

REVESTIMIENTO DE VIAS PUBLICAS: HORMIGONES DE CEMENTO

Por MARCELINO AHIJÓN GODÍN, Ingeniero de Caminos.

El presente artículo de esta interesante serie se dedica especialmente al estudio y exposición de la gran aportación de experiencia que el Congreso de Munich hizo a esta técnica, que, a juicio del autor, hace que los revestimientos de hormigón entren en una nueva fase con directrices precisas.

III

El Congreso de la Carretera celebrado en Washington abrió, como hemos dicho en un artículo anterior, un amplio cauce a la técnica en el establecimiento de afirmados de hormigón de cemento en vías públicas.

Seguir con algún detalle el proceso de los revestimientos de hormigón en la década 1930-1940, etapa en la que se multiplicaron en buen número de países sus aplicaciones, pudiera resultar fatigoso, si se tiene en cuenta la poca inclinación que siente el técnico, y por consiguiente el Ingeniero constructor de carreteras, a consideraciones de orden histórico, y cuya atención es absorbida y hasta polarizada por el presente. No obstante, y por juzgarlo de posible interés, vamos a hacer brevemente y de manera objetiva un resumen de aquel proceso, en lo substancial.

En los años siguientes al Congreso de Washington (1930), hasta 1934, fecha de la celebración del VII Congreso en Munich, los progresos técnicos se acusaron en variedad de aspectos del problema. En un grupo de naciones, el período de estudios, ensayos, así como el de aplicaciones al dictado del "modo de hacer" americano, se consideró "vencido", llegándose a la redacción de ciertas normas o reglas generales, que constituyeron, en cada país, los pliegos de condiciones para la ejecución de afirmados de hormigón de cemento.

Estos pliegos definían ya de manera más concreta las condiciones generales del hormigón y las particulares del cemento, piedra, arena y agua; dosificaciones y fórmulas granulométricas; características que debía reunir el suelo de sustentación y las del hormigón (resistencia a la compresión, docilidad...); procedimientos de fabricación y empleo del material, su compresión, acabado y cura; perfiles de construcción, juntas, etc., etc.

Por otra parte, y siguiendo las conclusiones del Congreso de Washington, se expresó la necesidad, para obtener buenos resultados, de hacer controlar de manera inmediata por especialistas técnicos la ejecución de los revestimientos, y de encargar su construcción solamente a entidades o particulares conocedores de los principios generales de la construc-

ción de carreteras y de obras de hormigón, y en particular a aquellos que estuvieran al corriente "de las últimas experiencias en materia de afirmados de hormigón de cemento".

Paralelamente a estas normas técnico-experimentales, los estudios para resolver de manera matemática el problema mecánico planteado en la estructura de hormigón por las cargas o esfuerzos que habían de sufrir las losas, tuvo un amplio desarrollo. La diversidad de esfuerzos y su posible compleja asociación, hacían del problema una tentadora empresa para el ingeniero *proyectista puro*. Los supuestos teóricos para determinar mediante el cálculo las dimensiones de las placas, tuvieron una gran variedad; desde el supuesto de placa apoyada total o parcialmente en su contorno, a considerarla resistiendo como "pescante", o a estimarla como "viga flotante"... No obstante estos estudios, si se tiene en cuenta la variedad de esfuerzos a que había de resistir la placa, entre los que es preciso destacar como particulares, en relación con los clásicos de la construcción o edificación en general, los choques y vibraciones debidas al paso de los vehículos; los esfuerzos tangenciales ocasionados por la circulación de aquéllos (aceleraciones, frenados, fuerza centrífuga en los virajes); fatiga por compresión y flexión, importante cuando el suelo no es homogéneo; fatiga por desgaste en superficie; variaciones de temperatura, intemperies provocando alternativas de humedad y sequedad, etc., se comprenderá la imposibilidad de tenerlos en cuenta teóricamente, y los resultados obtenidos por aquellos cálculos no pudieron estimarse más que como aproximados o comprobatorios, en cierto modo, de las normas técnico-experimentales.

* * *

Todo el progreso surgido en los revestimientos de hormigón entre los años 1930 y 1934, fué llevado al VII Congreso de la Carretera reunido en Munich en septiembre de 1934.

La celebración de este Congreso en Alemania, donde a la sazón estaba en ejecución el plan de establecimiento de 7 000 Km. de autoestradas, iniciado el año anterior, y para las que en elevado porcentaje se proyectaba construir revestimientos de hormi-

gón de cemento (unos 4,5 millones de metros cúbicos), dió al Congreso un interés especial, similarmente a lo ocurrido en el de Washington.

De los 50 Estados representados en el Congreso, 15 de ellos: Australia, Indias Inglesas, China, Alemania, Gran Bretaña, Finlandia, Francia, Holanda, Italia, Japón, Austria, Polonia, Suecia, Suiza y Hungría, presentaron Memorias relacionadas con las aplicaciones del cemento en la construcción de revestimientos de carreteras, demostración de la progresiva extensión de esta clase de afirmados.

De toda la información presentada hubo de destacarse de manera preferente la redactada por la técnica alemana de la carretera, que no quedó reflejada en toda su extensión y fondo en las conclusiones del Congreso, siempre de carácter general y de cierta imprecisión, por pretender, obligadamente, recoger los puntos coincidentes de las diversas opiniones expresadas.

Las conclusiones alemanas constituyeron nuevas aportaciones valiosas al perfeccionamiento acaecido en los revestimientos de hormigón a partir del Congreso de Munich. Aun a riesgo de fatigar la atención, hemos de transcribirlas, sustituyendo a las conclusiones generales del Congreso:

"Conclusiones alemanas.

1.^a Una carretera destinada a la libre circulación debe ser establecida de manera que se pueda circular por ella en todo tiempo a la velocidad autorizada por los reglamentos. Las calzadas cuyo revestimiento se construye a base de cemento, cumplen en alto grado esta característica. Estos revestimientos están representados principalmente por los de hormigón, para el tráfico pesado, y por el macadam-cemento, para el tráfico medio.

2.^a El hormigón y el macadam-cemento constituyen revestimientos económicos, tanto desde el punto de vista de los gastos de establecimiento y conservación como por las ventajas que ofrecen a la circulación automóvil.

3.^a La experiencia y el conocimiento de las reglas modernas que conciernen a la construcción de las carreteras en general y a las fábricas de hormigón, son necesarias para establecer de manera irreprochable los revestimientos en hormigón o macadam-cemento. Consecuentemente no se debe confiar, en principio, la construcción de afirmados de esta clase más que a constructores que reúnan aquellas condiciones.

4.^a La calidad de los revestimientos de hormigón o macadam-cemento depende, sobre todo, de la naturaleza y dosificación de los materiales, de una puesta en obra apropiada y de la conciencia con la cual el constructor cuida el revestimiento durante el fraguado y cura del hormigón. Un control serio de los trabajos es, pues, indispensable.

5.^a Los afirmados de hormigón y macadam-cemento deben, como los otros tipos de afirmado, ser constantemente vigilados y cuidados. Se asegura un mínimo de gastos y la máxima duración reparando inmediatamente los posibles defectos o degradaciones.

6.^a El entretenimiento de las calzadas de hormigón establecidas convenientemente, es simple y poco costoso. Consiste principalmente en guarnecer las juntas y fisuras que se formen.

7.^a Las experiencias obtenidas de los revestimientos de macadam-cemento tienen un corto plazo para que puedan obtenerse cifras sobre los gastos de entretenimiento. Se puede, no obstante, admitir que en casos de construcción irreprochable la conservación del revestimiento será poco costosa. Con el método de construcción en uso en Alemania, del macadam-cemento, puede ahorrarse el tratamiento superficial preconizado.

8.^a Una calzada en hormigón puede ser establecida directamente sobre el suelo, sin fundación, o bien sobre cimiento apropiado. Un subsuelo permeable debe ser saturado de humedad antes de la puesta en obra del hormigón. Debe prepararse el suelo de manera que su resistencia sea uniforme. Un subsuelo impermeable debe ser saneado por drenaje adecuado. Si existe un buen suelo de fundación (antigua calzada), su superficie debe ser nivelada exactamente para obtener el perfil a lo largo y transversal proyectado para el revestimiento. Si se emplea hormigón para la corrección de la superficie del suelo, aquél debe ser empleado previamente al revestimiento.

Contrariamente al hormigón, el macadam-cemento no puede, en general, ser utilizado más que como capa de rodadura; necesita una fundación resistente (antigua calzada, etc.).

9.^a En general, no es necesario para los revestimientos en hormigón o macadam-cemento emplear cementos especiales de fraguado rápido; solamente en el caso de que la vía deba ser abierta al tráfico sin dilación, se recomienda usar cemento especial en la sección construida durante los últimos días.

10. Hasta un espesor de 15 cm., los revestimientos en hormigón deben, en general, ser ejecutados en una sola capa, y si por excepción se hacen en dos capas, la dosificación de cemento debe ser igual en ambas. El espesor de la losa de hormigón viene determinado, más especialmente, por la resistencia del subsuelo o de la fundación; por la naturaleza del tráfico (ligero o pesado); por el clima, y también por la existencia o ausencia de una armadura metálica. Los revestimientos de un espesor inferior a 13 cm. han resultado demasiado débiles, aun sobre fundación estable y resistente.

11. Las armaduras metálicas están indicadas para la capa inferior de la losa cuando la resistencia del subsuelo no es suficiente ni bastante homogénea. Investigaciones sistemáticas son aún necesarias para de-

terminar en qué medida la cantidad, naturaleza y disposición de las armaduras metálicas tienen influencia sobre la formación de fisuras, sobre el intervalo entre juntas y sobre el espesor a adoptar en las losas. De las experiencias hechas, una armadura inferior a 2 kilogramos por metro cuadrado no acusa influencia sensible.

12. De las experiencias obtenidas hasta el día, no parece indicado establecer afirmados de hormigón o macadam-cemento sin ninguna junta. Es preciso, en general, adoptar juntas de dilatación a fin de que las losas puedan trabajar independientemente, y conviene distanciar aquéllas de 8 a 10 m., en el hormigón, y 10 a 15, en el macadam-cemento. Se deben establecer juntas longitudinales cada 3 m. y no sobrepasar esta cifra. A lo largo de los bordillos se preconiza la adopción de un principio de junta de dilatación.

Sería de desear que se encontrara, para el guarnecido de las juntas, materias que conserven su elasticidad, sean insolubles en el agua e impermeables y que presenten al mismo tiempo un color semejante al revestimiento.

13. Cuando se ejecuta irreprochablemente un revestimiento en hormigón o macadam-cemento, no hay necesidad de adoptar medida alguna para que éstos no sean deslizantes.

14. En principio, los afirmados en macadam-cemento deben ser establecidos con mortero húmedo, puestos en obra por el método Sandwich. Los procedimientos en los que se extiende el mortero completamente seco, no convienen y deben proscribirse.

En la Memoria alemana que precedía a estas conclusiones, son de destacar algunos puntos que sumariamente transcribimos:

En lo que se refería a especificaciones granulométricas de los áridos, se señalaba que las estimadas "como ideales para el hormigón armado daban, en general, una estructura demasiado rígida para la composición de los agregados empleados en las construcciones corrientes de calzadas de hormigón".

Por lo que a espesores se relacionaba, se indicaba que "la experiencia había demostrado que los revestimientos en hormigón no daban buenos resultados si éstos eran demasiado delgados, y ello había conducido a prescribir espesores mínimos según los casos; así:

Sobre una fundación estable (antiguas calzadas), se fijaban.....	15 cm.
Sobre un subsuelo estable, igualmente resistente.....	18 "
En las condiciones ordinarias, sin fundación....	20 "
Sobre un subsuelo dudoso.....	25 "

Para los revestimientos en hormigón armado, el espesor podía ser reducido en 2 a 5 cm., pero no debía descender de 13 cm. el espesor total.

Cuando el grueso de las losas fuera superior a 15 centímetros, podía el hormigón ponerse en obra en

dos capas, pero la superior no debería ser menor de 5 cm. de espesor.

Para permitir a los revestimientos de hormigón concurrir con otras clases de revestimientos, en el aspecto económico, podía admitirse, cuando se construye en dos capas, un hormigón más pobre en la inferior; pero para evitar esfuerzos de tensión entre las dos capas, la formación de fisuras y degradaciones, no se debía disminuir demasiado el porcentaje de cemento en la inferior, que no bajaría de 250 Kg./m.³, en cuyo caso la superior debía dosificarse con 350 Kg. al menos.

Los ensayos conducentes a la obtención de un material de relleno de juntas adecuado, no habían logrado un éxito completamente satisfactorio; se había ensayado con éxito alentador una mezcla de Spramez, 20 por 100; filler calcáreo, 40 por 100 y arena fina, 40 por 100.

Los mecanismos para comprimir el hormigón habían sufrido poca modificación; para la capa inferior se utilizaban los martillos o pisones mecánicos, y para la superior, las "formas" de madera movidas a mano o mecánicamente y los aparatos de "acabado".

El empleo del material mecánico no era, salvo para las máquinas mezcladoras, una condición necesaria para el buen resultado en la construcción de calzadas de hormigón...

Nos hemos detenido excesivamente, pese a nuestro propósito, en la transcripción de las aportaciones de la técnica alemana al Congreso de Munich, y ello nos obliga a ser parcos en la información de otras Memorias presentadas a aquél, no menos interesantes desde otros puntos de vista, que la alemana; entre ellas destacamos la francesa, la inglesa y la italiana.

La técnica francesa, con un porcentaje de aplicaciones de revestimientos de hormigón en vías públicas muy limitado, aportaba al Congreso una serie de estudios de más base teórica que práctica, pero en los que quedaba reflejado ese "sentido íntimo" de la construcción, al cual debe Francia un puesto destacadísimo en la materia a través de todos los tiempos.

Preconizado el establecimiento de afirmados de hormigón en dos capas, con un espesor total del orden de 18 cm., 12 para la fundación y 6 para la de rodadura, con mortero más pobre en cemento la primera y piedra de primera calidad la segunda, utilizando agregados gruesos de 20-40 mm.; frecuentemente, 40-60, y excepcionalmente, 50-70, sin añadir gravillón 5-10 mm., y:

"A favor de una enérgica compresión, se buscaba hacer entrar en un volumen determinado de hormigón en obra la mayor cantidad posible de agregado grueso. El relleno de los huecos se aseguraba estrictamente mediante el mortero de cemento Portland o superportland, conteniendo, según la naturaleza e intensidad del tráfico, 60 a 110 litros de arena, o sea 80 a 150 kilogramos por 100 Kg. de cemento."

Por lo que al agua de amasado se refería, se prescribía "limitarla en cantidad a la estrictamente indispensable" para aquella operación y para asegurarse una ejecución perfecta, una rugosidad apropiada en superficie, y para que ésta conservara con el desgaste producido por el tránsito un perfil completamente regular, era indispensable que la piedra, formando el esqueleto del revestimiento, "afiorara a la superficie sobre toda la extensión de éste", teniendo la máxima compacidad el afirmado a base de los agregados gruesos. Para conseguir esta finalidad, la mecanización de los aparatos o sistemas de compresión se había desarrollado ampliamente, ensayándose los primeros mecanismos de vibración superficial (cilindros vibradores) para el acabado.

Eran interesantes los estudios aportados sobre rugosidad de los pavimentos de hormigón:

Con un mecanismo adecuado se habían hecho ensayos de rugosidad de revestimientos, obteniéndose índices variables entre 0,2 y 0,8, estimándose el índice 0,5 como mínimo para la seguridad conveniente en la circulación, con un supuesto de velocidad de régimen. La amplitud de cifras obtenidas determinó el examen y análisis subsiguiente, resultando:

"Que las cifras más bajas (de 0,2 a 0,4) correspondían a revestimientos en los cuales las piedras, constituyendo el agregado grueso, no afloraban más que en pequeño número a la superficie, y la rodadura se efectuaba sobre un mortero de cemento desprovisto de arena, sea por tratarse de un hormigón rico en cemento, sea porque el hormigón, aun conteniendo la arena conveniente, hubiera sido puesto en obra con exceso de agua, y la lechada, habiendo remontado la superficie, no había sido eliminada. Se trataba, pues, de una capa superficial muy resistente al desgaste, generalmente pulida por la acción del tránsito."

"Al contrario, los valores elevados (más del 0,7) correspondían a superficies constituidas bien por morteros ricos en arena de grano grueso o por un mosaico de piedra aflorando a la superficie, procedentes del hormigón del revestimiento y más resistentes al desgaste que el mortero."

Los valores intermedios (0,5) correspondían a casos similares al último, con piedra menos resistente al desgaste.

Las conclusiones derivadas de estos estudios aconsejaban la conveniencia de que el agregado grueso, con resistencia apropiada, "apareciese en la superficie" al ejecutar el revestimiento, formando como un afirmado mosaico rejuntado, sin superposición alguna de capa de mortero.

La información de la técnica inglesa señalaba que los progresos realizados desde el Congreso de Washington en los revestimientos de hormigón se habían producido por una mejora acusada en los materiales cemento, piedra (dura y resistente), por una mayor atención y cuidado dirigidos a las condiciones del sub-

suelo, habiéndose puesto de manifiesto la necesidad ineludible de una enérgica compresión del hormigón en obra:

"Las probetas obtenidas del revestimiento demostraban que la parte del mismo situada inmediatamente sobre el suelo era más pobre en calidad y más porosa que el resto de la losa. Una compresión insuficiente, unida a la pérdida de cemento en el subsuelo, podían ser las causas de aquel acentuado defecto."

La consolidación por capas había sido ensayada.

La aportación de la técnica italiana al Congreso tenía un carácter de cierta particularidad, y en algunos extremos, marcadamente local.

Una experiencia de construcción de 2 200 000 m.² de revestimientos de hormigón, llevados a cabo por la "L'Azienda Autonoma Statale della Strada", creada por Ley de 17 de mayo de 1928, a sumar a los 1 300 000 m.² precedentemente establecidos, daban una valoración estimable a las conclusiones italianas.

El problema del vehículo con llanta metálica circulando sobre calzadas revestidas de hormigón de cemento, constituía una preocupación para la técnica italiana, hasta el punto de establecer, en principio, una diferencia esencial entre revestimientos de vías con circulación exclusivamente automóvil (autoestradas) y las de circulación mixta. Esta diferencia se traducía en la construcción en dosificaciones moderadas de cemento en el primer caso y muy altas en el segundo, y en considerar como deslizantes los primeros y estimar necesario recubrirlos con capas o tapices superficiales de aglomerado asfáltico, aparte otros puntos diferenciales.

Como información de los criterios adoptados en las carreteras de circulación mixta, transcribimos los datos referentes al establecimiento de algunos revestimientos de hormigón (cuadro de la página siguiente).

Las resistencias a la compresión, obtenidas sobre probetas sacadas del revestimiento en esta última vía, con variación de días contados a partir del establecimiento del afirmado (127 a 213 días), oscilaron entre 510 y 815 cm.², con un proceso numérico en relación con el número de días de establecimiento de acusada irregularidad.

Paralelamente a esta construcción de afirmados de hormigón, en cuyo establecimiento se había operado un poco "a sentimiento", se iniciaron estudios, ensayos seguidos de experiencias, tales como las llevadas a cabo en la carretera nacional "Dai Giovi", cerca de Binasco:

Las dosificaciones de cemento empleadas variaron entre 400 y 600 Kg./m.³; la piedra empleada fué caliza en unos tramos y granito en otros, variándose de manera apreciable el porcentaje de agua.

Un revestimiento de hormigón de 15 cm. de espesor fué sometido, durante un largo plazo, a fuerte circulación de llanta metálica (100 000 toneladas), obte-

CARRETERA	Espesor del revestimiento Centímetros		Dosificación de cemento Kilogramos	OBSERVACIONES
Vía "Aurelia".....	(a)	8	260	(a) Capa inferior.
	(b)	4	450	(b) Capa de rodadura.
"Padana inferior".....		16 a 20	500	Capa única.
"Pontebanna".....	(a)	10 a 14	250	(a) Capa inferior.
	(b)	8	500	(b) Capa de rodadura.
"Adriática".....		16	500	Capa única. Intensa circulación con llanta metálica.
"Tirrena inferior".....	(a)	14 a 19	250	(a) Capa inferior.
	(b)	6	500	(b) Capa de rodadura.
"Del Tonale".....		16 a 20	500	Capa única.

niéndose después probetas, las cuales se sometieron a ensayos de desgaste y compresión.

Los resultados fueron tan acusados que podían proporcionar una serie de primeras indicaciones directrices:

Los revestimientos de piedra caliza presentaron una resistencia al desgaste mucho menor que los del granito, aun tratándose de calizas muy duras. Las resistencias a la compresión que acusaron las probetas sometidas a ensayo presentaron variaciones notables, pudiendo señalarse diferencias del 14 por 100 entre una de ellas y la media, admitiéndose que podían llegar hasta el 49 por 100. Las dosificaciones de cemento superiores a 400 Kg., a igualdad de otras condiciones, no proporcionaron aumento de resistencias al desgaste y compresión apreciables. La influencia del porcentaje de agua en el batido se acusaba en cifras de notable valor.

Como factor de "peso" se estimaba lo que pudiera denominarse el "coeficiente de trabajo", en el que podían incluirse una serie de factores fortuitos o de difícil control que intervenían en la ejecución de un revestimiento de esta clase.

La información italiana contenía otros extremos que atestiguaban una atención de la técnica de la carretera dirigida a la definición de las posibilidades constructivas y económicas para la extensión de los revestimientos de hormigón, entre los que es preciso destacar el que se refería a la puesta en obra del hormigón:

"Un progreso importante que se traduce en evidente economía, se ha producido por la práctica ya

generalizada del "acabado" de los revestimientos por el método de vibración, cualquiera que sea el tipo de mecanismos empleados.

En efecto: este sistema permite la puesta en obra de hormigones relativamente secos, sin el riesgo de resultar porosos, con menor dosificación de cemento, a igualdad de resistencia del hormigón, tanto a la compresión como a la flexión. La experiencia de Binasco ha demostrado que los hormigones secos resisten mejor aún al desgaste de los bandajes metálicos."

Ausente del Congreso de Munich la técnica americana, continuó en acelerado progreso la mecanización de la fábrica y puesta en obra del hormigón.

Los sistemas de conjunto, de compresión y acabado del hormigón, ya mecanizados, se extienden por diferentes Estados americanos tales como Ohio y New Jersey, y más tarde California, Illinois, Missouri y Oregon. La superficie del revestimiento con la aplicación de los dispositivos de acabado, completados con trabajos a mano, adquiere una regularización y uniformidad casi perfecta, al propio tiempo que la rugosidad necesaria para la seguridad de la circulación.

La aplicación de la vibración sustituyendo al apisonado mecánico se inicia (año 1931) en el Estado de Ohio, y dispositivos de diversa clase se empiezan a aplicar; sobre base ensayada y estudiada, los correspondientes a vibración superficial; no así los de vibración interna, más ingeniosos o teóricos que prácticos.

A partir de la fecha del Congreso de Munich, los revestimientos de hormigón entran en una nueva fase con directrices precisas.