



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

DIAGNÓSTICO, INTERVENCIÓN Y EXPERIENCIAS DE OBRA DE LOSAS ALABEADAS EN CLIMAS SECOS

M. J. Segerer¹

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

RESUMEN

En los últimos años, se ha registrado un aumento progresivo de casos de alabeo en pisos y pavimentos la ciudad de Mendoza, Argentina (clima seco y árido), estudiando en el presente artículo las causas principales y qué aspectos deben tenerse en cuenta desde el diseño, para evitar el alabeo de losas apoyadas sobre el terreno. En el trabajo se presentan casos de estudio de: pavimentos sin pasadores, pavimentos con barras de unión transversales, pisos industriales con malla y pisos con metodología de losas hexagonales. Se evalúan las influencias de los materiales empleados y prácticas para minimizar el alabeo, como así también la incidencia de la concepción y sistema constructivo que condicionarán las deformaciones por contracción y alabeo. Se describen las medidas recomendables para prevenir desde el diseño en futuras obras y de intervención de obras dañadas para los diferentes casos.

Palabras claves: Alabeo, reparación pisos industriales, pavimentos de hormigón, defectos en pavimentos, losas alabeadas en climas secos

ABSTRACT

Floor and pavement curling in dry climate: Diagnosis, intervention and on-site experiences

In the last few years, a steady increase of floor and concrete pavement cases have been detected in Mendoza, Argentina (dry climate). The present article studies the main causes and aspects that have to be considered during the design stage, to prevent floor curling in slabs on grade. In this piece of work, case studies about the following topics are presented: concrete pavement without dowels, concrete pavement with traverse connection bars, concrete floor with steel mesh in industrial floors and hexagonal tiling. The influence of materials and methodology to reduce curling are evaluated. Followed by an analysis of the influence of the design and construction system, since these condition pavement deformation due to shrinkage and curling. Therefore, appropriate steps to prevent curling in new projects are presented, along with corrective actions for already affected building works.

Key words: curling, industrial floor repairs, concrete pavement, pavement defects, curled slabs in dry climate

INTRODUCCIÓN

Las losas de pavimentos y pisos industriales generalmente se diseñan calculando su espesor en base a un análisis de tensiones y consumos de fatiga del hormigón considerando las cargas actuantes (intensidad, geometría y frecuencia), el módulo de rotura a flexión del hormigón y el valor soporte de la base. Además, resulta indispensable considerar las deformaciones y tensiones generadas a partir de otros esfuerzos que se generan debido a efectos térmicos e hídricos y de ciertas restricciones y puntos singulares. Una cantidad importante de pisos industriales y pavimentos se diseñan sin tener en cuenta la deformabilidad del hormigón por razones termo-higrométricas. Más aún, muchas veces se extrapolan proyectos de otros lugares con condiciones ambientales muy disímiles que influyen de manera determinante. No considerar estos aspectos desde la concepción misma del proyecto, probablemente guíe a resultados inesperados y a la depreciación sistemática del piso o pavimento. El alabeo es muy dificultoso para reparar una vez que se ha manifestado, aspecto que se combina con las variaciones estacionales de deformaciones en función de la época del año.

En varios casos se observa que losas sobre el terreno, a pesar que verifican su espesor por criterio resistente, presentan importantes deformaciones en esquinas dando lugar a problemas de planicidad y fisuras. Por estas razones, más allá de verificar el cálculo estructural, debe realizarse un diseño de juntas que resulte compatible con el espesor determinado y otras medidas (empleo de pasadores, base de apoyo, condiciones ambientales, etc.) de manera de acotar las deformaciones por alabeo que, en el caso de los pavimentos y pisos industriales, pueden ser muy importantes y concluir con la vida útil y funcionalidad del piso o pavimento a los pocos meses de ser construido.

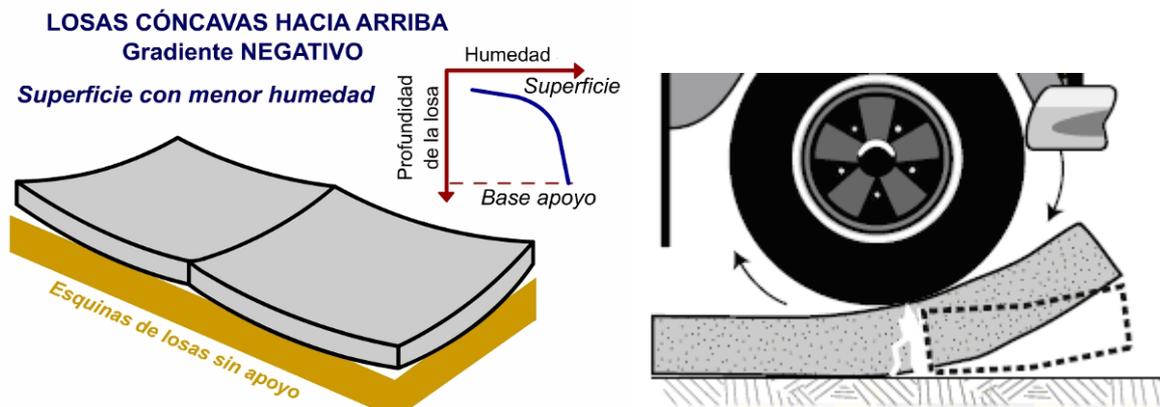


Figura 1. Esquematación de problemas de alabeo debido a gradientes de humedad.

En todos los casos que se debaten en el trabajo, el alabeo es causado por variaciones higrométricas del ambiente en contacto con la estructura. La mayor parte de las veces el alabeo de las losas es la diferencia de tasas de contracción por secado entre la parte superior y la inferior de la losa (Figura 1). La parte superior del hormigón fresco está sujeta al calor, aire del ambiente y baja humedad, lo que causa que el agua migre al ambiente, mientras que la evaporación por la parte inferior está restringida por sub-bases húmedas o el caso más perjudicial con una barrera de vapor. El resultado de estas tasas diferenciales de evaporación, causan que el hormigón se contraiga más en la parte superior que en la inferior, lo que se agrava de manera apreciable con un curado inadecuado; resultando en el alabeo de pisos y pavimentos por gradientes hídricos. En esta patología el hormigón presenta un alto grado de higroscopicidad, más aún que en estaciones secas se presentan mayores alabeos y luego disminuyen para la estación húmeda, siendo un proceso cíclico a lo largo de los años o hasta que se produzca la fisuración del piso ante el pasaje de cargas pesadas (Figura 1).

En ambientes o climas secos, la contracción tiene una mayor magnitud y las fisuras se manifiestan de manera más rápida que en otros climas o bien en recintos cerrados que tengan una humedad relativa más elevada. La contracción por secado para una HR promedio del 50-55% (Mendoza), respecto a un ambiente normal con una HR del 70%, aumenta en el orden del 35% ², con lo cual en pisos industriales al aire libre y en pavimentos, diseños de pavimentos de otras regiones pueden no ser adecuados para climas secos.

CASOS DE ESTUDIO

Se presentan cuatro casos en los que se emplearon diseños bien diferenciados entre sí. Seguido de una breve descripción, en la Tabla 1 se muestran sus características.

- **Caso 1: Pavimento de losas rectangulares con barras de unión longitudinales.** Pavimento urbano, con losas rectangulares (relación de lados 1,20), sin pasadores en juntas de contracción y con barras de unión en junta machihembrada longitudinal.
- **Caso 2: Pavimento de losas rectangulares de pavimento sin armaduras.** Pavimento urbano, con losas rectangulares (relación de lados 1,15), sin pasadores en juntas de contracción y sin barras de unión en juntas longitudinales.
- **Caso 3: Piso industrial de losas cuadradas con malla de repartición.** Piso industrial con tránsito de montacargas de losas cuadradas con malla de repartición.
- **Caso 4: Piso industrial de losas hexagonales.** Piso industrial por el que transitarán vehículos de 24 ton, con sistema de losas hexagonales y juntas de chapa perdidas.

Tabla 1. Principales características constructivas de los casos de pisos y pavimentos alabeados.

Parámetros		Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4
Tipo hormigón y TM agregado		H-30 - 1 ½"	H-25 - 1 ½"	H-17 - 1"	H-21 - 3/4"
Resistencia real hormigón (*)		H-35	H-30	H-21	H-21
Tipo cemento y CUC (kg/m ³)		CPP 40 - 380	CPF 40 - 360	CPP 40 - 300	CPP 40 - 340
Superficie apoyo losas		Polietileno	Estabilizado	Polietileno	Estabilizado
Puesta en obra	Descarga	Canaleta	Canaleta	Canaleta	Canaleta
	Compactación	Regla-vibrador	Regla-vibrador	Vibradores	Vibradores
	Curado	M. solventada	M. solventada	Polietileno	Sin curado
Losas	Tipo losas	Rectangulares	Rectangulares	Cuadradas	Hexagonales
	Dimensiones	4,5 m x 3,7 m	4,5 m x 3,9 m	5,0 m x 5,0 m	6,0 m x 3,5 m
	Superficie losas	16,4 m ²	17,6 m ²	25,0 m ²	16,0 m ²
	Espesor proyecto	20,0 cm	18,0 cm	15,0 cm	12,0 cm
	Espesor real (*)	20,9 cm	19,5 cm	12,4 cm	12,2 cm
Relación lado mayor / espesor		22 (35)(**)	23	40	49 - 29
Ejecución juntas de contracción		Aserrado	Aserrado	Aserrado	Junta chapa
Malla refuerzo	Tipo malla	Sin malla	Sin malla	# □ 4,2 c/15 cm	Sin malla
	Posición prevista			Mitad altura	
	Posición real (*)			1 a 3 cm base	
Pasadores en juntas		Sin pasadores	Sin pasadores	Sin pasadores	Sin pasadores
Barras unión longitudinales		φ 10 c/ 40 cm	No	No	No

(*) Valores reales obtenidos del promedio de una cantidad considerable de testigos extraídos

(**) El segundo valor indicado es el cociente entre dos lados menores (2 x 3,7 m) y el espesor real

En todos los casos, las tareas de puesta en obra se llevaron a cabo por cuadrillas especializadas, apreciándose una buena calidad de los trabajos, salvo en la no ejecución del curado en el Caso 4. En el Caso 3 existieron dos anomalías: una diferencia considerable entre el espesor proyectado y el real medido mediante testigos (15% inferior) y la malla iba a ser posicionada en la parte media pero al no emplear separadores, quedó muy cercana a la base. En todas las obras se extrajeron un importante número de testigos que arrojaron valores iguales o superiores a la categoría de hormigón solicitada (Ver Tabla 1).

RELEVAMIENTO DE DAÑOS Y PROBLEMAS FUNCIONALES

Caso 1. Los inconvenientes para este pavimento de 30.000 m², comenzaron a los 2 a 4 meses de construido. En un inicio, se trató de problemas funcionales donde los golpes de las losas contra el terreno ocasionados por el paso de camiones y ómnibus, generaban molestias de consideración en vecinos de las cercanías; las cuales mermaron en invierno (estación húmeda). A los 6 a 9 meses aparecieron numerosas fisuras con los patrones graficados en la Figura 2 con anchos variables de 5 a 20 mm. A tres años desde su construcción la mayor parte de las losas se presentan fisuradas, poseyendo un pavimento en la actualidad totalmente degradado como se muestra en la Figura 3, existiendo notables desprendimientos en zonas cercanas a fisuras. Se apreció que el movimiento relativo entre las losas concluye una vez que se fisuran (y apoyan en el terreno) las dos losas contiguas. El único tramo que no presentó daños de relevancia, fueron 400 metros en los cuales se empleó banquina de hormigón (en lugar de banquina asfáltica como en el resto del proyecto) utilizando barras de unión entre el pavimento y la banquina. En ningún tramo de la obra se emplearon pasadores.

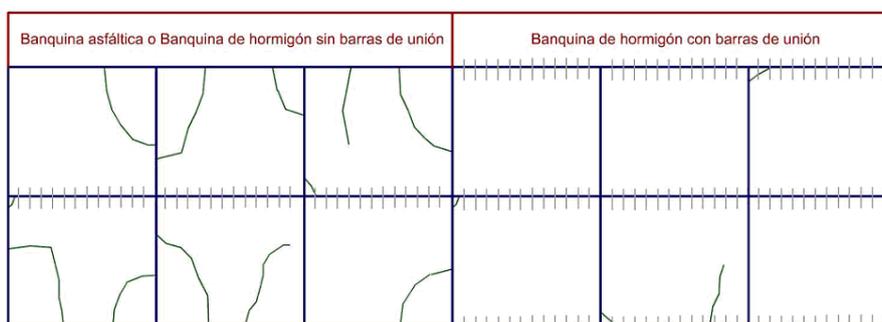


Figura 2. Caso 1 - Patrones de fisuración de pavimento con barras de unión en junta longitudinal.

Caso 2. Los síntomas de alabeo para el pavimento urbano de unos 1,2 km, comenzaron a los 2 meses de su construcción coincidente con la época estival. Con el tiempo se fisuraron pocas losas (Figura 3), pero el inconveniente mayor fue el funcional, que al igual que para el Caso 1 generó quejas constantes de los vecinos. Para solucionar el inconveniente, en el transcurso de la obra se decidió emplear pasadores en juntas de contracción para minimizar estos movimientos relativos de las losas para los trabajos restantes. En las losas que se emplearon pasadores (segunda parte) no aparecieron problemas de alabeo.

Caso 3. A poco más de un mes de construido el piso industrial con una superficie de 4.500 m², se mostraron los extremos de las losas muy levantadas. Con el paso de montacargas se apreció claramente el movimiento relativo entre losas y en varios casos con su pasaje por las esquinas de las losas aparecieron fisuras en forma de cuartos de círculos con centro en el encuentro de juntas (Figura 3). La patología se presentó como generalizada, pero de mayor magnitud en las losas más extensas y de menor espesor. Se midieron alabeos por extracción de testigos de 7 a 13 mm en las esquinas, mientras que se determinó que la losa en la parte central poseía su superficie de apoyo en el polietileno. A los meses de uso del piso industrial, la mayor parte de las losas se fisuraron y padece problemas funcionales severos, debido a la necesidad de disminución de velocidades de circulación y en varios casos, la diferencia de niveles entre las losas provoca la caída de las cargas llevadas en los montacargas.

Caso 4. Antes de comenzar a hacer uso del piso de 1000 m² de superficie y con el paso de un solo camión liviano, presentó aprox. el 30% de las losas fisuradas siguiendo los patrones que se presentan en la Figura 3. Los alabeos notorios a simple vista, fueron cuantificados mediante una campaña de extracción de testigos. En las Figuras 3 y 4 se muestran los levantamientos de esquinas de losas, midiendo alabeos en esquinas de 15 a 20 mm.

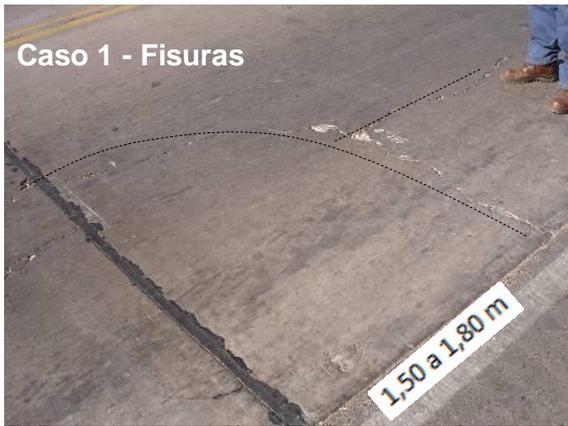


Figura 3. Fotografías de las patologías de los cuatro casos de estudio.

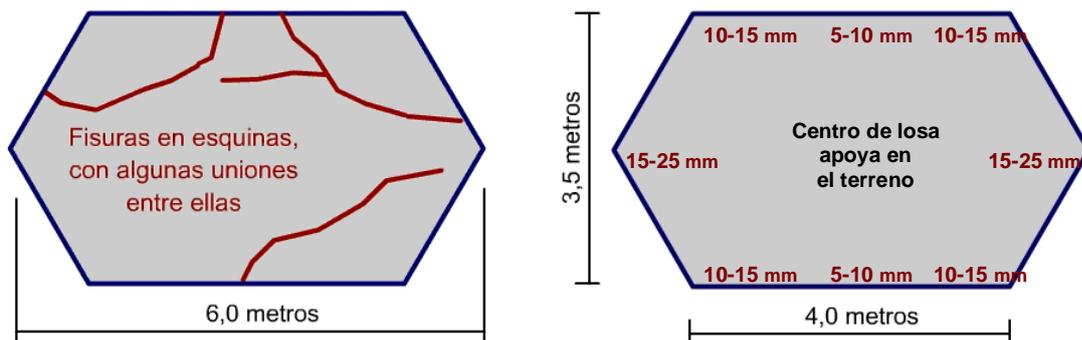


Figura 4. Caso 4 - Patrón de fisuras para losas hexagonales y alabeos medidos en las losas.

DISCUSIÓN: DIAGNÓSTICO Y SOLUCIONES

Diagnóstico de los casos de estudio.

Caso 1. Los dos paños trabajaron en conjunto como una losa vinculada en la parte media por barras de unión, además que se hormigonaron ambos carriles con diferencias de pocos días. La losa trabajó al alabeo con dimensiones de 4,5 x 7,4 m. Si bien la relación entre lado mayor y espesor real de cada losa individual es de 22, el problema del alabeo se manifestó debido al trabajo en conjunto de ambas losas, con lo cual la relación se eleva a 35. El inicio de las fisuras se ubica entre 35 y 40% (Figuras 3 y 4) del espaciamiento (4,5 metros). El tramo que se vinculó con barras a la banquina no presentó fisuras relevantes, habiendo limitado las deformaciones de esquina de losas. La base de polietileno incrementó el problema del alabeo, ya que otras obras análogas (sin barras de unión) y contemporáneas, pero en las cuales se apoyó sobre base estabilizada humedecida, no presentan deterioro.

Caso 2. Se manifestaron problemas funcionales (ruidos y vibraciones) y pocas losas fisuradas (fisuras a 1,1 metros de la junta equivalente al 25% del espaciamiento entre juntas); presentando una relación de lado mayor / espesor real de 23. Para la segunda parte de la obra, la colocación de pasadores eliminó totalmente la patología y los problemas funcionales. En la época estival (tres estaciones secas acontecidas a la actualidad) vuelven a aparecer los problemas funcionales en las losas sin pasadores.

Caso 3. La malla de armadura normalmente colocada en pisos y sin el empleo de separadores, no es eficiente contra el alabeo y fisuración, pudiendo ser contraproducente en el caso que exista continuidad de la malla entre las diferentes losas (como en esta obra). Las fisuras son cuartos de círculos con radios de 1,4 a 1,7 metros, que corresponden al 30-35% del espaciamiento entre juntas. La base de polietileno magnificó el alabeo, comparando con otras obras similares sin su empleo. Aparte del alabeo, el espaciamiento entre juntas de 5,0 m es elevado para el espesor considerado, más aún que en realidad fue un 15% inferior al proyectado, lo cual agravó el alabeo en varios sectores. La relación entre lados de losas y espesor real es de 40. Se midieron alabeos promedios de 10 mm.

Caso 4. La forma hexagonal de las losas y la unión mediante la junta metálica perdida de los diferentes paños complica el estudio del alabeo y es más dificultoso para predecir. La dimensión principal del hexágono es de 6,0 metros, la cual se considera como excesiva, guarda una relación con el espesor real próxima a 50, mientras que referido al lado de 3,5 la relación es 28. Los alabeos en las esquinas de los hexágonos en época estival son entre 15 y 20 mm; siendo los mayores medidos a la fecha y se corresponden con la mayor relación de lado / espesor. Aunque la superficie sea del orden de 16 m², las deformaciones son tan elevadas que han impedido el uso del piso, habiendo sufrido fisuras antes de habilitarlo.

Soluciones a considerar en el diseño del piso o pavimento.

El alabeo es tan complejo e impredecible, como difícil para reparar ⁶; por lo cual deben tomarse desde el diseño todas las medidas adecuadas para minimizarlo, como así también deben estudiarse las obras existentes que hayan sido construidas con los mismos materiales y presenten el mismo uso y condición de exposición, ya que al extrapolar proyectos pueden cometerse errores. Asimismo, existen muchos antecedentes en Mendoza de pisos y pavimentos con análogo diseño geométrico (relación lado / espesor 25 a 30) que no presentan a la fecha ningún problema después de 5 años de construidos. Según ⁴ “El alabeo se va vuelto más notorio en los últimos años. Esto es debido a la mayor fineza del cemento y el empleo de tamaños máximos de agregado más pequeños, ya que ambos incrementan la demanda de agua en el hormigón. El problema también involucra el aumento de la resistencia especificada del hormigón debido a que estas resistencias son logradas incrementando el contenido de agua y de cemento”. En la Tabla 2 se agrupan las medidas que de haber sido consideradas en la concepción del pavimento hubieran minimizado el alabeo de las losas.

Tabla 2. Soluciones a considerar en el diseño del piso o pavimento para minimizar el alabeo.

Caso 1	No emplear lámina de polietileno en ningún caso bajo pavimentos
	Empleo de pasadores en juntas de contracción para limitar las deformaciones (además de contribuir a la transferencia de cargas y vida útil del pavimento)
	Reducir las dimensiones de las losas y no vincularlas con las del carril adyacente. Se recomienda que la relación lado mayor / espesor no supere 20 para pavimentos
Caso 2	Empleo de pasadores en juntas de contracción para limitar las deformaciones, lo cual se comprobó en la misma obra como una medida efectiva
	Reducir las dimensiones de las losas (relación lado mayor / espesor menor a 20)
Caso 3	Reducir la longitud de los paños de 5,0 m a 3,0-3,5 m, siendo este valor acorde para un espesor real de 15 cm, presentando una relación de 20 a 23
	No emplear lámina de polietileno y de ser necesaria, separarla del hormigón mediante una capa de estabilizado o arena compactada y humedecida
	No existe la necesidad del empleo de malla en estas condiciones para evitar alabeo
Caso 4	Debe incrementarse el espesor del piso debido a las cargas pesadas que soportará
	De ser indispensable trabajar con losas hexagonales, reducir las dimensiones de los hexágonos a 3,0-3,5 m para espesores de 15 cm
	De otra manera, trabajar con metodología convencional de paños rectangulares o cuadrados, donde la relación de lado mayor / espesor no supere 20 a 22

Las recomendaciones más empleadas para el diseño ^{3 4 5} establecen que la relación entre el espaciamiento entre juntas y el espesor esté entre 24 a 36. El primer valor es el más conservador y se han relevado problemas funcionales en pavimentos (Caso 1). Para los casos de valores próximos a 36 (Caso 1 y 3) se presentan fisuras sistemáticas en la mayor parte de las losas, con alabeos inadmisibles de 10 mm.

Propuesta de intervención de pisos y pavimentos alabeados.

Las losas deben ser intervenidas cuando se considere relevante o probable su falla estructural o falla funcional ^{5 6}. Diferentes fuentes bibliográficas ^{1 6} clasifican a la severidad del alabeo en función del máximo levantamiento en la esquina de las losas, cuando éstas aún no están fisuradas: alabeos menores a 2,5 mm generalmente son aceptables; alabeos entre 2,5 y 5,0 mm se sugiere repararlos para la mejora de la funcionalidad; y alabeos superiores a 5 a 6 mm son severos y necesitan intervención. Debe tenerse en cuenta que de ejecutar reparaciones antes de los 6 a 12 meses de construido, probablemente fracasen, ya que al igual que el fenómeno de contracción por secado, el alabeo va incrementando gradual y lentamente su magnitud, con lo cual la intervención debe realizarse una vez que la mayor parte del alabeo ha aparecido en las losas. A continuación, se describen las medidas adecuadas de intervención.

Aserrado de juntas adicionales. Se efectuó en algunas losas del Caso 3, aserrando nuevas juntas formando triángulos rectángulos en cada esquina con lado 1,5 m, habiendo forzado con montacargas hasta lograr la rotura de las losas, mostrándose como solución efectiva. Se ha propuesto para el Caso 4, pero la disposición de nuevas juntas en losas hexagonales dificulta el pronóstico de la intervención. Debido al considerable alabeo en este caso es recomendable realizar una inundación sobre toda la losa durante algunas semanas y luego aserrar las nuevas juntas y circular con camiones pesados para que las mismas asienten en el terreno. De ser factible, es recomendable realizar estas tareas en la época invernal (esquinas menos levantadas). Esta metodología trae inconvenientes como: disminución de transferencia de cargas, incremento del mantenimiento por número de juntas, depreciación estética y dudosa predicción de comportamiento futuro.

Inyección bajo losas. Se efectuó en algunas losas para el Caso 2, no obteniendo resultados adecuados por la metodología y época del año en la cual se intervino. Otra medida que no disminuyó el alabeo, fue dividir en dos las losas, intercalando una junta de contracción adicional en la parte media. Si se inyecta, es recomendable realizar estas tareas en la época estival (esquinas más levantadas), ya que de otro modo se despegará en la próxima estación seca y será una solución transitoria y poco efectiva; sin embargo no existirán defectos de planicidad en función de la magnitud del alabeo. Deben extraerse testigos del pavimento y producto de inyección para apreciar la eficiencia del proceso, recomendando siempre realizar losas de prueba con un seguimiento continuo.

Incorporar pasadores en juntas. Se evaluó su realización para los Casos 1 y 2, pero no pudieron encontrarse procedimientos confiables y relativamente económicos, con lo cual no se ha efectuado en la región (Mendoza) este tipo de reparaciones.

CONCLUSIONES

El alabeo acarrea desde problemas funcionales hasta fallas estructurales que terminan con la vida útil del proyecto en pocos años. La mejor herramienta para reducir el alabeo es realizar un diseño adecuado, considerando: materiales localmente disponibles, técnicas constructivas y condiciones climáticas de exposición. Los pasadores en pavimentos de hormigón son efectivos para minimizar el alabeo, además de sus beneficios en mejorar la transferencia de cargas. No es recomendable apoyar el hormigón directamente sobre láminas de polietileno, como tampoco son benéficas las mallas de repartición habituales. Para pisos industriales no deben tomarse como guía las disposiciones empíricas que estipulan, por ejemplo que el espaciamiento de juntas sea de 24 a 36 veces el espesor; recomendando basarse en obras locales de buena performance bajo análogas condiciones de exposición (humedad relativa principalmente) y construidas con materiales similares.

REFERENCIAS

- ¹ N. Mailvaganam, J. Springfield, W. Repette y D. Taylor, "Curling of concrete slabs on grade", Construction Technology Update N° 44, Institute for Research Construction, (2000)
- ² Mehta K., Monteiro P., "Microstructure, properties and materials", First Edition, (2001)
- ³ ACI 302.1R-96, "Guide for concrete floor and slab concrete", A. Concrete Institute, (1997)
- ⁴ ACI 360R-92, "Design of slabs on grade", American Concrete Institute, (1997)
- ⁵ Suprenant A., Malisch W., "Repairing curled slabs", C99E058, Aberdeen Group, (1999)
- ⁶ Bartelstein R., Weinr E., "Repairing industrial floors", R900307, (1990)