



CONAMA10
CONGRESO NACIONAL
DEL MEDIO AMBIENTE

COMUNICACIÓN TÉCNICA

Avances en el diseño de una metodología de evaluación de la Huella Energética de una autopista y el tráfico asociado

Autor: Ruben Laina Relañó

Institución: OHL (Obrascon-Huarte-Lain)

e-mail: rlaina@concesiones.com

RESUMEN

En el marco del Proyecto OASIS (Operación de Autopistas Seguras, Inteligentes y Sostenibles) promovido por las principales empresas concesionarias españolas (OHL Concesiones, IRIDIUM y ABERTIS) y cofinanciado por el programa CENIT del CDTI, y con el trabajo del Departamento de Construcción y Vías Rurales y el Centro de Investigación TRANSyT, ambos de la UPM, se está desarrollando una metodología para la determinación de la Huella Energética (HE) de una autopistas y el tráfico asociado en el ciclo de vida de la infraestructura. Este indicador se enmarca dentro de los estudios de impactos ambientales que se han ido incorporando en la normativa española y europea y se ha tomado como referencia la definición de 'huella ecológica' como medida de la sostenibilidad ambiental, tal y como publicaron Wackernagel et al en 1996. Los objetivos pasan por diseñar una herramienta para la comparación de alternativas de proyecto en la fase de licitación, incluso en etapa anterior de planificación, y para evaluar las alternativas de operación de un proyecto dado, considerando la gestión del tráfico y la conservación de la vía. Se han estudiado e incorporado criterios de metodologías que pueden tomarse como referencia, normativas españolas o internacionales como las normas ISO (análisis de ciclo de vida, UNE EN ISO 14044), de sectores que ya han implantado herramientas de evaluación energética, la herramienta VERDE (GBC España) en edificación o metodologías de evaluación de la sostenibilidad del transporte aplicadas en otros países (Material Input per Service, Rithoff et al 2002). La evaluación conjunta de la infraestructura y su tráfico a lo largo de su ciclo de vida es la parte más innovadora de esta tarea. Actualmente no existe normativa alguna a nivel europeo para la clasificación energética de autopistas y tampoco a nivel científico estudios globales del ciclo de vida desde la visión planteada en este proyecto. La comunicación técnica presentará los principales resultados y avances logrados en esta tarea del proyecto OASIS.

Palabras Clave: Huella energética, autopista, ciclo de vida, tráfico.

1.- INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES.

El Proyecto OASIS (Operación de Autopistas Seguras, Inteligentes y Sostenibles) es una iniciativa de investigación público-privada liderada por las empresas concesionarias OHL Concesiones, Abertis e IRIDIUM y cofinanciado por el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial dependiente del Ministerio de Ciencia e Innovación. El principal objetivo del proyecto es provocar un cambio cualitativo y cuantitativo en la redefinición de la Operación de Autopistas, mejorando los estándares de seguridad, operación y sostenibilidad.

Una de las líneas de trabajo del proyecto, desarrollada por dos equipos de investigación de la Universidad Politécnica de Madrid: TRANSyT y Departamento de Construcción y Vías Rurales, busca mejorar la eficiencia energética de las autopistas, considerando necesariamente el tráfico asociado a ellas. El objetivo se concreta en el diseño de una metodología que permita medir y discriminar autopistas en función de su eficiencia energética. Este objetivo está en consonancia con iniciativas políticas y legislativas a nivel nacional y europeo. Se busca la definición de un indicador energético dentro de los estudios de impactos ambientales que se han ido incorporando en la normativa española y europea. Estudios surgidos como instrumento para la preservación de los recursos naturales y la defensa del medio ambiente.

La comisión Europea en la revisión de 2006 del Libro Blanco apunta a una necesaria mejora de la eficiencia en el sector transportes y en Libro Verde de 2005 se indica el objetivo de reducir un 20% el consumo de energía global de forma económicamente rentable. La Estrategia Española de Ahorro y Eficiencia Energética y su Plan de Acción (2008/2012) contemplan la necesaria mejora del sector transportes. Este sector es uno de los que más rápidamente ha crecido en los últimos 20 años en España, aumentando la demanda de energía en un 54% y las emisiones de Gases de Efecto Invernadero en un 66% en el periodo 1990-2004 (Perez-Martínez y Monzón, 2007). El transporte por carretera es el más importante dentro del sector, supone el 90% de los viajeros-km y el 85% de las toneladas-km. Existe una preocupación creciente por desvincular la demanda del transporte y el crecimiento económico. Preocupación ya recogida en la evaluación ambiental estratégica del Plan Estatal de Infraestructuras que consideraba la necesidad de aumentar la eficiencia energética a través de la innovación e investigación.

A nivel internacional existen diversas iniciativas con el objetivo de evaluar la sostenibilidad en organizaciones, como la creada en 1997 por la Comisión Mundial del Medio Ambiente y el Desarrollo (WCED, siglas en inglés) denominada Global Reporting

Initiative para establecer un marco donde evaluar la sostenibilidad. De forma más concreta en los EEUU ya se ha desarrollado un sistema de certificación de estándares de sostenibilidad aplicado a proyectos específicos de autopistas para su fase de diseño y construcción con 108 ítems valorables. Greenroads es un sistema de certificación de carácter voluntario y fue diseñado por la Universidad de Washington.

En el campo científico, a nivel internacional y enfocados en la obra civil de la vía existen estudios aplicando la metodología de Análisis de Ciclo de Vida para la evaluación de elementos parciales de las autopistas, como por ejemplo los firmes (Huang, 2009, Zapata, y Gambatese, 2005) o incluso para evaluar la propia infraestructura en su conjunto en Finlandia (Mroueh *et al* 2000), en Francia (Cimbeton, 2004).

Por otro lado, centrándose en el transporte, se encuentran estudios a escala nacional para evaluar de forma comparativa modalidades de transporte con la metodología ACV como por ejemplo la aplicación en el caso holandés (Van Wee *et al*, 2004) o al caso australiano (Lenzen, 1999). Con un ámbito de estudio más específico se encuentran estudios como el de los autores Lutsey y Sperling (2005), que evalúan el ahorro de combustible y las implicaciones políticas, que supondría el cambio de la regulación de los vehículos pesados de mercancías en EEUU y la utilización de camiones de altas prestaciones (capacidad en peso y volumen, longitud, cargas por eje, etc.) o en el Reino Unido la comparación de rutas para turismos según su demanda energética (Burgess y Choi, 2003).

2.-METODOLOGÍA GENERAL: BASES DE PARTIDA

En esta línea de trabajo se han estudiado e incorporado criterios de metodologías que pueden tomarse como referencia, normativas españolas o internacionales como las normas ISO (análisis de ciclo de vida, UNE EN ISO 14044), de sectores que ya han implantado herramientas de evaluación energética, la herramienta VERDE (GBC España) en edificación o metodologías de evaluación de la sostenibilidad del transporte aplicadas en otros países (Material Input per Service, Rithoff *et al* 2002).

La centralidad del objeto de análisis es la Operación de una autopista, considerando su construcción y deconstrucción, y de forma más relevante, el tráfico asociado. La certificación Greenroads de EEUU ya apunta que para un periodo de 40 años, el coste energético de las labores de mantenimiento de la vía es igual al de la construcción y que

el consumo energético del tráfico asociado a la vía de 1 o 2 años es igual al invertido en la construcción. Esta herramienta metodológica busca identificar los elementos de la vía con mayor coste energética, y de forma más novedosa, valorar la incidencia de las decisiones tomadas en las fases de diseño, construcción y operación de la vía en la demanda de energía del tráfico asociado.

2.1.- BASES PARA LA EVALUACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO DE LA INFRAESTRUCTURA

- La consideración de la energía consumida en la fabricación, transporte y puesta en obra de los materiales. Se contará con información proporcionada por las empresas concesionarias participantes, por bases de datos como las del Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya denominada BEDEC y por publicaciones específicas de materiales y puesta en obra.

- La definición y caracterización energética de unidades funcionales elementales en las que cualquier autopista se puede descomponer. La Norma ISO 14040 define unidad funcional como la “cuantificación de la función de un sistema del producto, servicio o actividad, que se utiliza como unidad de referencia en el estudio de ACV”. En esta misma norma, el concepto de sistema aparece definido como “conjunto de procesos unitarios conectados material y energéticamente que realizan una o más funciones”.

- Las unidades funcionales (UF) definidas en esta metodología son secciones homogéneas del trazado de la vía que incluye todos los elementos constructivos estructurales, de señalización y servicios asociados. En el caso de la autopista, las unidades funcionales se basan únicamente en su diseño geométrico, no en los materiales a usar. A modo de ejemplo un tramo recto de longitud determinada de autopista constituiría una UF, distinta de por ejemplo la misma longitud de vía en túnel. Cada UF además comprendería una serie de variantes según se definan ciertas características: número de carriles, pendiente, tipo de firme, tipo de iluminación... De forma necesaria el usuario de esta herramienta deberá definir el escenario donde se ubica la vía. El escenario es el conjunto de parámetros impuesto por el medio y que condiciona las características de la vía. El escenario estaría compuesto por la orografía, la geología, la climatología, accesos, la intensidad de tráfico de vehículos pesados,... La definición previa del escenario y la división en UF es la estrategia metodológica elegida para simplificar la aplicación del modelo sin perder capacidad de análisis y comparación en la búsqueda de la mejor combinación desde el punto de vista energético en el diseño de una autopista y, sobre todo, que permita una prognosis global de la vía. Del estudio de

casos concretos de autopistas existentes se han definido nueve grandes grupos o sistemas con características muy diferentes en cuanto a su construcción, mantenimiento y deconstrucción. Estos nueve grupos se agrupan en 3 categorías:

- Aquellos que tienen que ver con una sección de carretera y su firme. Conforman los tres primeros grupos de Unidades Funcionales: Tronco; Accesos; Rotondas.
- Las estructuras de la autopista. Conforman los cuatro siguientes grupos de Unidades Funcionales: Puente; Túnel; Paso Inferior; Paso Superior
- Los edificios o elementos construidos para servicio y mantenimiento a parte de edificación. Son los dos últimos tipos de Unidades Funcionales: Peaje, Edificios.

Estos nueve sistemas tienen unas características fijas, y unas cualidades que son variables dentro de la Unidad Funcional. Estas son: el radio de curvatura, la iluminación y la pendiente del terreno. Para cada Unidad Funcional se definirán así mismo tres subcapítulos: en terreno llano, terreno ondulado y terreno muy ondulado.

- La aplicación de la metodología del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) a la vía. Ello permite el análisis, diagnóstico y propuestas de mejora globales de productos, procesos y servicios asociados a la autopista. Está siendo aplicada para el estudio y valoración de muchos y diversos sistemas e intenta reducir el impacto del sistema estudiado sobre el medio, y su aplicación a una infraestructura como la autopista es una novedad. En el caso que nos ocupa, el desarrollo del ACV contemplará el ciclo de vida completo de la autopista: diseño, construcción, explotación y mantenimiento, y desmantelamiento final. En este caso, se asociará a cada uno de las UF un consumo energético para obtener el impacto energético total, que es el objetivo del análisis. Este se estructura de acuerdo a los procesos y metodologías reconocidos por la normativa (ISO, EN, UNE).

2.2.- BASES PARA LA EVALUACIÓN ENERGÉTICA DEL TRÁFICO ASOCIADO:

- **Se evaluará el consumo energético del tráfico asociado a la vía a partir de las ecuaciones físicas como la elaborada por Burgess y Choi (2003), y empíricas que relacionan consumo de un vehículo con velocidad media de circulación y pendiente de la vía, publicadas por la Agencia Europea de Medio Ambiente en el modelo COPERT (Ntziachristos, 2000). Este modelo está basado en la descripción de la flota de vehículos y una serie de parámetros genéricos como son la velocidad, la distancia media recorrida por vehículo y la tipología de conducción. Es necesario es considerar también los factores de carga de los vehículos: el**



38,5% de las operaciones de los camiones articulados se realizaron al 100% de carga, 38,5% de las operaciones a media carga y 22,9% de las operaciones en vacío. Los factores de carga fueron similares para los camiones rígidos: 37,5% de viajes a la mitad de la capacidad de carga, 37,5% a capacidad máxima y 25% de los camiones kilómetros recorridos en vacío. Los factores de carga considerados para los autobuses son los siguientes: 31% vehículos kilómetro en vacío y 69% con viajeros (de los cuales la mitad corresponde a la capacidad máxima del autobús).

Se está estudiando la posibilidad de integrar nuevos parámetros que afectan al consumo como la rugosidad del firme extraído de estudios específicos.

La ecuación matemática de tendrá la forma de la ecuación 1.

$$(1) \quad f_i = \frac{\text{Consumo}}{\text{Kilómetro}} = a_{0,i} + \frac{a_{1,i}}{V} + a_{2,i}V^2 + a_{3,i}m + a_{4,i}r$$

donde $a_{0,i}$, $a_{1,i}$, $a_{2,i}$, $a_{3,i}$, $a_{4,i}$ son coeficientes de consumo a calibrar que dependen de la clase de vehículo i , v es la velocidad de los vehículos en km/h, m es la pendiente de la carretera en m/km y r es el índice de regularidad/rugosidad internacional en m/km. Los tres primeros coeficientes de consumo proceden del modelo COPERT de la AEMA. Los coeficientes $a_{3,i}$ y $a_{4,i}$ son coeficientes de consumo a calibrar con la aportación de las publicaciones científicas específicas.

· El modelo considerará la relación entre una IMD determinada y las características geométricas de la vía con la velocidad de circulación media. El Manual de Capacidad de Carreteras elaborado por el norteamericano (TRB, 2000) es una referencia internacional de amplia aplicación en distintos países. Existen también otras referencias internacionales como las curvas ajustadas por el Instituto alemán. En el proyecto OASIS se han analizados los datos de tráfico de la Red de Carretera del Estado y los datos de las Autopistas de peaje gestionadas por el consorcio. La dificultad de todos estos modelos y otras curvas de tráfico y velocidad radica cuando el tráfico alcanza y sobrepasa los límites de capacidad de la carretera. Existe una gran dificultad de obtener los datos empíricos, especialmente para ciertas combinaciones de pendientes y porcentaje de pesados (i.e. fuertes pendientes y muy altos/muy bajos porcentaje de pesados). Como alternativa al ajuste de curvas en base a evidencias empíricas, existen modelos de red que pueden llegar a predecir la demanda de un determinado segmento

de carretera en un tiempo determinado. En esta tarea se están analizando los datos de la Red de Carreteras del Estado y los datos de las autopistas de peaje concesionadas por las empresas participantes. En sucesivos análisis se ha analizado el tráfico en la RCE tal y como se muestra en las figuras correspondientes

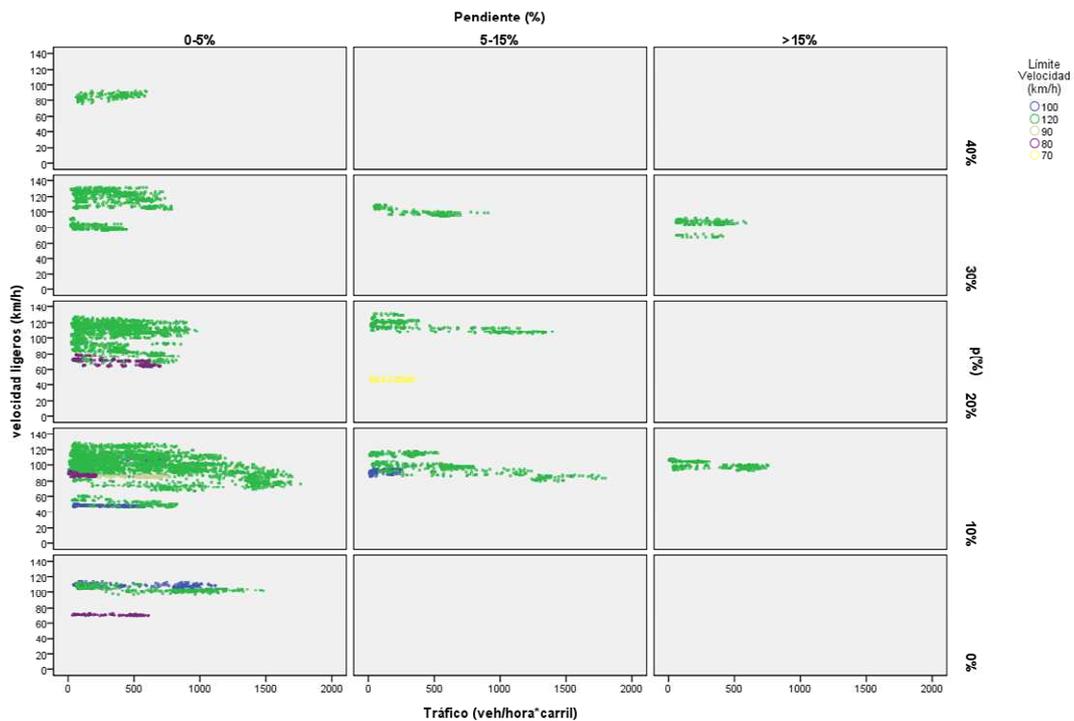


Figura 1. Representación según intensidad horaria, velocidad y pendiente de la vía de los datos de la RCE.

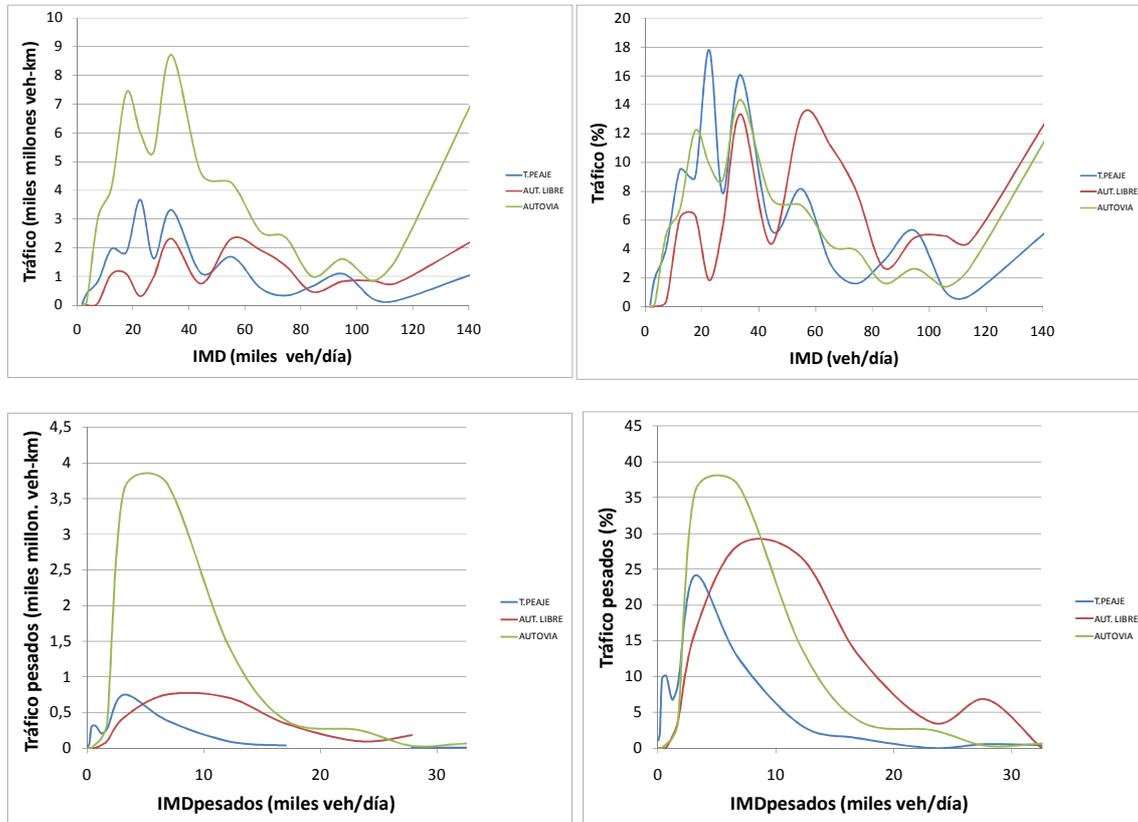
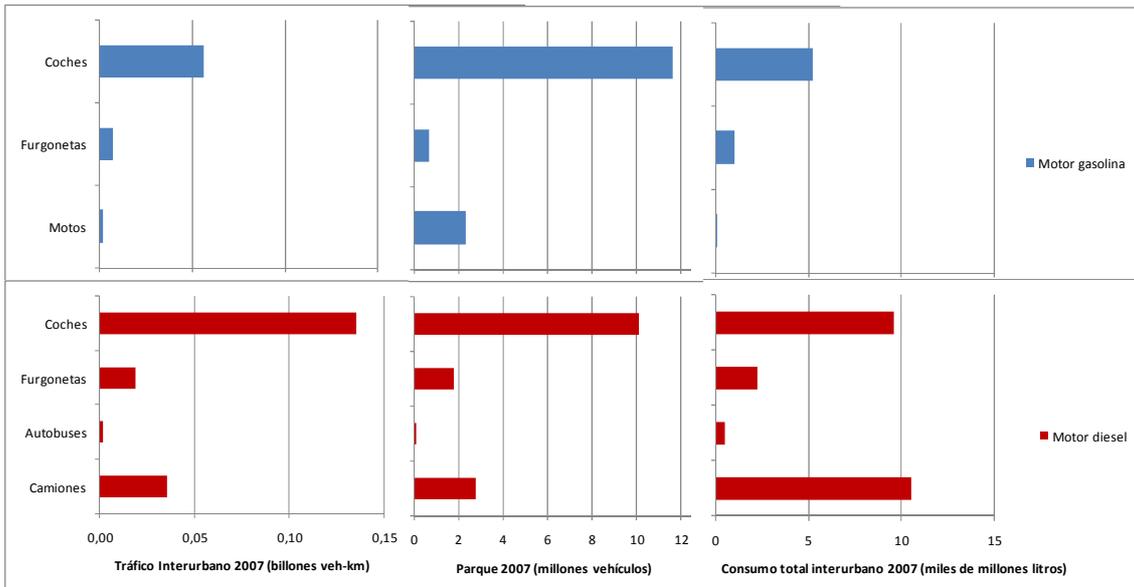


Figura 2 Distribución de la longitud total de los tramos de carretera de la RCE (miles de kilómetros, %) según tipología de tramo (peaje, autopista libre y autovía) e IMD (total y pesados) en 2007

· Conocer la intensidad de tráfico y su composición en tipología de vehículos es necesario para la aplicación del modelo. Para la evaluación de proyectos futuros, se tendrá que acudir a una prognosis lo más detallada posible. Para la evaluación de vías ya existentes se consideraran los datos disponibles. El modelo permite al usuario introducir la división del tráfico entre vehículos pesados, autobuses, furgonetas, turismos y motocicletas que considere. No obstante, el conocimiento del parque móvil existente y sus recorridos será información que podrá aportarse si el usuario desconoce ciertos datos. Se está trabajando con datos de la Dirección General de Tráfico, del Ministerio de Fomento y de la Agencia Tributaria para determinar una distribución porcentual representativa según motorización para cada tipología de vehículo. Los vehículos pesados suponen un tráfico del 12,8% del total de vehículos kilómetro de la red de carreteras interurbanas, pero consumen un 33,5% del total del combustible. Los turismos de gasóleo consumen un 31,4% del combustible total y constituyen un 52,8% de los vehículos kilómetros totales.

La otra tercera parte del consumo se lo reparten los turismos de gasolina (17,9%) y las furgonetas (principalmente de gasóleo, 11,1%).



3.- RESULTADOS PRELIMINARES.

3.-1 APLICACIÓN DEL MODELO A UNA UNIDAD FUNCIONAL DETERMINADA DE LA INFRAESTRUCTURA.

La aplicación del modelo de estudio de impacto energético de autopistas, hasta aquí descrito de forma general, se ha aplicado sobre una UF determinada con objeto de evaluar el modelo, y estudiar su funcionamiento. El modelo se ha realizado sobre la Unidad Funcional UF(T01), definida de la siguiente manera: tramo de AUTOPISTA de 1 km de longitud, en terreno llano, con firme semirrígido, para tránsito T00 (sección 0032), con iluminación. Su descripción ha sido extraída de las mediciones tipo de ingeniería civil que se incluyen en la base de datos BEDEC (Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya). Se comenta a continuación las conclusiones obtenidas en cada una de las fases:

Fase de construcción

Se han estudiado los elementos constructivos que componen cada una de las partidas de la Unidad Funcional UF(T01) [Tabla I]. En la fase de construcción, la partida con mayor repercusión energética es el asfaltado y construcción de la plataforma, con una repercusión de más del 60%. En menor medida le sigue el movimiento de tierras, drenaje y protecciones y señalización. El cálculo general de toda la fase de construcción de esta UF, es de 28.066.161 MJ, y representa el 2.78% de todo el consumo energético.

Fase de mantenimiento

Se evalúa la misma Unidad Funcional, generando datos susceptibles de comparación en ambas fases, que se estructuran con las mismos capítulos y unidades de obra que en la fase de construcción, a las que se añaden algunas unidades no contempladas en la construcción ya que son exclusivas de la fase de mantenimiento. Éstas son las referidas a la viabilidad estacional, acciones especiales de mantenimiento y varios.

Mientras que en la fase de construcción el consumo energético de la UF se obtiene sumando mediciones de obra, en esta fase el cálculo de la energía asociada a las labores de mantenimiento es de más difícil elaboración, pues no todos los consumos pueden ser asociados de forma lineal a cada unidad de obra. Se incluyen en este capítulo gastos variables en función de los períodos de mantenimiento, reparación y reposición, cuya variabilidad es grande. Por ejemplo, consumo anual de gasoil en la siega de todos los taludes, medianas y terciadas, metros cuadrados anuales de rehabilitación de firmes, metros lineales pintados, limpieza de calzada, etc. La variabilidad de esta fase con respecto a cada UF es también grande. El consumo eléctrico asociado a la familia de unidades funcionales “túnel”, la unidad funcional “playa de peaje” o a la unidad funcional “edificio de control” son diferentes y se pueden estimar en función de las potencias y horas de uso de los sistemas instalados (luminarias y horas de encendido, postes SOS, paneles de señalización, metros cuadrados calefactados, climatización de las cabinas de peajes, etc.).

En la Tabla I se observa claramente cuales son las partidas más importantes del consumo energético en la fase de mantenimiento, que no coinciden exactamente con los capítulos de mayor consumo de la fase de construcción. La partida más importante sigue siendo el asfaltado y tratamiento de las capas superficiales de rodadura, con un

porcentaje de casi el 70%. La iluminación y la vialidad son las otras dos partidas con relativa importancia. Esta fase, sin contar el tráfico de usuarios, representa el 2.94% de todo el consumo energético.

TABLA I
CONSUMO ENERGÉTICO EN TODAS LAS FASES UNIDAD FUNCIONAL UF (T01)

CAPÍTULO (todas las fases)	CONSTRUCCIÓN (MJ)		MANTENIMIENTO (MJ)		DECONSTRUCCIÓN (MJ)		TOTAL (MJ)	
		% fase		% fase		% fase		% total
CAP01_Movimiento de tierras	3.192.858,40	11,38	31.260,00	0,11	2.442.258,00	66,66	5.666.376,40	9,23
CAP02_Cimientos y muros de contención	13.177,98	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	13.177,98	0,02
CAP03_Firmes y pavimentos	17.618.578,80	62,78	20.562.660,00	69,29	1.038.990,00	28,36	39.220.228,80	63,87
CAP04_Protecciones y señalización	1.478.543,47	5,27	225.300,00	0,76	10.170,00	0,28	1.714.013,47	2,79
CAP05_Drenajes saneamientos y canalizaciones	5.136.709,40	18,30	0,00	0,00	165.713,00	4,52	5.302.422,40	8,63
CAP06_Iluminación	397.147,53	1,42	5.931.150,00	19,99	6.779,00	0,19	6.335.076,53	10,32
CAP07_Jardinería, paisaje y limpieza	229.205,90	0,82	521.460,00	1,76	0,00	0,00	750.665,90	1,22
CAP _Obras de fábrica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CAP _ Vialidad	0,00	0,00	2.405.160,00	8,10	0,00	0,00	2.405.160,00	3,92
CAP _ Varios general	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL CAPÍTULOS	28.066.221,48	100,00	29.676.990,00	100,00	3.663.910,00	100,00	61.407.121,48	100,00

Fase de de-construcción.

La fase de de-construcción es especialmente problemática para definirla en una autopista. Muchas de las vías de comunicación actuales son infraestructuras superpuestas a vías anteriores y no existe registro de desmantelamiento de autopistas modernas, salvo excepciones. Habitualmente las carreteras pueden pasar a un circuito de tránsito de diferente categoría, o se realizan reducidas operaciones de movimiento de tierras que hace desaparecer la vía aparentemente. Esta fase sin embargo debe reflejarse en el cómputo del ACV de una autopista. Un correcto ACV exige el restablecimiento completo del medio físico, recuperando el estado previo a la construcción de la autopista. Esta hipótesis no es realista, al menos en el momento actual, y particularmente improbable en algunas UF, como puentes o viaductos. Sin embargo la metodología considera un escenario de deconstrucción. Las posibilidades de obtención de energía mediante la revalorización de los residuos, una práctica con posibilidades reales de producción energética, se tendrá en cuenta a medida que su implantación se desarrolle.

En la fase de de-construcción, el movimiento de tierras representa el mayor impacto, con un 66% del total. La retirada y tratamiento de las capas de rodadura también tienen una

repercusión importante, mientras que las demás unidades tienen muy poca relevancia energética. Esta fase solamente representa el 0.36% del total del consumo energético, a falta del desarrollo de la valorización de residuos.

3.2.- APLICACIÓN DEL MODELO DE TRÁFICO PARA EVALUAR EL SISTEMA DE COBRO EN UNA AUTOPISTA DE PEAJE.

En este apartado se presenta el cálculo del consumo energético (y de las emisiones) del tráfico que recorre una distancia de 350 m en tres situaciones diferentes:

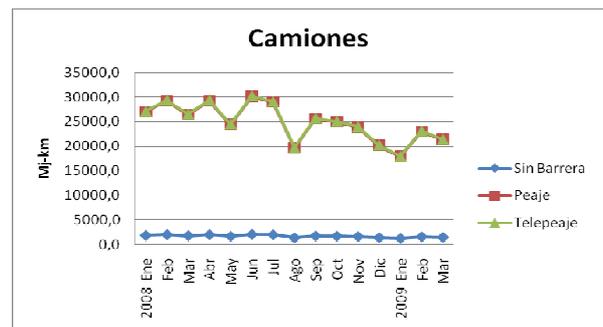
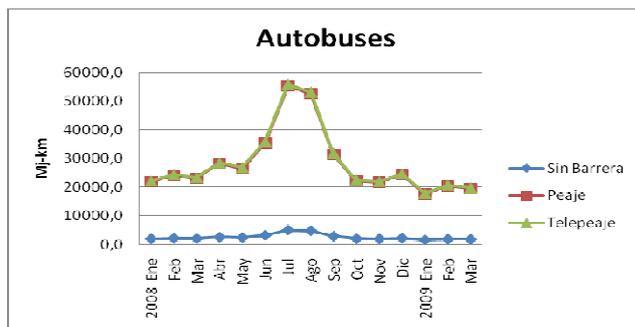
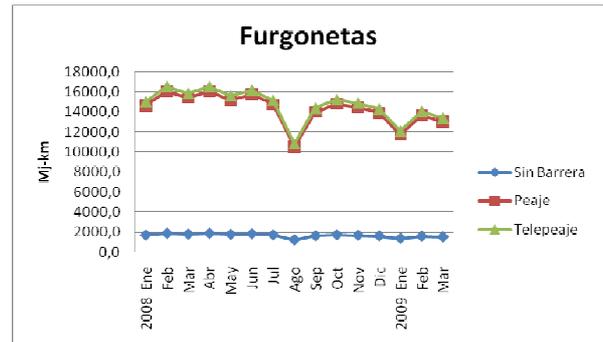
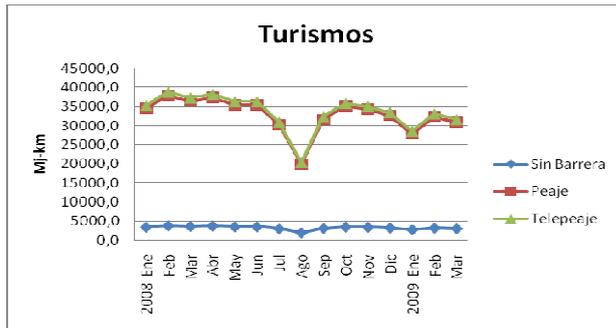
- Atravesando un peaje, con parada considerando una deceleración de 2 m/s, parada de 3 minutos y aceleración de 2,5 m/s.
- Reduciendo la velocidad de circulación para atravesar una vía de Telepeaje, con deceleración de 2 m/s y aceleración de 2,5 m/s
- Sin modificar la velocidad de circulación, sistema de cobro "Free Flow" mediante la identificación automática matrículas, ya instalado en países como México.

Para calcular los consumos energéticos se ha considerado la ecuación de consumo de Burgess y Choi (2003), asignando determinados valores a los parámetros de la ecuación (tabla 8).

Tabla 1: **Parámetros considerados para el cálculo de los consumos de energía en una playa de peaje**

Parámetro de la ecuación consumo	Valor	Fuente/hipótesis
C_i : factor corrección masa por aceleración inercia rotativa	1,045- 1,07	Burguess, 2003
C_d : coeficiente aerodinámico	0,35	Sperling, 2005
C_{av} : coeficiente rugosidad curvas	0,01	Sperling, 2005
C_r : coeficiente rodadura	∞	HP: no cornering forces
β : <i>pendiente</i>	0	HP: no pendiente
R : radio curvatura desde centro gravedad	∞	HP: no pendiente
e_v : exposición viento	1	HP: no cornering forces HP: no efecto viento

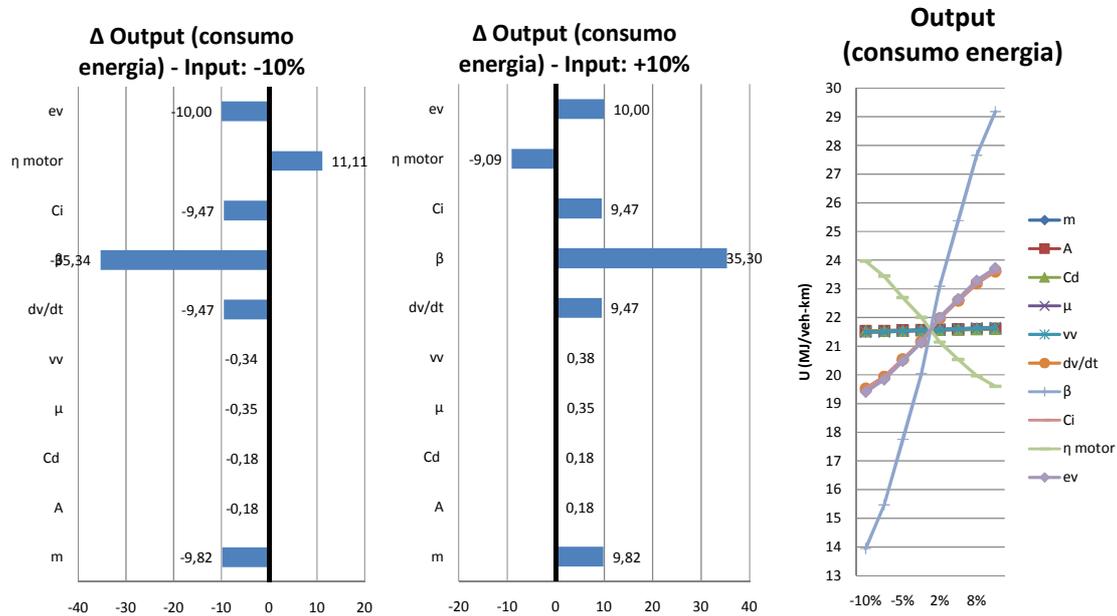
1 LOS RESULTADOS PARA ESA APLICACIÓN CONSIDERANDO LOS DATOS DESGLOSADOS POR MESES Y TIPOLOGÍA DE VEHÍCULO DE LA AP41, LA PROPORCIÓN DE 3-1 PARA TURISMOS DE GASOIL-GASOLINA, DA COMO RESULTADO QUE SE PUEDE DISCRIMINAR ENERGÉTICAMENTE LAS TRES OPCIONES DE COBRO Y EXTRAER DE ELLO CONCLUSIONES DE APLICACIÓN.



Análisis de sensibilidad

La siguiente figura muestra los resultados del análisis de sensibilidad realizado sobre los parámetros que intervienen en la ecuación de consumo. Los valores representan la variación porcentual del parámetro (aumento o disminución) que produciría un aumento o disminución del consumo en 10%. Se comprueba como la pendiente del tramo es la variable que más influye en el consumo, seguida de la masa del vehículo, el viento, la aceleración y el coeficiente de masas rotativas.

Figura 1: Análisis de sensibilidad del modelo del consumo energético



Nota: ev exposición al viento, η rendimiento del motor, Ci factor de corrección de masa debido a la aceleración inercial de las masa rotativas, β ángulo ascenso/descenso con respecto al nivel del suelo, dv/dt ratio de deceleración/aceleración, vv velocidad del vehículo, μ coeficiente de resistencia a la rodadura, Cd coeficiente de resistencia aerodinámico, A área frontal, m masa del vehículo.

4.- CONCLUSIONES.

- El análisis integrado de infraestructura y tráfico permitirá discriminar alternativas en función de la demanda energética asociada y el servicio prestado.
- El diseño, la construcción y la operación deben considerar necesariamente el tráfico asociado para facilitar su circulación en las mejores condiciones desde la perspectiva de ahorro energético. Más en concreto y centrando en el objeto de trabajo del Proyecto OASIS la optimización energética en la operación de autopistas debe centrarse en la interacción de la vía y el tráfico.
- Las partidas de mayor demanda energética en la vida útil de la infraestructura son la construcción, conservación y rehabilitación de firmes, con una relevancia de más del 50

% en el total del gasto energético. La iluminación de la vía es también una de las partidas más relevantes.

· La variable de diseño de una autopista más relevante en el consumo es la pendiente. En la fase de operación, la rugosidad aparece como el parámetro más relevante.

5.- REFERENCIAS

BEDEC (Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya).
<http://www.itec.es/nouBedec.e/presentaciobedec.aspw> (Fecha última visita: 21 Septiembre 2010)

Best; Aaron, et al, 2008. *“Potential of the Ecological Footprint for monitoring environmental impacts from natural resource use: Analysis of the potential of the Ecological Footprint and related assessment tools for use in the EU’s Thematic Strategy on the Sustainable Use of Natural Resources.”* Report to the European Commission, DG Environment.

CIMBETON. 2004 *« Impacts des Projets de Voirie: L’analyse de Cycle de Vie des Structures Routières. »* Centre D’Information sur le ciment et ses applications. Cimbéton Collection technique T89. Paris.

González Díaz, M. J.; García navarro, 2009 J. *“Criteria and methodology for an indicator of energy applied to motorways”*. Second International Conference Ravage of the Planet 2009. Wessex Institute of Technology & Council for Scientific and Industrial Research (CSIR), South Africa, Cape Town, 15-17 de Diciembre de 2009.

Hakan Stripple; 2001 *“Life Cycle Assessment of Road. A Pilot Study for Inventory Analysis”*. IVL Swedish Environmental Research Institute. Gothenburg, Sweeden.

Huang Y.; Bird R.; Heidrich O. 2009 "Development of a life cycle assessment tool for construction and maintenance of asphalt pavements". *Journal of Cleaner Production* (17) 283-296

LENZEN,M. 1999: "Total requirements of energy and greenhouse gases for Australian transport», en: *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 4, Elsevier, Amsterdam, 265-290 pp.

Lutsey,N.; Sperling,D., 2005. "*Energy efficiency, fuel economy, and policy implications.*" *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1941,pp 8-17.

Mroueh U.; Eskola, P. et all. 1999 « *Life cycle assessment of road Construction.*» Finnish National Road Administration. Finnra Reports 17/2000. Helsinki.

Ntziachristos,L.; Samaras,Z., 2000. "*COPERT III Computer programme to calculate emissions from road transport.*" Technical report No 49. Copenhagen, European Environment Agency, EEA.

Swiss Centre for Life Cycles Inventories. ETH y Oficinas Federales Suizas. <http://www.ecoinvent.org/> (Fecha última visita 21 septiembre 2010)

Pérez-Martínez,P.J., Monzón de Cáceres,A., 2009. "*Consumo de energía por el transporte en España y tendencias de emisión.*" *Observatorio Medioambiental* 11, 127-147.

TRB 2000 "*Traffic flow parameters introduction and traffic characteristics. In Highway Capacity Manual (HCM).*" Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C.

UNE-EN ISO 14041, 1998 "*Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Definición del objetivo y alcance y el análisis del inventario*", 1998.

UNE ISO 14040, 1997 "*Gestión medioambiental. Análisis de ciclo de vida. Principios y Estructura*".

Martina Söderlund, 2010 “Green road manual v1.0” Washington University. (Disponible online: <http://www.greenroads.us/366/download-the-manual.html>)

Zapata, P.; Gambatese, J.A., 2005 “Energy Consumption of Asphalt and Reinforced Concrete Pavement Materials and Construction.” *Journal of Infrastructure Systems* 11(1).