



12-14 de Noviembre del 2012
Facultad de Ingeniería Mochis, Universidad Autónoma de Sinaloa

FISURAS TRANSVERSALES EN PAVIMENTOS OCASIONADAS POR LA INEFICACIA DE PASADORES

M. J. Segerer¹

¹ Presidente de Control y Desarrollo de Hormigones S.A. - Gutenberg 8115 Luján - Mendoza - ARGENTINA

RESUMEN

En varios kilómetros de pavimentos de la ciudad de Mendoza, se presentaron patrones de fisuración de difícil abordaje y de los que no figuran casos similares en la bibliografía. Estas fisuras se manifestaron en las losas a edades entre 3 y 12 meses de construidas coincidiendo con descensos de temperatura, como fisuras paralelas a las juntas, en el centro de losas y espaciadas 8 a 20 metros; formándose en varios casos en una sola jornada de manera abrupta con anchos mayores a 20 mm. Se realizó un seguimiento de los paños fisurados y de los que no presentaban daños para comprender el fenómeno. Con la ayuda de los ensayos se determinó que el origen de la fisuración en estos pavimentos está relacionada con las variaciones de temperatura estacionales. Se pudo inferir que la causal principal de la fisuración es la mala utilización de pasadores, debido a la inexistencia de rotura de adherencia entre pavimento y pasador.

Palabras claves: Fisuración por variaciones térmicas, empleo de pasadores, pavimentos de hormigón, adherencia de pasadores, fisuras transversales en pavimentos

ABSTRACT

Thermal cracks on urban pavement due to improper use of dowel bars

Along various kilometers of pavement in Mendoza city, a pattern of cracks were detected. Due to their characteristics, these cracks were undocumented in the existing bibliography, making them cases of difficult approach. The cracks appeared in slabs of 3 to 12 months old, phenomenon which was associated with temperature drops. The cracks appeared parallel to joints, in the middle of some slabs, and separated from each between 8 to 20 meters. In many cases, the cracks appeared abruptly on the same day, being more than 20mm wide. Careful observation was made on both cracked slabs and undamaged slabs. Tests were carried out and it was determined that the pavement cracks had been caused by seasonal temperature variations. Since problems of adherence between concrete and dowel bars were not detected, it was concluded that the main cause for the cracking was an improper use of dowel bars.

Key words: Cracking due to thermal changes, dowel bars placement, concrete pavement, dowel adhesion, traverse concrete cracks

INTRODUCCIÓN

La obra consistió en la repavimentación de 36 cuadras del centro de la ciudad de Mendoza. Originalmente, el diseño no consideró la necesidad del empleo de pasadores en juntas de contracción. Sin embargo, a los pocos meses de construido, se comenzaron a percibir síntomas de alabeos considerables, no habiendo utilizado pasadores en las primeras 12 cuadras de la obra. Debido a esta causa, se decidió emplear pasadores para minimizar el alabeo en las 24 cuadras restantes, aspecto impuesto durante su ejecución.

Con el transcurso del tiempo, entre 3 meses y un año de habilitación del pavimento, comenzaron a formarse anchas fisuras transversales en el centro de algunos paños. Estas fisuras aparecieron sólo en los tramos que poseen pasadores, mientras que en las primeras cuadras construidas sin pasadores no, habiendo ejecutado la obra con los mismos materiales y metodologías constructivas. En realidad, no se trató de pasadores, sino de barras de unión de acero liso, ya que en ninguna de las más de 1200 juntas de contracción se empleó algún tratamiento para impedir la adherencia entre la barra de acero y el hormigón, cumpliendo con las directivas impartidas de no efectuarlo.

En el caso que no se empleen pasadores en pavimentos, la posibilidad de movimiento es fácilmente apreciable ya que ambas losas son independientes. En el caso que se empleen pasadores, es indispensable brindarles medios a éstos para que actúen como tales y no como barras de unión, lo cual, se demostrará es perjudicial. Los pasadores se diseñan para evitar el movimiento vertical de cargas pero deben permitir el movimiento en horizontal entre losas^{2 3}⁴, por variaciones dimensionales debidas a contracción por secado y variaciones de temperatura (diarias y estacionales)^{5 8}. Si bien en el presente estudio se abordarán las fisuras centrales en losas; a título de referencia y de forma generalizada también, se presentan fisuras de esquina y mapeo superficial, mientras que en algunos sectores puntuales, fisuras por aserrado tardío en paños seguidos, causa que fue verificada por extracción de testigos.

MATERIALES, TÉCNICAS CONSTRUCTIVAS Y DISEÑO DEL PAVIMENTO

Los materiales empleados en la obra fueron: hormigón H-26 (resistencia de testigos promedio 28 MPa); CPP 40; CUC 360 kg/m³; AG Rodado TMN 1 ½"; AF arena gruesa y aditivos superfluidificantes para modificar la consistencia en obra. Las metodologías constructivas consistieron en: excavación de 55 cm en promedio desde el nivel original; colocación y compactación, con rodillos vibratorios, en capas de 25 a 30 cm de estabilizado granular; humedecimiento de la base antes del hormigonado; descarga por canaleta; consolidación por reglas y vibradores de inmersión; fratachado superficial y aplicación de membrana en base solventada con el hormigón en estado fresco. El aserrado se llevó a cabo entre 6 y 20 horas dependiendo de las condiciones climáticas y el curado se continuó 7 días con lámina de polietileno. En condiciones de tiempo frío se protegió con quemadores (tambores) cada 15 metros durante al menos 5 días.

Sólo en 24 cuadras se emplearon pasadores equivalentes a barras de unión. Las juntas de contracción en todos los casos están separadas 4,0 metros con una superficie de paños general de 16 m². El espesor de diseño del pavimento fue de 18 cm y los más de 100 testigos extraídos arrojaron un promedio de 19 a 20 cm. En todos los casos, las juntas de dilatación se materializaron con listón de madera blanda y pasadores (engrasados y con capuchón), las cuales se ubican aprox. cada 40 metros según diseño original. No existen barras de unión en sentido longitudinal (junta machihembrada).

RELEVAMIENTO DE DAÑOS

Las fisuras (Figura 1) que afectaron a más de 130 losas de la obra, se caracterizan por:

- Son paralelas a las juntas de contracción y ubicadas en la zona central de la losa
- Se encuentran sólo en los tramos donde se emplearon pasadores
- En todos los casos no había indicios de este tipo de fisuras al habilitar el tránsito
- Aparecieron en todos los casos a más de 3 meses de haber hormigonado y en algunos casos aparecieron a un año de construidas las losas
- Nunca aparecen losas consecutivas fisuradas, espaciadas de 2 a 5 paños
- No aparecen este tipo de fisuras en losas contiguas a juntas de dilatación, espaciadas de las juntas como mínimo 6 metros de éstas (1 ½ losa)
- Las fisuras presentan anchos de 15 a 30 mm y penetran todo el espesor
- Debido al movimiento de las losas, el sellado de las fisuras no ha sido satisfactorio
- Es una patología general de todos los tramos en los que se incorporaron pasadores (24 cuadras), no apareciendo en las primeras 12 cuadras construidas
- Las fisuras están en ambos carriles, en general coincidentes, en losas contiguas
- Alguna de las losas fueron reconstruidas y presentaron las mismas fisuras al poco tiempo de realizadas, no habiendo ejecutado juntas de aislamiento (Figura 1)
- En función del relevamiento continuo, pudo apreciarse que en varios casos la fisura se abría en uno de los paños y a continuación, se comenzaba a abrir en el paño contiguo
- En algunas cuadras, las fisuras aparecieron recién al año de construida, en coincidencia con las temperaturas más bajas del año y se formaron repentinamente con diferencia de un día a otro en función de relevamientos continuos
- En algunos casos, débiles disminuciones de secciones, como testigos extraídos (Figura 1), fueron suficientes para inducir la fisuración en esa zona, relacionándolo a priori con una concentración excesiva de tensiones en las losas afectadas

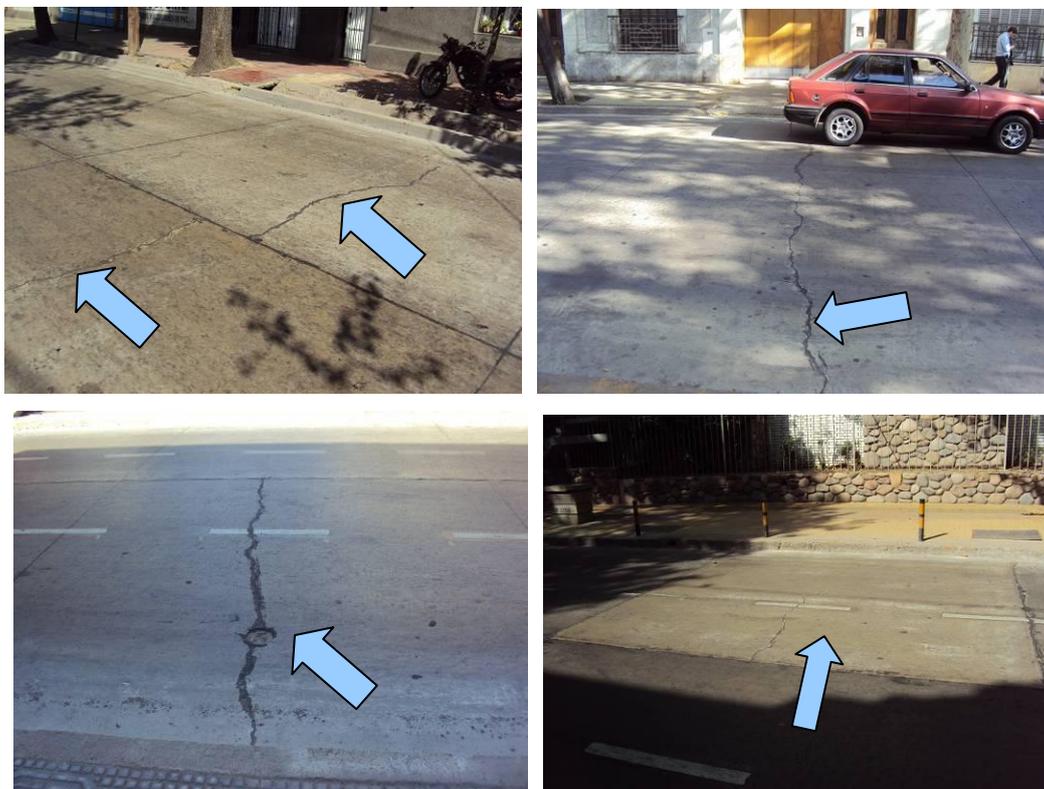


Figura 1. En la parte superior fisuras típicas en el centro de losas. En la parte inferior fisura inducida por extracción de testigo y losa reparada sin juntas de aislamiento con aparición de fisura.

En la Figura 2 se esquematizan los patrones de fisuras. Las juntas de dilatación están espaciadas entre 8 y 10 losas de 4 metros cada una, por lo general. Se presentan dos casos diferentes, ya que hay tramos que presentan mayor severidad de losas fisuradas y otros tramos con menores daños. Igualmente, no puede asegurarse que los tramos que presentan menor severidad de fisuración puedan presentar más fisuras con el transcurso del tiempo. Es más, con el inicio de la segunda estación fría para algunos tramos del pavimento (junio de 2012) ya se han relevado nuevas fisuras, tendiendo al Caso 1 los tramos que presentaban menos fisuras.

- **Caso 1.** Presentan una cantidad considerable de losas fisuradas (entre 8 a 12 losas por cuadra), espaciadas entre 2 a 4 losas, presentando las primeras fisuras a 6 m de la juntas de dilatación por lo general (nunca en paños adyacentes).
- **Caso 2.** Presentan una cantidad menor de losas fisuradas (aprox. 4 losas por cuadra), ubicadas en la parte media de los tramos entre juntas de dilatación. Estos tramos fueron en los que con el transcurso de los meses (hasta un año) fueron progresivamente apareciendo.



Figura 2. Patrones típicos de fisuras en tramos con pasadores.

MEDICIONES REALIZADAS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Debido al carácter atípico de las fisuras, se realizaron ensayos y mediciones durante más de 6 meses. Se ideó un sistema para poder medir las variaciones dimensionales de las losas, instalando tornillos distanciados entre 80 y 140 mm para medir en diferentes ocasiones, la apertura / clausura de juntas y fisuras en paños representativos con pie de rey digital de precisión (Figura 3). Estos pares de testigos se instalaron en ocho a diez puntos de cuatro tramos representativos de pavimento habilitado al tránsito, siempre aprovechando zonas para medir movimientos en fisuras, juntas de contracción y juntas de dilatación.

Instalados 39 pares de tornillos, se realizaron mediciones en varias ocasiones, diferentes días, entre los meses de abril de 2011 y septiembre de 2011, escogiendo jornadas intencionalmente de temperaturas altas, bajas y medias; y en algunos casos registrando dos mediciones el mismo día, para apreciar el comportamiento de las losas. En todos los casos se realizaron las mediciones “a tope” de la cabeza del tornillo que intencionalmente se dejó levemente saliente de la superficie para poder medir con precisión con el pie de rey la distancia entre los puntos externos de ambos testigos (tornillos). En todos los casos se registró la temperatura ambiente (no superficial del hormigón) y se registró el espaciamiento existente entre cada par de tornillos (Figura 3). Se prosiguió en el tiempo con esta metodología ya que se detectó una gran coherencia en los resultados, en lo relacionado con la apertura / clausura de fisuras y juntas de dilatación con los cambios y variaciones de temperatura, tanto en el mismo día como en diferentes jornadas de distintas estaciones. Los resultados de todas las mediciones se reúnen en los cuatro gráficos de la Figura 4, confeccionados según:

- Se refieren todos a las mediciones de temperatura máxima, para determinar contracciones y gradientes de temperatura (que son los perjudiciales ya que inducen tensiones de tracción), siendo el estado en el cual los lados de juntas y fisuras están más próximos.
- En el eje de abscisas se presentan las variaciones de temperatura (en negativo) referidos a la temperatura máxima prevista en servicio y en las cuales se realizaron las mediciones.
- En el eje de ordenadas, se han marcado contracciones (aunque figuren con signo positivo) relativas de los lados de fisuras o juntas.
- Se ha inferido una línea de tendencia para cada una de las series de movimientos representativos, para juntas de dilatación y fisuras transversales.
- No figura una línea de tendencia para movimientos diferenciales de juntas de contracción, debido a que presentan valores muy bajos y confusos.

Analizando los resultados graficados en la Figura 4 puede concluirse que:

- Las juntas de dilatación, tal como es esperable, presentan una contracción proporcionalmente lineal a la variación de temperatura (Media 1,0 mm / 10 °C).
- Las fisuras transversales estudiadas, son claramente activas, presentando una contracción proporcionalmente lineal a la Δ de temperatura (Media 0,8 mm / 10 °C).
- Las juntas de contracción no presentan ningún movimiento notorio.
- Tanto las juntas de dilatación como las fisuras, son quienes absorben las variaciones dimensionales se mueven proporcionalmente a cambios de temperatura.
- Considerando que en cada paño de 40 metros entre juntas de dilatación, aparecen entre 3 a 4 fisuras en los tramos escogidos para el estudio, como valor promedio; se presentan deformaciones totales de 3,5 mm / 10 °C (un movimiento de junta de dilatación + 3 a 4 movimientos de fisuras transversales en los tramos estudiados).
- Relacionando el movimiento total ocasionado por variaciones de temperatura determinado como promedio de cientos de mediciones, puede inferirse en el tramo entre juntas de dilatación una variación de dimensiones ~ 0,009 % / 10 °C.



Figura 3. Colocación de testigos para el seguimiento de juntas y fisuras.

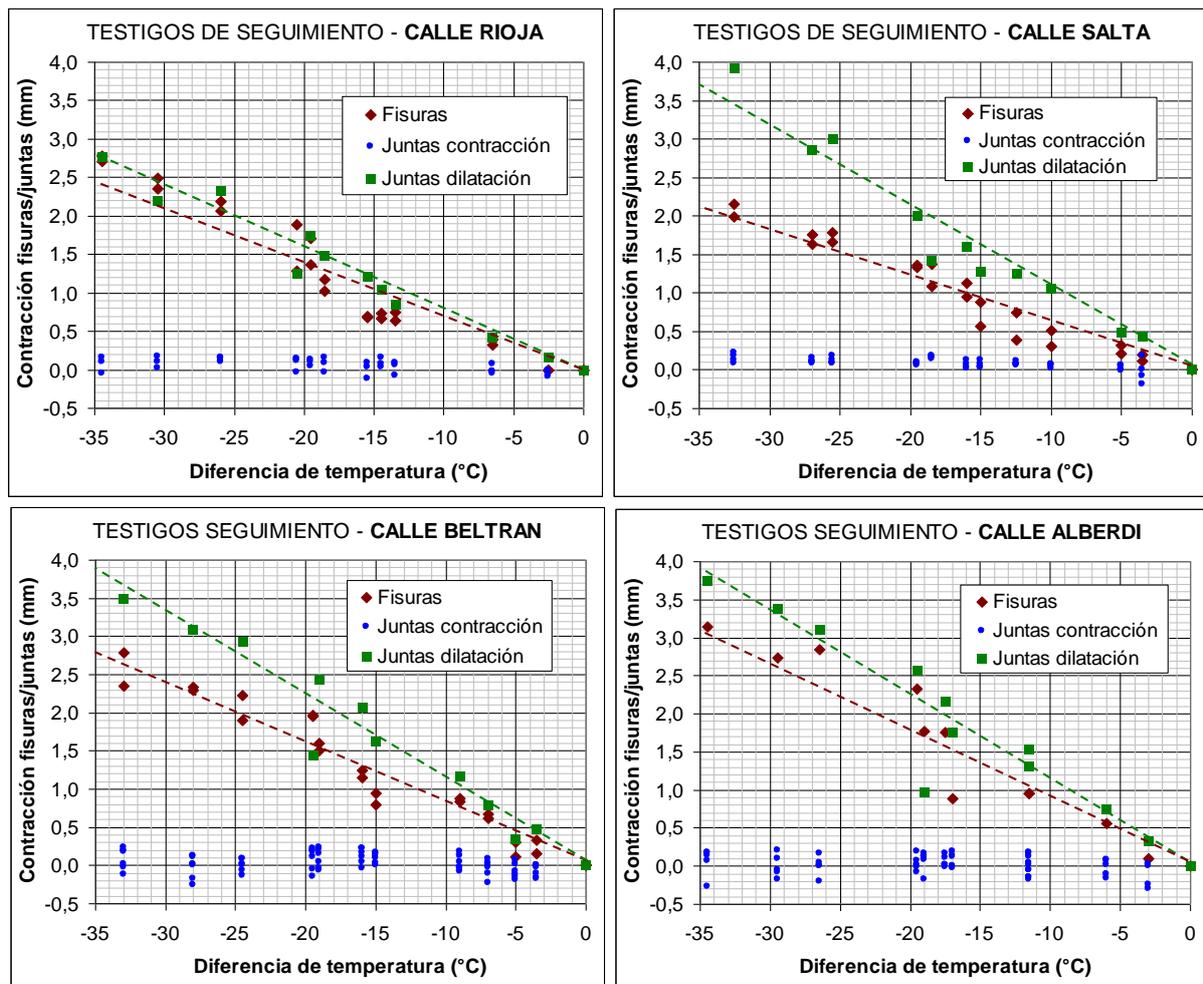


Figura 4. Contracción relativa de juntas y fisuras según variaciones de temperatura.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Analizando los valores de movimientos de fisuras y juntas:

- El valor determinado ($0,009 \% / 10\text{ }^{\circ}\text{C}$) coincide con el coeficiente de dilatación térmico del hormigón convencional que es de $0,000008$ a $0,000010\text{ }1/^{\circ}\text{C}^{-1}$
- De lo anterior se deduce que las juntas de dilatación y las fisuras absorben prácticamente la totalidad de los movimientos por variaciones de temperatura

Para el caso de losas individuales de 4 metros, correspondería a variaciones dimensionales de aproximadamente 0,3 a 0,4 mm para un gradiente de $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Para casos extremos de variaciones de temperatura ambiente del orden de $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, los movimientos máximos por temperatura podrían llegar a aproximadamente 1,5 mm de cada una de las losas. Los movimientos totales por contracción debidos a un descenso considerable de temperatura para el caso de largos paños, por ejemplo de 40 metros para el caso de juntas de dilatación de la obra de referencia, serían superiores a 10 mm para gradientes del orden de $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, con lo cual el hormigón no puede soportar estas grandes deformaciones debido a que sus movimientos están restringidos por la base, losas adyacentes, banquetas, junta machihembrada, entre otros.

Para el caso de pavimentos, es indispensable absorber los movimientos por temperatura en las juntas intermedias, en este caso juntas de contracción ^{2 3 5}. De no poder realizarlo las tensiones internas fisurarán el hormigón debido a que el mismo no se encuentra libre para

moverse, debido a la fricción con la base y otros elementos de hormigón. En el caso de la dilatación por aumento de temperatura, las dilataciones no generarían fisuración debido a que se obtendría una “pre-compresión” del hormigón sin efectos tan nocivos como la contracción por descenso de temperatura. En el caso de descensos de temperatura y considerando que la deformación por tracción admisible del 0,015%¹; al superarla (acortamiento de elementos) y la misma está restringida por la base, el hormigón se fisurará perpendicular al movimiento. Comparando los valores de variaciones dimensionales de pavimentos, coincidiendo el teórico con el medido durante más de 6 meses, puede considerarse que:

- Si la máxima deformación admisible por tracción antes de llegar a la fisuración es del orden de 0,015%, esto involucra que para gradientes de temperatura de entre 15 y 20 °C negativos (descenso desde la temperatura inicial del primer día de colado) se superarían estas deformaciones y se provocarían fisuras para aliviar estas tensiones.
- Estas variaciones de temperatura de 15 a 20 °C son propias de diferencias estacionarias (escala de meses), con lo cual aparecieron recién a los meses de la construcción.
- Para deformaciones de origen térmico del orden de 0,015%, los paños o “bloques de losas” equivalentes serían de 3 a 4 veces los correspondientes a movimientos por contracción por secado (considerando deformaciones típicas por contracción del 0,04 a 0,06%¹), paños de contracción que tienen espaciamiento de 4 a 5 metros.
- El hormigón simple no puede soportar estas deformaciones, formando grandes bloques de losas unidas de 12 a 20 metros (3 a 4 veces los paños por contracción de 4 a 5 metros).
- Esto explica porqué las fisuras aparecieron a los 3 a 6 meses y en algunos casos al año de haber sido construidas, coincidiendo principalmente con la primera estación fría de exposición del pavimento la aparición de varias fisuras.
- Si se hubiesen trabajado adecuadamente las juntas de contracción y pasadores, estos movimientos hubieran sido absorbidos por las fisuras inducidas bajo las juntas, que poseen ancho suficiente para evitar esta concentración de tensiones.
- Las losas sin pasadores sí presentan libertad de movimientos, no apareciendo fisuras.

Como comentarios complementarios, puede destacarse que:

- Numéricamente puede demostrarse que las mayores tensiones se producen en el centro de los paños y perpendicular a juntas de contracción⁶⁷⁸.
- La fisuración inicial en uno de los carriles, puede “arrastrar” por su unión en la junta machihembrada a los carriles adyacentes.
- Es coherente que no existan fisuras en paños adyacentes a juntas de dilatación, ya que éstas han trabajado adecuadamente debido a la metodología empleada, considerando el impedimento de adherencia de los pasadores en estas juntas.
- La apertura repentina de fisuras anchas y no de manera progresiva, responde a la liberación rápida de tensiones debido a que se superaron las máximas deformaciones admisibles en los bloques de 3 a 4 losas.
- Débiles disminuciones de secciones, como testigos extraídos (menos del 4% de la sección transversal), fueron suficientes para inducir la fisuración en esa zona.

REPARACIONES EFECTUADAS Y SITUACIÓN ACTUAL

Después del estudio pormenorizado de las fisuras, se propusieron alternativas para el sellado de fisuras o para la remoción de medias losas afectadas. El sellado de fisuras se propuso realizar cuando las temperaturas se presentaran como medias (20 °C) para evitar la posible falta de adherencia del sellador debido a los considerables movimientos de las fisuras (2,5 a 3,0 mm) con variaciones de 35 °C. Sin embargo, no se aceptó la propuesta y se

removieron y repararon las 130 losas afectadas a enero de 2012. Algunas reparaciones fueron deficientes (Figura 1), debido a que no se trabajó con juntas de aislamiento en las losas y al adherirse a los paños contiguos, la situación por movimientos térmicos se presentó análoga y se fisuraron a los pocos días de construidas.

Durante la demolición de las losas se apreció la fuerte unión y adherencia entre pasadores y hormigón. Para la reparación efectiva de las losas, se decidió engrasar los pasadores de la losa contigua y separar en todo el perímetro con junta de poliestireno expandido de 20 mm de espesor, no habiendo presentado inconvenientes a la fecha estas losas reparadas. Sin embargo, a la fecha de cierre del presente trabajo que corresponde a la segunda estación fría de exposición desde la construcción del pavimento, las cuadras que presentaban menor cantidad de fisuras (Caso 2), han comenzado a aparecer de forma abrupta (menos de una semana entre relevamientos), constatando las hipótesis que con gradientes negativos de temperatura y deformaciones impedidas, el hormigón tenderá a fisurarse para poder moverse en “bloques” y no como losas individuales por la presencia de barras de unión en lugar de pasadores.

CONCLUSIONES

Los pasadores (barras de unión) tienen una influencia decisiva en el mecanismo de figuración de la obra, debido a que las fisuras transversales aparecen de manera sistemática en los tramos con pasadores y no en los primeros tramos de la obra, habiendo realizado el resto de las tareas de manera análoga. El factor principal que controla la fisuración de los tramos con pasadores son las variaciones de temperatura, tanto diarias como estacionales, siendo más significativas las segundas; principalmente las estaciones frías.

Las juntas de dilatación presentan movimientos por temperatura, con lo cual los pasadores en estas juntas sí han trabajado de manera efectiva, habiendo realizado el tratamiento para evitar adherencia sólo en juntas de dilatación. Las fisuras transversales presentan movimientos significativos debidos a cambios de temperatura y éstos son lineales respecto a las diferencias de temperatura. Las juntas de contracción no presentan movimientos; siendo esperable por condiciones de diseño que sí lo hicieran para absorber las deformaciones. Los pasadores en juntas de contracción han actuado como barras de unión o vinculación en las losas, lo cual ha unido los diferentes paños y las mismas tienden a moverse como “bloques de losas” y no de manera individual. La vinculación de pasadores (barras de unión) y hormigón debería haber sido prevenida aplicando tratamientos para impedir la adherencia.

REFERENCIAS

- ¹ ACI 224.R-01 “Control de la fisuración en estructuras de hormigón”, A.C.I., (2001)
- ² Altamirano L. “Deterioro de pavimentos rígidos de hormigón”, U. N. Ingeniería, (2007)
- ³ ACI 224.3R-95 “Joints in concrete construction”, American Concrete Institute, (1995)
- ⁴ Calo D. “Diseño de Pavimentos rígidos”, Instituto del Cemento Pórtland Argentino, (2010)
- ⁵ Schrader E. “A solution to cracking and stresses caused by dowels and tie bars”
- ⁶ Shoukry S., Riad M., “Effect of temperature variations on mid-slab cracking un jointed concrete pavements”, - Structure & Infrastructure Engineering, Vol. 3, N° 1, (2007), pp. 43-51
- ⁷ Chen H., Dere Y., Sotelino E., “Mid-panel cracking of portland cement concrete pavements in Indiana”, Purdue University, Project N° C-36-46S-SPR-2493, (2002)
- ⁸ Levy C., “Numerical investigation of the effects of shrinkage and thermal loading on the behaviour of misalinged dowels”, Thesis degree Master, Universtity of Waterloo, (2010)