



*Monografía 13*

---

# Consumos de energía y emisiones asociados al transporte por autobús y autocar

*Energy consumption and emissions associated with  
transportation by bus*

---

Paula Bouzada Outeda  
Gustavo Martinelli  
Alberto Cillero Hernández

# Consumo de energía y emisiones asociadas al transporte por autobús y autocar

*Energy consumption and emissions associated with transportation by bus*

Alberto Cillero Hernández

Gustavo Martinelli

Paula Bouzada Outeda

ALSA

<http://www.enertrans.es>

© Alberto Cillero Hernández, Gustavo Martinelli, Paula Bouzada Outeda

© De esta edición, Grupo Gestor del Proyecto EnerTrans, 2008

ISBN: 978-84-89649-46-0

Depósito Legal: M-13502-2009

Esta monografía ha sido redactada por sus autores en el marco del Proyecto de Investigación “*Desarrollo de un modelo de cálculo y predicción de los consumos energéticos y emisión del sistema de transporte que permita valorar la sensibilidad de los consumos a las decisiones de inversión en infraestructura y de política de transporte*”(EnerTrans).

El proyecto *EnerTrans* ha sido desarrollado por los siguientes organismos: Fundación de los Ferrocarriles Españoles, Universidad Pontificia Comillas de Madrid, Universidad Politécnica de Madrid-INSIA; Universidad de Castilla-La Mancha; ALSA; Fundación General de la Universidad Autónoma de Madrid; Fundación “Agustín de Betancourt”; Fundación Universidad de Oviedo.

El proyecto *EnerTrans* contó con una ayuda económica del Centro de Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) dentro de su primer programa de ayudas (2006).

El proyecto *EnerTrans* estuvo dirigido por su investigador principal Alberto García Álvarez con el apoyo de un “Comité Científico” del que formaron parte las siguientes personas: Alberto García Álvarez (Fundación de los Ferrocarriles Españoles); Ignacio Pérez Arriaga y Eduardo Pilo de la Fuente (Universidad Pontificia Comillas de Madrid); Jose María López Martínez (Universidad Politécnica de Madrid-INSIA); Alberto Cillero Hernández y Carlos Acha Ledesma (ALSA); Timoteo Martínez Aguado y Aurora Ruiz Rúa (Universidad de Castilla-La Mancha); José Miguel Rodríguez Antón y Luis Rubio Andrada (Fundación General de la Universidad Autónoma de Madrid); Manuel Cegarra Plané (Fundación “Agustín de Betancourt”) y Rosa Isabel Aza y José Francisco Baños Pino (Fundación Universidad de Oviedo). El coordinador del proyecto por parte del CEDEX fue Antonio Sánchez Trujillano.

*The aim of the EnerTrans research project is to obtain an accurate model to find out the energy consumption (and associated emissions) of the Spanish transport system, according to the important variables on which it depends, and thereby avoid the need to extrapolate historical data series calculated with various methodologies in the European sphere for each mode of transport. The participants include various universities and foundations linked to different modes of transport: Fundación de los Ferrocarriles Españoles, Universidad Politécnica de Madrid-INSIA, Universidad de Castilla-La Mancha, ALSA, Universidad Pontificia de Comillas de Madrid, Fundación General de la Universidad Autónoma de Madrid, Fundación Agustín de Betancourt and Fundación Universidad de Oviedo.*

*The project has involved constructing a model which can be used to explain and predict energy consumption (and associated emissions) in the Spanish transport system, using a coherent methodology for all modes, considering all energy utilizations (construction, operation, maintenance, movement) and the whole energy cycle from source to final use, thus allowing the effects of the results of infrastructure or transport policy to be anticipated and evaluated. As a secondary objective, the project will permit assessment of the impact of any type of technical or operational measure aimed at reducing this energy consumption, which will be useful for transport operators.*

*It includes innovations such as taking into consideration different routes between the same points for each one of the different modes of transport, or separating consumption from load or space utilization coefficients.*

*The published documents corresponding to the EnerTrans project fall into three categories: Monographs, Articles and Technical notes.*



Con la subvención del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (Ministerio de Fomento), número de proyecto PT-2006-006-01IASM.

# ÍNDICE

ÍNDICE.....	3
0. RESUMEN Y CONCLUSIONES.....	5
1. INTRODUCCIÓN .....	7
2. CATEGORÍAS DE VEHÍCULOS AUTOBUSES Y AUTOCARES .....	8
2.1. Definición y clasificación de vehículos .....	8
2.1.1 Clasificación por criterios de construcción .....	9
2.1.2 Clasificación por criterios de utilización .....	10
2.2. Categorías internacionales de los vehículos .....	10
2.3. Dimensiones, masas máximas y capacidad.....	12
2.4. Otras clasificaciones de vehículos.....	13
2.5. Vehículos-tipo considerados para el modelo de consumos del Proyecto Enertrans .....	14
3. ESTRUCTURA DE LOS CICLOS DE OPERACIÓN DE LOS AUTOBUSES Y AUTOCARES	17
3.1. Ciclo operativo comercial.....	18
3.1.1 Fases con viajeros.....	18
3.1.2 Fase sin viajeros.....	19
3.2. Fases no comerciales del ciclo .....	20
4. CONSUMO DE ENERGÍA Y EMISIONES ASOCIADOS A LOS AUTOBUSES Y AUTOCARES	21
4.1. Tipología de energías, combustibles y vehículos.....	21
4.1.1 Tipos de energía alternativas .....	21
4.2. Factores que influyen en el consumo de combustible .....	23
4.2.1 Factores del vehículo que afectan el consumo de combustible .....	23
4.2.2 Características de las rutas y trazados .....	26
4.2.3 Factores climatológicos .....	27
4.3. Tecnología de motores y vehículos.....	29
4.3.1 Características del chasis .....	29
4.3.2 Características de la Carrocería .....	31
4.4. Mantenimiento.....	33
4.4.1 Mantenimiento de vehículos.....	33
5. MODELIZACIÓN DE LOS CONSUMOS EN LOS AUTOBUSES Y AUTOCARES .....	35
5.1. Descripción del programa piloto.....	35
5.2. Descripción de los Equipos de Medición .....	36
5.2.1 Equipos embarcados .....	36
5.2.2 Software de control remoto.....	36

5.3.Flota de vehículos empleada en el experimento.....	37
5.4.Señales de información recopiladas en el sistema.....	38
5.5.Principales salidas de información .....	39
5.5.1 Diagrama de Actividad .....	39
5.5.2 Gráficos de señales .....	41
5.5.3 Informe de consumo por viaje .....	43
5.5.4 Informe de Efectividad .....	43
5.5.5 Localización del Vehículo .....	44
5.6.Modelización de la incidencia del trazado en los consumos.....	45
5.7.Sectorización de los itinerarios .....	49
6. RESULTADOS DE LA MODELIZACIÓN DE CONSUMOS.....	52
6.1.Incidencia de la velocidad en el consumo de combustible .....	52
6.2.Incidencia del alzado en la caracterización de los consumos .....	56
6.3.Incidencia del tipo de infraestructura en el consumo de combustible .....	62
7. EXPERIENCIA DE ALSA CON EL USO DE ENERGÍAS ALTERNATIVAS.....	65
7.1.Biodiesel .....	65
7.2.Bioetanol .....	67
BIBLIOGRAFÍA .....	68
LISTA DE TABLAS Y FIGURAS.....	69

## 0. RESUMEN Y CONCLUSIONES

La presente Monografía profundiza en el conocimiento vinculado a los consumos<sup>1</sup> de energía y emisiones asociadas a la explotación de servicios de transporte de personas empleando vehículos autobuses y autocares que circulan por carretera.

El documento dedica **un primer bloque** a presentar de forma sintética la diversa tipología de vehículos que podemos englobar bajo la categoría de autobuses y autocares, atendiendo a las normativas y clasificaciones habitualmente empleadas en esta industria. Una vez delimitado el abanico funcional de vehículos que ofrece el estado del arte de la tecnología actual, se lleva a cabo una propuesta simplificada que pretende concretar una tipología acotada de vehículos, esencialmente en función de su uso y de su capacidad. Debe advertirse que el mercado de vehículos industriales ofrece actualmente una diversidad muy amplia (y creciente) de autobuses y autocares, en términos de dimensiones y/o capacidades ofertadas, lo cual aconseja asumir una propuesta estructurada como base de trabajo.

De esta forma, como resultado de este primer bloque descriptivo de alternativas de flota, se presenta un *Cuadro síntesis* que recoge las características técnicas y funcionales básicas de un conjunto de vehículos-tipo que se consideran representativos del estado de la tecnología y el mercado actual. Este *Cuadro* pretende ser homogéneo y similar en cuanto a contenidos respecto a las Monografías específicas que se han realizado en los restantes modos de transporte dentro del *Proyecto Enertrans*, con objeto de hacer posible la comparación y tratamiento unificado en un mismo modelo de consumos.

Dentro de esta primera parte de la Monografía dedicada a flotas de vehículos, es importante destacar que únicamente se tienen en cuenta los vehículos dotados de propulsión convencional mediante motores térmicos diesel, al no considerarse en el propio desarrollo del Proyecto Enertrans otro tipo de soluciones alternativas o desarrollos que ya se están planteando en la explotación regular de servicios como son los vehículos de motor eléctrico o híbridos, motor de gas natural, GLP, o la pila de hidrógeno. Estas soluciones caen fuera del alcance del Modelo general de Consumos, y por tanto no son tenidas en cuenta ni analizadas en detalle en la presente descripción de flota.

Un **segundo bloque** de la Monografía se dedica a definir una tipología de Servicios de Transporte, delimitando un conjunto de “servicios-tipo” diferenciados que pueden desarrollarse en la explotación de servicios de transporte por carretera mediante autobuses o autocares. Esta tipología de oferta resulta nuevamente acorde con la que se ha planteado a nivel troncal para todo el desarrollo del Proyecto Enertrans, siendo así posible efectuar comparaciones de servicios equivalentes entre los distintos modos. Cada servicio-tipo presenta unos parámetros propios de explotación, y unos ciclos operativos igualmente diferenciados.

Nuevamente, como conclusión de este bloque, se presenta un Cuadro síntesis de los servicios que sirve como variable de entrada al Modelo general de Consumos.

---

<sup>1</sup> En rigor el uso de la energía en el transporte no supone un consumo, por cuanto la energía no desaparece, sino que se transforma en una forma menos útil, en la práctica, el uso puede asociarse a un consumo y por ello se empleará este término de acepción más general.

El **tercer bloque** de la Monografía analiza los principios fundamentales, y diferenciales del modo, que inciden en el consumo energético y la generación de consumos. Se considera relevante profundizar en el conocimiento asociado a diferentes aspectos técnicos sobre la propulsión y la dinámica de los vehículos, delimitando las variables críticas de diversa naturaleza que deben tenerse en cuenta en la modelización específica de consumos y emisiones en este modo de transporte.

En el **cuarto bloque** de la Monografía se expone la experiencia y resultados obtenidos por el Grupo ALSA en la realización del Programa Piloto de Medición de Consumos que se ha llevado a cabo en explotaciones reales de transporte. Este Programa se ha orientado a conocer y modelizar los factores causales que influyen en el consumo de combustible en la explotación de servicios de transporte por autocar y autobús. Se trata de una iniciativa pionera en España, y ha formado parte de las actividades desarrolladas por el Grupo ALSA dentro de su participación en el Proyecto Enertrans.

El Programa ha avanzado en el conocimiento y modelización de los factores que inducen el consumo energético en la explotación de servicios de transporte interurbano por autocar y de transporte urbano por autobús. Para ello, se incorporaron siete equipos de medición electrónica de consumos en cinco vehículos-tipo interurbanos y dos vehículos tipo de ámbito urbano. Además, todos los vehículos contaron con sensores añadidos para recoger señales eléctricas procedentes de elementos auxiliares de los vehículos, como la climatización, luces de freno, sistema audiovisual, sensores de temperatura (interior y exterior), freno eléctrico, etc. Asimismo, se ha contado con información parametrizada de Velocidades y RPMs, así como datos georeferenciados de posición (X, Y, Z).

El Programa piloto se ha desarrollado en la explotación habitual de estos vehículos en sus respectivos ámbitos de actuación:

- Dos importantes ejes de movilidad interurbana nacional (concesiones de transporte regular permanente y uso general de viajeros por carretera): “VAC-099 Madrid-Zaragoza-Barcelona” y “VAC-055 Madrid-Alicante, con hijuelas”.
- Dos explotaciones de transporte urbano nacionales: Oviedo y Palencia.

Se analiza en este bloque, la incidencia de tres factores en la incidencia

El Programa Piloto ha conseguido aportar un banco de datos sumamente interesante, generando series temporales de consumos recurrentes a partir de los cuales se han obtenido datos fiables y contrastados que han sido trasladados al Modelo general de Consumos dentro del Proyecto Enertrans.

De esta forma, la formulación específica del Modelo de Consumos para autobuses y autocares, ha podido ser calibrada fundamentándose en las evidencias empíricas obtenidas del programa de mediciones, aumentando así la validez del modelo de cara a extrapolar situaciones en otras explotaciones de transporte por autocar y autobús.

Finalmente, y a pesar de quedar fuera del ámbito específico del Proyecto ENERTRANS, se dedica un último capítulo a analizar la experiencia de ALSA en el empleo de energías alternativas (biodiesel y bioetanol) en su servicios urbanos e interurbanos.

# 1. INTRODUCCIÓN

El **Proyecto Enertrans** tiene como objetivo principal desarrollar una herramienta que permita conocer con exactitud los consumos totales de energía primaria en el sistema español de transporte (tanto urbano como interurbano), así como sus emisiones asociadas, y que permita anticipar cuáles van a ser los consumos y emisiones en diversos escenarios futuros.

Esta herramienta permite valorar actuaciones de inversión en infraestructura y decisiones en política de gestión del transporte, desde el punto de vista de su impacto energético. Para ello, para cada combinación de modo de transporte y tipo de servicio, se determina su “función de consumo”, ajustándola con datos obtenidos de experimentos reales y de estadísticas contrastadas.

En el marco del desarrollo de esta herramienta, se integra la presente Monografía, cuyo **objeto principal** es analizar el consumo de energía y las emisiones asociadas al **transporte por autobús y autocar**, para poder definir una **función de consumo de energía**, y otra de emisiones, de este modo de transporte. Esta función aproxima los inductores del consumo de la energía que emplean los vehículos autocares y autobuses en su ciclo global de funcionamiento, tanto para su movimiento como para los servicios auxiliares.

---

## 2. CATEGORÍAS DE VEHÍCULOS AUTOBUSES Y AUTOCARES

En este capítulo se lleva a cabo un análisis sintético de la tipología de vehículos autobuses y autocares existente en este momento en la industria. En este modo de transporte se produce la peculiaridad de que es mayor cada vez la diversidad de vehículos que existe en el mercado, en términos de capacidad ofrecida y dimensiones, con lo cual, no resulta sencillo realizar (ni existe como tal) una clasificación de categorías de autobuses y autocares con plena validez. En función del objeto que se desee (p.ej., según capacidades, potencias, etc.), es posible llevar a cabo una selección u otra.

Como ya se advirtió en el Capítulo 1 de Introducción, no se hace referencia en este análisis a los vehículos dotados de elementos de propulsión diferentes de los motores térmicos de gasóleo (como pueden ser los vehículos eléctricos, híbridos, de gas natural, etc.), al caer fuera del ámbito de estudio del Proyecto Enertrans.

---

### 2.1. Definición y clasificación de vehículos

En España, el Reglamento General de Vehículos (RGV), aprobado por el Real Decreto 2822/1998, de 23 de Diciembre, en su Anexo II de “Definiciones y Categorías de los Vehículos”, define los vehículos autobuses y autocares y los clasifica por “criterios de construcción” y por “criterios de utilización”. Es por tanto, el punto de partida de cualquier clasificación que se desee llevar a cabo a nivel nacional.

A efectos de este Reglamento, se considerarán las siguientes definiciones:

- **Autobús o Autocar.** Automóvil que tiene más de 9 plazas (incluida la del conductor) destinado, por su construcción y acondicionamiento, al transporte de personas y sus equipajes. Se incluye en este término el trolebús, es decir, el vehículo conectado a una línea eléctrica y que no circula por carriles. En España no circulan actualmente vehículos trolebuses convencionales, si bien continúa siendo un modo de transporte ampliamente utilizado en otros países de Europa y del mundo, en especial en centroeuropa y países del Este. La última ciudad española que contó con trolebuses fue Pontevedra, habiéndose clausurado su red en agosto de 1989. Sin embargo, se está desarrollando una industria nueva que podríamos calificar de “trolebuses de nueva generación”, englobando un abanico de soluciones nuevas de movilidad *a priori* atractivas basadas en vehículos autobuses de alta capacidad sobre neumáticos (con guiado o no), y que toman la energía de una catenaria tipo tranviaria. Es el caso de la solución “Civis” del fabricante IRISBUS, implantado a modo de primera experiencia en España en el sistema de plataformas reservadas de Castellón (TVR-CAS).
- **Autobús o autocar articulado.** Autobús o autocar compuesto por dos partes rígidas unidas entre sí por una sección articulada. En este tipo de vehículos, los compartimentos para viajeros de cada una de las partes rígidas se comunican entre sí. La sección articulada permite la libre circulación de los viajeros entre las partes rígidas. La conexión y disyunción entre las dos partes únicamente podrá realizarse en el taller.
- **Autobús o autocar de dos pisos.** Autobús o autocar en el que los espacios destinados a los pasajeros están dispuestos, al menos parcialmente, en dos

niveles superpuestos, de los cuales el superior no dispone de plazas sin asiento.

- *Tren turístico.* Vehículo especial constituido por un vehículo tractor y uno o varios remolques, concebido y construido para el transporte de personas con fines turísticos, con velocidad máxima limitada y sujeto a las limitaciones de circulación que imponga la autoridad competente en materia de tráfico.
- *Tren de carretera.* Automóvil constituido por un vehículo de motor enganchado a un remolque.

Este Reglamento clasifica los tipos de los vehículos por una cifra de 4 dígitos (0000):

- Primer grupo de cifras: Clasificación por criterios de construcción.
- Segundo grupo de cifras: Clasificación por criterios de utilización.

## 2.1.1 Clasificación por criterios de construcción

De acuerdo con el Reglamento General de Vehículos, atendiendo a los criterios de construcción, los vehículos autobuses y autocares se pueden clasificar de la siguiente manera:

Tabla 1. Clasificación de los vehículos autobuses y autocares por criterios de construcción

11	Autobús o autocar MMA ≤3.500 kg	Automóvil concebido y construido para el transporte de más de 9 personas incluido el conductor, cuya masa máxima autorizada no exceda de 3.500 kg.
12	Autobús o autocar MMA >3.500 kg	Automóvil concebido y construido para el transporte de más de 9 personas incluido el conductor, cuya masa máxima autorizada excede de 3.500 kg.
13	Autobús o autocar articulado	El compuesto por dos secciones rígidas unidas por otra articulada que las comunica.
14	Autobús o autocar mixto	El concebido y construido para transportar personas y mercancías simultánea y separadamente.
15	Trolebús	Automóvil destinado al transporte de personas con capacidad para 10, o más plazas, incluido el conductor, accionado por motor eléctrico con toma de corriente por trole, que circula por carriles.
16	Autobús o autocar de dos pisos	Autobús o autocar en el que los espacios destinados a los pasajeros están dispuestos, al menos parcialmente, en dos niveles superpuestos, de los cuales el superior no dispone de plazas sin asiento.
80	Tren turístico	Vehículo especial constituido por un vehículo tractor y uno o varios remolques, concebido y construido para el transporte de personas con fines turísticos, con velocidad máxima limitada y sujeto a las limitaciones de circulación que imponga la autoridad competente en materia de tráfico.

Fuente: Reglamento General de Vehículos

## 2.1.2 Clasificación por criterios de utilización

Por criterios de utilización, de acuerdo con el Reglamento General de vehículos, los vehículos autobuses y autocares se pueden clasificar de la siguiente manera:

Tabla 2. Clasificación de los vehículos autobuses y autocares por criterios de utilización

03	<b>Escolar</b>	Vehículo destinado exclusivamente para el transporte de escolares.
04	<b>Escolar no exclusivo</b>	Vehículo para el transporte escolar, aunque no con exclusividad.
06	<b>Urbano</b>	Vehículo concebido y equipado para transporte urbano y suburbano; los vehículos de esta clase tienen asientos y plazas destinadas para viajeros de a pie y están acondicionados para permitir los desplazamientos de los viajeros en razón de sus frecuentes paradas.
07	<b>Corto recorrido</b>	Vehículo concebido y equipado para transporte interurbano; estos vehículos no disponen de plazas destinadas especialmente para viajeros de a pie, pero pueden transportar este tipo de viajeros en cortos recorridos en el pasillo de circulación.
08	<b>Largo recorrido</b>	Vehículo concebido y equipado para viajes a gran distancia; estos vehículos están acondicionados en forma que se asegura la comodidad de los viajeros sentados, y no transportan viajeros de pie.

Fuente: Reglamento General de Vehículos

## 2.2. Categorías internacionales de los vehículos

La Directiva de la Comunidad Económica Europea 70/156/CEE (modificada a su vez por posteriores Directivas) relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre la homologación de vehículos a motor y de sus remolques, realiza una clasificación que constituye una referencia europea a efectos de catalogar los vehículos que ofrece la industria. Estas Directivas se aplican a la homologación de todos los vehículos de motor, equipados de un motor de combustión interna, y de sus remolques, tanto si han sido fabricados en una sola etapa como en varias, así como a la homologación de los sistemas, componentes y unidades técnicas destinados a esos vehículos y a sus remolques. Se establecen las siguientes categorías:

- **Categoría M:** Vehículos a motor destinados al transporte de personas y que tengan por lo menos cuatro ruedas, o tres ruedas y un peso máximo superior a 1 tonelada.
- **Categoría M1.** Vehículos destinados al transporte de personas que tengan, además del asiento del conductor, ocho plazas sentadas como máximo.
- **Categoría M2.** Vehículos destinados al transporte y personas que tengan, además del asiento del conductor, más de ocho plazas sentadas y que tengan un peso máximo que no supere las 5 toneladas.
- **Categoría M3.** Vehículos destinados al transporte de personas que tengan, además del asiento del conductor, más de ocho plazas sentadas y que tengan un peso máximo que supere las 5 toneladas.

De acuerdo a esta clasificación, los vehículos autobuses y autocares se engloban dentro de las categorías “M2” y “M3”.

Por otro lado, el Reglamento número 36 de la Comisión Económica para Europa de Naciones Unidas, sobre prescripciones uniformes relativas a las características de construcción de los vehículos de transporte público de personas, distingue tres clases de vehículos cuando la capacidad del mismo exceda de 22 viajeros además del conductor. El Reglamento 36 de Ginebra, anejo al Acuerdo del 20 de mayo de 1958 relativo a la adopción de condiciones uniformes de Homologación a reconocimiento recíproco de la Homologación de piezas y equipos para vehículos de motor, constituye una norma básica a nivel internacional en la industria de la automoción.

Se rigen por este Reglamento los autobuses de un único piso con más de 22 plazas excluida la del conductor, en cuanto a sus condiciones de construcción y las condiciones de la homologación de piezas y equipos. En el caso de estos vehículos con una capacidad superior a 22 viajeros, El Reglamento 36 distingue tres clases de vehículos:

- **Clase I.** Autobús, o vehículo para transporte urbano y suburbano con asientos y plazas para viajeros de pie, que pueden desplazarse en su interior por razón de sus muchas paradas.
- **Clase II.** Autocar interurbano, o vehículo para transporte interurbano sin plazas para viajeros de pie, pero que puede llevarlos en cortos recorridos en sus pasillos de circulación.
- **Clase III.** Autocar de largo recorrido, o vehículo para viajes a largas distancias, que no permite llevar viajeros de pie.

Un mismo vehículo perteneciente a más de una Clase puede homologarse para cada una de las clases que corresponda.

Por su parte, los vehículos no articulados de un único piso con capacidad entre 9 y 22 plazas sentadas (no incluyendo al conductor), se rigen por el Reglamento N° 52 de Ginebra, en cuanto a prescripciones relativas a características de construcción y condiciones de homologación de piezas y equipos.

La Directiva 2001/85/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 20 de noviembre relativa a las disposiciones especiales aplicables a los vehículos utilizados para el transporte de viajeros con más de ocho plazas además del asiento del conductor, y por la que se modifican las Directivas 70/156/CEE y 97/27/CE, establece que, en el caso de los vehículos con una capacidad no superior a 22 viajeros además del conductor, se distinguen dos clases de vehículos:

- **Clase A:** Vehículos diseñados para el transporte de viajeros de pie; los vehículos pertenecientes a esta clase están provistos de asientos y deben estar acondicionados para transportar viajeros de pie.
- **Clase B:** Vehículos que no han sido diseñados para el transporte de viajeros de pie; los vehículos pertenecientes a esta clase no están acondicionados para transportar viajeros de pie.

---

## 2.3. Dimensiones, masas máximas y capacidad

---

El RGV establece las dimensiones y masas máximas admisibles para los vehículos que circulen en España. Las dimensiones máximas autorizadas a vehículos autobuses y autocares son las siguientes:

Longitud:

- Autobuses rígidos: 15,00 m.
- Autobuses articulados: 18,00 m.

Anchura: como regla general, 2,55 m, con excepción para los autobuses especialmente acondicionados para el traslado de presos (2,60 m)

Altura. Altura máxima de los vehículos, incluida la carga de 4,00 m.

En cuanto a las masas máximas, el RGV establece las siguientes (en Toneladas):

- Vehículo de motor de 2 ejes: 18 toneadas.
- Vehículos de transporte colectivo de viajeros de la Clase I (autobuses urbanos) según la clasificación del Reglamento 36: 20 toneladas.
- Autobuses articulados de 3 ejes: 28 toneladas.

En cuanto a capacidad admisible para viajeros sentados y/o de pie, es importante señalar que los vehículos homologados como Clase III (de acuerdo al Reglamento 36) no admiten viajeros de pie. Únicamente admiten personas de pie (y sentadas) los vehículos de Clases I y II, con los siguientes requisitos de capacidad unitaria máxima de pie:

- 8 personas/m<sup>2</sup> (0,125 m<sup>2</sup>/p) para la Clase I.
- 6,7 personas/m<sup>2</sup> (0,15 m<sup>2</sup>/p) para la Clase II.

## 2.4. Otras clasificaciones de vehículos

---

A partir de las categorías fundamentales que establecen las Normas antes señaladas, es posible elaborar todo tipo de clasificaciones de los vehículos autobuses y autocares, en función de la finalidad que persiga dicha estructuración.

A modo de ejemplo, se reseña la clasificación que introduce el “Manual para la planificación, financiación e implantación de sistemas de transporte urbano” (Consortio Regional de Transportes de Madrid, 2004), el cual estructura los vehículos en función de su capacidad.

El Manual reconoce que, en la actualidad, la industria de este sector ofrece una tipología variada de vehículos con capacidades muy diferentes, introduciendo las siguientes categorías:

- **Microbuses.** Autobuses de reducidas dimensiones, con capacidades variables entre 20 y 40 plazas, con unos 10 a 15 asientos. Las potencias necesarias suelen ser de 120-200 CV, con cilindradas diesel de 3.000-5.000 cm<sup>3</sup>.
- **Midibuses.** Autobuses medianos con capacidad de 40 a 60 plazas y de 15 a 20 asientos. Las potencias necesarias suelen ser de 200-240 CV, con capacidades de 5.000-8.000 cm<sup>3</sup>.
- **Autobuses Estándar.** Autobuses más comunes, con capacidad de 70 a 90 pasajeros, y con unos 30 a 45 asientos. Algunos sistemas de tracción como los híbridos o el gas natural requieren un espacio adicional por esta capacidad. Las potencias necesarias suelen ser de 240-280 CV, con cilindradas de 9.500 cm<sup>3</sup>.
- **Autobuses Articulados.** Autobuses con una unidad remolcadas, de 100 a 150 plazas y con unos 40 a 60 asientos. Las potencias necesarias suelen ser de 300 a 350 CV, y la cilindrada de 12.000 cm<sup>3</sup>.

Por su parte, los fabricantes e Importadores de vehículos suelen estructurar la gama de productos ofrecidos en términos de “Microbuses”, “Autocares (interurbanos)” y “Autobuses (urbanos)”. El concepto de “Microbús” suele hacer referencia a vehículos de transporte de pasajeros con capacidad superior a 9 plazas y PMA inferior a 6 toneladas.

Dentro de esta categoría de “Microbús”, se suele diferenciar entre los propiamente llamados “Microbuses” y los denominados “Minibuses” o “Midibuses”, ligeramente mayores, pero de los que no existe ninguna especificación técnica ni normativa que los diferencie, salvo la propia práctica profesional del sector.

Estos últimos suelen ser vehículos de 9 a 16 plazas sentadas (rara vez suelen llegar hasta las 26 plazas), salvo que se dediquen a transporte urbano y admitan personas de pie, siempre cumpliendo el Reglamento N° 36 ya citado, según el cual la superficie asignada a los pasajeros en la distribución adoptada y el PMA máximo admitido por el vehículo están perfectamente establecidas. Sus longitudes varían desde los 6,50 m y los 7,50 m (en raras ocasiones llegan a los 7,80 m).

## 2.5. Vehículos-tipo considerados para el modelo de consumos del Proyecto Enertrans

Consideramos importante efectuar, en primer lugar, una primera distinción entre los términos “autobús” y “autocar”.

A efectos de esta investigación, y atendiendo a la práctica profesional del sector en España, utilizaremos el término “autobús” a la hora de referirnos a vehículos destinados a transporte urbano en ciudades y áreas metropolitanas, y “autocar” cuando se haga mención a transportes interurbanos en sus diferentes radios de acción. Es decir, estaríamos asimilando el término “autobús” a servicios que se llevan a cabo empleando vehículos homologados como Clases I y II (admitiendo ambos a viajeros de pie y sentados), y utilizamos el término “autocar” a servicios que emplean vehículos de la Clase III (sólo plazas sentadas).

El criterio de la propia “Real Academia Española” en su diccionario de la lengua española parece consolidar esta diferenciación semántica. Así, el término “autobús” hace referencia a un “vehículo automóvil de transporte público y trayecto fijo que se emplea habitualmente en el servicio urbano”. Por su parte, el término “autocar” se define como aquel “vehículo automóvil de gran capacidad concebido para el transporte de personas, que generalmente realiza largos recorridos por carretera”.

En nuestra interpretación, estaríamos empleando el término “autobús” no sólo para los servicios urbanos sino además para los de tipo metropolitano. Es cierto que en el modelo regulador del transporte de viajeros por carretera en España no existe, como tal, una figura específica para los transportes que se desarrollan en áreas metropolitanas y conurbaciones urbanas, a pesar de que este tipo de transportes tienen peculiaridades evidentes que lo hacen diferente del propio transporte urbano o del interurbano convencional.

Atendiendo al criterio de la regulación, los transportes metropolitanos son “transportes interurbanos” (dentro de la categoría del transporte regular por carretera de uso general y permanente). No obstante, a efectos de la presente investigación, y en función de la naturaleza de los servicios, se establece una diferenciación troncal para todo el Proyecto Enertrans, diferenciando entre servicios “Urbanos”, “Metropolitanos” e “Interurbanos” (y dentro de cada uno de éstos, diferenciando entre distintos rangos de distancias).

En la Monografía 6 “Métrica y estandarización de consumos y emisiones en el transporte” del Proyecto Enertrans se definen los criterios seguidos en cuanto a normalización y armonización de los servicios de transporte. En el ámbito concreto de este modo de transporte, utilizaríamos la acepción “autobús” a la hora de referirnos a vehículos aptos para servicios urbanos y/o metropolitanos, y “autocar” para el resto de servicios interurbanos.

Para cada uno de estos tres tipos básicos de servicio, se ha procedido a seleccionar unos ejemplos de vehículos-tipo reales existentes actualmente en el mercado, y que han sido tomados como referencia de análisis a la hora de introducirlos en el Modelo general de Consumos del Proyecto Enertrans. No obstante, el propio diseño funcional de la aplicación informática que soporta el Modelo permite que el usuario efectúe simulaciones con estos vehículos, o con otros que se desee introducir simplemente modificando los parámetros técnicos básicos que considera la aplicación.

Estos parámetros de entrada son los siguientes:

- **Tipo de vehículo:** Fabricante, Modelo, Vehículo articulado (SI/NO), N° pisos, N° Ejes.
- **Capacidad:** N° Plazas sentadas, N° Plazas de pie, Capacidad máxima de mercancías.
- **Dimensiones:** Ancho exterior máximo, Altura exterior máxima, Sección transversal de elementos externos, Longitud exterior.
- **Masa:** Masa en seco, Tara, Masa en vacío, Masa máxima autorizada para circular, Masas rotativas.
- **Motorización:** Fabricante motor, Tipo, Potencia máxima, Par motor máximo, Rendimiento del motor en función de la potencia.
- **Combustible:** Tipo de combustible, Capacidad depósito combustible.
- **Transmisión:** Tipo de transmisión, Rendimiento de la transmisión.
- **Rodadura:** N° de ruedas, Ancho ruedas, Vida media útil de los neumáticos/llantas.
- **Alternador:** Potencia del alternador.
- **Resistencia:** A (Coeficiente específico de resistencia mecánica al avance). B (Coeficiente de resistencia a la entrada de aire). C (Coeficiente de resistencia aerodinámica).
- **Habitabilidad:** Anchura interior útil en zona de viajeros. Longitud de los habitáculos de viajeros. N° de puertas/salidas.

Los vehículos-tipo concretos que se han seleccionado, a modo de primera referencia para introducir en el Modelo general de Consumos del Proyecto ENERTRANS, son los siguientes:

- **Vehículos aptos para servicios “Urbanos”:** Mercedes Benz “Citaro” 12 metros. // Hispano “Hábit” con motorización Volvo B7L 10,5 metros. // Mercedes Benz “Citaro” articulado 18 metros.
- **Vehículos aptos para servicios “Metropolitanos”:** Setra “S-419 UL” 3 ejes 15 metros.
- **Vehículos aptos para servicios “Interurbanos”:** Mercedes Benz “Travego 17 RHD” 3 ejes 13,8 metros. // Setra “319 GTHD” 3 ejes 15 metros // Volvo carrocería Sunsundegui “Sideral 200” 3 ejes 15 metros.
- **Vehículos específicos tipo Microbús:** Mercedes Benz “Sprinter City 65” 7,7 metros. // Mercedes Benz “Atego 1224 L” 8,7 metros.

Se presenta a continuación un Cuadro síntesis de las características específicas de estos vehículos considerados como referencia.

Tabla 3. Características de los vehículos-tipo introducidos en el Modelo general de Consumos del Proyecto ENERTRANS

DESCRIPCIÓN DE LOS VEHÍCULOS REPRESENTATIVOS DEL MODO		2602	2187 y 2334	2098 y 2420	2421	2461	Vehículo 6	Vehículo 7	Vehículo 8	Vehículo 9
		1 Tipo de vehículo	Urbano	Interurbano - Eurobus	Interurbano - Normal	Interurbano - Normal	Urbano	Urbano	Metropolitano	Urbano Articulado
2 Fabricante	Mercedes Benz	Mercedes Benz	Setra	Setra	Hispano	Mercedes Benz	Setra	Mercedes Benz	Mercedes Benz	Mercedes Benz
3 Modelo	Citaro	Travego 17 RHD	Setra 319 GTHD	Sideral 2000	Habit-Volvo B7L	Citaro O 530 G	S-419 UL	Citaro O 530 G	Sprinter City 65	AITEGO 1224 L
4 Vehículo articulado	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
5 N° pisos	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6 N° Ejes	2	3	3	3	2	3	3	3	2	2
7 N° Plazas sentadas	26	52	60	60	28	40	69	40	12	35
8 N° Plazas de pie	66+2PMR	0	0	0	56+1PMR	0	0	91+1PMR	1 PMR	0
9 Volumen maletero	0	11,76	7,75	9,5	0	0	0	0	0	0
10 Ancho exterior máximo	2.550	2.550	2.550	2.550	2.550	2.550	2.550	2.550	1.993	2.500
11 Altura exterior máxima	3.076	3.710	3.620	3.380	3.160	3.076	3.175	3.076	3.040	3.300
12 Longitud exterior	11.950	13.810	14.960	14.995	10.490	17.940	14.960	17.940	7.700	9.230
13 Tara	11.735	16.080	16.080	16.038	11.005	11.385	15.395	11.385	3.120	8.690
14 Masa en vacío= Tara+75	11.810	16.155	16.155	16.113	11.080	11.460	15.470	11.460	3.195	8.765
15 Masa máxima autorizada para circular	18.000	24.000	24.000	25.500	18.900	28.000	24.000	28.000	5.500	11.900
16 Fabricante motor	Mercedes OM 457	Mercedes OM 502	Mercedes OM 502	Volvo B12B	Volvo B7L	Mercedes OM 457	Mercedes OM 457	Mercedes OM 457	Mercedes OM 646	Mercedes OM 906 LA
17 Tipo	220 (299)	350 (476)	351 (476)	309 (420)	184 (250)	261 (354)	260 (354)	261 (354)	108 (147)	238 (323)
18 Potencia máxima	Gasol	Gasol	Gasol	Gasol	Gasol	Gasol	Gasol	Gasol	Gasol	Gasol
19 Tipo de combustible	Gasol	Gasol	Gasol	Gasol	Gasol	Gasol	Gasol	Gasol	Gasol	Gasol
20 Capacidad depósito combustible	280	475	490	600	300	290	350	290	75	180
21 Tipo de transmisión	Automático	Manual, asistid	Automático	Automático	Automático	Automático	Manual, asistid	Automático	Automático	Automático
22 N° de ruedas	6	8	8	8	6	10	8	10	6	6
23 Ancho ruedas	275	295	295	295	275	275	295	275	205	265
24 Potencia del alternador	6.720	6.720	6.720	7.920	4.320	7.680	5.760	7.680	2.640	2.800
25 Anchura interior útil en zona de viajeros	2.421	2.240	2.240	2.450	2.385	2.410	2.424	2.410	1.760	2.480
26 Longitud de los habitáculos de viajeros	9.815	12.200	13.300	13.300	8.053	16.006	13.923	16.006	5.020	7.295
27 N° de puertas/salidas	3	2	2	2	2	3	2	3	2	2

Fuente: Elaboración propia

### 3. ESTRUCTURA DE LOS CICLOS DE OPERACIÓN DE LOS AUTOBUSES Y AUTOCARES

Un determinado vehículo autobús o autocar realiza diferentes etapas a lo largo de una misma operación. Cada una de estas etapas o fases, se caracterizan por una determinada velocidad media, potencia, empleo o no de auxiliares, etc. que influyen en los consumos de energía, y por lo tanto, en las emisiones de contaminantes.

Por ello, para analizar el consumo y las emisiones de los vehículos autobuses y autocares, es imprescindible realizar un análisis previo diferenciado para cada una de las diferentes fases del movimiento de los mismos.

Para una misma operación de transporte o servicio, se han definido las siguientes fases<sup>1</sup>

Tabla 4. Fases del ciclo del vehículo

<b>A. EN SERVICIO</b>	
<b>Con viajeros</b>	
1	Operación de carga o subida de pasajeros al inicio de la ruta
2	Fase fija al comienzo del viaje
3	Movimiento comercial - Infraestructura ámbito Urbano
4	Movimiento comercial - Infraestructura ámbito Metropolitano
5	Movimiento comercial - Infraestructura ámbito Interurbano Velocidad Baja
6	Movimiento comercial - Infraestructura ámbito Interurbano Velocidad Media
7	Movimiento comercial - Infraestructura ámbito Interurbano Velocidad Alta
8	Operaciones de Parada Comercial intermedia
9	Operación de Parada Técnica (descansos, etc.)
10	Operación de descarga o bajada de pasajeros al final de la ruta
11	Fase fija al final del viaje
<b>Sin viajeros pero asociado al servicio</b>	
12	Maniobras de formación y posicionamiento
<b>B. FUERA DE SERVICIO y no imputables a un servicio concreto</b>	
13	Movimientos en vacío (no se incluyen pruebas)
14	Operación de mantenimiento (sin movimiento, pero con consumo de energía)
15	Operación de mantenimiento con movimiento

Fuente: Monografía 6 del Proyecto Enertrans.

<sup>1</sup> Estas fases han sido definidas en la Monografía 6 “ Criterios de métrica y estandarización de los consumos y emisiones en el transporte” del Proyecto Enertrans.

A continuación se describen, siguiendo la anterior clasificación, las diferentes fases concretas del movimiento particularizando el análisis ahora para los vehículos autobuses y autocares.

## 3.1. Ciclo operativo comercial

El ciclo operativo comercial es el que se puede asociar a un determinado servicio o expedición, cuando el vehículo en cuestión se utiliza en prestar la actividad productiva de transporte para la cual está concebida (a diferencia, por ejemplo, de los movimientos que se producen en ocasiones por motivos de mantenimiento, reposicionamientos, etc.). Dentro de este ciclo operativo vinculado a la explotación comercial de las empresas, se puede diferenciar entre fases “con viajeros” a bordo y “sin viajeros”.

### 3.1.1 Fases con viajeros

#### 1. Operación de subida de pasajeros al inicio de la ruta

Es la fase en la que, al inicio del servicio, el viajero sube al autobús o autocar y ocupa su plaza, habiendo guardado, si es el caso, el equipaje en la bodega del vehículo.

En esta fase, aunque el vehículo se encuentre detenido, se consume energía ya que algunos de los servicios auxiliares del vehículo deben estar en funcionamiento (p.ej. climatización, iluminación, etc.).

#### 2. Movimiento comercial

El movimiento comercial es la circulación del vehículo transportando viajeros.

El consumo de combustible de un mismo autocar o autobús es muy diferente en función del tipo de explotación (y/o infraestructura). A los efectos de esta investigación, se considera adecuado diferenciar tres tipos básicos de servicios de naturaleza bien distinta (urbanos, metropolitanos e interurbanos), condicionando además consumos energéticos que pueden llegar a ser significativamente diferenciados (no sólo por la propia utilización de vehículos que son distintos, sino además por la propia configuración de las paradas, velocidades medias, etc.).

Por ello se considera relevante distinguir los siguientes tipos de movimientos comerciales, particularizando además sub-clases dentro de los movimientos interurbanos:

- **Movimiento comercial - Infraestructura de ámbito urbano:** Fase del movimiento comercial en la cual el autobús o autocar suele circular a velocidades bajas. Este sería el caso de un autobús urbano, o bien, del trayecto urbano de un autobús metropolitano o interurbano en la salida o llegada de las ciudades.
- **Movimiento comercial - Infraestructura ámbito metropolitano:** Fase del movimiento comercial en la cual el autobús o autocar suele circular a velocidades medias. Este sería el caso de un servicio metropolitano o del recorrido de un servicio interurbano por vías periurbanas en los accesos o salidas a los núcleos urbanos.
- **Movimiento comercial - Infraestructura ámbito Interurbano a velocidad baja:** Fase del movimiento comercial en la cual el autocar circula, en una infraestructura interurbana, a velocidades generalmente medio-altas, bien

por la existencia de limitaciones de velocidad de la infraestructura y/o bien por la densidad del tráfico. Este sería el caso de un autocar circulando por una carretera convencional limitada a una velocidad máxima de 70 km/h, o por un tramo de tráfico denso.

- **Movimiento comercial - Infraestructura ámbito Interurbano a velocidad media:** Fase del movimiento comercial en la cual el autocar circula, en una infraestructura interurbana, a velocidades más altas, pero no a las máximas que puede alcanzar el vehículo, de nuevo por limitaciones de la infraestructura y/o por la densidad del tráfico. Sería el caso, por ejemplo, de un autocar circulando por una carretera convencional o un tramo de una autovía limitada a 80 km/h.
- **Movimiento comercial - Infraestructura ámbito Interurbano a velocidad alta:** Fase del movimiento comercial en la cual el vehículo puede circular, en una infraestructura de ámbito interurbano, a su velocidad máxima de 100 km/h (máxima autorizada en nuestro Código de Circulación para este tipo de vehículos).

### 3. Operaciones de parada comercial intermedia

Las paradas comerciales intermedias, son aquellas en las que se produce la subida y/o bajada de pasajeros en detenciones intermedias del viaje.

En esta fase, al igual que las paradas iniciales y/o finales, aunque el vehículo se encuentre detenido, se consume energía ya que determinados equipos auxiliares deben seguir en funcionamiento.

### 4. Operación de parada técnica

Las paradas técnicas, en el caso de los vehículos autobuses y autocares, generalmente son las que se realizan para adecuarse a la normativa de tiempos de conducción y descanso propia de estas actividades.

### 5. Operación de bajada de pasajeros al final de la ruta

Es la fase en la que, al final del servicio, el viajero abandona el autobús o autocar, recogiendo, en su caso, el equipaje de la bodega del vehículo. De nuevo determinados equipos auxiliares (como la iluminación) suelen permanecer activados a pesar de estar el vehículo detenido, con el motor en marcha o no.

## 3.1.2 Fase sin viajeros

---

### 1. Maniobras de formación y posicionamiento

Se trata de movimientos de naturaleza diversa, que en el caso de los vehículos autobuses y autocares, pueden concretarse en:

- El desplazamiento del autobús o autocar desde su zona de estacionamiento o mantenimiento hasta el lugar donde se realiza la operación de subida de pasajeros al inicio de la ruta.
- El desplazamiento del autobús o autocar desde el lugar donde se realiza la operación de bajada de pasajeros al final de la ruta hasta la zona de estacionamiento o mantenimiento del vehículo.

## 3.2. Fases no comerciales del ciclo

---

El consumo de combustible realizado en este tipo de movimientos, si bien no se puede asociar a un servicio concreto, sí puede repartirse (por ejemplo de forma proporcional) entre todos los servicios comerciales realizados por un mismo vehículo en un determinado periodo de tiempo.

### 1. Movimientos en vacío

Son movimientos de los autobuses y autocares por motivos de posicionamiento, no ligados directamente a un servicio en explotación comercial.

En el transporte regular de viajeros este tipo de vacíos son muy poco significativos, salvo en el caso de los movimientos “punta-talón” típicos de días punta (por ejemplo inicios o finales de puentes, o de temporadas), en los cuales el flujo de demanda (y de vehículos evolucionados) en un sentido es muy superior al del contrario, generándose en ocasiones este tipo de vacíos si los retornos no se consigue hacerlos comerciales.

En el caso de los servicios discrecionales, y los refuerzos de los servicios regulares, estos vacíos pueden ser más relevantes.

### 2. Operación de mantenimiento

Es la fase en la que los vehículos autobuses y autocares deben someterse a diferentes operaciones y consistencias de mantenimiento, limpieza y conservación.

---

## 4. CONSUMO DE ENERGÍA Y EMISIONES ASOCIADOS A LOS AUTOBUSES Y AUTOCARES

---

### 4.1. Tipología de energías, combustibles y vehículos

---

#### 4.1.1 Tipos de energía alternativas

---

La industria de la automoción está desarrollando diferentes opciones de energías aplicadas, alternativas a la propulsión térmica convencional.

A pesar de quedar fuera del ámbito específico del Proyecto ENERTRANS, que excluye expresamente las tecnologías de propulsión no basadas en la generación primaria de carburantes convencionales y/ o electricidad, se considera oportuno efectuar una breve mención al estado del arte sobre las energías alternativas más desarrolladas en el momento actual en vehículos autobuses y autocares.

Es importante aclarar que la energía que utiliza cualquier vehículo es en forma de “reserva”. En todos los casos la energía producida debe ser transformada a energía cinética (movimiento). Durante esta transformación se produce calor, y a esta pérdida de energía la llamamos energía residual, debida a que el proceso de transformación no es perfecto.

A continuación se explicará brevemente la forma de almacenar y transformar las energías alternativas más viables.

##### Eléctrica

En el caso de energía eléctrica, la misma se puede obtener de diferentes formas: batería (proceso químico), pila de combustible (hidrógeno u otros combustibles), eléctrico-térmico (híbrido).

Por cualquiera de estos medios, se genera una energía que se almacena, que puede ser utilizada para alimentar uno o varios motores eléctricos que dotarán de movimiento al vehículo.

##### Biocombustibles

Los “combustibles biocarburantes”, (o simplemente los “biocombustibles”), pertenecen a la familia catalogada de energías renovables. Estos son carburantes con características similares a los obtenidos del petróleo, y que pueden ser utilizados en motores de combustión interna, sustituyendo los combustibles tradicionales de forma parcial o total.

##### Biodiesel

El biodiesel se obtiene por un proceso de esterificación de aceites vegetales, puros o usados, y de grasas animales.

En caso de utilizarlo puro, como sustituto total del diesel, se le denomina b100. Es habitual encontrarse con mezclas en porcentajes muy inferiores (b30, b10, b5) en numerosas explotaciones de transporte actuales, generalmente en ámbitos urbanos y metropolitanos. El número hace referencia al porcentaje de biodiesel que debe mezclarse con el diesel.

Las ventajas más notables obtenidas de utilizar este tipo de biocombustibles son: la disminución de emisiones de dióxido de carbono; su combustión no produce gases que posean azufre, ya este elemento no forma parte del combustible.

Su mayor inconveniente es el rendimiento promedio de producción por hectáreas, cuyo máximo se estima en 900 litros de biodiesel. Esto hace que el porcentaje de diesel que puede ser reemplazado realmente por el biodiesel, se encuentre en magnitudes del orden del 5 al 10 % del total de diesel consumido actualmente.

Otros inconvenientes se deben a la poca experiencia relativa que todavía se tiene en el uso de este combustible. Pueden haber problemas en algunos componentes de motores con “Common rail” si las mezclas son mayores y se utilizan por largos periodos de tiempo. Además, es importante conocer de dónde es obtenida la materia prima para producir el biodiesel, ya que como cualquier combustible tradicional, según la calidad de la materia prima será la calidad de producción del combustible.

Finalmente, podemos mencionar que un aspecto interesante al utilizar biocombustible son las consecuencias sociales de previsible producción y comercialización masiva, especialmente en los países de vía de desarrollo, tema objeto de debate por los agentes sociales y gubernamentales internacionales.

### Bioetanol

El bioetanol es utilizado para los motores de combustión interna de gasolina. Existen experiencias puntuales de utilización en flotas de autobuses, si bien todavía no es un biocombustible generalizado en su aplicación al transporte.

### GNC

El GNC o gas natural comprimido es una de las alternativas más sólidas a los combustibles derivados del petróleo. Uno de sus puntos fuertes es que produce menores emisiones gaseosas contaminantes, un nivel de ruido inferior, y menores emisiones de dióxido de carbono.

Otro aspecto fuerte de este combustible son las reservas actuales, que se estima podrán ser usadas durante unos 30 ó 50 años más que los derivados del petróleo.

El GNC se considera una alternativa real, económica y fiable, y se puede utilizar de forma inmediata para reducir el nivel de ruido y las emisiones de dióxido de carbono. El problema, es que este tipo de combustible no es una solución al problema de la dependencia de los combustibles fósiles.

### GLP

El gas licuado del petróleo es una mezcla de gases condensados que se pueden encontrar en el gas natural y en el petróleo. Los componentes del GLP son una mezcla de propano y butano. Estos son fáciles de condensar, aunque a temperatura y presión ambiente se encuentran en forma gasificada.

Existen dos formas de obtener GLP:

- Una es del gas natural, que contiene cantidades variables de propano y butano. Estas cantidades pueden ser extraídas por procesos que consisten en la reducción de temperatura del gas (-40 °C) hasta que estos componentes y

otros más pesados se condensan. Luego estos líquidos son sometidos a un proceso de purificación usando un sistema de destilación que permita producir el butano y el metano en estado líquido, o directamente el GLP.

- La otra forma de obtener GLP es del petróleo, cuando este llega a una refinación primaria, donde se obtienen diferentes cortes (destilados) entre los cuales se obtienen gases húmedos, naftas o gasolinas, querosenos, gasóleos atmosféricos o diesel, y gasóleos de vacío. Este último, el gasóleo de vacío, es la materia prima para obtener GLP, y otros productos más pesados.

El GLP, al igual que el GNC, tiene ventajas medioambientales, ya que ambos reducen las emisiones de gases contaminantes regulados, como el monóxido de carbono, el hidróxido de carbono, el óxido nítrico, partículas, gases de escape exentos de azufre y plomo (este último ya no se encuentra en las nuevas naftas o gasolinas).

Con la utilización de GLP se reducen los niveles de ruido y la cantidad de dióxido de carbono producido durante el funcionamiento del motor.

---

## 4.2. Factores que influyen en el consumo de combustible

---

Los autobuses y autocares están compuestos por una única fuente de energía que alimenta todas sus necesidades, sean estas para la traslación del vehículo, o para la alimentación de equipos auxiliares (por ejemplo el aire acondicionado, televisión por circuito cerrado, circuito de música, luz interior, etc). Esta única fuente de energía a la que nos referimos es el motor de combustión interna, que provee de determinada potencia para satisfacer los requerimientos que el vehículo necesite. Estos pueden ser diversos, como subir una montaña con importantes pendientes, vencer la resistencia del aire para avanzar a una velocidad determinada, o simplemente mantener el vehículo a una determinada temperatura (a través del climatizador) para un mayor confort del pasajero.

Como mencionamos al principio, el motor de combustión interna entrega potencia, y a cambio consumirá proporcionalmente energía que viene suministrada por el combustible.

A continuación identificaremos los factores que influyen en el consumo de combustible en tres grupos de variables: según dependan del vehículo, de las características del recorrido, o de la climatología.

### 4.2.1 Factores del vehículo que afectan el consumo de combustible

---

Los factores que afectan el consumo del vehículo, se dividen en cinco grupos diferentes:

#### Rendimiento del motor de combustión interna

La mayoría de los autobuses que se comercializan para transporte urbano e interurbano están equipados con un motor diesel de 4 tiempos, con potencias que varían entre 300 HP y 450 HP, aproximadamente.

En general, los motores de combustión interna, independientemente del tipo de combustible que utilicen, tienen un rendimiento energético muy bajo, alrededor del 20%. Este bajo rendimiento viene dado porque no se puede aprovechar todo el calor

que se genera en la combustión del combustible, ya que las altas temperaturas de trabajo hacen necesario refrigerar los materiales que componen el motor. Esta refrigeración es necesaria para que el mismo pueda seguir funcionando de forma fiable, y es el motivo por el cual los motores de combustión interna tienen un rendimiento tan bajo, como mencionamos.

Por lo tanto, el rendimiento del motor diesel es el primero de los factores de pérdida de energía.

### **Rendimientos de los equipos mecánicos de transmisión del par motor, desde el cigüeñal del motor hasta el neumático**

El motor entrega una determinada potencia en función de su velocidad de giro, y de sus características. Esta potencia es el “Par Motor” por la velocidad de giro.

Las prestaciones de un motor de combustión interna se definen fundamentalmente en función de las curvas de “potencia máxima” y “par motor máximo”.

El “par” hace referencia a una fuerza de rotación aplicada al final de un eje giratorio. En un vehículo se diferencian dos pares fundamentales: el denominado “par motor”, que es aquel que se produce como consecuencia de la combustión del carburante en los cilindros; y el “par en rueda”, que es aquel que aplica en la rueda, generando la fuerza de propulsión precisa para mover realmente el vehículo. El “par en rueda” es diferente del “par motor”, ya que la caja de cambios se encarga de multiplicarlo. Finalmente, el “par motor máximo” es la máxima fuerza de giro que puede proporcionar cada motor.

La transmisión de fuerzas desde el motor hasta la rueda viene dada por un conjunto de equipos mecánicos que dependerán del diseño del vehículo, pero a modo de ejemplo podemos describir las etapas de la siguiente forma: motor, embrague, transmisión (que puede ser manual o automática), cardan, diferencial (o diferenciales) y, finalmente, la rueda.

Todos estos componentes generan pérdidas mecánicas debido a los rozamientos, necesarios para la transmisión del par motor. Estos rozamientos generan calor que es disipado al ambiente. Es importante aclarar que estas pérdidas son pequeñas en comparación con las propias del motor de combustión interna. Esta pérdida de potencia, está entre un 10 y un 15% del total de la potencia que entrega el motor, y depende fundamentalmente del diseño de los equipos.

IDAE (2005) estima que aproximadamente el 15% de la energía extraída del combustible se pierde en forma de calor disipado a través del sistema de refrigeración. Por su parte, y según esta fuente documental, los gases de escape que salen por el escape del vehículo se llevan consigo casi un 30% de la energía del carburante.

Para IDAE (2005), las pérdidas de energía de origen mecánico (rozamientos internos, servicios auxiliares de bombas de inyección de aceite y agua, alternador), internas al vehículo, rondan el 15% de la energía del combustible.

Según IDAE (2005), queda aproximadamente un 40% de la energía inicial, que proporciona el motor en forma de potencia para accionar la transmisión, estimándose que a su vez la transmisión implica otra pérdida del 10% de la energía inicial, con lo cual IDAE estima que a la rueda llega finalmente tan solo un 30% de la energía del combustible.

### **Resistencias de rodadura.**

La resistencia de rodadura viene dada por el coeficiente de rozamiento entre el neumático, la superficie de rodadura y el peso del vehículo. Para conocer cual es la

potencia necesaria para vencer esta resistencia, debemos conocer también a qué velocidad queremos vencer esta resistencia. Por lo tanto, la potencia que el vehículo consumirá será función de los siguientes factores: masa a transportar (peso del vehículo), coeficiente de rozamiento y velocidad del vehículo.

Según IDAE (2005), la resistencia a la rodadura es la que más energía requiere para su vencimiento, llegando a suponer hasta un 40% de la fuerza total resistente a vencer. Es una fuerza proporcional a la masa del vehículo, y depende del tipo y número de neumáticos.

La principal variable que se puede utilizar para reducir el consumo de combustible generado por la rodadura es el peso. Por eso, a continuación diferenciamos para un vehículo determinado:

- El peso en orden de marcha. Considera al vehículo listo para circular incluyendo todos los fluidos (aceite, combustible, etc),
- El peso de los pasajeros,
- El peso del equipaje de los pasajeros (en el transporte interurbano).

Los dos últimos corresponden a la carga del vehículo.

Como la carga es fluctuante (varía evidentemente en función de la actividad comercial), la principal forma de actuar para reducir el consumo de combustible por rodadura, es actuar sobre el peso del vehículo. En los últimos años, se está haciendo uso de materiales más resistentes a los impactos y de menor peso, lo que sumado a mejores diseños (que permiten estructuras iguales de resistentes con menor cantidad de material) hace posible disminuir aún más el peso.

Ambas estrategias (nuevos materiales y nuevos diseños) permiten que los vehículos modernos sean mucho más livianos de lo que eran en el pasado, disminuyendo la potencia necesaria para la rodadura, y por lo tanto, disminuyendo el consumo de combustible.

### Influencia de la Velocidad del vehículo

Antes de comenzar a analizar la influencia de la Velocidad en el consumo de combustible, es preciso efectuar una distinción entre velocidades “relativamente altas” y “relativamente bajas” a efectos de este modo de transporte concreto.

Primero consideremos las diferencias de velocidad en vehículos que se emplean en ámbitos urbanos y metropolitanos, en los cuales la velocidad del vehículo dependerá, entre otras cosas, de la potencia que se le solicite al motor para realizar un determinado recorrido. Teniendo en cuenta que la potencia es trabajo por unidad de tiempo, es evidente que para realizar el mismo trabajo en menor tiempo se requiere mayor potencia, consecuentemente mayor consumo.

Además, podemos afirmar que a velocidades relativamente bajas, la resistencia del aire tiene poca influencia respecto de otras variables. Por ejemplo, para recorrer 200 metros, el motor deberá entregar la potencia suficiente, para mover el peso total de vehículo más el peso de los pasajeros a una determinada velocidad que puede ser 15 kilómetros por hora, pero siendo el mismo recorrido de 200 metros, y el mismo vehículo con la misma carga, si queremos que se recorra esa distancia en menor tiempo, necesita desarrollar una mayor velocidad, por ejemplo 35 kilómetros por hora. Esta diferencia de velocidad se logra con mayor potencia y mayor consumo.

A mayores velocidades (superiores generalmente a los 80 kilómetros por hora) y en la medida que la velocidad del vehículo va aumentando, la resistencia del aire va

siendo mucho más importante respecto a los otros componentes de resistencia al avance.

Si el autocar se desplaza a velocidades altas, en el orden de los 100 kilómetros por hora, la resistencia del aire es el factor principal que afectará el consumo de combustible. Las variables que modifican este valor para un vehículo son: la densidad del aire; el coeficiente aerodinámico del vehículo (también conocido como  $C_x$  o coeficiente de penetración); la sección frontal del vehículo; y la velocidad del vehículo elevada al cuadrado.

Pero como interesa saber cuál es la potencia necesaria para vencer la resistencia del aire a una determinada velocidad (100 km/h), multiplicamos las variables mencionadas por la velocidad del vehículo. Una vez conocida la potencia, podemos conocer cuál es el consumo de combustible.

Resumiendo, la potencia dependerá de las mismas variables mencionadas, y de la velocidad al cubo, motivo por el cual este término crecerá muy rápidamente con el incremento de la velocidad.

## 4.2.2 Características de las rutas y trazados

---

Las características de los itinerarios que recorren los servicios de transporte (en planta pero fundamentalmente en alzado) afectan al consumo de combustible de los vehículos.

No se hace mención en este epígrafe a la diferente Distancia relativa que puede existir para unir dos localidades por el simple hecho de utilizar infraestructuras diferentes (por ejemplo, un recorrido por autopista o por carretera convencional). Dada la importancia del factor Distancia recorrida a la hora de explicar los Consumos - no sólo dentro de cada modo sino además a la hora de efectuar comparaciones homogéneas entre modos - se ha dedicado una Monografía específica dentro del Proyecto ENERTRANS para analizar estas condiciones de homogeneización.

Se hace ahora mención a tres factores complementarios vinculados a la tipología de Rutas y Trazados, que tienen incidencia notable en la generación de consumos:

### Pendientes en alzado (positivas o negativas)

Cuando un vehículo debe vencer una pendiente, la potencia que debe entregar el motor, y por lo tanto su consumo, dependerá de: la energía necesaria para desplazar el vehículo según todo lo que hemos mencionado hasta el momento (rendimiento motor, rendimientos equipos mecánicos, resistencia rodadura, resistencia aire), y la energía necesaria para vencer la fuerza gravitatoria y subir el vehículo por la rampa; en otras palabras, la energía necesaria para vencer la gravedad.

Esta fuerza de resistencia al avance por pendiente depende directamente de la masa total del vehículo, y de la inclinación de la pendiente.

La fuerza de la gravedad no se pierde, sino que se almacena como energía potencial, ya que el vehículo se encontrará a una altura mayor que en el punto inicial y en teoría para volver a ese punto no hace falta generar ninguna potencia para trasladarlo, solo habría que dejar que el vehículo rodara por la pendiente. El problema de esta energía potencial almacenada, es que se hace muy difícil aprovecharla ya que depende de muchas cosas, entre ellas de la relación que hay entre la pendiente y la velocidad a la que puede circular el vehículo. En ciudades seguramente deberá frenarse el vehículo para que no desarrolle mucha velocidad, en una carretera con curvas muy cerradas, tal vez la velocidad que el vehículo desarrolle por la pendiente deba estar limitada para que no sea peligrosa su circulación.

Por otra parte, también podría ser que la velocidad alcanzada por el vehículo sea baja e inapropiada para circular, entonces se debe alcanzar la velocidad adecuada a través de la mayor potencia que entregue el motor. El hecho de tener una pendiente favorable permitirá que el vehículo circule a la velocidad que se necesite consumiendo menos combustible debido al aprovechamiento parcial de la energía potencial, si bien parte de esta energía “almacenada” se pierde en calor con las aplicaciones del uso de los frenos del vehículo.

#### Tipo y estado de la infraestructura

El tipo y estado de la infraestructura por la que circula el vehículo es un factor importante, englobando factores de diversa naturaleza que sin duda inciden en el consumo. Todos estos factores incidirán, en mayor o menor medida, sobre la Regularidad de la velocidad de viaje. Se pueden citar en este sentido la existencia de límites de velocidad que den lugar a cambios en el régimen de aceleración y frenado, el estado del pavimento y tipo de cubierta asfáltica, una pobre o mala señalización, etc.

Dicho de otra forma, una “buena” infraestructura que permita reducir las variaciones de velocidades, manteniendo la regularidad en el tipo de conducción y asegurando unos tiempos de viaje comparativamente inferiores, no sólo mejorará la seguridad de la circulación, sino que además reducirá el consumo de combustible de los vehículos que la utilicen.

#### Congestión del tráfico

Este aspecto está vinculado en cierta medida al anterior. Si bien es independiente de la calidad de la infraestructura, guarda estrecha relación con los parámetros constructivos de capacidad y dimensionamiento. El exceso de vehículos (puntual o sistemático) que circulen por una infraestructura producirá atascos y retenciones, y consecuentemente velocidades comerciales medias más bajas y regímenes de conducción menos regulares. En definitiva, la congestión trae consigo mayores consumos para los vehículos involucrados en el tránsito.

## 4.2.3 Factores climatológicos

---

#### Temperatura y presión atmosférica

El efecto de la temperatura y la presión se analizan desde dos puntos de vista diferentes: atendiendo a su incidencia en el funcionamiento del motor, y considerando otros aspectos ajenos al motor.

Desde la perspectiva de funcionamiento del motor, la temperatura ambiente no afecta en principio al consumo de combustible. En cuanto a la presión atmosférica, no tiene incidencia directa en el consumo. De hecho, a menor presión, será menor la masa de aire que ingresa en el motor; dicha masa de aire será medida por el caudalímetro del motor, y la central electrónica del motor inyectará el combustible necesario en los cilindros según la masa de aire medida.

Lo que se puede notar es una pérdida relativa de potencia si la presión disminuyera de forma importante, debido a la menor masa de aire, y menor combustible asociado, para una determinada cantidad de revoluciones. En este caso, la potencia entregada por el motor será menor que la potencia nominal que debe entregar el motor a ese régimen de revoluciones. Entonces, para alcanzar la potencia necesaria se debe recurrir a un régimen mayor de vueltas. Este incremento de revoluciones produce un incremento de consumo de combustible muy pequeño, que puede

considerarse despreciable frente al resto de las variables que intervienen en los consumos. Esta situación será menos importante aún si el motor dispone de un turbo-compresor.

Desde una perspectiva ajena al funcionamiento del motor, la presión atmosférica no tiene ninguna influencia en el consumo. En el caso de la temperatura no tiene una influencia directa en un mayor consumo de combustible vinculado a la propulsión, pero si guarda una relación estrecha e importante con el consumo asociado a los equipos auxiliares de climatización (aire acondicionado en verano y calefacción en invierno). Por lo general los vehículos autobuses y autocares de pasajeros no tiene una gran capacidad de aislamiento térmico con el medio exterior, debido a la gran superficie vidriada, motivo por el cual las pérdidas (frigorías o calorías) son relativamente importantes. Si bien esto se ha mejorado en los últimos años, es un modo que presenta pérdidas de calor o frío significativas.

Cuanto mayor sea la temperatura exterior (y viceversa), mayor será la energía necesaria para mantener el interior del vehículo a una temperatura adecuada para el confort del pasajero, y mayor será el consumo de combustible.

### Velocidad, dirección y sentido del viento

La fuerza que ejercen los vientos sobre los vehículos es importante. Cuando se explicaron los efectos de la resistencia del aire, se comentó que lo verdaderamente importante - en términos de resistencia al avance - es la velocidad del vehículo respecto del aire, y no respecto de la carretera.

Teniendo en cuenta aquellas zonas con vientos cuyas velocidades sean importantes, cuando su dirección sea “favorable” con la dirección del vehículo, se puede decir que tendrá una influencia positiva, cuando disminuya la potencia necesaria y por lo tanto el consumo de combustible, para que un vehículo circule a una determinada velocidad; y tendrá una influencia negativa cuando el cruce del viento incremente la potencia y por lo tanto el consumo de combustible, para que un vehículo circule a una determinada velocidad. La influencia dependerá también del ángulo de intersección entre las dos direcciones, y solo influirá en el consumo la componente proyectada en la dirección (favorable o contraria) del vehículo.

A modo de referencia de la incidencia de este fenómeno en la generación de consumos, IDAE (2005) considera que el viento en contra aumenta el consumo en vehículos industriales hasta un 8% con viento de 18 km/h, y hasta un 18% con viento de 36 km/h en un vehículo con deflectores en cabina.

### Existencia de lluvia y/o de nieve en el recorrido del vehículo.

Las lluvias no afectan al consumo de combustible de forma directa, lo que si ocurre que el conductor del vehículo extrema las medidas de seguridad, realizando una conducción más lenta que la realizada en condiciones de pavimento seco. Esta disminución de velocidad es debida a la variación en la forma de conducir, y no a un factor climatológico directamente.

En el caso de existencia de nieve en la carretera o ciudad, esta siempre impide el desplazamiento del vehículo, pero si la cantidad de nieve es poca y no afecta la circulación, esta tendrá el mismo efecto que el correspondiente a una lluvia según lo explicado anteriormente.

## 4.3. Tecnología de motores y vehículos

---

En los autobuses y autocares se puede diferenciar dos componentes muy claras desde el punto de vista de la construcción del vehículo. Una de ellas es el chasis (o bastidor), y la otra la carrocería. De hecho el mercado está dividido en dos tipos de fabricantes de autobuses. Los constructores que construyen vehículos integrando sus propios chasis y sus carrocerías (vehículos que se denominan “autoportantes”), y los vehículos que surgen de añadir un determinado bastidor a una determinada carrocería. Existen, por tanto, industrias diferenciadas para cada elemento.

A continuación se describe la incidencia de las características del chasis y de la carrocería en el consumo de combustible.

### 4.3.1 Características del chasis

---

El chasis o bastidor es la estructura que soporta la carrocería y aporta rigidez al vehículo. En él se encuentran los componentes mecánicos del vehículo que le dotan de movimiento. A su vez, estos componentes los podemos subdividir en dos grupos principales: el motor de combustión interna, y la cadena cinemática que transmite el par desde el cigüeñal hasta la rueda.

#### Motor

El tipo y características del motor es uno de los aspectos más importantes a la hora de determinar el consumo del vehículo.

Estas características del motor vienen definidas por: la potencia, el par motor y el consumo específico.

#### Potencia

La potencia es fuerza por velocidad; es decir que en este caso es el par motor por las revoluciones del motor. Generalmente se mide en “Newton.metros” por revoluciones por minuto.

#### Par Motor

Es la fuerza que ejerce un motor en cada giro.

#### Consumos específico

Es la cantidad de combustible que necesita un motor para suministrar una determinada unidad de potencia por unidad de tiempo. El consumo específico es una forma de expresar el rendimiento del motor, en el sentido que relaciona consumos con prestaciones.

#### Cadena Cinemática

La cadena cinemática está compuesta por la caja de transmisión, el cardan o eje de transmisión, puente o diferencial, los ejes, y finalmente la rodadura. A continuación se explica con un poco más de detalle la caja de transmisión, ya que este elemento afecta directamente al consumo de combustible. Los otros componentes difieren mucho en el diseño pero no tienen una incidencia significativa en el consumo.

## Caja de transmisión

La caja de transmisión puede ser manual o automática.

### Manual

Es un sistema mecánico, que posee determinadas relaciones fijas entre engranajes, además de otros componentes como sincronizadores, rodamientos, etc. Esto permite transmitir desde el motor, de forma escalonada, el par y la potencia necesaria a la rueda. El diseño de las relaciones está directamente relacionado con las características de las curvas de potencia y de par en función de las rpm del motor. Esta combinación permite obtener un mejor aprovechamiento del vehículo, según sea su utilización en servicios urbanos o interurbanos.

### Automática

Es un sistema que puede variar las relaciones de forma continua, en función del acelerador, revoluciones del motor, velocidad del vehículo, etc. Esta variación de forma continua de la relación entre el cigüeñal y la rueda, es posible porque la caja de transmisión automática cuenta con un impulsor de bomba que recibe el par del motor, y un rotor de turbina, que recibe del impulsor de bomba el par, para luego transmitirlo a la rueda. Todo esto hace posible que la transmisión desde el motor a la rueda sea constante en todo momento.

Es importante indicar que tradicionalmente para un mismo motor, la elección de una caja automática suele generar un mayor consumo relativo de combustible respecto a una caja manual, debido al coeficiente de fricción que transforma una cantidad mayor de energía en calor. Si bien esto está cambiando, ya que la introducción de centrales electrónicas programables en las cajas automáticas permite compensar este mayor consumo relativo a través de un mejor rendimiento del conjunto motor-transmisión, lo cual se consigue limitando al conductor el uso del vehículo dentro de unos parámetros adecuados para el servicio que deba realizar.

## Dimensiones del vehículo

Las dimensiones del vehículo afectarán al consumo en cuanto a que en general vehículos más largos y más anchos implican vehículos con mayor capacidad de transporte de pasajeros, y por lo tanto, vehículos más pesados. No obstante, según sea su diseño (lateral, frontal, formas, etc), su perfil aerodinámico será diferente, y podrán conseguirse ahorros relativos en el consumo por la menor resistencia al avance.

## Tipo de rodadura

Las ruedas son importantes no solo por el tipo de componente que usen, sino también por el diámetro de las mismas, ya que a menor diámetro mayor resistencia y mayor consumo. Dada su elevada incidencia sobre los consumos (por la mayor resistencia al avance), es importante analizar en mayor detalle el concepto de resistencia de rodadura.

## Resistencia de Rodadura

Esta resistencia de rodadura depende del peso del vehículo y del coeficiente de rodadura:

$$R_{rodadura} = \mu \cdot m \cdot g$$

Donde

$\mu$  es el coeficiente de rodadura (adimensional)

$m$  es la masa (kg)

$g$  es la gravedad ( $m/s^2$ )

El coeficiente de rodadura viene dado por la fricción que se produce entre el conjunto de ruedas y la superficie donde se mueve. Existen dos coeficientes de rodadura: uno “estático” que corresponde a la fuerza necesaria para comenzar a mover un vehículo detenido, y uno “dinámico”, que corresponde a la fuerza necesaria para mantener en movimiento a una velocidad constante un vehículo.

Los factores que afectan al coeficiente de rodadura son: la velocidad, dureza de ruedas, dureza de superficies, el diámetro de la rueda, el peso que soporta, la presión del neumático, y la temperatura.

### 4.3.2 Características de la Carrocería

---

En este caso solo se hace referencia a las características principales de la carrocería que afectan el consumo de combustible, que son la resistencia de rodadura (ya mencionada) y la resistencia aerodinámica. A continuación se detallan cada uno de estos factores que afectan el consumo.

#### Resistencia de Rodadura

Como ya mencionamos, la resistencia depende del peso del vehículo y del coeficiente de rodadura. El peso del vehículo viene dado por la masa del mismo y la aceleración gravitatoria.

La masa del vehículo aumentará con carrocerías más pesadas y con un mayor equipamiento del vehículo (climatizador, componentes de confort, tipo de asientos, diseño de la estructura, etc).

En cualquiera de los casos, una mayor masa implica mayor peso, lo que implica mayor resistencia de rodadura (y mayor consumo final).

#### Resistencia Aerodinámica

La resistencia aerodinámica se ve afectada por los siguientes factores:

- Área o sección frontal

La “Sección Frontal” es la máxima sección posible que puede tener un vehículo realizando un corte en la sección transversal. Cuanto mayor sea esta sección mayor será la resistencia que el aire hará, y por lo tanto, mayor será la potencia o energía necesaria para mover el vehículo a una determinada velocidad. Evidentemente, genera mayor potencia y mayor consumo.

- Coeficiente de penetración o de forma ( $C_x$ )

Independientemente de la sección frontal, el coeficiente de penetración se ve afectado por un elevado número de variables. Las más importantes son: la forma delantera del vehículo, inclinación del parabrisas (aunque en casos de autobuses este factor no varía tanto como puede ser en los coches), forma del techo, forma en que están integrados los equipos de aire acondicionado al techo, forma en que se integran las ventanillas en los laterales del vehículo, laterales y bajos del vehículo (salientes, formas irregulares, etc), ruedas, y

flujo de aire que pasa a través del vehículo (intercambio de flujos exterior-interior e interior-exterior).

La resistencia aerodinámica, por tanto, depende de la sección frontal del vehículo, de la forma del vehículo, de la densidad del aire y de la velocidad.

$$R = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot C_x \cdot v^2$$

Donde:

$\rho$  es la densidad del aire (kg/m<sup>3</sup>)

$S$  es la sección frontal (m<sup>2</sup>)

$C_x$  es el coeficiente de forma (adimensional)

$v$  es la velocidad (m/s)

No existen modelos teóricos precisos y conocidos para predecir la resistencia aerodinámica, como tampoco las demás acciones de esta naturaleza, por lo que los resultados experimentales constituyen la fuente más importante de datos y conocimientos sobre la influencia de las diferentes variables (geométricas, de diseño, y del flujo de aire exterior / interior) sobre el consumo.

Es importante aclarar que, en el caso de la resistencia aerodinámica, los diseños del vehículo deben ser entendidos en relación a la velocidad que posee el vehículo con respecto al viento del entorno donde circule.

También, pero en menor medida, siendo el aire el entorno donde circula el vehículo, su densidad afectará relativamente al consumo del mismo.

Por último, veamos un ejemplo que afecta la resistencia aerodinámica. Los espejos retrovisores exteriores, introducen dos tipos de resistencias diferentes: una por el área frontal que representa cuando estos sobresalen de la sección frontal principal, y otra por las turbulencias que los espejos (como salientes del vehículo) producen con el movimiento del vehículo. Mayores turbulencias, mayor resistencia, y por lo tanto un coeficiente de penetración peor.

## 4.4. Mantenimiento

---

### 4.4.1 Mantenimiento de vehículos

---

Debido a los avances de la tecnología utilizada en la construcción de los vehículos, se están logrando reducir las consistencias a realizar y extender los plazos entre intervenciones de mantenimiento sobre los vehículos, logrando una mayor fiabilidad de los diferentes componentes (mecánicos, electrónicos, etc), y con ello reducir el coste de mantenimiento por kilómetro recorrido.

Al primar generalmente este tipo de objetivos basados en “Productividad” del vehículo (reducir al máximo las paralizaciones, logrando el mayor número posible de horas diarias de utilización), en ocasiones veces se postergan determinadas intervenciones en el mantenimiento de los vehículos que no condicionan ni son críticas para la Seguridad, y esa dilación puede traer consigo pequeños incrementos de consumo de combustible que pocas veces son percibidos inmediatamente.

Los aspectos más relevantes que pueden incrementar el consumo de combustible por diferir el mantenimiento son:

#### Estado de filtros de combustible, aceite y de aire

Atrasar la fecha de reemplazo de estos elementos puede incrementar el consumo de combustible del motor de combustión interna.

En el caso del filtro de combustible, si este se encontrara tapado y/o con un nivel excesivo de agua, puede llegar a detener el motor y dejar el vehiculo fuera de circulación hasta que dicho filtro sea reemplazado o limpiado.

En el caso del filtro de aceite, una deficiente lubricación del motor incrementa el consumo de combustible y aumenta el riesgo de avería del motor.

Por último, el filtro de aire, si este se encontrara con excesiva suciedad, provocará mayores pérdidas de carga de las deseadas en el circuito de admisión, incrementando el consumo de combustible.

#### Estado de neumáticos

El estado de los neumáticos debe estar de acuerdo a las normas vigentes de circulación, pero tan importante como su estado es la presión de los mismos. Esta no debe ser menor a la indicada por el fabricante, puesto que afectará en primer lugar al consumo del motor (ya que se incrementa la resistencia de rodadura del vehiculo por su mayor contacto con la superficie). Además, disminuirá su vida útil, debido a los desgastes prematuros que puedan ocurrir, y afectar la seguridad de circulación del vehiculo.

#### Estado del sistema de inyección

Es evidente que no debe producirse ninguna pérdida de combustible en todo el circuito, y la presión que entregue la bomba debe ser la nominal; pero además se debe tener especial cuidado con el estado de los inyectores y reemplazar según indique el fabricante.

### **Diagnóstico de la central electrónica del vehículo**

El uso de la electrónica en los motores ha aportado un sin fin de ventajas, entre ellas la posibilidad de realizar revisiones periódicas con un escáner, que realiza un chequeo general de los parámetros que registra la propia central electrónica en busca de alguna anomalía que pueda incrementar el consumo de combustible, o producir una avería. Estos chequeos permanentes permiten controlar y actuar de forma preventiva, detectando el problema con suficiente antelación a la que se detectaría por otros medios, evitando que ocurran averías.

Este tipo de herramientas ayuda a realizar un mantenimiento predictivo.

Cualquier detección que se realice a tiempo, permitirá que el vehículo siempre funcione en condiciones óptimas, lo que minimizara el consumo de combustible.

## 5. MODELIZACIÓN DE LOS CONSUMOS EN LOS AUTOBUSES Y AUTOCARES

En el marco de las actividades del Proyecto *Enertrans*, ALSA ha llevado a cabo un Programa Piloto de medición de consumos energéticos en el transporte de viajeros por carretera, orientado a conocer y modelar los factores causales que influyen en el consumo de combustible en la explotación de servicios de transporte mediante autobuses y autocares.

Mediante este Programa Piloto se han determinado y cuantificado los diferentes elementos que determinan el consumo de combustible de los vehículos, principalmente para el movimiento (cadena cinemática y resistencias dinámicas), y determinados consumos auxiliares.

Los resultados obtenidos, para los autobuses y autocares, mediante este programa de mediciones forman parte de la base de datos de la que se alimenta el *Modelo de consumos y emisiones en el transporte* que se desarrolla en la fase final del Proyecto *Enertrans*.

---

### 5.1. Descripción del programa piloto

---

El Programa piloto se ha llevado a cabo en la explotación habitual de siete vehículos: cinco vehículos-tipo interurbanos y dos vehículos-tipo de ámbito urbano.

Los cinco vehículos-tipo interurbanos forman parte de la flota dedicada a la explotación de dos importantes ejes de movilidad interurbana nacional: las concesiones de transporte regular permanente y uso general de viajeros por carretera “VAC-099 Madrid-Zaragoza-Barcelona” y “VAC-055 Madrid-Alicante, con hijuelas”.

Los dos vehículos-tipo de ámbito urbano forman parte de dos explotaciones de transporte urbano: Oviedo y Palencia.

Para llevar a cabo el programa piloto se instalaron equipos de medición electrónica de consumos en cada uno de los vehículos.

A estos equipos de medición inicial se fueron incorporando sensores adicionales para recoger señales eléctricas procedentes de elementos auxiliares, como el limpiaparabrisas, luces de freno, sensores de temperatura exterior, etc. Asimismo, se ha contado con información parametrizada de velocidades y RPMs, así como datos georreferenciados de posición (X, Y, Z).

Una vez embarcados y calibrados todos los equipos, se inició un programa de mediciones sistemáticas durante un periodo de cuatro meses, aprovechando la explotación regular de los vehículos de ALSA en los ámbitos mencionados.

## 5.2. Descripción de los Equipos de Medición

### 5.2.1 Equipos embarcados

Los equipos de medición embarcados en los vehículos, desarrollados por la empresa CONTINENTAL-VDO, son los siguientes:

- FM-300 “Comunicator” con módulo GMS/GPRS y antena GPS.- Ordenador embarcado, consistente en un equipo electrónico programable diseñado para controlar en tiempo real procesos secuenciales.
- EDM.- Sistema electrónico de medición de consumo de combustible, que toma los datos directamente del sistema de inyección, o del CAN BUS. Una vez calibrado, las mediciones obtenidas no exceden del  $\pm 3\%$  de error (según fabricante).
- Sensores de medición de señales eléctricas.

Figura 1. Equipos de medición embarcados en los vehículos



Fuente: Continental-VDO

### 5.2.2 Software de control remoto

El sistema ha contado con un software específico de control remoto, equipado con un PC desde el cual es posible el seguimiento dinámico y el almacenamiento de los parámetros y eventos observados en la explotación.

El equipo incluye un *modem*, haciendo posible la comunicación móvil bidireccional con cada uno de los vehículos para la configuración remota de los experimentos y la descarga periódica de los datos.

De esta forma, el software FM permite administrar y gestionar la información recibida de los diferentes equipos instalados en los vehículos, estableciendo comunicaciones desde el puesto de control vía GPRS con los equipos FM-300 embarcados.

## 5.3. Flota de vehículos empleada en el experimento

Para llevar a cabo el Programa Piloto, se han seleccionado siete vehículos autocares y autobuses de referencia a nivel nacional, con objeto de disponer de una muestra válida y extrapolable al comportamiento de este tipo de vehículos en circunstancias diferentes de explotación.

A continuación se muestran sus características técnicas básicas:

Tabla 5. Resumen de las características técnicas de flota de vehículos

Tipo de Explotación	Fabricante	Modelo	Carrocería	Longitud	Nº Ejes	Potencia	Caja de Cambios	Plazas
Interurbana	Volvo	B12B 6X2 E-III	Sideral 2000	15m	3	420CV	Caja manual con accionamiento automático I-SHIFT 12 veloc.	60+ G+C
Interurbana	Mercedes	OM 502 LA E-III	Travego	14m	3	476CV	Caja de cambio ZF AS Tronic, automatizada	50+ G+C
Interurbana	Mercedes	OM 502 LA E-III	Travego	14m	3	476CV	Caja de cambio ZF AS Tronic, automatizada	50+ G+C
Interurbana	Setra	OM 502 LA E-III	319-GTHD	15m	3	476CV	Caja de cambio ZF AS Tronic, automatizada	60+ G+C
Interurbana	Setra	OM 502 LA E-III	S319-GTHD	15m	3	476CV	Caja de cambio ZF AS Tronic, automatizada	60+ G+C
Urbana	Mercedes	OM-457-HLA	CITARO E-IV (O530G)	12m	2	295CV	Caja de cambio automática Voith 864.3E	49a+88p+2pmr+C
Urbana	Volvo	B7L - III	HABIT	10,5m	2	250CV	Caja de cambio automática ZF 5 HP502 NBS	25s+ 56p+ 2pmr+ C

Fuente: Elaboración propia

Figura 2. Vehículo interurbano: Volvo B12B, Mercedes Benz Travego y Setra S319 GTHD



Fuente: Elaboración propia

Figura 3. Vehículos urbanos: Mercedes Benz Citaro y Volvo B7L



J.Veerkamp. Münster, Germany. sep-2001



Fuente: Elaboración propia

En el ámbito interurbano, la selección de vehículos propuesta ha permitido emplear en paralelo vehículos técnicamente idénticos en recorridos diferentes (corredores Madrid-Zaragoza-Barcelona y Madrid-Albacete-Alicante/Murcia), con objeto de evaluar diferentes factores causales (en términos de perfiles de las rutas, climatología, etc) en relación a su consumo.

## 5.4. Señales de información recopiladas en el sistema

Las señales de medición que incorpora el sistema son las siguientes:

- Velocidad del autobús.
- Distancia recorrida.
- Revoluciones por Minuto del motor.
- Consumo de combustible.
- Funcionamiento del limpiaparabrisas.
- Aplicación de freno.
- Activación del retarder.
- Temperatura exterior.
- Posicionamiento georeferenciado (con coordenadas X e Y).
- Identificación del Conductor (señal no considerada en este proyecto).

La combinación de esta batería de señales permite categorizar los consumos del vehículo en sus diferentes estados de funcionamiento (ralentí, según velocidades, rpm, etc.) en función de diferentes eventos de circulación del vehículo:

- Aceleraciones / Desaceleraciones (frenadas bruscas).
- Tiempos de conducción.
- Tiempos de parada.
- Tiempos de viaje.
- Activación de las diferentes señales eléctricas.
- Posicionamiento geográfico, etc.

---

## 5.5. Principales salidas de información

---

El Sistema utilizado, a través de su Software de control, incluye una potente herramienta gráfica de análisis, que hace posible el seguimiento remoto de la flota de vehículos estudiada.

A continuación se describen algunas de las Salidas de Información que se han utilizado en el experimento.

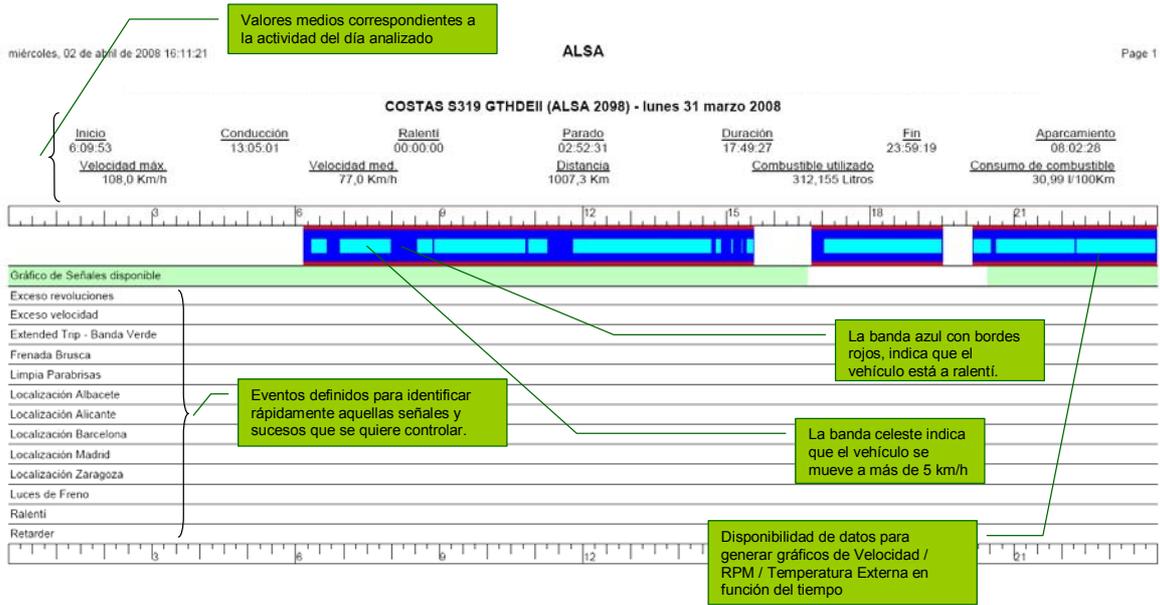
### 5.5.1 Diagrama de Actividad

---

El Diagrama de Actividad ha servido para observar los eventos que se necesitan controlar a lo largo del día, por ejemplo, si el vehículo estuvo detenido o en movimiento, si su motor estuvo en ralentí por tiempos excesivos, etc.

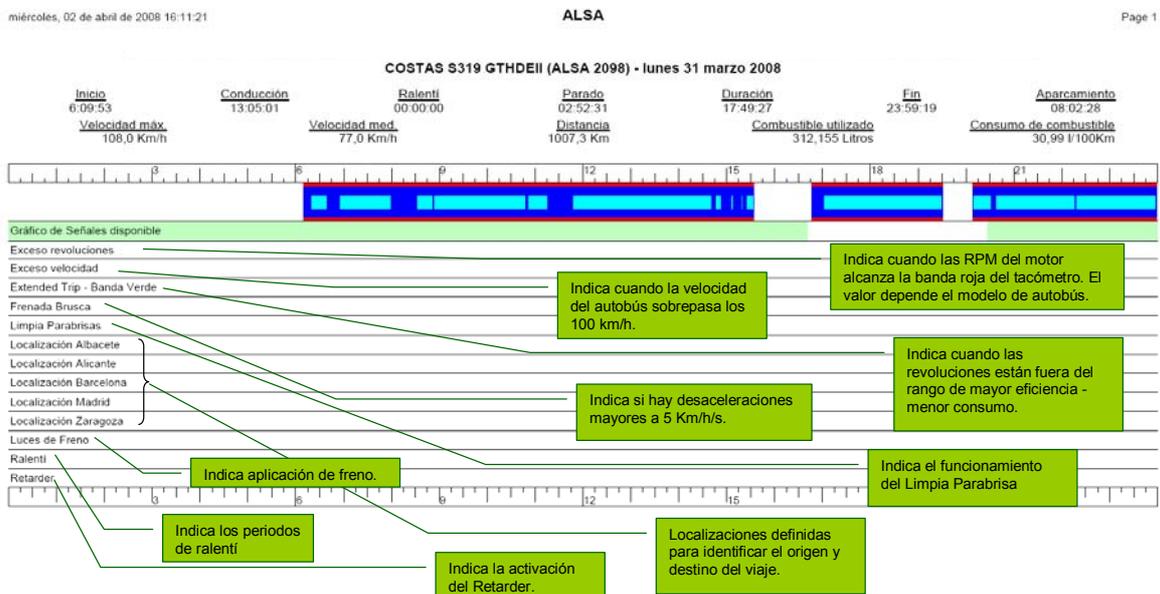
Todo lo ocurrido en los sub-viajes fue recogido en el diagrama, siendo posible su interpretación a posteriori.

Figura 4. Ejemplo de Diagrama de Actividad



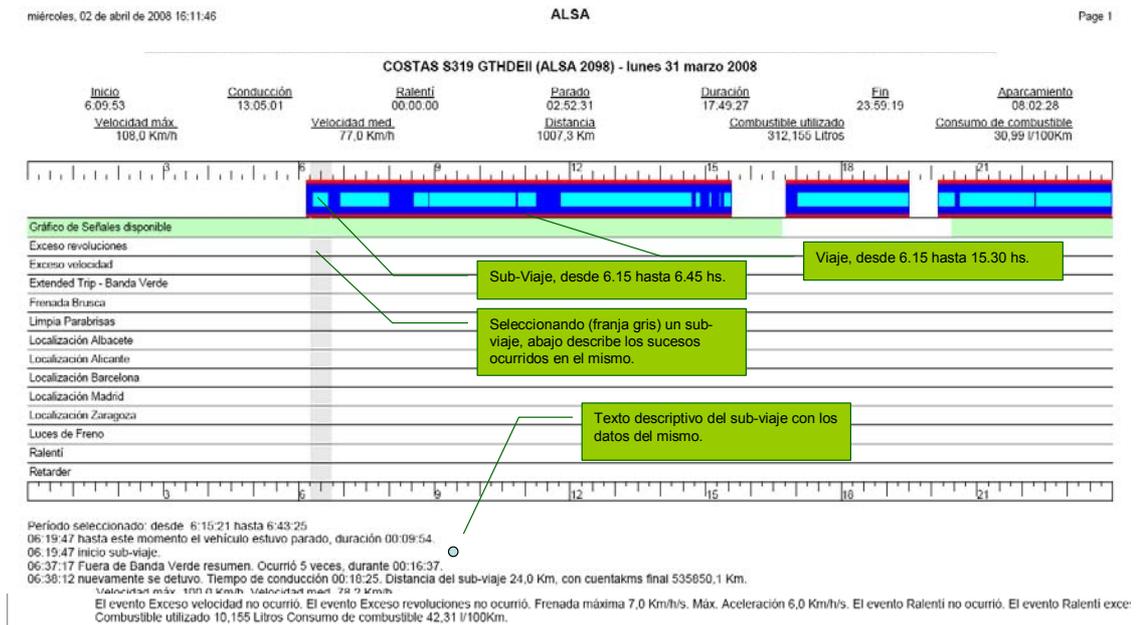
Fuente: Fleet Manager Professional

Figura 5. Ejemplo de Diagrama de Actividad



Fuente: Fleet Manager Professional

Figura 6. Ejemplo de Diagrama de Actividad



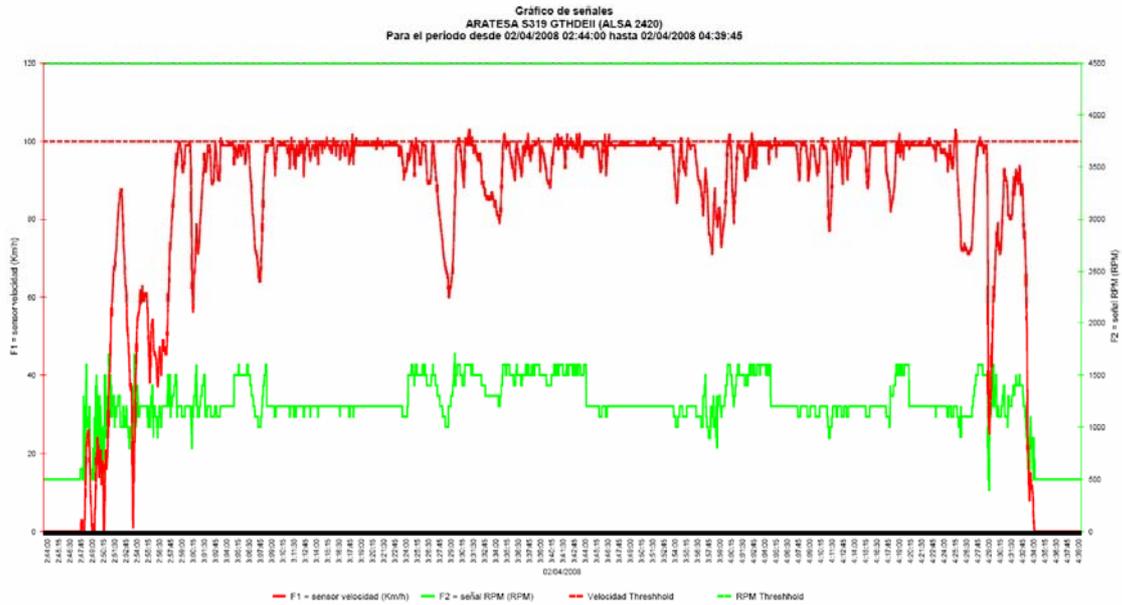
Fuente: Fleet Manager Professional

## 5.5.2 Gráficos de señales

El Gráfico de Señales indica variaciones de la velocidad, RPM, y temperatura exterior en función del Tiempo transcurrido.

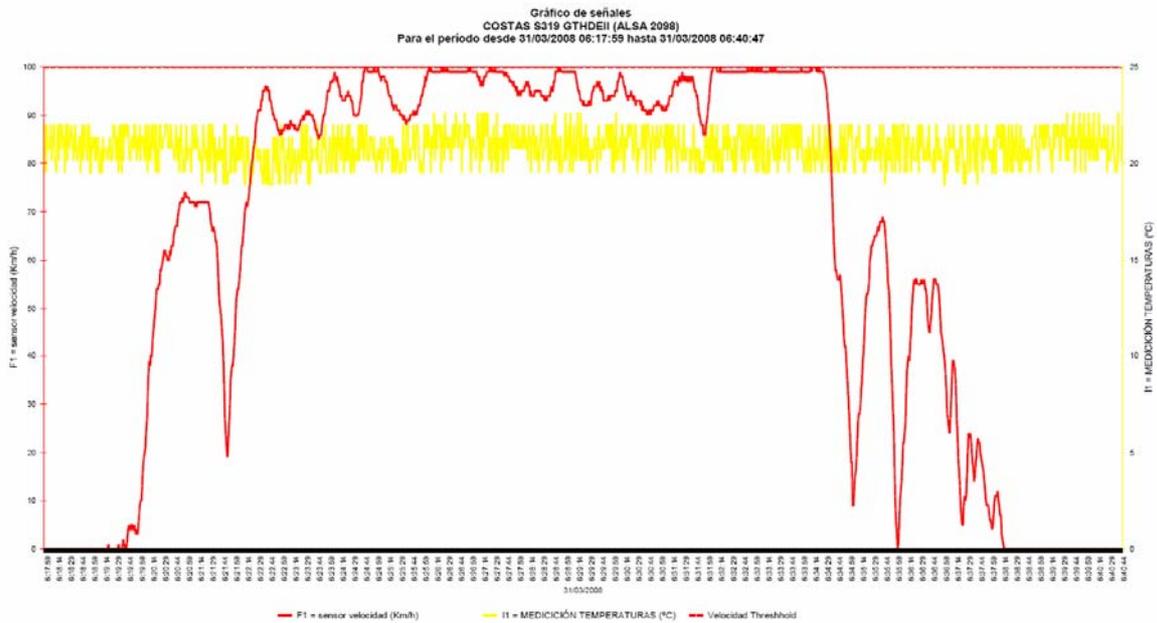
Con estos gráficos, además de analizar aceleraciones y desaceleraciones bruscas, se han localizado los diferentes sectores de un recorrido, en función de la velocidad del vehículo, correspondientes a las distintas fases del movimiento comercial descritas en el Capítulo 4 de esta Monografía. Así, por ejemplo, los sectores en donde los vehículos se mantienen a su máxima velocidad (100 km/h), corresponden al denominado “Movimiento comercial - Infraestructura ámbito interurbano velocidad alta”.

Figura 7. Ejemplo de Gráfico de Señales



Fuente: Fleet Manager Professional

Figura 8. Ejemplo de Gráfico de Señales



Fuente: Fleet Manager Professional

### 5.5.3 Informe de consumo por viaje

El Informe de Consumo por viaje es un informe detallado por viaje, entendiendo que un “viaje” comienza cuando se enciende el motor, y termina cuando el mismo se apaga.

Además de consumos, este informe ha mostrado el tiempo de inicio y fin del viaje, tiempo en ralentí, kilómetros recorridos, consumos en lts/km, velocidades máximas y velocidades medias, los litros consumidos por viaje, etc.

Cuando se realiza más de un “viaje” en el día, el informe ha mostrado promedios diarios de las variables mencionadas.

Figura 9. Ejemplo de Informe de Consumo por viaje

02/04/2008  
Pag. 1 de 1

**ALSA**  
Informe detallado consumo de combustible medido por vehiculo  
24/03/2008 a 26/03/2008 23:59:59

**ALSA**

Inicio	Conduc.	ralenti	Duración	Parada	Detención	Fin	Vel. Máx.	Vel. media	cuentakms	Distancia	Litros	Consumo(l/100km)
<b>ARATESA S319 GTHDEII (ALSA 2420)</b>												
<b>24/03/2008</b>												
Conductor Desconocido												
06:50:06	08:01:12	02:06:53	09:39:37	16:29:35	01:38:25	16:29:43	108,0	78,0	599.045,9	629,4	174,89	27,79
16:37:30	00:00:48	00:10:25	00:11:02	16:45:49	00:10:14	16:48:32	13,0	0,0	599.046,0	0,0	0,95	0,00
18:36:16	03:26:03	00:59:00	04:23:47	22:57:12	00:57:44	23:00:03	114,0	92,0	599.364,8	318,6	100,55	31,56
<b>Totales por 24/03/2008</b>												
06:50:06	11:28:03	03:16:18	14:14:26		02:46:23	23:00:03	114,0	82,7	599.364,8	948,0	276,38	29,15
<b>25/03/2008</b>												
Conductor Desconocido												
00:46:45	00:00:52	00:01:35	00:02:27	00:48:36	00:01:35	00:49:12			599.365,1	0,3	0,23	77,64
08:14:49	03:40:31	00:51:21	05:55:01	12:50:13	02:14:30	14:09:50	110,0	88,0	599.691,1	325,9	115,85	35,55
14:48:08	06:54:43	02:03:09	09:12:56	23:41:13	02:18:13	00:01:04	110,0	90,0	600.315,5	624,2	182,58	29,25
<b>Totales por 25/03/2008</b>												
00:46:45	10:36:06	02:56:05	15:10:24		04:34:18	00:01:04	110,0			950,4	298,66	31,43
<b>26/03/2008</b>												
Conductor Desconocido												
00:38:28	05:10:59	00:47:45	05:55:40	06:32:18	00:44:41	06:34:08	108,0	91,0	600.791,3	475,5	146,02	30,71
06:46:47	02:03:18	00:34:43	02:44:25	08:55:07	00:41:07	09:31:12	103,0	73,0	600.943,2	151,8	40,31	26,55
09:38:35	01:45:32	00:24:26	02:09:02	11:46:51	00:23:30	11:47:37	103,0	86,0	601.095,3	152,1	44,52	29,27
12:05:04	05:37:35	01:00:37	07:03:36	18:45:51	01:26:01	19:08:40	105,0	83,0	601.567,8	472,0	122,16	25,88
<b>Totales por 26/03/2008</b>												
00:38:28	14:37:24	02:47:31	17:52:43		03:15:19	19:08:40	108,0	85,6	601.567,8	1.251,4	353,00	28,21
<b>Totales por ARATESA S319 GTHDEII (ALSA 2420)</b>												
06:50:06	36:41:33	08:59:54	47:17:33		10:36:00	19:08:40	114,0	85,8	601.567,8	3.149,8	928,05	29,46

Fuente: Fleet Manager Professional

### 5.5.4 Informe de Efectividad

El Informe de Efectividad muestra en tiempo y porcentaje la dedicación del vehículo en la explotación: conducción, parking y ralentí.

Figura 10. Ejemplo de Efectividad

02/04/2008  
Pag. 1 de 1

VDO Automotive España, S.A.  
**ALSA**  
Informe Resumen Efectividad por Vehículo  
24/03/2008 a 26/03/2008 23:59:59

**ALSA**

Vehículo	cuentakm (inicio)	cuentakm (fin)	Conducción	Parking	Ralenti	Distancia	Distancia recorrida sin identificación del conductor	Días con viajes
ARATESA S319 GTHDEII (ALSA 2420)	597.765,6	602.200,5	50:56:25 (72,12%)	05:22:26 (7,61%)	14:19:00 (20,27%)	4.432,7	4.432,7	4
			50:56:25 (72,12%)	05:22:26 (7,61%)	14:19:00 (20,27%)	4.432,7	4.432,7	4

Valores en tiempo y en porcentaje de la utilización del vehículo.

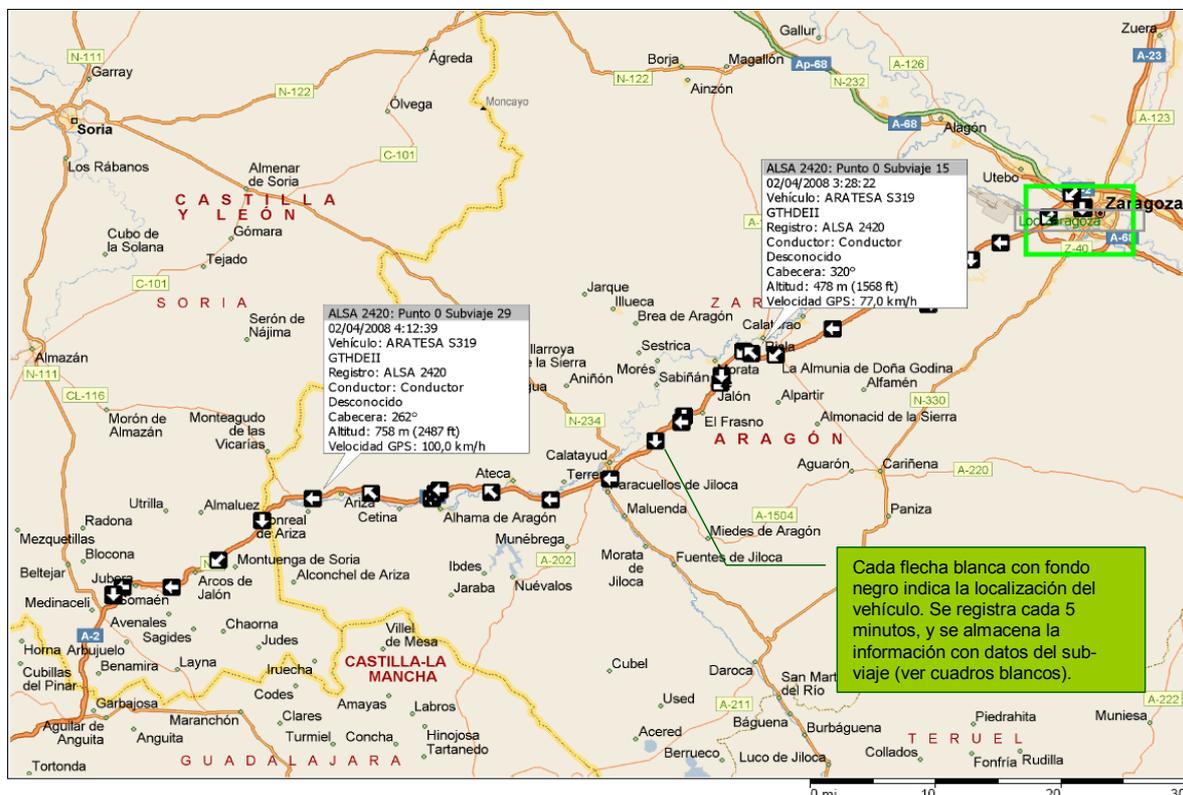
Fuente: Fleet Manager Professional

### 5.5.5 Localización del Vehículo

El Software de gestión cuenta con un soporte cartográfico que ha permitido conocer el posicionamiento GPS (con diferencias de 5 minutos entre cada punto de medición), así como el cruce de variables de posición con el resto de señales medidas.

Los 5 minutos fueron definidos como el periodo más conveniente para la velocidad y la distancia de cada ruta. Pero cabe aclarar que el sistema permite cambiar este parámetro, y configurarlo según la necesidad en cada caso.

Figura 11. Ejemplo de Localización del vehículo



Fuente: Fleet Manager Professional-MapPoint

## 5.6. Modelización de la incidencia del trazado en los consumos

---

Con objeto de poder modelizar la incidencia del perfil de trazado (fundamentalmente en alzado) en el consumo energético, el Grupo ALSA contrató con INSIA una asistencia técnica para la realización de un estudio de caracterización de la geometría de la carretera de los trayectos Madrid-Barcelona y Madrid-Alicante, correspondientes con los itinerarios de las concesiones de transporte objeto de análisis.

Para la obtención de forma continua de la geometría de la carretera, se empleó un vehículo instrumentado con los siguientes equipos embarcados:

- E1: Equipo de medida de velocidad sin contacto
- E2: Plataforma giroscópica
- E3: Pulsadores para indicación de eventos
- E4: Receptor GPS
- E5: Equipo de registro

El registro de medidas se ha realizado a una frecuencia de 10 Hz, y la información proporcionada, cada 5 metros de recorrido, es:

- Coordenadas X, Y
- Altitud
- Longitud y latitud

A continuación se presenta una pequeña muestra de la caracterización del trayecto Madrid-Alicante:

Tabla 6. Muestra de la caracterización realizada de la Cota z de la ruta Madrid-Alicante

X (m)	Y (m)	h (m)	longitud (°)	latitud (°)
442382,4955	4471716,5902	583,0337	-3,6790	40,3941
442393,3715	4471699,9063	582,8259	-3,6788	40,3939
442406,3157	4471684,6603	582,7506	-3,6786	40,3938
442421,1274	4471671,4349	582,6527	-3,6785	40,3937
442439,9452	4471665,8685	582,6995	-3,6785	40,3936
442453,7861	4471651,4496	582,8000	-3,6786	40,3935
442467,4451	4471636,8405	582,8246	-3,6787	40,3934
442481,1913	4471622,3134	582,7758	-3,6778	40,3932
442494,6257	4471607,4980	582,5842	-3,6777	40,3931
442507,8218	4471592,4694	582,5517	-3,6775	40,3930
442521,5844	4471577,9609	582,6831	-3,6773	40,3928
442536,1186	4471564,2265	582,6596	-3,6772	40,3927
442551,2449	4471551,1451	582,8361	-3,6770	40,3926
442565,9552	4471537,5954	582,5815	-3,6768	40,3925
442580,4540	4471523,8194	582,4012	-3,6768	40,3924
442594,9744	4471510,0673	582,1220	-3,6769	40,3922
442607,3952	4471494,4748	581,7880	-3,6770	40,3921
442613,6757	4471475,5938	581,5739	-3,6770	40,3919
442617,1968	4471455,9121	581,5378	-3,6760	40,3917
442625,7375	4471438,0463	581,8061	-3,6760	40,3916
442642,9362	4471428,7074	581,8220	-3,6759	40,3915
442662,0158	4471431,6982	581,9772	-3,6756	40,3915
442675,7255	4471446,0977	582,4804	-3,6754	40,3917
442684,4401	4471464,0376	582,3141	-3,6753	40,3918
442689,8253	4471483,2854	582,3428	-3,6752	40,3920
442694,1497	4471502,8121	582,4435	-3,6752	40,3922
442698,5039	4471522,3321	582,4559	-3,6751	40,3924

Fuente: Instituto Universitario de Investigación del Automóvil

### 1. Madrid-Zaragoza-Barcelona

El recorrido ha sido dividido en 5 etapas, considerando las paradas de Madrid-Avenida de América, Lodares (área de servicio), Zaragoza, Barcelona Sants y Barcelona Nord. Además, se han definido 4 puntos intermedios sobre vías de servicio y áreas de descanso, en los que se ha intentado mantener la máxima proximidad a la calzada principal de la carretera en todo momento.

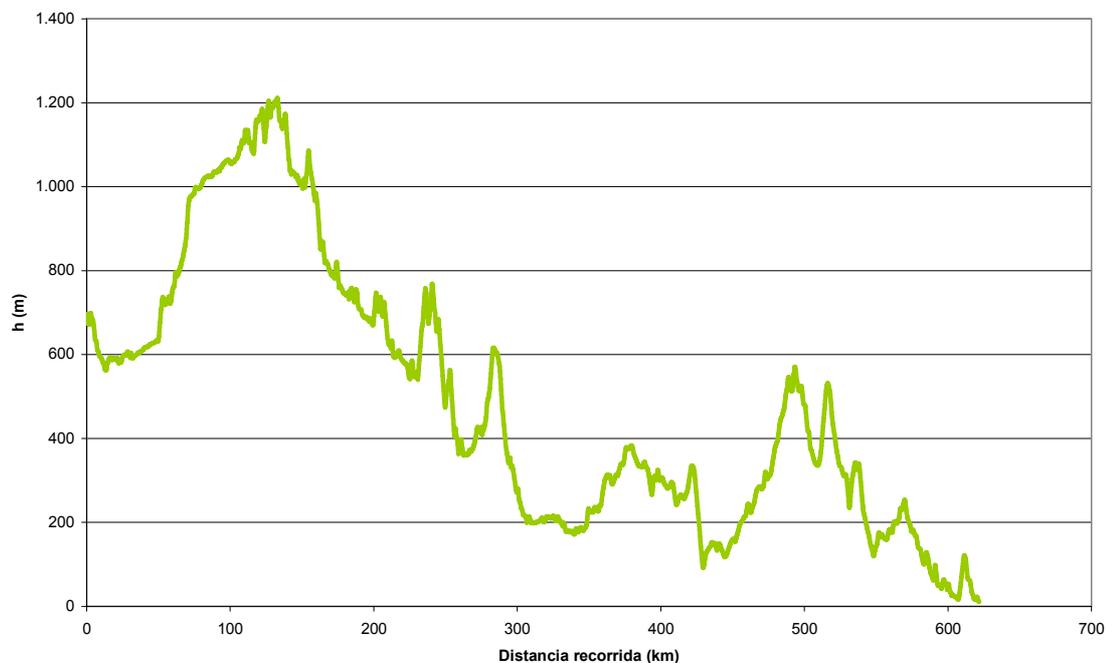
El itinerario analizado es el siguiente:

- Salida Intercambiador de Avda. América Madrid.
- Tomar: Salida por Autopista A-2 con Dirección Zaragoza.
- Tomar: Salida Lodares de Medinaceli (km 154)
- Entrar en Área de descanso Lodares.
- Continuar por Autopista A-2, dirección Zaragoza.
- Tomar: Salida el Portillo A-2.
- Continuar Dirección Zaragoza AP-68. Distancia: 2.2 km
- Llegada Estación Central de Autobuses de Zaragoza.
- Salida Estación Central de Autobuses de Zaragoza.
- Tomar: Salida dirección Logroño AP-68.
- Tomar: Salida dirección Barcelona A-2.
- Tomar: Autopista AP-2 (km 318 de la A-2). Tomar: Autopista B-23 (entre km 6 y 7 de la AP-2, para entrar a Barcelona).

- Entrar a Barcelona
- Continuar por Avda. Diagonal. Distancia: 2.5 km
- Girar a la derecha C/ Numancia. Distancia: 1.4 km
- Estación de Sants.
- C/ Tarragona (continuación de C/ Numancia). Distancia: 0.1 km
- Girar a la izquierda en C/ Valencia. Distancia: 0.8 km
- Girar a la derecha en C/ Rocafort. Distancia: 0.9 km
- Girar a la izquierda en Gran Vía de les Corts Catalanes. Distancia: 3.3 km
- Girar a la derecha en C/ Napols. Distancia: 0.4 km
- Girar a la izquierda en C/ Ali Bei. Distancia: 0.1 km
- Estación de Nord.

A continuación se presenta el perfil del itinerario obtenido entre Madrid y Barcelona.

Figura 12. Cota z de la ruta Madrid-Zaragoza-Barcelona



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del INSIA

## 2. Madrid-Alicante

El recorrido ha sido dividido en 5 etapas, considerando las paradas de Madrid-Méndez Álvaro, La Gineta (área de servicio), Albacete y Alicante. Además, se han definido 2 puntos intermedios sobre vías de servicio, en los que se ha intentado mantener la máxima proximidad a la calzada principal de la carretera en todo momento.

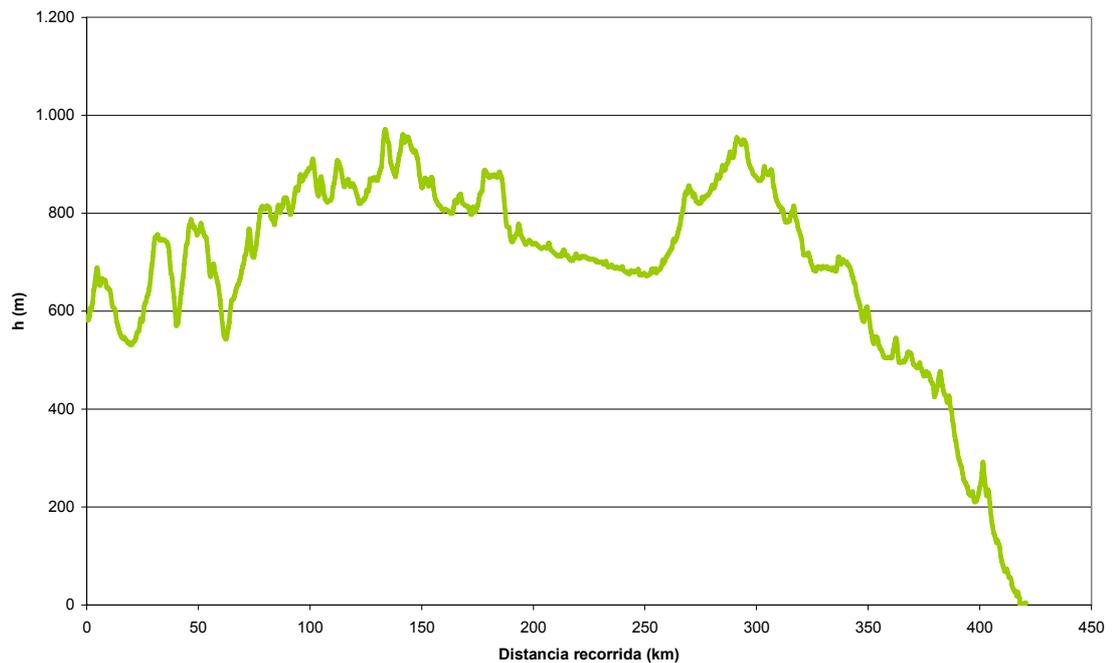
El itinerario analizado es el siguiente:

- Salida Estación Sur (Méndez Álvaro).
- Tomar: C/ Méndez Álvaro (dirección M-30).
- Tomar: M-30 dirección norte (Autopista A-3).

- Tomar: Autopista A-3.
- Tomar: Salida 177 (A-3) (La Roda - Albacete - Alicante - Murcia).
- Continuar por Autopista A-31.
- Entrar a Área de Descanso La Gineta (km 229 de la A-31).
- Continuar por A-31 en dirección Albacete
- Tomar: Salida (Albacete).
- Continuar en CM-322.
- Entrar en Albacete:
- C/ CM-322 / Carretera de Ayora Distancia: 0.1 km
- Girar a la derecha C/ González Rubio Distancia: 0.3 km
- Girar a la izquierda C/ Vasco Núñez de Balboa Distancia: 0.1 km
- Girar a la derecha C/ Federico García Lorca
- Continuar hasta Estación de Autobuses Distancia: 0.5 km
- Llegada Estación de Autobuses de Albacete.
- Salida Estación de Autobuses de Albacete.
- Salir de Albacete:
- Salida por C/ Federico García Lorca
- Girar a la izquierda en C/ Vasco Núñez de Balboa
- Girar a la derecha C/ González Rubio
- Girar a la izquierda en CM-322 / Carretera de Ayora
- Salir de Albacete
- Tomar CM-322.
- Girar a la derecha en A-31 en dirección (A-30 / Murcia / Valencia / Alicante)
- Tomar: Salida en dirección (Alicante / Alacant / Centro Ciudad / N-322)
- Entrar en Alicante:
- Girar a la derecha en C/ México Distancia: 0.4 km
- Girar a la izquierda Avda. Elche Distancia: 1.2 km
- Continuar por Avda. de Loring. Distancia: 0.4 km
- Rotonda Plaza de Galicia (girar a la izquierda). Distancia: 0.1 km
- Girar a la izquierda Avda. del Doctor Ramón y Cajal Distancia: 0.1 km
- Girar a la derecha C/ Pintor Aparicio Distancia: 0.3 km
- Girar a la derecha C/ Italia. Distancia: 0.1 km
- Llegada Estación de Autobuses de Alicante

A continuación se presenta el perfil del itinerario obtenido entre Madrid y Alicante.

Figura 13. Cota z de la ruta Madrid-Alicante



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del INSIA

Partiendo de estos datos de alzado, y al proporcionar el sistema embarcado de mediciones un posicionamiento en términos de cotas X e Y, y por lo tanto el registro vinculado al “espacio-tiempo” de todas las señales parametrizadas (consumos, velocidades, rpm, estado de funcionamiento de equipos eléctricos, etc), ha sido posible cruzar, como dato añadido en la base de datos, la coordenada Z equivalente a cada posición X-Y, incorporando así la incidencia del alzado en la caracterización de los consumos.

## 5.7. Sectorización de los itinerarios

El posicionamiento geográfico del trazado ha permitido analizar los consumos de los vehículos autobuses y autocares para cada una de las fases del movimiento comercial definidas en el Capítulo 3.

Para ello, fue necesario definir diferentes sectores en función del tipo de infraestructura existente en cada uno de los dos itinerarios interurbanos.

Se muestra, a continuación, la sectorización realizada.



Así mismo, esta sectorización, como se verá en el capítulo siguiente, ha sido empleada para evaluar la influencia de la cota Z en el consumo de combustible de los vehículos autobuses y autocares.

## 6. RESULTADOS DE LA MODELIZACIÓN DE CONSUMOS

El Programa Piloto de mediciones llevado a cabo por el Grupo ALSA ha generado una importante base de datos compuesta por un total de 538 viajes, soportados por una matriz de 5.690.144 de datos de viaje. Además, estos datos se complementan con 187.927 registros de eventos con 20 campos cada registro, lo que supone un total de 3.738.540 datos de eventos.

Se presentan, a continuación, las principales conclusiones obtenidas del análisis de los datos del Programa Piloto.

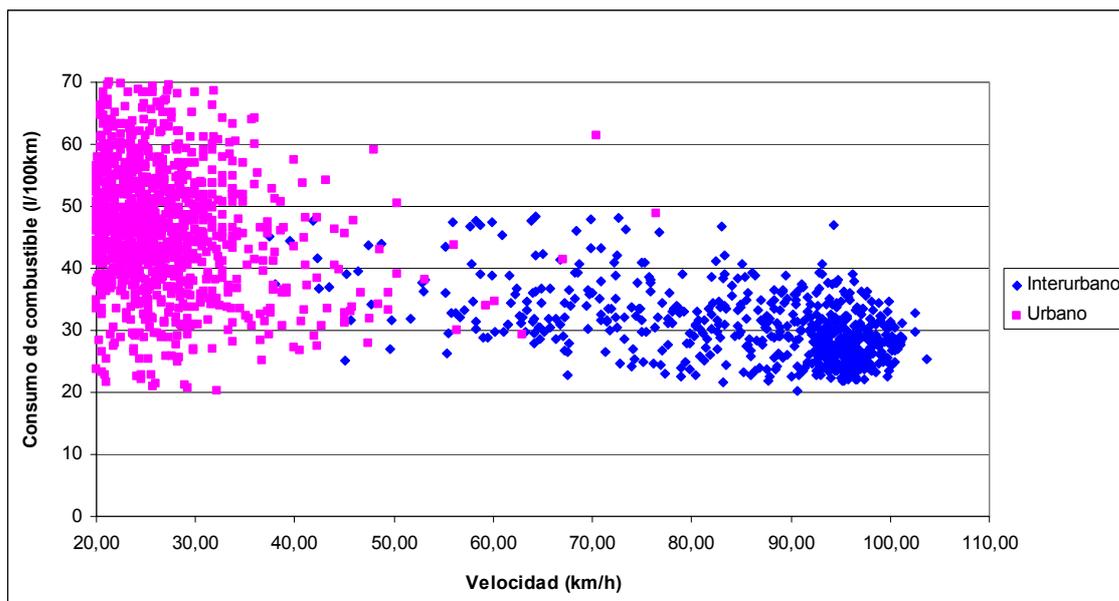
### 6.1. Incidencia de la velocidad en el consumo de combustible

Se analizará, en primer lugar, la incidencia de la velocidad en el consumo de combustible de los vehículos.

Para realizar este análisis se ha optado por analizar los “*subviajes*” realizados por los vehículos autobuses y autocares, entendiendo como tales, el movimiento del vehículo entre dos detenciones consecutivas.

Representando el consumo promedio frente a la velocidad promedio de una muestra de 2.600 subviajes realizados por los dos vehículos urbanos y los cinco interurbanos, se obtiene la siguiente gráfica:

Figura 16. Consumo de combustible promedio frente a la velocidad promedio de los subviajes de vehículos urbanos e interurbanos



Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos en el Programa de mediciones

En la gráfica se puede observar una tendencia decreciente del consumo de combustible a medida que aumenta la velocidad promedio de cada subviaje, hasta la velocidad máxima de 100km/h (velocidad límite de circulación de los autobuses y autocares).

Se observa, además que la **dispersión** de los consumos de combustible en los subviajes de los vehículos urbanos es mucho mayor que en los interurbanos. Esto se debe, fundamentalmente, a que en los subviajes urbanos se recorren distancias muy pequeñas (300 - 400 m), frente a los 100-200km que se recorren, de media en los subviajes interurbanos analizados. En distancias tan pequeñas, factores como pendientes, congestión del tráfico, carga del vehículo (subida y bajada de pasajeros), forma de conducción (aceleraciones y frenadas bruscas), etc. inciden en mayor medida en el consumo al no compensarse dentro de un mismo subviaje, provocando una dispersión mayor en los resultados obtenidos.

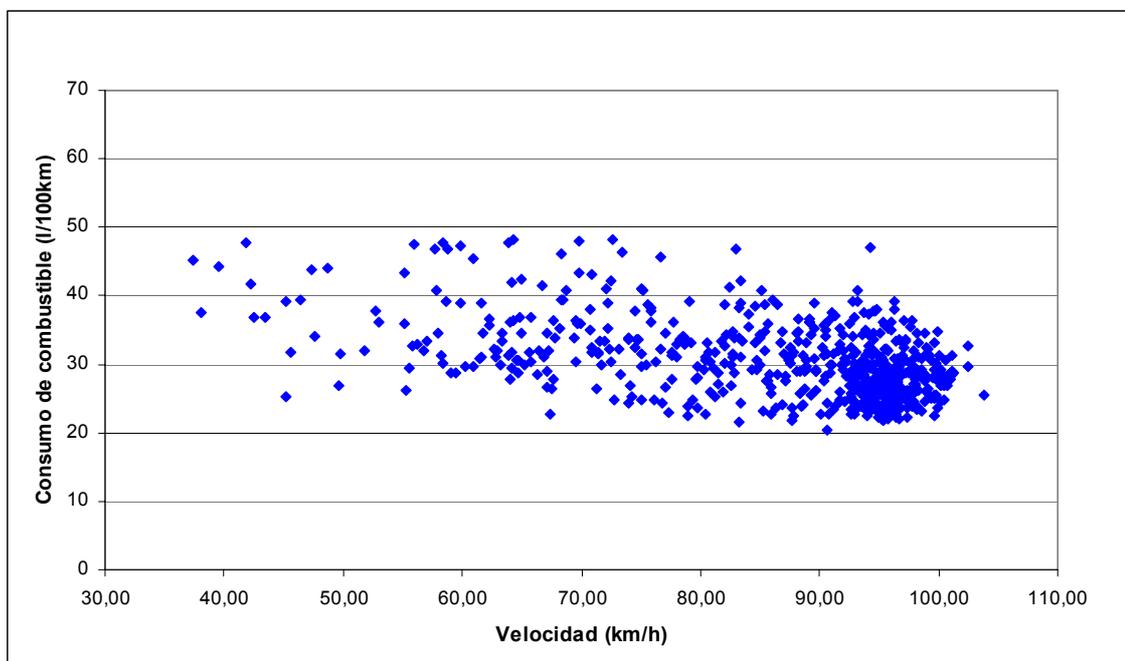
Para evitar errores debidos a la dispersión de los resultados, se analizará únicamente la incidencia de la velocidad en el consumo de combustible de **vehículos interurbanos**.

### Análisis de la influencia de la velocidad en recorridos interurbanos

Para el análisis de la influencia de la velocidad en el consumo en los vehículos de recorrido interurbano se han descartado los subviajes de menos de 15 km, para evitar los subviajes surgidos por detenciones debidas a la densidad del tráfico.

Representando el consumo promedio frente a la velocidad promedio de una muestra de 640 subviajes, se obtiene la siguiente gráfica:

Figura 17. Consumo de combustible promedio frente a la velocidad promedio de una muestra de 640 subviajes de los vehículos estudiados



Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos en el Programa de mediciones

Para realizar un análisis más detallado, se agrupan, a continuación, los subviajes en función de su velocidad promedio en los siguientes **tramos de velocidad**:

- Menos de 60 km/h

- Entre 60 y 70 km/h
- Entre 70 y 80 km/h
- Entre 80 y 85 km/h
- Entre 85 y 90 km/h
- Entre 90 y 95 km/h
- Entre 95 y 100 km/h

A continuación se presentan las velocidades y consumos promedio de cada uno de los rangos de velocidad definidos.

Tabla 7. Consumos promedio de combustible por tramos de velocidades

Rango de velocidad entre 0 y 60 km/h		
ID vehículo	Promedio Velocidad (km/h)	Promedio Consumo (l/100km)
2098	49,333	43,238
2187	50,569	37,719
2334	54,608	38,082
2420	49,093	42,614
2421	55,161	35,989
	51,753	39,529

Rango de velocidad entre 60 y 70 km/h		
ID vehículo	Promedio Velocidad (km/h)	Promedio Consumo (l/100km)
2098	66,157	36,003
2187	65,194	37,303
2334	64,542	32,476
2420	65,761	37,117
2421	66,109	30,293
	65,552	34,638

Rango de velocidad entre 70 y 80 km/h		
ID vehículo	Promedio Velocidad (km/h)	Promedio Consumo (l/100km)
2098	75,297	31,839
2187	74,453	38,209
2334	74,989	32,315
2420	76,182	31,149
2421	75,872	33,763
	75,358	33,455

Rango de velocidad entre 80 y 85 km/h		
ID vehículo	Promedio Velocidad (km/h)	Promedio Consumo (l/100km)
2098	82,434	31,167
2187	83,256	40,166
2334	83,203	35,043
2420	82,535	29,582
2421	82,844	32,573
	82,854	33,706

Rango de velocidad entre 85 y 90 km/h		
ID vehículo	Promedio Velocidad (km/h)	Promedio Consumo (l/100km)
2098	87,201	30,121
2334	87,628	33,001
2420	88,331	30,387
2421	88,277	29,399
	87,859	30,727

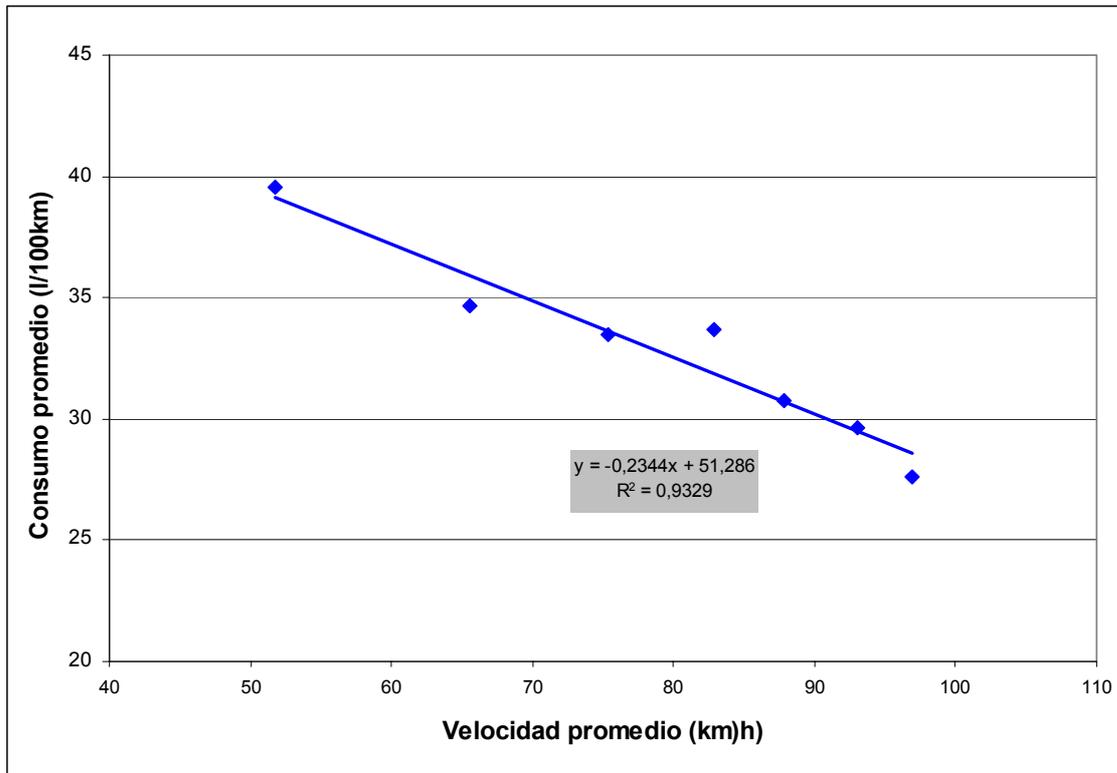
Rango de velocidad entre 90 y 95 km/h		
ID vehículo	Promedio Velocidad (km/h)	Promedio Consumo (l/100km)
2098	92,659	29,829
2187	92,101	31,005
2334	93,790	30,371
2420	93,232	29,383
2421	93,372	27,496
	93,031	29,617

Rango de velocidad: más de 95 km/h		
ID vehículo	Promedio Velocidad (km/h)	Promedio Consumo (l/100km)
2098	96,740	28,677
2187	95,974	26,352
2334	98,821	28,694
2420	96,425	27,813
2421	96,847	26,514
	96,961	27,610

Fuente: Elaboración propia

Representando, ahora, las velocidades promedio de cada tramo de velocidad frente a los consumos promedio del mismo tramo se obtiene la siguiente gráfica:

Figura 18. Consumo en función de la velocidad promedio de un autocar interurbano



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica se observa que el consumo de combustible de un vehículo autocar es inversamente proporcional a la velocidad promedio, siendo posible ajustar una recta de regresión con un coeficiente  $R^2$  de 0,93.

Por lo tanto, de la regresión anterior, se puede deducir la siguiente ecuación de consumo estimativa para los vehículos autobuses y autocares analizados:

$$C_{promedio} = -0,23 \cdot v_{promedio} + 51,29$$

Donde:

$C_{promedio}$  es el consumo medio de combustible de un autocar en un viaje (l/100km).

$v_{promedio}$  es la velocidad promedio del autocar a lo largo del viaje (km/h).

---

## 6.2. Incidencia del alzado en la caracterización de los consumos

---

Se realiza, a continuación, un análisis de la influencia de la cota Z del recorrido (alzado), en el consumo total de combustible del vehículo.

Se han seleccionado, para realizar este análisis, dos vehículos del mismo modelo y fabricante (S316 GTHD de Setra) que realizaron servicios diferentes: uno (el coche 2098) en el trayecto Madrid-Alicante, y el otro (el coche 2420) en el trayecto Madrid-Zaragoza-Barcelona.

El análisis se centra en los sectores de los tramos interurbanos de cada uno de los recorridos analizados, según la sectorización mencionada en el Capítulo 5:

Tabla 8. Sectorización del Trayecto Madrid-Alicante

Trayecto Madrid - Alicante				
Inicio sector		Fin sector		
	Latitud (°)	Longitud (°)	Latitud (°)	Longitud (°)
<b>Sector 2</b>	40,1051	-3,1381	39,4165	-2,211
<b>Sector 3</b>	39,3939	-2,21	39,0304	-1,8806
<b>Sector 4</b>	38,9713	-1,8175	38,8597	-1,03694
<b>Sector 5</b>	38,8541	-1,0232	38,3358	-0,588

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9. Sectorización del Trayecto Madrid-Barcelona

Trayecto Madrid - Zaragoza - Barcelona				
Inicio sector		Fin sector		
	Latitud (°)	Longitud (°)	Latitud (°)	Longitud (°)
<b>Sector 2</b>	41,0118	-2,5567	41,3209	-1,792
<b>Sector 3</b>	41,3106	-1,7634	41,6305	-0,9893
<b>Sector 4</b>	41,667	-0,8114	41,4676	0,2375
<b>Sector 5</b>	41,4652	0,284	41,471	1,9627

Fuente: Elaboración propia

Para cada uno de los sectores definidos, se ha procedido de la siguiente manera:

En primer lugar se extraen de la base de datos, los **consumos medios** de cada uno de los vehículos en los 4 sectores seleccionados, en un sentido (Madrid-Alicante y Madrid-Zaragoza-Barcelona, respectivamente), y en el otro sentido (Alicante-Madrid, y Barcelona-Zaragoza-Madrid, respectivamente) para un total de 50 viajes.

Se calcula en segundo lugar, el **promedio de los consumos medios** de cada uno de los sectores y sentidos de viaje.

Finalmente, se calcula el **Desnivel medio de cada sector**, partiendo de la caracterización de la geometría de la carretera de los trayectos Madrid-Barcelona y Madrid-Alicante (descrita en el capítulo 5.6), de la siguiente manera:

$$\Delta h = \sum_{i=\text{iniciosector}}^{i=\text{finsector}} (h_{i+1} - h_i)$$

Es decir, como el sumatorio de las diferencias de altura (h) entre un punto y el punto anterior en el que se realizó una medición, entre el punto inicial de un sector y el final del mismo sector.

A continuación se muestran los resultados para el trayecto Madrid-Alicante:

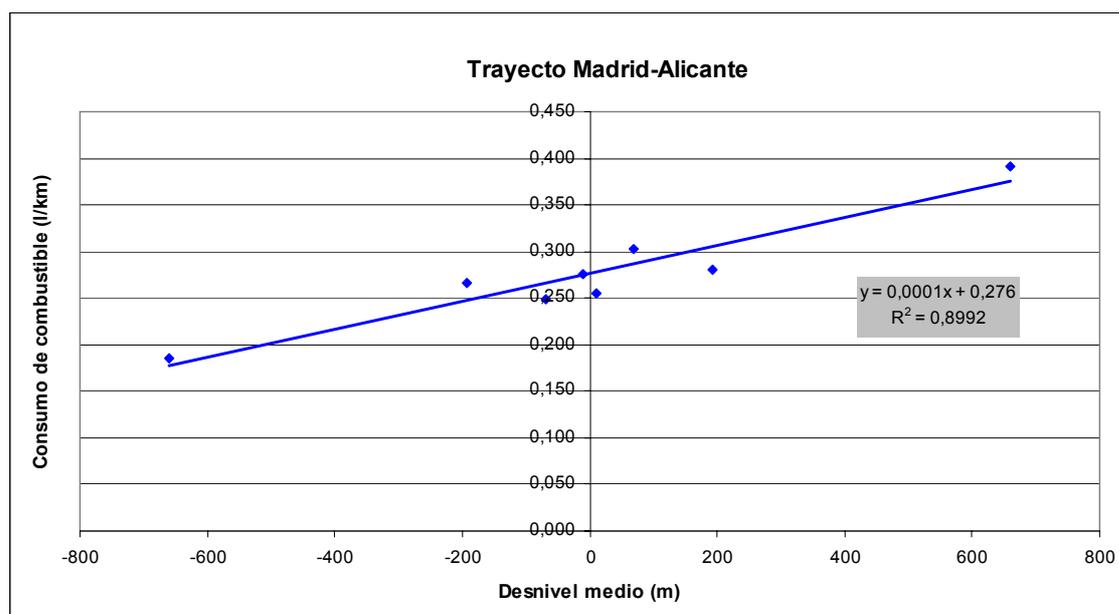
Tabla 10. Consumos medios por sectores del Trayecto Madrid-Alicante

Viaje	Consumo (l/km) Trayecto Madrid - Alicante							
	Madrid-Alicante				Alicante-Madrid			
	Sector 2	Sector 3	Sector 4	Sector 5	Sector 2	Sector 3	Sector 4	Sector 5
1					0,27		0,31	
2	0,28		0,27	0,19				
3					0,25	0,3	0,2	
4	0,29	0,3	0,27	0,19				
5					0,26	0,34	0,3	0,39
6	0,27	0,26	0,26	0,19				
7	0,28	0,29	0,27	0,19				
8					0,26	0,28	0,27	0,35
9	0,29	0,22	0,3					
10					0,26	0,28	0,19	
11	0,29	0,24	0,3					
12					0,24	0,25	0,19	
13					0,27	0,31	0,2	
14	0,27	0,21	0,27					
15					0,28	0,31	0,23	
16	0,26	0,21	0,26	0,17				
17					0,28	0,33	0,27	0,4
18	0,25	0,23	0,28					
19					0,29	0,28	0,23	
20	0,28	0,29	0,25	0,18				
21					0,27	0,34	0,32	0,4
22					0,31	0,33	0,36	0,42
23					0,23	0,29		
24	0,33	0,23	0,31					
<b>Consumo medio (l/km)</b>	0,281	0,248	0,276	0,185	0,267	0,303	0,256	0,392
<b>Desnivel medio del sector (m)</b>	193,260	-69,813	-10,574	-660,319	-193,260	69,813	10,574	660,319

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del FM

Representando el consumo medio de cada uno de los sectores analizados frente al desnivel medio de cada sector se obtiene la siguiente gráfica:

Figura 19. Consumos medio de combustible frente al desnivel medio de cada sector. Trayecto Madrid - Alicante



Fuente: Elaboración propia

Los puntos representados se ajustan a una recta de pendiente positiva con un Coeficiente R<sup>2</sup> de regresión de 0,9.

Si realizamos el mismo procedimiento con el Trayecto Madrid-Barcelona, obtenemos los siguientes resultados.

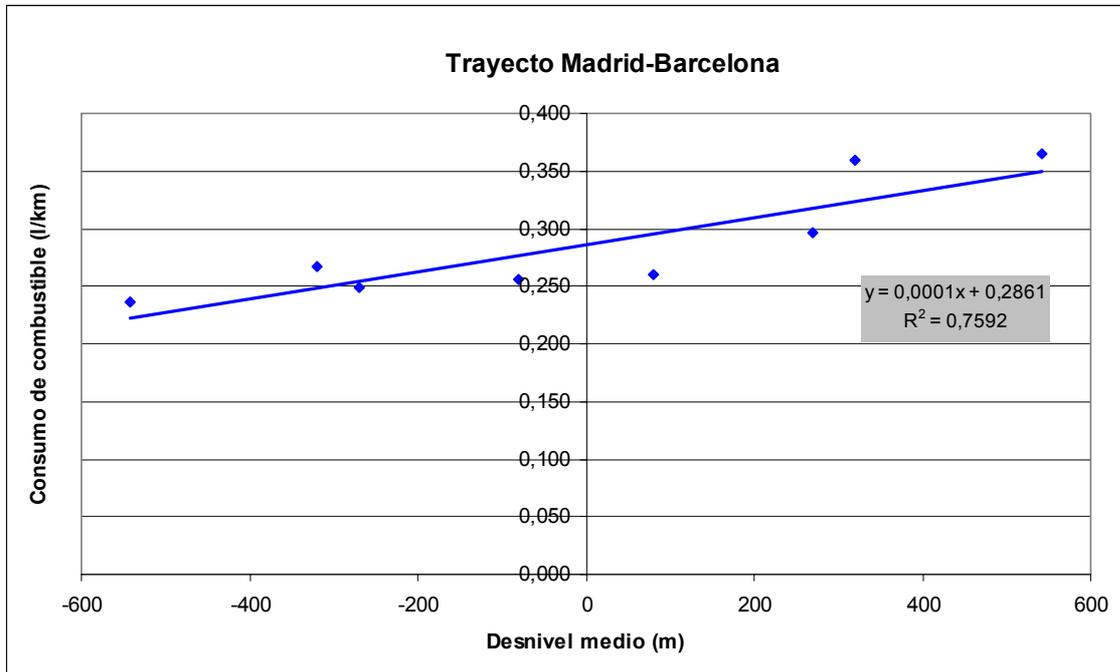
Tabla 11. Consumos medios por sectores del Trayecto Madrid-Barcelona

Viaje	Consumo (l/km) Trayecto Madrid - Barcelona							
	Madrid-Barcelona				Barcelona-Madrid			
	Sector 2	Sector 3	Sector 4	Sector 5	Sector 2	Sector 3	Sector 4	Sector 5
1	0,22							
2		0,23	0,28	0,24				
3					0,36	0,35	0,25	
4					0,34	0,34	0,23	0,27
5					0,35	0,36		
6			0,26	0,28				
7	0,23	0,27	0,25	0,25				
8			0,26	0,26				
9					0,4	0,31	0,28	0,29
10					0,38	0,37		
11	0,25							
12		0,31	0,25	0,23				
13					0,35	0,36	0,25	0,3
14					0,4	0,39	0,26	0,29
15					0,35	0,38	0,27	0,3
16			0,25	0,26				
17					0,38	0,35	0,25	0,3
18					0,39	0,38	0,27	0,34
19	0,23	0,25		0,23				
20					0,28	0,35	0,26	0,31
21	0,24	0,26	0,26	0,24				
22					0,4	0,39	0,23	0,29
23	0,25	0,28						
24							0,25	0,29
25			0,27	0,25				
26					0,37	0,34	0,27	0,28
<b>Consumo medio (l/km)</b>	0,237	0,267	0,260	0,249	0,365	0,359	0,256	0,296
<b>Desnivel medio del sector (m)</b>	-542,685	-320,275	79,784	-270,233	542,685	320,275	-79,784	270,233

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del FM

Representando el consumo medio de cada uno de los sectores analizados frente al desnivel medio de cada sector se obtiene la siguiente gráfica.

Figura 20. Consumos medio de combustible frente al desnivel medio de cada sector. Trayecto Madrid - Barcelona

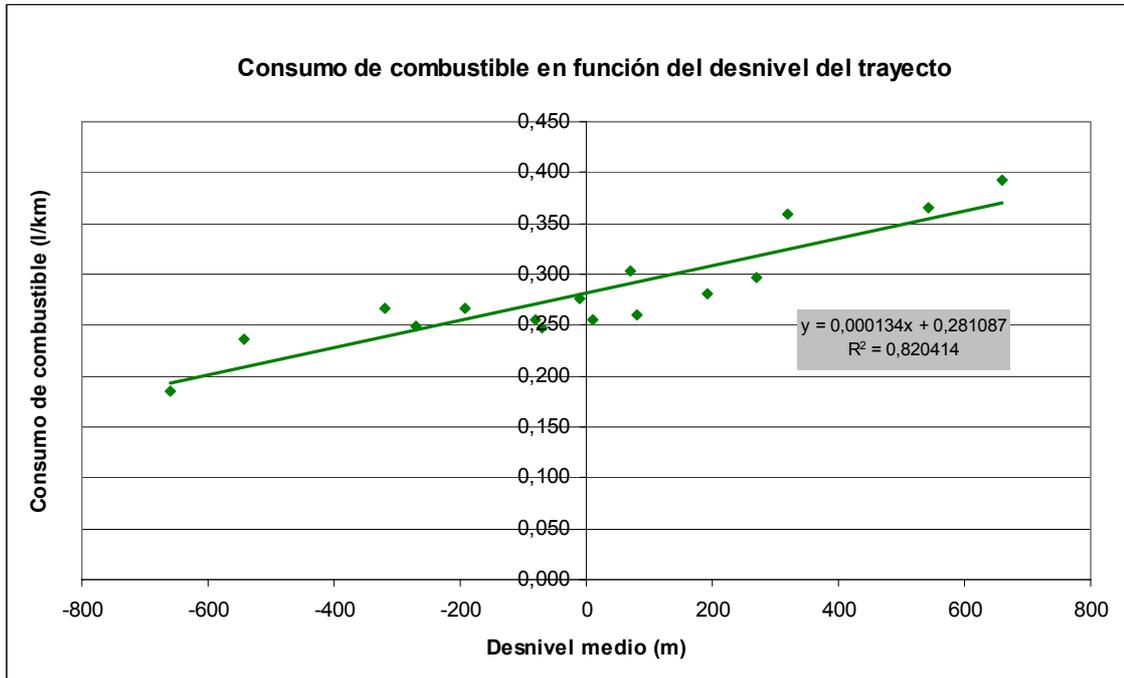


Fuente: Elaboración propia

En este caso el coeficiente de regresión  $R^2$  es ligeramente inferior (0,76).

Con objeto de reducir la incidencia de otros factores diferentes a la cota z, como por ejemplo el estado de las infraestructuras, etc., se representan en una misma gráfica los valores obtenidos en los dos trayectos.

Figura 21. Consumos medio de combustible frente al desnivel



Fuente: Elaboración propia

Los valores se ajustan a una recta con un Coeficiente de regresión  $R^2$  de 0,82.

De la recta de regresión se desprende la siguiente ecuación de consumo de combustible de un vehículo autocar en función del desnivel medio del trayecto:

$$C = 0,000134 \cdot \Delta h + 0,281087$$

Siendo:

$C$  el consumo de combustible de un vehículo autocar circulando por una infraestructura de ámbito interurbano (l/km).

$\Delta h$  el desnivel medio (m). Obtenido como la suma de todas las pendientes positivas menos todas las pendientes negativas del trayecto, o lo que es lo mismo:

$$\Delta h = \sum_{i=\text{inicioTrayecto}}^{i=\text{finTrayecto}} (h_{i+1} - h_i)$$

## 6.3. Incidencia del tipo de infraestructura en el consumo de combustible

---

Finalmente, se ha realizado un análisis de la influencia, en el consumo total de combustible, de cada una de las **fases del movimiento** de los vehículos autobuses y autocares (detalladas en el Capítulo 3).

Para realizar este análisis se han definido los siguientes **trayectos**, coincidentes con los servicios realizados por los vehículos del programa de mediciones:

- Servicio interurbano Madrid-Zaragoza-Barcelona
- Servicio interurbano Madrid-Alicante
- Servicio urbano de Oviedo
- Servicio urbano de Palencia
- Tramo metropolitano del servicio urbano de Oviedo

Para cada uno de los trayectos anteriores, desglosados en las diferentes fases del movimiento, se han medido las siguientes **variables**:

- Tiempo
- Recorrido
- Velocidad máxima autorizada en la infraestructura
- Velocidad media del vehículo
- Consumo medio
- Nº de repeticiones de esta fase

Se presentan, a continuación, los resultados obtenidos.

Tabla 12. Consumo de combustible en función de las fases del movimiento

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL MOVIMIENTO DEL VEHÍCULO						
CARACTERÍSTICAS DE LA RUTA		Ruta 1	Ruta 2	Ruta 3	Ruta 4	Ruta 5
Origen	-	Madrid	Madrid	Palencia	Oviedo	Oviedo
Destino	-	Barcelona	Alicante	Palencia	Oviedo	Oviedo
Tipo de recorrido (urbano, metropolitano, interurbano)	-	Interurbano	Interurbano	Urbano	Urbano	Metropolitano
Distancia recorrida	km	633	425	4,8	7,8	14,4
FASES DEL MOVIMIENTO DEL VEHÍCULO						
A. EN SERVICIO		Ruta 1	Ruta 2	Ruta 3	Ruta 4	Ruta 5
<b>Con viajeros</b>						
<b>1 Operación de carga o subida de pasajeros al inicio de la ruta</b>						
Tiempo	min	20	20	5	5	5
Recorrido	km	0	0	0	0	0
Velocidad máxima autorizada al vehículo en la infraestructura	km/h	0	0	0	0	0
Velocidad media	km/h	0,00	0,00	0	0	0
Consumo medio	l/h	4,8	5,2	3,61	3,82	3,82
Nº de repeticiones de esta fase	nº	1	1	1	1	1
<b>3 Movimiento comercial - Infraestructura ámbito Urbano</b>						
Tiempo	min	5,23	4,73	24,00	37,49	0
Recorrido	km	3	3	5,4	8,1	0
Velocidad máxima autorizada al vehículo en la infraestructura	km/h	50	50	50	50	0
Velocidad media	km/h	34,42	38,04	13,50	12,96	0
Consumo medio	l/100km	49,82	55,05	44,9	56,9	0
Nº de repeticiones de esta fase	nº	4	4	1	1	0
<b>4 Movimiento comercial - Infraestructura ámbito Metropolitano</b>						
Tiempo	min	17,93	26,06	0,00	0,00	32,83
Recorrido	km	18	26	0	0	14,40
Velocidad máxima autorizada al vehículo en la infraestructura	km/h	70	70	0	0	70,00
Velocidad media	km/h	60,23	59,87	0,00	0,00	26,32
Consumo medio	l/100km	39,12	36,94	0	0	35,10
Nº de repeticiones de esta fase	nº	2	2	0	0	1
<b>5 Movimiento comercial - Infraestructura ámbito Interurbano Velocidad Baja</b>						
Tiempo	min	6,05	7,98	0,00	0,00	0,00
Recorrido	km	4	6	0	0	0,00
Velocidad máxima autorizada al vehículo en la infraestructura	km/h	100	100	0	0	0,00
Velocidad media	km/h	39,70	45,10	0,00	0,00	0,00
Consumo medio	l/100km	48,09	48,60	0	0	0,00
Nº de repeticiones de esta fase	nº	4	4	0	0	0
<b>6 Movimiento comercial - Infraestructura ámbito Interurbano Velocidad Media</b>						
Tiempo	min	9,07	6,69	0,00	0,00	0,00
Recorrido	km	11	8	0	0	0,00
Velocidad máxima autorizada al vehículo en la infraestructura	km/h	100	100	0	0	0,00
Velocidad media	km/h	72,80	71,80	0,00	0,00	0,00
Consumo medio	l/100km	31,9	33,10	0	0	0,00
Nº de repeticiones de esta fase	nº	4	4	0	0	0
<b>7 Movimiento comercial - Infraestructura ámbito Interurbano Velocidad Alta</b>						
Tiempo	min	157,64	87,57	0,00	0,00	0,00
Recorrido	km	247,5	138,5	0	0	0,00
Velocidad máxima autorizada al vehículo en la infraestructura	km/h	100	100	0	0	0,00
Velocidad media	km/h	94,20	94,90	0,00	0,00	0,00
Consumo medio	l/100km	28,04	29,36	0	0	0,00
Nº de repeticiones de esta fase	nº	2	2	0	0	0
<b>8 Operaciones de Parada Comercial Intermedia</b>						
Tiempo	min	10	10	0,5	0,5	0,8
Recorrido	km	0	0	4,8	7,8	14,4
Velocidad máxima autorizada al vehículo en la infraestructura	km/h	0	0	0	0	0
Velocidad media	km/h	0,00	0	0	0	0
Consumo medio	l/h	4,8	5,2	3,61	3,82	3,82
Nº de repeticiones de esta fase	nº	1	1	24	39	24
<b>9 Operación de Parada Técnica (descansos, etc.)</b>						
Tiempo	min	20	20	0,00	0,00	0,00
Recorrido	km	0	0	0	0	0,00
Velocidad máxima autorizada al vehículo en la infraestructura	km/h	0	0	0	0	0,00
Velocidad media	km/h	0,00	0	0,00	0,00	0,00
Consumo medio	l/h	0	0	0	0	0,00
Nº de repeticiones de esta fase	nº	1	1	0	0	0
<b>10 Operación de descarga o bajada de pasajeros al final de la ruta</b>						
Tiempo	min	20	20	5	5	5
Recorrido	km	0	0	0	0	0
Velocidad máxima autorizada al vehículo en la infraestructura	km/h	0	0	0	0	0
Velocidad media	km/h	0,00	0	0	0	0
Consumo medio	l/100km	4,8	5,2	3,61	3,82	3,82
Nº de repeticiones de esta fase	nº	1	1	1	1	1
<b>Sin viajeros pero asociado al servicio</b>						
<b>12 Maniobras de formación y posicionamiento</b>						
Tiempo	min	10,5	10,5	3	3	3
Recorrido	km	7	7	1	1	1
Velocidad máxima autorizada al vehículo en la infraestructura	km/h	70	70	50	50	50
Velocidad media	km/h	40,00	40	20	20	20
Consumo medio	l/100km	48,09	48,6	44,9	56,9	35,10
Nº de repeticiones de esta fase	nº	2	2	2	2	2
<b>B. FUERA DE SERVICIO y no imputables a un servicio concreto</b>						
<b>13 Movimientos en vacío (no se incluyen pruebas)</b>						
Porcentaje de kilómetros en vacío (%)	%	2%	2%	2%	2%	2%
<b>14 Operación de mantenimiento (sin movimiento, pero con consumo de energía)</b>						
Porcentaje de horas de mantenimiento con auxiliares (sin movimiento)	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Consumo medio	l/h	0	0	0	0	0
<b>15 Operación de mantenimiento con movimiento</b>						
Porcentaje de horas de mantenimiento con auxiliares (sin movimiento)	%	0	0	0	0	0
Consumo medio (l/h)	l/h	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos en el Programa de mediciones

A continuación se presenta, de forma agregada, los consumos medios obtenidos para cada una de las fases del movimiento de los vehículos urbanos, metropolitanos e interurbanos.

Tabla 13. Consumo de combustible medio de los autobuses y autocares en función de las fases del movimiento de los vehículos

Consumos en función de las Fases del Movimiento del vehículos				
Con viajeros		Urbano	Metropolitano	Interurbano
Operación de subida de pasajeros al inicio de la ruta	l/h	3,72	3,82	5,00
Movimiento comercial - Infraestr. ámbito Urbano	l/100km	50,90	-	52,44
Movimiento comercial - Infraestr. ámbito Metropolitano	l/100km	-	35,10	38,03
Movimiento comercial - Infraestr. ámbito Interurb. Velocidad Baja	l/100km	-	-	48,35
Movimiento comercial - Infraestr. ámbito Interurb. Velocidad Media	l/100km	-	-	32,50
Movimiento comercial - Infraestr. ámbito Interurb. Velocidad Alta	l/100km	-	-	28,70
Operaciones de Parada Comercial intermedia	l/h	3,72	3,82	5,00
Operación de Parada Técnica (descansos, etc.)	l/h	-	-	-
Operación de bajada de pasajeros al final de la ruta	l/100km	3,72	3,82	5,00
Sin viajeros pero asociado al servicio		Urbano	Metropolitano	Interurbano
Maniobras de formación y posicionamiento	l/100km	50,90	35,10	48,35

Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos en el Programa de mediciones

Se observan diferencias significativas en los consumos de las diferentes fases del movimiento de los vehículos:

- Los vehículos interurbanos consumen más combustible, medido en l/h, en las operaciones de subida de pasajeros que los vehículos urbanos.
- Los vehículos urbanos consumen menos combustible, medido en l/100km, en el ámbito urbano que los vehículos interurbanos circulando por ámbito urbano.
- El consumo de combustible de los vehículos interurbanos desciende, como norma general, a medida que aumenta la velocidad permitida en la infraestructura por la que circula el movimiento comercial.

Los datos presentados en la tabla 12 han sido trasladados al Modelo general de Consumos desarrollado dentro del Proyecto ENERTRANS, constituyendo parte de la base de datos de la que se alimenta Modelo para el cálculo de los consumos de los vehículos autobuses y autocares.

## 7. EXPERIENCIA DE ALSA CON EL USO DE ENERGÍAS ALTERNATIVAS

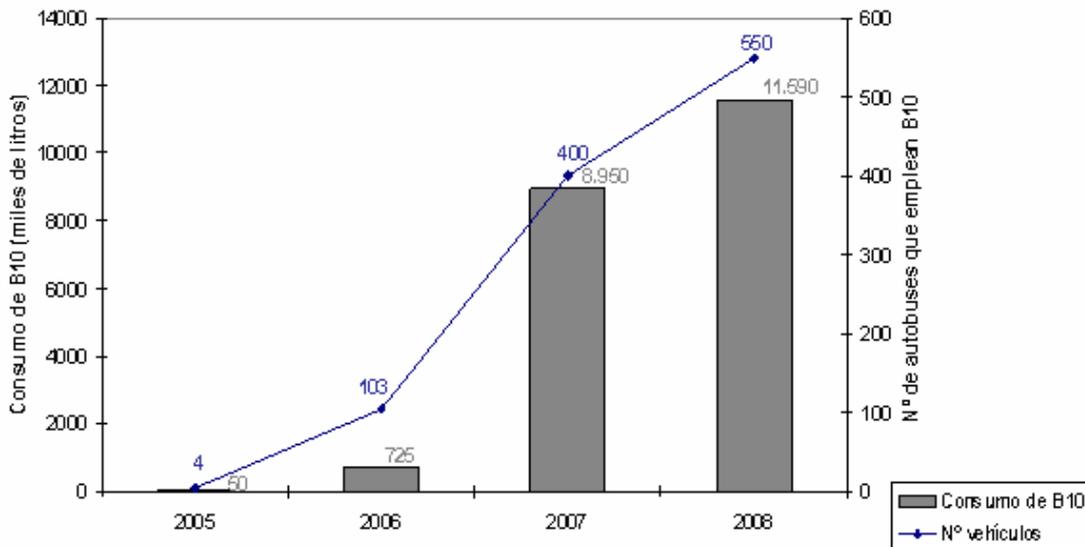
A pesar de quedar fuera del ámbito específico del Proyecto ENERTRANS, que excluye expresamente las tecnologías de propulsión no basadas en la generación primaria de carburantes convencionales y/o electricidad, se considera oportuno efectuar una breve mención a la experiencia que está teniendo ALSA en el empleo de energías alternativas en vehículos autobuses y autocares.

### 7.1. Biodiesel

Desde las primeras pruebas con Biodiesel al 10% (B10) que se realizaron en octubre de 2005 en los autobuses urbanos de Asturias, ALSA ha ido incrementando progresivamente el número de autobuses y autocares que utilizan Biodiesel, introduciendo además el Biodiesel al 30% (B30) y al 100% (B100):

- **Octubre 2005:** Primeras pruebas con B10 en la flota de ALSA del servicio de transporte urbano de la Ciudad de Oviedo (TUA).
- **Abril 2006:** Se implanta el B10 en toda la flota de TUA.
- **Octubre 2006:** Se implanta el B10 en la flota de servicios de clase superior (Eurobús, Class y Supra) de transporte interurbano.
- **Marzo 2007:** Se implanta el B10 en toda la flota del servicio de transporte regional de la provincia de León.
- **Abril 2007:** Se comienza a utilizar B10 en la flota del servicio de transporte regional de la Comunidad Autónoma de Cantabria.
- **Junio 2008:** Servicio de transporte en la Expo Zaragoza, primera experiencia con Biodiesel al 100% (B100). Se trata de un servicio de lanzaderas (7 vehículos) para el transporte de visitantes entre el parking y el recinto de la Exposición, y para trabajadores desde Villa Expo al recinto de la Exposición.
- **Agosto 2008:** Prueba piloto con Biodiesel al 30% (B30) en 4 vehículos del servicio de tránsito interno y de transporte de empleados en la T4 del Aeropuerto de Barajas.
- **Octubre 2008:** Se prevé la implantación de B10 en toda la flota del servicio de transporte regional del Principado de Asturias.

Figura 22. Evolución de la implantación de B10 en la flota de ALSA



Fuente: Elaboración propia a partir de datos reales del Grupo ALSA (División Mantenimiento)

### Experiencia con el B10

Durante estos años, la experiencia del uso de Biodiesel B10 en la flota de ALSA ha sido satisfactoria. Comparando los mismos servicios antes y después de la implantación del B10, **no se ha apreciado un incremento del consumo del B10** respecto al consumo del diesel. Es importante destacar que otras empresas del sector sí han informado de un incremento del 1% en el consumo.

### Experiencia con el B30

Los primeros resultados de consumos de la prueba con B30 en el servicio de la T4 están arrojando **un incremento del consumo del 4%** respecto al consumo del diesel. Este dato coincide con los datos que manejan otras empresas del sector.

### Experiencia con B100

El incremento en el consumo de combustible con el uso del B100, es más difícil de valorar al no disponer de datos reales de consumos de diesel en el mismo servicio. Comparando el dato del consumo del B100 en la Expo de Zaragoza con el consumo máximo de diesel del mismo modelo de vehículo en otros servicios similares, se observa un **incremento aparente del consumo del 10%**.

## 7.2. Bioetanol

En noviembre de 2008, en la explotación de Autobuses Consol, S.A. en Alcalá de Henares (Madrid), ALSA ha iniciado la operación de 2 autobuses de transporte metropolitano que emplean Bioetanol E95 como combustible.

Los primeros resultados muestran un consumo medio de E95 de 70 litros/100kms. Comparando con los consumos previos en las mismas rutas, se observa un aumento del 55% en el consumo respecto del diesel.

Conociendo los incrementos en el consumo analizados en los apartados anteriores, se puede estimar el consumo de B10, B30, B100 y E95, para un vehículo urbano y para un vehículo interurbano, partiendo de su consumo real equivalente de diesel.

Tabla 14. Estimación del consumo medio de combustible en función del tipo de biocombustible empleado (B10, B30, B100 y E95) y del vehículo

Vehículo urbano 12 m Euro IV		
Tipo de combustible		Consumo (l/100km)
Diesel		53,00
Biodiesel	B10	53,00
	B30	55,12
	B100	58,30
Bioetanol	E95	82,15

Vehículo interurbano largo recorrido 12,8 m Euro IV		
Tipo de combustible		Consumo (l/100km)
Diesel		31,00
Biodiesel	B10	31,00
	B30	32,24
	B100	34,10
Bioetanol	E95	48,05

(\*) Los datos de consumo del B10, B30, B100 y E95 son estimados a partir del incremento de consumo medio observado respecto al consumo del Diesel.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos reales del Grupo ALSA (División Mantenimiento)

---

## BIBLIOGRAFÍA

Reglamento General de Vehículos, aprobado por el REAL DECRETO 2822/1998, de 23 de Diciembre

Directiva de la CEE (70/156/CEE) relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre la homologación de vehículos a motor y de sus remolques

Reglamento número 36, de la Comisión Económica para Europa de Naciones Unidas, sobre prescripciones uniformes relativas a las características de construcción de los vehículos de transporte público de personas.

Manual para la planificación, financiación e implantación de sistemas de transporte urbano” (Consortio Regional de Transportes de Madrid, 2004.

ANDRÉ M., R. VIDON, P. TASSEL, D. OLIVIER & C. PRUVOST (1996): A method for assessing energetic and environmental impact of traffic changes in urban areas using instrumented vehicles. Proceedings of the 'World Conference on Transport Research', Vol. 2.

CARRIÉ L.& J. NOPPE (1997): User requirements for the MEET project. ADEME, Paris. [MEET] CEC - Commission of the European Communities (1996): Transport Research APAS Strategic Transport: Transport strategic modelling, VII - 22. CEC report, Brussels.

EEA (1998): EMEP/CORINAIR Atmospheric emission inventory guidebook. Draft second ed., <http://www.aeat.co.uk/netcen/airqual/TFEI/unece.htm>.

HAMMARSTRÖM, U (1996): Exhaust Emissions from Road Traffic - Description of Driving Patterns by Means of Simulation Models. In Estimation of pollutant emissions from transport, proceedings of the workshop on 27-28 Nov. 1995, European Commission, DG VII, Brussels, p. 87-97. [COST]

HAMMARSTRÖM, U. (1998): Air resistance coefficients for estimation of exhaust emissions from road traffic, a literature survey. VTI report, Linköping, Sweden, 40 p. [COST] Federal Republic of Germany for the reference year 1990 (English translation). COST secretariat, CEC DG VII, Brussels.

HICKMAN, J., D. HASSEL, R. JOUMARD, Z. SAMARAS & S. SORENSON (1999): Methodology for calculating transport emissions and energy consumption. TRL report, n°SE/491/98, Crowthorne, U.K., 350 p. [MEET].

IDAE (2005): Manual de Conducción Eficiente para conductores de vehículos industriales.

NEGRENTI, E. (1998): Consumption and emission models: results from action COST 319. ENEA report, n° RTI-ERG-SIRE-98/19, Rome, 39 p. [COST]

## LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1. Clasificación de los vehículos autobuses y autocares por criterios de construcción .....	9
Tabla 2. Clasificación de los vehículos autobuses y autocares por criterios de utilización .....	10
Tabla 3. Características de los vehículos-tipo introducidos en el Modelo general de Consumos del Proyecto ENERTRANS.....	16
Tabla 4. Fases del ciclo del vehículo .....	17
Figura 1. Equipos de medición embarcados en los vehículos .....	36
Tabla 5. Resumen de las características técnicas de flota de vehículos.....	37
Figura 2. Vehículo interurbano: Volvo B12B, Mercedes Benz Travego y Setra S319 GTHD.....	38
Figura 3. Vehículos urbanos: Mercedes Benz Citaro y Volvo B7L .....	38
Figura 4. Ejemplo de Diagrama de Actividad.....	40
Figura 5. Ejemplo de Diagrama de Actividad.....	40
Figura 6. Ejemplo de Diagrama de Actividad.....	41
Figura 7. Ejemplo de Gráfico de Señales.....	42
Figura 8. Ejemplo de Gráfico de Señales.....	42
Figura 9. Ejemplo de Informe de Consumo por viaje.....	43
Figura 10. Ejemplo de Efectividad .....	44
Figura 11. Ejemplo de Localización del vehículo .....	44
Tabla 6. Muestra de la caracterización realizada de la Cota z de la ruta Madrid-Alicante.....	46
Figura 12. Cota z de la ruta Madrid-Zaragoza-Barcelona .....	47
Figura 13. Cota z de la ruta Madrid-Alicante .....	49
Figura 14. Sectorización del trayecto Madrid-Barcelona .....	50
Figura 15. Sectorización del trayecto Madrid-Alicante .....	50
Figura 16. Consumo de combustible promedio frente a la velocidad promedio de los subviajes de vehículos urbanos e interurbanos .....	52
Figura 17. Consumo de combustible promedio frente a la velocidad promedio de una muestra de 640 subviajes de los vehículos estudiados.....	53
Tabla 7. Consumos promedio de combustible por tramos de velocidades.....	55
Figura 18. Consumo en función de la velocidad promedio de un autocar interurbano.....	56
Tabla 8. Sectorización del Trayecto Madrid-Alicante .....	57
Tabla 9. Sectorización del Trayecto Madrid-Barcelona .....	57
Tabla 10. Consumos medios por sectores del Trayecto Madrid-Alicante.....	58
Figura 19. Consumos medio de combustible frente al desnivel medio de cada sector. Trayecto Madrid - Alicante .....	58

---

Tabla 11. Consumos medios por sectores del Trayecto Madrid-Barcelona.....	59
Figura 20. Consumos medio de combustible frente al desnivel medio de cada sector. Trayecto Madrid - Barcelona .....	60
Figura 21. Consumos medio de combustible frente al desnivel .....	61
Tabla 12. Consumo de combustible en función de las fases del movimiento .....	63
Tabla 13. Consumo de combustible medio de los autobuses y autocares en función de las fases del movimiento de los vehículos .....	64
Figura 22. Evolución de la implantación de B10 en la flota de ALSA .....	66
Tabla 14. Estimación del consumo medio de combustible en función del tipo de biocombustible empleado (B10, B30, B100 y E95) y del vehículo .....	67

## Documentos del Proyecto EnerTrans

### Monografías EnerTrans

Monografía 1: “El sistema español de transporte y sus impactos sobre la sostenibilidad”: José Ignacio Pérez Arriaga, Eduardo Pilo de la Fuente, Ignacio de L. Hierro Ausín

Monografía 2: “Usos de la energía en el transporte”: Alberto García Álvarez, M<sup>a</sup> del Pilar Martín Cañizares

Monografía 3: “Modelos de consumos y emisiones: Estado del arte”: Timoteo Martínez Aguado, Aurora Ruiz Rúa, Ana Isabel Muro

Monografía 4: “Análisis de las estadísticas de consumos energéticos y emisiones de CO<sub>2</sub> en el transporte”: Alberto Cillero, Paula Bouzada Outeda

Monografía 5: “Tablas input-output relacionadas con las estadísticas de consumos y emisiones en el transporte”: Timoteo Martínez Aguado, Aurora Ruiz Rúa, Ana Isabel Muro Rodríguez

Monografía 6: “Métrica y estandarización de los consumos y emisiones en el transporte”: Alberto Cillero Hernández, Paula Bouzada Outeda, Alberto García Álvarez, M<sup>a</sup> del Pilar Martín Cañizares

Monografía 7: “Incremento de recorrido en el transporte por longitud de caminos, operación y gestión”: Alberto Cillero Hernández, Paula Bouzada Outeda, Alberto García Álvarez, M<sup>a</sup> del Pilar Martín Cañizares

Monografía 8: “Flujos del petróleo y del gas natural para el transporte”: José M<sup>a</sup> López Martínez, Javier Sánchez Alejo, Álvaro Gómez, Ángel Fernández.

Monografía 9: “Flujos de la energía de la electricidad para el transporte”: Eduardo Pilo de la Fuente, José Ignacio Pérez Arriaga, Ignacio de L. Hierro Ausín, Jesús Jiménez Octavio

Monografía 10: “Consumo de energía y emisiones asociadas a la construcción y mantenimiento de infraestructuras”:

Monografía 11: “Consumo de energía y emisiones asociadas a la construcción y mantenimiento de vehículos”: José M<sup>a</sup> López Martínez, Javier Sánchez Alejo

Monografía 12: “Consumo de energía y emisiones asociadas al transporte por coche y camión”: José María López Martínez, Javier Sánchez Alejo

Monografía 13: “Consumo de energía y emisiones asociadas al transporte por autobús y autocar”: Alberto Cillero Hernández, Gustavo Martinelli, Paula Bouzada Outeda

Monografía 14: “Consumo de energía y emisiones asociadas al transporte por avión”: Grupo de investigación en consumo energético del transporte aéreo de la Universidad Autónoma de Madrid

Monografía 15: “Consumo de energía y emisiones asociadas al transporte por barco”: Grupo de investigación del transporte marítimo de la Fundación Universidad de Oviedo

Monografía 16: “Consumo de energía y emisiones asociadas al transporte por ferrocarril”: Alberto García Álvarez, M<sup>a</sup> del Pilar Martín Cañizares

Monografía 17: “Consumo de energía y emisiones asociadas al transporte por tubería”: Manuel Cegarra Plané

Monografía 18: “ENERTRANS: Modelo de cálculo y predicción de los consumos energéticos y emisión del sistema de transporte que permita valorar la sensibilidad de los consumos a las decisiones de inversión en infraestructura y de política de transporte”: Grupo de investigación del proyecto Enertrans

### Notas técnicas EnerTrans

Nota técnica 1: “Introducción al transporte por tubería”: Manuel Cegarra Plané

Nota técnica 2: “Informe sobre el tráfico internacional y el consumo de carburante en el sector aeronáutico”: Grupo de investigación en consumo energético del transporte aéreo de la Universidad Autónoma de Madrid

Nota técnica 3: “Informe sobre el suministro de combustible en los aeropuertos en España”: Grupo de investigación en consumo energético del transporte aéreo de la Universidad Autónoma de Madrid

Nota técnica 4: “Estudio sobre las variables que influyen en el incremento de recorridos o incidencia del cociente entre trayectoria y desplazamiento en el transporte aéreo”: Grupo de investigación en consumo energético del transporte aéreo de la Universidad Autónoma de Madrid

Nota técnica 5: “Estudio sobre las variables que influyen en el incremento de recorridos o incidencia del cociente entre trayectoria y desplazamiento en el transporte ferroviario”: Alberto García Álvarez, Eduardo Fernández González

Nota técnica 6: “Estudio sobre las variables que influyen en el incremento de recorridos o incidencia del cociente entre trayectoria y desplazamiento en el transporte por tubería”: Manuel Cegarra Plané

Nota técnica 7: “Informe sobre el tráfico español y el consumo de carburante en el sector marítimo”: Grupo de investigación del transporte marítimo de la Fundación Universidad de Oviedo

Nota técnica 8: “Análisis de documentación referida al transporte marítimo”: Grupo de investigación del transporte marítimo de la Fundación Universidad de Oviedo

Nota técnica 9: “Aspectos generales del transporte marítimo”: Grupo de investigación del transporte marítimo de la Fundación Universidad de Oviedo

Nota técnica 10: “Características de la navegación marítima”: Grupo de investigación del transporte marítimo de la Fundación Universidad de Oviedo

Nota técnica 11: “Consumo de los servicios auxiliares en el automóvil”: José M<sup>a</sup> López Martínez, Juan José Herrero

Nota técnica 12: “Notas sobre los valores del coeficiente de resistencia a la rodadura”: José M<sup>a</sup> López Martínez, Juan José Herrero

Nota técnica 13: “Tipos de aeronaves según su compañía constructora”: Grupo de investigación en consumo energético del transporte aéreo de la Universidad Autónoma de Madrid

