

Mejores prácticas de construcción para pavimentos de concreto

Shiraz Tayabji¹

El Foro Internacional de Infraestructura en Concreto del IMCYC tuvo entre sus invitados al dr. Shiraz Tayabji. He aquí una síntesis de su ponencia.

La evolución del pavimento de concreto como producto de las mejoras en tecnología de diseño, construcción y materiales, ha hecho de éste una de las estructuras más exitosas. Para 1900, la vida de un pavimento era de 1 año. En 1920 se diseñaba para una vida de 10 años. Para 1960 tenía una expectativa de vida de 20 años y en el 2000, de 40.



Tipos y características del pavimento de concreto

Existen pavimentos de concreto con juntas (que es el más popular), de concreto reforzado continuo, de concreto compactado con rodillos, de concreto presforzado en fase experimental así como los paneles de concreto prefabricado. También están las capas delgadas de concreto sobrepuestas –para reparación de pavimentos de asfalto dañados– así como el novedoso concreto permeable.

En los pavimentos de concreto simple con juntas la distancia de ésta se halla dentro de los 4.6 m, con un espesor de losa de 15 cm en calles, de 20 a 50 cm en caminos secundarios y de 30 a 35 cm en sistemas primarios e interestatales. Tienen pasajuntas para un volumen medio/pesado de camiones. La cuantía de acero varía entre 0.65 a 0.80%

Acerca del especialista

Shiraz Tayabji es ingeniero civil por la Universidad de East Africa, en Nairobi Kenya, de donde es originario. Obtuvo el grado de doctor en ingeniería por la Universidad de Illinois. Es miembro emérito del Consejo de Investigación de la Transportación; expresidente de la Sociedad Internacional para Pavimentos de Concreto, socio del ACI y miembro activo de diversos comités técnicos de la TRB, ASTM, y de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles. También es consultor senior en Fugro Consultants, Inc. Ha trabajado por más de 30 años en el desarrollo, mejoramiento e implementación de tecnologías para pavimentos de concreto de autopistas y campos aéreos convirtiéndose en uno de los principales expertos y líderes en el tema.



¹ La traducción de la ponencia fue de la ing. Laura Suárez Medina. La síntesis de la misma del ing. Raúl Huerta.

Los pavimentos de concreto presforzado, colados en sitio, o prefabricados se aplican en pavimento para tráfico pesado. Las capas sobrepuestas de concreto sobre un pavimento de asfalto, o de concreto o pavimento compuesto son de dos tipos: sobrepuestas adheridas y sobrepuestas sin adherir.



Fallas del pavimento

Un pavimento de concreto puede fallar por el agrietamiento transversal típico de una edad temprana, por el desplazamiento vertical o escalonamiento, por la rugosidad y textura, por su construcción y por servicio, entre otras causas. Tiene una vida útil de 40 años para sistemas primarios y 20 años, para secundarios.

Los pavimentos soportan las cargas por medio de la rigidez del concreto. La carga se distribuye sobre una gran área y mantiene las presiones sobre la capa subrasante inferior. Los esfuerzos y deformaciones se presentan en los pavimentos de concreto a temprana edad. Cabe decir que el pavimento se verá afectado por su comportamiento en servicio; es decir, por las cargas de tráfico, deflexión de las losas y por una pequeña curvatura.

La fuente de los esfuerzos en las losas son las cargas de tráfico, las variaciones térmicas (día/noche), la curvatura por humedad, la contracción de la losa debida a la contracción por secado y el descenso de temperatura (sólo en edad temprana), además de que la losa se ve afectada por la restricción por fricción con la base.

Bases para el diseño del espesor

Los esfuerzos de borde y fatiga requieren de una resistencia a la compresión de ~30 Mpa y una resistencia a la flexión de ~4.5 Mpa. Para las deflexiones en la esquina/abombamiento/desplazamiento vertical, se requiere de un valor de k más alto (apoyo rígido) que bajará las deflexiones; la transferencia de cargas (pasajuntas) bajará las deflexiones por lo que es mejor una base no erosionable.

Los diferenciales de temperatura entre la parte superior y la parte inferior de la losa producen curvaturas en la losa y se expresan usualmente como gradientes lineales de temperatura. Efecto de los gradientes de temperatura en las losas (Curvatura). Cuando la parte superior es más caliente (gradiente positivo) se producen esfuerzos de tensión en la parte inferior de la losa de pavimento. Cuando la parte superior es más fría (gradiente negativo), los esfuerzos de tensión se presentan en la parte superior de la losa de pavimento). Los esfuerzos por temperatura en una base rígida provocan esfuerzos más altos e induce a un mayor riesgo de agrietamiento.

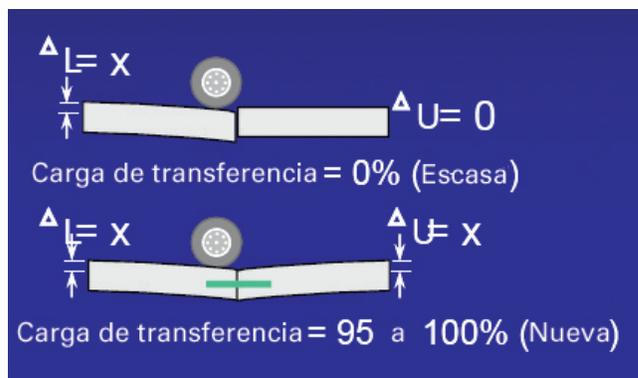
La curvatura por humedad es más importante en edad temprana, la diferencia de humedad entre la parte superior y la parte inferior de la losa (parte superior más seca) a edad temprana produce una pérdida de humedad excesiva en la superficie debida a un mal curado puede llevar a la formación de curvatura en la losa – no recuperable. En servicio los 25 a 50 mm superiores están típicamente más secos que el resto de la losa. La parte inferior de la losa está usualmente más húmeda que la parte superior.

Los esfuerzos axiales de tensión son importantes en el comportamiento en edad temprana debido a que la pérdida de humedad en el concreto lleva a la contracción y un descenso de temperatura causa también contracción en la losa, la cual es resistida por la fricción en la base, y esta última crea esfuerzos de tensión en la losa. La introducción de juntas en la losa reduce la magnitud de los esfuerzos de tensión.

Comportamiento en servicio

El daño por fatiga del concreto depende del número permisible de cargas repetidas (N). El N permisible es alto si la relación de esfuerzo/resistencia es <0.5. La respuesta a las deflexiones de un pavimento dará un desplazamiento vertical o un escalonamiento y abombamiento. Las cargas en los bordes producen deflexiones críticas en el pavimento. Las deflexiones en esquina/junta son las más críticas.

La colocación convencional de las pasajuntas en una carretera dividida es de 12 pasajuntas a 30 cm-c. La transferencia de carga en las juntas es la capacidad de la losa de transferir parte de su carga a la losa adyacente, una mala transferencia de carga lleva al abombamiento y al desplazamiento vertical o escalonamiento. La transferencia inicial debe ser 90% o más cuando es nueva la losa y en condiciones de servicio debe ser >70-75%



Consideraciones de diseño para el pavimento de concreto

Las consideraciones se centran en la subrasante de apoyo, la base/sub-base, el tráfico, la resistencia del concreto, las juntas y en los requerimientos de desempeño como son: diseño de vida en servicio y nivel de servicio. Son importantes las características de la subrasante como son: cimentación sobre la cual se construyen el pavimento y la base así como sus características. El diseño primario de la subrasante es variable para el diseño de pavimentos de concreto. La medida de la resistencia del suelo a la presión vertical es una característica básica: $k = \text{presión/deflexión}$.

Base y sub-base

La primera es la capa localizada inmediatamente debajo de la losa de concreto. La segunda es la capa (por lo general granular) localizada inmediatamente debajo de la base.

Las funciones de la base/sub-base son: proteger la subrasante, prevenir el abombamiento, mejorar la respuesta del concreto de la losa, reducir las deflexiones en las juntas/grietas y mejorar el drenaje del pavimento, además de proveer de una plataforma estable para la construcción y lograr la rugosidad deseada. Los tipos principales de bases son: granulares sin tratar (agregados); estabilizadas (tratadas con asfalto o con cemento); permeables, sin tratar, tratadas (con asfalto o cemento) y las bases de concreto pobre.

Tendencias en Estados Unidos para la base y el drenaje

Es usada la base granular típica, para tráfico bajo a medio y la tratada, para tráfico medio a alto. En cuanto al drenaje, si existen problemas relacionados con la hu-

Por su versatilidad y precio

Los usos de pavimentos de concreto son elegidos para tráfico de alto volumen de camiones y áreas urbanas donde son necesarios pavimentos de larga vida (30 años). También se usan para pistas de aeropuertos, carreteras, calles, áreas de hangares así como para instalaciones fuera de carretera, puertos de contenedores y áreas de servicios de transportes (servicio inter-modal) y lotes de estacionamiento. Cuando se hace la selección del pavimento con base en un análisis del costo del ciclo de vida, los pavimentos de concreto son típicamente más baratos.



medad no se sustituye alta permeabilidad por estabilidad. Acerca del tráfico, deben considerarse los datos de entrada principales para el diseño de pavimentos, factores clave, tipos de ejes, carga de ejes, uso en el diseño y los datos del espectro de carga de ejes ESALs (equivalentes a la carga de eje sencillo).

Ejemplo de un espectro de carga

Carga de eje Kips (kN)	Número de ejes			
	Sencillo	Doble	Triple	Cuádruple
11-14 (42-92)	5,000	400	100	5
15-18 (67-80)	3,000	2,000	500	10
19-22 (85-98)	200	5,000	800	30
23-26 (102-116)	50	4,000	1,000	80
27-30 (120-133)	6	2,000	1,500	1000

Resistencia del concreto

Para el diseño del pavimento se requiere de una resistencia a la flexión, de una prueba de carga en los 2/3 del claro y de los valores típicos a los 28 días iguales a: 650–700 psi (4.5–4.8 Mpa).

Para la aceptación debe contarse con la resistencia a la compresión, a la flexión (menos común) así como la prueba de tensión por separación. Por su parte, el propósito de las juntas es para control del agrietamiento, facilitar la construcción y para estética y mantenimiento. El objetivo de la separación entre juntas es que estén suficientemente cerca para prevenir el agrietamiento a la mitad de la losa o suficientemente lejos para reducir los costos de las juntas.

Transferencia de carga en las juntas

Las pasajuntas para la mayoría de las carreteras son de un diámetro $D \geq 8$ pulg o $ESALs \geq 5$ millones y un diámetro mínimo de 32 mm, además de recubrimiento epóxico para control de corrosión. El sello de las juntas transversales se hace con el propósito de reducir la



CONSTRUCCIONES DEPORTIVAS

Estadio Chivas, Zapopan, Jalisco, México

Alto nivel de calidad en las estructuras aparentes

La construcción del nuevo Estadio Chivas sigue avanzando y acelerando su ritmo, mientras la afición aguarda la hora de estrenar la nueva cancha que será sede de uno de los equipos con más seguidores en México.

Con una arquitectura inteligente, será un estadio seguro y de fácil acceso, el cual garantizará la diversión y el bienestar de las familias que asistan. El cupo máximo será de 45,500 personas y con un área total de construcción de 198 mil m².

Está ubicado en el Bajío del Arenal, dentro del Centro de Cultura, Convenciones y Negocios JVC, y se planea que en noviembre de este 2008 se verá concluido.

El nuevo Estadio Chivas cumplirá con los más altos estándares nacionales e internacionales en términos de seguridad y todos los lugares ofrecerán una visibilidad perfecta al campo de juego.

La constructora ICA, quien tiene a su cargo la obra del Estadio, ha logrado grandes avances en distintos rubros, gracias a la fuerza de trabajo de más de 800 personas que laboran diariamente.

La participación de PERI en el proyecto del nuevo Estadio ha sido de gran relevancia debido a las altas exigencias tanto en tiempo como en calidad de acabados.

Las Macro-columnas con dimensiones de 1.7 m x 3.5 m x 4.5 m de altura fueron el principal reto ya que estos elementos verticales son los que soportan las losas de estacionamiento, las gradas y la cubierta del Estadio. Fueron resueltas con el sistema VARIO el cual logró cumplir con excelentes tiempos de ejecución, un fácil cimbrado y descimbrado de elementos y como resultado un acabado de concreto aparente, expuesto a todos los espectadores. Las maniobras con la grúa se tuvieron que efectuar lo más rápido posible debido al alto costo por hora de la misma grúa, logrando movimientos eficientes y seguros.

El muro Pantalla de escaleras se cimbró con sistema VARIO, al igual que las macro-columnas, la principal demanda es el acabado aparente. Las dimensiones del muro son 0.75 m x 4.9 a una altura de 4.5 m. La importancia de éste muro es que soporta las escaleras las cuales dan acceso a los diferentes niveles del Estadio.

Los 920 m² de superficie de losa con un espesor de 16 cm fueron resueltas con PERI Mesas Modul, el requerimiento fue no perder tiempo de armar y desarmar la cimbra para

cada colado por lo que la solución de MESAS propuesta por PERI fue la mejor opción ya que por medio del carro transportador se disminuyeron considerablemente tiempos para el movimiento de mesas en un mismo nivel además de resolver la demanda de no armar la losa en cada colado. Adicional se logró una gran limpieza en obra permitiendo circular de manera segura al personal.

El otro elemento constructivo en el que está participando PERI es la cimbra para trabe con un ancho de 0.4 m x 4.2 m de altura y con una longitud de 64 metros. En este caso el requisito es que la cimbra sea manual para mejor manejo del equipo por el personal. La solución fue PERI HANDSET dando como resultado un sistema manual, ligero y fácilmente operado por una sola persona. El clip HANDSET es el único elemento para todas las uniones de panel. Esto reduce en gran medida el número de piezas y facilita el rápido armado y movimientos sin necesidad de usar grúa.

El trabajo está siendo realizado de manera satisfactoria ya que se está cubriendo el principal requisito de acabado aparente en las estructuras. Los tiempos de ejecución se han superado dando como resultado ahorros en tiempo y utilidad económica.

PERI ha demostrado que sí es posible trabajar con eficiencia, rapidez y calidad.

Utilización de sistemas PERI

- Encofrado modular HANDSET
- Encofrado para pilares VARIO GT 24
- Módulos de mesas ●



INFORMES:

PERI Cimbras y Andamios S.A. de C.V.
Cimbras Andamios Ingeniería
Parque de las Américas
KM. 3.5 Carretera Jorobas – Tula, C.P. 54680
Huehuetoca, Estado de México
Tel.: +52 (01) 593 10 20 200
Fax: +52 (01) 593 10 20 201
info@peri.com.mx
www.peri.com.mx



Foto: www.guillena.org

infiltración de humedad e impedir el acceso a la junta. Este tópico es debatible.

Principales procedimientos de diseño

Los enfoques que se presentan son los de: la Guía AASHTO (1993), de la Asociación de Cemento Pórtland

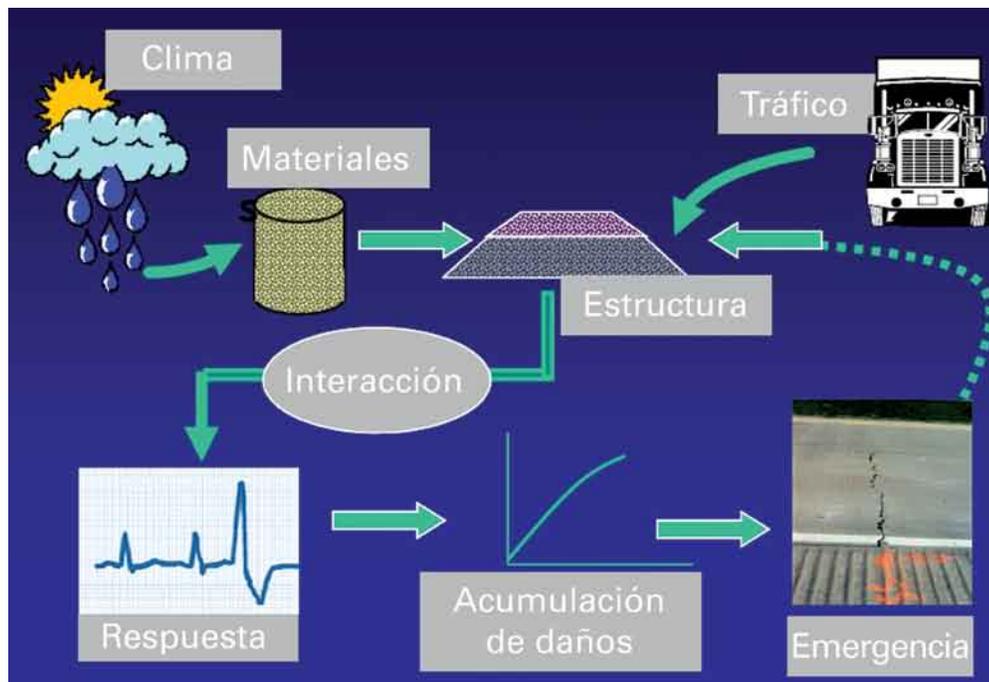
Por las excelentes expectativas

Las expectativas generales para los pavimentos son: larga vida por medio de su desempeño estructural; gran durabilidad; alta seguridad para evitar accidentes en clima húmedo y excelente rugosidad, para generar viajes confortables.

(PCA, 1984), Métodos regionales (EU y otros países) y de la Nueva Guía de EU para Diseño Mecánico Empírico de Pavimentos (2008).

El enfoque de la Guía AASHTO es de diseño estructural con atención limitada a características de diseño. Basados en materiales limitados, condiciones climáticas, cargas de tráfico y atención limitada a modos específicos de falla. Por su parte, el Diseño Mecánico Empírico emplea las respuestas mecánicas del pavimento como son esfuerzo, deformación y deflexión y las relaciona con indicadores clave de desempeño: agrietamiento, desplazamiento vertical, rugosidad y se calibra contra registros de campo.

El Proceso de Diseño Mecánico Empírico se apoya en datos del espectro de cargas de ejes (no ESALs). Considera los efectos del clima y se usan las propiedades de materiales actuales. Considera los tipos clave de falla y se tiene un enfoque en el incremento de daños.



Requerimientos para un desempeño de larga vida

- Desempeño estructural: una vida más larga, sin fallas mayores, sólo con una rutina de mantenimiento y reparación.
- Desempeño funcional: Seguridad, pocos accidentes por clima húmedo, rugosidad para viajes confortables, ruido-niveles aceptables.
- Costo más bajo del ciclo de vida por lo tanto costos más bajos de operación para los usuarios y menos retrasos y accidentes. ©