

## Pasadores Placa

### Una innovación impulsada para pavimentos de hormigón en áreas industriales

Traducción al español del Artículo "Plate Dowels. An innovation driven by Industrial Concrete Paving". R&T Update #10.01. American Concrete Pavement Association. Abril 2010.

#### Introducción

Las barras pasadoras redondas de acero han sido, desde hace mucho tiempo, el elemento de transferencia de cargas estándar para los pavimentos de hormigón de 200 mm o más de espesor. En general, este tipo de pasadores han demostrado un muy buen desempeño en las diversas aplicaciones de pavimentos en calles, rutas, autopistas y aeropuertos.

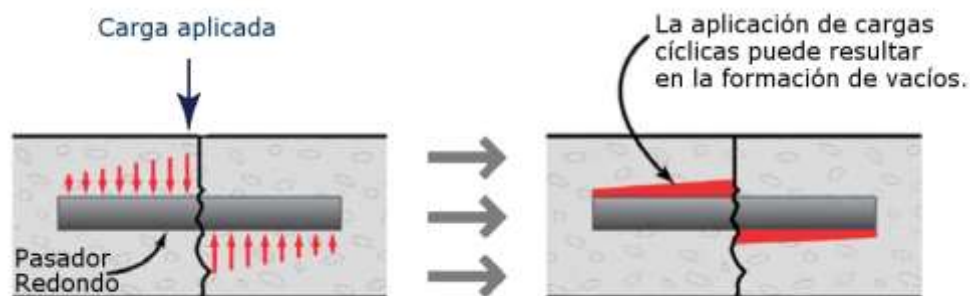
Tras décadas de observar el comportamiento de los pavimentos, la industria ha aprendido de varios de los desafíos presentes cuando las barras pasadoras redondas no se diseñan e instalan correctamente. Los tres temas fundamentales son: la corrosión del acero, la pérdida de efectividad provocada por aflojamiento (Figura 1) y la fisuración de losas debido a las tensiones de restricción originadas por la falta de alineación de los pasadores, especialmente cuando se encuentran conectadas múltiples losas (Figura 2) [1, 2, 3].

El desafío que presentaba la corrosión de las barras pasadoras redondas ha sido reducido significativamente a través de la investigación y la aplicación de diversos materiales y revestimientos alternativos, que incluyen recubrimientos epoxi, barras de acero inoxidable, barras de acero al cromo de bajo carbono y barras recubiertas con zinc [2, 4, 5].

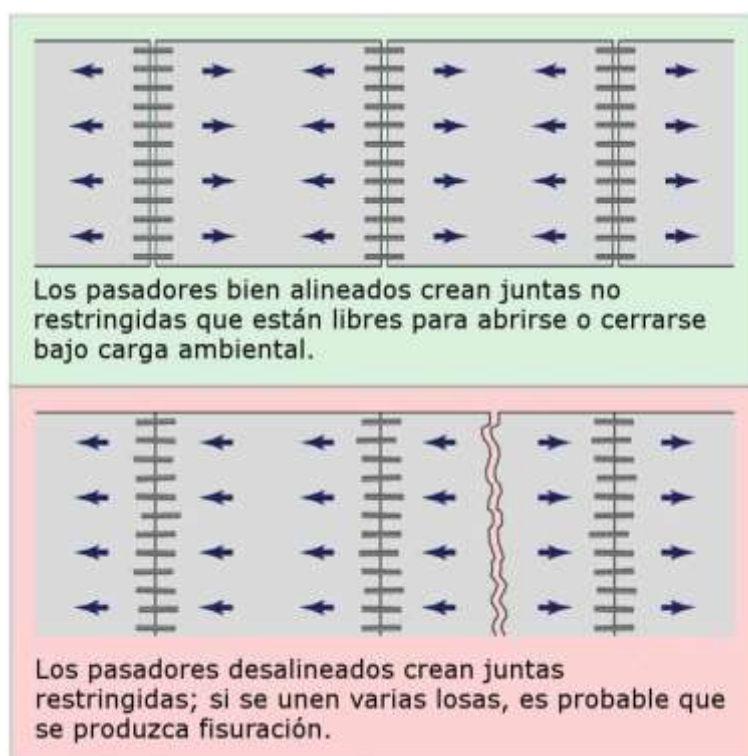
La pérdida de efectividad (o transferencia de carga) ocurre cuando se aflojan los pasadores. Cada carga induce presiones sobre los pasadores, que a su vez generan tensiones de aplastamiento en el hormigón que rodea las barras. Si el diámetro del pasador es demasiado pequeño o las cargas son mayores o más frecuentes que las previstas en el diseño, los esfuerzos de carga pueden romper el hormigón con el tiempo (años) resultando en un hueco o vacío alrededor de la barra. Una vez que se aflojan, los pasadores dejan de transferir eficientemente las cargas entre las losas, permitiendo una mayor deflexión diferencial de las losas bajo carga.

El énfasis en la mejora del alineamiento de los pasadores durante la construcción del pavimento ha incrementado los excelentes resultados existentes, dado que actualmente se dispone de modernos equipos para la localización de las barras. La inserción mecánica de los pasadores y la colocación utilizando canastos proveen, en general, excelentes resultados y rara vez se presenta la fisuración de losas por falta de alineación.

A principios de la década de 1990, la ACPA adoptó recomendaciones sobre el tamaño del diámetro de los pasadores para evitar esfuerzos de aplastamiento excesivos con este tipo de barras. Hace algunos años, se comenzó a investigar el empleo de pasadores con forma elíptica como una alternativa para mejorar la capacidad portante [6]. Sin embargo, al día de hoy prácticamente no han ganado aceptación, ni siquiera en combinación con un material anticorrosivo, probablemente por su escasa disponibilidad y dificultad de colocación.



**Figura 1:** Esquema sobre cómo las elevadas tensiones en las partes superior e inferior del pasador pueden resultar en un hueco, después de reiteradas aplicaciones de cargas pesadas.



**Figura 2:** Esquema sobre el efecto potencial de la no alineación de los pasadores en juntas múltiples consecutivas.

## Temas de desempeño en pavimentos industriales

A diferencia de los pavimentos de calles, rutas, autopistas y aeropuertos, las fallas críticas en el desempeño de juntas son algo diferentes en los pavimentos industriales. Las aplicaciones industriales casi siempre requieren la ejecución en amplios anchos de faja debido a que las áreas pavimentadas generalmente cubren grandes extensiones.

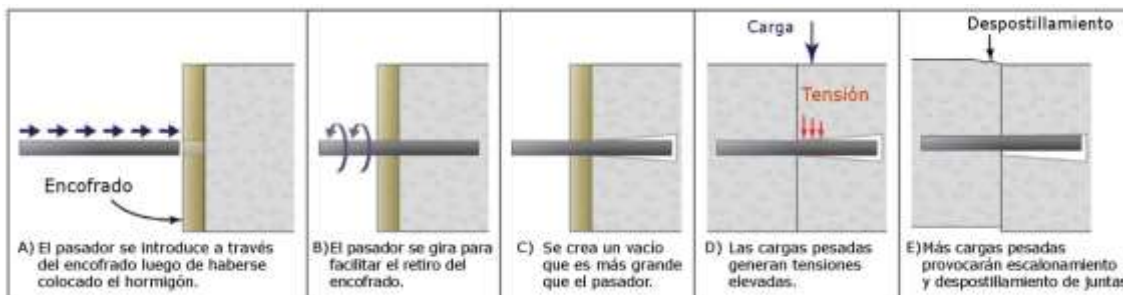
Los pavimentos se colocan tanto en interiores como exteriores, y los métodos de colocación también pueden variar considerablemente con relación a los utilizados para la ejecución de rutas. A menudo, los pavimentos industriales se extienden por cientos de metros en cualquier dirección, en contraposición a las rutas que tienen un ancho entre 7,3 m a 8,5 m. Generalmente se utilizan pasadores en ambas direcciones y como resultado de esto, los problemas por falta de alineación son un problema más común en los pavimentos industriales. También los pavimentos de los aeropuertos cubren grandes extensiones, pero generalmente son de un espesor mucho mayor y menos susceptibles a los inconvenientes que puede generar la falta de alineación de pasadores.

Durante los últimos 10 a 15 años, los ingenieros que trabajan con pavimentos de hormigón en instalaciones industriales han observado la aparición en forma reiterada de fallas y despostillamientos de las juntas. Estos problemas han sido atribuidos a la transición desde una flota de vehículos industriales (autoelevadores y otros equipos) con grandes llantas neumáticas, hacia una nueva flota generalmente con ruedas duras y pequeñas.

Aunque estos inconvenientes en las juntas son el resultado de la deflexión y el desplazamiento diferencial de ellas, se establece la hipótesis de que los esfuerzos extremadamente altos que deben soportar las barras redondas bajo las ruedas más pequeñas y duras, actúan como el catalizador primario del aflojamiento y la deflexión significativas de las juntas.

En la actualidad los ingenieros buscan controlar la deflexión de las juntas como parte del diseño del pavimento industrial, lo cual es una diferencia importante respecto del diseño de pavimentos para otras aplicaciones.

Otro asunto de interés en la pavimentación industrial es la formación de espacios vacíos alrededor de los pasadores redondos, cuando se los inserta mediante un giro en el borde del pavimento en las juntas de construcción (Figura 3) para ayudar al desencofrado [7]. El resultado es la generación de un hueco alrededor del pasador antes de la puesta en servicio del pavimento. El desempeño de la junta construida con estos vacíos será similar al de una con pasadores aflojados durante muchos años de uso con altos esfuerzos de aplastamiento. Del mismo modo, también se ha verificado la aparición de huecos alrededor de los pasadores en lugares donde se utilizaron cantidades no controladas de grasa como antiadherente [8]. Si bien se pueden emplear las buenas prácticas de construcción para evitar estos problemas, ocasionalmente siguen ocurriendo, en particular cuando el personal de obra no cuenta con experiencia previa.



**Figura 3:** Los espacios vacíos resultantes de insertar girando los pasadores para ayudar al desencofrado pueden acelerar el proceso de falla o despostillamiento de la junta.

Por último, debido a la construcción en paños grandes y al uso bidireccional de pasadores, característica de los pavimentos industriales de hormigón, la falta de alineación de los pasadores, que produce el anclado de juntas, podría conducir a un riesgo más elevado de fisuración de losas que en otras aplicaciones: es todo un desafío controlar la alineación de los canastos con pasadores en distancias más largas, que cuando se encuentran colocados más cerca entre sí y en una franja o carril. Esto ha llevado a innovaciones que apuntan a proveer cierto grado de libertad a los pasadores para desplazarse lateralmente o tolerar cierta falta de alineación dentro de su ranura.

## La evolución de los pasadores placa

**Barras cuadradas** – El primer intento de apartarse de los pasadores redondos en la pavimentación de hormigón industrial fue realizado a fines de la década de 1980 [9]. Esta experiencia utilizó barras cuadradas con material compresible adherido a las caras verticales. El objetivo de esta tecnología era proveer una transferencia de carga adecuada, y al mismo tiempo permitir un movimiento lateral de las losas por medio del material compresible sobre cada cara vertical. Las mejoras posteriores incluían un clip de plástico de alta densidad (ABS) que se agregó al diseño del pasador cuadrado, para mantener el material compresible en su lugar durante la construcción [10].













**Placas rectangulares** – A mediados de los 90 se introdujo un pasador placa rectangular para extender el concepto de pasador cuadrado. Estos pasadores placa rectangulares disminuyen los esfuerzos de aplastamiento al extender las cargas en una zona más amplia en relación a la de las barras redondas o cuadradas. En este tipo de pasadores placa rectangulares también se introdujeron clips de plástico con el material compresible para permitir el movimiento lateral y cierta falta de alineación [11]. Además, se consideró que mejoran el control de la deflexión de juntas con el incremento del área de contacto.

**Placas refinadas** – Los matices en el concepto original de pasadores placa han llevado a la aparición de una variedad de formas que actualmente se encuentran en uso a gran escala, incluyendo pasadores placas diamante, trapezoidal y romboidal [11, 12, 13].

Se introdujeron estas formas para:

- ✓ Proveer mayor área de contacto.
- ✓ Eliminar la necesidad de material compresible sobre las caras verticales (requerido en las barras cuadradas y las placas rectangulares para dar cierto grado de libertad al desplazamiento lateral o el no alineamiento)
- ✓ Permitir una mayor separación entre pasadores (dependiendo de la geometría de la placa) en comparación con las barras redondas o cuadradas.

En la figura 4 se resumen algunos de los tipos de pasadores que actualmente se encuentran en el mercado. Esta es un área de desarrollo continuo y los fabricantes de pasadores placa tienen patentes sobre diversas formas, accesorios y técnicas de instalación. Cada tipo tiene asociado sus limitaciones y beneficios y puede encontrarse en diversos largos o espesores. La ACPA incentiva a los ingenieros y contratistas a investigar estos factores junto a los fabricantes, antes de seleccionar y utilizar pasadores placa en un proyecto.

Tipo de Pasador	Vista	Sección	Usos
Barra Redonda			D, CNT, CNST
Barra Cuadrada			D, CNT, CNST
Placa Rectangular			CNT, CNST
Placa Diamante			CNST
Placa Trapezoidal			CNT
Placa Romboidal			CNT

D: Juntas de Dilatación CNT: Juntas de Contracción CNST: Juntas de Construcción

**Figura 4:** Algunas de las diversas formas de pasadores comúnmente utilizados en los pavimentos de hormigón industriales.

## Beneficios Básicos de los pasadores placa

**Cantidad de acero** – Dependiendo de su geometría, los pasadores placa pueden ser capaces de proveer el mismo beneficio de transferencia de carga con una separación mayor que las tradicionales barras redondas o cuadradas. Este potencial ahorra acero y reduce los costos del proyecto.

Las especificaciones típicas de las dimensiones de los pasadores redondos están basadas en la provisión de un largo y un diámetro suficientes como para mitigar los esfuerzos de aplastamiento, así como también una longitud de empotramiento suficiente para maximizar la transferencia de cargas. Normalmente, se especifica una tolerancia de aserrado de 25 mm a 75 mm a cada lado de la mitad del largo del pasador, dependiendo del largo de la barra. La longitud de empotramiento necesaria para que un pasador redondo estándar sea efectivo es de 150 mm.

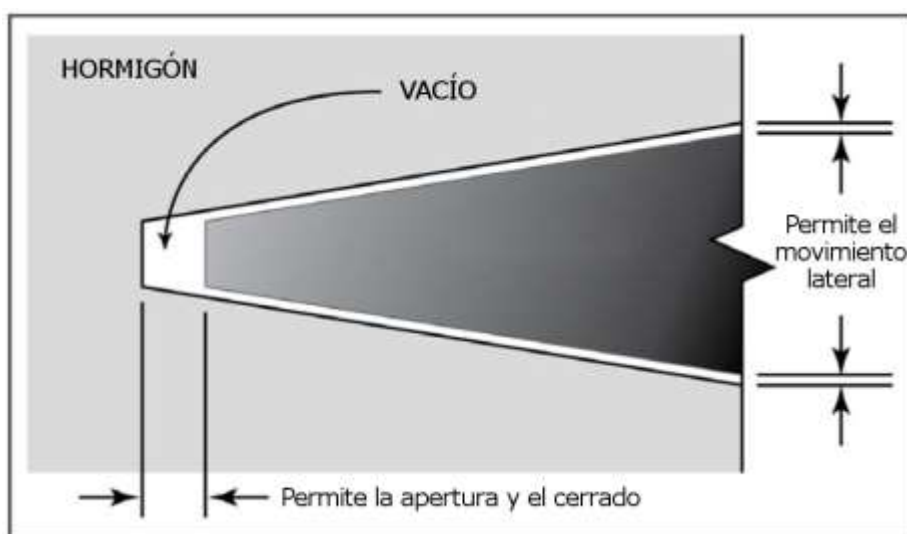
En los pasadores placa disponibles actualmente, la longitud de empotramiento necesaria puede ser considerablemente menor. Esto, sumado al potencial para incrementar su separación, puede resultar en una reducción global en la cantidad (volumen) de acero requerida en cada junta, entre un 30% y un 75%, dependiendo de qué tipo de pasador placa y separación se determine como reemplazo equivalente del correspondiente de una configuración con pasadores de barra redonda.

Los factores de diseño claves son el área de contacto del pasador y la del acero debajo de la junta. La ACPA recomienda especificar un diseño de un pasador placa con un área de acero en la cara de la junta y un área de contacto que sea, como mínimo, equivalente al de un diseño tradicional con barras redondas aceptable para la aplicación. Más allá de cuál sea el tamaño o la forma seleccionada, el pasador debe tener suficiente longitud de empotramiento para ser efectivo y proveer cierta tolerancia para su colocación.

Dado que los fabricantes producen pasadores placa de tamaños estándar, la forma de encontrar un área de contacto por longitud de junta equivalente, es mediante el ajuste de la separación para igualar o superar el área provista por las barras redondas tradicionales. Las recomendaciones del tamaño y la separación para estos últimos son relativamente simples (Ver ACPA TB010P).

Es relativamente simple calcular el área del acero, aunque para juntas de contracción, se deberá incluir en el cálculo la tolerancia del aserrado. Primero se determina el área de acero por metro de junta para el diseño con barras redondas y luego se procede de igual manera con los pasadores placa. Cuando se calcula el área del acero del pasador placa, se emplea el área efectiva considerando el máximo valor de tolerancia admitida para el aserrado. Los resultados dependerán de la geometría del pasador placa (incluyendo su espesor) [8].

**Reducción de la restricción lateral de losas** – Los pasadores placa rectangulares, tipo diamante, trapezoidal y romboidal reducen de manera considerable la restricción de losas sin la necesidad de un material compresible sobre las caras verticales de las placas [13]. El movimiento de las juntas se acomoda por la geometría de los pasadores solamente (Figura 5). El espacio creado alrededor de los pasadores placa provee alguna tolerancia adicional en el desalineamiento de los mismos durante la construcción, sin que esto impacte en forma negativa en el desempeño de la transferencia de cargas. Este espacio también acomoda algún desplazamiento lateral sin ninguna restricción.



**Figura 5:** Esquema conceptual que muestra cómo la geometría de la placa permite que se desarrolle un vacío cuando el hormigón se contrae luego de la colocación.

## Consideraciones sobre la instalación

**Juntas de construcción moldeadas** - Para instalar los pasadores placa en las juntas de construcción se incorporan insertos prefabricados en los encofrados (Figuras 6a y 6b) o se emplea un molde especial con ranuras precortadas. Luego del retiro de los encofrados, el pasador placa se desliza dentro de cada inserto prefabricado [13]. Este procedimiento proporciona una instalación con una tolerancia de construcción razonable y un empotramiento uniforme.

Debido a que los pasadores placa tipo diamante crean un vacío que es más grande que el pasador después de la apertura de una junta (similar a lo que se muestra en la Figura 5) su geometría permite algún movimiento lateral de las losas sin restricciones. En algunos encofrados de pasadores placa rectangulares, tales como aquellos mostrados en la Figura 6b, se permite también algún movimiento lateral de la losa, sin restricciones, colocando separadores que centran las placas dentro de un inserto cuadrado más ancho. Los separadores se deformarán, acomodando el movimiento cuando se aplican cargas laterales.



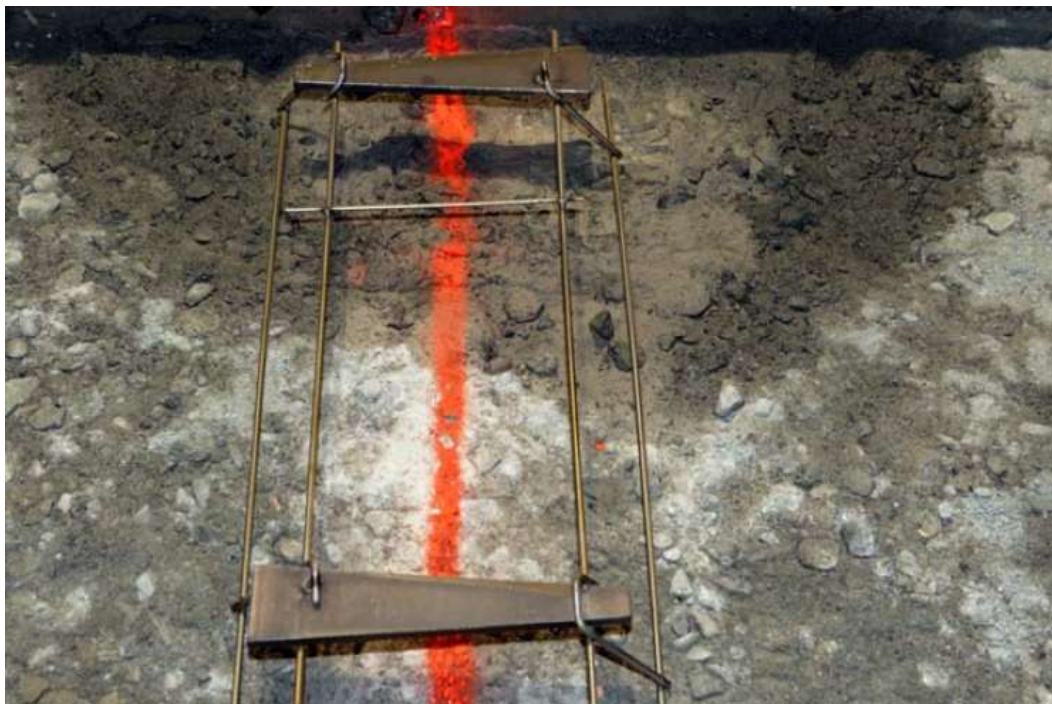
**Figura 6a:** Instalación de un inserto prefabricado para pasador placa diamante sobre un encofrado de madera, en una junta de construcción.



**Figura 6b:** Inserto prefabricado cuadrado para pasador placa rectangular, instalado sobre un molde de madera, en junta de construcción.

**Juntas de Contracción** – En las juntas de contracción de muchas aplicaciones de pavimentación industriales se están empleando comúnmente canastos de pasadores placa (Figura 7a y 7b). Las tolerancias en la ubicación del aserrado son muy importantes en las juntas de contracción, particularmente en las de mayor longitud, que se presentan típicamente en la construcción de este tipo de pavimentos. La configuración del pasador placa deberá proveer una tolerancia razonable y además exigible, en el aserrado. El anclaje de los canastos es vital para cumplimentar las tolerancias especificadas y no deberá pasarse por alto, incluso cuando se especifique una barrera de vapor.





**Figura 7a:** Canasto de pasadores placa tipo trapezoidal, colocadas en forma alternada.



**Figura 7b:** Canasto de pasadores placa romboidal.

Una tolerancia de 25 mm a cada lado del eje central del canasto del pasador placa es razonable para la construcción de los carriles en rutas. La tolerancia necesita ser mayor donde las juntas de contracción abarquen distancias más largas y el marcado con hilos guía, como referencia de las tareas de aserrado, pueda ser menos exacto, o donde la colocación de canastos se realice sobre la marcha debido a las operaciones de los equipos Laser Screed, o por otras condiciones del sitio. La guía del American Concrete

Institute (ACI) para la construcción de pisos [14], proporciona una tolerancia de 50 mm a cada lado de la junta cuando se emplean pasadores placa.

La alineación del corte respecto a los canastos también es importante. Si un operador realiza un aserrado con una desviación respecto a la ubicación real del canasto, algunas placas podrán resultar ineficaces. Tal error se magnifica en juntas de contracción más largas. Es por ello que los contratistas deben colocar marcas de pintura o clavos en forma exacta, para identificar el centro del canasto en cada borde de la pavimentación, y complementarla con una línea exacta de tiza para que el operador de la aserradora pueda seguirla.

Los contratistas deben ser conscientes que para el diseño de la separación y tamaño de las placas, los proyectistas consideran los anchos de placa en la peor situación, a partir de la tolerancia máxima de aserrado. Por lo tanto, el requisito de diseño se cumplirá siempre y cuando los operadores controlen el aserrado dentro de los límites tolerables. Los contratistas que corten fuera de la tolerancia, probablemente se encontrarán sujetos a la aplicación de descuentos u otras consideraciones de mitigación.

En cualquier caso, cuando una junta de contracción construida adecuadamente se abre, se crean vacíos alrededor de los extremos de las placas trapezoidales, permitiendo el movimiento lateral y un grado de desalineamiento sin que se induzcan restricciones.

**Esquina de losas** – Si bien la ACPA no ha ensayado instalaciones de juntas de este tipo para determinar una especificación recomendada sobre cuán próximos pueden estar los pasadores placa respecto a otra junta con pasadores, la guía actual del ACI permite que los pasadores placa diamante se encuentren dentro de los 150 mm [14]. La ACPA entiende que esto es una guía razonable para cualquier configuración de pasador placa que esté diseñado para acomodar el movimiento lateral. Sin embargo, también es importante tener en cuenta las tolerancias en la ubicación del aserrado de las juntas de contracción, para el posicionamiento adecuado de los canastos en cercanía de las esquinas de la losas.

## **Corrosión: una tema en Desarrollo**

La corrosión de los pasadores placa de acero sigue siendo un área en desarrollo. Debido a que la mayoría de los pavimentos industriales de hormigón se colocan en los confines de instalaciones cerradas o cubiertas, la corrosión no ha sido un obstáculo importante para el uso de estos dispositivos en los pavimentos industriales. Sabiendo que la protección de la corrosión es probablemente una preocupación para la mayoría de aplicaciones a la intemperie, actualmente los fabricantes de los pasadores placa están investigando alternativas de protección similares a las discutidas antes para los pasadores redondos.

## Aplicaciones potenciales

A pesar de su uso generalizado en los pavimentos industriales de hormigón, los pasadores placa apenas se están comenzando a introducir en otras aplicaciones de pavimentación. Su uso en pavimentos urbanos y rutas de hormigón de bajo espesor aparece como un potencial adecuado.

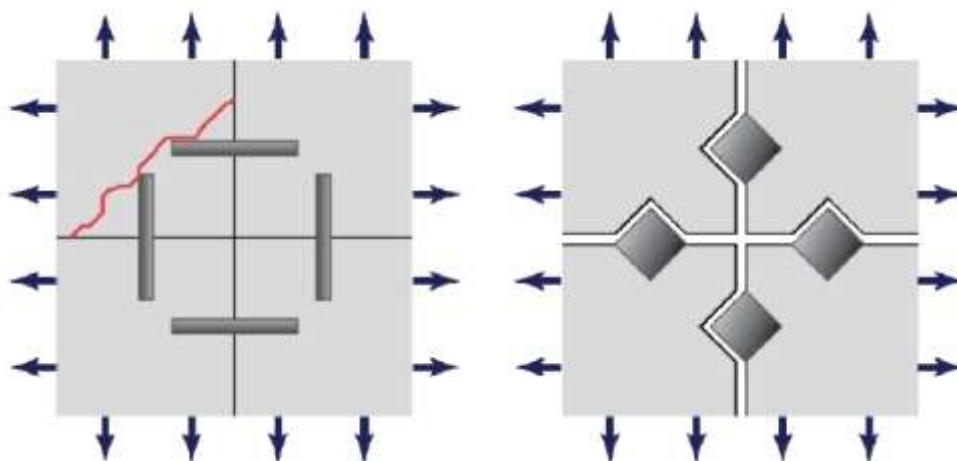
Recientemente se han empleado por primera vez colocados con canastos, en operaciones de pavimentación con equipos de encofrado deslizante, con buenos resultados (Figura 8). Aunque se trató de una aplicación industrial, se comprobó la viabilidad potencial de su empleo para los métodos de pavimentación de carreteras.



**Figura 8:** Construcción de un pavimento industrial con equipo de encofrado deslizante que incluye canastos con pasadores placa trapezoidal. Se observa que el pavimento era de 20 cm de espesor y que los canastos eran fijados en el frente de las operaciones de la pavimentadora de encofrado deslizante previo a la descarga del hormigón, permitiendo que la subrasante preparada sea utilizada para el transporte del mismo.

Los pasadores placa podrían brindar incluso importantes mejoras en el comportamiento en otras aplicaciones específicas. Por ejemplo, la capacidad única de este tipo de pasadores de permitir cierta libertad de movimiento lateral dentro de las ranuras, podría mejorar el comportamiento de las juntas en zona de curvas. Cada placa por sí sola puede moverse levemente dentro de las ranuras a medida que la junta se abre, lo que evita cualquier restricción y el desarrollo de tensiones asociadas a las mismas. Dentro de las potenciales aplicaciones podrían incluirse a las curvas de radio cerrado en pavimentos residenciales o juntas en rotondas, donde los pasadores tradicionales podrían trabar una junta aún cuando se encuentren correctamente alineadas. La capacidad de permitir el movimiento lateral también puede transformar a los pasadores placa en alternativas útiles en las intersecciones o en otros lugares en

donde se unen cuatro juntas, zonas en las que resulta muy beneficioso alcanzar una buena transferencia de carga en las esquinas, pero que la colocación de barras pasadoras demasiado cerca de la unión, puede incrementar el riesgo de roturas de esquina (Figura 9).



**Figura 9:** Barras pasadoras tradicionales redondas colocadas demasiado cerca de una intersección de juntas pueden provocar roturas de esquina debido a las tensiones de restricción; la libertad de movimientos laterales con pasadores placa diamante puede mitigar las tensiones de restricción.

En base al buen comportamiento histórico en pavimentos industriales de hormigón y el costo considerable del acero, es probable que se desarrolle rápidamente la evaluación del empleo de las nuevas tecnologías de pasadores placa para otras aplicaciones de pavimentación en hormigón. El empleo de este sistema en playas de estacionamiento, calles y rutas locales será, probablemente, el área principal de avance.

Para la introducción de los pasadores placa en la construcción de carreteras se requieren más estudios y avances, particularmente con respecto a:

- Comportamiento bajo tránsito canalizado de camiones de gran porte,
- Configuraciones de colocación óptimas,
- Capacidad para la colocación a través de equipamiento de inserción automática de pasadores y
- Resistencia a la corrosión.

**Referencias:**

1. "Evaluating and Optimizing Dowel Bar Alignment," American Concrete Pavement Association, SR999P, August 2006.
2. Porter, M.L., and Guinn, R.J., "Assessment of Dowel Bar Research," Center for Transportation Research and Education, August, 2002.
3. "TechBrief: Best Practices for Dowel Placement Tolerances," Federal Highway Administration, FHWA-IF-07-021, 2007.
4. "High Performance Concrete Pavements: Alternative Dowel Bars for Load Transfer in Jointed Concrete," Federal Highway Administration, FHWA-IF-02-052, 2002.
5. "Summary of Independent Testing," MMFX Technologies Corporation, 2004, <http://www.mmfx.com/doc/SoIT%20Brochure%20FINAL2.pdf>.
6. Porter, M.L., Guinn, R.J., and Lundy, A.L., "Dowel Bar Optimization: Phase I and II," Center for Transportation Research and Education, October, 2001.
7. Fricks, G.K., and Parkes, N.K., "Innovations for Durable Floors," Concrete Construction, January 2002.
8. Walker, W.W., and Holland, J.A., "Performance-Based Dowel Design," Concrete Construction: The World of Concrete, January, 2007.
9. Schrader, E.K., "A Proposed Solution to Cracking Caused by Dowels," Concrete Construction, 1987.
10. Schrader, E.K., "A Solution to Cracking and Stresses Caused by Dowels and Tie Bars," Concrete International, pp. 40-45, July, 1991.
11. Walker, W.W., and Holland, J.A., "Dowels for the 21st Century: Plate Dowels for Slabs on Ground," Concrete International, pp. 32-38, July, 1998.
12. Parkes, N.K., "Designing the Cost-Effective Slab-on-Ground," Structure Magazine, April 2007.
13. Parkes, N., "A Decade of Dowel Development," L&M Concrete News, January, 2007.
14. "Guide for Concrete Floor and Slab Construction," ACI 302.1R-04. "Plate Dowels. An innovation driven by Industrial Concrete Paving". R&T Update #10.01. American Concrete Pavement Association. April 2010.