

Pavimentacion de concreto

POR

CÁRLOS ALLIENDE ARRAU

I

Ultimamente ha tomado cierta importancia en muchas ciudades i caminos de Estados Unidos la construccion de pavimentos de concreto, i aunque la edad de los mas antiguos no pasa de algunos años, ya se puede preveer que, hechos en ciertas condiciones, presentan ventajas que los hacen mui dignos de tomarse en cuenta. Esto es de especial interes para nuestro pais donde tanto queda que hacer en materia de caminos.

Convencido de que la esperiencia de naciones mas adelantadas debe ser aprovechada i a fin de contribuir en algo al estudio de la cuestion pavimentos, he reunido a continuacion algunos casos de empleo de calzadas de concreto con las características de su construccion i las observaciones hechas despues de algun tiempo respecto de su duracion.

En *Chattanooga* se pavimentaron a fines de 1910 i principios de 1911 varias calles centrales de la ciudad, i en todas ellas se empleó una base de concreto de 0,125 metros de alto i de dosis 1:3:6, sobre la cual se puso una capa de 0,05 metros de mortero de cemento i arena en la proporcion de 1 cemento por $\frac{1}{2}$ arena que debia recibir directamente el rodado. La última capa se colocó unos 40 minutos despues de la base i su superficie se sometió a la accion de escobillones constituidos por fibras vejetales ríjidas que la dejaron áspera i por lo tanto apta para el tráfico.

Como el trabajo se llevó a efecto en gran parte del invierno, hubo dias de fuertes heladas: durante éstos la calzada se protejió con papel alquitranado que se dejó encima hasta dos semanas despues de pasado el mal tiempo. Semejante precaucion no resultó inútil, pues, en las pocas cuadradas en que no se la tomó, el concreto manifestó mui luego el efecto del frio saltando en pedazos al ser golpeado con una hacha o martillo. Naturalmente las secciones defectuosas se deshicieron para reemplazar el hormi-

gon por uno que fraguara en condiciones normales. Sin embargo, es interesante anotar que, como el concreto dañado no se quitara inmediatamente a causa de la persistencia del mal tiempo, él debió fraguar totalmente bajo la acción del intenso frío reinante, i a pesar de esta circunstancia, al cabo de algunas semanas no presentaba diferencia apreciable con el material colocado en mejores condiciones.

En los pavimentos de concreto de Chattanooga, o por lo menos en las primeras secciones construidas, no se consultaron juntas de dilatación, a las cuales se ha dado tanta importancia en otros casos.

El costo alcanzó mas o menos a \$ 7,00 de nuestra moneda por metro cuadrado. Es sensible que no pueda dar datos de las condiciones actuales del pavimento.

Una aplicación mas importante que la anterior ha sido la hecha en *Plymouth* durante el verano de 1910.

El pavimento tiene la particularidad de ser de concreto armado i se compone de un block inferior de hormigón de 0,125 metros de altura que sirve de base, sobre el cual se ha colocado una malla triangular tejida de alambre de la «American Steel Wire and Fence Co.». Encima viene la capa de rodado, consistente en un concreto mas rico que el anterior al que se le ha dado un espesor de 0,04 metros.

Lo mismo que en Chattanooga, la calzada tiene un aspecto rugoso; pero en este caso se ha usado un medio distinto para producirlo. Aquí, antes que la capa de rodado estuviera completamente dura, se echaron a mano sobre ella piedrecillas de granito cuyo diámetro variaba de 0,006 a 0,018 metros. Algunas piedrecillas se enterraron completamente en la masa blanda del hormigón, en tanto que otras dejaron sus puntas afuera, formando pequeñas depresiones i alturas muy convenientes para el tráfico, pues, hacen que los animales puedan afirmarse mas o menos bien.

Los efectos de la temperatura se han subsanado de una manera orijinal, interrumpiendo la calzada cada 12 metros i colocando transversalmente a la calle tablas de ciprés de la especie denominada en Estados Unidos «Pecky», las cuales hacen el efecto de verdaderas juntas de dilatación. Las mismas tablas se han usado en ambas cunetas, de modo que se puede decir que el pavimento está cortado en forma de bloques monolíticos de 12 metros de largo i de un ancho igual al de la calle.

El tráfico, despues de mas de un año de prueba, i salvo en las juntas de dilatación, no ha hecho al pavimento daño apreciable, pues, no se notan ni indicios de trizaduras. La madera de las juntas de dilatación se ha gastado algo, pero no en forma que pueda indicar un riesgo próximo de destrucción para el concreto vecino a las tablas.

El costo subió mas ó menos a \$ 7,50 de nuestra moneda por metro cuadrado.

Otro caso interesante de pavimentos de concreto es el de la ciudad de *Ann Arbor*, donde hasta la fecha se han ejecutado mas de 100 000 metros cuadrados desde 1909.

En la actualidad i despues de la experiencia de años anteriores, estos pavimentos se hacen, a semejanza de los dos casos antes citados, de dos capas distintas. La inferior que tiene una altura de metros 0,1125 (cuatro i media pulgadas), está formada

por un concreto de 1 parte de cemento i 8 de arena gruesa, i la superior, de sólo metros 0,0375 (una i media pulgadas) la constituye un mortero de 1 cemento por 2 arena. El tamaño de esta arena debe ser tal que pueda pasar por un arnero con aberturas de 0,025 metros. Por último, la superficie, que ántes de su completo endurecimiento se ha sometido a la accion de un escobillon de alambre para hacerla levemente rugosa i apta por consiguiente para retener mejor cualquiera materia que se deposite sobre ella, se cubre con alquitran caliente i arena en la dosis de 2,5 litros de alquitran por metro cuadrado i de $\frac{3}{4}$ metro cúbico de arena por cada 200 metros cuadrados de calzada. Todo esto se hace una vez que el concreto esté seco i limpio, i se pone primero el alquitran, cuidando que la arena caiga sobre el líquido todavia caliente.

Cada 7,50 metros i transversalmente a la calle, se dejan espacios de 0,019 metros ($\frac{3}{4}$ pulgada) de ancho para atender al efecto de la temperatura, espacios que se llenan con arena hasta 0,025 metros de la superficie i con alquitran caliente desde los 0,025 metros hasta la superficie misma.

Lo que caracteriza el pavimento de Ann Arbor respecto de los descritos anteriormente, es la colocacion superficial de la capa de alquitran i arena. Mr. Groves, ingeniero de ciudad de *Ann Arbor*, habia observado que los pavimentos hechos sin este agregado podian soportar perfectamente el peso de los vehículos mas pesados; pero tambien pudo constatar que la accion constante de este tráfico i los cambios de volumen del concreto a causa de las variaciones atmosféricas producian pequeñas trizaduras, que con el tiempo iban agrandándose hasta transformarse en verdaderas huellas. Entre estas dos acciones perjudiciales, tráfico i cambio de volumen, Mr. Groves basado en las investigaciones del profesor A. H. White de la Universidad de Michigan, consideró de mayor importancia la última, i su estudio lo indujo al empleo de esa capa de proteccion superficial de alquitran i arena.

Como es interesante conocer las investigaciones i opiniones del profesor White, daremos a continuacion un resumen de ellas, las que están espresadas en un informe presentado ante la American Society for Testing Materials. El profesor White principia por decir que, «hai algunas características inherentes que hacen que el cemento, morteros de cemento i concreto cambien de volumen cuando están sometidos a la accion del tiempo», independientemente del efecto de la temperatura. Estos cambios son debidos por una parte al proceso químico del fraguado, i por otra a la accion alternativa de la humedad i sequedad. Junto con Mr. Considère, i otros experimentadores, Mr. White sienta el hecho de que los cementos que fraguan bajo agua, amentan de volumen en progresion decreciente con los años i análogamente disminuyen de volumen cuando fraguan en el aire. El mismo fenómeno, pero en menor grado, se observa en los morteros de cemento.

El profesor White dejó sumerjidas por espacio de tres años, barras de cemento i encontró al cabo de este tiempo, que ellas habian experimentado una expansion lineal de 0,10 a 0,15 por ciento, expansion sufrida casi totalmente en el primer año. Espuestas estas mismas barras a una temperatura de 70° Farh. durante 65 dias, volvieron a su dimension primitiva i algunas se acortaron aun en 0,05%. Vueltas en seguidas a

ser sumerjidas en el agua, ellas recuperaron en un día su primera expansion. Experimentos análogos fueron hechos en barras de mortero de la dosis 1 : 3 i con barras mistas formadas por mortero de dosis 1 : 3 i cemento puro. Las primeras manifestaron las mismas expansiones i contracciones que las de cemento puro, con solo diferencia de grados; i en las barras mistas cada parte se dilató o contrajo como si los materiales estuvieran separados, es decir, el cemento tendió a dilatarse o contraerse mas que el mortero. Esta diferencia en la expansion i contraccion produjo esfuerzos de cisalle que en algunos casos ocasionaron hasta la ruptura.

Las experiencias anteriores prueban en suma que las alternativas de humedad i sequedad producen deformaciones en los concretos, i como estas alternativas son inevitables en las calles o caminos, aun en cortos intervalos a causa de las lluvias o riegos, es claro que deben ocurrir movimientos relativamente bruscos en la masa de los pavimentos. Un medio de aislar el concreto de esta accion era usar una sustancia impermeable como el alquitran.

El resultado ha sido bastante satisfactorio. Naturalmente la bondad del sistema reside en gran parte en la calidad del alquitran, el cual en lo posible ha de estar desprovisto de materias estrañas i ser suficientemente delgado para penetrar en todos los insterticios de la superficie de la calzada.

En lo futuro Mr. Groves se propone construir el pavimento con una solo capa de concreto, con lo que ademas de simplificar el trabajo, evitará los esfuerzos de cisalle en la masa misma del hormigon en el caso de que por un defecto de construccion pasara el agua a traves de la capa protectora de alquitran i arena. Constituyendo toda la masa de un material de igual dosis, no hai que temer expansiones i contracciones desiguales, segun se ha visto en las experiencias del profesor White.

Para terminar con las características del pavimento de Ann Arbor, diremos que la combinacion del alquitran i arena proporciona una espléndida superficie de rodado i que los gastos de reparacion son insignificantes.

No tengo ningun dato práctico del costo; pero es fácil darse cuenta de él aproximadamente por la cantidad de material empleado. Indudablemente el costo no puede pasar de \$ 8,50 el metro cuadrado.

En *Davenport* se ha usado tambien con éxito el pavimento de concreto. Antes de 1909, solo se le empleó parcialmente en algunas calles en combinacion con ladrillo vitificado: el concreto iba en la parte central, abarcando unos 3,50 metros mas o menos, en tanto que el ladrillo cubria las partes laterales de la calzada. En 1909 i 1910, se construyeron alrededor de 15 000 metros cuadrados, i ya en todo el ancho de la calle. El trabajo se hizo en la forma siguiente: una base de concreto 1:3:5 i 0,125 metros de altura, recibia en todos los casos una capa superior mas delgada de mortero de dosis 1:1, la que por medio de herramientas especiales se hacia rugosa en la cara de rodado. El efecto de la temperatura se aminoraba por medio de juntas de dilatacion colocadas transversalmente a la calle cada 15,00 metros, las que se llenaban con brea.

Este sistema de trabajo fue modificado en 1911, año en el cual se pavimentaron

otros 15 000 metros cuadrados, a causa de haberse observado algunas trizaduras que la Administracion creyó necesario evitar en lo sucesivo, a pesar de su poca importancia. La modificacion consistió en aumentar a 0,05 metros la capa superior de rodado, en poner juntas de dilatacion transversalmente cada 7,50 metros de 0,025 metros de ancho i en poner una junta longitudinal en el centro de la calle de 0,028 metros ($1\frac{1}{2}$ pulgada) entre las transversales. La capa de rodado se hizo con mortero de dósís 1:2 i las juntas se llenaron con asfalto. En estas nuevas condiciones el precio fluctúa al rededor de \$ 7,00 de nuestra moneda por metro cuadrado.

Hoi dia se ha hecho un último cambio en las especificaciones para bajar un poco el precio: él consiste en reducir la capa de rodado a 0,0375 metros ($1\frac{1}{2}$ pulgada) de altura, empobreciendo al mismo tiempo su calidad. Esta capa estará constituida por un concreto en la proporcion de 1 cemento, por 1 arena, por $1\frac{3}{4}$ piedrecillas de 0,006 a 0,012 metros de diámetro. Además, las juntas transversales se pondrán cada 6 metros i, lo mismo que las longitudinales, estarán formadas por una tabla de pino amarillo creosotado de 0,025 metros de grueso. Las modificaciones indicadas han bajado el precio mas o ménos en \$ 0,50 de nuestra moneda por metro cuadrado.

Tambien se ha usado en Davenport el pavimento de concreto armado. En calles cuyo suelo ha sido formado por escombros desde bastante profundida (2 o mas metros) i donde el tráfico hacia bajar el nivel anualmente en cantidades de cierta importancia, esta solucion se imponia. Se ha empleado en estos casos concreto de dósís 1:3:5 de 0,175 metros de altura, i el refuerzo ha sido la malla triangular de alambre de la American Wire Steel C.^o, análogo al de Ann Arbor antes descrito. Aunque el pavimento cuenta apenas un año de existencia, i a juzgar por sus condiciones actuales, parece que la esperiencia ha tenido éxito.

Para terminar i a fin de hacer ver la importancia que se ha dado a los pavimentos de concreto, diré que en 1912 deben haberse pedido propuestas para pavimentar mas de 30 000 metros cuadrados.

El ejemplo de Davenport ha sido seguido tambien por la pequeña ciudad de *Bettendorf*, su vecina, la cual en 1911 hizo pavimentar con concreto cerca de 25 000 metros cuadrados. En esta ciudad el trabajo se simplificó considerablemente, pues, se empleó una sola capa de concreto de 0,15 metros de altura i dósís $1:2\frac{1}{2}:4$. Las juntas de dilatacion se colocaron en la misma forma que en Davenport.

El trabajo, que se hizo mui rápidamente, pues se pavimentaron mas de 1 200 cuadrados por dia, no alcanzó a costar \$ 5,50 por metro cuadrado.

En *Ithaca* la oficina de caminos públicos tambien ha hecho construir pavimentos de concreto, tomando la precaucion de cubrirlos con una capa de proteccion de alquitran, análogamente a lo hecho en Ann Arbor.

Por último, en *Wayne County* (Michigan) se han hecho esperiencias en caminos públicos que han dado resultados bastate buenos.

II

No se escapará a los que hayan leído las líneas anteriores la importancia que puede tener para nuestro país el empleo de pavimentos de concreto. Este material que hasta hace algunos años solo se había usado como base en las calzadas, preocupa hoy día a muchas Administraciones de Estados Unidos, i a pesar de la reserva natural con que se acojen siempre las ideas nuevas ha ido estendiéndose con relativa rapidez.

Las descripciones hechas en el párrafo anterior manifiestan mas o menos con claridad las características de estos pavimentos i de ellas se puede deducir sus ventajas e inconvenientes.

La primera condicion de una calzada es que sirva como tal sin hundirse o partirse a causa del peso de los vehículos que transitan sobre ella, i se ha visto a través de los ejemplos citados que, si se toman ciertas precauciones, este desideratum lo realiza un pavimento de concreto.

Fuera de esta condicion que es primordial tiene el concreto ciertas ventajas de importancia. Tiene por ejemplo la de no ser resbaladizo, pues, como se ha hecho en casi todos los casos nombrados, es muy fácil producir una superficie de rodado ligeramente rugosa muy apta para sujetar los cascos de los animales. Bajo este aspecto los pavimentos de concreto están sobre el asfalto i talvez sobre el adoquin. En seguida tiene la ventaja de exigir muy pocos gastos para conservarse en buen estado.

Pero la ventaja mas grande es su relativo bajo precio comparado con pavimentos análogos. Escluyo de esta comparacion los adoquinados i empedrados hechos directamente en el suelo natural, porque, aunque mas baratos, no resisten un tráfico medianamente pesado despues de algunos meses. En Estados Unidos los pavimentos de concreto no han costado mas de \$ 8,50 de nuestra moneda por metro cuadrado. Esto es de especial interes para Chile y hace de las calzadas de concreto un posible ideal para ciudades de segunda importancia que no disponen sino de dineros municipales para sus obras públicas. Igualmente es el llamado a usarse en los caminos próximos a las grandes ciudades, como el de Santiago a San Bernardo, Valparaíso a Viña del Mar, etc., por ser superior al macadan i no mucho mas caro que él, teniendo de todos modos sobre el macadan la ventaja de no exigir gastos de conservacion o de exigirlos muy reducidos.

Como inconveniente del pavimento de concreto puede indicarse en primer lugar el ser ruidoso, lo que en realidad tiene solo importancia para ciudades, estando a este respecto por lo menos al mismo nivel del adoquin de piedra. En segundo lugar tiene el defecto de trizarse con las alternativas de humedad i sequedad. Ambos inconvenientes parece pueden remediarse con la colocacion superficial de una capa de alquitran i arena.

De todos modos, no se puede decir todavía que el pavimento de concreto esté consagrado definitivamente: faltan algunas esperiencias que hacer i deben trascurrir

aun algunos años para poder apreciar con toda seguridad su duracion en las partes en que actualmente existen.

Mr. Logan Waller Page, director de una oficina de caminos públicos (E. U. de N. A.), ha presentado últimamente a la Asociacion Americana de los Fabricantes de Cemento Portland un interesante informe sobre los pavimentos de concreto i, como en él se resúmen todas las ideas que hai hoy respecto de esta cuestion, traduciré a continuacion lo mas importante.

Dice M. Logan Waller Page:

«Durante los últimos diez años se han hecho probablemente mas experimentos con materiales para caminos que los que se han hecho en cualquier otro período en la historia del mundo. Las nuevas condiciones del tráfico debido principalmente al automobilismo han cambiado totalmente nuestras ideas respecto de las vías rurales i sub-urbanas. Durante este tiempo muchas experiencias se han hecho con el objeto de investigar la aptitud del concreto como material de camino i se puede decir que ellas no han resultado completamente satisfactorias en el mayor número de casos».

«Pera como hai algunos casos aislados en que se ha obtenido un éxito halagüeño, parece lógico prever para despues un éxito completo siempre que se tenga suficiente cuidado en la seleccion de las materiales, delicadeza en la ejecucion, etc., etc.».

«Las mejores informaciones indican que ha existido gran variedad en la construccion de pavimentos de concreto hasta la fecha. A veces este material se ha usado en dos capas de diferente dosis, a veces sólo en una capa; i muchas proporciones se han empleado en las mezclas.»

«Las prácticas jenerales de construccion deben sacarse de los tipos de pavimentos que hasta hoy han dado mejores resultados.»

«En primer lugar debe sólo usarse cemento Portland cuyas propiedades estén de acuerdo en todo con las especificaciones de la American Society for Testing Materiales.»

«En segundo lugar, la arena debe ser limpia, de aristas agudas, etc., i no debe contener mas de 5% de arenilla siempre que no haya materias orgánicas.»

«En tercer lugar, las piedras deben tambien ser limpias, duras, etc., no deben pasar a traves de un arnero cuyas aberturas tengan $\frac{1}{4}$ " i pasar libremente en todo sentido a traves de un arnero de aberturas de $1\frac{1}{4}$ pulgadas. El agua ha de ser naturalmente limpia i libre de ácidos fuertes i álcalis.»

«Las proporciones mas corrientes para el concreto son las 1:2:4 i 1:3:5.»

«Arreglado el terreno de fundacion cuidadosamente, es decir, drenado i comprimido en la misma forma que se haria para el mejor pavimento, se coloca el concreto con todo esmero, esparciéndolo i apisonándolo hasta un espesor de mas o ménos 0,15 metros. Este espesor depende de la naturaleza del suelo i del tráfico.»

«Una razon porqué muchos pavimentos de concreto han fallado ántes de ahora, ha sido a mi juicio el que se haya hecho fraguar el concreto con poca agua. Sabemos que la fragua hecha en presencia de un exceso de agua da al concreto una resistencia final mayor que la fragua hecha sin este excés. Por esta razon yo recomendaria la

fragua plástica i por un período de una o dos semanas despues de colocado el hormigon aconsejaria que su superficie se mantuviera húmeda por medio de riegos. Seria ademas mui ventajoso preservar la superficie de la accion directa de los rayos del sol, lo que puede hacerse cubriendo el concreto con una capa de tierra o arena en los caminos i con paja o aserrin en las ciudades. El aumento de resistencia del pavimento compensará sobradamente el aumento de costo.»

«Es ventajoso tambien aplicar al pavimento, una vez retirada la capa de proteccion superficial i terminada completamente la fragua, una delgada capa de alquitran, como se ha hecho en Ithaca i Ann Arbor. Este amortiguaria los choques del tráfico sin aumentar apreciablemente el costo.»

«Diversas esperiencias indican que el concreto al secarse se contrae, llegando en material perfectamente seco a $\frac{3}{4}$ pulgadas por cada 100 piés. Esto equivale a una elevacion de temperatura de 100 grados Farh., i muestra que la humedad produce efectos por lo ménos tan grandes como la temperatura, efectos manifestados por trizaduras de la superficie. Si hubiera un medio que impidiera la evaporacion de la humedad, gran parte de esta contraccion se evitaria. La cubierta de alquitran ántes aludida impide la desecacion rápida de la masa del concreto i por consiguiente se opone a la formacion de partiduras. Aun mas, producidas estas partiduras el alquitran seria llevado por el tráfico inmediatamente a ellas i el efecto amortiguador de ese material impediria que continuara disgregándose la masa.»

«En cuanto a la accion de la temperatura, es evidente que hai que tomar en cuenta la expansion i contraccion. Lo mas aconsejable hoi dia es poner juntas de dilatacion de $\frac{3}{8}$ a $\frac{1}{2}$ pulgada a lo largo de cada lado del pavimento en el caso de calles i una junta transversal cada 25 piés. El exámen que he hecho de los pavimentos de concreto indican que una junta de $\frac{1}{2}$ pulgada llena con alquitran es una solucion satisfactoria i previene la destruccion de los bordes del concreto a ámbos lados de la misma junta.»

«Como pendiente transversal a partir del centro de la calle hacia ámbas cunetas parece suficiente una de mas o ménos 2%. Se obtiene así una inclinacion transversal moderada: en jeneral esto es conveniente a causa de que el tráfico se distribuye mas igualmente sobre todo el ancho de la calle.»

«Los pequeños gastos de conservacion en los pavimentos de concreto bien hechos, constituyen otra de las particularidades dignas de notarse. Tengo datos del Ingeniero de ciudad de Portland que manifiestan que en 17 secciones de pavimentos de concreto, el mas antiguo de los cuales data de 1907, no se ha hecho ningun gasto de conservacion hasta la fecha. Nótese que Portland cuenta con 55 000 habitantes i que muchas de las calles pavimentadas con concreto reciben tráfico bastante pesado. Muchos otros casos han sido puestos en mi conocimiento donde prácticamente ningun gasto de mantencion ha sido hecho en un lapso de tiempo de 3 a 5 años.»

«Los datos de la Office of Public Roads respecto de los pavimentos de macádan i macádan alquitranado en calles o caminos de gran tráfico, indican que para mantener estos pavimentos en buen estado se necesitan 450 dollars por milla i por año en

el caso de macádan i de 800 a 1 000 dollars por milla i por año en caso de macádan alquitranado. Estos datos se refieren a superficies de 15 piés de ancho.»

«Comparado con el mácadán i macádan alquitranado, el pavimento de concreto tiene importantes ventajas. Para sostener pesos de direccion normal al pavimento, la capacidad del concreto debe ser mayor que la de los dos pavimentos nombrados. Falta por desgracia aun muchos datos experimentales que nós den en esto una evidencia absoluta. Sin embargo, no es difícil deducir ciertas conclusiones definitivas de la naturaleza misma de los materiales. Es bien sabido que en los caminos de macádan se forman huellas cuando el tráfico es mui pesado. Si estas huellas aumentan mas o ménos rápidamente es claro que en el macádan debe haberse producido una especie de cisalle. Naturalmente las huellas se forman tambien por desgaste i desplazamiento lateral de las piedras. Ahora bien, la capacidad del concreto para resistir al cisalle es mucho mas grande, i debemos notar talves que este es el primer punto de superioridad del concreto sobre el macádan. Lo mismo se puede decir de la capacidad para sostener pesos normales.»

«Es práctica comun en los puentes de concreto suponer que las cargas se reparten en cierta área limitada por una superficie cónica cuyas jeneratrices forman un ángulo de 45 grados con la horizontal. Semejante suposicion no puede hacerse con la misma exactitud para el macádan, i esta es una segunda ventaja del concreto sobre el macádan.» (1)

Santiago, Julio de 1912.

(1) La mayor parte de los datos consignados en este escrito ha sido tomado de diversos artículos de la revista norteamericana *Engineering Record*.