

## **ESTUDIO DE LAS IMPLICANCIAS AMBIENTALES RELACIONADAS CON LA CONSTRUCCIÓN Y USO DE DISTINTOS PAVIMENTOS UTILIZADOS EN CALLES RESIDENCIALES DE LA CIUDAD DE MENDOZA**

Arena, A.P<sup>1</sup>., Correa, E.N<sup>2</sup>., de Rosa, C<sup>3</sup>.

Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda. INCIHUSA. Cricyt (CONICET)  
Av. Ruiz Leal s/n. Parque Gral. San Martín. 5500 Mendoza. Tel 0261 4287370. Fax: 0261 4287370.  
E-mail: aparena@lab.cricyt.edu.ar

**RESUMEN** La construcción de calles requiere la provisión de grandes cantidades de materia prima y productos industriales, así como la operación de máquinas de grandes potencias. Dependiendo del tipo de pavimento utilizado, también se requerirán mayores cantidades de materiales y el empleo de más máquinas para las actividades de mantenimiento de las vías de transporte. En este trabajo se realiza un primer estudio con el objeto de conocer con más detalle cuáles son las consecuencias ambientales asociadas con la construcción y mantenimiento de pavimentos, utilizando como herramienta un Análisis del Ciclo de Vida sintético. En particular se comparan dos tipos de pavimentos, extensamente utilizados en la región, que son los pavimentos asfálticos y los de concreto. El caso de estudio adoptado corresponde a 100 m de longitud de una de las cuatro calles que componen el área de Parque Central; una obra de reciente ejecución dentro de la Ciudad de Mendoza.

**Palabras clave:** pavimentos, asfalto, concreto, impacto ambiental, Análisis del Ciclo de Vida.

### **INTRODUCCIÓN**

Debido a la creciente tendencia a la urbanización, las necesidades de vías de transporte en un conglomerado urbano aumentan constantemente, porque es mayor la población local que debe desplazarse y porque son mayores las distancias a recorrer en su interior. Mientras el modelo de transporte no se modifique sustancialmente, la infraestructura destinada al transporte vehicular será cada vez mayor, cuya construcción, operación, mantenimiento y repavimentación requiere notables cantidades de recursos naturales, productos industrializados y energía, y produce grandes cantidades de desperdicios sólidos, líquidos y gaseosos, ya sea en modo directo durante el desarrollo de esas operaciones, o en modo indirecto cuando se extrae la materia prima y/o se fabrican los productos industrializados y la energía utilizados. En efecto, la construcción de una calle requiere grandes cantidades de áridos que es necesario extraer de canteras, tamizar, cargar y transportar para constituir los estratos inferiores; grandes máquinas para realizar tareas de excavación, movimiento y compactación de esas capas, materiales industrializados para constituir la capa de rodamiento, y más máquinas para la colocación, compactación y alisamiento de esta capa. Por otra parte, los materiales más utilizados en la actualidad para la capa de rodamiento contienen asfalto o cemento, cuya fabricación y uso tiene asociados importantes efectos nocivos para el ambiente. Terminada la construcción de la calle, más materiales y consumos energéticos serán necesarios para proveer iluminación y señalización al tránsito vehicular y para mantener en condiciones adecuadas la superficie pavimentada, cuya magnitud dependerá de sus características, del tipo de uso, de las condiciones geotécnicas, de las condiciones meteorológicas, etc. Se puede afirmar que cada arteria es un objeto único, ya que la variabilidad de las condiciones citadas determina en principio un producto distinto en cada situación. Para lograr sostener esta infraestructura con la menor cantidad posible de recursos y de emisiones, es necesario evaluar desde el punto de vista ambiental las distintas alternativas existentes, considerando todos los materiales y procesos involucrados. Esto motiva la realización de este trabajo, que realiza una primera exploración de los impactos que se producen al elegir asfalto o cemento para conformar la capa de rodamiento. La citada variabilidad de condiciones determina que las conclusiones de estas evaluaciones no sean válidas para todas las situaciones posibles, por lo que el estudio se ha concentrado en un caso específico, descrito a continuación.

### **EL CASO ANALIZADO**

Se comparan dos alternativas para la pavimentación de un tramo de 100 m de longitud de una de las cuatro calles que componen el área de Parque Central; una obra de reciente ejecución dentro de la Ciudad de Mendoza, de 9,6 mts de ancho según consta en el Pliego de Licitación del departamento de Obras Públicas de la Municipalidad de Mendoza, y destinado a tránsito medio, con cargas máximas entre 7000 y 8000 kg./eje. Se seleccionaron dos tipos de pavimentos de uso frecuente en el área urbana: asfáltico y hormigón. Las dos alternativas analizadas representan proyectos equivalentes, ya que poseen la misma funcionalidad.

### **OBJETIVO DEL ESTUDIO**

El objetivo del estudio es obtener información acerca de las consecuencias ambientales asociadas con la construcción y mantenimiento del citado tramo de calle residencial, comparando los dos casos de pavimentación elegidos, así como investigar

<sup>1</sup> Becario postdoctoral extraordinario CONICET

<sup>2</sup> Becario doctoral CONICET

<sup>3</sup> Investigador Principal CONICET

acerca de la influencia que los distintos procesos y materiales involucrados tienen sobre esos impactos. No se incluye en el estudio los recursos consumidos y las emisiones liberadas asociados a la señalización, protección e iluminación de la calle. Dado que la duración de ambos pavimentos comparados es diferente, sí se incluyen todos los materiales y procesos requeridos para mantener ambos casos en condiciones comparables durante el período de estudio considerado, fijado en 40 años. Para llevar a cabo la comparación se ha utilizado como herramienta un Análisis del Ciclo de Vida sintético.

## DESCRIPCIÓN del CASO DE ESTUDIO

La composición de una arteria depende sustancialmente de las características geotécnicas del lugar de emplazamiento, del flujo de tránsito, del tipo de carga, del pavimento a colocar, etc. En general, se construyen con las siguientes capas:

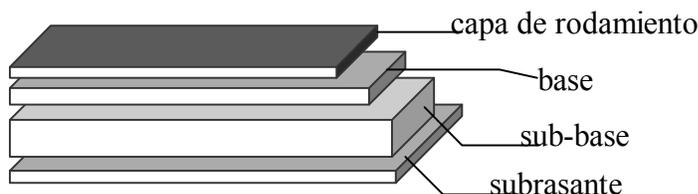


Figura 1. Capas de pavimento

Un pavimento no siempre se compone de todas las capas indicadas, la ausencia de una o varias de ellas, depende del tipo de pavimento a colocarse, capacidad de soporte de la subrasante o terreno de fundación, intensidad de tránsito, cargas de diseño, etc. Para el diseño de los pavimentos en este estudio se han considerado las siguientes hipótesis: Clasificación de la calle de estudio dentro del área urbana: sistema colector, cargas entre 7000 y 8000 kg./eje; tipo de tránsito medio, con una intensidad de 70 vehículos/h durante las horas de mayor circulación (7 a 22); valor soporte de la subrasante  $K = 2,4 \text{ Kg/cm}^3$ , o bien un valor soporte de California  $\text{CBR} = 2.3\%$ . La superficie pavimentada estudiada es de 960 m<sup>2</sup>, y el tiempo de evaluación de 40 años. El pavimento de hormigón se ha diseñado considerando una vida útil de 40 años, de acuerdo al comportamiento de antiguos pavimentos en servicio en nuestro país. Para el pavimento asfáltico se ha considerado una vida útil de 20 años, condicionada a realizar cada 5 años acciones de mantenimiento preventivo (slurring), que consiste en la colocación de una capa de 3mm de arena mediana y una emulsión de asfalto modificado. Una vez finalizado el período de 20 años se realiza una repavimentación empleando como base la carpeta de pavimento anterior.

Para comparar los dos tipos de pavimentos se calcularon los recursos empleados para la elaboración y colocación de la capa de rodamiento (hormigón o pavimento asfáltico), y los procesos de preparación y acondicionamiento del suelo, que se lleva a cabo utilizando los mismos procesos y máquinas, variando solamente los espesores de las capas constituyentes. Para el cálculo del consumo energético de las máquinas utilizadas en el acondicionamiento del suelo se ha considerado 0.15 Lts/HP/hs, afectado de un factor de 0,85 para considerar las distintas condiciones de trabajo en obra con respecto a las de ensayo de los fabricantes.

## PAVIMENTO DE ASFALTO

**Planta de elaboración del cemento asfáltico:** se realiza una mezcla de agregados de alta calidad y cemento asfáltico líquido, la cual es calentada y mezclada; el agregado constituye más del 92% del peso total de la mezcla. La planta es del tipo de mezcla en tambor de secado con flujo paralelo, ubicada a 10 Km. de la Ciudad de Mendoza. Este tipo de planta tiene la ventaja de capturar en la descarga final del tambor una porción sustancial del polvo del agregado, disminuyendo de este modo la carga del equipo de recolección de material particulado, que en el caso analizado es un sistema de spray de agua. Sin embargo como la mezcla del agregado y el cemento asfáltico líquido se realiza en el seno del flujo de los productos de combustión calientes, las emisiones de compuestos orgánicos (gaseosos y líquidos en aerosol) pueden ser mayores que en otros procesos. Los áridos provienen de canteras ubicadas en el pedemonte de mendocino, a 50 Km de la planta, mientras el cemento asfáltico proviene de la refinería de Bahía Blanca en la provincia de Bs. As. La Tabla N° 1 resume los recursos necesarios para producir 1 ton de pavimento asfáltico.

**Diseño y colocación del pavimento asfáltico:** Los parámetros para el diseño del pavimento son los siguientes:

- Valor soporte de la subrasante, tipo de suelo e intensidad de tránsito según Hipótesis Generales del pliego de licitación.
- La granulometría y el material de aporte de base y sub-base es la misma, y su valor soporte  $K$  es  $18 \text{ kg/cm}^3$ . ( $\text{C.B.R} > 65\%$ )
- Para la verificación de los espesores de las distintas capas se usó el Método C.B.R.
- Los espesores considerados son: Sub-base  $e = 30 \text{ cm}$ ; base  $e = 15 \text{ cm}$ , capa de rodamiento  $e = 5 \text{ cm}$ .

### Procesos involucrados en la colocación del pavimento.

- Excavación del suelo hasta cota de subrasante.
- Acondicionamiento y mejoramiento de suelos: nivelado y compactado de la superficie de apoyo; provisión y colocación de la sub-base y la base; transporte del material (cantera 50 Km); colocación y compactación del material de aporte.
- Riego de imprimación. Asfalto usado EM1, tipo de curado medio
- Riego de liga. Asfalto usado ER1, tipo de curado rápido.
- Colocación de la carpeta asfáltica.
- Procesos de obtención y clasificación de los áridos: Carga, Tamizado y Transporte.
- Mantenimiento superficial con arena y emulsión asfáltica, cada 5 años (6 mantenimientos en el período de 40 años).
- Proceso de re-pavimentación cada 20 años (1 a lo largo del período de evaluación).

La Tabla N° 2 resume los recursos necesarios para la pavimentación de la superficie estudiada.

	ton
áridos	0,9470
cemento asfáltico	0,053210
gas oil	0,004563
fuel oil	0,005400
aceite térmico	0,000135

**Tabla N° 1.** Recursos utilizados para 1 tn de asfalto

gas oil combustible	3,985
kerosene combustible	0,018
kerosene solvente	0,307
nafta solvente	0,323
áridos	928,800
cemento asfáltico	6,683
Agua	156,039
HMA (pavimento asfáltico)	225,600

**Tabla N° 2.** Recursos necesarios para pavimentar la calle (ton)

### PAVIMENTO DE HORMIGÓN

El hormigón consta de cemento, áridos y agua; en la planta se diseña la dosificación adecuada del hormigón de acuerdo al tipo de suelo, intensidad de tránsito y nivel de carga que deberá soportar. La dosificación adoptada posee un contenido de cemento de 350 kg/m<sup>3</sup> (el mínimo permitido por vialidad nacional es 325 kg/m<sup>3</sup>) y una relación agua/cemento igual a 0,45, que respeta la reglamentación vigente. La resistencia a la compresión promediada por secciones debe ser superior a 300 Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de edad. La planta se encuentra ubicada a 13 Km de la Ciudad de Mendoza. Los áridos provienen de las canteras ubicadas en el pedemonte de mendocino, distante 50 Km de la planta, mientras el cemento proviene de una cementera distante 20 km de la Ciudad de Mendoza. La densidad del hormigón es de 2.2 tn/m<sup>3</sup>. Los procesos analizados en la planta fueron:

- Obtención, clasificación y transporte de los áridos desde la cantera a la planta.
- Transporte del cemento a la planta.
- Carga de los áridos y el cemento a la tolva dosificadora.
- Consumo de agua y energía para la preparación de la mezcla en la hormigonera.
- Transporte del hormigón a la obra.

La Tabla N° 3 resume los recursos utilizados en la planta para fabricar 146,8 m<sup>3</sup> de hormigón.

**Diseño y colocación del pavimento de hormigón:** Los parámetros de diseño del pavimento fueron:

- Valor soporte de la subrasante, tipo de suelo, superficie, carga e intensidad de tránsito según las Hipótesis Generales.
- Para el valor soporte de la subrasante (K=2.4) resulta una granulometría igual que la colocada para el pavimento de asfalto. El espesor de la base de acuerdo al método de diseño de pavimentos urbanos propuesto por Instituto del Cemento Portland Argentino (ICPA) es de 10 cm y su valor K para el diseño es de 3.6 kg/cm<sup>3</sup>.
- Para la verificación de los espesores de las distintas capas se usó el citado método del ICPA, con tensión admisible del 50% del módulo de rotura a la flexión (45 Kg/cm<sup>2</sup>). Los espesores considerados son base 10 cm y capa de rodamiento 15.3 cm.

**Procesos involucrados en la colocación del pavimento.**

- Excavación del suelo hasta cota de subrasante.
- Acondicionamiento y mejoramiento de suelos: nivelado y compactado de la superficie de apoyo de la base; provisión y colocación de sub-base y base; transporte del material (cantera 50 Km); colocación y compactación del material de aporte.
- Colocación de la carpeta de hormigón.
- Procesos de obtención y clasificación de los áridos: Carga, Tamizado y Transporte.

La Tabla N° 4 resume los recursos necesarios para la pavimentación de la superficie estudiada con hormigón.

áridos	248,594
cemento	51,408
gas oil	1,286
agua	23,134

**Tabla N° 3.** Recursos en ton para fabricar 146,88 m<sup>3</sup> H°A°

gas oil	1,672
áridos	207,776
hormigón	323,136
agua	50,155

**Tabla N° 4.** Recursos para pavimentar la calle (ton)

### METODOLOGÍA DE ANÁLISIS

El método del Análisis del Ciclo de Vida (ACV) goza de gran aceptación entre la comunidad científica para llevar a cabo evaluaciones de impacto ambiental de productos, sistemas o servicios, y permite realizar comparaciones objetivas considerando todas las fases de su ciclo de vida útil. Se consideran todos los flujos de materia y de energía consumidos y emitidos por el sistema desde la extracción de materia prima, el transporte, la puesta en obra, la operación, el mantenimiento, el desmantelamiento y el tratamiento de los residuos al final de la vida útil. La fase de disposición final no ha sido incluida en este estudio, por falta de valores estadísticos locales atendibles. Por este motivo no se ha considerado el eventual reciclado de los materiales, práctica que por otro lado no es adoptada en la región, y que podría traer beneficios ambientales notables. Si bien es cierto que no siempre el reciclado produce beneficios ambientales y económicos, en el caso de los pavimentos muchas veces estos beneficios se obtienen, en particular cuando el material es reusado en el mismo lugar, o en las cercanías, sin requerir grandes desplazamientos. El asfalto presenta la ventaja de poseer una reciclabilidad alta, y que brinda beneficios económicos en muchos casos. Según un estudio conducido por el Departamento de transporte de los Estados Unidos, cerca del 80 % del pavimento asfáltico removido en ese país es reutilizado en nuevas autopistas, evitando así un enorme volumen de desperdicios en los basurales municipales. El asfalto puede ser reciclado varias veces, sin que existan datos suficientemente antiguos que demuestren

efectos adversos en su durabilidad (DOT 1993). No obstante esto, muchos millones de toneladas de asfalto terminan en las descargas municipales de ese país. También el concreto presenta una reciclabilidad técnicamente factible, mas en la práctica se lo recicla en menor medida que el asfalto, entre otros motivos debido a que las capas viejas de concreto constituyen una excelente base para nuevas capas de asfalto. Por otro lado, existen dificultades para la remoción del concreto al final de su vida útil, en particular cuando posee barras de refuerzo de acero. Otro factor importante a tener en cuenta en la etapa de uso es el mantenimiento de la calle. Distintos estudios demuestran una duración de los pavimentos de concreto muy superior que los de asfalto, pero esta duración es fuertemente dependiente de distintos factores, tales como tipo de uso, calidad de materiales utilizados, substrato, mano de obra empleada, etc. Por otro lado, es difícil encontrar el final de la vida útil de una calle, ya que las sucesivas reparaciones, renovaciones, repavimentaciones, etc, hacen que rara vez una arteria termine su vida útil. En el caso de calles residenciales existe otro factor a tener en cuenta, que es la gran dinámica presente en la infraestructura de un área urbana. Las sucesivas reparaciones, actualizaciones, renovaciones y nuevos agregados de líneas pertenecientes a las distintas redes que sostienen la sociedad urbana, tales como cloacales, eléctricas, telefónicas, de gas, de agua, de televisión por cable, Internet, etc., sumado a la escasa colaboración existente entre los actores involucrados, hacen que muchas veces las calles residenciales sean rotas reiteradas veces mucho antes que alcancen su vida útil. La influencia ambiental de las actividades de mantenimiento dependerá de la cantidad de reparaciones que cada tipo de pavimento requiere, y del efecto que cada reparación produce. De acuerdo a distintos estudios, y a datos aportados por los agentes municipales involucrados en el mantenimiento de las calles, resultaría que las calles de concreto requieren mucho menos mantenimiento que las de asfalto. Dada la dificultad para incorporar estas consideraciones en el estudio, no han sido incluidas, y la comparación se ha efectuado considerando que no existen roturas intencionales en ninguno de los dos tipos estudiados.

.De acuerdo a la ISO 14040, las etapas de un ACV son Definición; Inventario; Evaluación de Impactos e Interpretación.

**Definición del estudio:** *el impacto ambiental producido por la construcción, incluyendo las actividades de mantenimiento y repavimentación, de 100 mts de pavimento en una calle residencial construida en el Parque Central de la Ciudad de Mendoza, con una superficie pavimentada total de 960 m<sup>2</sup>, considerando 40 años de vida útil.* Esta definición determina que los resultados obtenidos serán aplicables sólo a una calle de superficie, espesor y constitución como las de este caso, en igual lapso de tiempo.

**Inventario:** Es la recopilación de información sobre todos los recursos y procesos requeridos y las emisiones producidas para la obtención del producto estudiado. Para la recopilación de datos correspondientes a cada proceso de construcción se ha recurrido donde ha sido posible a los directos involucrados en cada actividad, tales como empresas constructoras, municipios y dirección de vialidad. La falta de datos nacionales sobre las características ambientales de los materiales utilizados ha determinado la necesidad de utilizar bases de datos internacionales, adaptando en cada caso el consumo de energía al mix energético argentino, tomando como base el balance energético del año 96. La creciente estandarización de procesos productivos de los principales productos utilizados, tales como el cemento, hace posible realizar esta simplificación. Se han adoptado por lo tanto valores correspondientes a la media de distintos procesos a nivel internacional. Dado que el objetivo del estudio es realizar un análisis comparativo, y no establecer valores absolutos de impacto, esta elección metodológica resulta aceptable. En el caso de materiales fuertemente influenciados por características locales propias, tales como la extracción de áridos, que en la región considerada son obtenidos sin procesos de trituración, se han considerado datos específicos locales. Para la fabricación de las mezclas de pavimentos utilizados, se han recopilado datos específicos locales, ya sea para la obtención de la mezcla asfáltica caliente (HMA – Hot Mix Asphalt) para el pavimento de asfalto como para el Hormigón en el caso del pavimento de concreto.

**Evaluación de Impactos:** Los resultados obtenidos de la etapa de Inventario del análisis constituyen una gran masa de datos sobre materiales y energía consumida y efluentes producidos, cuya magnitud hace difícil la interpretación. Por este motivo estos resultados se elaboran, asociando cada sustancia consumida o liberada a una categoría de impacto. Este proceso se conoce como Categorización de los impactos, y constituye la primera actividad de la fase de Evaluación de Impactos. En este trabajo se ha adoptado el método EDIP 96 (Wenzel et al 1997). Las categorías de impacto consideradas son: Efecto invernadero (GWP), destrucción de la capa de ozono (ODP); Acidificación (AP); Eutrofización (NP); Formación de ozono fotoquímico (POCP); Toxicidad humana (HT) y Ecotoxicidad (ET). Otras categorías, tales como ruido, vibraciones, impacto visual, emisiones de polvo, influencia del pavimento sobre los vehículos, etc., han sido omitidas por la dificultad de recavar información confiable.

**Interpretación:** es el análisis de los resultados a la luz de los objetivos planteados para el estudio.

## RESULTADOS OBTENIDOS

Cada categoría de impacto analizada se mide en una unidad diferente (por ejemplo kg de CO<sub>2</sub> para la categoría GWP, o kg de SO<sub>2</sub> para AP), y también las magnitudes de cada categoría son notablemente diferentes, lo que imposibilita la representación de los resultados en un único gráfico. Para obviar esta dificultad cada categoría se ha representado en forma porcentual, donde el 100 % es el valor máximo alcanzado en cada categoría. Los resultados correspondientes a la pavimentación para los dos casos analizados se han representado en la Figura 2. En ella se observa que mientras el pavimento de concreto impacta más que el de asfalto en las categorías GWP y AP, el de asfalto resulta más nocivo en las restantes categorías. Es importante notar que si bien se han considerado todos los efectos asociados con los materiales y los procesos requeridos para la construcción de los dos tipos de pavimentos, la comparación no es válida cuando se considera un horizonte temporal de 40 años, ya que las necesidades de mantenimiento y la vida útil de cada uno es diferente. Incluyendo los materiales y procesos requeridos para mantenimiento y repavimentación durante 40 años de vida en el análisis se obtienen resultados diferentes, que han sido representados en la Figura 3. Se observa que la comparación resulta aún más favorable al pavimento de concreto, ya que ahora también en la categoría AP el asfalto impacta más que el concreto, mientras la diferencia de impacto GWP se reducen notablemente con respecto a la Fig. 2.

Un inconveniente que tiene este modo de representación es que no es posible determinar la magnitud relativa entre impactos, ya que todos están representados con respecto al 100 % de cada categoría. Para obtener las distintas categorías en valores comparables se normalizan los resultados, refiriéndolos a las emisiones promedio por habitante que afectan esa categoría a nivel mundial, regional o local. Dado que no existen datos sobre emisiones por habitante para la Argentina, se han utilizado factores de normalización correspondientes a la situación europea para 1990. Los resultados normalizados para la primera pavimentación se han representado en la Figura 4, mientras que en la Fig. 5 se incluyen además las fases de mantenimiento y repavimentación. Se observa que en ambas situaciones hay dos categorías de impacto que han perdido su relevancia para el método adoptado, que son ODP y HT, mientras ET es apreciablemente menor a las restantes categorías. En la Fig. 4 se observa que la producción de fotosmog (POCP) es el efecto más relevante, seguido de cerca por GWP y AP, dos categorías donde el pavimento de concreto es más impactante. Sin embargo, cuando se incluye el mantenimiento y la repavimentación crece el impacto producido por el pavimento asfáltico en todas las categorías, mientras el impacto del pavimento de concreto permanece constante ya que, de acuerdo a las hipótesis planteadas, no requiere de estas actividades (Fig. 5).

Se observa que cada tipo de pavimento impacta más fuertemente en categorías distintas que su alternativa, lo que dificulta establecer cuál es preferible. Por este motivo se realiza una etapa de ponderación, que consiste en asignar un factor de peso a cada categoría, estableciendo así una escala de categorías de impacto. Los factores de ponderación del método EDIP han sido establecidos de acuerdo con los objetivos fijados para el año 2000 para las emisiones por habitante. Los resultados de la ponderación, representados en la Fig. 6, muestran una fuerte diferencia entre ambos pavimentos, mostrando al asfalto como el más nocivo. Una vez ponderados los resultados, es posible rastrear cuáles son los materiales y los procesos que más contribuyen a ese impacto ponderado. Se obtienen así las Fig. 7, 8 y 9, la primera correspondiente al caso del concreto, y las dos últimas al asfalto sin y con mantenimiento y repavimentación respectivamente. En la Fig. 7 se observa que el cemento es el principal responsable del impacto producido por el pavimento de concreto. En la Fig. 8 se observa en cambio que el combustible de las maquinarias, el transporte de los áridos y la infraestructura del transporte, todos procesos asociados con el gran movimiento de áridos requerido en este tipo de pavimento, son los principales responsables del impacto ambiental, seguido mucho después por el asfalto. Cuando se incorpora el mantenimiento y la repavimentación (Fig. 9), la situación se mantiene prácticamente inalterada, cambiando ligeramente la preponderancia relativa entre el transporte de áridos y el combustible de las maquinarias.

## CONCLUSIONES

El estudio muestra que en la calle estudiada el pavimento de asfalto es más nocivo para el ambiente que el de concreto, sobre todo cuando se incluyen las actividades de mantenimiento y repavimentación necesarias para tener duraciones comparables. En el caso del pavimento asfáltico, el elemento que más contribuye a las emisiones es, sorprendentemente, la mayor cantidad de áridos requerida para la subbase y base, por las mayores necesidades de transporte, colocación y excavación del terreno. La base necesaria para el concreto es mucho menor, por lo que resulta ser el cemento el elemento más impactante.

Se destaca además otro factor nocivo asociado con el asfalto, no cuantificado en este estudio, que se refiere a las emisiones producidas una vez construida la calle. En efecto este elemento se mezcla en caliente con los agregados, y durante el mezclado, la colocación y durante algún tiempo una vez finalizada la construcción se producen emisiones de gases que pueden ser perjudiciales para la salud, en particular producen irritación a los ojos, la garganta y el sistema respiratorio de los trabajadores. Entre las muchas sustancias peligrosas contenidas en los asfaltos, y que son emitidas durante su uso, se destacan los hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH), y los compuestos orgánicos volátiles (VOC). La Agencia de Protección Ambiental americana (EPA) ha aceptado que hay 7 PAHs que son probables productores de cáncer para los humanos (EPA 1993) mientras los VOC son conocidos por sus efectos tóxicos y potencialmente carcinógenos. Las máquinas pavimentadoras modernas poseen dispositivos para extraer las emanaciones del asfalto, y proteger así a los trabajadores.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece la valiosa contribución de las siguientes personas e instituciones para suministrar datos utilizados en este trabajo: Sr. Luis Pagliara, PAGLIARA S.A.; Departamento de Proyectos- Dirección Provincial de Vialidad; Departamento de Obras Públicas- Municipalidad de la Ciudad de Mendoza; Ing. A. García Baldisone.

## ABSTRACT

The construction of streets require huge amounts of raw materials and manufactured products, as well as the operation of heavy duty machinery. Also the maintenance and re-paving activities demand for more materials and processes. A first insight into the environmental impact produced during the construction and maintenance of streets is made in this work, using an abridged Life Cycle Assessment as a tool. Two different paving materials are compared, Hot Mix Asphalt and concrete, which are widely used in the region. The case studied is a street belonging to the Central Park area, recently built in the City of Mendoza.

**Key words:** pavements, bitumen, concrete, environmental impact, Life Cycle Assessment.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Dirección Nacional de Vialidad. Pliego General de Condiciones. Sección DI.  
Dirección Provincial de Vialidad. Pliego General de Condiciones. Sección 3.1 y Capítulo 4.  
DOT (1993). *A study of the use of recycled paving material: report to congress*. FHWA-RD-93-147.  
EPA (1993). *Engineering and Environmental aspects of recycled materials for highway construction*. Final FHWA-RD-93-088.  
Instituto del Cemento Portland Argentino. *Pavimentos urbanos de hormigón de cemento Portland*. Ing. L. Colombo  
Wenzel H., Hauschild M., Altling L. (1997). *Environmental Assessment of Products*. Volume 1. Chapman and Hall.

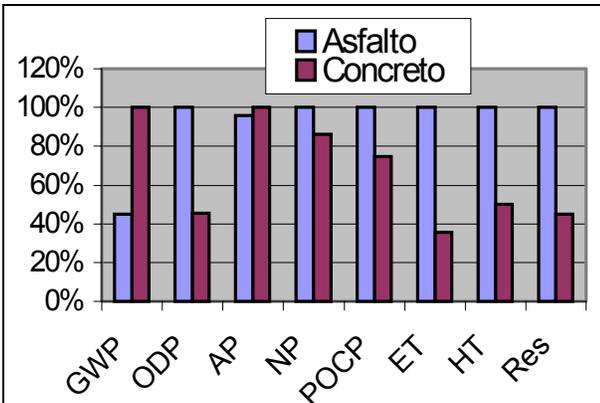


Fig. 2. Caracterización impactos por construcción pavimentos

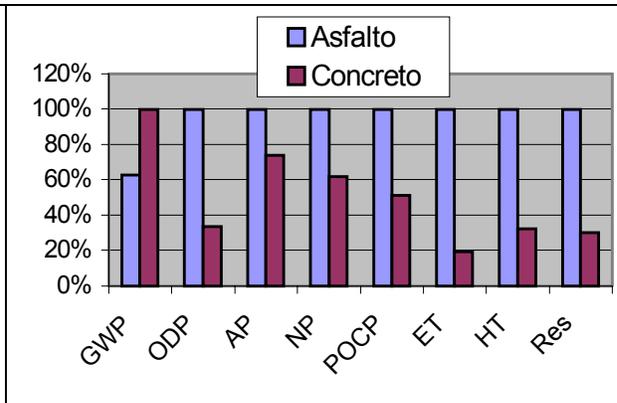


Fig. 3 Caracterización impactos en 40 años de pavimentos

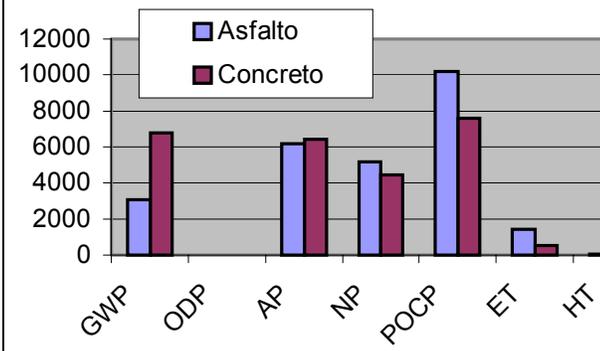


Fig. 4. Normalización impactos por construcción pavimentos

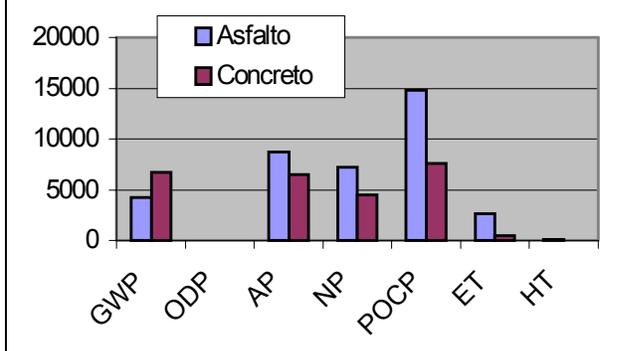


Fig. 5. Normalización impactos en 40 años de pavimentos

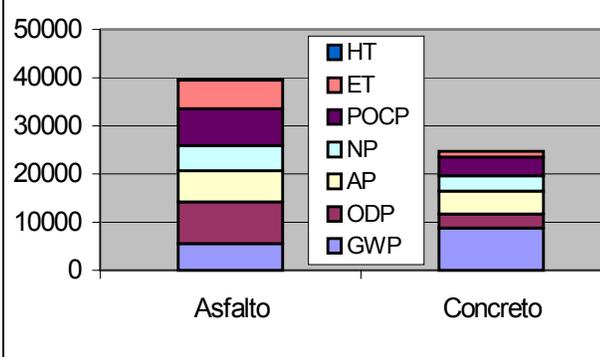


Fig. 6. Comparación ponderada de efectos

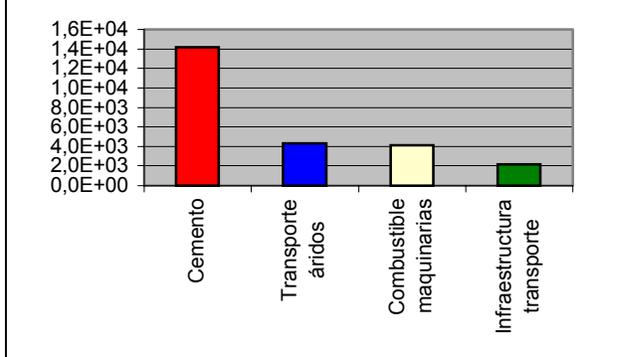


Fig. 7. Contribución procesos pavimentación concreto

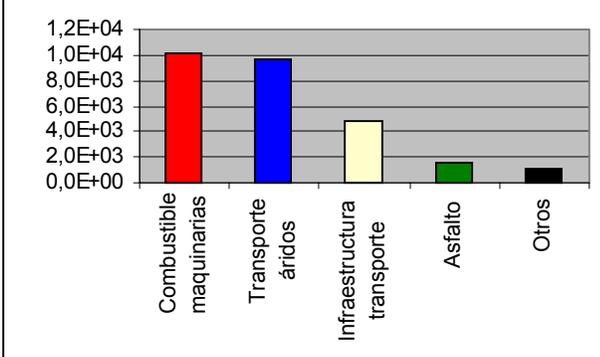


Fig. 8. Contribución procesos primera pavimentación asfalto

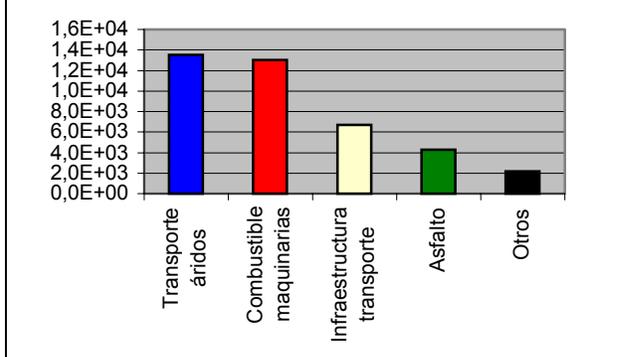


Fig. 9. Contribución procesos 40 años asfalto