

UN Periódico, Publicación de la Universidad Nacional de Colombia, mayo 2004, Bogotá D.C.

Las fallas de los pavimentos de TransMilenio

Lisandro Beltrán Moreno *

En las últimas semanas los medios de comunicación han presentado opiniones y resultados de los debates realizados en el Congreso Nacional, con relación a las fallas que afectan los pavimentos de la Fase I del Sistema de Transporte de TransMilenio (TM). La Universidad Nacional, por encargo del Instituto de Desarrollo Urbano, ha estudiado las causas de dichas fallas desde hace cerca de año y medio ⁽¹⁾ las cuales se resumen en este artículo.

Eje Ambiental de la Avenida Jiménez

La reconstrucción de esta vía, desde la carrera 10 hasta el Parque Germania, pretendió contribuir a la rehabilitación del centro de Bogotá, con su adaptación al uso del sistema de TM, muy restringido para los vehículos particulares. El diseño arquitectónico estuvo a cargo de Salmona y Kopek, que lo concibieron como parte integral del camino al cerro de Monserrate. El diseño de ingeniería estuvo a cargo de Spea Ingeniería Europea S.p.A., que para 10 años de vida de diseño del pavimento recomendó una estructura conformada por una sub-base granular, una base estabilizada con cemento y, en la superficie, un adoquín de mortero de 8 cm de espesor, apoyado sobre una capa de arena de 4 cm. Este sistema de pavimento es de tipo articulado, en el que las cargas que aplican las llantas se distribuyen a las capas inferiores mediante la trabazón que producen granos de arena insertados entre las uniones de los adoquines, y para que los adoquines adyacentes tomen carga son necesarios pequeños movimientos. Puesto que el agua lluvia se puede infiltrar por las uniones, es indispensable proveer un buen sistema de drenaje, que la colecte y la conduzca al sistema de alcantarillado.

Con el fin de mejorar la estética de los adoquines del pavimento, los arquitectos propusieron su cambio por adoquín de ladrillo, pero no fue posible que los productores locales cumplieran con la especificación de la resistencia a la flexión con el adoquín de 8 cm de espesor, sino con el de 6 cm. Luego, durante la ejecución de la obra, se produjeron retrasos en el cronograma, y ante las ventajas de rapidez en su colocación, el constructor, Conconcreto S.A., propuso el cambio de la base estabilizada con cemento por el relleno fluido, de una resistencia a la compresión a los 28 días de 70 kgf/cm² de 20 cm de espesor. Se consideró, entonces, que esta capa de relleno fluido se comportaría de manera rígida ante las cargas que aplican las llantas, es decir, que no ocurriría una deflexión importante bajo ellas, y como consecuencia se pegaron los adoquines sobre una capa de mortero, que reemplazó la capa de arena. De esta manera se cambió el pavimento articulado flexible por el de un pavimento rígido, sobre el que los adoquines se pueden pegar, como cuando se coloca un baldosín de piso.



El tramo Los Héroes-Calle Sexta tiene 8.573 losas. Hasta el momento han sido reparadas 295 y faltan 438 por arreglar.

El tránsito de los buses de TM empezó en abril de 2002, y en septiembre del mismo año la Universidad Nacional encontró que el 23,3% del área de sus calzadas presentaba fallas, y en las de tráfico liviano eran del 8,4%.

Debido a que las cargas que aplican los buses de TM son altas, de hasta 12,5 toneladas en sus dos ejes traseros, la estructura de pavimento que se construyó se deforma bajo las cargas, lo cual, junto con la baja adherencia al mortero que presentan los adoquines de ladrillo, hace que se desprendan y luego se fracturen, pues el paso de las llantas los golpea entre sí. Cuando no hay mantenimiento inmediato, el daño continúa con el bombeo del mortero y del relleno fluido, en las épocas de lluvias.

Troncales Autopista Norte y Avenida Caracas

La estructura inicial del pavimento de Avenida Caracas se construyó en la década del cuarenta y la de la Autopista Norte en los cincuenta, ambas con losas de hormigón, que proporcionaron un buen nivel de servicio durante muchos años, hasta que las fallas de las juntas, las ampliaciones y adecuaciones de las vías decidieron el cubrimiento de la superficie con una capa de mezcla asfáltica. La Avenida Caracas funcionó de esta manera como troncal del sistema Solo-Bus desde la década del ochenta.

La adecuación de estas vías al sistema TM la realizó la firma Steer, Davis y Gleave Ltda., que diseñó la estructura del pavimento para 20 años, con la superficie en losas de hormigón, apoyada sobre una capa de base asfáltica en las zonas de rehabilitación, es decir, donde existía pavimento antiguo, y sobre una capa de relleno fluido de 60 kgf/cm² de resistencia a la compresión en las zonas de ampliación, es decir, de pavimento nuevo.

Durante la ejecución de las obras se produjeron retrasos en el cronograma, de manera que se cambió la base asfáltica por el relleno fluido, de una resistencia de 30 kgf/cm², el cual ya se había utilizado, en apariencia de manera exitosa, en la construcción de numerosos pavimentos secundarios de varias localidades de la ciudad y en la vía a La Calera. De la calle 6 hasta el Terminal de Usme se mantuvo la base asfáltica recomendada en el diseño como apoyo directo de las losas de hormigón.

Entre diciembre de 2000 y abril de 2001 se dio al servicio el pavimento rehabilitado de la Autopista Norte, y en enero de 2003 la Universidad halló 3,3% de losas rotas. En el caso de la Troncal de la Caracas, en el sector comprendido entre la calle 6 y Los Héroes, la puesta al servicio ocurrió en diciembre de 2000, y en junio de 2003 se encontraron fallas en el 40,7% de la calzada occidental de TM, y en el 28,9% de la calzada oriental.

Troncal Calle 80

Esta vía se empezó a construir desde la década del sesenta, con una estructura de pavimento flexible. La firma Steer, Davis y Gleave Ltda. efectuó el diseño geométrico de su adaptación al sistema Solo-Bus, y el Consorcio Restrepo y Uribe Ltda.-Sesac Ltda. realizó el diseño de la estructura del pavimento flexible, para una vida de diseño de 15 años. Su construcción se contrató con ICA de México. Durante las primeras etapas de la obra se decidió su adaptación al nuevo sistema de transporte TM, y entonces, debido a las diferencias de cargas con el Solo-Bus, su vida de diseño se redujo a siete años. Cuando ICA de México la abandonó había construido cerca del 60% de la obra.



Los buses de TransMilenio aplican una carga por eje de hasta 12,5 toneladas.

Luego de la declaratoria de rescisión del contrato de ICA de México, se encargó la terminación de la obra al Consorcio MHC Ltda.-Concay Ltda. Con el fin de aumentar la vida de diseño del pavimento y de disminuir la deformación viscosa que experimentan las mezclas asfálticas bajo las cargas repetidas, se decidió utilizar un asfalto modificado con polímeros en la conformación de la capa de rodadura de las calzadas de TM, con cuyo uso no existían experiencias previas en nuestro país. Desde antes de dar la Troncal al servicio, la capa de rodadura ya presentó fallas que obligaron al constructor a sellar grietas y a efectuar el levantamiento de amplias zonas del pavimento, aun en las calzadas laterales, dedicadas a tráfico mixto (automóviles y vehículos de carga), cuya capa de rodadura se conformó con asfalto convencional. En septiembre de 2003 las fallas afectaban cerca del 32% de la superficie del pavimento en las calzadas de TM, y del 14% en las calzadas de tráfico mixto.

Lecciones de las fallas

De las fallas ocurridas en los pavimentos de la Fase I de TM es necesario sacar algunas enseñanzas y lecciones, que deben evitar la repetición de los errores que se cometieron en su ejecución.

En el Eje Ambiental se modificó la forma de funcionamiento del pavimento diseñado, por otra que no es compatible con los materiales utilizados. En las Troncales de la Caracas y Autopista Norte se introdujo un material inadecuado, el relleno fluido, sobre el cual no existían experiencias en otros países ni en Colombia, como base de pavimentos de vías de alto tráfico. En la Calle 80 se empleó un asfalto modificado con polímeros para elaborar la mezcla asfáltica, que no se había utilizado antes en el país.

Desde principios de la década del setenta se hizo evidente que, debido a la velocidad con que circulan los vehículos sobre un pavimento, los materiales de la estructura reciben las cargas variables de las llantas como golpes, y por lo tanto, se debe evaluar la resistencia de los materiales bajo aplicaciones repetidas o cíclicas, y no bajo cargas estáticas. El material relleno fluido, compuesto por arena, cenizas de alto horno, cemento, agua y aire, absorbe agua por capilaridad, que por su carácter incompresible bajo los esfuerzos de ingeniería destruye los enlaces entre granos aportados por el cemento, y bajo las cargas cíclicas lo convierte en lodo. Luego, el movimiento rápido

del agua con el fenómeno de bombeo acelera su proceso de erosión. La disminución diferenciada de volumen en algunas zonas debajo de las losas hace que estas pierdan el soporte total y se fracturen bajo cargas pesadas.

La elaboración de los asfaltos modificados y la producción de mezclas asfálticas con ellos requieren de técnicas especiales para evitar que el asfalto se oxide, es decir, que pierda excesivas cantidades de volátiles y de resinas, que lo vuelven rígido y frágil, sin sus características flexibles. La aplicación de dicha tecnología no fue exitosa en las calzadas de TM de la Troncal 80.

La Ingeniería Civil es una profesión con una tradición de más de 200 años, durante la cual se han acumulado los conocimientos y la experiencia, propia, pero más que todo adquirida en obras construidas en los países desarrollados. Esa experiencia se ha vertido en los códigos de práctica y en especificaciones de construcción, los cuales no se pueden violar con la introducción de especificaciones de materiales no probados de manera exhaustiva, con el fin de servir los intereses de un gremio particular, o por las "genialidades" de un funcionario de alto rango, como en el caso de los "pavimentos de larga vida". Tampoco se deben importar alegremente normas de otros países sin su debida verificación con las condiciones locales.

Debido al gran número de factores que inciden en el comportamiento de una estructura de pavimento, los cuales todavía no es posible tener en cuenta en su totalidad en un solo método de diseño, en los países desarrollados se recurre a conformar pistas de prueba, las cuales se construyen en tramos, con los diversos materiales y estructuras del pavimento que se desean probar, y bajo las condiciones ambientales imperantes se someten a la aplicación intensiva de cargas por vehículos automatizados hasta llegar a la falla, tiempo durante el cual se observa su comportamiento. Una alternativa más económica de estudio son los carruseles de prueba en un laboratorio. De esta manera se analizan los nuevos materiales y se definen las técnicas, los procesos y los materiales con los que se pueden construir los proyectos reales, cuyos altos costos exigen que los riesgos de falla que se tomen sean mínimos.

Es necesario que los diseños y las decisiones en obra las tomen ingenieros con conocimientos actualizados y de buena experiencia local, de manera que su ejercicio profesional sea hábil y competente. Para ello, debe llegarse más pronto que tarde a la exigencia de los exámenes periódicos de Estado, cada cinco años, como sucede en los países desarrollados, para que los profesionales revaliden su matrícula, y la sociedad tenga alguna garantía de la idoneidad del servicio profesional ⁽²⁾.

Muchas firmas de ingeniería nacionales presentan en las propuestas de las licitaciones a especialistas y asesores competentes, pero durante la ejecución de los proyectos solo los llaman para consultar algunas decisiones, con el propósito de reducir costos, de manera que la mayoría de las decisiones de obra las toman los ingenieros de nómina, casi siempre recién egresados, o los administradores de las empresas, que carecen del conocimiento técnico suficiente. Es necesario cambiar esta práctica, que ha permitido la utilización de productos promocionados con folletos, a los que los vendedores asignan propiedades "milagrosas", pero que no cuentan con el respaldo que en ingeniería dan las investigaciones realizadas con rigor científico.

* Profesor Emérito de la Universidad Nacional de Colombia.

(1) En vista de la complejidad y extensión de los estudios, la Universidad Nacional conformó un grupo de trabajo integrado por ingenieros civiles especializados en varias áreas del conocimiento, entre los que se destacan los profesores Carlos I. Gutiérrez, Gabriel Gómez, Jorge Matiz, Álvaro J. González, Álvaro Correa, y el autor de este artículo.

(2) Vale la pena anotar que en los exámenes de Estado realizados a finales de 2003 la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional, sede Bogotá, ocupó el primer lugar en el país