



# LA CONTRIBUCIÓN DE LOS PAVIMENTOS DE HORMIGÓN A LA REDUCCIÓN DEL CO<sub>2</sub> DEL TRANSPORTE

Los vehículos pesados que circulan  
sobre pavimentos de hormigón podrán  
ahorrar hasta un 6% en combustible



1. Presentación	1
2. Los pavimentos de hormigón contribuyen a disminuir las emisiones del CO <sub>2</sub> del transporte	2
• Introducción	
• El Análisis del Ciclo de Vida y la importancia del consumo de combustible	
• Factores que influyen en el consumo de combustible	
• Canadá: Consejo Nacional de Investigación (NRC)	
• Reino Unido: Laboratorio de Investigaciones del Transporte (TRL)	
• Suecia: Universidad de Lund, ensayos FWD	
• Suecia: Instituto Nacional de Carreteras y Transporte de Suecia (VTI)	
• Japón: Instituto de Investigación de la Autovía	
• Estados Unidos: Universidad de Texas en Arlington, Conducción en ciudad	
• Estados Unidos: Instituto Tecnológico de Massachusetts, Centro de Sostenibilidad del Hormigón	
3. Un significativo ahorro de costes y CO <sub>2</sub>	8
• Ahorro por km de carretera	
• Ahorro para las empresas de transporte	
• Caso de estudio: La carretera de circunvalación de Amberes	
• Caso de estudio: El transporte de mercancías por carretera en Europa	
4. Principales conclusiones	12
5. Referencias	13

# Presentación

La construcción sostenible, la reducción de la congestión y el consumo de combustible son algunos de los ámbitos de trabajo de nuestra asociación, EUPAVE. Por otro lado, la UE apuesta por el desarrollo de una red de infraestructuras de transporte más sostenible en toda Europa que contribuya a la lucha contra el cambio climático mediante la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Este documento aborda los aspectos comunes a estos dos objetivos y muestra cómo los pavimentos de hormigón pueden contribuir a ello.

Si la longevidad y durabilidad de las estructuras de hormigón son bien conocidas, está igualmente demostrado que los pavimentos de hormigón apenas necesitan mantenimiento, lo que implica que el tráfico sufre menos perturbaciones y, así, se evitan los problemas de congestión. Pero podemos preguntarnos, ¿se ha divulgado correctamente que los firmes de hormigón pueden contribuir a la reducción de las emisiones CO<sub>2</sub>?

El hormigón tiene propiedades muy beneficiosas desde el punto de vista medioambiental que están presentes a lo largo de la vida útil del pavimento: el secuestro de CO<sub>2</sub> por parte del hormigón endurecido; la contribución al enfriamiento de nuestro planeta gracias a la mayor claridad del hormigón que refleja una mayor cantidad de energía solar de vuelta al espacio; y por último, pero no menos importante, la reducción del consumo de combustible de los vehículos pesados que circulan sobre un pavimento indeformable.

Esta publicación destaca este tercer aspecto basándose en una serie de estudios e investigaciones internacionales, y esperamos que también sirva para alentar la puesta en marcha de algún estudio adicional, preferentemente a escala europea, que confirme todos los resultados que demuestran los beneficios de los pavimentos de hormigón.

Estamos convencidos de que esta información será útil para el proceso de toma de decisiones en relación a una red de carreteras sostenible y esperamos que un día pueda ser parte de los procesos de licitación para una contratación pública ecológica.



**Aniceto Zaragoza**  
Presidente de EUPAVE

# Los pavimentos de hormigón contribuyen a disminuir las emisiones del CO<sub>2</sub> del transporte

## Introducción

Según se recoge en la página web de la Dirección General de Acción por el Clima ("DG CLIMA") de la Comisión Europea:

**"El transporte por carretera contribuye, aproximadamente, a una quinta parte del total de emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de la UE, el principal gas de efecto invernadero. Mientras que las emisiones de otros sectores están, por lo general, reduciéndose, las del transporte por carretera han continuado en aumento desde 1990. Deseosa de combatir el cambio climático, la Comisión Europea tiene una estrategia integral diseñada para ayudar a la UE a cumplir su objetivo a largo plazo de limitar a 120 gramos por kilómetro la media de emisiones de CO<sub>2</sub> de los automóviles nuevos para el año 2012 "[1]**

En este sentido, la mayoría de las acciones emprendidas por la Comisión Europea están relacionadas con el segmento de los turismos, como por ejemplo el apoyo a los "coches verdes", "electrificación", etc.

Sin embargo, no podemos olvidar que el transporte de mercancías por carretera produce alrededor del 40% de las emisiones de CO<sub>2</sub> del total del transporte por carretera en Europa. Por este motivo, debe abordarse también la cuestión de las emisiones de CO<sub>2</sub> por parte de los vehículos pesados (camiones, autobuses, etc.). Hasta el momento los estudios e investigaciones que se están llevando a cabo se centran en el campo de las tecnologías de vehículos, incluyendo a los vehículos híbridos y eléctricos, los motores pequeños, etc.

Aunque se está realizando un gran esfuerzo para encontrar soluciones a largo plazo, ya existen estudios en todo el mundo que demuestran un potencial evidente para reducir el CO<sub>2</sub> en el diseño y construcción de pavimentos y que, hoy en día, puede marcar la diferencia. Así, todos los estudios e investigaciones sobre este tema muestran claramente que los firmes rígidos, tales como los firmes de hormigón, reducen significativamente el consumo de combustible en comparación con los firmes flexibles. Los resultados de estos estudios e investigaciones muestran un ahorro sustancial de combustible - hasta del 6% - para los vehículos pesados que circulan sobre pavimentos de hormigón. Los resúmenes de estos estudios se presentan en este documento.

Estos resultados se corresponden con el principio físico de que la resistencia a la rodadura entre una rueda y la superficie sobre la que se apoya es menor cuanto mayor es la rigidez y dureza de ambos (rueda y superficie). De hecho, teóricamente, la menor resistencia a la rodadura se produce entre las ruedas de acero de un tren y el riel de acero sobre el que circula.

A pesar de que los resultados individuales de cada uno de los estudios e investigaciones antes mencionados puedan parecer poco precisos para cuantificar de forma global el ahorro medio de combustible y de emisiones de CO<sub>2</sub>, la conclusión que se extrae al analizarlos de forma conjunta es que la existencia de dicho ahorro es evidente. Este hecho debería suponer una fuerte motivación para que todas las administraciones públicas europeas involucradas fomenten la investigación en este campo con el objetivo de cuantificar el efecto global.





### El Análisis del Ciclo de Vida y la importancia del consumo de combustible [2, 3]

El Análisis del Ciclo de Vida (ACV) tiene por objeto la cuantificación de los impactos ambientales de un determinado producto, proceso o servicio. Para una carretera, el ciclo de vida se puede dividir en varias etapas:

- extracción y producción de materiales;
- fase inicial de construcción,
- mantenimiento y rehabilitación;
- fase de uso,
- final de la fase de uso.

En los proyectos de pavimentación, a menudo se ha centrado el interés en el cálculo de la huella ecológica de la etapa de producción de los diferentes materiales que forman parte del firme, así como de la fase inicial de construcción. Sin embargo, los principales estudios en esta materia hacen referencia a que cualquier evaluación de la sostenibilidad debe tener en cuenta tanto las actividades de mantenimiento así como las emisiones del tráfico durante la fase de uso.

Si tenemos en cuenta una vida útil de diseño entre 20 y 50 años, que es común para carreteras, y las distancias anualmente recorridas por los vehículos, el impacto del tráfico restará relevancia a los impactos derivados de la fase de producción del material o de la fase de construcción.

Dependiendo del volumen de tráfico, su impacto puede ser hasta diez veces superior al del resto de fases del ciclo de vida de la carretera. Por tanto, las medidas destinadas a reducir el consumo de combustible durante la fase de explotación de la carretera son de gran importancia. En el resultado final, no sólo la tecnología del combustible y del automóvil (motor; neumáticos...) tienen una influencia significativa sino también el tipo de pavimento y la calidad de la superficie.

### Factores que influyen en el consumo de combustible

Hay muchos factores que influyen en el consumo de combustible de un vehículo. Algunos de ellos están relacionados con las características del vehículo y su motor o con la resistencia al avance que opone debido a las condiciones aerodinámicas o la pendiente de la carretera. Es en la resistencia a la rodadura donde el hormigón juega un papel clave en el que la interacción rueda-pavimento es de vital importancia.

Algunos estudios han mostrado el impacto de la "calidad" de la superficie de la carretera en la resistencia a la rodadura y por tanto también en el consumo de combustible. La calidad incluye la regularidad superficial, el parcheado, la formación de roderas y de baches o el deterioro de juntas. Este parámetro se expresa a menudo por el Índice Internacional de Rugosidad (IRI). [4]

Por último, el tipo de pavimento también juega un papel importante, y más concretamente su rigidez. La deformabilidad de un pavimento flexible - betún con propiedades viscoelásticas - aumenta la resistencia a la rodadura y, por lo tanto, el consumo de combustible de los vehículos pesados de mercancías que circulan sobre él. Este no es el caso de los pavimentos rígidos de hormigón. La mayor eficiencia de los pavimentos de hormigón frente a los bituminosos en lo referente al consumo de combustible se ha demostrado en varias investigaciones y estudios que se recogen a continuación.

Figura 1: Factores que influyen en el consumo de combustible.

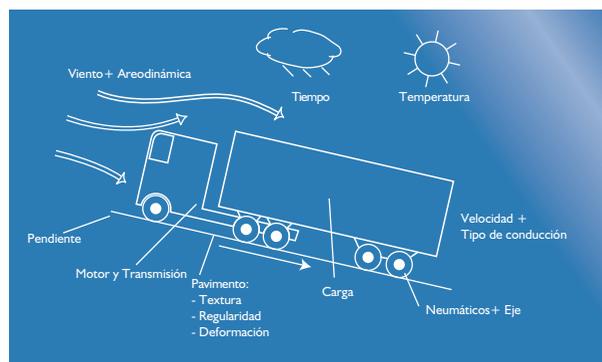




Foto: [5]

### Canadá: Consejo Nacional de Investigación (NRC) [5]

El estudio más conocido es el realizado en Canadá por el Consejo Nacional de Investigación (NRC), que consistió en una serie de cuatro investigaciones que se fueron ampliando progresivamente con ensayos adicionales en diferentes tipos de carreteras y vehículos en las cuatro estaciones del año y usando una amplia variedad de modelos estadísticos. Se observó una reducción del consumo de combustible de los vehículos pesados en firmes de hormigón en todas las etapas de la investigación en comparación con los firmes bituminosos flexibles. La etapa final fue también la más completa y examinó una serie de carreteras con diversos grados de regularidad. Las observaciones hechas durante todas las estaciones del año revelaron grandes diferencias entre ambos tipos de firme.

Se llegó a la conclusión de que “el ahorro de combustible en los pavimentos de hormigón para un tractor-remolque tanto vacío como lleno, variaba entre el 0,8 y el 3,9% en comparación con los firmes bituminosos, siendo la significancia estadística de los resultados superior al 95%”. Sin duda un ahorro medio de combustible del 2,35% no es despreciable y representaría una inmensa diferencia en el consumo total de combustible y las emisiones de gases contaminantes durante la vida útil de una autopista congestionada.

### Reino Unido: Laboratorio de Investigaciones del Transporte (TRL) [6]

En Gran Bretaña se realizó una investigación de laboratorio, encargada por la Agencia de Carreteras y llevada a cabo por TRL (Laboratorio de Investigaciones del Transporte), para determinar el efecto de la rigidez del pavimento en el consumo de combustible.

**Se concluyó que la escasa deformabilidad de los pavimentos de hormigón conduce a una reducción del 5,7% en resistencia a la rodadura, lo que corresponde a un ahorro de combustible de 1,14%**

Sin embargo esta diferencia resultó estadísticamente no significativa. Ahora bien, la diferencia podría haber sido mayor en el caso de que la losa de hormigón utilizada en los ensayos no se hubiera construido en condiciones de laboratorio.

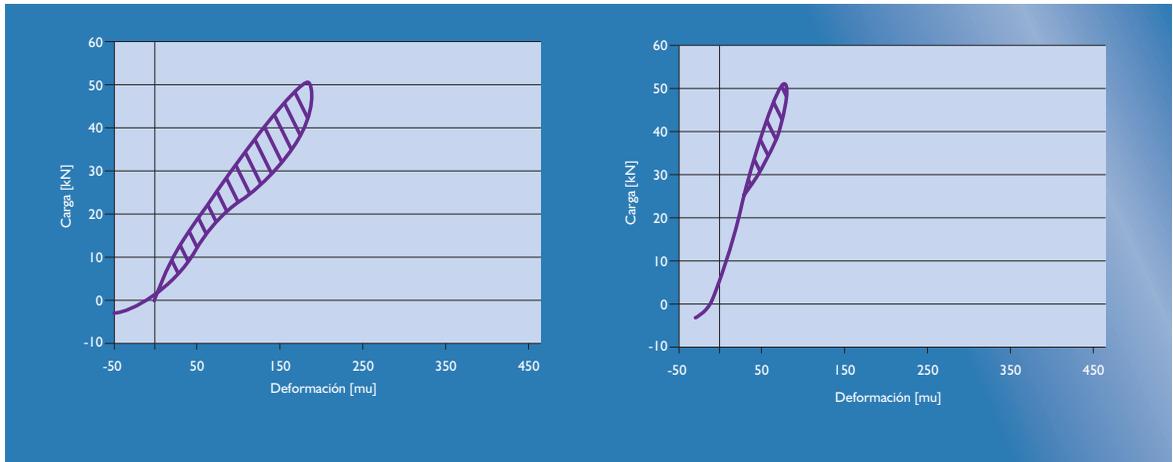
### Suecia: Universidad de Lund, ensayos FWD [7]

Investigadores suecos emplearon el deflectómetro de impacto (FWD) para evaluar las pérdidas de energía por la deformación del pavimento y del sue-



Foto: [7]

Figura 2: La caída de las curvas de histéresis de las pruebas del Deflectómetro de Caída de Peso, 2a para asfalto, 2b para hormigón.



lo. En uno de los ensayos con el FWD, se aplicó una carga dinámica al pavimento dejando caer un peso de 50 kN y las deformaciones del pavimento se midieron a una distancia fija desde el punto de impacto. El lugar de la prueba se encuentra en la autopista 4 a unos 40 km al norte de Uppsala, Suecia.

La figura 2a muestra la gráfica de carga-deformación en un firme bituminoso común. El diagrama muestra una curva de histéresis, lo que significa que una parte de la energía se ha disipado en el interior de la estructura debido al comportamiento visco-elástico del material. La cantidad de pérdida de energía está representada por el tamaño de la zona dentro de la curva.

La figura 2b muestra un gráfico similar para un firme de hormigón y el área de deformación en este caso es mucho menor aquí debido a la rigidez del pavimento. Esto demuestra que hay un gran potencial para el ahorro de combustible si se elige el pavimento adecuado para el tráfico de camiones.

**La energía perdida en el firme bituminoso es aproximadamente cuatro veces mayor que en el firme de hormigón**

#### **Suecia: Instituto Nacional de Carreteras y Transporte de Suecia (VTI) [8]**

El Instituto Nacional de Carreteras y Transporte de Suecia (VTI) también investigó el impacto del tipo de pavimento en el consumo de combustible, a través de mediciones en una autopista del norte de Uppsala, Suecia, donde una autopista incluye tramos tanto bituminosos como en hormigón.

**Para un turismo -Volvo 940- las medidas mostraron un 1,1% menos de consumo de combustible en el pavimento de hormigón en comparación con el pavimento bituminoso.**

Los resultados obtenidos se consideraron estadísticamente significativos. La diferencia se atribuye principalmente a diferencias en la textura

**Las medidas con un vehículo pesado de mercancías (Scania R500 de cuatro ejes + tres ejes de remolque con un peso total de 60 toneladas a una velocidad de 80 km/h) mostraron una media de un 6,7 % menos de consumo de combustible en el pavimento de hormigón en comparación con el pavimento bituminoso.**



Foto:VTI, Suecia [8]

de la superficie (SMA frente a hormigón con árido visto, ambos con un tamaño máximo del árido de 16 mm). Hubo una buena correlación con los resultados de un modelo de cálculo llamado VETO.

La diferencia se atribuye a la menor resistencia a la rodadura, debido a la macrotextura y **parcialmente a la rigidez del hormigón.**

#### **Japón: Instituto de Investigación de la Autovía [9]**

En este estudio, la resistencia al avance -la suma de la resistencia aerodinámica y la resistencia a la rodadura- se midió a través de las pruebas de deceleración de acuerdo con los Estándares Industriales Japoneses (EIJ) D1012. En estas pruebas, un vehículo pesado se aceleraba a una velocidad (por ejemplo, 55 km/h), se cambiaba a punto muerto y luego se dejaba que desacelerase libremente hasta una velocidad de 5 km/h.

La resistencia al avance puede calcularse de la relación velocidad-tiempo y al repetir el ensayo para diferentes velocidades se puede determinar la resistencia a la rodadura.

Se seleccionaron tramos bituminosos y en hormigón prestando especial atención a la longitud y la granulometría de las secciones. Las diferencias en el consumo de combustible se obtuvieron a raíz de las diferencias en la resistencia a la rodadura. **Para unas condiciones de conducción “centro-ciudad” a una velocidad relativamente baja, la tasa de consumo de combustible en el pavimento bituminoso fue de entre un 0,8 y un 3,4% más alto que en el pavimento de hormigón.**

**Para unas condiciones de circulación “centro-ciudad”, a 80 km/h, el ahorro de combustible varía entre el 1,4 y el 4,8%.**

### Estados Unidos: Universidad de Texas en Arlington, Conducción en ciudad [10]

El principal objetivo de este estudio fue investigar las diferencias existentes en el consumo de combustible y las emisiones de CO<sub>2</sub> entre un vehículo a motor circulando sobre un firme bituminoso y el mismo vehículo circulando sobre un firme de hormigón, en ambos casos en condiciones de conducción urbana.

Se seleccionaron dos pares de calles (2 con firme bituminoso- 2 con pavimento de hormigón) en Arlington, Texas. Cada par de calles betún/hormigón tenían pendientes e índices de rugosidad similares. El trazado de las calles era sensiblemente paralelo con el fin de minimizar el efecto de la dirección y velocidad del viento durante los tiempos de medición. Se utilizaron dos modos de conducción diferentes en las pruebas: uno, a una velocidad de cruce constante de 30 millas por hora y el otro, un movimiento uniformemente acelerado de 0 a 30 millas por hora en 10 segundos. El vehículo de prueba fue una furgoneta Chevy Astro de aproximadamente 1.360 kg.



Fotos: [10]

Los resultados mostraron que las tasas de consumo de combustible por unidad de distancia eran considerablemente inferiores en las secciones de hormigón, independientemente de los tramos de ensayo, modo de conducción y condiciones superficiales (seca vs húmeda). En todos los casos, las diferencias resultaron ser estadísticamente significativas con un nivel de confianza superior al 90%.

La comparación entre un firme continuo de hormigón armado y un firme bituminoso mostró un ahorro de entre el 3 y el 8,5% a favor del firme de hormigón. Cabe mencionar que en el segundo caso, se registraron diferencias aún mayores, pero teniendo en cuenta la masa limitada del vehículo de ensayo, éstas muy probablemente se debieron a características de la superficie tales como la textura y la regularidad transversal.

### Estados Unidos: Instituto Tecnológico de Massachusetts, Centro de Sostenibilidad del Hormigón (CSH) [11]

De un reciente estudio llevado a cabo por CS-Hub@MIT se derivó un modelo mecánico cuantitativo de Interacción Pavimento-Vehículo (IPV) para relacionar el consumo de combustible con los parámetros de diseño estructural, tales como el espesor del pavimento y propiedades del material (la rigidez, la viscosidad, la fuerza de la capa superior y el subsuelo). El modelo se calibró y validó.

Un hallazgo clave de este modelo es que, con todos los parámetros en igualdad, **los pavimentos bituminosos necesitan ser entre un 25 y un 60% más gruesos para mostrar la misma eficiencia en consumo de combustible que los pavimentos de hormigón.**

Las relaciones funcionales obtenidas entre el consumo de combustible, el diseño estructural y los parámetros de los materiales, han resultado ser de utilidad para los proyectistas y los encargados de la toma de decisiones, proporcionando una herramienta que permita optimizar el comportamiento de la red vial en lo referente al consumo de combustible y a las emisiones de gases de efecto invernadero.

# Un significativo ahorro de costes y de CO<sub>2</sub>

**El posible impacto ambiental de la fase de explotación derivado del volumen de tráfico puede ser hasta 100 veces mayor que el impacto producido por la construcción y el mantenimiento juntos. Así, en esta fase es posible una mayor y más eficaz reducción del impacto ambiental de una carretera. Aunque las diferencias en el ahorro de combustible entre los tipos de pavimento parezcan pequeñas, la diferencia global es significativa.**

Algunos ejemplos numéricos y casos de estudio que se exponen a continuación ayudarán a demostrar esta afirmación.

La pregunta que hay que responder es la cuantía de ahorro total que suponen los porcentajes de ahorro de combustible relativamente bajos que han establecido los estudios e investigaciones anteriormente detallados. ¿Cuánto combustible, dinero y emisiones se pueden ahorrar?

Con el fin de hacer una cuantificación exhaustiva, se hacen las siguientes hipótesis basadas en los datos disponibles en el momento de elaboración de este documento:

- El precio del combustible (diesel) de 1,5 euros/l

- Los factores de conversión de emisiones de combustible (emisiones por litro diesel) son:
  - o Óxidos de nitrógeno NO<sub>x</sub> 25 a 28 g/l
  - o Partículas PM 0,2 a 0,4 g/l
  - o Hidrocarburos HC 0,4 a 1g/l
  - o Monóxido de carbono CO 1 a 7 g/l
  - o Dióxido de carbono CO<sub>2</sub> 2,7 kg/l
  - o Azufre S 0,1 g/l

El ahorro de combustible para los vehículos pesados (pavimentos rígidos versus flexibles - cargados y en vacío- a 60 y a 100 km/h- en diferentes estaciones del año) varía del 1 al 6%.

En términos de litros de combustible ahorrado, se utilizarán los datos del estudio realizado por el Consejo de Investigación Nacional de Canadá, puesto que es el más completo y mejor documentado. **Las diferencias medidas supusieron un ahorro medio de 0,45 litros a los 100 km**, lo que, teniendo en cuenta todos los resultados disponibles, es un planteamiento razonable.

## Ahorro por km de carretera

A continuación se calcula el ahorro por km de carretera. Se ha tenido en cuenta una carretera de 100 km de longitud con un tráfico medio diario de vehículos pesados de mercancías de 5.000 a 15.000.

Tabla 1: Carretera.

Km de carretera	IMD de pesados por día	Direcciones	Ahorro de combustible l/100 Km	Precio del diesel €/l	CO <sub>2</sub> kg/l
100	5.000	2	0,45	1,5	2,7
100	10.000	2	0,45	1,5	2,7
100	15.000	2	0,45	1,5	2,7

Litro de diesel	Ahorro diario		Litro de diesel	Ahorro anual	
	Costes (€)	CO <sub>2</sub> (kg)		Costes (€)	CO <sub>2</sub> (kg)
4.500	6.750	12.150	1.642.500	2.463.750	4.434.750
9.000	13.500	24.300	3.285.000	4.927.500	8.869.500
13.500	20.250	36.450	4.927.500	7.391.250	13.304.250

Ahorro a lo largo de 30 años de vida útil de la carretera		
Litro de diesel	Costes (€)	CO <sub>2</sub> (kg)
49.275.000	73.912.500	133.042.500
98.550.000	147.825.000	266.085.000
147.825.000	221.737.500	399.127.500

**Se concluye que cada kilómetro de carretera con firme de hormigón puede reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, derivadas del consumo de combustible, entre 1.000 y 4.000 toneladas durante sus 30 años de vida útil frente a un pavimento flexible.**



### Ahorro para las empresas de transportes

La visión de una empresa de transporte nacional o internacional en estos temas también es importante. Teniendo en cuenta que los camiones circulan el 80% de su tiempo sobre pavimentos flexibles, la siguiente tabla muestra el ahorro potencial para las empresas propietarias de entre 1 y 1.000 vehículos pesados para el transporte de mercancías.

Así, por ejemplo, una empresa con 20 vehículos pesados, que recorran de media 100.000 kms anuales, ahorrará 13.500€ al año para el consumo de combustible y precio establecido.

Tabla 2: Empresa de transporte.

Nº Vehículos pesados	km por año/vehículo pesado	Total km/año	Circulación sobre pavimento flexible	Ahorro combustible (l/100km)	Precio diesel €/l	CO <sub>2</sub> kg/l
1	100.000	100.000	80%	0,45	1,5	2,7
10	100.000	1.000.000	80%	0,45	1,5	2,7
20	100.000	2.000.000	80%	0,45	1,5	2,7
50	100.000	5.000.000	80%	0,45	1,5	2,7
100	100.000	10.000.000	80%	0,45	1,5	2,7
200	100.000	20.000.000	80%	0,45	1,5	2,7
500	100.000	50.000.000	80%	0,45	1,5	2,7
1.000	100.000	100.000.000	80%	0,45	1,5	2,7

Litro de diesel	Ahorro por año	
	Costes (€)	CO <sub>2</sub> (kg)
450	675	1.215
4.500	6.750	12.150
9.000	13.500	24.300
22.500	33.750	60.750
45.000	67.500	121.500
90.000	135.000	243.000
225.000	337.500	607.500
450.000	675.000	1.215.000



### Caso de estudio: La carretera de circunvalación de Amberes

La carretera de circunvalación de Amberes (Bélgica) se rehabilitó entre 2004-2005. Tras un análisis de ciclo de vida y multicriterio, se decidió utilizar un pavimento de hormigón en su mayor parte. Comprende de 4 a 7 carriles por calzada de aproximadamente 12 km cada una. La administración de carreteras buscaba un pavimento de larga duración que requiriese un mantenimiento mínimo. Sin embargo, en ese momento desconocían que esta opción, además, ahorraría a la sociedad combustible, dinero y emisiones.



La IMD de pesados asciende a 14.000 vehículos pesados/día por sentido. Esta media fue obtenida a partir de 32 puestos de control de tráfico e incluye fines de semana y periodos vacacionales (datos de 2010). Sólo se consideran como vehículos pesados a aquellos cuya longitud sea superior a 6,9 m, para así excluir a turismos, camiones ligeros y furgonetas. De hecho, estos camiones son la prueba de que la deformabilidad del pavimento es la variable más influyente en el consumo de combustible de los vehículos.

**Teniendo en cuenta un flujo de tráfico intenso, el ahorro se vuelve considerable incluso para una longitud pequeña como son 12 km. No sólo se consiguen reducciones de emisiones de CO<sub>2</sub>, sino también de otras emisiones nocivas, como el óxido de nitrógeno y partículas en suspensión.**

Tabla 3: Carretera de circunvalación de Amberes.

km de carreteras	IMD de pesados	Sentido	Ahorro combustible (l/100km)		Precio diesel €/l	CO <sub>2</sub> kg/l	
12	14.000	2	0,45		1,5	2,7	
Ahorro diario							
Litro de diesel	Costes (€)	CO <sub>2</sub> (kg)	NOx (kg)	PM (kg)	HC (kg)	CO (kg)	SO <sub>2</sub> (kg)
1.512	2.268	4.082	40	0	1	6	0
Ahorro anual							
Litro de diesel	Costes (€)	CO <sub>2</sub> (kg)	NOx (kg)	PM (kg)	HC (kg)	CO (kg)	SO <sub>2</sub> (kg)
551.880	827.820	1.490.076	14.625	166	386	2.208	55
Ahorro a lo largo de una vida útil de 30 años							
Litro de diesel	Costes (€)	CO <sub>2</sub> (kg)	NOx (kg)	PM (kg)	HC (kg)	CO (kg)	SO <sub>2</sub> (kg)
16.556.400	24.834.600	44.702.280	438.745	4.967	11.589	66.226	1.656

### **Caso de estudio: El transporte de mercancías por carretera en Europa**

En Europa, el transporte nacional e internacional de mercancías por carretera representó, aproximadamente, 1,88 billones de toneladas-kilómetros (2.006) [12]. Considerando una carga media de mercancías de 10 toneladas, la distancia que los vehículos pesados recorren es de 188.000 millones de kilómetros.

**De acuerdo con los resultados de la investigación del Consejo Nacional de Investigación de Canadá, un menor consumo de 0,45 litros/100 km de diésel implica el siguiente ahorro:**

- **636 millones de litros de diesel al año**
- **1.269 millones € al año**
- **2,25 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> al año**

**Incluso si se considera la menor de las diferencias demostradas en el consumo de combustible (0,2 litros cada 100 kilómetros), se obtiene un importante ahorro:**

- **376 millones de litros de diesel al año**
- **564 millones de € al año**
- **1.000.000 toneladas de CO<sub>2</sub> al año**

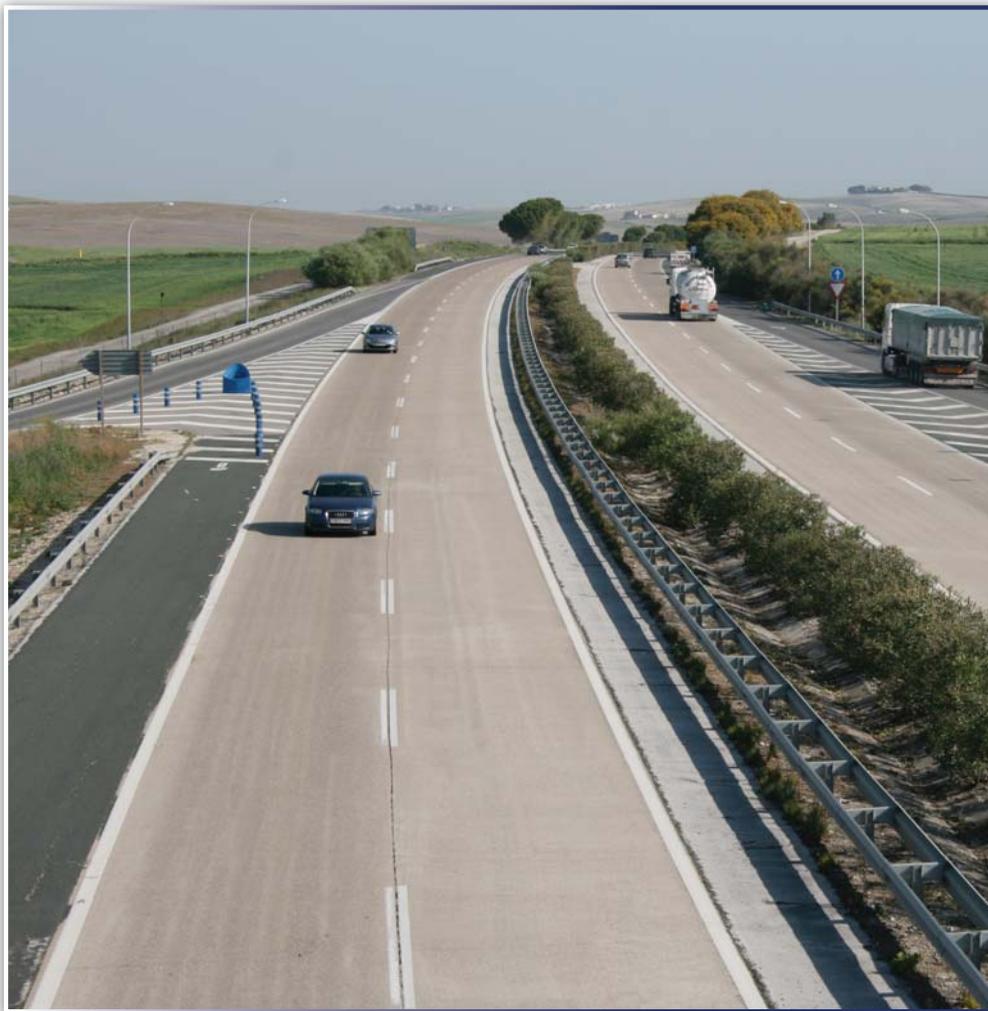


Foto: Oficemen

## Principales conclusiones

Se ha investigado el consumo de combustible de turismos y de vehículos pesados considerando diferentes parámetros. Entre otros factores que afectan al consumo de combustible, el tipo de pavimento –más concretamente su rigidez- se ha cuantificado a través de varios proyectos de investigación:

- El estudio del Consejo Nacional de Investigación de Canadá demuestra que el ahorro de combustible en los pavimentos de hormigón se reduce entre un 0,8% y un 3,9 % con respecto a los firmes bituminosos.
- El Laboratorio de Investigación del Transporte concluyó que la menor deformabilidad de los pavimentos de hormigón conlleva un ahorro de combustible del 1,1%.
- Los investigadores suecos demostraron que hay un gran potencial de ahorro de combustible si se elige el tipo de pavimento adecuado para el tráfico de camiones, puesto que la energía perdida sobre un firme de hormigón es cuatro veces menor que sobre un firme bituminoso debido al comportamiento viscoelástico de este último.
- La investigación del Instituto Nacional de Carreteras y Transporte sueco demostró un menor consumo de combustible de entre un 1,1% y un 6,7% en un firme de hormigón en comparación con un firme bituminoso, lo que se debe a la mayor rigidez del firme de hormigón.

- Investigadores japoneses demostraron que la tasa de consumo de combustible para un pavimento bituminoso es de entre un 0,8% y un 4,8% mayor que la del pavimento de hormigón para los diferentes modos de conducción mencionados.
- Una investigación en EE.UU. demostró que las tasas de consumo de combustible por unidad de distancia fueron consistentemente menores (entre 3 y el 17%) en los tramos de hormigón, independientemente del ensayo realizado, el modo de conducción y condiciones superficiales (seca vs húmeda).
- El Instituto de Tecnología de Massachusetts desarrolló un modelo de interacción vehículo-pavimento que demuestra que los pavimentos bituminosos necesitan ser entre un 25 y un 60% más gruesos para alcanzar el mismo nivel de consumo de combustible que los pavimentos de hormigón.

Todos los estudios e investigaciones relacionados con el transporte de cargas pesadas llevan a la conclusión de que el consumo de combustible es menor en pavimentos de hormigón en un rango de entre el 1 y el 6% en comparación con los pavimentos bituminosos.

Los pavimentos de hormigón regulares no son sólo la opción más favorable en términos de coste a lo largo del ciclo de vida completo, sino que además, son una solución fácil y efectiva para la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> que provienen del transporte de mercancías por carretera.



Foto: P. de Winne

## Referencias

1. Comisión Europea, Acción por el Clima. <http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles>
  2. MILACHOWSKI C., STENGEL T., GEHLEN C. Life cycle assessment for road construction and use, 11<sup>th</sup> International Symposium on Concrete Roads, Seville, Spain, 2010.
  3. WATHNE L. Sustainability opportunities with pavements: are we focusing on the right stuff?, 11<sup>th</sup> International Symposium on Concrete Roads, Seville, Spain, 2010.
  4. AMOS D. Pavement smoothness and fuel efficiency: an analysis of the economic dimensions of the Missouri Smooth Road Initiative. Prepared for the Missouri Department of Transportation, December 2006.
  5. TAYLOR G.W.; FARREL P.; WOODSIDE A. Effects of pavement structure on vehicle fuel consumption. Phase III – prepared for Natural Resources Canada Action Plan 2000 on Climate Change and Cement Association of Canada by the National Research Council of Canada, January 2006.
  6. BENBOW E.; IAQUINTA J.; LODGE R.; WRIGHT A. Investigation of the effects of pavement stiffness on fuel consumption. – Published project report PPR 253, Transport Research Laboratory Limited, U.K., July 2007.
  7. LENGRENN C.A., FALDNER L. Fuel cost considerations regarding truck rolling resistance on different pavement types, 11<sup>th</sup> International Symposium on Concrete Roads, Seville, Spain, 2010.
  8. HULTQVIST B.-A. Measurements of fuel consumption on an asphalt pavement and a concrete pavement in Sweden, 11<sup>th</sup> International Symposium on Concrete Roads, Seville, Spain, 2010.
  9. YOSHIMOTO T., KAZATO T., HAYAKAWA I. Effect of pavement type on rolling resistance and fuel consumption of heavy-duty vehicles, 11<sup>th</sup> International Symposium on Concrete Roads, Seville, Spain, 2010.
  10. ARDEKANI S.A., SUMITSAWAN P. Effect of pavement type on fuel consumption and emissions in city driving. Final research report submitted to the Ready Mixed Concrete Research & Education Foundation by the University of Texas, Arlington, March 2010.
  11. SANTERO N., LOIJOS A., AKBARIAN M., OCHSENDORF J. Methods, Impacts, and Opportunities in the Concrete Pavement Life Cycle. Concrete Sustainability Hub, Massachusetts Institute of Technology, August 2011.
  12. Vademécum de la Comisión Europea del transporte de mercancías por carreteras, Dirección General de Energía y Transportes, marzo de 2009.
- European Road Statistics 2010, European Union Road Federation, Brussels, 2010.



Foto:A. Jasienski

Publicado en diciembre 2011

Foto de la portada: W. Kramer

Todas las fotografías son de L. Rens, a menos que se indique lo contrario

Con los pavimentos de hormigón  
optimizamos la sostenibilidad,  
fiabilidad y resistencia a los cambios  
climatológicos de las infraestructuras.



Publicado por:



**EUPAVE**  
European Concrete Paving Association  
Vorstaan 68, Boulevard du Souverain  
1170 Bruselas, Bélgica  
T.: +32 2 790 42 06  
info@eupave.eu  
www.eupave.eu

Traducido por:



**OFICEMEN**  
Agrupación de Fabricantes de Cemento de España  
C/ José Abascal, 53 – 1º  
28003 Madrid, España  
T.: +34 91 441 16 88  
info@oficemen.com  
www.oficemen.com



**IECA**  
Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones  
C/ José Abascal, 53 – 1º  
28003 Madrid, España  
T.: +34 91 442 93 11  
tecnico@ieca.es  
www.ieca.es