

IAG239-03-2013
APLICABILIDAD DEL MÉTODO MECANÍSTICO-EMPÍRICO DE
DISEÑO DE PAVIMENTOS (MEPDG) AASHTO 2008 EN
LATINOAMÉRICA
APLICABILIDADE DO MÉTODO MECANÍSTICO EMPÍRICO DE
PROJETO DE PAVIEMENTOS (MEPDG) AASHTO 2008 NA
AMÉRICA LATINA

Carlos M. Chang Albitres
Universidad de Texas at El Paso
El Paso TX, E.U.A.
cchangalbitres2@utep.edu

Julián Vidal Valencia
Universidad EAFIT
Medellín, Colombia
jvidal@eafit.edu.co

Luis Guillermo Loria Salazar
Lanamme-Universidad de Costa Rica
San Pedro, Costa Rica
luis.loriasalazar@ucr.ac.cr

Marcelo Bustos
Universidad de San Juan
San Juan, Argentina
mbustos@eicam.unsj.edu.ar

Rodrigo Delgadillo
Universidad Técnica Federico Santa María
Valparaíso, Chile
rodrigo.delgadillo@usm.cl

Resumen

La Guía de Diseño de Pavimentos Mecanístico-Empírico (Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide - MEPDG) es una herramienta completa para el análisis y diseño de pavimentos. MEPDG ha sido el resultado de varios años de investigación en los Estados Unidos como parte del proyecto NCHRP 1-37A “Development for the 2002 Guide for Design of New and Rehabilitated Pavement Structure”. Los modelos de predicción del deterioro utilizados por el MEPDG requieren de calibración y un proceso de implementación a las prácticas locales. En particular, el desafío que presenta la implementación de la guía MEPDG requiere de un esfuerzo serio de todos los grupos técnicos de cada país para generar las bases de datos y modelos de calibración acordes con el clima, suelos, tráfico y materiales de cada región. Entre los países que están haciendo esfuerzos para una calibración local de los parámetros de la guía están Argentina, Chile, Colombia, Costa Rica y Perú. Además, mediante un esfuerzo del Instituto de Construcción y Gerencia (ICG) y del Comité Internacional para la Implementación del Diseño Mecanístico-Empírico de Pavimentos (CIDMEP), se tradujo el manual de la guía al español, para facilitar su implementación y

entendimiento en la región. Este trabajo presenta un análisis sobre la aplicabilidad del MEPDG en Latinoamérica, describe avances realizados en el proceso de implementación, y brinda recomendaciones para su uso futuro.

Resumo

O Guia de projeto de pavimentos mecanístico empírico (Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide - MEPDG) é uma ferramenta completa para a análise e projeto de pavimentos. MEPDG foi o resultado de vários anos de pesquisa nos Estados Unidos, como parte do projeto NCHRP-37A "Desenvolvimento do Guia 2002 para o projeto de estruturas de pavimento novos e reabilitados" (Pavement Interactive, 2013). Os modelos de previsão de deterioração utilizados pelo MEPDG requerem calibração e processo de implementação para aplicações locais. Em particular, o desafio colocado pela implementação do guia MEPDG requer um esforço de todos os grupos técnicos de cada país para gerar bases de dados e modelos de calibração consistente com o clima, os solos, o tráfego e os materiais em cada região. Entre os países que estão a fazer esforços para calibração local dos parâmetros para implementação do MEPDG são Argentina, Chile, Colômbia, Costa Rica e Peru. Além disso, por um esforço do Instituto da Construção e Gestão (ICG) e da Comissão Internacional para a Implementação do Projeto mecanístico-empírico de pavimentos (CIDMEP), traduziu o manual para o espanhol, para facilitar a sua implementação e compreensão na região. Este trabalho apresenta uma análise da aplicabilidade do MEPDG na América Latina, descreve o progresso no processo de implementação, e oferece recomendações para uso futuro do método.

ENFOQUE DE LA GUÍA DE DISEÑO MECANÍSTICO-EMPÍRICO DE PAVIMENTOS AASHTO 2008

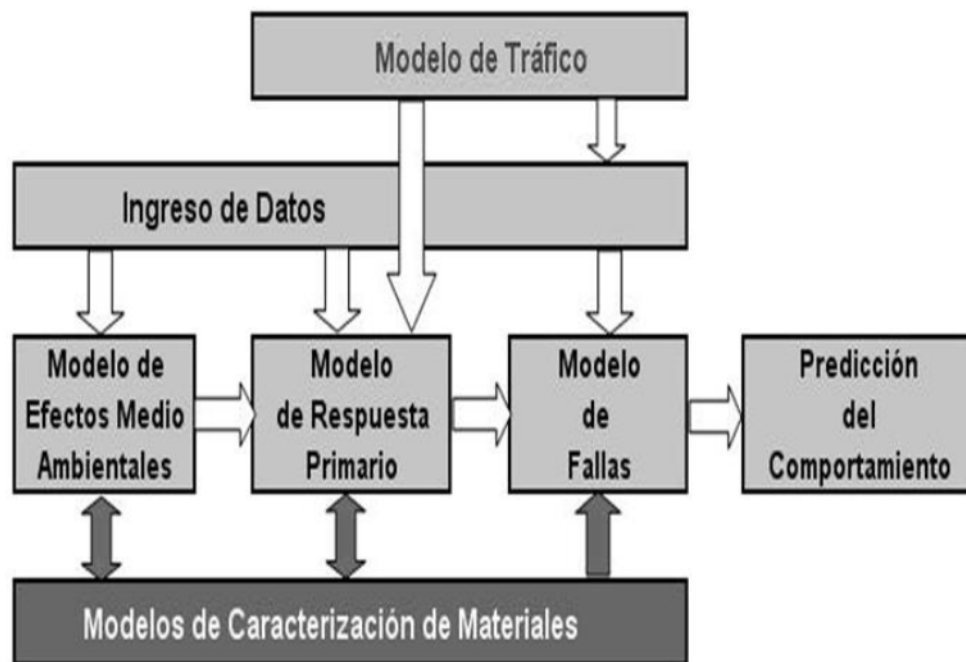
La *Guía de Diseño Mecanístico-Empírico de Pavimentos AASHTO 2008* (MEPDG 2008) refleja el estado-del-arte de las metodologías empleadas en el diseño de pavimentos nuevos y en la rehabilitación de pavimentos existentes. MEPDG 2008 considera el diseño de pavimentos flexibles y rígidos empleando principios mecanísticos para el cálculo de esfuerzos, deformaciones, y deflexiones en la estructura de pavimento. Esta respuesta estructural se relaciona empíricamente con la evolución del deterioro estructural y funcional del pavimento a lo largo de su vida útil.

Las variaciones climáticas y las cargas de tráfico son consideradas en el análisis para evaluar si la estructura de pavimento propuesta tiene la capacidad de “soportar” las cargas actuantes y cumplir con los niveles de servicio exigidos. El daño acumulado por acción de las cargas a través del tiempo en la estructura de pavimento propuesta es anticipado con modelos de predicción del desempeño. Si el diseño de pavimento propuesto no supera los límites máximos tolerables de servicio establecidos entonces se considera que es una alternativa técnicamente viable. Es posible que varios diseños de pavimento sean técnicamente viables y en ese caso se elige la alternativa más económica considerando los costos y beneficios esperados durante toda su vida en servicio.

Modelos de Predicción del Desempeño del Pavimento del MEDPDG

Para evaluar el desempeño del diseño de pavimento propuesto, la MEPDG utiliza modelos de predicción de tráfico, medio ambiente, caracterización de materiales, respuesta estructural, evolución del deterioro o fallas, y predicción del desempeño. La Figura 1 muestra esquemáticamente la relación de los modelos utilizados en diseño mecanístico empírico de pavimentos.

Figura 1. Modelos Utilizados en el Diseño Mecanístico Empírico de Pavimentos



En el procedimiento de diseño de mecanístico-empírico, el diseñador tiene la posibilidad de plantear estructuras de pavimento alternativas que deben cumplir con los niveles de servicio verificando el desempeño estructural y funcional. Para esta verificación, los criterios de diseño están basados en niveles tolerables de deterioro de acuerdo al tipo de pavimento.

Los pre-diseños de pavimentos propuestos son verificados estructural y funcionalmente para evaluar si cumplen con los niveles de servicio establecidos a lo largo de su vida útil.

Modelos de Desempeño de Pavimentos Flexibles

Para pavimentos flexibles (HMA-Hot Mix Asphalt) los modelos de desempeño consideran:

- Fisuramiento Longitudinal: Falla por fatiga debido a cargas de tránsito donde las fisuras aparecen usualmente en las huellas del neumático.
- Fisuramiento Piel de Cocodrilo: Falla estructural por fatiga en donde las fisuras evolucionan de abajo hacia arriba y se manifiestan superficialmente en las huellas del neumático para luego extenderse a lo ancho del carril de tránsito.

- Fisuramiento Transversal: Falla que ocurre cuando el pavimento es sometido a bajas temperaturas o por cambios bruscos en el gradiente térmico, y se manifiesta en forma transversal en el carril de tráfico.
- Ahuellamiento o Deformación Permanente: El ahuellamiento puede ocurrir a nivel de la capa de mezcla asfáltica, base, subbase, o subrasante.
- International Roughness Index (IRI): Este índice representa la regularidad en el perfil longitudinal del pavimento. Usualmente el IRI se mide en las huellas del neumático y es vinculado con la calidad de manejo y el grado de comodidad del usuario al transitar por la vía. El valor de IRI es influenciado por el fisuramiento longitudinal, fisuramiento transversal, fisuramiento tipo piel de cocodrilo, y ahuellamiento.

Modelos de Desempeño de Pavimentos Rígidos

Para pavimentos rígidos de concreto con juntas (JPCP-Jointed Plain Concrete Pavements) los modelos de desempeño consideran:

- Escalonamiento de la Junta: El escalonamiento de la junta en el borde externo de la losa puede producirse por erosión del material en las subcapas inferiores y/o una ineficiente transferencia de carga de losa a losa en la junta.
- Porcentaje de Losas Fisuradas: El fisuramiento en las losas ocurre usualmente en el carril de tránsito más pesado y es el resultado de daño por fatiga.
- International Roughness Index (IRI): El IRI representa la regularidad en el perfil longitudinal del pavimento. Es el mismo índice que se utiliza para los pavimentos flexibles.

MEPDG 2008 incluye también modelos de desempeño para pavimentos de concreto continuamente reforzados (CRCP: Continuous Reinforced Concrete Pavements). Estos modelos consideran el espaciamiento de las fisuras transversales por retracción, ancho de la fisura, eficiencia en la transferencia de carga, y punzonamiento.

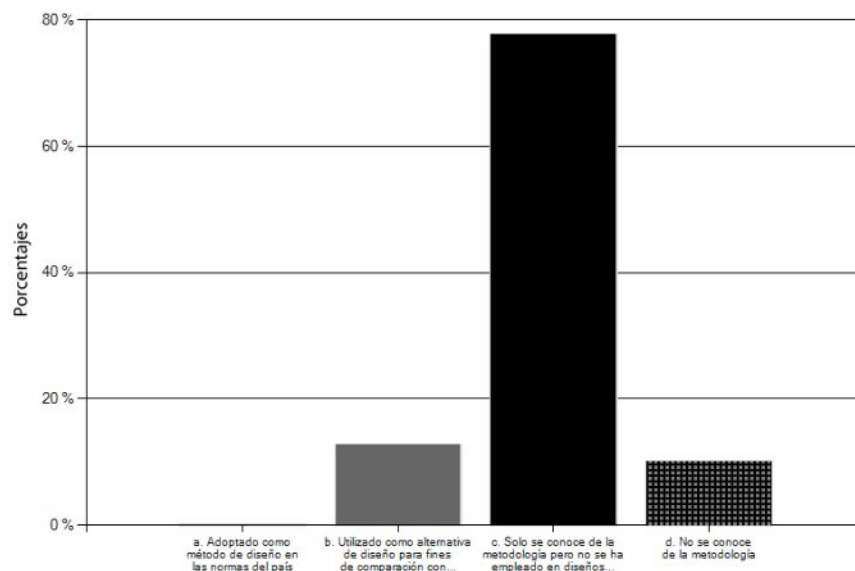
USO DEL MEPDG AASHTO 2008 EN LATINOAMÉRICA

Entre Febrero y Mayo del 2013, una encuesta fue realizada para conocer el nivel de conocimiento y uso del MEPDG en Latinoamérica. En la encuesta participaron entidades gubernamentales, consultores, profesores y estudiantes de 15 países. Las respuestas de aproximadamente 1000 profesionales latinoamericanos fueron analizadas, y los resultados obtenidos son resumidos a continuación.

De las respuestas se concluyó que el uso del MEPDG para el diseño de pavimentos en Latinoamérica es muy actualmente limitado. Basados en las respuestas, el 77.5% de las respuestas indicaron que se conoce de la metodología del MEPDG-AASHTO 2008 pero que no se emplea en la práctica diaria. De hecho, la mayoría de los encuestados menciona que el método AASHTO 93 es el método usado para el diseño de pavimentos asfálticos y de concreto (hormigón). Ninguna persona menciona que el método MEPDG haya sido adoptado como método de diseño en las normas de su país. Sin embargo, el 12.5% de las respuestas indica que el MEPDG ha sido utilizado como alternativa de diseño para fines de comparación

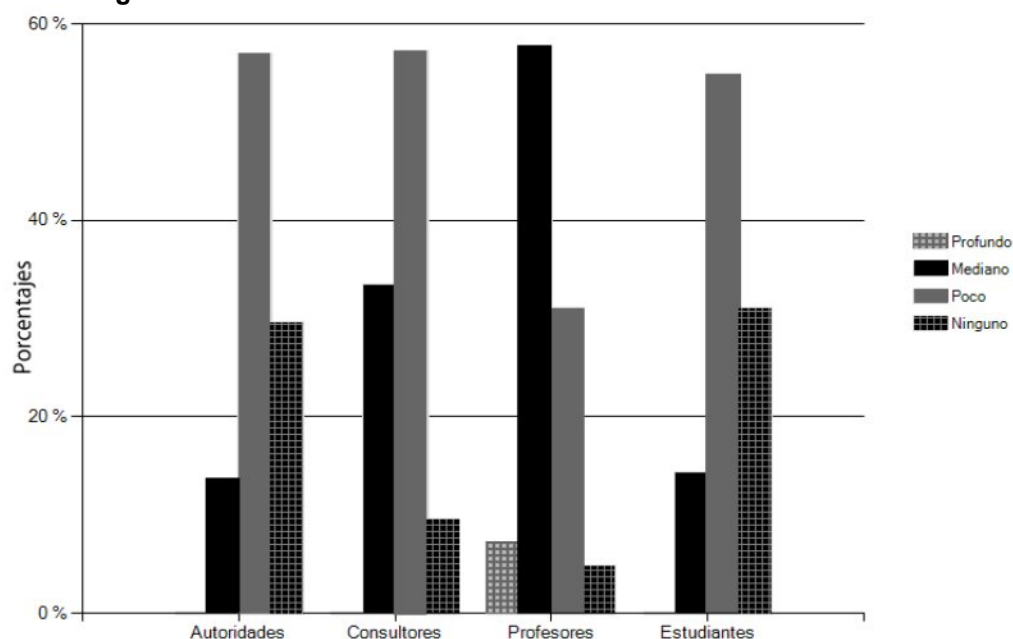
con métodos convencionales. Por otro lado, el 10% de las respuestas indica que no se conoce el MEPDG en su país. Un resumen de las respuestas obtenidas en la encuesta se muestra en la Figura 2.

Figura 2. Estado de la Implementación del MEPDG en Latinoamérica



En la mayoría de los países Latinoamericanos no se han realizado esfuerzos significativos para la implementación del MEPDG. También se ha mencionado que el método del MEPDG ha sido utilizado básicamente con fines de investigación en pavimentos flexibles y se han calibrado algunos modelos. Algunas universidades imparten clases para dar a conocer el método, pero el MEPDG no es usado en la práctica diaria de diseño porque los modelos de predicción (especialmente el climático) no han sido adaptados a cada país. La Figura 3 muestra el nivel de conocimiento del MEPDG entre las autoridades, consultores, profesores, y estudiantes.

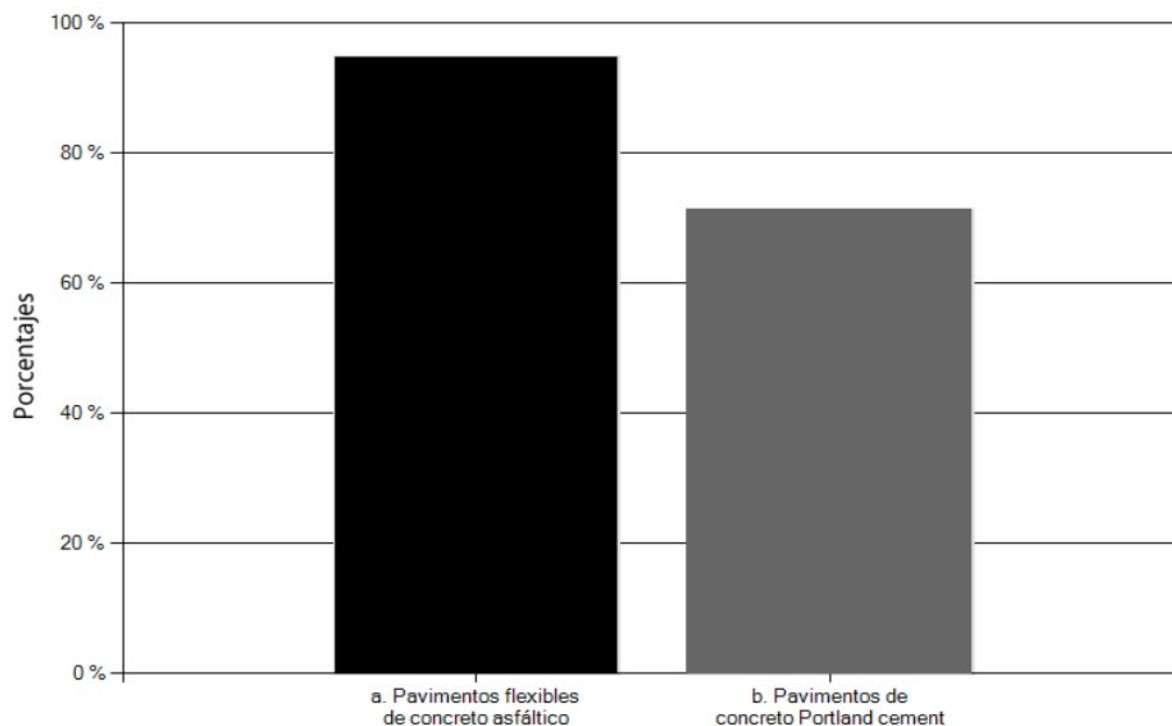
Figura 3. Nivel de Conocimiento del MEPDG en diferentes



Grupos

En cuanto el uso en el futuro del MEPDG en el diseño de pavimentos, el 95% de las respuestas indica que el método mecanístico-empírico puede implementarse en pavimentos flexibles de concreto asfáltico. Además, el 71% de las respuestas indica que el método mecanístico-empírico también puede implementarse en pavimentos de concreto. Un resumen de las respuestas obtenidas se muestra en la Figura 4.

Figura 4. Uso Futuro del MEPDG en Diferentes Tipos de Pavimentos



Método de Diseño de Pavimentos Flexibles

El 75% de las entidades encuestadas sigue utilizando el método del AASHTO 93 para diseñar pavimentos asfálticos. Solo una entidad encuestada menciona que el MEPDG es usado ocasionalmente para la verificación del diseño de pavimentos asfálticos.

El 50% de las respuestas indica que el Ensayo Marshall es utilizado para caracterizar el asfalto en su país. El 80% de las respuestas expresa que los métodos del CBR y análisis de granulometría son empleados en la caracterización de la base granular. El 75% de las respuestas indica que los métodos del CBR y análisis de granulometría son los empleados en la caracterización de la subbase. El 90% de las respuestas indica que los métodos del CBR y Módulo resiliente son los empleados en la caracterización de la subrasante.

Método de Diseño de Pavimentos de Concreto

El 64% de las respuestas indica que el método AASHTO 93 es el método usado para diseñar los pavimentos de concreto. Mientras que 35% de las respuestas indica que utilizan el método de PCA. El 1% restante menciona métodos desarrollados localmente basados en AASHTO 93 o PCA. Ninguna entidad menciona el MEPDG como método usado en la práctica para diseñar pavimentos de concreto.

El 60% de las respuestas indica que las pruebas de resistencia a compresión, flexión, tracción y tensión son usadas para caracterizar las propiedades del concreto. El 70% de las respuestas indica que los métodos del CBR y análisis de granulometría son los empleados en la caracterización de material de base. El 50% de las respuestas indica que los métodos del CBR y análisis de granulometría son los empleados en la caracterización de la subrasante.

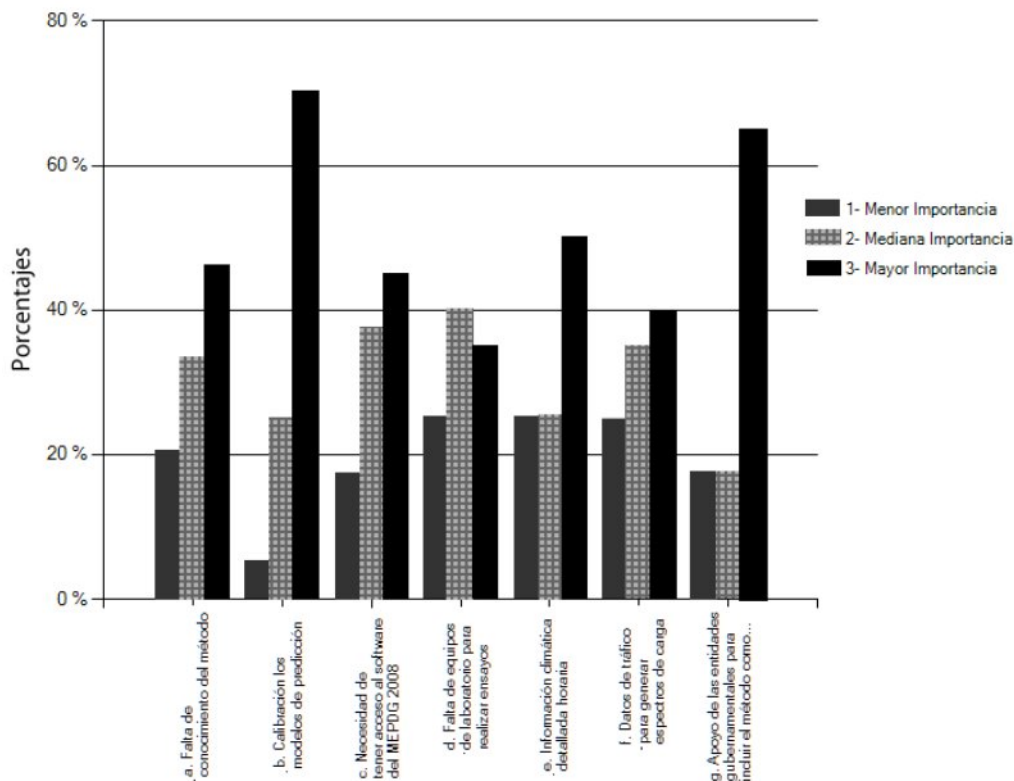
RETOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL MEPDG AASHTO 2008 EN LATINOAMÉRICA

Algunos de los factores que se consideran dificultan la implementación del MEPDG 2008 son:

- a. Falta de conocimiento del método
- b. Calibración de los modelos de predicción
- c. No tener acceso al software del MEPDG 2008
- d. Falta de equipos de laboratorio para realizar los ensayos
- e. Falta de información climática detallada horaria
- f. Ausencia de datos de tráfico para generar los espectros de carga
- g. Falta de apoyo de las entidades gubernamentales para incluir el método como requisito en nuevos proyectos de diseño y rehabilitación.

Un resumen de las respuestas obtenidas en la encuesta se muestra en la Figura 5.

Figura 5. Factores que Dificultan la Implementación del MEPDG en Latinoamérica



RECOMENDACIONES PARA FACILITAR LA IMPLEMENTACIÓN DEL MEPDG-AASHTO2008

Algunas recomendaciones para facilitar la implementación del MEPDG 2008 son:

- Lograr el apoyo de entidades gubernamentales
- Ofrecer clases y cursos de capacitación (mostrar los beneficios y ventajas del método)
- Generación de bases de datos para la calibración de los modelos de cada país
- Desarrollar una versión de software de licencia abierta (limitada o versión estudiantil) para fomentar su uso
- Equipar laboratorios para realizar los ensayos requeridos para la calibración y uso del MEPDG.

En Setiembre del 2011, un grupo de profesionales Latinoamericanos formaron el Comité Internacional para la Implementación del Diseño Mecánico Empírico de Pavimentos MEPDG (CIDMEP) con la finalidad de intercambiar experiencias y promover el uso de nuevas metodologías de diseño mecánico empírico de pavimentos en países de habla hispana. Los objetivos del CIDMEP son:

- Promover el uso de métodos de diseño de pavimentos mecánico-empíricos.
- Desarrollar grupos de expertos en los diferentes aspectos del diseño mecánico empírico de pavimentos.
- Intercambiar experiencias utilizando métodos mecánicos.
- Brindar cursos de capacitación sobre métodos de diseño de pavimentos mecánico-empírico.
- Difundir noticias en avances y nuevos desarrollos relacionados al diseño mecánico empírico de pavimentos.

La encuesta realizada en 15 países latinoamericanos con la participación de unos 1,000 profesionales concluyó que los países que han más avanzado en mayor o menor grado en la implementación del MEPDG-AASHTO 2008 son Argentina, Chile, Colombia, Costa Rica, y Perú. Ejemplos de los esfuerzos realizados en estos países en la implementación del MEPDG en Latinoamérica se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1: Actividades Realizadas en Latinoamérica para la Implementación del MEPDG-AASHTO 2008

País	Actividades para la Implementación del MEPDG
Argentina	<ul style="list-style-type: none"> • Comparación de los modelos de desempeño del MEPDG-AASHTO 2008, AASHTO 93 y HDM 4 • Ensayos de laboratorio para la calibración del método a las condiciones del país • Elaboración de archivos climáticos para diferentes regiones del país, compatibles con MEPDG • Calibración de modelos de deterioro MEPDG de pavimentos rígidos para la zona centro-norte del país • Cursos a nivel de pregrado, postgrado, y dirigidos a profesionales del área vial, para promover el conocimiento, uso y aplicación del método
Chile	<ul style="list-style-type: none"> • Calibración de los modelos de deterioro para pavimentos de hormigón • Desarrollo de base de datos climática Chilena con la información requerida por el software. • Desarrollo de base de datos de espectros para diversas vías principales • Medición de coeficientes de expansión térmica para hormigones de pavimentos chilenos • Generación de base de datos de módulos resilientes de suelos chilenos • Comparación del MEPDG con el AASHTO 93
Colombia	<ul style="list-style-type: none"> • Cursos a nivel de pregrado, postgrado, y funcionarios del gobierno para dar a conocer el método • Comparaciones entre metodologías de diseño de pavimentos • Adopción de variables de admisibilidad y correlaciones de datos empíricos • Tesis de Maestría para adaptar el modelo climático
Costa Rica	<ul style="list-style-type: none"> • Calibración del módulo dinámico a condiciones de Costa Rica • Cursos a nivel de pregrado, postgrado, y funcionarios del gobierno para dar a conocer el método • Desarrollo y calibración de ecuaciones de fatiga y deformación permanente de mezclas asfálticas en caliente. • Desarrollo de ecuación de fatiga para pavimentos de concreto. • Establecimiento de 30 secciones de control en pavimentos nuevos y rehabilitaciones para seguimiento y calibración de funciones de transferencia. • Inicio de investigación sobre el componente de confiabilidad en el diseño. • Adquisición de un simulador pesado de vehículos (HVS Mark IV) para calibrar en laboratorio de manera acelerada las ecuaciones de transferencia. • Determinación de las constantes del método de módulo de resiliencia para 5 materiales y 5 suelos típicos.
Perú	<ul style="list-style-type: none"> • Cursos a nivel de pregrado, postgrado, para dar a conocer el método • Publicación de la guía de diseño MEPDG-AASHTO 2008 en español. • Tesis de Maestría para adaptar el modelo climático al Perú.

CONCLUSIONES

El MEPDG representa un método confiable para el diseño de pavimentos asfálticos y de concreto siempre y cuando se los modelos de predicción de desempeño estén calibrados a las condiciones locales en cada país. La implementación del MEPDG en Latinoamérica depende de la posibilidad de poder calibrar estos modelos para los climas y materiales de cada país. Este es un esfuerzo conjunto que demandará un mayor tiempo y esfuerzo de parte de las entidades gubernamentales, universidades, consultores, y constructores.

REFERENCIAS

1. Guía de Diseño Mecánico-Empírico de Pavimentos Manual Práctico (AASHTO). Versión en Español publicada por el Instituto de la Construcción y Gerencia (ICG), Lima, 2011.