedra y de los procedimientos de puesta en obra del hormigón. Si aquella es la apropiada y ésta se ha hecho con los métodos modernos, comprimiéndolo por procedimientos vibratorios, el volumen absoluto de la piedra puede alcanzar hasta 630 litros, con un 82 por 100 de contracción volumétrica, constituyendo el vo-

lumen absoluto de los elementos sólidos del 85 al 90 por 100 del volumen total del hormigón terminado.

Citaremos un caso concreto. Revestimiento de hormigón de 16 cm. de espesor en una sola capa. Piedra porfídica de calidad uniforme. Densidad, 2,70. Forma cúbica y calibres, 40-60 mm. (40 por 100 del primero y 60 por 100 del segundo). Volumen absoluto de piedra en metro cúbico de hormigón comprimido, 620 litros. Contracción volumétrica, 0,84. Volumen aparente, 1 190 litros, correspondiendo el 52 por 100 a macizos y 48 por 100 a huecos. Peso del metro cúbico de piedra comprimida, 1 675 Kg. Volumen de huecos del hormigón comprimido, 380 litros, que ocupará la arena + cemento + agua. Dosificación cemento, 375 Kg. Volumen cemento + agua, $375 \times 0,62 = 232$ litros. Volumen absoluto arena, $380 - 232 = 148$ litros. Aparente = 260 litros, y peso (1 350 kilogramos/m.³), 351 Kg.

Dosificación:

Piedra	40 - 60 mm.	1 675 Kg.	V. a. = 1 190 litros.
Arena	0 - 5 "	351 "	V. a. = 260 "
Cemento		375 "	
Agua		112 "	

Al ejecutar la obra deberá partirse de esta dosificación, y teniendo en cuenta la contracción volumétrica fijada de 0,84 del espesor de la capa de hormigón a distribuir, sería de 19 cm., que deberá quedar reducido a 16 después de la compresión. Ambas cifras tienen comprobación en obra, y de conformidad con los datos deducidos de ésta, deberá rectificarse ligeramente la dosificación establecida, teniendo en cuenta las tolerancias fijadas en los pliegos de condiciones.

Cubos y prismas de ensayo deben ser fabricados en Laboratorio antes de comenzar la ejecución del pavimento, que deberán ser sometidos a las pruebas de compresión, tracción y flexión reglamentarias y deducir y comprobar las cifras teóricas de volúmenes y pesos. Una vez terminado el pavimento se obtendrán probetas por medio de cincel o sonda rotatoria, sobre las cuales se comprobará esencialmente la cifra de peso.

Damos a continuación, y a título de orientación, algunas composiciones de hormigones en revestimientos construídos.

1. ^a Piedra porfídica (50-70 mm.).....	1 750 Kg.
Arena de río (0/5 mm.).....	329 "
Cemento	383 "
Agua	103 "
Resistencia a la compresión a los ocho días	400 Kg.

2. ^a Piedra cuarcita (40-60 mm.).....	1 620 Kg.
Arena de río (0/3 mm.).....	390 "
Cemento	400 "
Agua	120 "
Resistencia a la compresión a los siete días	390 Kg.
3. ^a Piedra (20-40 mm.).....	1 650 Kg.
Arena de río (0/5 mm.).....	370 "
Cemento	385 "
Agua	115 "
Resistencia a la compresión a los siete días	381 Kg.

Puesta en obra del hormigón.

Previamente a la extensión del hormigón, es preciso preparar la caja, dotándola de la resistencia conveniente y del perfil adecuado. En el caso de establecimiento de revestimientos de hormigón sobre antiguos de macadam ordinario, que es el caso general, deberán practicarse suficiente número de calcatas para comprobar el espesor de aquél y sus condiciones de construcción. Es corriente encontrar espesores superiores a 25 ó 30 cm. sobre subsuelos resistentes, condiciones apropiadas para los revestimientos hormigonados. En los casos dudosos en que el subsuelo está sometido a grandes variaciones de humedad, traducidas en variaciones de volumen correspondientes, se hará necesario instalar un sistema de drenaje transversal que desagua a drenes longitudinales o cunetas de saneamiento. En muchos casos, éstas serán garantía suficiente.

La superficie del antiguo afirmado, deberá, como hemos dicho, tener el perfil transversal del revestimiento, si éste tiene un espesor uniforme que es el caso corriente, salvo circunstancias de tipo especial que exija reforzarlo en zonas determinadas. Para ello, es preciso remover el macadam por escarificado, en una profundidad de 12 a 15 cm., extraer los productos de la escarificación, clasificarlos y emplear los aprovechables, junto con piedra nueva, en la cantidad necesaria, consolidándolo con cilindro de 14 a 16 toneladas, corrigiendo las pequeñas desigualdades que se aprecien.

La instalación de los encofrados exige el máximo cuidado, enclavándolos para que tengan las máximas condiciones de fijeza y comprobando por medio de nivel su establecimiento. El uso de encofrados de madera y aun mixtos, está en algunos pliegos de condiciones absolutamente proscritos, señalando como únicamente aplicables los metálicos, indeformables y rígidos, suficientemente asentados para que no cedan como consecuencia de los trabajos de compresión del hormigón. Para ello es preciso disponer de perfiles de

hierros adecuados, no siempre posibles de adquirir. En su defecto, los mixtos, bien estudiados, y en los que el hierro sufra el máximo trabajo y la madera sea su auxiliar, pudieran admitirse.

Después del cilindrado es conveniente la extensión de una capa de arena de unos 3 cm. de espesor, y en ciertos pliegos se prescribe la extensión sobre ésta de un papel especial impermeable con resistencia a la tracción en seco y húmedo, impuesto en los mismos. Con ello se pretende facilitar las pequeñas dilataciones y contracciones del hormigón, un acabado perfil del fondo de la caja y evitar las pérdidas de cemento y agua en el subsuelo, aislando el hormigón de éste.

La instalación para la fabricación del hormigón puede ser fija o móvil; en el primer caso se establece una central de fabricación, cuyo emplazamiento debe acogerse teniendo en cuenta las facilidades de aprovisionamiento, de una parte, y la facilidad de alimentación, por otra. El transporte del hormigón se hará en camiones con caja adecuada, teniendo este sistema la ventaja de evitar los acopios de los materiales a lo largo de la carretera, una cuidada fabricación y fácil vigilancia de las dosificaciones y el inconveniente de la posible desintegración de los materiales que forman el hormigón, depositándose los más gruesos en el fondo de la caja del camión, lo que obliga a limitaciones en la distancia de transporte.

La distribución del hormigón se preconiza cada vez más se haga mecánicamente. Máquinas simplemente distribuidoras, o provistas a más de mecanismos de compresión de diversa clase, se han empleado con gran profusión. Es indudable la conveniencia de que el hormigón no sufra, una vez depositado, arrastre alguno, y por ello se aprecia la ventaja de un mecanismo de distribución que lo extendiera de modo uniforme y continuo y en la cantidad necesaria, lo que se traduciría en homogeneidad de la masa, facilitando el trabajo mecánico sistemático.

Puede establecerse como regla, en igualdad de las demás condiciones que concurren en la ejecución de un revestimiento de hormigón, que el número de pequeñas desigualdades que aparezcan en su superficie será proporcional al número de volúmenes vertidos para su construcción, y que las desigualdades de mayor orden y en menos número están relacionadas con los mayores volúmenes descargados sin el debido cuidado por los conductores o personal de los camiones.

Distribuido o extendido el hormigón y comprobado el espesor de la capa, se procede a su compresión. Insuficiente a este efecto el cilindro compresor o el apisonado a mano en todas sus variedades, el empleo de la vibración mecánica de alta frecuencia (más de 4 000 golpes por minuto), tiende a resolver el problema de poner en obra hormigones de consistencia seca, de las condiciones a que nos venimos refiriendo.

Los primitivos sistemas de vibración han venido perfeccionándose, y de hormigones vibrados superficialmente, previa compresión de los mismos por mecanismos de apisonados neumáticos, se ha pasado a las aplicaciones de vibración interna, que abre nuevas perspectivas ante el mejoramiento creciente de los mecanismos de esta clase, y la aparición de otros que suponen una nueva técnica de la vibración mecánica.

Merced a este sistema, hormigonados de consistencia muy seca (agua precisa para el amasado), en los que el agregado grueso de sencilla forma granulométrica entre en gran proporción, han podido ser puestos en obra, dotándolos de la compacidad teórica prevista, sobrepasada en la ejecución de algunos casos, y, en consecuencia, la resistencia deseada, y en condiciones de sufrir sin quebranto el duro trabajo a que han de estar sometidas.

El empleo de la vibración mecánica no ha traído consigo dificultades mecánicas de orden importante. El hormigón se comprime uniformemente incluso en los bordes de las juntas. No hay necesidad de ampliar el número de obreros por unidad de superficie comprimida.

En el aspecto económico, la vibración mecánica no introduce elementos que eleven su costo desproporcionadamente. Se producen economías en el precio unitario de los agregados gruesos, debido a su sencilla fórmula granulométrica; se reduce la cantidad de cemento de manera bien apreciable, y los intereses y amortización de la maquinaria, cuando se trate de aplicaciones en gran escala, unido a su escasez de mano de obra, no resultan muy elevados, admitiendo la comparación en su favor; con los similares, en los antiguos procedimientos de compresión.

Actualmente, y debido a las circunstancias, se puede cifrar el importe de la vibración por metro cuadrado de revestimiento, como máximo, en 12 ó 14 pesetas.

Los resultados obtenidos hasta la fecha en pavimentos establecidos mediante vibración mecánica, demuestran que se sigue un camino seguro. Los coeficientes de compacidad (peso por metro cúbico) aumentan progresiva y proporcionalmente la resistencia y demás condiciones requeridas a los revestimientos de esta clase.

Una diversidad de mecanismos de todas clases han sido aplicados. Alemanes, americanos, franceses, belgas, etc., desde diez años a esta parte, han puesto en experimentación mecanismos más o menos complicados. Un estudio detenido de los mismos y de sus condiciones de trabajo, es labor elemental y de máximo interés en evitación, si no de fracasos, de rendi-

mientos escasos, y parece lógico y primordial este estudio, ya que han sido escasas las aplicaciones del procedimiento en España.

Tramos cuyas condiciones de establecimiento queden perfectamente definidos y de fácil vigilancia, y cuyas condiciones de tráfico se registren cuidadosamente durante un largo período, deben entonces ser construídos, anotándose cuantas observaciones se consideren de interés para la historia del revestimiento.

Respecto a espesores y conveniencia de la simple o doble capa, pueden resumirse las conclusiones en la forma siguiente:

Sobre bases estables (antiguos afirmados de macadam)	15 cm.
Sobre subsuelos estables y resistentes.....	18 "
Sobre subsuelos dudosos, hasta.....	25 y 30 cm.

Por lo que se refiere a la construcción de una o dos capas, esta última tiene en su favor:

1.º Poder reducir la dosificación de cemento en la capa inferior (dentro de ciertos límites, para atenuar las diferencias de retracción y dilatación entre las dos capas).

2.º La adopción, para la capa inferior, de piedra de más baja calidad que en la superior.

La construcción de una simple capa tiene la ventaja:

1.º Se evitan las diferencias de retracción y dilatación.

2.º La puesta en obra del hormigón por unidad se reduce, ya que en cierto modo se duplican las operaciones en el sistema de dos capas.

3.º Es más fácil establecer un control eficaz en la dosificación de hormigones, ya que ésta es única.

4.º El trabajo es más rápido:

Parece aconsejable adoptar el sistema de una capa hasta espesores de 18 cm., y dos, desde esta cifra en adelante.

Las juntas longitudinales deben fijarse cada tres o cuatro metros, y las transversales existe la tendencia de reducir su distancia hasta 8 metros. Es indudable que un pavimento ideal de esta clase sería el formado por losas de reducidas dimensiones con respecto a las adoptadas hace algunos años, pero ello tiene el inconveniente de multiplicar las juntas, punto débil de esta clase de pavimentos, pese a la multiplicidad de disposiciones adoptadas y a su perfeccionamiento constante.