



Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.

# USO DE LA HERRAMIENTA LCA-PAVE EN EL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA PARA PAVIMENTOS EN MÉXICO

Ricardo Buzo<sup>1</sup>, Enrique Villa<sup>2</sup>, Ignacio Cremades<sup>3</sup>

1 SÚRFAX, S.A. de C.V., Zapopan, Jalisco, México. [ricardo.buzo@surfax.com.mx](mailto:ricardo.buzo@surfax.com.mx)

2 LASFALTO S. de R.L. de C.V. Zapopan, Jalisco, México. [evilla@lasfalto.com.mx](mailto:evilla@lasfalto.com.mx)

3 SÚRFAX, S.A. de C.V., Zapopan, Jalisco, México. [ignacio.cremades@surfax.com.mx](mailto:ignacio.cremades@surfax.com.mx)

## Resumen

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es una técnica que analiza y cuantifica los impactos ambientales de un producto, sistema o proceso. Este método provee un acercamiento comprensible para evaluar la carga ambiental de un producto o proceso examinando las entradas (materiales, energía) y salidas (desperdicios, contaminantes) durante su ciclo de vida, desde la extracción y producción de las materias primas hasta el final de su vida útil. Para los pavimentos, el ciclo incluye la producción de los materiales, el transporte, la construcción, el uso, el mantenimiento, la rehabilitación y su disposición final.

El ACV ha demostrado ser de gran valor durante las últimas dos décadas, ayudando a los usuarios a identificar en donde ocurren los mayores impactos ambientales e implementar acciones y estrategias para reducir los más relevantes.

La Federal Highway Administration (FHWA) de los Estados Unidos, desarrolló una herramienta para el ACV de pavimentos, en colaboración con las partes interesadas y haciendo uso de información pública disponible. La herramienta se denomina **LCA-Pave** y está diseñada para la evaluación de impactos ambientales a nivel proyecto. Su objetivo es ser usada para fines demostrativos, de entrenamiento y de información comparativa para agencias o personas con un entendimiento de los fundamentos de un ACV.

Es este estudio, se hace uso de la herramienta LCA-Pave para realizar el ACV de dos mezclas asfálticas en caliente comunes como carpetas de rodadura en México, una mezcla densa y una mezcla SMA. Se hacen consideraciones para adecuar los datos al mercado mexicano, se analizan los resultados en función de la calidad de los datos y se analiza la utilidad de la herramienta. Con base en los resultados se plantean los siguientes pasos que se requieren para mejorar la precisión y su utilidad para la evaluación de alternativas de un proyecto de pavimentación en México.

**Palabras Clave:** Análisis de Ciclo de Vida, Pavimentos asfálticos, LCA Pave,

## 1. Introducción:

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV o LCA por Life Cycle Assessment) es una técnica que puede ser empleada para evaluar la carga ambiental de un producto o proceso, a través del análisis de todas las entradas y salidas durante el ciclo de vida. Este acercamiento sistemático identifica donde ocurren los impactos más relevantes y donde pueden realizarse las mejores más significativas, mientras



**Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.**

identificamos potenciales repercusiones fuera del sistema analizado. Esto permite a los usuarios, investigar áreas donde pueden mejorar.

Aunque ya existen herramientas para el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), la Federal Highway Administration (FHWA) busco el desarrollo transparente de una herramienta para el cálculo de análisis de Ciclo de vida para pavimentos, en colaboración con partes interesadas clave que hacían uso de datos públicos. La herramienta resultante LCA Pave puede usarse para apoyar a los usuarios y agencias de autopistas para realizar ACV. La herramienta LCA Pave pueden además usar las declaraciones ambientales de producto disponibles de las industrias proveedoras locales. El LCA Pave es una herramienta complementaria de la herramienta Infrastructure Carbon Estimator (ICE) de la FHWA, la cual fue originalmente diseñada por la FHWA para un preanálisis ingenieril de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) para la construcción y mantenimiento de infraestructura.

El LCA Pave es una herramienta para cálculos a nivel proyecto y no está relacionado o interactúa con sistemas de administración o gestión de pavimentos. Tampoco busca ser usado para la toma de decisiones en cuanto a tipo de pavimentos, por ejemplo entre pavimentos asfálticos y de concreto hidráulico.

La herramienta LCA Pave está pensada para ser utilizada para entrenamiento y uso informativo únicamente, y para uso voluntario de las agencias e individuos con un conocimiento de los principios fundamentales de los ACV. Su uso no es requerido por regulaciones o estatutos federales dentro de los Estados Unidos.

La herramienta y sus presunciones subyacentes fueron validadas por el grupo desarrollador con apoyo de actores claves en el desarrollo de pavimentos a través del todo el proceso de desarrollo. Entre los actores y partes interesadas, participaron los Departamentos de Transporte Estatales (DOTs), el Grupo técnico de trabajo para pavimentos sostenibles (Sustainable Pavement Technical Working Group SPTWG) así como el Grupo de trabajo de Pensamiento de ciclo de vida (Pavement Life-Cycle Thinking Task Group PLCT), grupo conformado por usuarios del Análisis del Ciclo de Vida de los Departamentos de Transporte.

Objetivo de la herramienta LCA Pave:

El objetivo de la herramienta LCA Pave es ayudar a los usuarios y agencias de pavimentos a evaluar, cuantificar, comparar y comunicar los impactos ambientales para los siguientes casos:

- Caso 1. Comparaciones para evaluar materiales alternativos para pavimentos, estructuras de pavimentos, tratamientos de pavimentos, transportación de materiales, reciclado, y enfoques de construcción para un proyecto dado.
- Caso 2. Evaluación de impactos ambientales para materiales de pavimentación y diseños estructurales que no son necesariamente un proyecto completo, o aplicado en la realidad.
- Caso 3. Comparación de alternativas de decisiones conceptuales, y diseño de pavimentos durante estudios de diseño a nivel proyecto.



**Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.**

La herramienta considera los impactos ambientales asociados con el uso de material, construcción, mantenimiento y rehabilitación, etapas finales de vida de un pavimento, pero no incluye ningún impacto relacionado con la etapa de uso.

La herramienta calcula los impactos ambientales y produce un reporte que puede ser personalizado por el usuario para presentar un resumen del proyecto y los resultados generales producidos por la herramienta para facilitar la interpretación y comunicación.

La FHWA recomienda que las agencias y departamentos de transportes usen la herramienta en la siguiente progresión:

- **Adopción de la herramienta y su mejora.**  
Las agencias pueden iniciar desarrollando estudios iniciales con el inventario de datos disponibles en la herramienta, los cuales se complementan con información de desempeño y datos particulares del proyecto. Una vez que se conoce la herramienta y se cuenta con datos locales de las agencias, los usuarios pueden hacer los estudios comparativos a nivel proyecto en un tiempo de 4 a 8 horas para las diferentes alternativas, de manera similar a un Análisis de costo de Ciclo de Vida.  
Los usuarios y agencias pueden personalizar los datos en la herramienta usando datos más completos y acordes a la región y desarrollar sus propias prácticas estandarizadas para los estudios de casos basados en la información que se vaya generando y acumulando a través del tiempo de uso de la herramienta. La mejora continua de la herramienta y su adopción en la práctica depende en que tanto esté enfocada en el contexto y necesidades de la agencia o usuario.
- **Usos de la herramienta**
  - Inicialmente, la herramienta puede usarse para fines de educación y entrenamiento, ayudando a las agencias a familiarizarse con el concepto de Análisis de Ciclo de Vida.
  - Las agencias o usuarios más familiarizados con los conceptos del análisis de Ciclo de Vida pueden usar la herramienta para identificar los factores que más contribuyen a las emisiones en sus proyectos para que puedan ser tomadas en cuenta por los desarrolladores o especificadores y así contribuir a pavimentos más sostenibles.
  - Con la acumulación de datos específicos, relevantes y completos durante el tiempo, la herramienta puede proveer de mejor y más certera información para sustentar la toma de decisiones en más aspectos y variables relacionadas con los pavimentos para los usuarios y las agencias.

La herramienta LCA Pave complementa las consideraciones de ingeniería y económicas existentes, y provee de información acerca de las consideraciones ambientales y de impacto que puede llevar a una toma de decisiones más informada. La herramienta está aún en desarrollo y requerirá en el futuro de mejores datos, y adecuarse a los consensos que se vayan haciendo con respecto a los impactos en las diferentes etapas de uso.

## **2. Alcances de la herramienta LCA Pave.**

Los alcances generales de la herramienta LCA Pave son:



Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.

- Incluye un conjunto inicial de tecnologías de materiales para pavimento.
- Se enfoca en el análisis a nivel proyecto.
- Incluye los materiales y etapas de construcción en un periodo de análisis completo, incluyendo los materiales y actividades de construcción en cada etapa a través del ciclo de vida. Este análisis incluye la transportación y la movilización del equipo y su uso para actividades de construcción, conservación y rehabilitación.
- Usa datos públicos disponibles de promedios nacionales para materiales estandarizados, procesos y datos de la actividad.
- Permite al usuario añadir, almacenar y utilizar datos de la librería.
- Permite al usuario añadir declaraciones ambientales de producto para materias primas, mezclas asfálticas, e insumos para pavimentos.

La herramienta puede utilizarse para realizar una evaluación de impacto ambiental de los materiales, procesos de construcción, y actividades de transporte para varias mezclas asfálticas, y diseños de pavimento relacionadas de un ciclo de vida casi completo. Sin embargo, la herramienta no incluye la etapa de uso, excepto por las actividades de conservación y rehabilitación. Esto deja fuera del análisis de los efectos de las zonas de trabajo, tales como las demoras, cambios en las velocidades de conducción, retrasos y desvíos, también deja fuera la interacción entre el vehículo y el pavimento, el consumo de combustible y las emisiones relacionadas, el manejo del hielo y la nieve, el desalojo del agua y los efectos de isla de calor. Se planea incluir esta fase en la herramienta, cuando se tenga un mayor consenso y más información disponible.



Figura 1. Etapas del ciclo de vida en pavimentos [2]. Los cuadros en azul se incluyen en la herramienta LCA Pave.

La herramienta excluye las consideraciones de la fabricación de los equipos y las inversiones de capital en la construcción de las instalaciones de producción y sigue un enfoque atribucional y no un enfoque consecuencial. La tabla 1 muestra el alcance de la herramienta en términos de módulos y



**Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.**

etapas de ciclo de vida en relación con la terminología usada por la FHWA [1] y por la Organización Internacional de Estandarización (ISO) para las declaraciones ambientales de producto en términos de módulos y etapas del ciclo de vida.

Tabla 1. Etapas del Ciclo de Vida incluidas en la aplicación LCA Pave y su relación con las etapas de Ciclo de Vida de la ISO 21930.

| Etapa del Ciclo de vida (acorde a la FHWA[1]) | Etapa del Ciclo de vida en la herramienta | Módulo en la ISO 21930  | Etapa en el Ciclo de Vida acorde a la ISO 21930 |
|---|---|---|---|
| Diseño del pavimento                          | Construcción Inicial                      | No es un módulo en el Ciclo de vida   | Producción                                      |
| Producción de Materiales                      | Construcción Inicial                      | A1: Extracción y producción aguas arriba<br>A2: Transporte a la fabrica.<br>A3: Manufactura                     | Producción                                      |
| Construcción                                  | Construcción Inicial                      | A4: Transportación al sitio   | Construcción                                    |
| Construcción                                  | Construcción Inicial                      | A5: Instalación   | Construcción                                    |
| Uso   | (no se incluye)                           | B6: Uso de energía  | Uso   |
| Uso   | (no se incluye)                           | B7: Uso de Agua   | Uso   |
| Mantenimiento y preservación                  | Preservación                              | B3. Reparación  | Uso   |
| Mantenimiento y preservación                  | Mantenimiento                             | B2: Mantenimiento   | Uso   |
| Mantenimiento y preservación                  | Rehabilitación                            | B4: Reemplazar<br>B5: Acondicionar  | Uso   |
| Fin de vida                                   | Demolición                                | C1: Reconstruir<br>C2: Transporte<br>C3: Proceso de desechos<br>C4: Disposición de desechos                     | Fin de vida                                     |
| Fin de vida                                   | Reconstrucción                            | (no incluido)   | (no incluido)                                   |
| Fin de vida                                   | (no se incluye)                           | D: Beneficios potenciales del reúso, reciclado, y/o recuperación de energía más allá de los límites del sistema | (no incluido)                                   |

## 2.1 Librerías:

En la aplicación, el termino pavimento (Pavement) se refiere a un objeto con un número variables de carriles con una superficie dura que pueden incluir un hombro interno o externo y que se compone de varias capas sobrepuestas incluyendo una base y sub-base. El usuario puede elegir el número de carriles, hombros, y capas que son parte del análisis, o definir el largo y ancho de la superficie a pavimentar de manera que se define un área rectangular, como si fuera un estacionamiento. Los parámetros definidos por el usuario se incluyen en el reporte. La herramienta también permite usar pavimentos asfálticos o pavimentos de concreto hidráulico. La herramienta tampoco impone ninguna limitación al usuario en términos de secuencias de las capas de materiales.

El alcance de la herramienta excluye elementos del camino tales como semáforos, señalamientos, equipos para el manejo del tránsito, paisajismo, estructuras (puentes, pasos a desnivel), dispositivos de seguridad, drenajes, entre otros.

La aplicación cuenta con una serie de librerías las cuales se describen a continuación:



**Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.**

### *2.1.1. Materiales:*

Los datos se reunieron de fuentes de datos disponibles al público y buscan ofrecer la mejor información disponible para cada uno de los materiales de construcción. Esto incluye información de la literatura o declaraciones ambientales de producto publicadas. Se incluye información de tecnologías que habitualmente se emplean en los Estados Unidos e incluye, asfalto, concreto hidráulico y otros elementos compuestos y ofrece a los usuarios la funcionalidad de poder hacer sus propias mezclas con diferentes proporciones de componentes. Se pueden añadir Declaraciones ambientales de producto a ambos niveles, ya sea DAP de mezclas asfálticas o de componentes de la mezcla tales como cemento, asfalto virgen, asfalto modificado con polímeros, agregados y aditivos. Sin embargo, la herramienta no está pensada para ser utilizada como un generador de DAP, ni para componentes ni para mezclas.

### *2.1.2. Equipo*

Los equipos que se incluyen en la librería son los más comunes en la construcción de carreteras. Las actividades de construcción se definen de acuerdo con el tipo de equipos y las horas de uso basados en el modelo U.S. Environment Protection Agency (EPA) Motor Vehicle Emissions Simulator (MOVES). Este es un modelo basado en ciencia que estima las emisiones para fuentes móviles a niveles de proyecto, nacionales o locales.

### *2.1.3. Residuos.*

La biblioteca de residuos describe los impactos asociados con el destino final, el uso esperado o la disposición de tipos de residuos genéricos, incluyendo la demolición de pavimentos. Algunos de los datos del procesamiento de residuos se han tomado de la literatura pública disponible, mientras que la mayor parte de la información ha sido tomada de la Agencia de protección ambiental de los Estados Unidos (EPA).

### *2.1.4. Transporte.*

Las emisiones debidas a la transportación son modeladas en términos del tipo de transporte y la distancia de traslado, con base a los promedios nacionales de los datos del laboratorio nacional de energía renovable (NREL) publicados en el banco de datos Inventario de Ciclo de Vida de los Estados Unidos (USLCI) disponible a través de la plataforma en línea Open Source LCA (OpenLCA). NREL es un laboratorio nacional en los Estados Unidos que depende del Departamento de Energía de los Estados Unidos.

### *2.1.5. Combustibles.*

Los impactos asociados al uso de los combustibles son modelados usando los valores promedio nacionales del NREL.

### *2.1.6. Electricidad.*



**Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.**

Los datos de la electricidad regional provienen del Laboratorio nacional de Tecnología eléctrica (NETL).

En el caso de los combustibles y la electricidad, la FHWA propone que para próximas versiones del LCA Pave, esta pueda contar con una librería dedicada exclusivamente al tema de combustibles y otra dedicada exclusivamente a la electricidad.

#### *2.1.7. Diseño de mezclas.*

Los usuarios pueden desarrollar sus propias mezclas con la base de datos de la librería de la aplicación, con proporciones específicas para la región o agencia de pavimentos, que incluyan materiales y datos de la operación de la planta de producción, o pueden añadirse las declaraciones ambientales de las mezclas. Algunas declaraciones ambientales de producto (EPD) de mezclas asfálticas se han incluido en la base de datos de la herramienta, como un ejemplo de cómo estas EPD pueden usarse, pero no son muy extensas. No existe en los Estados Unidos regulaciones federales para el uso de las EPD.

#### *2.1.8. Actividades.*

Los usuarios pueden identificar las actividades específicas del proyecto como parte del ciclo de vida del pavimento. La base de datos predeterminada de la herramienta no incluye actividades típicas, ya que estas pueden variar según la agencia; En consecuencia, las agencias pueden desarrollar actividades específicas representativas de sus prácticas comunes y almacenarlas en la base de datos para usos futuros. Esto permite acelerar el modelado futuro, ya que muchas actividades, o muchos detalles de actividades, son los mismos para proyectos similares dentro de la misma agencia. Las actividades pueden incluir elementos de cualquiera de las otras bibliotecas mencionadas anteriormente.

## 2.2. Unidades Funcionales.

La unidad funcional describe lo que se está estudiando mediante el establecimiento de la unidad física y el rendimiento cuantificado que se debe cumplir durante un período de tiempo.

La información específica sobre la unidad funcional es establecida por los usuarios, cuando las alternativas de diseño se modelan dentro de la herramienta. La información posible incluye:

- Alcance y tamaño alternativos: Sección de pavimento (Carriles principales, hombros, rampas, etcétera) incluidas en el análisis, en términos de número de carriles, longitud y anchura del pavimento. Los usuarios pueden modelar diferentes capas dentro de cada uno de estos tipos de pavimento. Las dimensiones solo se utilizan para la generación de informes y para la normalización de los resultados por longitud o área, ya que la herramienta no realiza cálculos de cantidad de material.

- Ubicación: área (o una sección de ella) del proyecto de mantenimiento.



**Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.**

- Descripción del desempeño funcional: las especificaciones de la agencia.
- Período de análisis: el período de servicio modelado por la herramienta, se puede modelar todo el ciclo de vida (excluyendo el uso) o solo alguna etapa.

Los usuarios pueden describir la unidad funcional cuando se inicia una nueva sesión y más detalles sobre el alcance y el tamaño cuando se establecen las alternativas. Los resultados se pueden expresar en las siguientes unidades: proyecto completo (según lo establecido por el usuario), por milla-carril, por milla-carril por año, por pie cuadrado o por pie cuadrado por año. La herramienta no puede evaluar la validez del análisis porque los usuarios controlan la descripción de la unidad funcional.

La herramienta asume que la unidad funcional para proyectos de comparación de alternativas es la misma. Hay que asegurarse que así sea para evitar malas interpretaciones de los resultados.

### 2.3. Periodo de Análisis

Cada alternativa se puede modelar para un cierto período de tiempo denominado período de análisis. El período de análisis debe ser lo suficientemente largo como para capturar la próxima rehabilitación u otro evento importante cuyo momento esté influenciado por la decisión actual. Para comparación de sistemas, los periodos de análisis deben de ser los mismos.

## 3. CALIDAD DE LOS DATOS

### 3.1 Evaluación

Todos los datos se evalúan utilizando una metodología de evaluación de la calidad de los datos que se basa en la matriz de pedigrí de la EPA de los Estados Unidos. Esta se ha mejorado para hacerla más específica para las aplicaciones del ACV de pavimentos, con el objetivo de estandarizar la práctica de la evaluación de la calidad de los datos para este tipo particular de análisis. Los criterios aplicados en esta actualización se presentan en la tabla 2. La presentación de informes y la interpretación de la calidad de los datos obtenidos son importantes para garantizar que los datos utilizados para determinar los flujos, calcular los impactos y realizar análisis de sensibilidad para la interpretación de los resultados sean suficientes para cumplir con los objetivos del estudio.

### 3.2 Inclusión de datos provenientes de Declaraciones ambientales de Producto.

Los usuarios pueden agregar elementos a la base de datos utilizando los datos de la cuna a la puerta disponibles en las declaraciones ambientales de producto (DAP o EPD). Esto incluye, entre otros, datos de la DAP para materiales individuales o diseños de mezclas. La figura 2 muestra el caso de la herramienta que calcula los impactos de un material compuesto a partir de sus datos internos y la figura 3 muestra la sustitución de datos internos con impactos de EPD para algunos de los materiales en el material compuesto.





Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.

Tabla 2. Criterios para la evaluación de la calidad de los datos.

| Categorías de calidad de datos | Criterio  |
|--------------------------------|---|
| Confiabilidad                  | ¿Se revisaron los datos del inventario por balance de masa, energía, recálculos, etc?   |
| Confiabilidad                  | ¿Cuál es el Status Quo para la propiedad de los datos y del apoyo continuo?   |
| Confiabilidad                  | ¿Son los datos actualizados con regularidad? ¿Son los datos de naturaleza determinística o se establecen intervalos de confianza estadística? |
| Metodo de recolección de datos | ¿Qué tan representativos son los datos del mercado?   |
| Metodo de recolección de datos | ¿Qué tan compatibles son los datos del inventario del Ciclo de Vida con el método de evaluación de impacto TRACI 2.1 de LCA Commons?          |
| Periodo de tiempo              | ¿Qué tan viejos son los datos?  |
| Periodo de tiempo              | ¿los datos presentan variaciones estacionales?  |
| Geografía                      | ¿Qué tan buena es la correlación geográfica de los datos con los objetivos del estudio?   |
| Tecnología                     | ¿Qué tan buena es la cobertura de los materiales por lo datos y su correlación con los objetivos de calidad del estudio?                      |
| Tecnología                     | ¿Qué tan buena es la cobertura de la tecnología por los datos y su correlación con los objetivos de calidad del estudio?                      |
| Revisión del Proceso           | ¿Qué tan buena es la revisión del proceso?  |
| Integridad del proceso         | ¿Qué tan completo es el proceso?  |

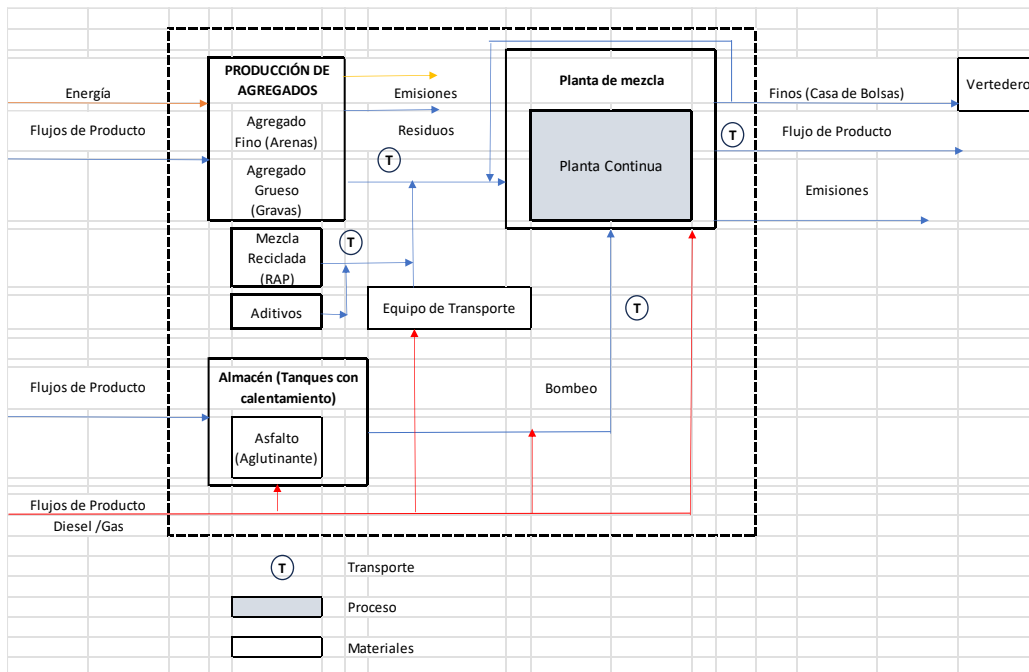


Figura 2. Diagrama de flujo de la producción de mezcla asfáltica para pavimentos en una planta continua.



Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.

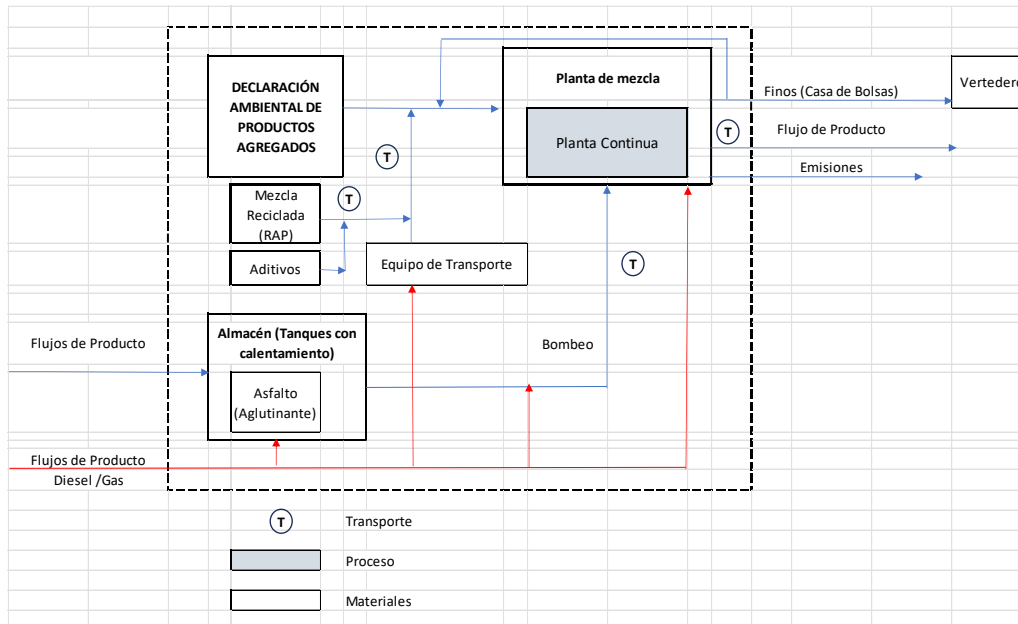


Figura 3. Diagrama de flujo de producción de mezcla asfáltica para pavimentos en planta. Se sustituye el cálculo del proceso de trituración de roca por la declaración ambiental de producto del agregado triturado.

#### 4. Caso práctico.

Con un fin meramente demostrativo, haremos a continuación un caso práctico para la evaluación del impacto ambiental de dos carpetas de rodadura para un proyecto específico. Siguiendo los pasos de la metodología del ACV y haciendo el cálculo de impactos con la herramienta LCA Pave.

##### 4.1 Definición de alcance y objetivos.

Haremos el ACV para un proyecto de colocación de carpeta de rodadura sobre una carpeta asfáltica existente en buenas condiciones estructurales y con una vida remanente mínima de 32 años. El objetivo del ejercicio es hacer un análisis comparativo de los impactos ambientales sobre un periodo de análisis de 32 años de 2 diferentes tipos de carpetas de rodadura, una mezcla densa con tamaño máximo de partícula de  $\frac{1}{2}$  in, y una mezcla tipo SMA, también con tamaño máximo de partícula de  $\frac{1}{2}$  in. Las dos carpetas se van a instalar aplicadas en el mismo grosor de 4 cm (1.6 in).

Se definen como alcances para este ejercicio la unidad funcional de una tonelada corta de mezcla asfáltica (907.2 kg). Se ha definido una distancia de acarreo de la mezcla de 50 km (aproximadamente 31 millas) y se ha limitado el análisis de impacto ambiental a su potencial de calentamiento global, medido como kg de CO<sub>2</sub> equivalente, al uso de energía proveniente de fuentes renovables medido en kJ, el uso de energía de fuentes no renovables, medido en kJ, el agotamiento de recursos abióticos (combustibles fósiles) en kJ y el uso de agua en metros cúbicos.

Se evaluará las siguientes etapas del Ciclo de vida de las capas de rodadura: su producción (A1, A2, A3), construcción (A4, A5), conservación y mantenimiento (B4), y fin de vida (C1, C2, C3, C4). El proceso de pavimentación de las dos capas de rodadura en un tramo de 10 km (10,000 m o 6.214



Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.

millas) con dos carriles de 3.5 m cada uno (en total 7 m o 23 ft). Se considero para las dos mezclas de rodadura, una densidad compactada de 2.4 toneladas por m<sup>3</sup>. Se estimó un consumo por milla carril de mezcla asfáltica de 596 toneladas cortas. El consumo estimado total de mezcla asfáltica es de 7,407.5 Toneladas cortas (6,720 toneladas). Para este estudio se tomaron los siguientes tiempos de vida promedio

Tabla 3: Durabilidades de las mezclas asfálticas comparadas.

| Tipo de Mezcla asfáltica                     | Durabilidad promedio (años) |
|--|-----------------------------|
| (AC) o mezcla densa con asfalto convencional | 8                           |
| SMA (Escenario 1)                            | 11                          |
| SMA (Escenario 2)                            | 16                          |

En los dos casos, se harán trabajos de conservación al final de la vida útil de las mezclas asfálticas consistentes en el fresado de 4 cm de carpeta y su reposición por mezcla asfáltica de las mismas características. Al final de los 24 años, se hará la demolición total. No se consideró un valor remanente como material para reciclado al final de su vida útil.

#### 4.2 Análisis de Inventario de Ciclo de Vida.

Para esta fase, tomaremos los Declaraciones ambientales de producto sectoriales reportados por ASEFMA para un concreto asfáltico (AC) [4] y una mezcla discontinua SMA [5]. En Europa, los DAP para los productos de construcción no solo toman los parámetros de producción (A1, A2, A3), sino que lo extienden a los costos ambientales de su demolición y disposición (C1, C2, C3, C4) o en dado caso de su valor residual como producto reciclado o reutilizado (D) acorde a la EN 15804:2012+A2:2019, en este caso, solo tomaremos los datos correspondientes a la etapa de producción A1, A2 y A3. Como se observa en las Tablas 4, 5 y 6 para la mezcla asfáltica tipo AC, y en las Tablas 7, 8 y 9 para la mezcla asfáltica tipo SMA. Se hizo la conversión de unidades para ajustar los impactos a una unidad declarada de una tonelada corta (907.2 kg). Las composiciones reportadas en la Declaración de Productos sectoriales se reportan en la tabla 10.

La valoración de la calidad de los datos para ambas declaraciones se describe a continuación:

- Integridad: Muy buena. Puntuación 1.
- Idoneidad y coherencias metodológicas: buena. Puntuación 2.
- Representatividad temporal: Muy buena. Puntuación 1.
- Representatividad tecnológica: Buena. Puntuación 2
- Representatividad geográfica: Muy buena. Puntuación 1.
- Incertidumbre de los datos, baja. Puntuación 2 puntos.

Data Quality ranking: 1.33.

Sobre esta valoración hay que hacer los ajustes para usar los datos en México. En esta ocasión, como la evaluación de ciclo de vida es meramente didáctico, podemos tomarlo como válido, aunque un ejercicio más estricto, reduciría la valoración de Representatividad tecnológica al usarse componentes con un origen diferente y posiblemente con equipos de producción diferentes (plantas de mezclas discontinuas), y la Representatividad Geográfica al realizarse la mezcla en otras latitudes al ACV original.



**Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.**

Parámetros de impacto ambiental para 1 tonelada de mezcla asfáltica tipo AC

Tabla 4. Parámetros de impacto ambiental definidos en la Norma UNE-EN 15804

| Mezcla AC           |                         |          |          |          |  |          |          |          |
|---------------------|-------------------------|----------|----------|----------|--|----------|----------|----------|
| Parámetro           | Unidad declarada: 1 ton |          |          |          | Unidad declarada Short Tone (0.907185 Toneladas) |          |          |          |
|                     | A1                      | A2       | A3       | A1-A3    | A1   | A2       | A3       | A1 - A3  |
| GWP-total           | 3.23E+01                | 7.42E+00 | 2.09E+01 | 6.06E+01 | 2.93E+01   | 6.73E+00 | 1.90E+01 | 5.50E+01 |
| GWP-fossil          | 3.23E+01                | 7.42E+00 | 2.09E+01 | 6.06E+01 | 2.93E+01   | 6.73E+00 | 1.90E+01 | 5.50E+01 |
| GWP-biogenic        | 1.90E-02                | 4.38E-04 | 2.40E-03 | 2.18E-02 | 1.72E-02   | 3.97E-04 | 2.18E-03 | 1.98E-02 |
| GWP-luluc           | 6.02E-03                | 1.45E-04 | 1.61E-03 | 7.78E-03 | 5.46E-03   | 1.32E-04 | 1.46E-03 | 7.05E-03 |
| ODP                 | 3.28E-06                | 1.60E-07 | 5.61E-07 | 4.00E-06 | 2.98E-06   | 1.45E-07 | 5.09E-07 | 3.63E-06 |
| AP                  | 1.41E-01                | 1.93E-02 | 4.47E-02 | 2.05E-01 | 1.28E-01   | 1.75E-02 | 4.06E-02 | 1.86E-01 |
| EP-freshwater       | 1.26E-04                | 5.83E-06 | 5.64E-05 | 1.88E-04 | 1.14E-04   | 5.29E-06 | 5.12E-05 | 1.71E-04 |
| EP-marine           | 2.95E-02                | 7.56E-03 | 1.23E-02 | 4.94E-02 | 2.68E-02   | 6.86E-03 | 1.12E-02 | 4.48E-02 |
| EP-terrestrial      | 2.59E-01                | 8.00E-02 | 1.28E-01 | 4.67E-01 | 2.35E-01   | 7.26E-02 | 1.16E-01 | 4.24E-01 |
| POCP                | 3.00E-01                | 3.12E-02 | 6.31E-02 | 3.94E-01 | 2.72E-01   | 2.83E-02 | 5.72E-02 | 3.58E-01 |
| ADP-minerals&metals | 1.69E-06                | 2.56E-07 | 6.81E-07 | 2.63E-06 | 1.53E-06   | 2.32E-07 | 6.18E-07 | 2.38E-06 |
| ADP-fossil          | 2.02E+03                | 9.80E+01 | 2.56E+02 | 2.37E+03 | 1.83E+03   | 8.89E+01 | 2.32E+02 | 2.15E+03 |
| WDP                 | 3.39E+00                | 8.95E-02 | 3.88E-01 | 3.87E+00 | 3.08E+00   | 8.12E-02 | 3.52E-01 | 3.51E+00 |

GWP - total (kg CO2 eq): Potencial de calentamiento global; GWP - fossil (kg CO2 eq): Potencial de calentamiento global de los combustibles fósiles; GWP - biogenic (kg CO2 eq): Potencial de calentamiento global biogénico; GWP - luluc (kg CO2 eq): Potencial de calentamiento global del uso y cambio del uso del suelo; ODP (kg CFC-11 eq): Potencial de agotamiento de la capa de ozono estratosférico; AP (mol H+ eq): Potencial de acidificación, excedente acumulado; EP-freshwater (kg P eq): Potencial de eutrofización, fracción de nutrientes que alcanzan el compartimento final de agua dulce; EP-marine (kg N eq): Potencial de eutrofización, fracción de nutrientes que alcanzan el compartimento final de agua marina; EP-terrestrial (mol N eq): Potencial de eutrofización, excedente acumulado; POCP (kg NMVOC eq): Potencial de formación de ozono troposférico; ADP-minerals&metals (kg Sb eq): Potencial de agotamiento de recursos abióticos para los recursos no fósiles; ADP-fossil (MJ, v.c.n.): Potencial de agotamiento de recursos abióticos para los recursos fósiles; WDP (m3 eq): Potencial de privación de agua (usuario), consumo de privación ponderada del agua.

Uso de recursos para 1 tonelada de mezcla asfáltica tipo AC

Tabla 5 Parámetros que describen el uso de recursos.

| Mezcla AC |                         |          |          |          |  |          |          |          |
|-----------|-------------------------|----------|----------|----------|--|----------|----------|----------|
| Parámetro | Unidad declarada: 1 ton |          |          |          | Unidad declarada Short Tone (0.907185 Toneladas) |          |          |          |
|           | A1                      | A2       | A3       | A1-A3    | A1   | A2       | A3       | A1 -A3   |
| PERE      | 1.91E+01                | 2.59E-01 | 1.32E+01 | 3.26E+01 | 1.73E+01   | 2.35E-01 | 1.20E+01 | 2.95E+01 |
| PERM      | 0                       | 0        | 0        | 0.00E+00 | 0.00E+00   | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| PERT      | 1.91E+01                | 2.59E-01 | 1.32E+01 | 3.26E+01 | 1.73E+01   | 2.35E-01 | 1.20E+01 | 2.95E+01 |
| PENRE     | 5.39E+00                | 1.08E-05 | 1.04E-03 | 5.39E+00 | 4.89E+00   | 9.80E-06 | 9.43E-04 | 4.89E+00 |
| PENRM     | 2.04E+03                | 9.86E+01 | 2.59E+02 | 2.40E+03 | 1.85E+03   | 8.94E+01 | 2.35E+02 | 2.18E+03 |
| PENRT     | 2.05E+03                | 9.86E+01 | 2.59E+02 | 2.41E+03 | 1.86E+03   | 8.94E+01 | 2.35E+02 | 2.18E+03 |
| SM        | 8.07E+01                | 0        | 0        | 8.07E+01 | 7.32E+01   | 0        | 0        | 7.32E+01 |
| RSF       | 0                       | 0        | 0        | 0        | 0  | 0        | 0        | 0        |
| NRSF      | 0                       | 0        | 0        | 0        | 0  | 0        | 0        | 0        |
| FW        | 4.69E-01                | 4.14E-03 | 1.62E-02 | 4.89E-01 | 4.25E-01   | 3.76E-03 | 1.47E-02 | 4.44E-01 |

PERE (MJ, v.c.n.): Uso de energía primaria renovable excluyendo los recursos de energía primaria renovable utilizada como materia prima; PERM (MJ, v.c.n.): Uso de energía primaria renovable utilizada como materia prima; PERT (MJ, v.c.n.): Uso total de la energía primaria renovable; PENRE (MJ, v.c.n.): Uso de energía primaria no renovable, excluyendo los recursos de energía primaria no renovable utilizada como materia prima; PENRM (MJ, v.c.n.): Uso de la energía primaria no renovable utilizada como materia prima; PENRT (MJ, v.c.n.): Uso total de la energía primaria no renovable; SM (kg): Uso de materiales secundarios; RSF (MJ, v.c.n.): Uso de combustibles secundarios renovables; NRSF (MJ, v.c.n.): Uso de combustibles secundarios no renovables; FW (m3): Uso neto de recursos de agua corriente.

Uso de recursos para 1 tonelada de mezcla asfáltica tipo AC

Tabla 6 Parámetros adicionales de impacto ambiental definidos en la Norma UNE-EN 15804

| Mezcla AC |                         |          |          |          |  |          |          |          |
|-----------|-------------------------|----------|----------|----------|--|----------|----------|----------|
| Parámetro | Unidad declarada: 1 ton |          |          |          | Unidad declarada Short Tone (0.907185 Toneladas) |          |          |          |
|           | A1                      | A2       | A3       | A1-A3    | A1   | A2       | A3       | A1 -A3   |
| ETP-fw    | 8.70E+02                | 4.38E+01 | 1.08E+02 | 1.02E+03 | 7.89E+02   | 3.97E+01 | 9.80E+01 | 9.27E+02 |
| HTP-c     | 9.43E-09                | 5.13E-10 | 1.33E-09 | 1.13E-08 | 8.55E-09   | 4.65E-10 | 1.21E-09 | 1.02E-08 |
| HTP-nc    | 2.02E-07                | 5.24E-08 | 4.13E-08 | 2.96E-07 | 1.83E-07   | 4.75E-08 | 3.75E-08 | 2.68E-07 |

ETP-fw (CTUe): Potencial comparativo de unidad tóxica para los ecosistemas - agua dulce; HTP-c (CTUh): Potencial comparativo de unidad tóxica para los ecosistemas - efectos cancerígenos; HTP-nc (CTUh): Potencial comparativo de unidad tóxica para los ecosistemas - efectos no cancerígenos;



**Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.**

| Parámetros de impacto ambiental para 1 tonelada de mezcla asfáltica tipo SMA |                         |          |          |          |  |          |          |          |
|--|-------------------------|----------|----------|----------|--|----------|----------|----------|
| Tabla 7. Parámetros de impacto ambiental definidos en la Norma UNE-EN 15804  |                         |          |          |          |  |          |          |          |
| Mezcla SMA   |                         |          |          |          |  |          |          |          |
| Parámetro  | Unidad declarada: 1 ton |          |          |          | Unidad declarada Short Tone (0.907185 Toneladas) |          |          |          |
|  | A1                      | A2       | A3       | A1-A3    | A1   | A2       | A3       | A1 - A3  |
| GWP-total  | 5.04E+01                | 1.53E+01 | 2.09E+01 | 8.66E+01 | 4.57E+01   | 1.39E+01 | 1.90E+01 | 7.86E+01 |
| GWP-fossil   | 5.03E+01                | 1.53E+03 | 2.09E+01 | 8.65E+01 | 4.56E+01   | 1.39E+03 | 1.90E+01 | 7.85E+01 |
| GWP-biogenic   | 4.10E-02                | 9.04E-04 | 2.40E-03 | 4.43E-02 | 3.72E-02   | 8.20E-04 | 2.18E-03 | 4.02E-02 |
| GWP-luluc  | 1.19E-02                | 2.99E-04 | 1.61E-03 | 1.38E-02 | 1.08E-02   | 2.71E-04 | 1.46E-03 | 1.25E-02 |
| ODP  | 4.37E-06                | 3.30E-07 | 5.61E-07 | 5.26E-06 | 3.96E-06   | 2.99E-07 | 5.09E-07 | 4.77E-06 |
| AP   | 1.99E-01                | 3.98E-02 | 4.47E-02 | 2.84E-01 | 1.81E-01   | 3.61E-02 | 4.06E-02 | 2.58E-01 |
| EP-freshwater  | 1.88E-04                | 1.20E-05 | 5.64E-05 | 2.57E-04 | 1.71E-04   | 1.09E-05 | 5.12E-05 | 2.33E-04 |
| EP-marine  | 4.16E-02                | 1.56E-02 | 1.23E-02 | 6.95E-02 | 3.77E-02   | 1.42E-02 | 1.12E-02 | 6.30E-02 |
| EP-terrestrial   | 3.71E-01                | 1.65E-01 | 1.28E-01 | 6.64E-01 | 3.37E-01   | 1.50E-01 | 1.16E-01 | 6.02E-01 |
| POCP   | 4.09E-01                | 6.43E-02 | 6.31E-02 | 5.36E-01 | 3.71E-01   | 5.83E-02 | 5.72E-02 | 4.86E-01 |
| ADP-minerals&metals  | 5.57E-05                | 5.28E-07 | 6.81E-07 | 5.69E-05 | 5.05E-05   | 4.79E-07 | 6.18E-07 | 5.16E-05 |
| ADP-fossil   | 2.85E+03                | 2.02E+02 | 2.56E+02 | 3.31E+03 | 2.59E+03   | 1.83E+02 | 2.32E+02 | 3.00E+03 |
| WDP  | 3.63E+01                | 1.84E-01 | 3.88E-01 | 3.69E+01 | 3.29E+01   | 1.67E-01 | 3.52E-01 | 3.34E+01 |

GWP - total (kg CO2 eq): Potencial de calentamiento global; GWP - fossil (kg CO2 eq): Potencial de calentamiento global de los combustibles fósiles; GWP - biogenic (kg CO2 eq): Potencial de calentamiento global biogénico; GWP - luluc (kg CO2 eq): Potencial de calentamiento global del uso y cambio del uso del suelo; ODP (kg CFC-11 eq): Potencial de agotamiento de la capa de ozono estratosférico; AP (mol H+ eq): Potencial de acidificación, excedente acumulado; EP-freshwater (kg P eq): Potencial de eutrofización, fracción de nutrientes que alcanzan el compartimento final de agua dulce; EP-marine (kg N eq): Potencial de eutrofización, fracción de nutrientes que alcanzan el compartimento final de agua marina; EP-terrestrial (mol N eq): Potencial de eutrofización, excedente acumulado; POCP (kg NMVOCeq): Potencial de formación de ozono troposférico; ADP-minerals&metals (kg Sb eq): Potencial de agotamiento de recursos abióticos para los recursos no fósiles; ADP-fossil (MJ, v.c.n.): Potencial de agotamiento de recursos abióticos para los recursos fósiles; WDP (m3 eq): Potencial de privación de agua (usuario), consumo de privación ponderada del agua.

| Uso de recursos para 1 tonelada de mezcla asfáltica tipo SMA |                         |          |          |          |  |          |          |          |
|--|-------------------------|----------|----------|----------|--|----------|----------|----------|
| Tabla 8 Parámetros que describen el uso de recursos.         |                         |          |          |          |  |          |          |          |
| Mezcla SMA   |                         |          |          |          |  |          |          |          |
| Parámetro  | Unidad declarada: 1 ton |          |          |          | Unidad declarada Short Tone (0.907185 Toneladas) |          |          |          |
|  | A1                      | A2       | A3       | A1-A3    | A1   | A2       | A3       | A1 -A3   |
| PERE   | 2.46E+01                | 5.34E-01 | 1.32E+01 | 3.83E+01 | 2.23E+01   | 4.84E-01 | 1.20E+01 | 3.48E+01 |
| PERM   | 0                       | 0        | 0        | 0.00E+00 | 0.00E+00   | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| PERT   | 2.46E+01                | 5.34E-01 | 1.32E+01 | 3.83E+01 | 2.23E+01   | 4.84E-01 | 1.20E+01 | 3.48E+01 |
| PENRE  | 1.79E+02                | 2.22E-05 | 1.04E-03 | 1.79E+02 | 1.62E+02   | 2.01E-05 | 9.43E-04 | 1.62E+02 |
| PENRM  | 2.71E+03                | 2.03E+02 | 2.59E+02 | 3.17E+03 | 2.46E+03   | 1.84E+02 | 2.35E+02 | 2.88E+03 |
| PENRT  | 2.89E+03                | 2.03E+02 | 2.59E+02 | 3.35E+03 | 2.62E+03   | 1.84E+02 | 2.35E+02 | 3.04E+03 |
| SM   | 2.60E+00                | 0        | 0        | 2.60E+00 | 2.36E+00   | 0        | 0        | 2.36E+00 |
| RSF  | 0                       | 0        | 0        | 0        | 0  | 0        | 0        | 0        |
| NRSF   | 0                       | 0        | 0        | 0        | 0  | 0        | 0        | 0        |
| FW   | 3.20E+00                | 8.54E-03 | 1.62E-02 | 3.22E+00 | 2.90E+00   | 7.75E-03 | 1.47E-02 | 2.93E+00 |

PERE (MJ, v.c.n.): Uso de energía primaria renovable excluyendo los recursos de energía primaria renovable utilizada como materia prima; PERM (MJ, v.c.n.): Uso de energía primaria renovable utilizada como materia prima; PERT (MJ, v.c.n.): Uso total de la energía primaria renovable; PENRE (MJ, v.c.n.): Uso de energía primaria no renovable, excluyendo los recursos de energía primaria no renovable utilizada como materia prima; PENRM (MJ, v.c.n.): Uso de la energía primaria no renovable utilizada como materia prima; PENRT (MJ, v.c.n.): Uso total de la energía primaria no renovable; SM (kg): Uso de materiales secundarios; RSF (MJ, v.c.n.): Uso de combustibles secundarios renovables; NRSF (MJ, v.c.n.): Uso de combustibles secundarios no renovables; FW (m3): Uso neto de recursos de agua corriente.

| Uso de recursos para 1 tonelada de mezcla asfáltica tipo SMA                           |                         |          |          |          |  |          |          |          |
|--|-------------------------|----------|----------|----------|--|----------|----------|----------|
| Tabla 9 Parámetros adicionales de impacto ambiental definidos en la Norma UNE-EN 15804 |                         |          |          |          |  |          |          |          |
| Mezcla SMA   |                         |          |          |          |  |          |          |          |
| Parámetro  | Unidad declarada: 1 ton |          |          |          | Unidad declarada Short Tone (0.907185 Toneladas) |          |          |          |
|  | A1                      | A2       | A3       | A1-A3    | A1   | A2       | A3       | A1 -A3   |
| ETP-fw   | 1.23E+03                | 9.02E+01 | 1.08E+02 | 1.43E+03 | 1.12E+03   | 8.18E+01 | 9.80E+01 | 1.30E+03 |
| HTP-c  | 0.000000193             | 1.06E-09 | 1.33E-09 | 1.95E-07 | 1.75E-07   | 9.62E-10 | 1.21E-09 | 1.77E-07 |
| HTP-nc   | 5.25E-07                | 1.08E-07 | 4.13E-08 | 6.74E-07 | 4.76E-07   | 9.80E-08 | 3.75E-08 | 6.12E-07 |

ETP-fw (CTUe): Potencial comparativo de unidad tóxica para los ecosistemas - agua dulce; HTP-c (CTUh): Potencial comparativo de unidad tóxica para los ecosistemas - efectos cancerígenos; HTP-nc (CTUh): Potencial comparativo de unidad tóxica para los ecosistemas - efectos no cancerígenos;



Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.

En la tabla 10, se muestra la composición de las mezclas tal como las reporta las DAP.

Tabla 10. Composición mezclas asfálticas tipo AC y tipo SMA

| Material             | % en peso Mezcla AC | % en peso Mezcla SMA |
|----------------------|---------------------|----------------------|
| Betumen convencional | 4-5 %               | 2-3%                 |
| Betún modificado     | <1%                 | 3-4%                 |
| Agregados (áridos)   | 95 al 96            | 93 – 94%             |
| Otros                | <1%                 | <1%                  |

Para las etapas de construcción, conservación y demolición, se consideraron los siguientes equipos:

- Construcción de capa de SMA 10 de 4 cm sobre estructura ya existente.
  - o Materiales
    - Mezcla SMA ASEFMA (7,408 short tones)
      - Transporte desde el sitio de producción (229,648 short tones miles)
  - o Equipos
    - Pavimentadora Nonroad diesel, 175<hp<=300 (6 horas)
      - Transporte al sitio de construcción (1,550 short-tons-miles)
    - Compactador Nonroad diesel, 100<hp<=175 (6 horas)
      - Transporte al sitio de producción (1,550 short-tons-miles)
- Conservación de 4 cm de carpeta de SMA, fresar y reponer.
  - o Materiales
    - Mezcla SMA ASEFMA (7,408 short tones)
      - Transporte desde el sitio de producción (229,648 short tones miles)
  - o Equipos
    - Fresadora Nonroad Diesel 100 < hp <=175 (6 horas)
      - Transportación al sitio de producción.
    - Pavimentadora Nonroad diesel, 175<hp<=300 (6 horas)
      - Transporte al sitio de construcción (1,550 short-tons-miles)
    - Compactador Nonroad diesel, 100<hp<=175 (6 horas)
      - Transporte al sitio de producción (1,550 short-tons-miles)
  - o Residuos
    - Mezcla para reutilizar fuera del sitio de remoción (7,408 kg)
      - Transporte al sitio de producción (229,648 short tones miles)
- Fin de vida. Remoción
  - o Equipos
    - Guillotina, Nonroad diesel 600< hp 75 (8 horas)
      - Transporte al sitio de construcción (1,550 short-tons-miles)
  - o Residuos
    - Mezcla asfáltica para reutilizar fuera del sitio de remoción (7,408 short tones)
      - Transporte al sitio de producción (229,648 short-ton-miles)
    - Relleno vertedero (7,408 short tones)



Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.

- Construcción de capa de mezcla densa AC de 4 cm
  - o Materiales
    - Mezcla AC ASEFMA (7,408 short tones)
      - Transporte desde el sitio de producción (229,648 short tones miles)
  - o Equipos
    - Pavimentadora Nonroad diesel, 175<hp<=300 (6 horas)
      - Transporte al sitio de construcción (1,550 short-tons-miles)
    - Compactador Nonroad diesel, 100<hp<=175 (6 horas)
      - Transporte al sitio de producción (1,550 short-tons-miles)
- Conservación de 4 cm de carpeta de SMA, fresar y reponer.
  - o Materiales
    - Mezcla AC ASEFMA (7,408 short tones)
      - Transporte desde el sitio de producción (229,648 short tones miles)
  - o Equipos
    - Fresadora Nonroad Diésel 100 < hp <=175 (6 horas)
      - Transportación al sitio de producción.
    - Pavimentadora Nonroad diésel, 175<hp<=300 (6 horas)
      - Transporte al sitio de construcción (1,550 short-tons-miles)
    - Compactador Nonroad diésel, 100<hp<=175 (6 horas)
      - Transporte al sitio de producción (1,550 short-tons-miles)
  - o Residuos
    - Mezcla para reutilizar fuera del sitio de remoción (7,408 kg)
      - Transporte al sitio de producción (229,648 short tones miles)
- Fin de vida. Remoción
  - o Equipos
    - Guillotina, Nonroad diésel 600< hp 75 (8 horas)
      - Transporte al sitio de construcción (1,550 short-tons-miles)
  - o Residuos
    - Mezcla asfáltica para reutilizar fuera del sitio de remoción (7,408 short tones)
      - Transporte al sitio de producción (229,648 short-ton-miles)
    - Relleno vertedero (7,408 short tones)

Se evaluaron 3 alternativas de proyecto:

Alternativa 1. SMA con una vida promedio de 11 años.

Año cero. Construcción inicial

Año 11. Conservación consistente en fresado de 4 cm y reposición de carpeta

Año 22. Conservación consistente en fresado de 4 cm y reposición de carpeta

Año 32. Demolición

Alternativa 1. SMA con una vida promedio de 16 años.

Año cero. Construcción inicial

Año 16. Conservación consistente en fresado de 4 cm y reposición de carpeta

Año 32. Demolición



Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.

Alternativa 3. AC con una vida promedio de 8 años.

Año cero. Construcción inicial

Año 8. Conservación consistente en fresado de 4 cm y reposición de carpeta

Año 16. Conservación consistente en fresado de 4 cm y reposición de carpeta

Año 24. Conservación consistente en fresado de 4 cm y reposición de carpeta

Año 32. Demolición

#### 4.3 Análisis de Impacto:

Los resultados del ACV se muestran en la tabla 11.

Tabla 11. Resultados del Análisis de Ciclo de vida de tres alternativas de capas de rodadura.

| Impacto   | Alternativa 1. SMA con vida de 11 años | Alternativa 2. SMA con vida de 16 años. | Alternativa 3. AC con vida de 8 años. |
|---|--|---|---------------------------------------|
| Total de energía renovable (MJ)                                     | 7,739,449 MJ                           | 5,161,465 MJ                            | 894,457 MJ                            |
| Total de energía no renovable (MJ)                                  | 73,566,098 MJ                          | 50,344,056 MJ                           | 71,393,517 MJ                         |
| Agotamiento de los combustibles fósiles (MJ)                        | 66,672,000 MJ                          | 44,448,000 MJ                           | 63,708,800 MJ                         |
| Potencial de calentamiento global (Ton CO <sub>2</sub> equivalente) | 2,259,787 T                            | 1,601,308 T                             | 2,207,098 T                           |
| Uso de agua (m <sup>3</sup> )                                       | 73,724 m <sup>3</sup>                  | 51,500 m <sup>3</sup>                   | 36,684 m <sup>3</sup>                 |

La herramienta LCA Pave también nos permite vislumbrar los impactos por etapa en el Ciclo de Vida, la Tabla 12 muestra los resultados obtenidos en el potencial de calentamiento Global (Ton CO<sub>2</sub> equivalente) para las diferentes etapas de construcción.

Tabla 12. Potencial de calentamiento Global (Ton CO<sub>2</sub> equivalente) de tres alternativas de pavimentación por etapa en el Ciclo de Vida.

| Etapas del Ciclo de Vida            | Alternativa 1. SMA con vida de 11 años | Alternativa 2. SMA con vida de 16 años. | Alternativa 3. AC con vida de 8 años. |
|-------------------------------------|--|---|---------------------------------------|
| Construcción inicial                | 638,591                                | 638,591                                 | 460,799                               |
| Conservación                        | 1,316,958                              | 658,479                                 | 1,422,061                             |
| Demolición                          | 304,238                                | 304,238                                 | 304,238                               |
| Total (Ton. CO <sub>2</sub> equiv.) | 2,259,787                              | 1,601,308                               | 2,207,098                             |

#### Conclusiones:

La herramienta LCA Pave, es una herramienta diseñada en Microsoft® Excel® que permite evaluar los impactos ambientales de un pavimento asfáltico a nivel de proyecto. Se requiere que el usuario tenga conocimientos básicos de los principios del Análisis de Ciclo de Vida y ofrece una limitada librería de opciones para la modelación de mezclas asfálticas y pavimentos. La herramienta en si





**Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.**

presenta ventajas y desventajas, además de requerir de adecuaciones para poder emplearla para la evaluación de pavimentos en México.

Las ventajas se enumeran a continuación:

- Incluye un conjunto inicial de tecnologías de materiales para pavimentos basadas en información pública disponible. Aunque limitada, ofrece una gama que puede ser utilizada para fines educativos y de entrenamiento para personas que empiezan a conocer los alcances del Análisis del Ciclo de Vida.
- Se enfoca en el análisis a nivel proyecto, lo que permite calcular los impactos en las diferentes etapas del ciclo de vida, exceptuando la etapa de uso, donde solo se puede calcular los impactos generados por las actividades de conservación y rehabilitación.
- Incluye los materiales y etapas de construcción en un periodo de análisis completo, incluyendo los materiales y actividades de construcción en cada etapa a través del ciclo de vida. Este análisis incluye la transportación y la movilización del equipo y su uso para actividades de construcción, conservación y rehabilitación.
- Usa datos públicos disponibles de promedios nacionales para materiales estandarizados, procesos y datos de la actividad.
- Permite al usuario añadir, almacenar y utilizar datos de la librería. Para un usuario o agencia, le permite ir creciendo su biblioteca personalizada en función de las materias primas más comunes en la región, de los principales tipos de asfalto, las modificaciones más comunes, los procedimientos constructivos más extendidos y los porcentajes de reutilización de los residuos, particularmente del pavimento removido. La herramienta LCA Pave busca que estas librerías se vayan sofisticando con el tiempo, permitiendo tomar mejores decisiones conforme se obtengan resultados más cercanos a las tecnologías y materiales locales y se reduzca el grado de incertidumbre.
- Permite al usuario añadir declaraciones ambientales de producto para materias primas, mezclas asfálticas, e insumos para pavimentos, lo que permite ir incorporando declaraciones ambientales de producto conforme estos se vayan haciendo más comunes en los diferentes mercados.

Las desventajas son:

- Las unidades se expresan en unidades del sistema inglés y no permite cambiarlas al sistema internacional, lo que implica que el usuarios debe adecuar las unidades del proyecto y la unidades declaradas del estudio para que los resultados sean coherentes.
- La herramienta LCA Pave no calcula volúmenes del proyecto, estos deben de ingresarse de manera manual en función de la longitud, ancho y profundidad del proyecto de construcción o rehabilitación. Se debe de ser cuidadoso para asegurarse que los datos del reporte final sean coherentes (los volúmenes del proyecto con las dimensiones de este).
- La herramienta no evalúa la etapa de uso, por lo que se requiere de una herramienta de gestión adicional para el cálculo de emisiones por concepto del estado del pavimento, la interacción del vehículo con el pavimento, las emisiones generadas por la reducción de la velocidad en los tramos de obra, los embotellamientos, etc.
- La herramienta presenta inconsistencia en los resultados cuando se introducen datos con decimales. No fue posible determinar si era un error de la aplicación, de la versión del software o del modo en que se ingresaron los datos. Esto generó que los datos se tuvieran que



**Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.**

aproximar al entero mayor en todos los casos, e impidió la evaluación de impactos que no tuvieran un valor cercano a la unidad.

La herramienta LCA Tool es muy útil para aprender sobre la construcción de un Análisis de ciclo de Vida y puede ser un punto de partida para construir una base de datos con materiales y procedimientos acordes a las necesidades particulares de una región. Tiene oportunidades de mejora y tiene la ventaja de que es una herramienta que ya existe y que fue desarrollada específicamente para pavimentos.

#### Referencias.

- [1] Harvey J., Meijer J., Ozer Hasan, Al-Qadi I. L., Saboori, A. and Kendall, A (2016) *Pavement Life Cycle Assessment Framework*, Federal Highway Administration, Report No. FHWA-HIF-16-014, Washington, DC.
- [2] Meijer, J. Harvey, J. Butt, A. Changmo, K. Prashant, Ram. Smith, K. and Saboori A. *LCA Pave: A tool to Assess Environmental Impacts of Pavement Material and Design Decisions- Underlying Methodology an Assumptions. Report No. FHWA-HIF 22-033*, November 2021 Federal Highway Administration, 1200 New Jersey Avenue, SE Washington, D.C. 20590
- [3] Prashant, Ram. Hoerner T. Meijer, J. Smith, K. Harvey, J. & Butt, A. *LCA Pave: A tool to Assess Environmental Impacts of Pavement Material and Design Decisions – User Manual. Report No. FHWA-HIF 22-032*, November 2021 Federal Highway Administration, 1200 New Jersey Avenue, SE Washington, D.C. 20590,
- [4] Asociación Española de Fabricantes de mezclas asfálticas. Declaración Ambiental de Producto. Mezclas asfálticas tipo AC. Fecha de emisión 2023-08-01. Código de registro: Global EPD EN15804-045
- [5] Asociación Española de Fabricantes de mezclas asfálticas. Declaración Ambiental de Producto. Mezclas asfálticas tipo SMA. Fecha de emisión 2023-08-01. Código de registro: Global EPD EN15804-045
- [6] UNE-EN 15804:2012+A2:2020 Sostenibilidad en la construcción. Declaraciones ambientales de producto. Reglas de categoría de producto básicas para productos de construcción.