



# Proyecto OASIS

## Operación de Autopistas Seguras, Inteligentes y Sostenibles

### Convocatoria CENIT 2008-2011

## TAREA 6: OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS ENERGÉTICOS

# HUELLA ENERGÉTICA DE LA AUTOPISTA

Andrés Monzón de Cáceres, *Catedrático Transportes UPM*

Fecha: 14 de Febrero 2012

Equipo de investigación:

*HE infraestructura:*

*Justo García, María Jesús González, Eva Martínez, Ignacio Redruello*

Grupo de Investigación Sostenibilidad en la Construcción y en la Industria, giSCI-UPM

*HE operación:*

*Andrés Monzón, Sara Hernández del Olmo, Natalia Sobrino*

Centro de Investigación del Transporte – TRANSyT-UPM



# HUELLA ENERGÉTICA AUTOPISTA

## INTRODUCCIÓN



**OBJETIVO:** mejorar la eficiencia energética de la autopista en su ciclo de vida completo

**RESULTADO:** desarrollo de una herramienta de cálculo de la HE capaz de evaluar diversas estrategias de diseño, mantenimiento y operación.



construcción



mantenimiento



trafico



deconstrucción

HE  
autopista

HE  
infraestruc-  
tura

HE  
operación



OASIS: "Operación de Autopistas Seguras, Inteligentes y Sostenibles". Proyecto CENIT 2008-2011





# HUELLA ENERGÉTICA AUTOPISTA INTRODUCCIÓN



www.proyecto-oasis.es



## Huella Energética Autopistas

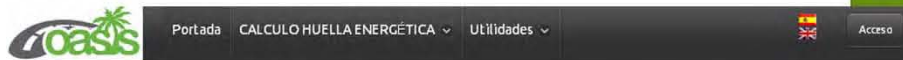
El **proyecto** Operación de Autopistas Seguras, Inteligentes y Sostenibles (OASIS) abarca diferentes campos de investigación que abordan la definición de la autopista del futuro, aquella que en su operación presentará niveles notablemente superiores de seguridad, servicio al usuario y sostenibilidad.

Entre sus objetivos, se encuentra el de la **disminución de la huella energética** y la consecuente reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

El paquete de trabajo 6 del proyecto CENIT/OASIS presenta en esta web la **herramienta de cálculo de la huella energética para el ciclo de vida de la autopista**.



Más Info



Huella Energética Autopistas **Cálculo HE Autopista**

proyecto-oasis.es

Este sitio web contiene la herramienta de cálculo de la **Huella Energética de la Autopista**, desarrollado por el Departamento de Construcción y Vías Rurales (UPM), Torre de Comares Arquitectos S.L. y el Centro de Investigación del Transporte - TRANSYT-(UPM) dentro de su participación en el proyecto OASIS.

La Huella Energética (HE) de la Autopista se define como el consumo energético que se produce durante el ciclo de vida completo de la autopista y que comprende las fases de: construcción, operación, mantenimiento y deconstrucción.



CÁLCULO HE OPERACIÓN

CÁLCULO HE INFRAESTRUCTURA

CÁLCULO HE OPERACIÓN

CÁLCULO HE INFRAESTRUCTURA



OASIS: "Operación de Autopistas Seguras, Inteligentes y Sostenibles". Proyecto CENIT 2008-2011



# HE INFRAESTRUCTURA

## METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE LA HUELLA ENERGÉTICA: ACV <sup>(1/2)</sup>



Esta metodología permite calcular la energía embebida en todas las fases (construcción, operación –con los correspondientes trabajos de mantenimiento- y teórica deconstrucción), lo que permite seleccionar las mejores opciones de diseño, materiales y procesos para reducir la huella energética.



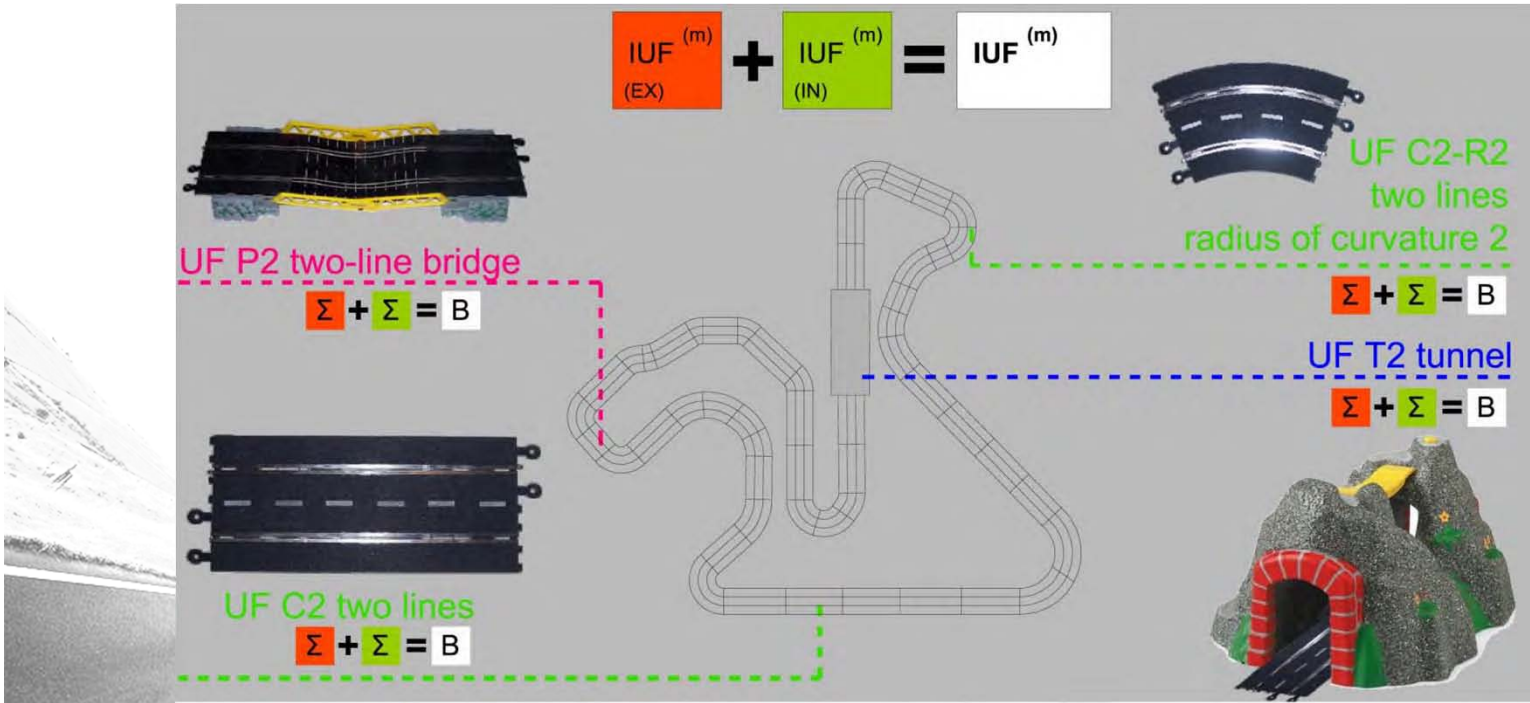
OASIS: "Operación de Autopistas Seguras, Inteligentes y Sostenibles". Proyecto CENIT 2008-2011



# HE INFRAESTRUCTURA

## METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE LA HUELLA ENERGÉTICA: ACV (2/2)

### ESCENARIO y Variables



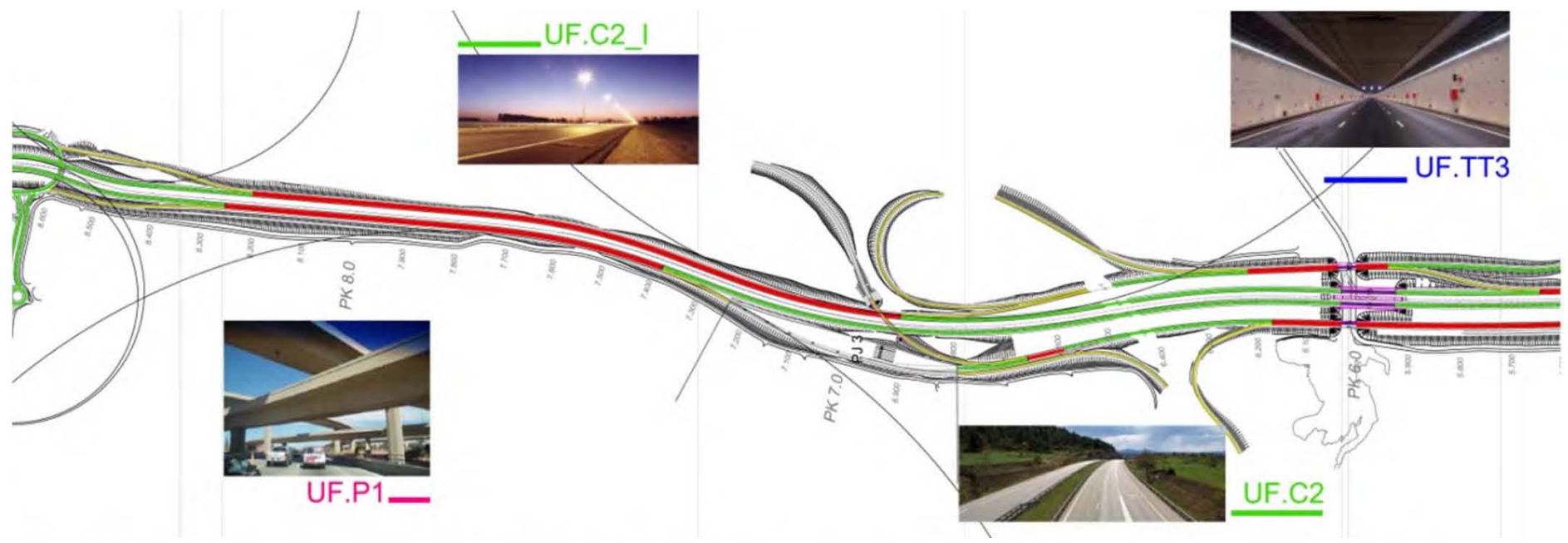
Se trata de cuantificar el consumo energético de la autopista a lo largo de su ciclo de vida completo a partir de los parámetros actuales de construcción y gestión, desde el anteproyecto, descomponiendo la autopista en unidades funcionales.(UF)





# HE INFRAESTRUCTURA

## CASO ESTUDIO EJEMPLO: autopista M-12 (1/2)



M-12 autopista Madrid = 40,7 km = 36 km **UF.tronco** + 0,8 km **UF.puente** + 3,8 km **UF.tunel**



T22  
0,406 Km

T21  
0,085 Km

T20  
0,960 Km

T19  
0,536 Km

T16  
0,742 Km

UF 14 puente

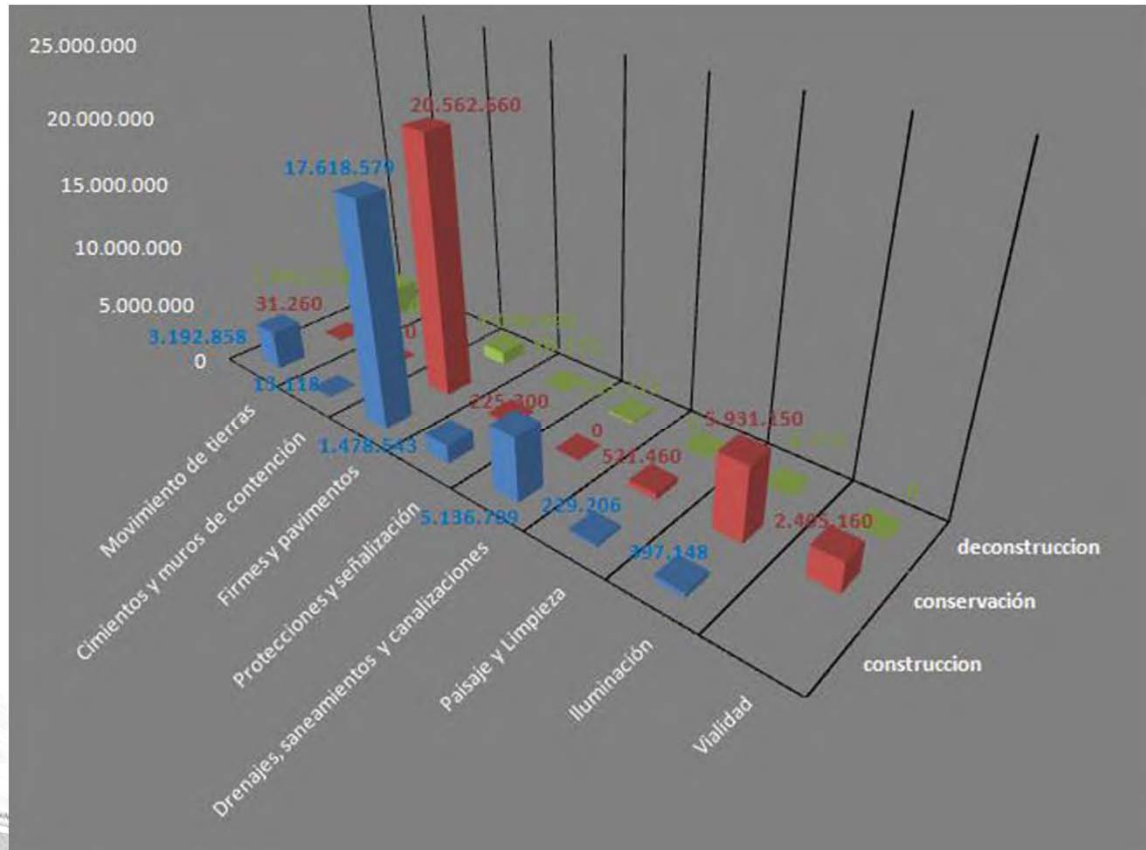
T15  
0,300 Km

OASIS: "Operación de Autopistas Seguras, Inteligentes y Sostenibles". Proyecto CENIT 2008-2011



# HE INFRAESTRUCTURA

## CASO ESTUDIO EJEMPLO: autopista M-12 (2/2)



Como caso de estudio, se ha calculado la huella energética de una autopista existente, mediante el sumatorio de las UF's que la determinan. Cada UF se divide según los capítulos generales de obra y mantenimiento ordinario y programado, obteniendo los resultados a partir de valores muy concretos.



OASIS: "Operación de Autopistas Seguras, Inteligentes y Sostenibles". Proyecto CENIT 2008-2011



# HE INFRAESTRUCTURA

## MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA (1/2)



### MEDIDAS:

| FIRME 0032                        |                         |                    |
|-----------------------------------|-------------------------|--------------------|
| MEDIDAS FIRME                     | MEDIDAS nº              | reducción          |
| IRI 1,2<br>IRI 1,6                | FIR-3                   | 14%                |
|                                   | <b>D</b>                | <b>18%</b>         |
|                                   | FIR-6                   | 18%                |
| MAM/IRI 1,2<br>MAM/IRI 0,6        | FIR-13                  | 22%                |
|                                   | FIR-12                  | 12%                |
|                                   | <b>FIR-14</b>           | <b>30%</b>         |
|                                   | FIR-15                  | 15%                |
| MEDIDAS ILUMIN                    | MEDIDA ilum             |                    |
| iluminación con energía renovable | ILU-1                   | <b>7%</b>          |
| ILUMIN + FIRME                    |                         |                    |
|                                   | FIR-3<br>ILU-1          | 21%<br>0,21        |
|                                   | FIR-6<br>ILU-1          | 25%<br>0,25        |
|                                   | FIR-12<br>ILU-1         | 18%<br>0,18        |
|                                   | <b>FIR-14<br/>ILU-1</b> | <b>37%</b><br>0,37 |

Una vez calculado el balance energético de la autopista, se ha realizado un estudio de alternativas, considerando MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA con las que reducir el consumo. Estas medidas pueden ser combinables y permiten conseguir una reducción mayor con respecto al valor actual o de referencia.







# HE INFRAESTRUCTURA

## MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA (2/2)



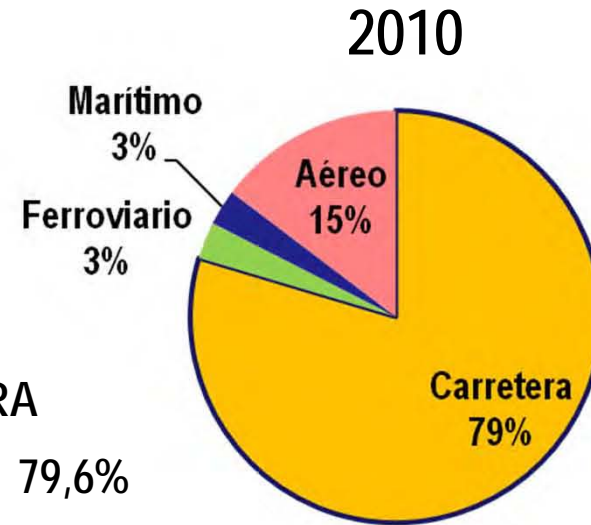
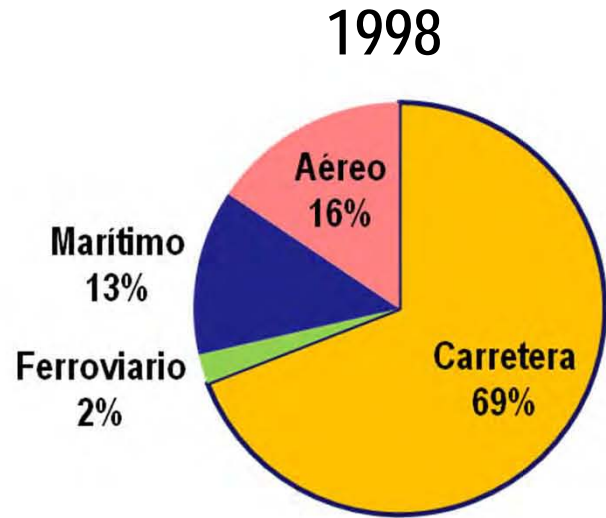
MEDIDAS:

| FIRME 0032                        |            |           | CASO DE ESTUDIO: SANBRIÓN (AG-56) |                      |                  |           |
|-----------------------------------|------------|-----------|-----------------------------------|----------------------|------------------|-----------|
| MEDIDAS FIRME                     | MEDIDAS nº | reducción | ilum<br>7.622,40 km               | no ilum<br>10.521,70 | TOTAL<br>GJ      | reducción |
| IRI 1,2                           | FIR-3      | 14%       | 669.391.303,74                    | 850.872.373,31       | 1.520.263.677,05 | 15%       |
|                                   | D          |           | 779.196.884,57                    | 1.002.444.237,79     | 1.781.641.122,35 |           |
| IRI 1,6                           | FIR-6      | 18%       | 638.843.339,02                    | 808.705.008,65       | 1.447.548.347,68 | 19%       |
| MAM/IRI 1,2                       | FIR-13     | 22%       | 607.533.035,22                    | 765.485.337,22       | 1.373.018.372,43 | 23%       |
|                                   | FIR-12     | 12%       | 689.559.549,10                    | 878.711.928,73       | 1.568.271.477,84 | 12%       |
| MAM/IRI 0,6                       | FIR-14     | 30%       | 544.152.702,99                    | 677.997.296,50       | 1.222.149.999,49 | 31%       |
|                                   | FIR-15     | 15%       | 664.344.840,46                    | 843.906.408,17       | 1.508.251.248,64 | 15%       |
| MEDIDAS ILUMIN                    |            |           | MEDIDA ilum                       |                      |                  |           |
| iluminación con energía renovable | ILU-1      | 7%        | 727.691.605,85                    | 1.002.444.237,79     | 1.730.135.843,64 | 3%        |
| ILUMIN + FIRME                    |            |           |                                   |                      |                  |           |
|                                   | FIR-3      | 21%       | 161.310.859,54                    | 850.872.373,31       | 1.012.183.232,85 | 43%       |
|                                   | ILU-1      | 0,21      |                                   |                      |                  |           |
|                                   | FIR-6      | 25%       | 191.858.824,26                    | 808.705.008,65       | 1.000.563.832,91 | 44%       |
|                                   | ILU-1      | 0,25      |                                   |                      |                  |           |
|                                   | FIR-12     | 18%       | 141.142.614,18                    | 878.711.928,73       | 1.019.854.542,91 | 43%       |
|                                   | ILU-1      | 0,18      |                                   |                      |                  |           |
|                                   | FIR-14     | 37%       | 286.549.460,29                    | 677.997.296,50       | 964.546.756,79   | 46%       |
|                                   | ILU-1      | 0,37      |                                   |                      |                  |           |

OASIS: "Operación de Autopistas Seguras, Inteligentes y Sostenibles". Proyecto CENIT 2008-2011



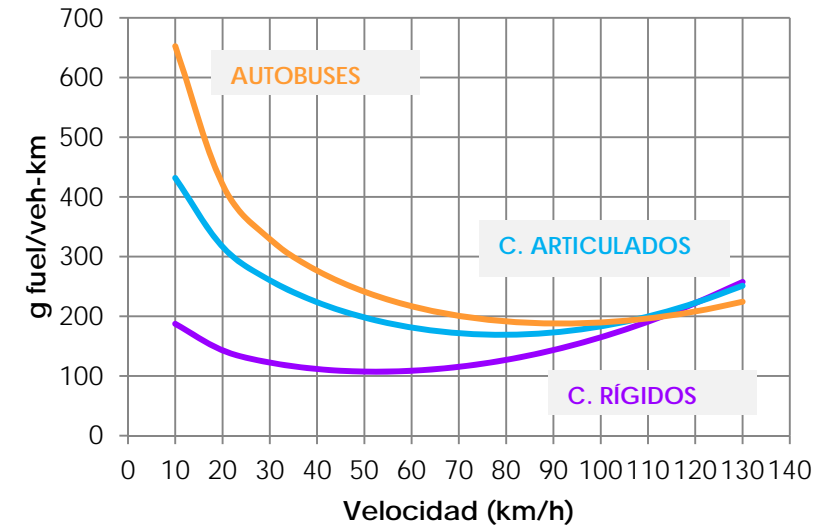
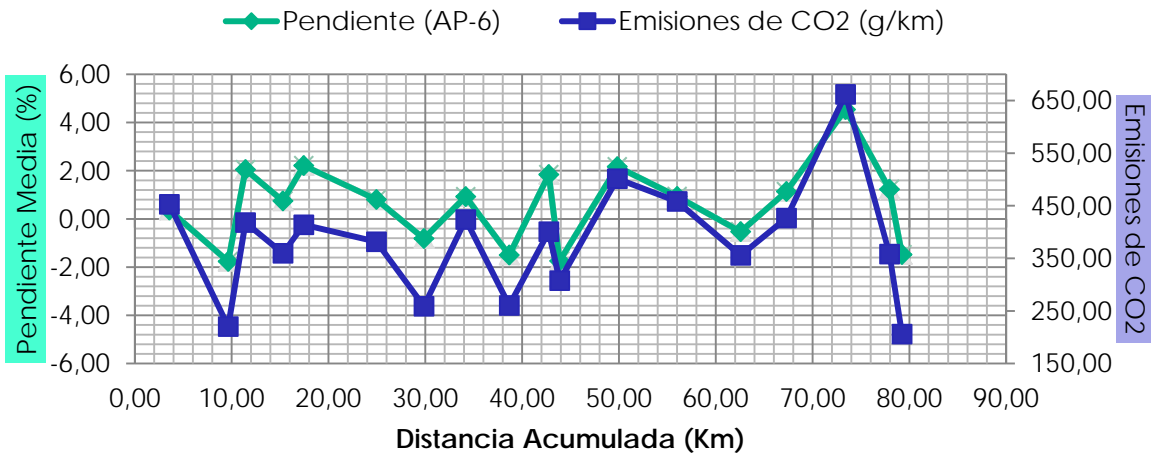
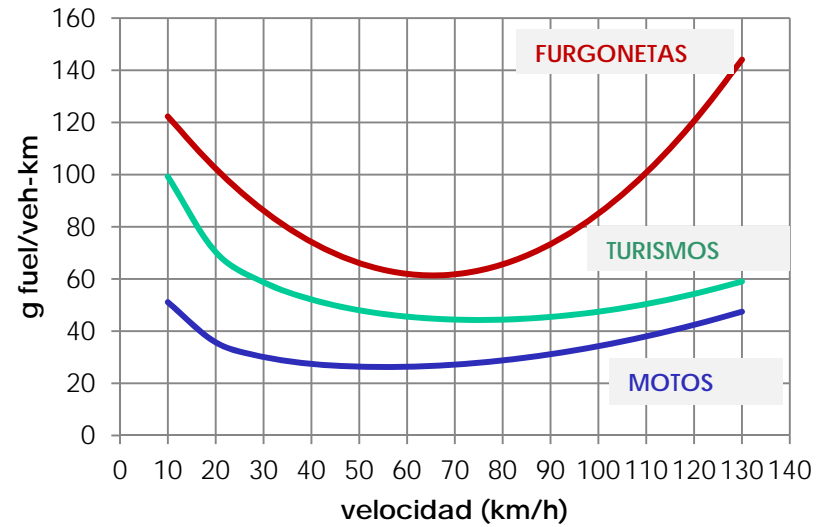
Energía consumida según modos  
Carretera consume el 80% del total



CARRETERA  
69,1% → 79,6%



- 1º • Curvas de consumo (COPERT IV)
- 2º • Parque de vehículos circulante 31/12/2009
- 3º • Análisis sobreconsumo por pendiente





### DATOS tramo referencia

|                              |                |
|------------------------------|----------------|
| 1 Denominación tramo         | Sección 0      |
| 2 ¿Es tramo con peaje?       | SIN peaje      |
| 3 Pendiente %                | 0 %            |
| 4 Longitud en km             | 10 km          |
| 5 Número de carriles         | 2 u            |
| 6 Velocidad ligeros          | 120 km/h       |
| 7 Velocidad pesados          | 90 km/h        |
| 8 IMD Total (veh/día)        | 10.000 veh/día |
| 9 Vehículos pesados (%)      | 15 %           |
| 10 IMD turismos (veh/día)    | 8.192 veh/día  |
| 11 IMD motos (veh/día)       | 33 veh/día     |
| 12 IMD furgonetas (veh/día)  | 275 veh/día    |
| 13 IMD rígidos (veh/día)     | 529 veh/día    |
| 14 IMD articulados (veh/día) | 847 veh/día    |
| 15 IMD bus (veh/día)         | 124 veh/día    |

### ESTRATEGIAS/ RESULTADOS

|                                  |                             | Consumo energético | Emisiones CO2e |
|----------------------------------|-----------------------------|--------------------|----------------|
|                                  |                             | GJ/año             | T CO2e/año     |
| <b>1</b>                         | <b>Tramo referencia</b>     | <b>115.680</b>     | <b>9.964</b>   |
| <b>GESTIÓN DE LA VELOCIDAD</b>   | 2 velocidad ligeros 110km/h | 109.801            | 9.463          |
|                                  | 3 velocidad ligeros 100km/h | 105.283            | 9.078          |
|                                  | 4 velocidad ligeros 130km/h | 122.898            | 10.579         |
| <b>GESTIÓN VEHÍCULOS PESADOS</b> | 5 10% vehículos pesados     | 106.732            | 9.163          |
|                                  | 6 20% vehículos pesados     | 124.425            | 10.747         |
| <b>DISEÑO DEL TRAZADO</b>        | 7 pendiente de 2,5%         | 183.903            | 15.874         |
|                                  | 8 pendiente de 7%           | 296.616            | 25.647         |

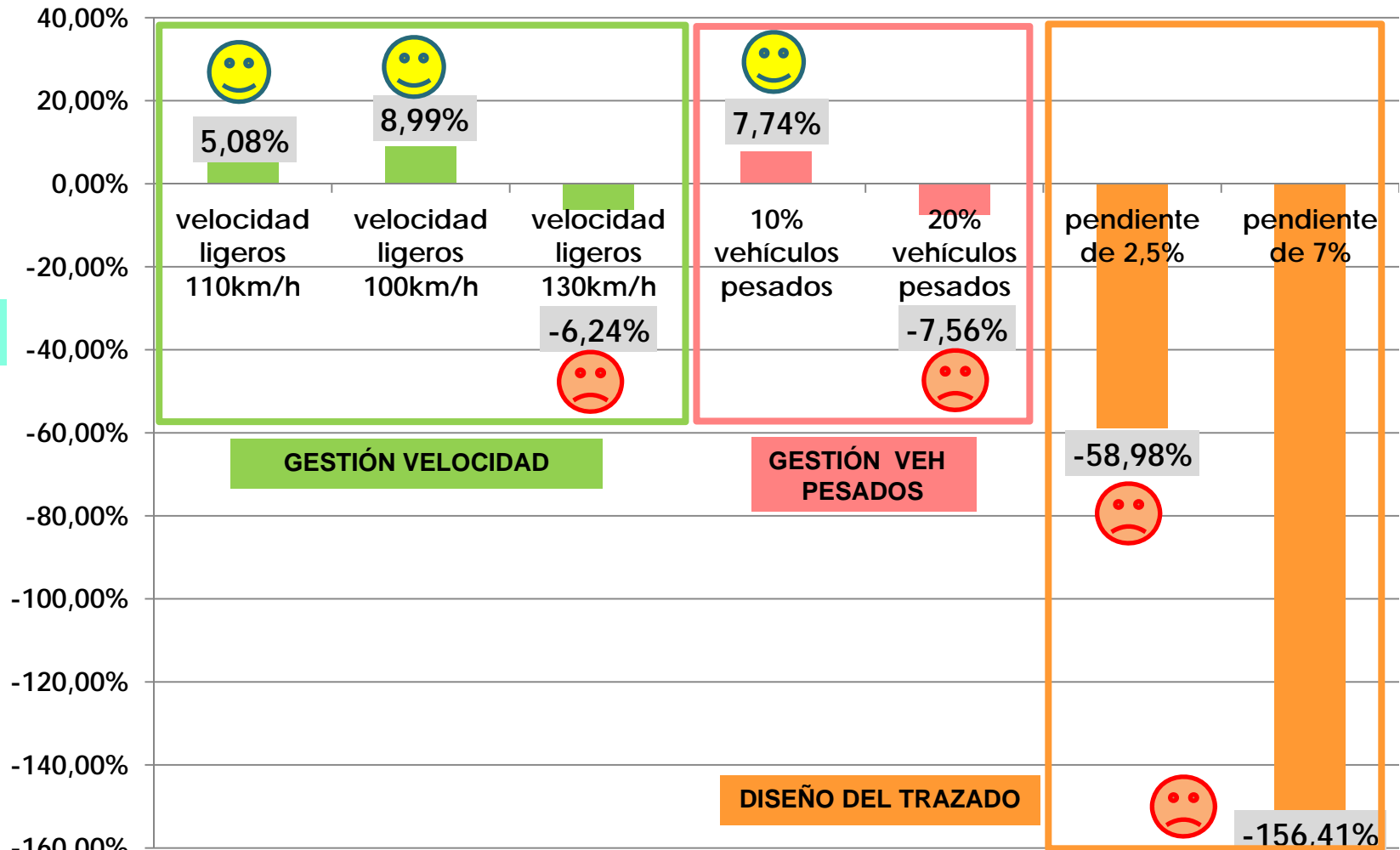


# HE OPERACIÓN

## EJEMPLO HE TRAMO DE AUTOPISTA

1km  
↓  
11.568 GJ/año

1veh-km  
↓  
1,157 GJ/año

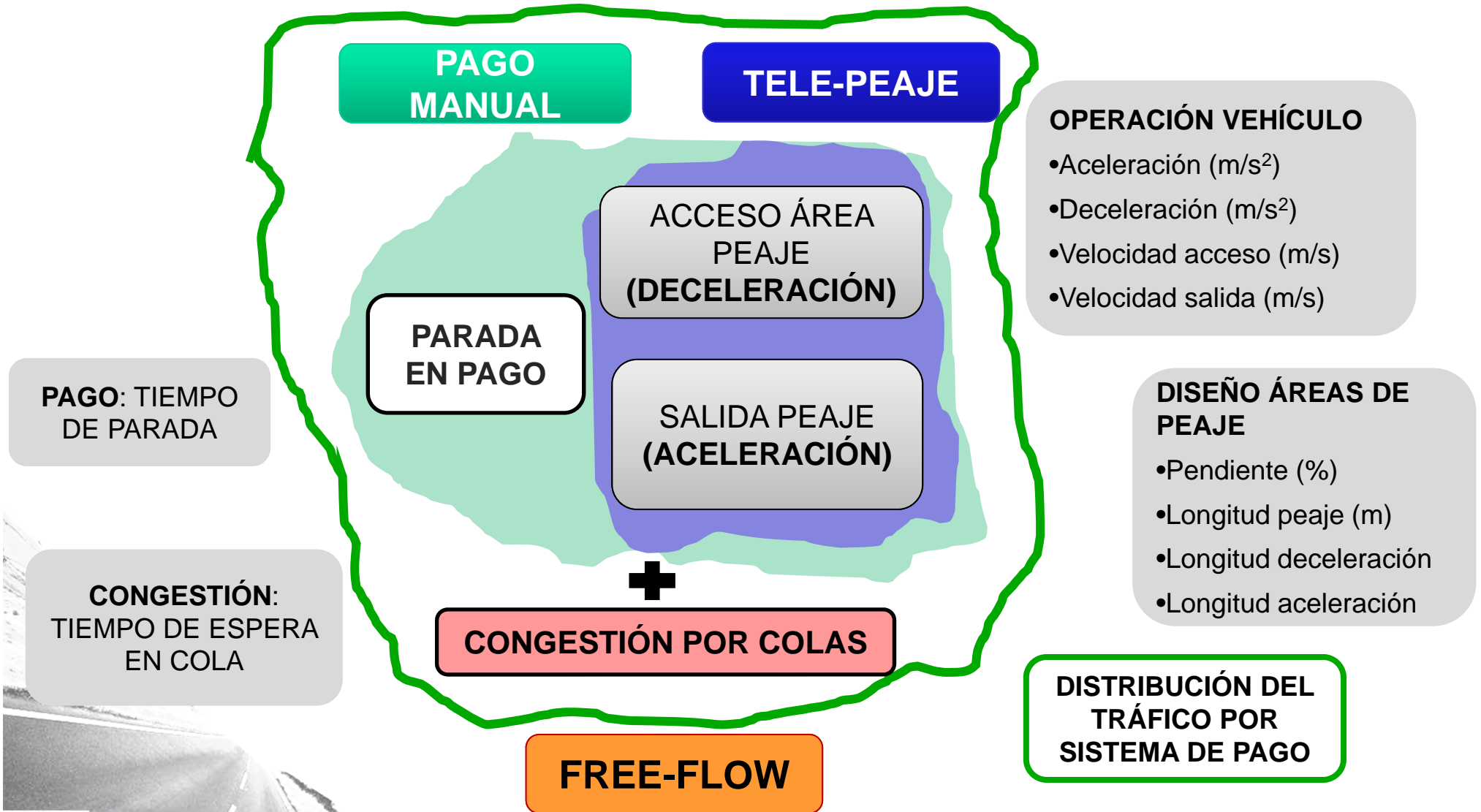


Ahorros (+) o incrementos (-) en % de consumo energético con respecto al tramo estándar

OASIS: "Operación de Autopistas Seguras, Inteligentes y Sostenibles". Proyecto CENIT 2008-2011

# HE OPERACIÓN

## SUBMODELO HE ÁREA DE PEAJE





### DATOS Área Peaje San Rafael AP-6

|                                 |                            |
|---------------------------------|----------------------------|
| 1 Denominación tramo            | Area Peaje San Rafael AP-6 |
| 2 ¿Es tramo con peaje?          | CON peaje                  |
| 6 Velocidad ligeros             | 120 km/h                   |
| 7 Velocidad pesados             | 90 km/h                    |
| 8 IMD Total (veh/día)           | 17.265 veh/día             |
| 9 Vehículos pesados (%)         | 12 %                       |
| 10 % IMD por pago manual        | 85 %                       |
| 11 % IMD por telepago           | 15 %                       |
| 12 % IMD free-flow              | 0 %                        |
| 13 ¿espera en cola pago manual? | NO                         |
| 14 ¿espera en cola en telepago? | NO                         |

### ESTRATEGIAS/ RESULTADOS

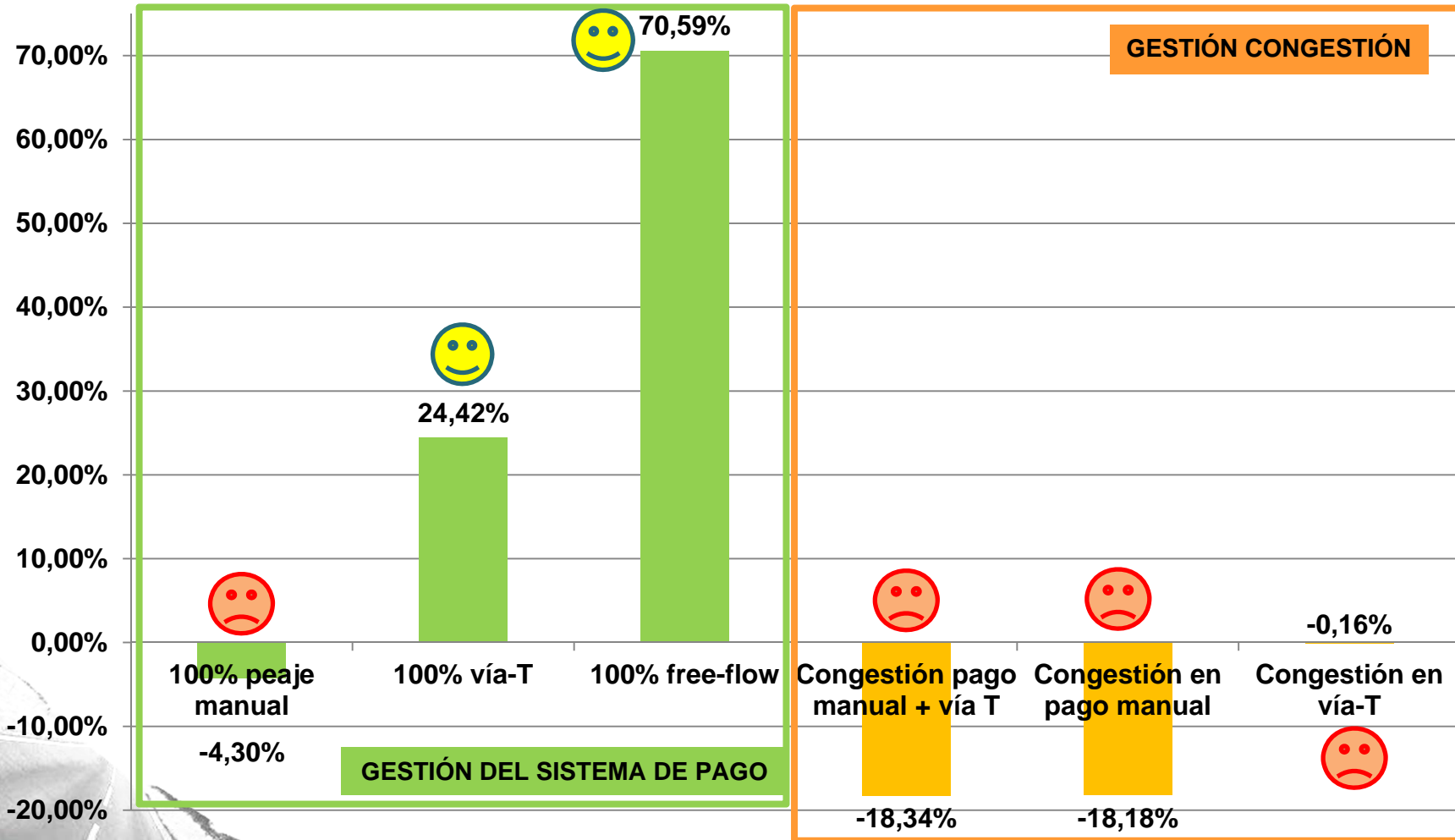
|                             |                                     | Consumo energético | Emisiones CO2e |
|-----------------------------|-------------------------------------|--------------------|----------------|
|                             |                                     | GJ/año             | T CO2e/año     |
|                             | 1 Área peaje San Rafael AP-6 (2010) | 34.866             | 2.971          |
| Gestión del sistema de pago | 2 100% peaje manual                 | 36.365             | 3.099          |
|                             | 3 100% vía-T                        | 26.350             | 2.246          |
|                             | 4 100% free-flow                    | 10.255             | 879            |
| Gestión de colas            | 5 Con esperas por congestión        | 41.261             | 3.515          |
|                             | 6 Congestión en pago manual         | 41.205             | 3.510          |
|                             | 7 Congestión en vía-T               | 34.923             | 2.976          |



# HE OPERACIÓN

## EJEMPLO HE ÁREA DE PEAJE SAN RAFAEL

Ahorros (+) o incrementos (-) de consumo energético con respecto al área de peaje San Rafael (2010)



### HE TRAMO AUTOPISTA

1 km=11.570 GJ/año

1 hogar medio = 37,876 GJ/año (\*)

1km autopista



305 hogares



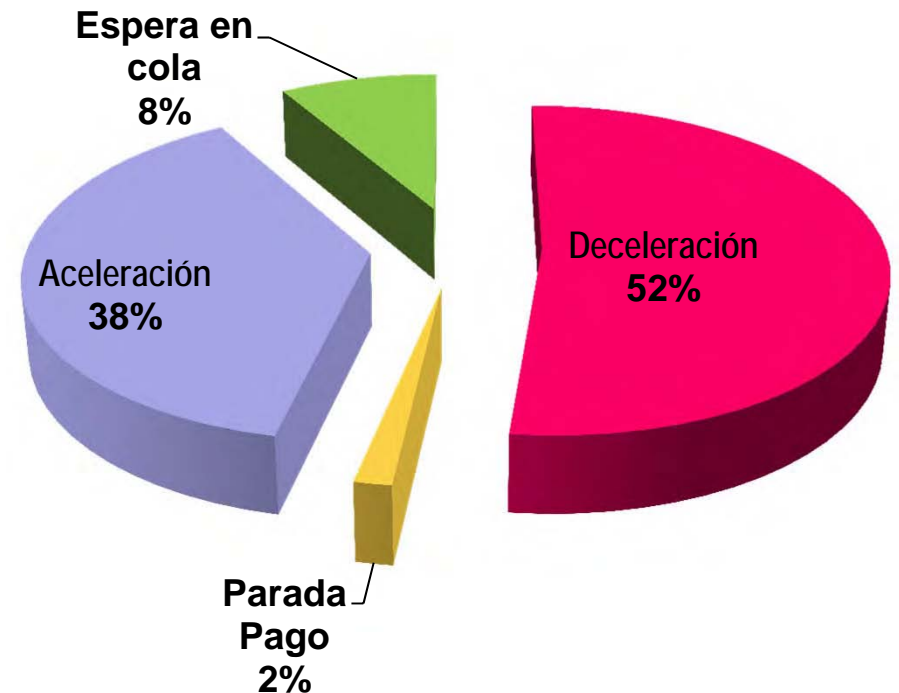
(\*) Fuente: IDAE, 2011 Análisis del consumo energético del sector residencial en España

### HE ÁREA PEAJE

Deceleración = 52% consumo total

1 minuto de espera en cola = 20% sobreconsumo

#### Consumo energético en áreas de peaje







# HE OPERACIÓN

## ESTRATEGIAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA



### HE TRAMO AUTOPISTA

Gestión de la velocidad

Gestión vehículos pesados y furgonetas

Fase de diseño = trazados más suaves. Vehículos más eficientes

### HE ÁREA PEAJE

¿Rediseño áreas de peaje?

Gestión de colas

FREE FLOW



OASIS: "Operación de Autopistas Seguras, Inteligentes y Sostenibles". Proyecto CENIT 2008-2011



Proyecto Oasis : "Operación de Autopistas Seguras, Inteligentes y Sostenibles"  
Convocatoria CENIT 2008-2011

