

# Evaluación del ciclo de vida (LCA): Diferencias entre Mezcla Densa en Caliente (MDC) y Asfalto Caucho

*Life Cycle Assessment (LCA): Diferencias entre Mezcla Densa en Caliente (MDC) y Asfalto Caucho*

Diego Andrés Pinzón González

Ing. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de los Andes, Bogotá, D.C., Colombia.

Página  
74

ESING

FECHA DE RECEPCIÓN DEL ARTÍCULO: 12/07/2017 FECHA DE ACEPTACIÓN DE ARTÍCULO: 01/10/2017

## RESUMEN

Este artículo aborda el tema de *Life Cycle Assessment (LCA)* en materiales asfálticos tradicionales y emergentes tales como la mezcla densa en caliente (MDC) y asfalto caucho, comparando sus diferencias, ventajas y desventajas. Mediante una progresión del análisis de LCA, empezando desde su descripción general hasta su aplicación a los materiales mencionados, se pretende evaluar la pertinencia del uso de la combinación de asfalto caucho tomando como criterio el desempeño ambiental de su ciclo de vida. A partir de la revisión de bibliografía relativa a la experiencia en otros países con la implementación de LCA, se encontró que, si bien existen diferencias considerables, los desempeños se tienden a equilibrar.

## PALABRAS CLAVE

Análisis de Ciclo de Vida (LCA), Asfalto, desempeño ambiental, mezcla densa en Caliente (MDC) asfalto caucho.

## ABSTRACT

This article addresses the Life Cycle Assessment (LCA) applied to asphalt mixtures- traditional and emergent- such as hot-mix asphalt (HMA) and asphalt rubber, comparing their differences, advantages and disadvantages. Through a progression of the LCA analysis, starting from its general description following up to its application to the aforementioned materials, the objective is to evaluate the relevance of

the use of asphalt rubber having as a criterion the environmental performance of its life cycle. Initiating from the literature review of the experience from other countries with the implementation of LCA, it was found that although there are significant differences, the overall performances tend to balance between themselves.

## KEY WORDS

Life Cycle Assessment (LCA), asphalt, environmental performance, Hot Mix Asphalt (HMA), asphalt Rubber.

## INTRODUCCIÓN

La sostenibilidad de diferentes tipos de productos en la industria de la construcción de infraestructura ha sido un tema de investigación latente desde finales del Siglo XX, dados los altos costos de producción que los caracteriza [1]. Se plantea entonces un nuevo acercamiento que contempla todo el ciclo de vida no sólo del producto sino también de las materias primas, junto con los diferentes procesos que son necesarios para su uso; este acercamiento es el *Life Cycle Assessment (LCA)* [2].

Paralelo a este cambio en la metodología de análisis de sostenibilidad, se han desarrollado e investigado tecnologías que permiten el ahorro o reemplazo de material ligante en mezclas asfálticas. Se han identificado materiales tales como el pavimento reciclado (RAP), polímeros sintéticos e incluso la recuperación del caucho de las llantas cuya vida útil ya se cumplió.

En el presente documento se procederá a describir en qué consiste el LCA, seguido de una descripción más enfocada a estructuras de pavimento y materiales asfálticos, comparando la manera tradicional de construcción de mezclas (mezclas densas en caliente- MDC) con una opción emergente como lo es el asfalto caucho, desde una perspectiva correspondiente a un acercamiento de LCA.

### PROCESOS LCA Y OTROS

El *Life Cycle Assessment* (LCV), conocido en español como Análisis de Ciclo de Vida (ACV), se trata de una herramienta utilizada para la investigación del aspecto ambiental de un producto, servicio, proceso o actividad, mediante la cual se identifican y cuantifican los flujos de entrada y de salida de un sistema para la totalidad de su ciclo de vida [3]. Tiene como objetivo principal la estructuración de un sistema de apoyo a la decisión que a partir de la selección de indicadores permitan la optimización del desempeño ambiental de productos para sus diferentes fases en su ciclo de vida [3]. Únicamente se consideran aspectos ecológicos/ambientales, de manera que lo relativo a lo económico y social corresponde a otros tipos de análisis [4]. Su estandarización fue realizada por la Organización Internacional de Normalización (ISO), en el artículo 14040.

Se pueden considerar tres como los tipos de LCA que se pueden realizar, a saber [5]:

- LCA: Usado para identificar los puntos importantes ambientalmente hablando de un sistema, declarando su situación actual de este aspecto.
- CLCA: Apropiado para analizar los efectos sobre el sistema de un producto a partir de cambios internos o externos al ciclo de vida del mismo.
- ALCA: A un nivel de escala de unidad funcional, otorga los flujos de entrada y de salida asociados.

Su marco de referencia se resume a cuatro procesos/componentes, de acuerdo con lo establecido en la figura 1:

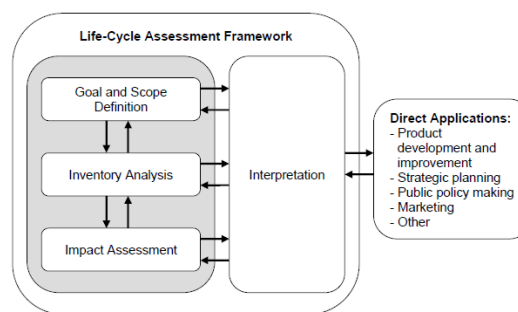


Figura 1. Marco de referencia LCA. Fuente tomada de [1].

El primer ítem define: los límites del sistema de ciclo de vida, la unidad funcional a ser utilizada en el análisis y la audiencia objetivo para la implementación de la herramienta. El análisis de inventario es la parte del proceso en la cual se realiza la cuantificación del consumo de recursos, flujos de desechos resultantes, así como las emisiones para cada unidad funcional que estén asociados con procesos del sistema dentro del ciclo de vida y de los límites establecidos. La evaluación de impactos corresponde a una caracterización ambiental adicional que permita un análisis más significativo del inventario de resultados para el ciclo de vida. Se debe mencionar entonces que tanto las entradas como las salidas (consideradas como emisiones) del sistema se categorizan de acuerdo a su impacto ambiental. Finalmente, en la interpretación se dan las conclusiones y recomendaciones tomando como base los resultados obtenidos en las componentes anteriores [1].

### LCA Pavimentos

Aplicando estos conceptos al ciclo de vida de una estructura de pavimento como parte de la infraestructura vial de un país, se pueden tomar diferentes acercamientos partiendo de diferentes parámetros a analizar. De acuerdo con el estudio de Ventura y Jullien, realizado en el año 2009, sobre la aplicación que se le ha dado a esta metodología en el continente europeo; los parámetros que típicamente se utilizan corresponden a: materiales, métodos constructivos, métodos de diseño y reciclaje de materias primas, todas desde una perspectiva comparativa entre dos o más opciones evaluadas. Siendo una particularidad el hecho que la ejecución de un proyecto de infraestructura vial significa una constante movilización de

materiales hacia y desde sitio de construcción, este resulta siendo parte de los componentes más importantes al aplicar esta herramienta. Se debe considerar además del transporte de los materiales en el momento de la aplicación de la materia prima procesada, los viajes dedicados a la disposición de material sobrante (bien sea como desecho o para reciclaje), además del primer viaje realizado desde la fuente inicial con destino a plantas de refinamiento o procesamiento. Toda la distancia recorrida significa un gasto de recursos que adicionalmente representan emisiones a la atmósfera, como por ejemplo en forma gaseosa en dióxido de carbono. La tabla 1 presenta un consolidado realizado en el estudio mencionado previamente de implementaciones de LCA en la comunidad europea, enfocada a los diversos escenarios de transporte de los materiales utilizados en proyectos analizados por el estudio.

Ahora bien, como se había mencionado con anterioridad, uno de los aspectos más importantes de una implementación de LCA corresponde a la cuantificación de indicadores de desempeño ambiental. Comúnmente se hace uso de los diferentes tipos de emisiones identificados de acuerdo con el acercamiento realizado en el análisis, de manera que, retomando el ejemplo del transporte, se utilizan estimaciones

de cantidad de gases de efecto invernadero, material particulado y/o compuestos orgánicos volátiles (VOCs) con respecto a área o longitud de estructura de pavimento construida. De manera similar, se tiende a estimar el consumo energético con respecto a las mismas mediciones de infraestructura aludidos previamente. La figura 2 y la figura 3 representan un ejemplo similar al expuesto en la tabla 1, esta vez con recursos energéticos y kg de CO<sub>2</sub> utilizados por metro cuadrado de carretera construida para tres grupos de proyectos resumidos en el trabajo de Ventura y Jullien.

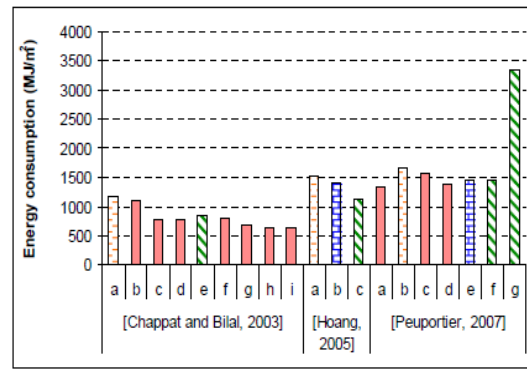


Figura 2. Consumo de energía por m<sup>2</sup> de carretera construida. Fuente: [6].

Tabla.1. Ejemplo procesos de transporte desde una perspectiva de materiales de obra de infraestructura vial. Fuente tomada de [6].

Material	Trip description		Distances (km)		
	Departure	Destination	(Hoang 2005)	(Chappat & Bilal 2003)	(Peuportier 2005)
Crude oil	Well	Refinery			
	Quarry	CC mix plant	39	75	100
Aggregates		AC mix plant	39	75	100
Steel	Steelwork	Roadworks	500	500	500
Bitumen	Refinery	AC mix plant	333	300	300
		Roadworks	354		
Asphalt concrete	AC mix plant	Roadworks	21		20
Cement	Cement plant	CC mix plant	152	150	150
Cement Concrete	CC mix plant	Roadworks	21		
Solid wastes	Roadworks	Stockpile or treatment plant	18		20
Equipment	Parking	Roadworks	20		

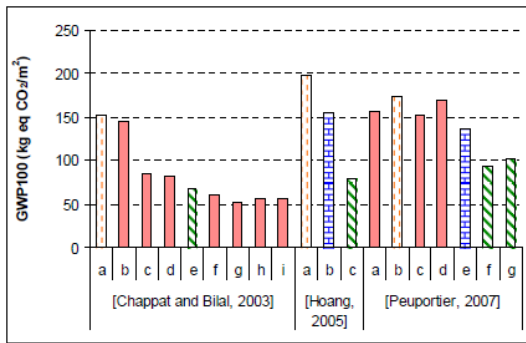


Figura 3. Masa equivalente de dióxido de carbono emitido por m<sup>2</sup> de carretera construida. Fuente: [6].

### Pavimentos asfálticos

Para el caso de los pavimentos asfálticos, para los cuales se reportó un uso de energía de en promedio 9685,5 GJ/km para autopistas para un período de análisis de 20 años, siendo la producción de asfalto la de mayor proporción con un 93% del total (para mezclas densas en caliente), de acuerdo con lo presentado en el proyecto europeo llamado Energy Conservation in Road Pavement Design [7].

Para este tipo de estructuras, a pesar de las marcadas diferencias entre un proyecto y otro dados diversos factores técnicos, económicos y sociales, normalmente se consideran como límites del sistema los siguientes componentes, dada la relevancia de cada una en cuanto al impacto ambiental generado [5]:

- Área de tierra usada: su importancia radica en la fase de planificación a un nivel de análisis de red.
- Capa base: la subrasante, geología y topografía de la zona intervenir determina en gran parte el diseño de una vía, así como los materiales a utilizar.
- Tráfico proyectado: principal fuente de cargas aplicadas, las cuales son parte crucial del diseño junto con las componentes expuestas en el punto anterior.
- Materia prima: dentro de la cual se incluyen petróleo, agregados y posibles aditivos a adicionar.
- Energía: referida en ocasiones como la eficiencia de conversión de su forma química a su forma mecánica o eléctrica a ser utilizada en procesos de diferentes

etapas del ciclo de vida.

Estos componentes se pueden ver reflejados en el marco de referencia descrito en la figura 4.

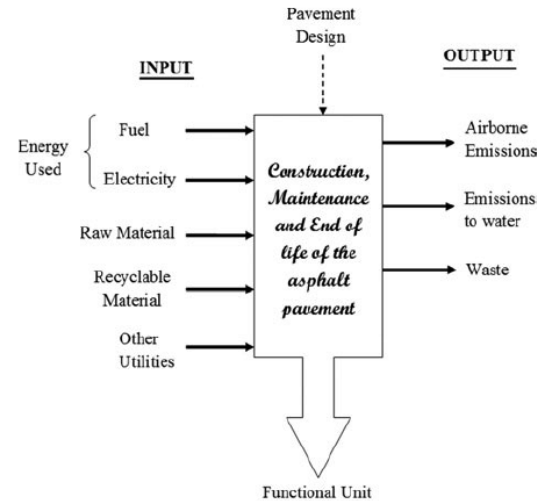


Figura 4. Marco de referencia LCA para pavimento asfáltico.

### Mezclas densas en calientes

Uno de los puntos más críticos relacionados con el uso de materiales asfálticos como ligantes en mezclas a ser usadas en capas bien sea de rodadura o de base con responsabilidad estructural, corresponde a la etapa de colocación de la mezcla, siendo que esta debe ser calentada a una temperatura (tanto el asfalto como los agregados por aparte) que ronda los 160°C de manera tal que pueda ser manejada y correctamente compactada en el sitio de construcción. Este proceso significa una conservación de energía en la mezcla que normalmente no es considerada, que en caso de una MDC puede llegar a ser de 7.613 GJ/m<sup>3</sup>, comparada con un 1.858 GJ/m<sup>3</sup> de un concreto hidráulico. Adicional a esta energía aplicada, la cadena de procesos necesaria para la construcción lleva consigo una emisión constante de vapores que no sólo son contaminantes del aire, sino que también representan un riesgo para la salud humana. Dicho riesgo se debe a la presencia de los contaminantes criterio utilizados típicamente, a saber: óxidos de carbono, de sulfuro- SO<sub>x</sub> - y de nitrógeno- NO<sub>x</sub>, material particulado fino, compuestos orgánicos volátiles (VOCs- siendo que el asfalto es un derivado del petróleo-, así como metales- derivados de la fuente de

la materia prima. La tabla 2 resume algunas cantidades por tonelada métrica de MDC de estos contaminantes [8]

Tabla 2. Emisiones atmosféricas producción, transporte y colocación de MDC. Fuente Adaptado de [8].

Contaminante	Cantidad emitida por tonelada métrica de material
CO <sub>2</sub>	307 kg
CO	823 g
SO <sub>x</sub>	3.95 kg
NO <sub>x</sub>	962 g
VOCs	6.99 kg
Metales	29.6 mg
Material particulado (PM)	181 g

Para un análisis realizado a partir de datos recolectados de autopistas arteriales de Canadá en el año 2006 por el Athena Institute, se encontró que, al comparar el uso de una estructura que incluye concreto asfáltico con una estructura con concreto rígido se gasta un 74% más de energía (24,679 GJ frente a 6,319 GJ); estos datos para el caso de la estructura colocada sobre un suelo con un California Bearing Ratio (CBR) equivalente a 3, a lo largo de un ciclo de vida con duración de 50 años- es decir que tiene en cuenta actividades de mantenimiento y rehabilitación [8].

Se puede considerar entonces la situación de uso de energía como una característica preocupante asociada al uso de MDC para la construcción de infraestructura vial. Más aún, se debe adoptar un nuevo acercamiento al problema sintonizándose con la herramienta LCA, en el sentido de la inclusión de la etapa de uso en las consideraciones para optimizar el desempeño ambiental vinculado a estructuras que le contienen. En el estudio realizado por [9], se demostró que, para una misma subrasante y nivel de tráfico de diseño, al evaluar diferentes tipos de estructuras (que difieren entre sí en el grosor de las capas y ligeramente en las propiedades de los materiales) el consumo de energía junto con las emisiones atmosféricas tienen un rol dominante en los resultados de la aplicación de un LCA con respecto a la fase de construcción; de manera que las actividades a realizar durante la operación

de una vía que contenga materiales asfálticos deben ser planificadas con la finalidad de mejorar su desempeño ambiental.

### Asfalto caucho

Una de las formas identificada por Calkins (2009) de reducir el gasto energético para el uso de materiales asfálticos es incluir caucho reciclado de llantas que ya hayan cumplido su vida útil. Este procedimiento se realiza actualmente mediante dos procesos: seco y húmedo. El primero de ellos se refiere a la mezcla de caucho triturado en un rango de tamaño que va de un cuarto de pulgada a un tamiz número 20 con los agregados previo a ser juntado con el asfalto; mientras que el segundo corresponde a tamaños más pequeños de caucho triturado que es mezclado con el ligante directamente mientras está caliente.

La principal ventaja asociada a esta combinación de materiales está ligada al ya mencionado reciclaje de llantas que representan un pasivo ambiental con alta significancia [10], pero se debe considerar adicionalmente que se está reemplazando entre un 10% y 15% de asfalto, conllevando a ahorro tanto económico como energético [6].

En lo respectivo a su desempeño ambiental, en el estudio conducido por [11], se considera que los indicadores usados para la etapa relacionada con la operación y mantenimiento se puede asumir como lo suficientemente parecidos para evaluar únicamente hasta la construcción de la estructura, de acuerdo con los parámetros de laboratorio evaluados. Los resultados obtenidos presentan que las emisiones asociadas no son superiores a las encontradas para una mezcla densa en caliente, es decir mejora en este sentido su desempeño. Sin embargo, dado que se tiene que llevar a una temperatura mayor que una MDC para lograr buena manejabilidad y una apropiada compactación, se requiere de más energía al establecer la comparación entre los dos tipos de mezcla.

### CONCLUSIONES

La preparación de una mezcla asfáltica usando el método tradicional a temperaturas de hasta 160°C, que se mantiene hasta su colocación en el sitio de la obra, representa más del 90% del gasto

energético de la construcción de una estructura de pavimento que contenga este material en alguna de sus capas. Por otro lado, las emisiones que acompañan la etapa temprana de su ciclo de vida no sólo representan una amenaza ambiental sino también la afectación de la salud humana dada la naturaleza de los vapores emitidos.

Dadas estas condiciones, se ha venido experimentando con diferentes aditivos que cambien las propiedades visco-elásticas del asfalto, de manera que se pueda modificar su producción consiguiendo un buen comportamiento mecánico frente a las sollicitaciones impuestas. Una de las tecnologías más populares dado su beneficio en el manejo de llantas desechadas es el asfalto-caucho. Si bien esta combinación significa un ahorro que del 10% al 15% de material bituminoso (que se ve reflejado en una menor producción de mezcla asfáltica con ligante virgen), el hecho de tener que calentarlo más para lograr manejabilidad en obra para su posterior compactación equilibra el gasto energético con la reducción previamente mencionada, limitando así el beneficio obtenido.

Por último, es importante mencionar que el análisis en el cual se basa el Análisis de Ciclo de Vida (ACV/LCA) es una aproximación de carácter pertinente que se debe analizar, y aún más importante implementar, buscando un desarrollo sostenible incluyente con aspectos de desempeño ambiental tradicionalmente ignorados.

## REFERENCIAS

- [1] N. Santero, E. Masanet y A. Horvath, "Life Cycle Assessment of Pavements: A Critical Review of Existing Literature and Research", 2010.
- [2] J. Araújo, J. Oliveira y H. Silva, "The importance of the use phase on the LCA of environmentally friendly solutions for asphalt road pavements", *Transportation Research Part D*, vol. 32, pp. 97-110, 2014.
- [3] A. A. Butt, "Life Cycle Assessment of Asphalt Roads: Decision Support at the Project Level", Estocolmo, 2014.
- [4] ISO, "ISO 14040:2006", 2006. [En línea]. Available: <https://dgn.isolutions.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14040:ed-2:vi:es>. [Último acceso: 12 Mayo 2017].
- [5] C. Milachowski, T. Stengel y C. Gehlen, "Life Cycle Assessment for Road Construction and Use", Munich, 2011.
- [6] A. Ventura y A. Jullien, "Life Cycle Assessment Applied to Road Pavements: An Analysis of Method and Results Relevancy", de *International Conference on Maintenance and Rehabilitation of Pavements and Technological Control*, Turín, 2009.
- [7] A. A. Butt, I. Mirzadeh, S. Toller y B. Birgisson, "Life cycle assessment framework for asphalt pavements: methods to calculate and allocate energy of binder and additives", *International Journal of Pavement Engineering*, vol. 15, no. 4, pp. 290-302, 2014.
- [8] M. Calkins, "Asphalt Pavement", de *Materials for Sustainable Sites: A Complete Guide to the Evaluation, Selection, and Use of Sustainable Construction Materials*, John Wiley & Sons, Inc., 2009, pp. 199-233.
- [9] N. Mashaan y M. Karim, "Waste tyre rubber in asphalt pavement modification", *Materials Research Innovations*, pp. S6-6-S6-9, 2014.
- [10] J. R. Willis, P. Turner, C. Plemmons, C. Rodezno, T. Rosenmayer, C. Daranga y D. Carlson, "Effect of rubber characteristics on asphalt binder properties", *Road Materials and Pavement Design*, vol. 14, nº S2, pp. 214-230, 2013.
- [11] B. Yu, L. Jiao, F. Ni y J. Yang, "Evaluation of plastic-rubber asphalt: Engineering property and environmental concern", *Construction and Building Materials*, vol. 71, pp. 416-424, 2014.