



Foto: www.metwashairports.com

# Nuevos desarrollos

Cuando se desarrolló el programa HIPERPAV en 1996, se siguió un método basado en sistemas para pavimentos de concreto; este valioso programa continúa desarrollándose.

**C**on el programa HIPERPAV (High Performance Paving), que es una herramienta fácil de utilizar y a la vez técnicamente compleja, se hizo posible la capacidad de simular problemas (antes de su ocurrencia). Desde entonces, la demanda por el programa HIPERPAV se ha extendido en toda la industria de los pavimentos de concreto. Los contratistas, suministradores de materiales, dependencias de gobierno, y académicos reconocen el poder del enfoque de sistemas.

Basándose en el éxito de HIPERPAV, la Federal Highway Administration's (FHWA) continuó el patrocinio para el desarrollo de una segunda generación del programa, HIPERPAV II, la cual incluye los siguientes módulos:

1. Un módulo con la habilidad de predecir el impacto en el desempeño a largo plazo de los pavimentos de concreto simple con juntas en función del comportamiento a edades tempranas.

2. Un módulo capaz de predecir el comportamiento a edades tempranas de los pavimentos de Concreto de Refuerzo Continuo (CRCP por sus siglas en inglés).

3. Dos módulos adicionales que incorporaran los resultados de estudios existentes de la FHWA relacionados a pavimentos de concreto.

Estos nuevos desarrollos se describen en las secciones siguientes:

### **Módulo para predecir el desempeño a largo plazo de pavimentos de concreto simple**

Se ha reconocido ampliamente que un número de mecanismos durante la edad temprana determinan el comportamiento a largo plazo de los pavimentos de concreto. Entre estos mecanismos se ha identificado que la apertura de las juntas de contracción, la contracción por secado, el gradiente térmico durante el fraguado, y el flujo plástico del concreto hidráulico por nombrar algunos, juegan un papel importante en la respuesta estructural del pavimento y por ende en su desempeño a largo plazo. Estos mecanismos afectan

la transferencia de carga en las juntas y grietas e impactan el nivel de esfuerzos en el pavimento, lo que consecuentemente contribuye a la formación de deterioros en el pavimento.

El programa HIPERPAV II incluye nuevos algoritmos que simulan el efecto que estos factores originados durante edades tempranas tienen en el desempeño del pavimento a largo plazo. Con la ayuda del módulo de desempeño a largo plazo del programa HIPERPAV II, es posible predecir la condición estructural y funcional del pavimento en términos de escalonamiento, agrietamiento y calidad de recorrido. Esta información a su vez puede ser utilizada para identificar alternativas de diseño que reduzcan los efectos de estos factores en el desempeño del pavimento.

### **Módulo de Comportamiento de Pavimentos de Concreto con Refuerzo Continuo**

Como su nombre lo implica, los pavimentos de concreto con refuerzo continuo se refieren a pavimentos de concreto reforzados longitudinalmente con varillas de acero y construidos sin el corte de juntas transversales de contracción. En este tipo de pavimento, se permite que el concreto se agriete en forma aleatoria como resultado de cambios de volumen derivados de variaciones de temperatura y humedad. Sin embargo, el agrietamiento se controla mediante el refuerzo de acero y la restricción de la capa de base a manera de que se mantenga la transferencia de carga y la integridad del pavimento. En los pavimentos de concreto con refuerzo continuo

resulta importante controlar el espaciamiento de grietas, ancho de grietas y nivel de esfuerzos en el acero a manera que se mantengan dentro de ciertos límites que garanticen el buen desempeño del pavimento.

En investigaciones anteriores se han desarrollado comprensivos modelos mecanicistas con los que es posible predecir con precisión el espaciamiento y ancho del agrietamiento así como el esfuerzo en el acero de los pavimentos de concreto reforzado. El nuevo módulo para pavimentos de concreto reforzado en el programa HIPERPAV II incorpora modelos de comportamiento con los que es posible evaluar alternativas de diseño que garanticen un buen desempeño de este tipo de pavimentos.

### **Módulos de Estudios de la FHWA en HIPERPAV II**

En años recientes, la FHWA ha patrocinado un buen número de proyectos de investigación relacionados a varios aspectos de la pavimentación en concreto. La suma de los resultados finales de estos proyectos es de gran valor; sin embargo, es necesario adaptarlos adecuadamente para su exitosa implementación de manera tal que proporcionen un avance en las prácticas de diseño y construcción de los pavimentos de concreto. Dos de estos estudios fueron seleccionados para su incorporación en el nuevo sistema HIPERPAV II los cuales son:

1. Optimización de mezclas de concreto utilizando métodos estadísticos.

2. Estudio experimental de pasajuntas en pavimentos de concreto.

## Optimización de mezclas de concreto utilizando métodos estadísticos

Este estudio de optimización de mezclas se enfocó en la utilización de avanzadas técnicas estadísticas para optimar diseños de mezclas de concreto cumpliendo con criterios de desempeño específicos. Los métodos actuales para el diseño de mezclas se enfocan típicamente en un proporcionamiento que cumpla con cierta resistencia del concreto. El uso de técnicas de optimización permite la optimización de mezclas a manera que éstas cumplan con un número de criterios simultáneos incluyendo revenimiento, resistencia, permeabilidad, e incluso costo. La optimización de estos criterios con el uso de este método se logra siguiendo los siguientes pasos:

- Especificación de respuestas y criterios de desempeño tales como revenimiento, resistencia, costo, etc.
- Especificación de los constituyentes que se proporcionarán y sus rangos dentro de los que se obtengan las respuestas especificadas.
- Fabricación y ensayo de mezclas de prueba determinadas mediante un diseño de experimentos para medir las respuestas especificadas.
- Desarrollo de modelos de regresión mediante el uso de métodos estadísticos para el análisis del proporcionamiento de mezclas y los resultados de prueba.
- Determinación del proporcionamiento óptimo de mezclas que mejor cumplen con las respuestas especificadas con el uso de los modelos de regresión desarrollados.

Las ventajas de un procedimiento de optimización de mez-

clas como el antes descrito es que permite la optimización de múltiples criterios de desempeño. Con este procedimiento es prácticamente posible optimizar cualquier parámetro de interés siempre y cuando los componentes de la mezcla y las mezclas de ensayo consideradas tengan un efecto en tal parámetro. Asimismo, el uso de técnicas de variables múltiples permite la evaluación de varios criterios a la vez.

Con anterioridad, se han llevado a cabo investigaciones para computarizar este procedimiento en una aplicación disponible en la Internet (Simon, 2001). Como parte de las mejoras al sistema HIPERPAV, se incorporó una versión simplificada de este procedimiento de optimización de mezclas en la versión HIPERPAV II. En este módulo, denominado COMET, se incluyen cuatro factores fijos: porcentaje de agregado grueso con respecto al peso total del agregado, contenido de material cementante, porcentaje de puzolanas con respecto al total de cementante y relación agua/cemento. A su vez, se incluyen tres respuestas: costo de la mezcla, resistencia a 3 días y resistencia a los 28 días. Las mezclas óptimas son seleccionadas basadas en los valores deseados de estas respuestas.

## Investigación experimental de pasajuntas en pavimentos de concreto

El dr. Sargaand, de la Universidad de Ohio, completó en el año 2000 una investigación experimental del desempeño de las pasajuntas en los pavimentos de concreto. La reparación de juntas transversales de contracción prematuramente deterioradas, es uno de los

mayores costos de rehabilitación de los pavimentos de concreto. El propósito de la investigación experimental de la universidad de Ohio fue el de evaluar la respuesta de las pasajuntas sometidas a cargas de tráfico y expuestas a diferentes condiciones ambientales. Las pasajuntas fueron instrumentadas con deformímetros a manera de capturar el efecto que las cargas de tráfico y los factores climáticos tienen en los esfuerzos de apoyo del sistema pasajunta-concreto.

El módulo de análisis de pasajuntas en HIPERPAV II predice el desarrollo de esfuerzos de apoyo en el concreto circundante a las pasajuntas durante las primeras 72 horas después de la construcción en función de las cargas ambientales. Este periodo es crítico con respecto al desempeño futuro de las pasajuntas y el impacto que estas tienen en la eficiencia de transferencia de carga. Durante este periodo, el concreto se alabea en función del gradiente térmico y cambios de humedad y la pasajunta resiste este movimiento. Como resultado, el concreto circundante es sometido a un esfuerzo de apoyo. Dado que el concreto no ha alcanzado una resistencia considerable durante esa etapa, es posible que se produzca daño en la interfase pasajunta-concreto. La pasajunta es posteriormente sometida a ciclos de cargas ambientales y de tráfico y el daño producido inicialmente se incrementa y eventualmente esto puede resultar en desportillamiento del concreto. Los esfuerzos de apoyo también pueden resultar en una holgura excesiva y en la consecuente disminución de la eficiencia en la transferencia de carga en las juntas. **C**

Nota: Para mayor información consultar: [www.hiperpav.com](http://www.hiperpav.com)