

LA IMPORTANCIA DE LA CONSERVACIÓN EN MÉXICO

Luis Limón Garduño

llimon@semgroupcorp.com

SemMaterials México

José de Jesus Espinosa Arreola

joespinosa@semgroupcorp.com

SemMaterials México

Agosto de 2017.

RESUMEN

La conservación de los pavimentos juega un papel trascendental en el nivel de servicio que experimentan los usuarios al transitar por una carretera, impulsando el desarrollo social y económico.

La infraestructura carretera es uno de los mayores activos nacionales, la cual debemos conservar. Por lo anterior es imperante que las decisiones que se tomen en la asignación de los recursos sean con un enfoque de conservación de los pavimentos seleccionando las mejores propuestas desde el punto de vista técnico-económico.

El objetivo de este trabajo es el de cuantificar los costos mediante un Análisis del Costo del Ciclo de Vida (LCCA), de diferentes alternativas de mantenimiento con capas de rodadura en frío y en caliente, respecto a los costos de las dependencias y los costos de operación del usuario generados durante las etapas de intervención. Se analizan los tratamientos que se han utilizado con un desempeño satisfactorio en México incluyendo los proyectos carreteros administrados bajo el esquema de Asociación Pública Privada (APP).

Del análisis LCCA, se obtuvieron escenarios favorables para capas de rodadura en frío y en caliente, bajo distintas consideraciones de tipo de carretera y características del tránsito vehicular.

Palabras Clave: Conservación de pavimentos, vida útil, análisis del costo de ciclo de vida, relación beneficio/costo.

INTRODUCCIÓN

La infraestructura carretera representa en gran medida el desarrollo que tienen o que pueden llegar a tener los países, debido al impulso que se genera en el comercio, la industria, así como el acceso a los servicios de desarrollo social. Se estima que la contribución de la infraestructura carretera al Producto Interno Bruto (PIB) de un país oscila entre 5 al 15%, sin embargo los accidentes que ocurren en carretera pueden llegar a costar hasta un 3% del PIB (PIARC, 2016), aproximadamente 435,000 millones de pesos (MDP) en México si consideramos el PIB para finales de 2016 publicado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2017).

Históricamente, la conservación de carreteras ha venido evolucionando al pasar de la intervención con base a la experiencia de los encargados de los tramos que actuaban de manera reactiva (Solorio, Hernández, & Garnica, 2017), a llegar a utilizar planes de gestión que permitan optimizar los recursos y conservar el estado físico de la infraestructura carretera.

Mientras que las dependencias del transporte tienen una meta anual de construcción de nuevas carreteras, cada año se suma esa cantidad de kilómetros a la longitud de conservación, que en un corto y mediano plazo tendrán que someter a trabajos de mantenimiento. Esto ha hecho que la conservación de carreteras se vuelva uno de los principales trabajos a ejecutar, el cual representa un reto que afrontan los departamentos de conservación de carreteras de las dependencias.

Una carretera en malas condiciones lleva a tener un elevado número de accidentes. Actualmente, de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), se estima que mueren alrededor de 1.25 millones de personas al año, debido a accidentes de tráfico en las carreteras (PIARC, 2016).

Bajo este escenario, pensemos en la estrategia de sólo *Construir - No conservar -Reconstruir*, las consecuencias serían críticas, debido a que el estado físico de los pavimentos se degrada de forma exponencial y de la misma manera aumentan los costos de operación vehicular (Figura 1), dichos costos asociados al tránsito vehicular sobre caminos en mal estado superficial y aquellos generados en las zonas de trabajo por actuaciones en la estructura del camino. En este sentido, para el primer 75% de la vida útil del pavimento, el nivel de servicio de la carretera se ve reducido hasta en un 40%, sin embargo solo es necesario otro 15% de su vida útil adicional para que vuelva a perder otro 40% de su nivel de servicio (PIARC, 2016). Lo anterior en términos de costos de las dependencias se refleja en incrementar de 4 a 5 veces el costo de rehabilitar el pavimento en lugar de conservarlo.

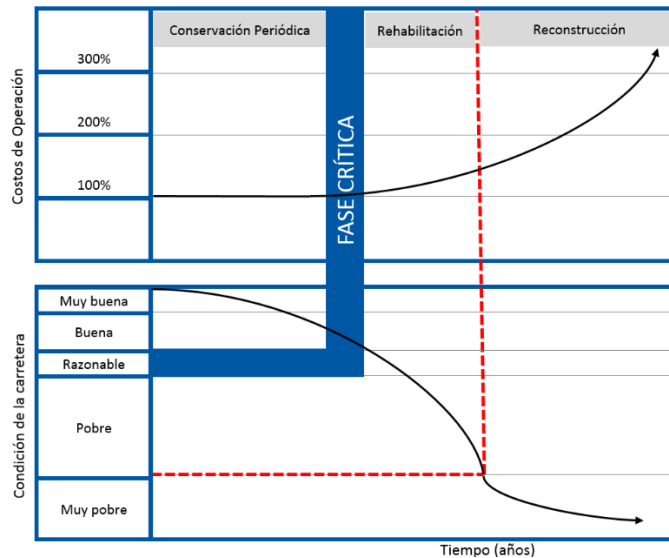


Figura 1. Estado físico de la carretera y costos de operación vehicular con el tiempo, Fuente: Adaptado de PIARC (2016).

Con el fin de mejorar el estado superficial de las carreteras, en México se ha adoptado los esquemas de las Asociaciones Público-Privadas (APP), Contratos Plurianuales de Conservación de Carreteras (CPCC) y concesiones. Mediante estos esquemas la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), busca elevar la calidad de los servicios de infraestructura carretera, así como incrementar los montos de inversión y optimizar la operación y mantenimiento de carreteras concesionadas, así como en dependencias de gobierno como SCT y Caminos y Puentes Federales (CAPUFE), se han venido utilizando una serie de propuestas de conservación que ayuden a la optimización de los recursos y permitan extender la vida útil de los pavimentos, considerando el enfoque de conservación de los mismos y del ahorro en los costos generados tanto a la dependencia, concesionaria y usuario.

Implicaciones de tipo técnicas, económicas, ambientales, de seguridad y confort al usuario, engloban las conservación de carreteras por lo que las decisiones tienen repercusiones en distintas áreas de estudio (Figura 2), en este trabajo se abordan algunas de ellas.



Figura 2. Distintos factores que influyen en la conservación de carreteras.

CONSERVACIÓN DE PAVIMENTOS

La conservación de pavimentos contempla el realizar oportunamente las acciones de mantenimiento necesarias para disminuir la tasa de deterioro del pavimento, a diferencia de intervenciones al pavimento en donde se llegan a utilizar acciones de mantenimiento correctivo.

En la conservación de pavimentos también se incluye la utilización de tratamientos de bajo impacto ambiental al menor costo que permitan retardar las actividades de rehabilitación, con lo cual se reducen las emisiones a lo largo del ciclo de vida (FHWA, 2015). Un estudio realizado por Chan, et al. (2010), muestra las emisiones de gases de efecto invernadero (GHG) de varios tratamientos de conservación en un carretera de dos carriles de 7m de ancho de calzada por cada kilómetro, incluyendo opciones de fresado y mezcla convencional, mezcla tibia (WMA), mezcla con alto contenido de RAP (HIR) y microaglomerado en frío. Como se puede apreciar en la Tabla 1, las intervenciones de rehabilitación demandan un mayor consumo de energía y de emisiones GHG que las actividades de conservación.

Para optar por la estrategia de conservación de pavimentos, una interrogante a responder es ¿qué alternativas de mantenimiento ofrecen el nivel de servicio adecuado para mantener en buenas condiciones el pavimento a mediano y largo plazo?, a continuación se describen las características funcionales de las capas de rodadura más usadas en México que contribuyen a la conservación de pavimentos.



Tabla 1. Consumo energético y emisiones GHG de varios tratamientos de conservación. Fuente: adaptado de Chan, et al. (2010).

Tratamiento	Energía (MJ)	CO ₂ (ton)	NO _x (kg)	SO _x (kg)
Fresado 50 mm, carpeta 50 mm	67,493	3.5	30.7	958
Fresado 50 mm, carpeta 50 mm WMA	47,782	2.0	16.1	671
50mm HIR	56,694	2.7	23.9	747
10 mm Microaglomerado	8,064	0.3	6.4	281

CAPAS DE RODADURA

Las capas de rodadura pueden ser divididas en caliente y en frío por su temperatura de elaboración, las cuales presentan ventajas y características funcionales propias de su naturaleza, de los materiales usados, así como del proceso de elaboración y aplicación como se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Capas de rodadura y tratamientos superficiales.

Clasificación	Capa de rodadura o tratamiento superficial	Ventajas/Característica funcional	Vida útil (años)
Aplicación en Caliente	CASAA	Capacidad drenante, aplicación sincronizada, pronta apertura al tránsito, evita la delaminación, macrotextura adecuada, aplicación diurna y nocturna.	5-8
	SMA	Mayor vida útil, aplicación sincronizada, macrotextura adecuada, aplicación diurna y nocturna.	6-9
	Open Graded	Capacidad drenante, evita la proyección de agua, alta fricción, reducción del ruido, Aplicación diurna y nocturna.	4-7
Aplicación en Frío o Caliente	Sellado de grietas	Evita la intrusión de agua, retarda el deterioro del pavimento.	1-4
Aplicación en Frío	Riego de Sello Sincronizado	Aplicación sincronizada, restablece la fricción, pronta apertura al tránsito.	3-6
	Riego de Sello Reforzado con Fibra	Aplicación sincronizada, reduce el agrietamiento reflexivo, evita la intrusión de agua al pavimento, restablece la fricción.	3-6
	Microaglomerado	Aplicación sincronizada, fricción adecuada, no hay agregado suelto.	3-6
	Sección Mixta (Cape Seal)	Mejor cubrimiento de agregados, no hay agregado suelto, fricción adecuada, mayor vida útil que los riegos de sello.	4-7

Para la correcta selección de estas capas de rodadura y tratamientos superficiales, algunos de los aspectos a considerar son de tipo técnico y económico.



Para esto es necesario la utilización de alguna herramienta disponible que permita evaluar sus ventajas bajo un mismo escenario.

SELECCIÓN DE CAPAS DE RODADURA Y TRATAMIENTOS SUPERFICIALES

Actualmente en México no se cuenta con un programa de gestión de carreteras propio que permita obtener un plan integral de conservación de pavimentos. Lo anterior se puede realizar mediante la utilización del sistema de gestión de desarrollo y mantenimiento de carreteras HDM-4 (Highway Development and Maintenance Management System), el cual requiere de una gran cantidad de información de la red nacional (inventario de deterioros, características estructurales y funcionales), así como la calibración a condiciones regionales. En México solo se cuenta con inventarios de deterioros en caminos de primera importancia, en donde se asignan recursos económicos para su monitoreo. En este sentido, cuando se disponga de toda la información necesaria, la mejor alternativa es usar el software HDM-4 para poder establecer el programa de conservación de una red carretera.

Por otro lado, existe una herramienta de selección de tratamientos de conservación desarrollada por el comité de conservación de la asociación mexicana de vías terrestres (SCT, 2017), mediante la cual, con base en los deterioros del tramo en estudio (adquiridos mediante equipos de alto o bajo rendimiento), se pueden obtener distintas propuestas de mantenimiento con el enfoque de relación Vida Útil/Costo, que ayudan en la toma de decisiones para la selección de tratamientos de conservación de acuerdo a las características de proyectos particulares. Las alternativas de mantenimiento van desde el sellado de grietas, hasta el uso de capas de rodadura, siendo alternativas que buscan prolongar la vida útil y que también corrigen/reparan los deterioros funcionales en los pavimentos. Las propuestas de reparación de deterioros de tipo estructural no están considerados en esta herramienta en su primera edición. Adicionalmente es necesario cuantificar los costos de los usuarios, los cuales son un factor importante para la selección de la mejor alternativa de las obtenidas con la herramienta de selección en el ciclo de vida de análisis.



Figura 3. Herramienta de Selección de Tratamientos de Conservación de la AMIVTAC, versión 1.3 (SCT, 2014).

Aspectos funcionales

Otro aspecto importante en la selección de las capas de rodadura son sus características funcionales, las cuales juegan un papel fundamental en el nivel de servicio que presta la carretera al usuario; el fin para el cual se diseña un pavimento. En este sentido, las capas de rodadura en caliente cubren mayormente las necesidades funcionales ligadas a una fricción adecuada, precipitación y ruido conjuntamente (Figura 4). Por lo tanto, además de las circunstancias económicas, se debe tomar en cuenta la selección por desempeño funcional.

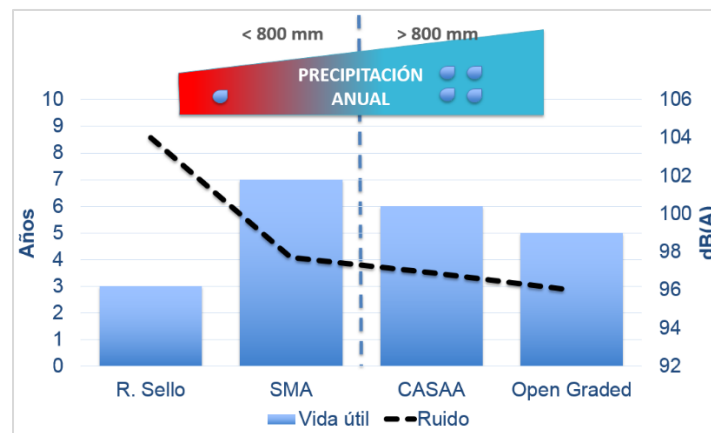


Figura 4. Características funcionales de distintas capas de rodadura.

ANÁLISIS DEL COSTO DE CICLO DE VIDA

Mediante un análisis de costo de ciclo de vida (LCCA, por sus siglas en inglés) se puede valorar de forma cuantitativa los costos que se tienen entre diversas propuestas de conservación dentro de un mismo periodo de tiempo. Esto es, que

para diversas soluciones técnicas exista una diferencia económica sustancial en el periodo de análisis, debido principalmente a la durabilidad y costo de los tratamientos.

Existen diversas herramientas disponibles para realizar el análisis de LCCA, tales como el RealCost 2.5 desarrollado por la Federal Highway Administration (FHWA) y el LCCA versión 3.1, desarrollado por la Asphalt Pavement Alliance (APA) (Figura 5). Este software toma en cuenta el procedimiento de la FHWA para los análisis de LCCA y está orientado a la evaluación de los costos de las dependencias y del usuario, mediante los enfoques determinista o probabilístico (a través de la simulación de Montecarlo), que se generan a partir de las intervenciones que se llevan a cabo en los caminos bajo diferentes alternativas de conservación, como los que se muestran a continuación:

- *Costo de la dependencia*
 - *Construcción Inicial, Conservación y/o Rehabilitación*
- *Costos de los usuarios (costos de operación)*
 - *Consumo de gasolina*
 - *Reducción de la velocidad de operación*
 - *Retrasos (horas hombre)*
 - *Filas generadas (mayor costo del viaje)*

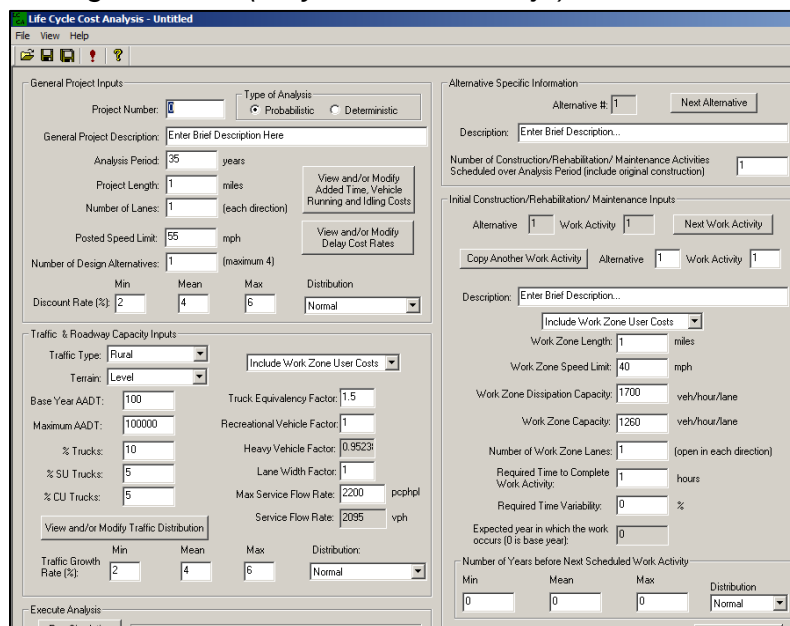


Figura 5. LCCA software, versión 3.1

Los costos del usuario se definen como los costos extras generados a los operadores vehiculares que atraviesan un camino bajo acciones de algún tipo de mantenimiento (Musselman, 2015). Los costos de la dependencia o concesionaria,

son aquellos asociados a los materiales, mano de obra y control de tráfico de las distintas actividades de mantenimiento.

Análisis LCCA, caso 1

Mediante el software LCCA 3.1, se realizó el análisis del costo de ciclo de vida de diferentes alternativas de conservación utilizando diversas capas de rodadura en frío y en caliente de los mostrados en la Tabla 2, tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- *El periodo de evaluación es de 30 años en 1 km de longitud, con ancho de carril promedio de 3.75 m.*
- *Se tomaron en cuenta las siguientes capas de rodadura:*
 - *Microaglomerado en frío*
 - *Riego de sello sincronizado*
 - *Riego de sello sincronizado reforzado con fibra*
 - *CASAA (Carpetas Asfálticas Superficiales Altamente Adheridas)*
 - *SMA (Stone Mastic Asphalt)*
- *Se simuló las condiciones de solamente reemplazar las capas de rodadura y mostrar el efecto de elegir solamente algún tipo de ellas.*
- *Los costos de rehabilitación y/o reconstrucción no están considerados en el análisis.*
- *Para proyectos de inversión en México, la tasa de descuento utilizada en promedio es de 10% (Solorio, Garnica, Montoya, & Hernández, 2016).*
- *No se considera el valor de rescate de la estructura de pavimento al final del periodo de análisis.*

Se llevó a cabo un primer caso de estudio simulando las condiciones de flujo vehicular de una carretera tipo A4, con un TDPA de 20,000 vehículos, con un porcentaje de vehículos pesados del 15%, en tipo de terreno a nivel (mayormente plano), con una velocidad máxima de 110 km/hr, y velocidad límite en la zona de trabajo de 40km/hr. También se consideró 1 carril por sentido abierto al tránsito durante las etapas de mantenimiento y jornadas de trabajo diurno de 8 horas. La línea del tiempo de las actuaciones de cada una de las alternativas de conservación únicamente considerando la selección de la capa de rodadura con base en su vida útil se presenta en la Figura 6.

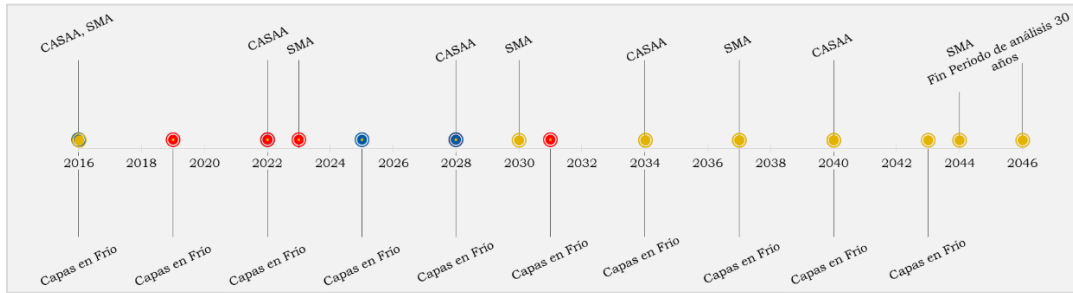


Figura 6. Línea del tiempo de las actuaciones de conservación.

Del análisis de LCCA del caso 1, se obtuvieron los costos en el tiempo de la dependencia y del usuario en la zona de trabajo. Los costos totales son la suma de los dos anteriores. En la Figura 7 se puede apreciar que en todo el periodo de análisis, las capas de rodadura en caliente consideradas representan costos mayores para la dependencia, sin embargo para los usuarios representan los menores costos, mediante los cuales, haciendo un balance general se tienen costos totales muy similares hasta el año 17 de cualquier capa de rodadura. Después del año 17, hay un ahorro sustancial en los costos totales, al usar capas de rodadura en caliente respecto a las de aplicación en frío, siendo para el final del periodo de análisis de alrededor de 4 MDP por kilómetro debidos a los costos de los usuarios. De lo anterior se puede decir que en términos económicos, para este caso a partir del año 17 se justifica el uso capas de rodadura en caliente. Sin embargo, las características funcionales de las capas de rodadura en caliente y las condiciones particulares del proyecto, pueden ser un factor de gran peso para utilizarlas desde el principio del periodo de análisis, al existir una diferencia no significativa en los costos totales en este primer periodo de tiempo.

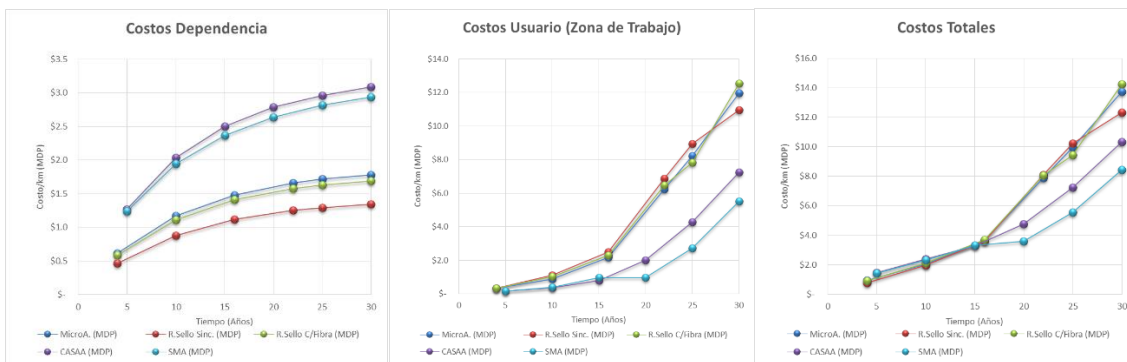


Figura 7. Costos del análisis LCCA, Caso 1, TDPA 20,000.

Derivado del análisis anterior, se buscó un TDPA bajo las mismas condiciones de la alternativa anterior (chechar anterior), que justifique económicamente en el periodo de análisis el uso de las capas de rodadura en frío consideradas, para el cual se encontró que con un TDPA de 15,000 vehículos, se alcanzaba esta



consideración. La Figura 8 muestra cómo los costos totales son menores para las capas en frío en prácticamente todos los años de análisis hasta llegar al fin del periodo, en el cual comienzan a ser similares para las alternativas en caliente. Por lo anterior podemos decir que para este caso particular de estudio se justificaría económicamente la utilización de las capas de rodadura en frío en todo el periodo de análisis, pero las características funcionales de las capas de rodadura en caliente y condiciones particulares del proyecto pueden ser un contrapeso importante para su selección.

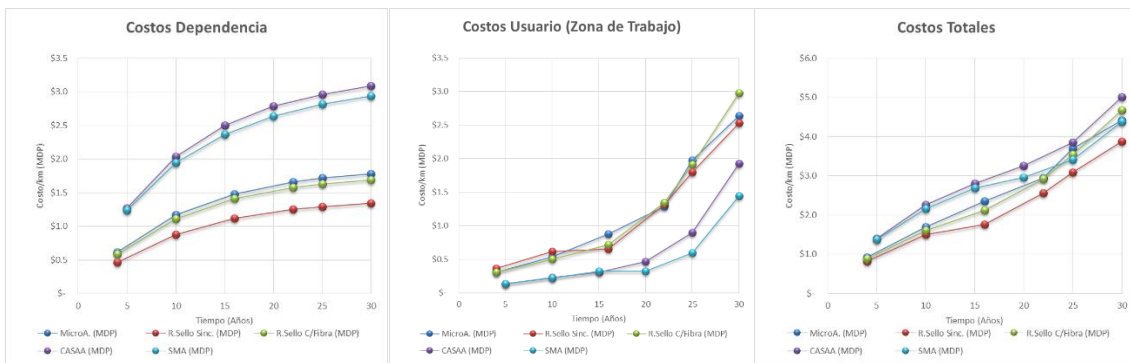


Figura 8. Costos del análisis LCCA, Caso 1, TDPA 15,000.

Análogamente se buscó un TDPA para el cual las alternativas de capas de rodadura en caliente sean económicamente viables para el periodo de diseño, y se encontró que para un TDPA de 28,000 vehículos se cumple con esta condición (Figura 9), por lo que para un tránsito igual o mayor a 28,000 vehículos es económicamente viable la utilización de capas de rodadura en caliente desde el inicio del periodo de análisis, teniendo ahorros para el usuario de alrededor de 3.5, 15 y 25 MDP por kilómetro en los años 10, 20 y 30 respectivamente.

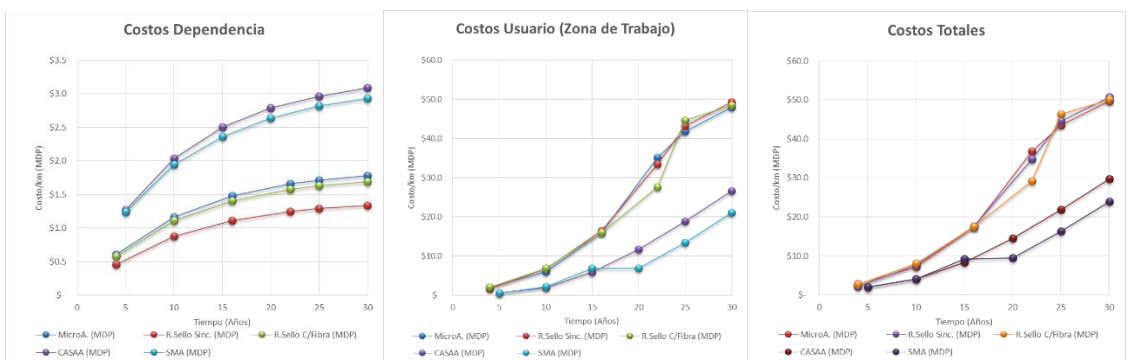


Figura 9. Costos del análisis LCCA, Caso 1, TDPA 28,000.

De los tres escenarios planteados anteriormente (TDPA de 20,000, 15,000 y 28,000), y para una carretera tipo A4, se pueden considerar alternativas que

fácilmente pueden encajar en un esquema de concesión o incluso de corredores carreteros o carreteras federales.

Análisis LCCA, caso 2

Complementariamente se realizó otro análisis de LCCA (caso 2), considerando condiciones vehiculares promedio de la red carretera federal libre y de cuota, así como la red estatal y de acuerdo a los datos viales de la dirección general de servicios técnicos (DGST), para el año 2015 se tenía un TDPA de 6,000 vehículos y un porcentaje de pesados de 20%, además que la mayor parte de la longitud de la red carretera es de tipo A2. Se utilizó la misma tasa de crecimiento de 4% que el caso anterior, y se consideró un terreno de tipo semi-montañoso, con una velocidad de operación de 90 km/hr. Los resultados del análisis se muestran en la Figura 10, en la cual se puede ver que los costos de la dependencia y los costos totales, son mayores para las capas de rodadura en caliente durante todo el periodo de análisis. Esto justifica económicamente la utilización de capas de rodadura en frío en carreteras de tránsito medio y por consiguiente bajo, en estos escenarios los costos del usuario son menores que los costos de la dependencia. En la medida que se tenga un TDPA mayor al considerado, porcentajes de pesados mayores y/o tasas de crecimiento vehicular altas, el análisis se torna menos favorable para las capas de rodadura en frío. Aspectos funcionales por corregir/mejorar, como el índice de regularidad internacional (IRI) drenaje pluvial en zona de alta precipitación, son factores clave para decidir con base en criterios funcionales y económicos.

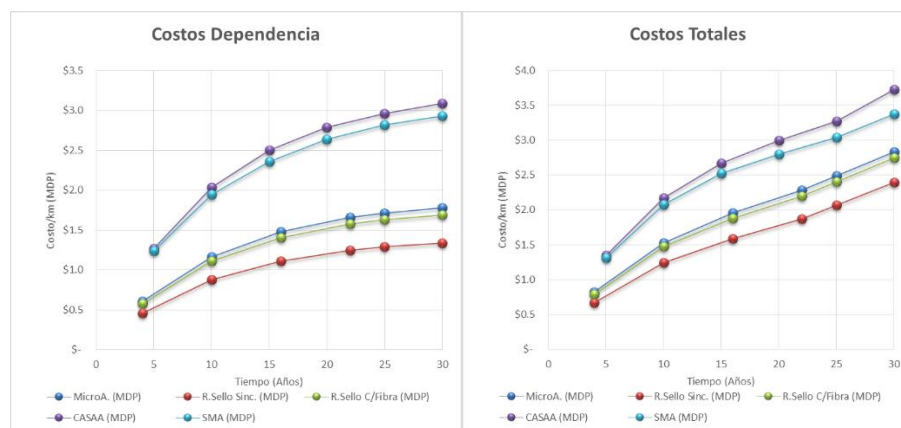


Figura 10. Costos del análisis LCCA, Caso 2, TDPA 6,000.

CONCLUSIONES

La conservación de los activos carreteros, es una necesidad que debe ser abordada desde distintos puntos de vista tanto técnicos y económicos para poder detonar un desarrollo económico sostenible en el tiempo, todo esto acompañado de presupuestos adecuados a las necesidades actuales que demanda el sistema carretero nacional.

Las decisiones deben ir acompañadas de una evaluación beneficio-costos en el tiempo, en un periodo de análisis dado, para que se pueda justificar la inversión económica de las capas de rodadura empleadas. Consideraciones de tipo ambiental, de seguridad y confort al usuario también deben ser analizadas.

La selección del tipo de capa de rodadura a emplear depende en gran medida del tránsito esperado (tipo de camino), debido a que, para caminos de bajo volumen de tránsito puede que no se justifique en términos del análisis económico de costo de ciclo de vida la inversión en capas de mayor costo, a menos que las diferencias económicas entre ambos tipos de capas de rodadura no sean significativas y puedan tener mayor influencia los aspectos de tipo funcionales, o las características particulares del proyecto. Por otro lado, en caminos de medio y alto volumen de tránsito vehicular, es técnica y económicamente viable el uso de capas de rodadura de mayores prestaciones y vida útil que se verá reflejado el beneficio en los ahorros a los usuarios por actuaciones más espaciadas en el tiempo.

Es necesario evaluar los costos de operación generados por el tránsito vehicular debido a las condiciones de la carretera en términos del IRI para valorar de forma integral si las propuestas de conservación son viables considerando todos los costos de operación implicados.

REFERENCIAS

- [1] PIARC, 2016. *Conservar las carreteras de su país para fomentar el desarrollo*, s.l.: World Road Association.
- [2] Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2017. *Producto interno bruto de México durante el cuarto trimestre de 2016*, Aguascalientes: INEGI.
- [3] Solorio, R., Hernández, R. & Garnica, P., 2017. Gestión de carreteras y HDM-4. *Vías Terrestres*, Marzo-Abril, Issue 46, pp. 12-16.
- [4] FHWA, 2015. *Towards Sustainable Pavement Systems: A Reference Document*, Washington, DC: Federal Highway Administration.
- [5] Chan, S., Lane, B. & Kazmierowski, T., 2010. *Pavement preservation - a solution for sustainability*. Washington, D.C., Transportation Research Board.



- [6] SCT, 2014. *Guía de procedimientos y técnicas para la conservación de carreteras en México*, México D.F.: Dirección General de Servicios Técnicos.
- [7] SCT, 2017. *Herramienta de Selección de Tratamientos de Conservación*. [En línea] Available at: <http://www.sct.gob.mx/carreteras/direccion-general-de-servicios-tecnicos/guias-tecnicas/>
- [8] Musselman, M. A., 2015. *A Review of the Alabama Department of Transportation's Policies and Procedures for Life-Cycle Cost Analysis for Pavement Type Selection*. Auburn(Alabama): Universidad de Auburn.
- [9] Solorio, J. R., Garnica, P., Montoya, M. & Hernández, R., 2016. *Metodología basada en el HDM-4 para la selección de metas de desempeño en la red federal de carreteras*, San Fandila, Qro.: Instituto Mexicano del Transporte.