

Proyecto VANELECTRA: Transporte de mercancías ligeras por líneas ferroviarias de altas prestaciones

VANELECTRA Project: Intermodal transportation system for light freights and road vehicles across high velocity railway lines

Pablo Gadea Garzón

ICCP. TRIA Railway R&D

Resumen

El Proyecto VANELECTRA pretende desarrollar un sistema de transporte intermodal, diseñado para facilitar el traslado de mercancías y vehículos ligeros de carretera a través de líneas ferroviarias de altas prestaciones. La combinación entre la versatilidad del vehículo eléctrico de carretera con la eficiencia energética del ferrocarril en el traslado de grandes cargas a largas distancias consigue un conjunto eficaz en los ámbitos técnico, ecológico y social.

Palabras clave: Vehículo eléctrico, consumo energético, mercancías ligeras, alta velocidad.

Abstract

VANELECTRA Project aims to develop an intermodal transportation system, designed to facilitate the movement of goods and light road vehicles through high-performance railway lines. The combination of versatility road electric vehicle, and railway efficiency to move large loads over long distances with a powerful set in the technical, ecological and social.

keywords: Electric vehicle, power consumption, light freights, high velocity lines.

1. Introducción

TRIA Railway R&D persigue el objetivo de consolidarse como una empresa puntera en innovación ferroviaria a nivel nacional e internacional, trabajando para ello en diversos proyectos de investigación, desarrollo e innovación en el ámbito del transporte terrestre.

Entre los proyectos actualmente en desarrollo, el **Proyecto VANELECTRA** permitirá minimizar el impacto producido por el conjunto de medios de transporte sobre el medio ambiente, mejorando la seguridad rodada debido a la disminución del tráfico, aumentando la eficiencia energética global del sistema, y potenciando el desarrollo de vehículos eléctricos que puedan ser cargados en un tren especialmente diseñado para ello.

2. Antecedentes

2.1. Antecedentes ferroviarios tradicionales

El **Proyecto VANELECTRA** aúna la experiencia conseguida durante años en diversos ámbitos del sistema ferroviario: tren completo, vagón disperso, transporte de paquetería y mercancías ligeras, intermodalidad; y la combina con las necesidades del siglo XXI: eficiencia energética, velocidad, disminución del uso de combustibles fósiles y optimización de recursos.

Se denomina “Tren completo” al tren de mercancías con un único origen y destino, que sirve generalmente a sectores aislados muy dependientes del ferrocarril para sus traslados: automóviles, siderurgia, graneles sólidos de bajo valor añadido, y productos químicos altamente peligrosos. La elección del ferrocarril como modo de transporte viene determinada por el elevado volumen de tráfico de dichos transportes, utilizando trenes que completan la carga remolcada admisible en la mayoría de los casos, y con una frecuencia de circulación fija. La ausencia de maniobras entre origen y destino (salvo las estrictamente necesarias por motivos técnicos), permite una regularidad en la circulación y unos costes económicos asumibles que justifican el uso del ferrocarril para dichos servicios.



Figura 1: Furgones para el transporte de paquetería en trenes rápidos de viajeros, algunos de ellos preparados para circular a 160 km/h, esperando su desgüace en la estación de Soria-Cañuelo. Año 2003.

El “Vagón Disperso” era una actividad ferroviaria que consistía en el traslado de mercancías de pequeño volumen de tráfico. Requería numerosas instalaciones fijas, que estaban situadas en todas las dependencias ferroviarias que llegaban a la categoría de estación: vías de apartado, almacén de mercancías y muelles cubierto y descubierto. La deserción de las compañías para este tipo de tráfico ha provocado el abandono de dichas instalaciones, así como la de ramales industriales y derivaciones particulares a empresas y factorías. También se ha desmantelado gran parte del parque móvil de vagones que poseían la antigua Renfe y algunos propietarios privados, que ya no pueden encaminar sus mercancías en tráficos de volumen inferior al tren completo.

Las principales causas para el fin del servicio del vagón disperso fueron sus altos costes fijos y de explotación, y su falta de competitividad con la carretera: los trenes efectuaban multitud de maniobras durante su recorrido, aumentando el tiempo de viaje hasta el punto de impedir la competitividad del servicio y la rentabilidad económica.

El tráfico de Paquetería, o de Detalle, engloba todas las cargas inferiores a los 3.500 kg. que no puedan completar un vagón. Tras la desaparición del TIDE (tráfico de detalle ordinario), el último intento por parte de Renfe para su potenciación fue conocido como Paquexpres (tráfico de detalle acelerado), a principios de la década de los 90. La mayor parte de las administraciones europeas han renunciado a ofertar este servicio, aunque existen excepciones, como Suiza, y experiencias, como la de SNCF con el TGV Postal, que puede ser considerada como la más destacada en materia de transporte de mercancías en líneas de alta velocidad. El TGV Postal alcanza una velocidad máxima de 270 Km/h, con una longitud de 200 metros y un peso de 345 toneladas (1 coche motor + 8 remolques + 1 coche motor, aprox. 17,5 ton/eje).

Por último, la industria automovilística ha sido tradicionalmente una de las mayores usuarias del transporte de mercancías por ferrocarril, teniendo siempre en cuenta para la localización de sus factorías la proximidad de una línea férrea. El transporte de vehículos también se realizó durante muchos años a nivel particular con el servicio denominado “Autoexpreso”, que Renfe ofertaba en una gran parte de sus servicios nocturnos radiales y en la práctica totalidad de los transversales, y que permitía a los viajeros transportar su coche en el mismo tren en que realizan su viaje a precios muy competitivos.

2.2. Antecedentes intermodales de transporte de vehículos completos

El transporte ferroviario intermodal puede clasificarse en transporte de contenedores, cajas móviles y semirremolques; y en transporte de vehículos completos (carretera rodante). Dentro de este último apartado, destacan experiencias como *Le Shuttle*, que permite el traslado de vehículos de carretera entre Francia y Reino Unido a través del Eurotunnel.

El *Modalohr* consiste en un vagón doble de plataforma muy rebajada, apoyado sobre bogies, donde la propia cabeza tractora del camión carga su semiremolque en el tren evitando la utilización de elementos auxiliares. Las terminales de carga y descarga cuentan con motores a pie de vía que hacen girar a las plataformas para permitir la descarga del conjunto de camiones de forma simultánea y perpendicular al eje del tren.

El sistema *RoLa* se basa en un vagón plataforma rebajado en toda su longitud que forma una carretera por la que avanzan los vehículos carreteros durante su carga o descarga. Permite el transporte de camiones completos sin tener que realizar ningún tipo de modificación en los mismos.

3. Descripción del sistema

El **Proyecto VANELECTRA** consta de dos elementos básicos totalmente independientes: por una parte, los vehículos eléctricos de transporte por carretera que recojan la mercancía en el punto solicitado por el cliente, y por otra, el convoy ferroviario que los transporta entre las terminales locales de carga y descarga.

El tren está preparado para suministrar, a partir del sistema de electrificación de la línea férrea, energía eléctrica a todas las furgonetas que haya cargado, aprovechando el tiempo de desplazamiento entre ciudades para recuperar el nivel de las baterías, y poder comenzar la distribución final de la mercancía de forma inmediata tras la llegada del tren a destino.

3.1. Vehículos eléctricos

Aunque sus prestaciones todavía quedan lejos de las ofrecidas por los vehículos impulsados por combustibles fósiles, los vehículos eléctricos se están convirtiendo en una alternativa viable para circuitos urbanos o periurbanos a nivel doméstico o comercial.

Frente a un diseño de vehículo propio, el **Proyecto VANELECTRA** ha considerado la opción de utilizar soluciones existentes, principalmente debido a la intención de facilitar el mantenimiento y la obtención de repuestos. La autonomía que ofrecen los actuales vehículos comerciales (alrededor de 150 km.) se considera suficiente para el acarreo de mercancías desde las terminales, y su gálibo cumple con los requisitos del transporte por ferrocarril.

Las características definitorias de los vehículos eléctricos son las siguiente:

- Autonomía y tiempo necesario para la recarga
- Dimensiones y peso optimizados para el tren
- Maniobrabilidad
- Costes y amortización

3.2. Tren

Los trenes del **Proyecto VANELECTRA** estarán formados por locomotoras eléctricas capaces de remolcar la composición y alimentar tanto los servicios auxiliares como las baterías de los vehículos. Dispondrán de un coche de viajeros que permita viajar con comodidad a los conductores de los vehículos eléctricos, y de la composición en la que se trasladarán las furgonetas.

La locomotora y el coche de viajeros no requieren ningún tipo de tratamiento especial, pudiendo utilizarse material actualmente excedente del parque de Renfe, como las locomotoras de la serie 252 y los coches de viajeros de la serie 2.000.

Locomotora serie 252



Figura 2: La 252-066 remolca la composición de Talgo IV “Finisterre” (Barcelona-Sants – A Coruña/Vigo en días alternos) y “Covagonda” (Barcelona-Sants – Gijón), fotografiada en Miranda de Ebro (Burgos).

Originalmente, las locomotoras de la serie 252 se montaron sobre bogies de ancho UIC (unidades 1 a 15) y bogies de ancho Ibérico (unidades 16 a 75), siendo las primeras bitensión (25 kV AC / 3kV CC) y las segundas monotensión (3 kV CC). La evolución de la red de alta velocidad exigió progresivamente la adaptación de un número mayor de locomotoras a las características AV, hasta que el auge de las composiciones de automotores indeformables hizo disminuir su uso diario.

La última adaptación realizada se ha llevado a cabo para dar servicio a la nueva línea Figueres-Perpignan, preparándose cuatro locomotoras para funcionar bajo la tensión de electrificación de la red francesa (1,5 kV CC).

Los trenes propuestos en este estudio poseen características similares (hasta 400 m. y de alrededor de 400 t.), a los que las locomotoras 252 han remolcado desde 1992 en las líneas de Alta Velocidad.

Principales características de las locomotoras de la serie 252:

o Tipo: Locomotora de línea	o Ancho de vía (mm): 1435 / 1668
o Fabricantes: Siemens, CAF, GEC-Alstom y Krauss-Maffei	o Electrificación: 25 kV 50 Hz AC / 3 kV CC / 1,5 kV CC
o Año de fabricación: 1991-1996	o Velocidad comercial máxima (km/h): 220
o Número de unidades: 75	o Potencia (kW): 5600
o Ejes según UIC: Bo'Bo'	o Motores: 4 trifásico-asíncronos TB 2824-OGA02 de 1.438 kW
o Longitud / Anchura / Altura (m): 20,38 / 3 / 4,31	o Sistemas de seguridad: ASFA, LZB, ERTMS
o Peso (t): 90 (bicorriente) / 86 (monocorriente)	o Mando múltiple: 2 unidades
o Peso por eje (t): 22,5 (bicorriente) / 21,5 (monoc.)	

Coche de viajeros serie 2000



Figura 3: Un coche de clase Turista de la serie 2.000, en cola del Arco Irún/Bilbao-Abando – A Coruña/Vigo, en las cercanías de Quintanilleja (Burgos).

Los coches de la serie 2.000 provienen de una profunda transformación realizada a los coches B11x-10200 (antigua serie 10.000 de segunda clase), en el TCR de Málaga-Los Prados, para prestar servicios de gama media en el Corredor Mediterráneo. Actualmente circulan también en las relaciones País Vasco-Galicia, y en el refuerzo de servicios en puntas de tráfico.

Principales características de los coches de viajeros de la serie 2.000:

<ul style="list-style-type: none"> o Tipo de tren: Coche de pasajeros o Fabricante original: MACOSA, CAF y Babcock Wilcox o Reforma: Renfe-Integria (Los Prados, 1999) o Unidades fabricadas: 41 coches o Ejes según UIC: 2 bogies CAF-GC3 por coche o Longitud / Anchura / Altura (m): 26,4 / 2,867 / 4,05 o Peso (t): 43 a 44,2 	<ul style="list-style-type: none"> o Ancho de vía: equipado con bogies de 1.668 mm. o Velocidad comercial máxima (km/h): 200 o Número de plazas: <ul style="list-style-type: none"> A9t-2000: 56 plazas en clase Preferente B10t-2200: 80 plazas en clase Turista Br3t-2800: 24 plazas en clase Turista + 1 plaza o PMR (la mitad del coche está destinado a cafetería) o Características del convertidor para servicios auxiliares: 3 kV / 40 kW
---	--

Vagón gusano

Los vagones de carga de furgonetas forman dos composiciones indeformables de 200 y 150 m. de longitud, cuyo interior será diáfano y continuo para posibilitar la circulación de furgonetas desde un extremo hasta el otro. La composición base de locomotora, coche de viajeros y vagones gusano supone una longitud máxima de 400 m., acorde con la explotación típica de una línea de Alta Velocidad. En el caso de circulación nocturna la longitud máxima del tren puede ser mayor.

La longitud de cada vagón viene dada por la distancia entre ejes necesaria para transportar la carga. Dicha distancia es función del peso máximo por eje admitido por la red, y del gálibo estático.

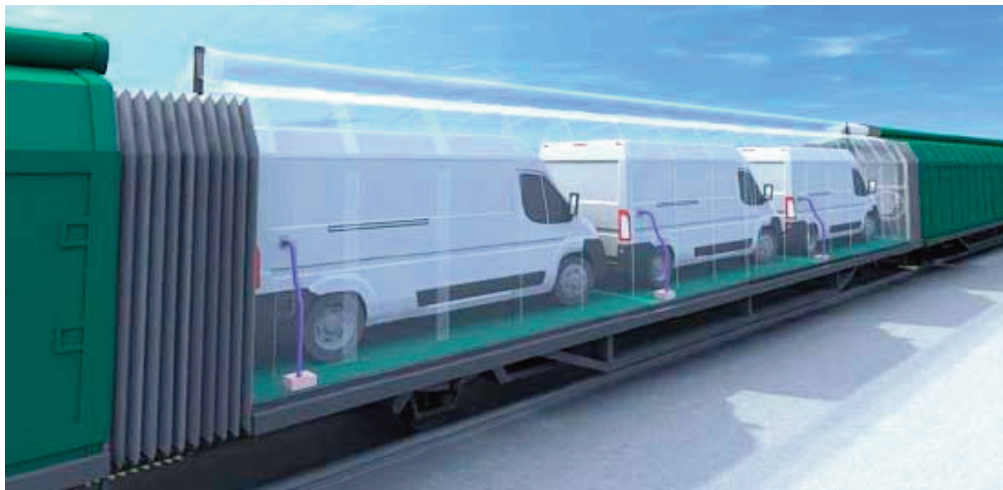


Figura 4: Vagón gusano cargado con tres furgonetas posicionadas para recargar sus baterías durante el viaje.

El aprovechamiento de las capacidades máximas de transporte del tren depende de la distribución del volumen de carga dentro de la furgoneta, cuyo mayor tamaño actualmente comercializado oscila entre 7.345 x 3.055 x 2.426 (largo, ancho, alto; mm.), y 7.142 x 3.250 x 2.654.

El espacio destinado a la carga en cada una de ellas es de unos 18 m². La optimización de la carga transportada por el tren se conseguiría rediseñando dichos habitáculos, con el objetivo de reducir con ello la longitud de la furgoneta, manteniendo siempre unos parámetros de uso cómodos para el cliente.

Los gálibos que deben cumplir los vagones gusano son los indicados en la Declaración de Red de ADIF. Para las redes de ancho Ibérico y ancho UIC son los siguientes:

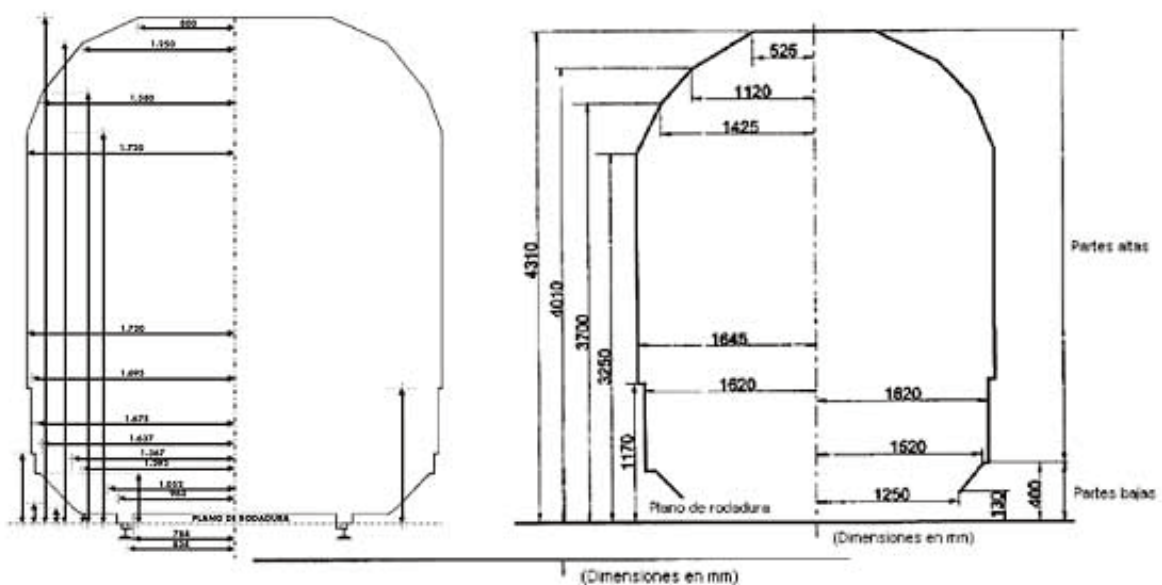


Figura 5: Gálibos simplificados para ancho Ibérico y ancho UIC.

A partir de los datos: peso y longitud de furgoneta, tara y longitud del vagón y peso propio del eje/bogie, puede calcularse la resultante del peso por eje de un vagón de la longitud dada. En segundo lugar, considerando como dato el peso máximo por eje, buscamos la longitud máxima que pueden tener los vagones.

Tipo de vagón		Articulado de bogies	Articulado de ejes	Articulado de bogies	Articulado de ejes	Articulado de bogies	Articulado de ejes
Tipo de furgoneta		Estándar de 5,90 m.		Optimizada de 4,50 m.		Comercial de 7,30 m.	
Peso furgoneta	(kg)	3500	3500	3500	3500	3500	3500
Longitud furgoneta	(m)	5,90	5,90	4,50	4,50	7,30	7,30
Carga por metro	(kg/m)	593,22	593,22	777,78	777,78	479,45	479,45
Tara vagón sin bogies	(kg)	10000	10000	10000	10000	10000	10000
Longitud por vagón	(m)	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
Tara vagón sin bogies / metro	(kg/m)	400	400	400	400	400	400
Peso propio eje/bogie	(kg)	2500	1800	2500	1800	2500	1800
Nº ejes/bogie	(ud)	2	1	2	1	2	1
Peso propio eje/bogie	(kg)	5000	1800	5000	1800	5000	1800
Resultante peso por eje vagón de longitud dada	(kg/eje)	14915,25	26630,51	17222,22	31244,44	13493,15	23786,30
Peso máximo por eje	(kg/eje)	22500	22500	22500	22500	22500	22500
Longitud tomando Resultante = Peso máximo admitido	(m)	35,24	20,84	29,72	17,58	39,80	23,54

Se puede apreciar como, con furgonetas estándar y utilizando sistemas articulados de bogies, un vagón tipo de 25 m. no llega a 15 t/eje de carga máxima. Utilizando la capacidad máxima de las líneas (22,5 t/eje), los vagones podrían llegar a una longitud teórica mayor de 35 m. Optimizando la longitud de la furgoneta a 4,5 m. nos acercamos a un valor aceptable de carga de 17,2 toneladas.

Teniendo en cuenta las restricciones de gálibo debidas a los radios mínimos en terminales y al aumento de equipos en los vagones, la solución de rodadura adoptada se basa en:

- Ejes compartidos entre cajas
- Distancia entre ejes de 12 m.
- Cajas limitadas por el gálibo estático

Los vagones se equipan con una rampa que facilita la carga de los vehículos, siendo su altura compatible con los andenes.

4. Explotación

No existen restricciones especiales para la circulación de un tren dedicado al transporte de mercancías y vehículos ligeros por líneas de altas prestaciones. Puede ser grafiado en horario nocturno o diurno, con una velocidad máxima de 200km/h y con longitudes mínimas de 400 metros.

- Horarios nocturnos: Transporte Urgente de Paquetería

La explotación de los trenes se realizará durante la noche, compatibilizándola con las bandas de mantenimiento de las líneas.

- Horarios diurnos: Transporte de Paquetería y mercancías de reparto logístico

Los horarios diurnos pueden ser aprovechados para transporte de mercancías a zonas logísticas no urgentes. Esta posibilidad requiere amoldarse a los horarios de los servicios de transporte de viajeros.

Actualmente existe una demanda real y actual para el servicio de nuestro proyecto, servida con furgonetas de motores de combustión. Numerosas empresas de transporte de paquetería organizan su logística a través de decenas de vehículos que parten al finalizar la tarde desde diversos puntos de España, en dirección a instalaciones logísticas situadas en las cercanías de Madrid. Tras la reclasificación de la mercancía, cada una de ellas vuelve a su lugar de origen cargada con los nuevos artículos.

El **Proyecto VANELECTRA** pretende comenzar con la relación nocturna Madrid-Barcelona y estudiar todos los casos donde el número de furgonetas justifique el uso del convoy ferroviario, y las infraestructuras permitan tiempos de viaje competitivos con la carretera.

4.1. Simulación de consumos

A continuación se muestran dos simulaciones realizadas para composiciones formadas por locomotora 252, coche de viajeros 2.000 y uno o dos gusanos.

Composición del tren:	Locomotora 252	90 toneladas
	Coche 2000	44 toneladas
	2 Gusanos	2x213 toneladas
	Peso bruto total:	560 toneladas

Simulación realizada para un tren de 590 toneladas brutas

Km	P. control	Llegada	Salida	Vreal (km/h)	Consumo (kWh)	Consumo auxiliares (kWh)	E.disipada f.neum. (kWh)	E.disipada f.reos. (kWh)	E.disipada f.reg. (kWh)	E.aprob auxiliares (kWh)
8,60	B.M. Madrid Sur		00:00:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
620,99	Barcelona Sants	03:20:42		0,0	12.036,8	668,1	0,0	0,0	370,4	161,0

Composición del tren:	Locomotora 252	90 toneladas
	Coche 2000	44 toneladas
	1 Gusano	1x213 toneladas
	Peso bruto total:	347 toneladas

Simulación realizada para un tren de 390 toneladas brutas

Km	P. control	Llegada	Salida	Vreal (km/h)	Consumo (kWh)	Consumo auxiliares (kWh)	E.disipada f.neum. (kWh)	E.disipada f.reos. (kWh)	E.disipada f.reg. (kWh)	E.aprob auxiliares (kWh)
8,60	B.M. Madrid Sur		00:00:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
620,99	Barcelona Sants	03:16:46		0,0	8.601,2	654,8	0,0	0,0	380,0	170,0

4.2. Ubicaciones idóneas para las terminales

Los trenes del **Proyecto VANELECTRA** requieren adaptar las terminales donde vayan a realizarse las tareas de carga y descarga, preparando los accesos rodados adecuados hasta las vías de estacionamiento del tren, y facilitando su encaminamiento hacia la LAV Madrid-Barcelona.

- Terminal en Barcelona: BARCELONA - MOROT

Barcelona-Morot es la dependencia de ADIF que da servicio a las instalaciones del puerto de Barcelona. El acceso desde la LAV Madrid-Barcelona se realiza por la actual Bifurcación Can Tunis. El acceso rodado se consigue gracias a la B-10 (ronda Litoral).

- Terminal en Madrid: B.A. MADRID - SUR

Madrid-Sur es una base de mantenimiento situada en el P.K. 8,60 de la línea de Alta Velocidad Madrid-Barcelona. Para el acceso rodado, las ventajas principales de la ubicación propuesta son, en primer lugar, la cercanía a las autovías de circunvalación de Madrid M-40 y M-45, así como a las autovías de Andalucía (A-4), y M-31. En segundo lugar, la proximidad de la plataforma logística Mercamadrid.



Figura 6: Carga de un tren VANELECTRA en una terminal adaptada a tal efecto.

5. Beneficios del Proyecto VANELECTRA

5.1. Beneficios en la explotación ferroviaria

Los servicios **VANELECTRA** pueden funcionar también como exploradores la LAV Madrid-Barcelona, ahorrando circulaciones técnicas.

5.2. Beneficios globales en el sistema de transporte

Sustitución del uso de combustibles fósiles por energía eléctrica en el traslado de mercancías, disminuyendo la emisión de gases contaminantes a la atmósfera.

Recarga de las baterías a la red durante la noche, utilizando un periodo valle en la demanda eléctrica, a un coste eléctrico menor que en las franjas diurnas.

Este hecho estabiliza el sistema eléctrico español y contribuye a posibilitar el uso de EERR en horarios nocturnos, aumentando aún mas la eficiencia global de todo el sistema.

El precio de la recarga es inferior al uso de combustibles fósiles.

Reducción del tráfico en las carreteras y del número de accidentes.

Referencias

- [1] ADIF (2013) Declaración de red.
- [2] De Ron Riñon, Verónica (2004). Oportunidades para el Transporte de Paquetería Urgente por las Líneas Ferroviarias de Alta Velocidad.
- [3] Enguix i Peiró, J.C. (2011). Experiencias internacionales no aplicadas en España en el transporte de mercancías por ferrocarril.
- [4] García Álvarez, A. (2007). Dinámica de los trenes en alta velocidad. *Explotación técnica y económica de ferrocarriles*.
- [5] García Álvarez, A. et Martín Cañizares, M^aP. (2007). Estandarización de los consumos energéticos y emisiones de los trenes de viajeros. *Investigación FFE. Fundación de Ferrocarriles Españoles*
- [6] García Álvarez, A. et Martín Cañizares M^aP. (2008). Consumo y emisiones asociadas al transporte por ferrocarril. *Monográfico 16 Enertrans*
- [7] García Álvarez, A. (2009) Energía y trazado ferroviario. *Investigación FFE. Fundación de Ferrocarriles Españoles*.
- [8] López Pita, A. (2008). Explotación de líneas de ferrocarril. *Universidad Politécnica de Barcelona UPC*.