

Evaluación comparativa de los impactos ambientales de dos tipos de pavimentos

Por Leonor Patricia Güereca Hernández, Claudia Roxana Juárez López y Alexandra Ossa López

INTRODUCCIÓN

La construcción, la operación y el mantenimiento de los sistemas carreteros requiere de cantidades significativas de materiales y energía, lo que genera con ello impactos ambientales y económicos relevantes. En México existe un creciente interés por analizar dichos impactos y minimizarlos, a la vez que se mejora la capacidad y el desempeño de los pavimentos.

Los pavimentos se clasifican en flexibles o de concreto asfáltico y rígidos o de concreto hidráulico. En México contamos con aproximadamente 95 000 km de carreteras pavimentadas, de las cuales el 5 % (4750 km) son pavimentos rígidos y el resto son pavimentos flexibles.

Estos dos tipos de pavimentos presentan varias diferencias, entre las que destacan el espesor de las bases y subbases, así como los requerimientos de rehabilitación o mantenimiento. Con respecto a la vida útil, se puede decir que los pavimentos flexibles alcanzan hasta 20 años, mientras que los pavimentos rígidos varían entre 20 y hasta 50 años (Montes y Palacios, 2013).

La decisión de cuál tipo de pavimento utilizar es un aspecto relevante a la hora de mejorar o desarrollar infraestructura carretera; sin embargo, no es una decisión fácil, pues además de considerar los costos de inversión y operación, la minimización de los impactos ambientales se convierte cada vez más en un tema de importancia en la toma de decisiones.

Para apoyar el proceso de la toma de decisiones ambientalmente responsables, se ha utilizado la metodología del análisis de ciclo de vida (ACV), la cual permite evaluar de manera objetiva y sistemática los impactos

ambientales de un producto, desde la extracción de la materia prima hasta la disposición final, tomando en cuenta todos los vectores involucrados.

Existen varios estudios de ACV de pavimentos. Stripple (2001) evalúa el sistema de pavimentación de carreteras, incluidos la extracción de materias primas, el proceso de construcción, el mantenimiento, la operación de la carretera y la disposición, para carreteras de Suecia.

Biswas (2014) cuantifica las emisiones de GEI (toneladas de CO₂e) y los consumos de energía (MJ) asociados con la construcción de pavimento asfáltico en 100 m lineales de carretera para el oeste de Australia; incluye un enfoque de ciclo de vida, desde la extracción y el transporte de materiales, el uso y mantenimiento del pavimento, así como la demolición de la carretera.

Santero *et al.* (2011) realizan un análisis de 15 estudios de ACV de pavimentos con-

siderando aspectos metodológicos, como la comparabilidad de los estudios, los límites del sistema, la calidad de los datos y los impactos ambientales evaluados. Sus conclusiones señalan que los estudios tienen bajo potencial de comparabilidad debido a que consideran diferente base de comparación (unidad funcional) y a las condiciones particulares de cada región.

Es por lo anterior que el objetivo de este estudio es evaluar los impactos ambientales de dos tipos de pavimento: concreto hidráulico y asfáltico, bajo un enfoque de ciclo de vida, considerando las condiciones de la autopista México-Querétaro (tramo del km 43 al km 106).

METODOLOGÍA

Ambos tipos de pavimentos se diseñaron para un tiempo de vida de 20 años, conforme a las recomendaciones establecidas en la *Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento*



de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO, 1993) y tomando en cuenta la metodología Dispav 5, versión 3, desarrollada por el Instituto de Ingeniería de la UNAM (Corro *et al.*, 2014).

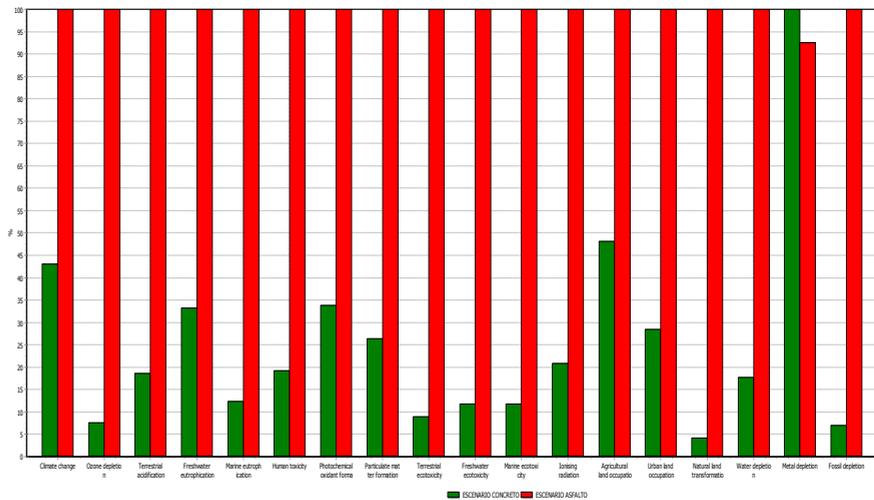
Los escenarios evaluados en este estudio son pavimento de concreto hidráulico y pavimento de concreto asfáltico. La unidad funcional (UF) es 1 km de tramo lineal de pavimento (tomando en cuenta solo la carpeta). Se considera un ancho de 21 m de carretera, los cuales comprenden dos sentidos y seis carriles (tres de cada sentido); no se toma en cuenta el acotamiento.

Se cuantificaron todas las entradas (materiales, energía y transporte) y salidas (emisiones al agua, suelo y aire) de cada uno de los procesos a lo largo del ciclo de vida de los pavimentos.

En el pavimento de concreto hidráulico se analizaron los procesos de obtención de materias primas para producción del cemento, los procesos de fabricación de cemento CPC40 (cantera, trituración, horno, molienda y homogenización), el transporte de materiales, la construcción del pavimento (preparación de la mezcla y colocación de la carpeta), el mantenimiento (en los años 7 y 15), así como el desmantelamiento y la disposición final en el año 20.

En el pavimento de concreto hidráulico se toman en cuenta los procesos de producción de materias primas para producción de asfalto (de refinería del cemento asfáltico), transporte de materiales, construcción del pavimento de asfalto (obtención de mezcla de asfalto en caliente), su mantenimiento y su disposición final. El plan de mantenimiento incluye dos riegos de sello cada tres años, fresado al noveno año de operación, riego de sello al año 12, fresado y reposición al año 15 y, por último, un riego de sello al año 18.

La realización de este estudio se basa en la norma ISO 14040/44 (ISO, 2006). Se evaluaron 18 categorías de impacto, las cuales



Comparando 1 y 2 ESCENARIO CONCRETO con 1 y 2 ESCENARIO ASFALTO; Método: Recipe Midpoint (H) V1.07 / World ReCiPe H / Caracterización

Figura 1. Impactos ambientales normalizados y en términos porcentuales para el pavimento de concreto y el pavimento de asfalto

se modelan de acuerdo con el método World ReCiPe V1.07.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La figura 1 muestra, en términos porcentuales, los impactos ambientales para los dos escenarios analizados. Aquí se observa que el pavimento de concreto hidráulico muestra un mejor desempeño ambiental en 17 de las 18 categorías de impacto analizadas, lo cual se debe principalmente a los impactos generados en el proceso de refinería para producir el cemento asfáltico y al plan de mantenimiento necesario para mantener el pavimento en condiciones óptimas.

El pavimento de concreto hidráulico genera mayor impacto que el pavimento de concreto asfáltico en la categoría de disminución de metales, lo cual se debe a la utilización de acero en la fase constructiva del pavimento, que no es necesario cuando se pavimenta con asfalto.

Dada la relevancia de la categoría de impacto de cambio climático, a continuación se discute de manera detallada.

CAMBIO CLIMÁTICO

El cambio climático se define como el potencial incremento de la temperatura que se da por el aumento de la concentración de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en unidades de dióxido de carbono equivalentes.

En esta categoría de impacto, el pavimento de concreto asfáltico presenta mayores impactos debido principalmente a las emisiones de GEI generadas durante la fabricación de materias primas y a la disposición del pavimento de asfalto en un relleno de residuos de manejo especial.

En el pavimento de concreto asfáltico el impacto global de esta categoría es de 12 467 t de CO₂e/km, lo cual se debe principalmente a la fabricación del cemento asfáltico (55 %), debido a los procesos de extracción y refinación del petróleo. Es importante destacar que en este proceso se incluye la fabricación del cemento asfáltico que es usado en la etapa de construcción y también en la etapa de mantenimiento del pavimento.

El impacto en el cambio climático identificado en este análisis para el pavimento de



concreto asfáltico es superior a lo reportado por Butt *et al.* (2014) y Vidal *et al.* (2013), pero cae dentro del rango reportado por Noshadravan *et al.* (2013). Parte de esta diferencia se debe a las características de diseño, que, para la carretera México-Querétaro, requieren de 12 cm de grosor de concreto asfáltico, ya que soportan un TPDA de 28 098, mientras que en el caso de estudio de Vidal *et al.* (2013) soportan un TPDA de 1000, el cual se diseñó con un grosor de concreto asfáltico de 8 cm.

El valor de impacto del pavimento de concreto asfáltico para cambio climático también está determinado por la cantidad de materia prima requerida por el programa de mantenimiento establecido de acuerdo con las características de tráfico, carga y condiciones climáticas de la carretera.

En el pavimento de concreto hidráulico, el impacto total es de 5374 t de CO₂e/km. Este valor de impacto queda dentro del rango de 440 a 6670 t de CO₂e/km reportado por Loijos *et al.* (2013) para doce tipos de vías de los Estados Unidos, pavimentadas con concreto hidráulico.

El análisis por procesos productivos muestra que la fabricación de concreto (CPC40) produce 1920 t de CO₂e/km, lo cual concuerda con lo reportado por Loijos *et al.* (2013).

Un proceso que impacta de manera relevante en los dos escenarios analizados es el transporte, lo cual se debe al largo trayecto considerado (1000 km de ida y vuelta) para la disposición final del pavimento al final de su vida útil. Esto obedece a que en México hay muy limitada infraestructura de este tipo y se consideró ese valor por defecto.

CONCLUSIONES

El sistema de pavimentación con concreto hidráulico presenta menor impacto en 17 de las 18 categorías analizadas.

En el proceso de pavimentación con concreto hidráulico los principales impactos ambientales están asociados con el consumo de energía y la generación de emisiones a la atmósfera durante la fabricación del cemento, así como con el requerimiento de acero en el proceso constructivo y el consumo de combustible para el traslado del pavimento al relleno al término de su vida útil.

En el proceso de construcción de concreto asfáltico el impacto ambiental está determinado principalmente por el proceso de refinación para producir el cemento asfáltico y el consumo de combustible para el traslado del pavimento al relleno al final de su vida útil.

REFERENCIAS

- AASHTO (1993). Guide for design of pavements structures, Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D. C.
- Biswas, W. (2014). Carbon footprint and embodied energy assessment of a civil works program in a residential estate of Western Australia, *International Journal of Life Cycle Assessment* 19, pp. 732-744.
- Butt A. A., I. Mirzadeh, S. Toller y B. Birgisson B. (2014). Life cycle assessment framework for asphalt pavements: methods to calculate and allocate energy of binder and additives, *International Journal of Pavements Engineering* 15(4), pp. 290-302.

- Corro, S., G. Castillo, A. Ossa, A. Hernández, D. Mandujano, F. Hernández y S. Arizaga (2014). Manual: Dispav-5, versión 3.0. *Actualización del sistema para el diseño estructural de pavimentos asfálticos, incluyendo carreteras de altas especificaciones*, Serie Manuales del Instituto de Ingeniería.
- ISO (2006). Norma ISO 14040/44:2006 (E). Environmental management - Life cycle assessment. Principles and framework. International Organization for Standardization. Geneva.
- Loijos A., N. Santero y J. Ochsendorf (2013). Life cycle climate impacts of the US concrete pavement network, *Resources, Conservation and Recycling* 72, pp. 76-83.
- Montes, I. y J. Palacios (2013). *La importancia de cumplir los niveles de servicio de la infraestructura carretera en México*. Tesis para título de ingeniero civil, UNAM.
- Noshadravan A., M. Wildnauer, J. Gregory y R. Kirchain (2013). Comparative pavement life cycle assessment with parameter uncertainty, *Transportation Research Part D* 25, pp. 131-138.
- Santero N., A. Loijos, M. Akbarian y J. Ochsendorf (2011). Methods, Impacts, and Opportunities in the Concrete Pavement Life Cycle. Concrete Sustainability Hub. Massachusetts Institute of Technology.
- Stripple, H. (2001). Life Cycle Assessment of Road A Pilot Study for Inventory Analysis. IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd
- Vidal R., E. Moliner. G. Martínez y M. C. Rubio (2013). Life cycle assessment of hot mix asphalt and zeolite-based warm mix asphalt with reclaimed asphalt pavement, *Resources, Conservation and Recycling* 74, pp. 101-114.