junio 2012
número 4

Vía Libre
INVESTIGACIÓN técnica

# El efecto de los trenes y servicios de ancho variable en la accesibilidad de la red ferroviaria de alta velocidad

- Mejora del comportamiento dinámico de puentes de ferrocarril mediante reacondicionamiento con amortiguadores fluido-viscosos
- Sistema de acceso a trenes en líneas interurbanas con andenes a diferentes alturas
- Nuevo sistema de señalización ferroviaria
- Sistema de seguridad ferroviario para personas invidentes y con movilidad reducida
- Diseño e implementación de una red de comunicaciones ferroviarias de alta velocidad

Fundación de los Ferrocarriles Españoles
www.ffe.es

**número 4**
**junio de 2012**

Edita:

FUNDACIÓN DE LOS FERROCARRILES ESPAÑOLES

**Consejo asesor:**

José Luis López Gómez
Premio TALGO

Sergio Lopez Lara
Premio TRIA Railway R&D

Andrés López Pita
Aula y Premio COMSA

Eduard Rodés
Director Escola Europea de Short Sea Shipping

Eduardo Romo Urroz
Fundación Caminos de Hierro

Emilio Larrode Pellicer
Universidad de Zaragoza

Ignasi Perat Benavides
Master en Sistemas Ferroviarios y Tracción Eléctrica (UPC)

Julio Fuentes Losa
Curso de Experto Universitario de Ingeniería Ferroviria (UNED) y Congreso de Innovación Ferroviaria.

José Francisco Baños Pino
Master en Transporte y Gestión Logística (Universidad de Oviedo)

José Cañizares Moyano
Asociación Europea de Ferroviarios

Ricard Riol Jurado
Asociación para la Promoción del Transporte Público

**Consejo de redacción:**

Pilar Lozano Carbayo (Directora Editorial, FFE)
Alberto García Álvarez (Renfe Operadora)
Juan Manuel Jiménez Aguilar (FFE)
Miguel Jiménez Vega (FFE)
Antonio Berrios Villalba (ADIF)
Rodolfo Ramos Melero (CEU)
J. Mariano Rodríguez Martínez (Secretario, FFE)

## Vía Libre Técnica - investigación ferroviaria

La revista ***Vía Libre Técnica - investigación ferroviaria*** es una publicación científica digital con versión impresa que pretende acoger los artículos que dan a conocer resultados de investigaciones, estudios o desarrollos relevantes en el ámbito del transporte en general y del ferrocarril en particular.

Pretende esta revista tener una utilidad práctica para el sector, cubriendo -al menos parcialmente- el vacío detectado entre las revistas divulgativas y las revistas académicas internacionales indexadas, éstas últimas al alcance de pocas personas y no orientadas (por su propia naturaleza) hacia el sector industrial. Con ello se espera poner a disposición de los actores y ejecutivos del sector la información relevante derivada de los estudios e investigaciones realizadas. También pretende servir de apoyo a los investigadores españoles, en especial a los jóvenes y a los que desarrollan su actividad en empresas, ofreciéndoles la posibilidad de dar a conocer sus trabajos. Los proyectos de investigación nacionales e internacionales disponen también, con la revista, de una plataforma de diseminación para facilitar la transferencia de resultados a la industria.

Los números regulares de la revista se publican con una periodicidad semestral, y también se publican (con numeración correlativa con los anteriores) números monográficos, con la producción de la convocatoria de un premio, un congreso, unas jornadas, o un proyecto de investigación.

La revisión de los artículos de los números ordinarios corresponde al Consejo Asesor de la revista, mientras que las de los números extraordinarios se entiende asumida por el jurado en el caso de los premios, por el comité científico del congreso o por el grupo de investigadores en el caso de proyectos. En cualquier caso en el número correspondiente se publican los nombres de los responsables. Las opiniones expresadas en los artículos corresponden exclusivamente a sus autores, a los que pertenece la propiedad intelectual del trabajo.

Existen unas normas de admisión y de formato de los trabajos, accesibles en la página web:
http://www.tecnica-vialibre.es/vltecnica/normaspub.asp

La revista en formato digital puede ser descargada gratuitamente en:
http://www.tecnica-vialibre.es/vltecnica/

**Edita:**
Fundación de los Ferrocarriles Españoles
Secretaria de redacción: Leticia García
ISSN: 2174-0194

Fundación de los Ferrocarriles Españoles
www.ffe.es

vía libre TÉCNICA
INVESTIGACIÓN FERROVIARIA
www.tecnica-vialibre.es

# SUMARIO

**El efecto de los trenes y servicios de ancho variable en la accesibilidad de la red ferroviaria de alta velocidad** ..... 7

*Iván Palacio Vijande, Alberto García Álvarez - Fundación de los Ferrocarriles Españoles*

**Mejora del comportamiento dinámico de puentes de ferrocarril mediante reacondicionamiento con amortiguadores fluido-viscosos** ..... 17

*M. D. Martínez Rodrígo - Universitat Jaume I, J. Lavado - Universidad de Granada, P. Museros - Universidad Politécnica de Valencia*

**Sistema de acceso a trenes en líneas interurbanas con andenes a diferentes alturas** ..... 29

*Alberto Barreiro Martínez*

**Nuevo sistema de señalización ferroviaria** ..... 37

*Alicia Larena, Andrés Manglano - Universidad Politécnica de Madrid*

**Sistema de seguridad ferroviario para personas invidentes y con movilidad reducida** .... 43

*Alicia Larena, Andrés Manglano - Universidad Politécnica de Madrid*

**Diseño e implementación de una red de comunicaciones ferroviaria de alta velocidad** ... 49

*Victor Andrés Martín Moreno - INECO*

## SUMMARY

**The effect of trains and services of variable gauge at the accessibility of high-speed network** ..... 7

*Iván Palacio Vijande, Alberto García Álvarez*

Abstract: The evolution of systems of automatic gauge, has allowed to extend the benefits of high-speed network in Spain to a much higher number of inhabitants served by stations to the standard gauge lines, eliminating the problem of coexistence two networks with different track gauges. Thus, while high-speed lines have 2571.1 km, the trains with automatic gauge allow extending the services over 3556.7 km of the conventional network, representing, in aggregate, 49.5% of the network managed by ADIF, extending the services of variable gauge to 26,493,413 inhabitants (2010), ie 56.02% of the Spanish population. Insert your abstract text. The size of the paper must be less than 15 lines.

keywords: Variable gauge, high speed gauge automatic transsmision, network accesibility.

**Improving the dynamic behavior of railway bridges using viscous fluids dampers** ..... 17

*M. D. Martínez Rodrígo, J. Lavado, P. Museros*

Abstract: This research work is devoted to the problem of excessive vertical vibrations that short to medium-span railway bridges may experiment due to resonance phenomena. A new alternative based on externally increasing the overall damping of the structure by retrofitting the deck with fluid-viscous dampers is proposed in order to reduce detrimental levels of transverse acceleration to admissible ones. This solution could substitute a classical strengthening process or even the complete demolition and replacement of the deck in existing structures under new traffic requirements such as an increase in the speed of the line. A particular configuration of the retrofitting system is proposed which allows the transformation of the vertical oscillations that the deck experiments under the circulation of the railway vehicles into elongation rates of the devices, leading to energy dissipation and the subsequent reduction of the super-structure resonant response. The proposed system could be installed in the original structure and maintained without interfering with everyday traffic.

keywords: Railway bridges, resonance phenomena, fluidviscous dampers, passive control of structures, simplysupported bridges, vibrations in railway bridges.

**Accesing trains in interurban lines with platformas at different heights** ..... 29

*Alberto Barreiro Martínez*

Abstract: This article reviews the current state of the Spanish railways in terms of interurban accessibility and cognitive abilities. Identifies key user requirements and proposes a design of door opening mechanism for rolling stock, looking for the universalisation of the accessibility conditions and improvement of railway exploitation process. The design of the proposed door opening provides remarkable improvements in accessibility to all users of interurban rail, resulting in a significant reduction in boarding times for disabled people, regardless of their limitations.
The proposed solution solves most of the problems of accessibility in high-speed interurban rail, within the restrictions resulting from the operation of these trains in terms of functionality, comfort, cost and maintenance.

keywords: Movility, accesibility, functionality, interoperability.

**New railway signalling system** ..... 37

*Alicia Larena, Andrés Manglano*

Abstract: The use of smart materials to improve safety and control of rail transport systems can be an important innovation due to the fast and reliable response which is needed to avoid failure.
This paper proposes an installation by smart material devices which transmit coded information on the status of environment variables to ensure the safety of passing trains.

keywords: Railway signalling, safety and control.

**Railway safety systems for blind and mobility impairment people** ..... 43

*Alicia Larena, Andrés Manglano*

Abstract: The technology applications for safety of people in railway environments are specially important for those with mobility impairments. Thus, really simple operations as the approaching of passengers to the plattform or the entrance and exit of the trains can be a serious inconvenience for these people.
This article presents a safety device installed in the sticks for the blind people or in wheelchairs of those with reduced mobility which transmit timely information to ensure the safety of their movements.

keywords: Disabled people, railway safety, control.

**Design and implementation of a telecommunications network high-speed rail** ..... 49

*Victor Andrés Martín Moreno*

Abstract: The article presents the engineering and construction process for the deployment of a railway communications network in high-speed lines in Spain. The identification of needs and an optimal network engineering design are the basis for the first phase of the project. The development of an architecture of networking, which is service-oriented, and a strong knowledge in management, planning and coordination, are the basis of the phase of work and commissioning. The article is complemented by the description of the typical telecommunications infrastructure in this kind of lines, divided into a physical level, a level of network and a service level.

keywords: Needs, design, client, engineering, project, physical level, network level, service level,ring, optical fiber, topology, ADN (Access Data Network), EDN (Exploitation Data Network), SDH (Synchronous Digital Hierarchy), MPLS (Multi-protocol Label Switching), IP (Internet Protocol), OSI (Open System Interconnection), ethernet, transport, access, network, bandwith, QoS (Quality of Service), coordination, planning, task, milestone.

FUNDACIÓN DE LOS FERROCARRILES ESPAÑOLES
www.ffe.es

vía libre TÉCNICA
INVESTIGACIÓN FERROVIARIA
www.tecnica-vialibre.es

# El efecto de los trenes y servicios de ancho variable en la accesibilidad de la red de alta velocidad

## *The effect of trains and services of variable gauge at the accessibility of high-speed network*

Iván Palacio Vijande, Alberto García Álvarez

Fundación de los Ferrocarriles Españoles

**Resumen**

La evolución de los sistemas de cambio automático de ancho de vía, ha permitido extender los beneficios de la red de alta velocidad en España a un número muy superior de habitantes y estaciones al servido por las líneas de alta de velocidad, minimizando el problema de la coexistencia de dos redes con anchos de vía diferentes. De esta forma, mientras que las líneas de alta velocidad cuentan con 2.571,1 km y 17 estaciones, los trenes con cambio automático de ancho permiten extender los servicios a otros 3.556,7 km y 69 estaciones de la red convencional, ofreciendo servicio mediante los trenes de ancho variable a 26.493.413 habitantes (datos 2010), es decir, al 56,02 de la población española.

Palabras clave: Ancho variable, alta velocidad, cambio automático de ancho, accesibilidad de la red.

**Abstract**

*The evolution of systems of automatic gauge, has allowed to extend the benefits of high-speed network in Spain to a much higher number of inhabitants served by stations to the standard gauge lines, eliminating the problem of coexistence two networks with different track gauges. Thus, while high-speed lines have 2571.1 km, the trains with automatic gauge allow extending the services over 3556.7 km of the conventional network, representing, in aggregate, 49.5% of the network managed by ADIF, extending the services of variable gauge to 26,493,413 inhabitants (2010), ie 56.02% of the Spanish population. Insert your abstract text. The size of the paper must be less than 15 lines.*

*keywords: Variable gauge, high speed gauge automatic transsmision, network accesibility.*

## 1. El ancho de vía en España

El ancho de vía de los ferrocarriles españoles, es decir, la distancia que separa las caras internas de los carriles de una vía ferroviaria, quedó fijado en 1.676 mm (posteriormente reducido a los actuales 1.668 mm) por la Real Orden de 31 de diciembre de 1844, que se basaba en el informe emitido al respecto por una comisión de ingenieros al frente de la cual se encontraba José Subercase. Ya en aquellos años la elección de este ancho resultó extraña, debido a que el ancho de vía de 1.435 mm, el escogido por George Stephenson para el ferrocarril de Stockton a Darlington, se había extendido en la mayor parte de los países que contaban con líneas de ferrocarril y consolidado como el "ancho estándar"[1].

Pronto se hicieron patentes los inconvenientes que suponía contar con un ancho de vía diferente a los países de nuestro entorno, lo que generó protestas de Francia y Portugal, ante el inconveniente que representa tener que realizar transbordos de viajeros y sobre todo de mercancías, en los puntos donde dos anchos de vía diferentes entran en contacto. Ante determinación española de continuar tendiendo la red ferroviaria con el ancho de 1.676 mm, con la confirmación de este ancho por ley en 1855, el gobierno portugués tomó la decisión de "ensanchar" sus líneas desde los 1.435 mm hasta homologarlo con el ancho español, que a partir de entonces comenzó a conocerse como ibérico.

Pero a pesar del respaldo oficial al ancho ibérico, ya desde el inicio de la construcción de los primeros ferrocarriles en España, algunas de las compañías que comenzaban a establecerse, solicitaron que se les concediesen excepciones a esta norma, como el caso de la primera línea de la Península, el Barcelona a Mataró; el de Santander a Alar de Rey o el Ferrocarril de Langreo en Asturias. En el caso de la línea pionera y de la que debía unir Castilla con el Cantábrico, este cambio no se llevó a cabo y se construyeron con el ancho de 1.676 m. Sin embargo a la línea asturiana si se le permitió tender sus vías en ancho estándar, siendo esta la primera excepción, a la que años después seguirían otras, sobre todo tras la promulgación, en 1877, de la Ley de Ferrocarriles Secundarios, que posibilitó la construcción de numerosas líneas, en su mayoría de ámbito regional o vinculadas con actividades mineras e industriales, con un ancho inferior al ibérico. En los lugares donde estas líneas enlazaban con la red de ancho ibérico, se reprodujeron los problemas de transbordo de viajeros y mercancías que ya venían ocurriendo en la frontera francesa, es decir, supuso la creación de las primeras "fronteras interiores", aunque en este caso, salvo contadas excepciones, los tráficos eran mucho menores y los transbordos pudieron resolverse con medios modestos.

Con la finalización del tendido de la red española de vía ancha, España pasó a contar con cuatro "fronteras ferroviarias" con distinto ancho en Irún - Hendaya, Canfranc, Puigcerdá – La Tour de Carol y Port Bou – Cerberé, donde debía realizarse el transbordo de viajeros y mercancías, contando estas estaciones con vías con los dos anchos que daban servicio a andenes, muelles y almacenes que facilitaban esta tarea.

### 1.1 La introducción del ancho estándar

Una vez finalizada la red española de ancho ibérico, los problemas de transbordo de viajeros y mercancías en las fronteras interiores era, como ya hemos señalado anteriormente, muy limitado; sin embargo, a finales de la década de 1980, con el inicio de los trabajos para construir un nuevo acceso ferroviario Andalucía y que daría lugar a la nueva línea entre Madrid y Sevilla, el Gobierno español tomó la decisión en 1988 de que las nuevas líneas de alta velocidad tuviesen ancho estándar. Con la construcción de las líneas de Córdoba a Málaga, Madrid – Barcelona – Figueres, Madrid – Valladolid y Madrid – Valencia / Albacete, se crearon nuevas fronteras interiores, en este caso, con un gran flujo de viajeros entre ambas redes de

1.435 y 1.668 mm. Otro elemento a tener en cuenta es el sistema de electrificación escogido para las nuevas líneas, tensión de 25.000 voltios y 50Hz, en contraste con los 3.000 voltios en corriente continua del resto de la Red.

| Total de la Red (Km) | Km ancho 1.435 mm | Km de ancho 1.668 mm | % ancho 1.435 mm | % ancho 1.668 mm |
|---|---|---|---|---|
| 14.441,3 | 2.571,1 | 11.870,2 | 17,8 | 83,2 |

Tabla 1. Características de la Red Ferroviaria de Interés General administrada por Adif.

### 1.2. Las soluciones al problema de los diferentes anchos de vía

Una de las primeras soluciones que se aplicó para paliar el problema de los diferentes anchos de vía, afectaba exclusivamente a la vía y consistía en tender un tercer o cuarto carril en los tramos que fuese necesario para permitir la circulación de trenes de los dos anchos.

En lo que respecta al material móvil, las primeras técnicas para agilizar los intercambios entre diferentes anchos de vía, consistían, además de en situar los trenes de los dos anchos en vías más o menos próximas y transbordar los viajeros y las mercancías, en sustituir los ejes de los vehículos de un ancho por los del otro. Esta solución comenzó a aplicarse en las estaciones de Irún – Hendaya y Port Bou – Cerberé, en los vagones de mercancías que realizaban el tráfico con Europa. Posteriormente esta práctica se extendió a los coches de viajeros, con el cambio de bogíes completos, que aplicó por primera vez en los expresos Puerta del Sol (Madrid – París) y SudExpreso (Lisboa – París), en las instalaciones de la estación de Hendaya, desde el año 1969.

El siguiente paso fue conseguir que los vehículos ferroviarios cambiasen automáticamente de ancho, mediante mecanismos incorporados en sus órganos de rodadura, consiguiéndose por primera vez en España mediante el sistema de rodadura desplazable diseñado por Talgo, realizándose el primer servicio en el año 1969, entre Barcelona y Ginebra, con cambio de locomotoras en la frontera.

Con estos sistemas, que consistían básicamente en el uso de material remolcado con diferente grado de especialización, quedaba resuelto en parte el problema del tráfico internacional.

## 2. La red española de alta velocidad

Desde la inauguración en 1992 de la primera línea de alta velocidad, hasta el año 2010, se han puesto en servicio en España 2.571,2 kilómetros de líneas de ancho de 1.435 mm, electrificados en su totalidad a la tensión de 25.000 voltios/50 Hz y que en la actualidad, y hasta la finalización del nuevo túnel entre las estaciones de Madrid - Atocha y Madrid -Chamartín, podemos considerar que se encuentra dividida en dos sub redes: por un lado las líneas de Madrid - Atocha a Sevilla, Barcelona, Figueres, Valencia, Albacete y los ramales de Córdoba a Málaga y Zaragoza a Huesca y por otro, la línea de Madrid - Chamartín a Valladolid. Esta red de alta velocidad cuenta con 21 estaciones donde se presta servicio de viajeros y enlaza con la red de ancho ibérico mediante 18 cambiadores situados en diferentes puntos. Las líneas de ancho

estándar suponen el 17,8 % de la Red Ferroviaria de Interés General administrada por ADIF, que cuenta con un total de 14.441,3 kilómetros.

Sobre las líneas de 1.435 mm se presta servicio exclusivamente de viajeros, excepto en el tramo de Barcelona a la frontera francesa en el que, por el momento (año 2011), únicamente se prestan servicios de mercancías.

La característica principal que diferencia a la red española de alta velocidad de las de otros países es que la española, junto con la japonesa, son las únicas que se han construido con un ancho de vía diferente al resto de las líneas existentes en ambos países hasta ese momento. Así por ejemplo, mientras en países como Francia o Alemania, determinados servicios utilizan la red de alta velocidad parcialmente para luego encaminarse por la red convencional, en España esto no era posible y suponía un serio inconveniente, tanto para el aprovechamiento de las nuevas líneas, como para la mejora de los tiempos de viaje en las líneas convencionales, ya que los destinos fuera de las líneas de alta velocidad, no podían aprovechar las ventajas que estas ofrecen en cuanto a un menor tiempo de viaje. Este efecto se dejaba sentir especialmente en los trayectos en los que se deben cruzar puertos de montaña, frecuentes en la red española de ancho ibérico y que penalizan especialmente los tiempos de viaje de los trenes, mientras que las nuevas líneas los evitan mediante túneles de base y recorridos menos sinuosos.

## 3. El material móvil de ancho variable

Para remediar el inconveniente expuesto en el apartado anterior, ya desde la inauguración de la línea de Madrid a Sevilla, comenzó a usarse material móvil de ancho variable, en un primer momento ramas remolcadas Talgo, produciéndose a partir de ese momento el desarrollo y evolución de este y otros sistemas de cambio automático de ancho, hasta llegar a las diferentes series de material equipado con ancho variable con los que cuenta Renfe en la actualidad.

### 3.1 El material Talgo

Tras el éxito del Talgo III con rodadura desplazable, el siguiente desarrollo de Patentes Talgo, el Talgo Pendular, también incorporó el sistema de cambio automático de ancho en los remolques destinados al tráfico internacional, en concreto al servicio Madrid – París. Serían composiciones de Talgo Pendular de VI generación equipadas con rodadura desplazable, las que inaugurarían los servicios mixtos sobre las líneas de alta velocidad y convencional en España. Posteriormente, en el año 1999, comienzan las pruebas del denominado Talgo BT, un tren compuesto por remolques de VII generación y dos cabezas tractoras diesel, montadas sobre bogies equipados con el sistema de cambio de ancho automático diseñado por Talgo para bogies motores. Tras los buenos resultados obtenidos, se construyó un prototipo de locomotora eléctrica equipada con el sistema de rodadura desplazable y capaz de circular a las tensiones de 25.000 voltios/50 Hz y 3.000 voltios en corriente continua, obteniendo a su vez unos resultados plenamente satisfactorios y que desembocaron en la construcción de la serie 130.000 de Renfe.

### 3.2 El sistema Brava de CAF

El sistema desarrollado por esta empresa consiste en un bogie motor, que mediante un cambiador específico, varía el ancho de vía automáticamente sin detener el tren y que puede incorporarse tanto a material móvil de nueva construcción como al preexistente. Los primeros ensayos se realizaron con automotores de la serie 594 de Renfe, que circularon entre Zaragoza y Huesca y Zaragoza y Calatayud.

Fruto de estas pruebas, los electrotrenes de la serie 120.000 (servicios Alvia) y 121.000 (servicios Avant) de Renfe incorporan el mismo sistema de cambio de ancho automático, además de equipos eléctricos bitensión (25.000 voltios/50HZ y 3.000 voltios corriente continua).

## 4. Los servicios sobre líneas de ancho estándar y ancho ibérico

En mayo de 1992, una composición con material Talgo Pendular de V generación, equipada con cambio automático de ancho, inauguró el servicio Madrid – Málaga, recorriendo la línea de alta velocidad entre Madrid y Córdoba, donde se encontraba instalado el cambiador, continuando por la línea convencional hasta Málaga, el tiempo de viaje se redujo de 7 horas a 4 horas y 55 minutos. A este servicio pionero se irían añadiendo sucesivamente el Barcelona - Sevilla que, una vez instalado el cambiador de Majarabique, ampliaría su recorrido hasta Cádiz y el Madrid – Huelva, circulando ambos acoplados en Madrid y Sevilla. Las velocidades máximas eran de 180 km/h sobre 1.435 mm y 160 km/h sobre 1.668 mm, aumentada a 200 km/h en la línea de alta velocidad. La denominación comercial de estos servicios fue, en un primer momento, Talgo 200 y finalmente Altaria. Con la inauguración de la línea de alta velocidad de Madrid a Lérida primero y posteriormente hasta Roda de Bará, el Altaria Triana pasó a utilizar las líneas de ancho estándar durante 1.025 km. La tracción estaba a cargo de las locomotoras de la serie 252 en las líneas de alta velocidad y de las 269 o 252 en las líneas convencionales.

### 4.1 Productos comerciales

Servicios Altaria: el nombre comercial Altaria se aplica a trenes diurnos realizados con material remolcado Talgo Pendular y que utilizan en su recorrido líneas de alta velocidad y líneas convencionales. El material utilizado por estos servicios son ramas de Talgo Pendular de las series IV, VI y VII, autorizadas para velocidades entre 180 y 220 km/h en las líneas de ancho estándar y que en su composición definitiva cuentan con 11 coches.

Alvia: a partir de mayo de 2006 comienzan a circular los primeros trenes con esta denominación comercial, empleando electrotrenes de la serie 120 y 130 equipados con rodadura desplazable en servicios rápidos diurnos, a las velocidades de 220 km/h sobre ancho ibérico y 250 km/h sobre ancho estándar. El primer servicio fue el Madrid – Barcelona, utilizando la recién inaugurada línea de alta velocidad entre desde la capital de España hasta Lérida.

Tren Hotel: se prestan con ramas remolcadas de Talgo Pendular con cambio automático de ancho, equipado para servicios nocturnos con plazas acostadas y sentadas. Las velocidad máxima autorizada es de 220 km/h en líneas convencionales y 250 km/ sobre las líneas de alta velocidad.

Avant: tienen su origen en los servicios que comenzaron a prestarse en 1992 entre Puertollano/Ciudad Real y Madrid, a los que se unieron el Córdoba – Sevilla en 2004 y Toledo – Madrid en 2005 con el nombre de “Lanzadera AVE”. Consisten en ofrecer viajes a un precio más reducido por las líneas de alta velocidad, sin las prestaciones que ofrece al viajero el servicio AVE, pero con una flexibilidad en la elección de plazas y horarios. A partir del año 2006 estos servicios fueron traspasados a la unidad de negocio de Media Distancia, cambiando su denominación al año siguiente por Avant. Al igual que ocurrió con los servicios de largo recorrido, las ventajas que ofrecían las líneas de alta velocidad para extender los servicios sobre ancho ibérico, provocó la compra de los electrotrenes de la serie 121.000, con las mismas características técnicas que la serie 120.000, pero con un diseño interior adaptado a servicios regionales.

4.2 Los trayectos recorridos por los trenes de ancho variable

En la actualidad, año 2011, la suma de los servicios prestados con material equipado con cambio automático de ancho recorren un total de 5181,2 kilómetros diarios, que representa el 38,25 % de la R.F.I.G. gestionada por Adif, de los que 1.996,6 son de ancho estándar (el 80,6 % de las líneas de alta velocidad) y 3.556,7 son de ancho ibérico (que representa el 29,9 % de la red convencional). Las líneas de alta velocidad Madrid – Sevilla/Valladolid/Valencia/Albacete y Córdoba – Málaga son recorridas en su totalidad por estos servicios, mientras que la línea Madrid – Barcelona es recorrida en dos partes diferenciadas: entre Madrid - Atocha y el cambiador de Plasencia de Jalón (277 kilómetros) y entre el cambiador de Zaragoza – Delicias y Barcelona Sants (342,1 kilómetros).

Los trayectos recorridos en el año 2011 por los trenes de ancho variable son los siguientes: los Altaria Granada – Madrid y Algeciras – Madrid, que son los únicos servicios con esta denominación comercial que realizan parte de su recorrido por líneas de alta velocidad; los Alvia Pamplona/Logroño/Irún - Madrid y Vigo/Irún – Bilbao cubiertos por la serie 120.000 y los Alicante – Madrid – Santander/Gijón, Bilbao/Irún – Madrid y Madrid – Valencia/Castellón cubiertos por la serie 130.000; los Tren Hotel Vigo/Coruña/Gijón – Barcelona y el Avant Jaén - Cadiz

4.3 Estaciones y población atendidas

El número de estaciones atendidas por estos servicios es de 86, de las que 17 corresponden a las líneas de ancho estándar y 69 sobre la red de ancho ibérico. Las estaciones de alta velocidad dan servicio a una población de 17.259.713 habitantes, pero gracias al empleo de trenes de ancho variable, es posible extender estos servicios a otros 9.082.583 habitantes (población del año 2010) que, en conjunto, representan al 56,02 % de la población de España.

| Servicios | Viajeros |
|---|---|
| AVE | 624.303 |
| Avant | 52.700 |
| Alvia/Altaria | 201.328 |
| Tren Hotel | 55.842 |

**Tabla 1.** Viajeros transportados en el año 2010

## 5. Resultados de los servicios de ancho variable

A modo de resumen presentamos a continuación las principales magnitudes relacionadas con la prestación de servicios de ancho variable, referidas a los kilómetros recorridos, estaciones servidas y población que puede disfrutar de estos servicios, tanto sobre la red de ancho estándar como la red de ancho ibérico.

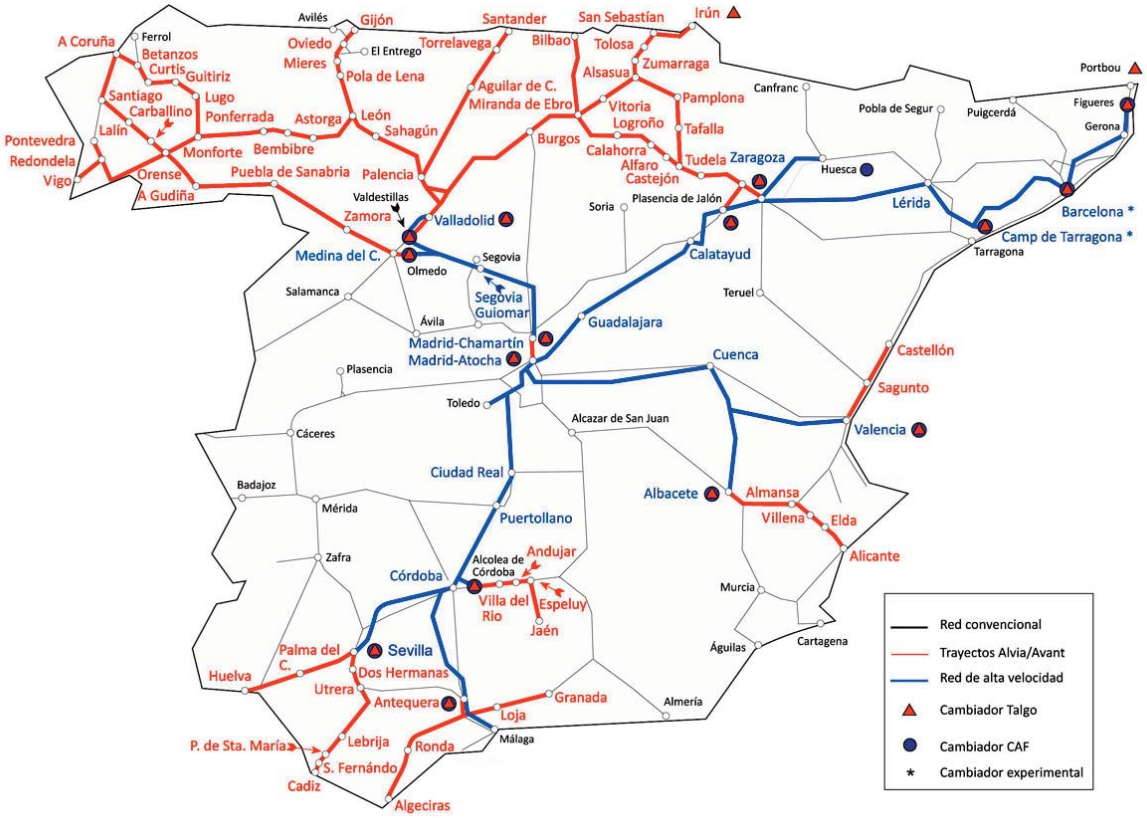



**Fig. 1**. Líneas recorridas por los servicios de ancho variable

| Línea | Km ancho 1.435 mm | Km ancho 1.668 mm | % del total de la Red | % red 1.435 mm | % red 1.668 mm |
|---|---|---|---|---|---|
| Madrid – Valladolid C.G. (cambiador) | 179,4 | - | 1,24 | 6,98 | - |
| Bif. Olmedo – Olmedo (cambiador) | 19,9 | - | 0,14 | 0,77 | - |
| Madrid – Plasencia de Jalón (cambiador) | 277 | - | 1,92 | 10,77 | - |
| Zaragoza Delicias (cambiador) - Barcelona | 342,1 | - | 2,37 | 17,4 | |
| Madrid – Sevilla (Majarabique) | 441,4 | - | 3,06 | 17,17 | - |
| Madrid - Valencia | 390,8 | - | 2,71 | 15,2 | - |
| Madrid – Albacete (cambiador) | 315,9 | - | 2,19 | 12,29 | - |
| Valladolid C.G. (cambiador) - Hendaya | - | 408,5 | 2,83 | - | 3,44 |
| León – Gijón | - | 171,7 | 1,19 | - | 1,45 |
| Venta de Baños - Santander | - | 262,8 | 1,82 | - | 2,21 |
| Palencia – La Coruña | - | 550,9 | 3,81 | - | 4,64 |
| Monforte - Vigo | - | 177 | 1,23 | - | 1,49 |
| Redondela - Pontevedra | - | 22 | 0,15 | - | 0,19 |
| M. del Campo (cambiador) – Zamora – La Coruña | - | 531,7 | 3,68 | - | 4,48 |
| Castejón – Pamplona – Pamplona | - | 139,3 | 0,96 | - | 1,17 |
| Zaragoza – Logroño – Miranda de Ebro | - | 338,3 | 2,34 | - | 2,85 |
| Majarabique (Sevilla) - Cádiz | - | 164,8 | 1,14 | - | 1,39 |
| Majarabique (Sevilla) – Huelva | - | 112,6 | 0,78 | - | 0,95 |
| Albacete – La Encina – Alicante | - | 168,9 | 1,17 | - | 1,42 |
| Valencia – Sagunto – Castellón | - | 84,4 | 0,58 | - | 0,71 |
| Jaén – Alcolea | - | 125 | 0,87 | - | 1,05 |
| Antequera (cambiador) – Granada | - | 122,6 | 0,85 | - | 1,03 |
| Bobadilla – Algeciras | - | 176,2 | 1,22 | - | 1,48 |
| Total ancho 1.435 mm | 1624,5 | - | - | 80,6 | - |
| Total ancho 1.668 mm | - | 3556,7 | - | | 29,9 |
| Total | 5523,3 | | 49,5 | | |

**Tabla 2**. Líneas recorridas por los servicios de ancho variable

| Linea | Estaciones (1.435 mm) | Estaciones (1.668 mm) | Población servida por cada linea | Población servida por el conjunto de lineas | % de la población española servido por cada linea |
|---|---|---|---|---|---|
| Madrid - Sevilla | 5 | - | 7784810 | 7784810 | 16,56 |
| Madrid – Plasencia de Jalón (cambiador) | 2 | - | 6.203.316 | 174.687 | 0,37 |
| Zaragoza - Barcelona | 4 | - | 6.305.448 | 6.305.448 | 13,41 |
| Madrid – Valladolid C.G | 3 | - | 6.507.390 | 478.761 | 1,02 |
| Madrid – Valencia | 2 | - | 7.642.725 | 1.614.096 | 3,43 |
| Madrid - Albacete | 1 | - | 6.255.293 | 170.475 | 0,36 |
| Valladolid C. G. – Hendaya | - | 8 | 731.436 | 731.436 | 1,56 |
| Venta de Baños - Santander | - | 4 | 444.309 | 444.309 | 0,94 |
| Palencia – La Coruña | - | 15 | 964.877 | 964.877 | 2,05 |
| León - Gijón | - | 4 | 836.141 | 836.141 | 1,78 |
| Monforte – Vigo | - | 3 | 641.426 | 641.426 | 1,36 |
| Medina – Zamora – Orense – Coruña | - | 8 | 812.370 | 812.370 | 1,73 |
| Castejón – Pamplona – Alsasua | - | 2 | 352.143 | 352.143 | 0,75 |
| Zaragoza – Logroño – Bilbao | - | 7 | 1.907.245 | 1.907.245 | 4,06 |
| Majarabique (Sevilla) – Cádiz | - | 6 | 2.244.809 | 717.132 | 1,53 |
| Majarabique (Sevilla) – Huelva | - | 2 | 1.473.095 | 159.785 | 0,34 |
| Albacete – La Encina – Alicante | - | 4 | 1.07.585 | 847.110 | 1,8 |
| Valencia – Sagunto - Castellón | - | 2 | 1.630.219 | 386.997 | 0,82 |
| Jaén – Alcolea de Córdoba | - | 4 | 164.165 | 164.165 | 0,35 |
| Antequera (cambiador) - Granada | - | 3 | 578.737 | 578.737 | 1,23 |
| Bobadilla – Algeciras | - | 1 | 395.380 | 270.146 | 0,57 |
| Total ancho 1.435 mm | 17 | - | - | 16.528.277 | - |
| Total ancho 1.668 mm | - | 69 | - | 9.814.019 | - |
| Total | 86 | | - | 26.493.413 | 56,02 |

**Tabla 3.** Número de estaciones y habitantes atendidos por cada línea

## Referencias

[1] García Álvarez, A. (2010). Cambio automático de ancho de vía de los trenes en España. Fundación de los Ferrocarriles Españoles.

[2] Moreno Fernández, J (1999). El ancho de vía: un parámetro controvertido. Siglo y medio de ferrocarril en España.

FUNDACIÓN DE LOS FERROCARRILES ESPAÑOLES
www.ffe.es

vía libre TÉCNICA
INVESTIGACIÓN FERROVIARIA
www.tecnica-vialibre.es

# Mejora del comportamiento dinámico de puentes de ferrocarril mediante reacondicionamiento con amortiguadores fluido-viscosos

# *Improving the dynamic behavior of railway bridges using viscous fluids dampers*

M. D. Martínez Rodrigo[1], J. Lavado[2], P. Museros[3]

[1] Universitat Jaume I, Dpto. Ingeniería Mecánica y Construcción, (Castellón)
[2] Universidad de Granada, Depto. Mecánica de Estructuras e Ingeniería Hidráulica, (Granada)
[3] Universidad Politécnica de Valencia, Depto. Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras, (Valencia)

**Resumen**

En el presente trabajo se investiga el problema de vibraciones verticales excesivas que pueden experimentar algunos puentes de ferrocarril de luces medias-cortas debido a la aparición de fenómenos de resonancia. Frente a soluciones tradicionales para mejorar el comportamiento dinámico de estructuras existentes ante nuevos requerimientos de tráfico, como un posible recrecido de la losa o la sustitución del tablero, se plantea la alternativa de aumentar externamente el amortiguamiento estructural mediante el reacondicionamiento con amortiguadores fluido-viscosos. Se propone su conexión a través de una estructura auxiliar, que permite transformar el movimiento vertical de la losa ante el paso de las composiciones ferroviarias en movimiento relativo entre extremos de los dispositivos, consiguiendo de este modo disipar energía y atenuar en gran medida la respuesta resonante. El sistema ideado podría ser introducido sin afectar a las circulaciones, lo que supondría una clara ventaja desde el punto de vista operativo frente a soluciones convencionales que generalmente implican el cierre temporal de la línea.

Palabras clave: Puentes de ferrocarril, fenómenos de resonancia, amortiguadores fluido-viscosos, control pasivo de estructuras, puentes isostáticos, vibraciones en puentes de ferrocarril.

**Abstract**

*This research work is devoted to the problem of excessive vertical vibrations that short to medium-span railway bridges may experiment due to resonance phenomena. A new alternative based on externally increasing the overall damping of the structure by retrofitting the deck with fluid-viscous dampers is proposed in order to reduce detrimental levels of transverse acceleration to admissible ones. This solution could substitute a classical strengthening process or even the complete demolition and replacement of the deck in existing structures under new traffic requirements such as an increase in the speed of the line. A particular configuration of the retrofitting system is proposed which allows the transformation of the vertical oscillations that the deck experiments under the circulation of the railway vehicles into elongation rates of the devices, leading to energy dissipation and the subsequent reduction of the super-structure resonant response. The proposed system could be installed in the original structure and maintained without interfering with everyday traffic.*

*keywords: Railway bridges, resonance phenomena, fluid-viscous dampers, passive control of structures, simply-supported bridges, vibrations in railway bridges.*

## 1. Introducción

La construcción de nuevas líneas ferroviarias de alta velocidad y el aumento progresivo de la velocidad de explotación de líneas existentes requieren de la adaptación de todos los elementos que componen la línea y, en particular, de las infraestructuras. En lo relativo a los puentes de ferrocarril, pese a que las acciones verticales asociadas a los convoyes de pasajeros modernos no son superiores a las que prescribía la Instrucción de Acciones de 1975 [1], el aumento de la velocidad de circulación puede propiciar la aparición de fenómenos de resonancia. El fenómeno de resonancia en un puente tiene lugar cuando el tiempo de paso entre grupos de ejes consecutivos sobre una misma sección del tablero coincide con un múltiplo de alguno de sus períodos naturales. En resonancia, la entrada de las cargas se produce en fase con las oscilaciones verticales de la estructura dando lugar a un aumento progresivo de la respuesta. En esta situación, además, la estructura suele llegar a alcanzar una respuesta a régimen debido al número elevado de ejes de las composiciones ferroviarias. A medida que la velocidad de circulación se acerca a la de resonancia, el nivel de aceleraciones verticales en el tablero puede llegar a ser muy elevado, especialmente si el amortiguamiento estructural es reducido como suele ser el caso de muchos puentes ferroviarios [2], dando lugar a una degradación y una desconsolidación prematura de la capa de balasto, como fue constatado por el ERRI y se recoge en [2], con el consiguiente aumento del coste de explotación de la línea, un mayor riesgo de pandeo de la vía y una disminución del grado de confort del viajero. Son especialmente críticos a este respecto los puentes de luces medias-cortas (12-25 m) compuestos por vanos isostáticos. Por todo ello, la aceleración vertical del tablero se ha convertido en una de las variables de mayor relevancia en el proyecto de puentes de alta velocidad constituyendo un Estado Límite de Servicio ligado a la seguridad del tráfico.

Entre los tableros ferroviarios susceptibles de experimentar vibraciones que den lugar a aceleraciones verticales inadmisibles, cabe diferenciar dos posibles escenarios:

- Puentes existentes pertenecientes a líneas convencionales (i) que se hayan deteriorado estructuralmente desde su puesta en servicio, y sufran oscilaciones excesivas al paso de convoyes circulando a la velocidad de explotación; y (ii) puentes susceptibles de experimentar vibraciones inadmisibles en caso de que fuera aumentada la velocidad de explotación de la línea. Este tipo de aumento es bastante habitual debido a la continua evolución de las vías y el material rodante.

- Puentes nuevos situados en líneas de alta velocidad que sufren fenómenos de resonancia debido a la velocidad de las composiciones que circulan por la línea.

En aras a remediar este tipo de problemas, las estrategias convencionales de reacondicionamiento consisten, en el primero de los casos, en el refuerzo o sustitución de tableros, con el consiguiente coste asociado al cierre de línea. En el ámbito de los puentes nuevos pertenecientes a líneas de alta velocidad, la tónica general es dotarlos de una gran rigidez para elevar sus frecuencias naturales lo suficiente, de forma que las velocidades críticas sean superiores a la máxima velocidad de proyecto. Ello puede encarecer significativamente la construcción de puentes de luces pequeñas y moderadas.

Como posible alternativa a las medidas correctivas tradicionales en puentes existentes, o al dimensionado de gran rigidez en puentes nuevos, en el presente trabajo, que resume de forma sucinta lo investigado en la Tesis Doctoral [3], se investiga la posibilidad de aumentar externamente el amortiguamiento global de la estructura a través de su reacondicionamiento con amortiguadores fluido-viscosos (FVD), consiguiendo de este modo disipar energía y atenuar en gran medida la respuesta resonante. Las simulaciones numéricas

realizadas indican que, mediante el sistema propuesto, se podrían reducir niveles de aceleración vertical del tablero considerablemente elevados a valores admisibles sin superar la capacidad de los amortiguadores comerciales, los esfuerzos máximos en los elementos auxiliares del reacondicionamiento, ni agotar la resistencia a punzonamiento de la losa de reparto. La solución que se propone presenta además las ventajas adicionales de ser, en los casos analizados, económicamente más ventajosa que la demolición y sustitución de la estructura original, requerir un nivel de mantenimiento de los dispositivos mínimo y poder ser instalada y mantenida sin la necesidad de interrumpir el tráfico.

En los apartados siguientes se resume la configuración concreta del sistema de reacondicionamiento propuesto, la herramienta numérica implementada para predecir el comportamiento dinámico de la estructura, y se presenta el estudio de la posible aplicación de la alternativa a un puente real perteneciente a la línea de alta velocidad Madrid-Córdoba.

## 2. Configuración del sistema de reacondicionamiento

El sistema de reacondicionamiento que se propone está compuesto por un conjunto de vigas auxiliares simplemente apoyadas en ambos estribos y colocadas entre las originales del tablero, en el caso de tableros de vigas, debiendo existir siempre cierta holgura entre la cara superior de las nuevas vigas y la inferior de la losa. Conectando el movimiento de las vigas auxiliares con el de la cara inferior de la losa, se sitúan los FVD en posición vertical, los cuales disipan energía debido a la velocidad relativa que existe entre ambos elementos.

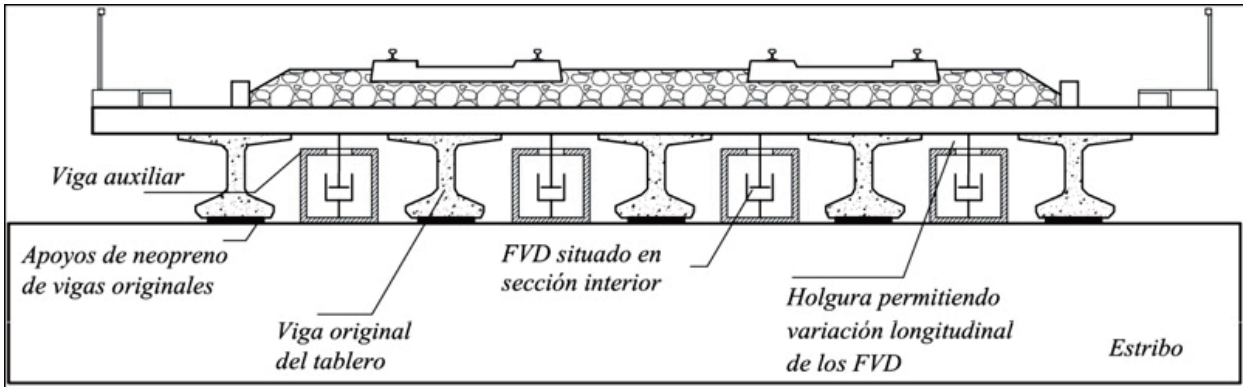



Figura 1. Sistema de reacondicionamiento propuesto instalado en tablero de vigas

La Figura 1 muestra una posible configuración del sistema aplicado a un puente de vigas, tipología habitual en el rango de luces medias-cortas. En este caso se ha seleccionado un cajón metálico como viga auxiliar, y los amortiguadores se conectarían a la cara interna del ala inferior de ésta previo taladro del ala superior. Esta solución presenta la ventaja de que, al ocupar los dispositivos el espacio hueco del cajón, se mantiene prácticamente inalterado el gálibo libre. No obstante, los resultados y conclusiones obtenidos son aplicables a vigas auxiliares de cualquier material y tipología.

En caso de que la altura ocupada por las vigas auxiliares y los elementos de disipación superara la altura libre existente entre el estribo y la cara inferior de la losa, o en el de tipologías de tableros de losa o pseudolosa, las vigas se podrían anclar directamente al paramento del intradós del estribo, previa ejecución de los apoyos pertinentes, siempre que el gálibo libre lo permitiera.

El interés de la configuración propuesta radica en que, dada su simplicidad, conlleva un número mínimo de conexiones ocupando además un espacio muy reducido bajo el tablero. Los amortiguadores se conectarían a orejetas fijadas a la cara inferior de la losa y a las vigas auxiliares a través de cojinetes esféricos, con el fin de evitar la flexión de estos elementos ante posibles acciones horizontales que actúen sobre el tablero.

## 3. Modelo numérico implementado

En el presente apartado se describe en detalle la herramienta numérica programada por los autores con el fin de simular el comportamiento dinámico de tableros de tipologías propias de luces moderadas reacondicionados.

El modelo tridimensional implementado, que incluye el tablero y el sistema de reacondicionamiento, se compone de diferentes elementos, como muestra la Figura 2. Debido a que las tipologías más habituales de tableros de puentes de luces cortas son el tablero de vigas y la losa, se ha seleccionado un modelo de placa ortótropa para simular su comportamiento. Ello permite tener en cuenta la contribución de modos de deformación transversal que pueden tener una importancia considerable en el caso de tableros de vía múltiple, en los de vía única situada de forma excéntrica o en tableros esviados [4, 5]. La placa se discretiza en elementos finitos (EF) triangulares de 12 grados de libertad (gdl) para los cuales se adoptan las hipótesis de Love-Kirchhoff, típicas de placas delgadas en pequeña deformación. El efecto de la rigidez vertical de los apoyos elásticos o apoyos de neopreno, sobre los cuales descansan las vigas estructurales del tablero, se ha introducido en el modelo de forma distribuida, modificando la matriz de rigidez de todos aquellos EF cuyo borde coincide con alguno de los dos estribos.

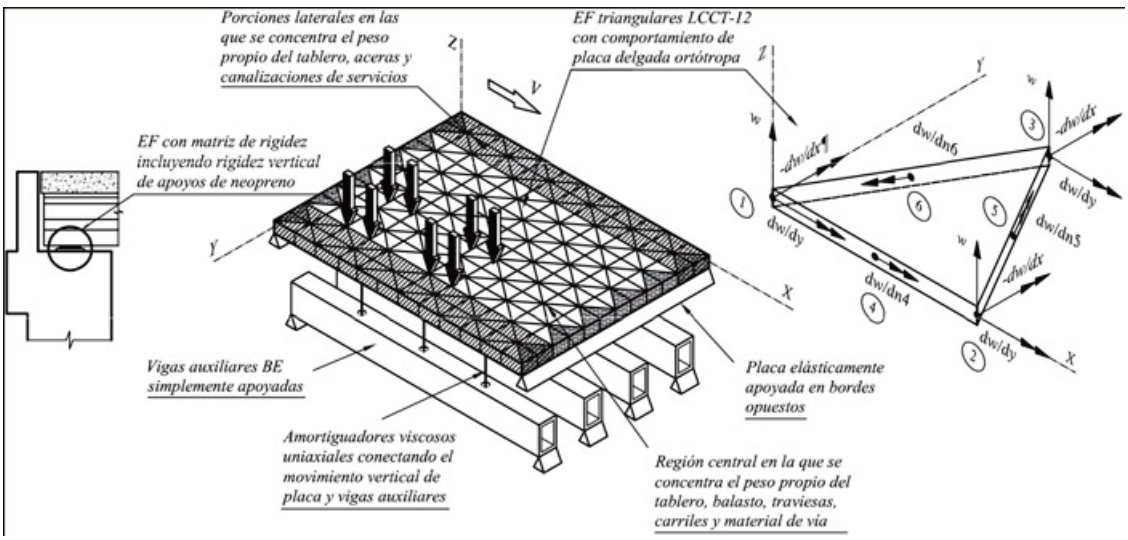



Figura 2. Modelo numérico implementado

El comportamiento de las vigas auxiliares se simula mediante elementos viga Bernoulli-Euler unidimensionales con dos nodos y dos gdl por nodo: el desplazamiento en Z y el giro de la sección en Y según los ejes de la Figura 2. Se ha supuesto que las vigas auxiliares descansan directamente sobre el estribo o anclaje convenientemente ejecutado en el paramento del intradós, sin apoyos de neopreno.

Los amortiguadores se consideran elementos unidimensionales viscosos puros que acoplan el movimiento vertical de la placa con el de las vigas auxiliares en los nodos que conectan.

En cuanto a la simulación del paso de vehículos se ha adoptado un modelo de cargas puntuales, despreciando por tanto el efecto de la interacción vehículo-estructura, aplicadas en líneas de carga a lo largo del tendido de cada carril. El comportamiento dinámico del modelo completo se calcula integrando paso a paso en el tiempo el sistema de Ecuaciones Diferenciales que gobierna el movimiento en espacio modal, aplicando el Método de Newmark- de aceleración lineal y teniendo en cuenta la contribución de los modos de vibración del tablero de frecuencia inferior a 30 Hz, según lo establecido en la actual Instrucción de Acciones [6].

El modelo numérico descrito ha sido implementado en el programa de cálculo propio DYNARET en lenguaje Fortran 90, tratando así de reducir en lo posible los tiempos de cálculo.

## 4. Cálculo dinámico y reacondicionamiento del puente Arroyo Bracea II

En el presente apartado se evalúa la respuesta dinámica de un puente real suponiendo un hipotético aumento de la velocidad de explotación de la línea a 350 km/h, lo que podría dar lugar a un nivel de aceleraciones verticales excesivo en el tablero. El puente objeto de estudio se encuentra situado en el punto kilométrico 26+456 del tramo Mascaraque-El Emperador, perteneciente a la línea de alta velocidad Madrid-Córdoba. La estructura salva el cauce del arroyo Bracea, afluente del Río Algodor, a pocos kilómetros de la localidad de Los Yébenes (Toledo).

### 4.1. Descripción de la estructura

Se trata de una estructura de dos vanos idénticos, simplemente apoyados, con una luz entre ejes de apoyos de 15.25 m y un esviaje de 45º, como se muestra en la Figura 3. Cada tablero está constituido por cinco vigas prefabricadas de 1.05 m de canto, siendo la distancia entre ejes de 2.275 m. Sobre las vigas se ha hormigonado in situ una losa de 0.25 m de espesor mínimo y 11.60 m de anchura. Los apoyos extremos se materializan mediante estribos de hormigón armado cimentados directamente por zapatas, estando el apoyo intermedio compuesto por una pila pantalla cimentada mediante pilotes. Los extremos de todas las vigas se encuentran atados por una viga riostra hormigonada in situ. Las vigas descansan directamente sobre los estribos y el apoyo intermedio mediante un mortero de nivelación y neoprenos zunchados. El tablero así definido se completa con el balasto, dos vías y una acera a cada lado dotada de la correspondiente barandilla, según se observa en la sección transversal representada en la Figura 4.

Figura 3. Imágenes del puente Arroyo Bracea II

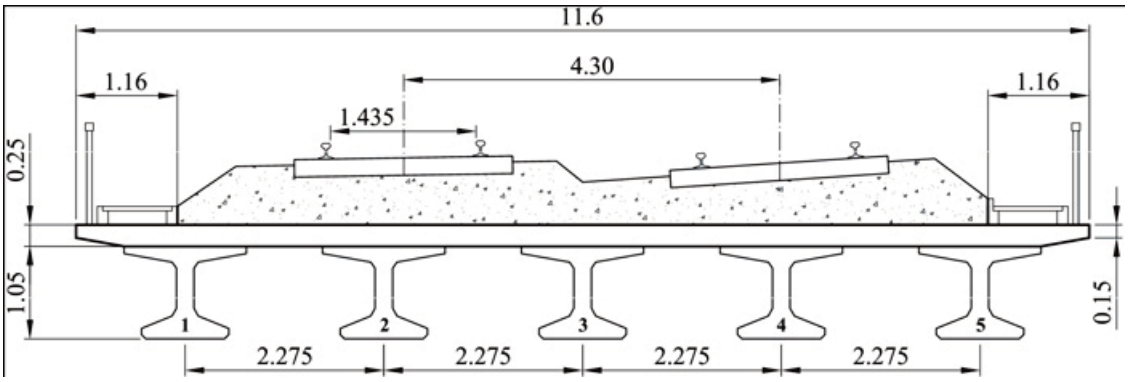



Figura 4. Sección transversal del tablero del puente Arroyo Bracea II

A partir de la información recabada del proyecto de la estructura, y de los resultados obtenidos durante los ensayos estáticos y dinámicos llevados a cabo durante la prueba de carga previa a su puesta en servicio, se ajustan las propiedades del modelo de losa ortótropa descrito en el apartado anterior [7]. En la Figura 5 se han representado los seis primeros modos de vibración proporcionados por el modelo calibrado que serán tenidos en cuenta en el cálculo dinámico. Durante la prueba de carga se midió una tasa de amortiguamiento estructural en vibración libre del modo fundamental del 1% que es asignada a cada uno de estos modos a falta de más información.

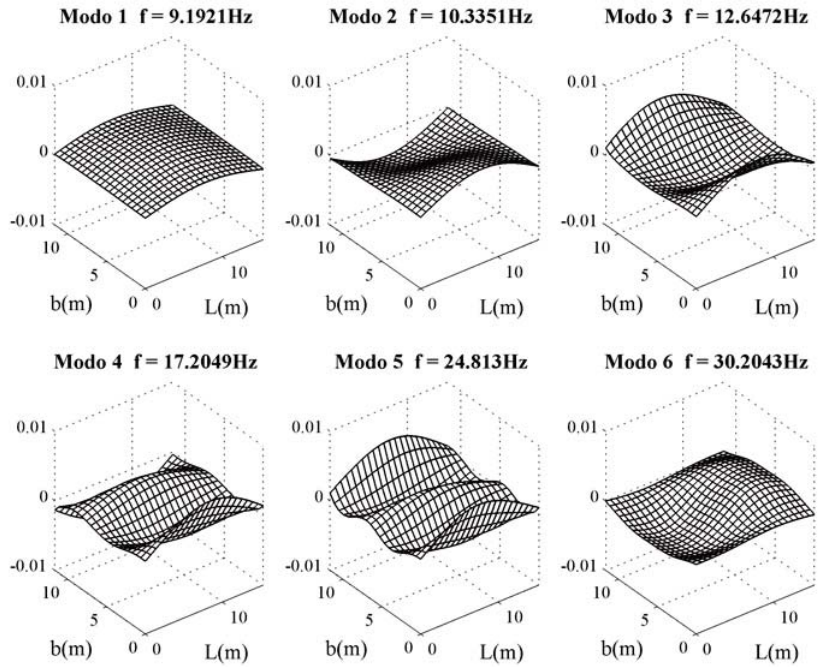



Figura 5. Primeros seis modos de vibración del modelo calibrado del tablero del puente Arroyo Bracea II

## 4.2. Comportamiento dinámico de la estructura original

La velocidad de explotación actual de la línea Madrid-Córdoba en el tramo en el que se encuentra el puente Arroyo Bracea II es de 270 km/h. Con el fin de verificar la efectividad de la solución propuesta, se

considera un posible acondicionamiento de la línea a 350 km/h y se procede al cálculo dinámico del puente en la situación original según lo establecido en la actual Instrucción de Acciones. Con este fin se calcula la respuesta máxima del tablero sometido a la circulación de las diez composiciones que conforman el modelo HSLM-A (High Speed Load Model-A [8]) en el rango de velocidades comprendido entre 28 y 117 m/s en incrementos de 1 m/s (entre 100.8 y 421.2 km/h cada 3.6 km/h), habiéndose fijado el límite superior como la velocidad de explotación de la línea aumentada en un 20% según lo especificado en la mencionada instrucción. Asimismo y en aras a verificar que los trenes universales garantizan resultados envolventes de los efectos dinámicos producidos por los trenes clásicos, articulados y regulares de alta velocidad europeos, se ha repetido el cálculo dinámico empleando modelos de cargas representativos de ocho composiciones reales: THALYS, ICE2, ETR-Y, EUROSTAR, TGV, VIRGIN, AVE y TAV, presentándose la respuesta asociada a los trenes universales y a los reales por separado.

El cálculo dinámico se ha llevado a cabo aplicando Superposición Modal de los seis primeros modos de vibración del tablero e integrando paso a paso las ecuaciones de movimiento en espacio modal, según se ha descrito en el apartado anterior. Los puntos de postproceso de resultados son los 25 puntos señalados en la Figura 6, repartidos en el área ocupada por la plataforma de vía.

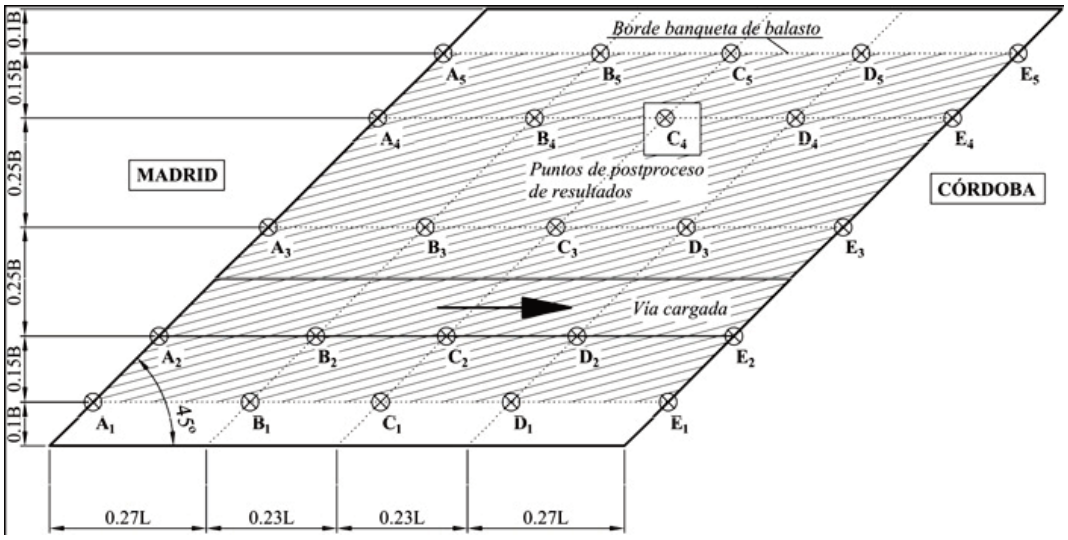



Figura 6. Puntos de postproceso de resultados en el modelo del puente Arroyo Bracea II

El análisis de la respuesta en términos de aceleraciones muestra que la contribución predominante del modo fundamental hace que se concentre la máxima respuesta en la sección central del tablero, siendo el punto más desfavorable el C3, situado sobre el eje de éste. En la Figura 7 se ha representado la aceleración vertical máxima en el citado punto en función de la velocidad de circulación de las distintas composiciones. Se observa que ésta alcanza un valor máximo de 6.44 m/s$^2$ al paso de la composición HSLM-A9 a la máxima velocidad de cálculo, resultando este valor inadmisible por superar el límite de 3.5 m/s$^2$ establecido para puentes de vía sobre balasto [6]. Esta situación es debida a que la distancia característica propia del tren A9 (26 m) excita una segunda resonancia del modo fundamental del tablero a una velocidad teórica de 430.19 km/h:

$$V_R\,(\mathrm{km/h}) = 3.6\frac{D_c\, f_1}{n} = 3.6\frac{26\cdot 9.19}{2} = 430.19\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}} \qquad (1)$$

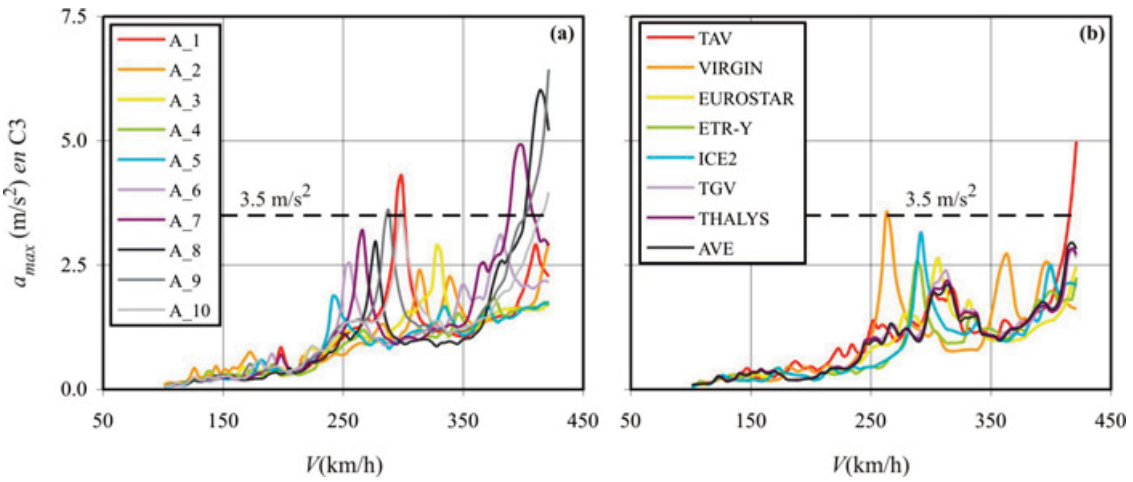



Figura 7. Aceleración vertical máxima en el punto C3 ante la circulación de (a) los trenes HSLM-A y (b) composiciones reales

En la Figura 11(a), en trazo gris, se muestra la historia temporal de aceleraciones en C3 a la máxima velocidad de circulación del noveno tren. Se observa claramente cómo entre la entrada de dos bogies consecutivos en el tablero, éste experimenta dos ciclos de oscilación completos, incrementándose de forma progresiva la energía introducida en la estructura.

### 4.3. Comportamiento dinámico de la estructura reacondicionada

Con el fin de reducir la respuesta dinámica de la estructura se propone la introducción de un sistema de reacondicionamiento compuesto por dos vigas metálicas cajón de dimensiones 1000´600´4 mm (canto´ancho´espesor) a situar entre las vigas 1 y 2 y las vigas 4 y 5 pretensadas del tablero, según se muestra en la Figura 8. Las vigas auxiliares cuentan con una frecuencia fundamental de 14.13 Hz, superior a la de los tres primeros modos del tablero que son los que más contribuyen a la respuesta. Esta condición es esencial para que el sistema disipe energía de forma efectiva, tal y como se justifica en detalle en [9]. En cada viga se instalará un único amortiguador fluido-viscoso situado en la sección central de ésta en posición vertical y conectado con la cara inferior de la losa previo taladro del ala superior. La constante óptima teórica del amortiguador que da lugar a la mínima respuesta del modo fundamental del tablero para las vigas auxiliares propuestas es $C_D$ = 477019 Ns/m. El procedimiento de obtención del tamaño mínimo de las vigas auxiliares y de las constantes óptimas de los amortiguadores se puede consultar en [3].

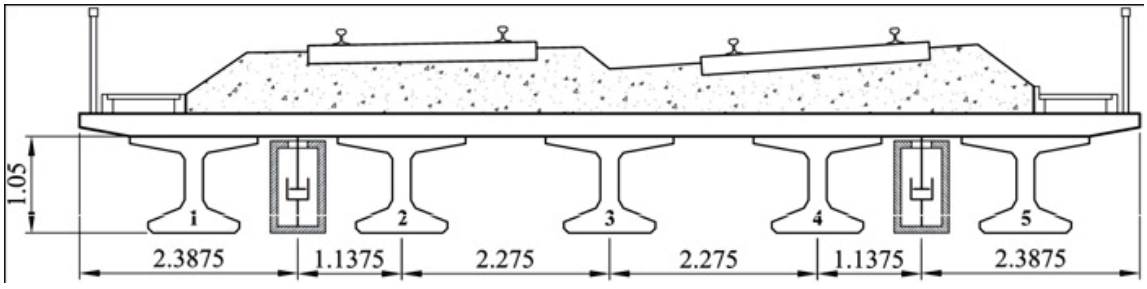



Figura 8. Ubicación propuesta de las vigas auxiliares en el puente Arroyo Bracea II

Una vez seleccionado el sistema de reacondicionamiento se incluyen las vigas auxiliares y los amortiguadores en el modelo numérico según lo descrito en el apartado 3. A continuación se lleva a cabo el cálculo dinámico de la estructura modificada sometida a la circulación de las 18 composiciones ferroviarias empleadas en el apartado 4.2 en el mismo intervalo de velocidades, [100.8, 421.2] km/h. La respuesta en coordenadas espaciales se obtiene combinando linealmente las contribuciones de los seis primeros modos de vibración del tablero y las de los tres primeros modos de cada una de las vigas auxiliares.

En la Figura 9 se compara la envolvente de aceleraciones en los 25 puntos de postproceso para las 18 composiciones de cálculo en el rango de velocidades consideradas (a) en la estructura original y (b) en la estructura reacondicionada. Cabe resaltar que la máxima respuesta en ambas situaciones se debe a la circulación de trenes del modelo universal, y en ningún caso a la de trenes reales. La aceleración vertical en puntos de la sección central se reduce con respecto a la situación de partida en un 48.7% de media, reducción similar a la experimentada en las secciones a un cuarto y tres cuartos de vano en términos relativos. La aceleración en ambos estribos, por el contrario, apenas se ve modificada, disminuyendo su valor máximo en menos de un 5% (si bien su valor de partida era reducido).

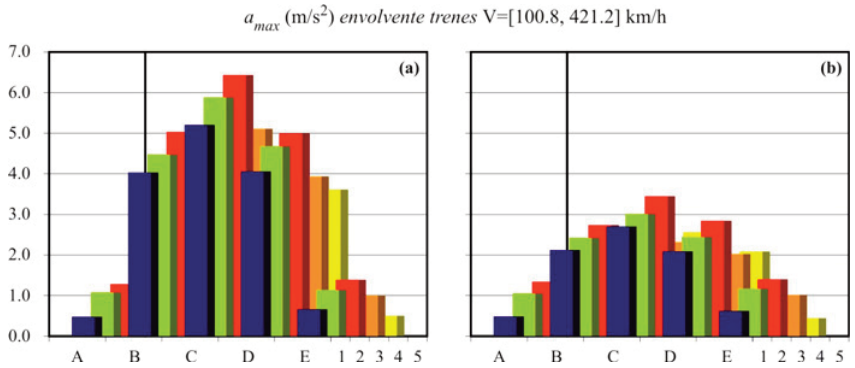



Figura 9. Envolventes de aceleración máxima en puente Arroyo Bracea II antes y después del reacondicionamiento

A consecuencia del reacondicionamiento la máxima aceleración vertical en el tablero se reduce de 6.44 a 3.45 m/s$^2$ en el punto C3, que se mantiene como punto más desfavorable tras la modificación de la estructura. La máxima aceleración en C3 tiene lugar cuando la composición HSLM-A9 cruza el puente a la máxima velocidad de cálculo, tal y como se puede observar en la Figura 10. Comparando la aceleración vertical máxima en el punto C3 con la aceleración en este mismo punto en la situación original representada en la Figura 7, se observa cómo el reacondicionamiento reduce la respuesta dinámica, especialmente a las velocidades de resonancia, manteniéndose todos los máximos que antes excedían la limitación de 3.5 m/s$^2$ por debajo de este umbral.

Para finalizar con la presentación de la respuesta en el punto más desfavorable, en la Figura 11(a) se ha representado la historia temporal de aceleraciones en C3 ante la circulación del HSLM-A9 a la máxima velocidad de cálculo, antes y después del reacondicionamiento. El control de la respuesta ejercido por el sistema de reacondicionamiento es evidente. En la Figura 11(b) se ha incluido el diagrama de histéresis que experimenta el FVD más castigado de los dos, el conectado a la primera viga auxiliar (la más próxima a la vía cargada), al circular el A9 a la citada velocidad. En dicha figura $L_D$ hace referencia a la variación de la distancia entre extremos del FVD. Esta variable se calcula como la diferencia de flechas entre el punto de la losa y de la viga auxiliar que conecta el dispositivo en cuestión. El área que encierra cada ciclo del diagrama corresponde a la energía disipada por el elemento en cuestión.

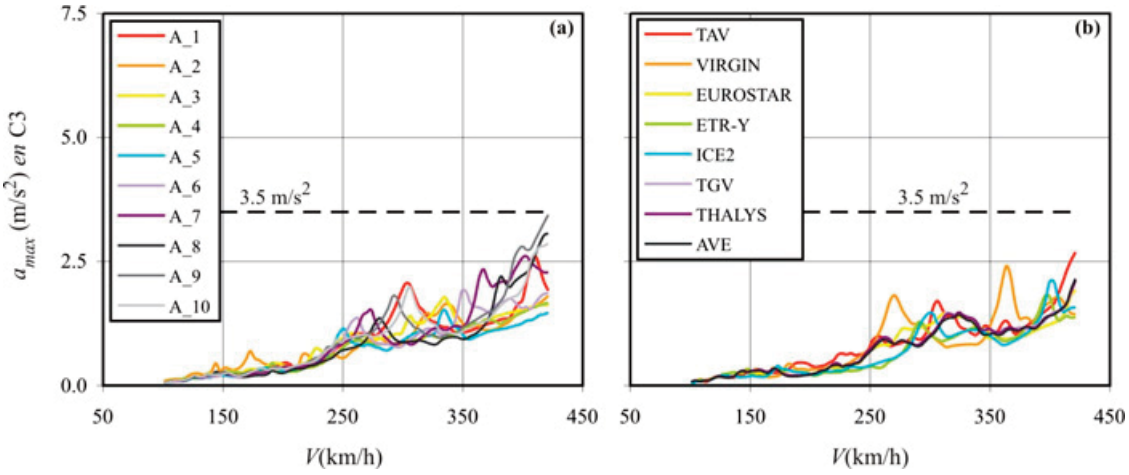



Figura 10. Aceleración vertical máxima en el punto C3 ante la circulación de (a) los trenes HSLM-A y (b) composiciones reales en el caso reacondicionado

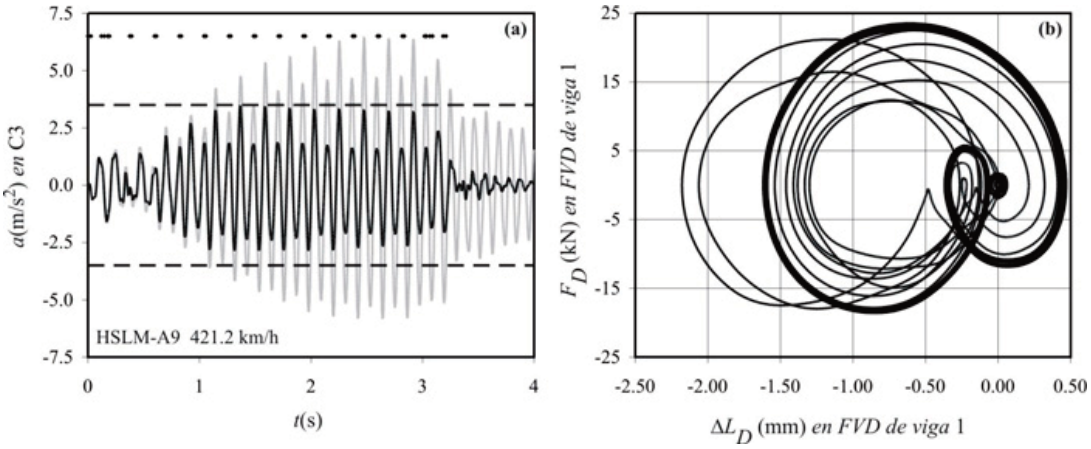



Figura 11. (a) Historia temporal de aceleraciones en C3 al paso del HSLM-A9 a 421.2 km/h antes y después del reacondicionamiento. • Instante de entrada de la rueda más excéntrica de cada eje de la composición. (b) Diagrama de histéresis en el FVD conectado a la viga 1 al paso del HSLM-A9 a 421.2 km/h

En cuanto a la máxima fuerza axial a la que se ve sometido el amortiguador más castigado cabe decir que alcanza 23.5 kN. Este valor se encuentra muy por debajo de la capacidad de los amortiguadores existentes hoy en día en el mercado que serían adecuados para la aplicación que se plantea, y también de la resistencia a punzonamiento de la losa de reparto. En cuanto a los esfuerzos que deben soportar las vigas auxiliares, su valor máximo alcanza 10.6 MPa, muy por debajo de la tensión máxima admisible en aceros comerciales. Este hecho es esperable debido a que los requisitos de frecuencia que deben cumplir las vigas auxiliares para reducir de forma efectiva la respuesta del tablero, dan lugar a diseños muy sobredimensionados desde el punto de vista puramente resistente.

Por último se ha comparado el coste del reacondicionamiento con el de la sustitución del tablero. Inicialmente se consideró también la posibilidad de recrecer el tablero con vistas a rigidizarlo y, de ese modo, aumentar su frecuencia en la medida necesaria o bien disminuir su aceleración máxima hasta un nivel admisible. No obstante se comprobó que dicho recrecido era inviable por ser necesario un incremento

del espesor de la losa superior a los 40 cm. Se pueden comprobar detalles de esta valoración en el Informe Técnico final del Proyecto del Investigación 80021/A04 [10]. El reacondicionamiento mediante FVD en el caso del puente Arroyo Bracea II supondría un ahorro del 34% con respecto al coste de sustitución del tablero (165,876 € frente a 251,798 €) en caso de que el reacondicionamiento se lleve a cabo empleando las vigas auxiliares metálicas propuestas. Si en vez de éstas, se instalaran vigas pretensadas el ahorro ascendería a un 71% (72,886 € frente a 251,798 €).

## 5. Conclusiones

Frente a soluciones tradicionales para mejorar el comportamiento dinámico de puentes de ferrocarril existentes ante nuevos requerimientos de tráfico, como un posible recrecido de la losa o la sustitución del tablero, se plantea la alternativa de aumentar externamente el nivel de amortiguamiento mediante el reacondicionamiento con amortiguadores fluido-viscosos. Se ha propuesto una configuración concreta, que transforma el movimiento vertical de la losa en movimiento relativo entre extremos de los dispositivos, consiguiendo de este modo disipar energía y atenuar en gran medida la respuesta resonante.

Las oscilaciones verticales que aparecen en puentes de luces medias-cortas, simplemente apoyados ante la circulación de composiciones ferroviarias, pueden ser reducidas significativamente mediante el sistema de reacondicionamiento propuesto. Es posible reducir niveles de aceleración vertical considerablemente elevados a valores admisibles, sin superar la capacidad de los FVD comerciales, los esfuerzos máximos admisibles en las vigas auxiliares, ni agotar la resistencia a punzonamiento de la losa de reparto.

La solución propuesta podría ser idónea en estructuras existentes que, ante nuevos requerimientos de tráfico, experimentaran un comportamiento dinámico deficiente, resultando en muchos casos más económica que una posible rigidización o sustitución del tablero, especialmente si se tienen en cuenta los costes asociados al cierre de línea que necesariamente contraen las soluciones clásicas. Asimismo este sistema podría dar solución al problema de niveles de amortiguamiento estructural insuficientes detectados en puentes nuevos durante la prueba de carga previa a su puesta en servicio.

## REFERENCIAS

[1] Ministerio de Obras Públicas y Transportes, *Instrucción relativa a las acciones a considerar en el proyecto de puentes de ferrocarril*. Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 1975.

[2] European Rail Research Institute, *PontsRails pour vitesses > 200 km/h. Rapport final*. ERRI D-214/RP9, 2000.

[3] Martínez-Rodrigo M.D., *Atenuación de vibraciones resonantes en puentes de ferrocarril de Alta Velocidad mediante amortiguadores fluido-viscosos*. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, 2009.

[4] Aida T., Green R., Hosogi Y., *Dynamic behaviour of railway bridges under unsprung masses of a multi-vehicle train*. Journal of Sound and Vibration 142(2), 245-260, 1990.

[5] Wu Y.S., Yang Y.B., Yau J.D., *Three-dimensional analysis of train-rail-bridge interaction problems*. Vehicle System Dynamics 36(1), 1-35, 2001.

[6] Ministerio de Fomento, *Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de ferrocarril* (IAPF-07). Ministerio de Fomento, 2007.

[7] Martínez-Rodrigo M.D., Lavado J., Museros P., *Dynamic performance of existing high-speed railway bridges under resonant conditions retrofitted with fluid viscous dampers*. Engineering Structures 32, 808-828, 2010.

[8] European Committee for Standardisation (CEN), *Eurocode 1: Actions on structures. Part 2: Traffic loads on bridges*, Final Draft prEN 1991-2 (pre-European Standard), 2002.

[9] Martínez-Rodrigo M.D., Museros P., *Optimal design of passive viscous dampers for controlling the resonant response of orthotropic plates under high-speed moving loads*. Journal of Sound and Vibration, In press (doi:10.1016/j.jsv.2010.10.017), 2010.

[10] Museros P., Martínez-Rodrigo M.D., Moliner E., Lavado J., Nasarre J., Castillo-Linares A., *Elementos de disipación pasiva aplicados al reacondicionamiento y al proyecto de puentes de ferrocarril: Estudio de viabilidad técnica y económica, y desarrollo de modelos analíticos de cálculo*. Informe final del Proyecto financiado por el Ministerio de Fomento 80021/A04, 2008 (no publicado).

FUNDACIÓN DE LOS FERROCARRILES ESPAÑOLES
www.ffe.es

vía libre TÉCNICA
INVESTIGACIÓN FERROVIARIA
www.tecnica-vialibre.es

# Sistema de acceso a trenes en líneas interurbanas con andenes a diferentes alturas

## *Accesing trains in interurban lines with platformas at different heights*

Alberto Barreiro Martínez

**Resumen**

El presente artículo analiza la situación actual de los ferrocarriles españoles interurbanos en materia de accesibilidad y capacidades cognitivas. Se identifican las principales necesidades de los usuarios y se propone un diseño de mecanismo de apertura de puerta para material rodante, buscando la universalización de las condiciones de accesibilidad y la mejora del proceso de explotación ferroviario. El diseño del sistema de apertura de puertas propuesto aporta notables mejorías en materia de accesibilidad a todos los usuarios del transporte ferroviario interurbano, obteniendo una importante reducción en los tiempos de embarque para personas de movilidad reducida, independientemente de sus limitaciones.

La solución propuesta resuelve la gran mayoría de los problemas de accesibilidad de los ferrocarriles interurbanos de alta velocidad, cumpliendo las restricciones derivadas de la explotación de este tipo de trenes en cuestión de funcionalidad, confort, coste y mantenimiento.

La constante evolución del transporte ferroviario ha dado lugar a la actual adopción de diferentes andenes y plataformas de coches para el transporte de viajeros, del mismo modo que las exigencias impuestas por la orografía y los entornos urbanos han definido los radios de curvatura de las líneas y condicionado las longitudes de los andenes. Por tanto, son varios los frentes de posible actuación en materia de accesibilidad en el transporte ferroviario.

Palabras clave: Movilidad, accesibilidad, funcionalidad, interoperabilidad.

**Abstract**

*This article reviews the current state of the Spanish railways in terms of interurban accessibility and cognitive abilities. Identifies key user requirements and proposes a design of door opening mechanism for rolling stock, looking for the universalisation of the accessibility conditions and improvement of railway exploitation process. The design of the proposed door opening provides remarkable improvements in accessibility to all users of interurban rail, resulting in a significant reduction in boarding times for disabled people, regardless of their limitations.*

*The proposed solution solves most of the problems of accessibility in high-speed interurban rail, within the restrictions resulting from the operation of these trains in terms of functionality, comfort, cost and maintenance.*

*The continuous evolution of rail transport has led to the current adoption of different platforms and car platforms for passenger transport, the same way that the requirements imposed by the terrain and urban environments have defined the curvature radius of the lines and conditioned the lengths of platforms. Therefore, there are several possible fronts of action in relation to rail accessibility.*

*keywords: Movility, accesibility, functionality, interoperability.*

## 1. Accesibilidad y transporte ferroviario

El análisis de compatibilidad plataforma-vehículo, en función de los radios de curvatura, diferencia de cotas y distancias de separación, ponen de manifiesto la necesidad de eliminar barreras que de otro modo resultarían insalvables para una parte importante de usuarios del servicio ferroviario. El objetivo a perseguir es el acceso de usuarios a recursos y bienes en condiciones de equidad, y ello ha llevado en nuestro país tanto al administrador de la infraestructura (ADIF) como al operador (RENFE) a la implementación de ambiciosos planes de accesibilidad en sintonía con lo dispuesto en el marco normativo vigente a nivel Europeo.

Las actuaciones llevadas a cabo se engloban en dos grandes grupos; modificaciones del material rodante y empleo de servicios y equipos auxiliares. El primero ha dado lugar a la aparición de los primeros mecanismos de plataforma elevadora embarcada en trenes de media distancia; y en el segundo caso a la implantación del servicio Atendo, que sin duda han significado un gran avance en materia de accesibilidad universal para el transporte ferroviario.

El sistema de apertura propuesto en el presente artículo amplía la cobertura de necesidades de los usuarios frente a las limitaciones físicas, auditivas, visuales, lingüísticas e intelectuales, en el ámbito de los ferrocarriles interurbanos para la totalidad de las estaciones, sin necesidad de compra anticipada del billete, y con independencia de las diferencias de cota entre plataforma de coche y andén y del país de aplicación de la Unión Europea.

## 2. PMR, capacidades y necesidades

Cada necesidad del viajero puede quedar cubierta por un equipo, y la implantación de estos como parte de un único sistema dota a este último de la capacidad de dotar al usuario de plena autonomía. En la tabla 1.1 se ha recogido la relación entre los equipos y el tipo de necesidad que cubren.

| | | EQUIPO DEMANDADO | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Rampa | Plataforma | Teleindicador | Megafonía | Iluminación | Detección |
| DISCAPACIDAD | Sensoriales | * | * | * | * | * | * |
| | Comunicación | | | * | * | * | * |
| | Motrices | * | * | | | * | * |
| | Mentales | * | * | * | * | * | * |

**Tabla 1.1.** Relación equipo-discapacidad.

Del mismo modo cada tipo de tren podrá ser acoplado a cada tipo de andén por medio de un sistema embarcado que permitirá salvar las barreras surgidas de las diferencias existentes, ver tabla 1.2.

| | | ALTURA ANDÉN | | |
|---|---|---|---|---|
| | | h= 550 mm. | h= 680 mm. | h= 760 mm. |
| ALTURA PLATAFORMA TREN | h= 760 mm. | Rampa / plataforma | Rampa / plataforma | No aplica |
| | h= 1065 mm. | Rampa / plataforma | Rampa / plataforma | Rampa / plataforma |
| | h= 1250 mm. | Rampa / plataforma | Rampa / plataforma | Rampa / plataforma |
| | h= 1260 mm. | Rampa / plataforma | Rampa / plataforma | Rampa / plataforma |
| | h= 1300 mm. | Rampa / plataforma | Rampa / plataforma | Rampa / plataforma |

**Tabla 1.2.** Equipos aplicables en función de la relación coche-andén.

Todos estos equipos también deben cubrir cuatro necesidades comunes al total de los usuarios del transporte por ferrocarril: autonomía, rapidez, seguridad y bajo coste.

## 3. Propuesta

Se trata de un sistema embarcado, polivalente y completamente automatizado. Cada usuario seleccionará en el momento del embarque y en función de las habilitaciones de que disponga, el sistema de apertura que crea más conveniente para acceder al coche con absoluta autonomía y recibiendo al mismo tiempo toda la información que necesaria vía megafonía y teleindicadores. Tanto los idiomas como los contenidos de la información ofrecida al viajero se particularizarán para cada coche en función de la descripción que el viajero haya hecho de sí mismo (idioma, procedencia, destino…) en el momento de la adquisición del billete, pudiendo crear su propio perfil, contribuyendo a la mejor organización de coches y pasajeros, evitando así aglomeraciones y comunicaciones innecesarias.

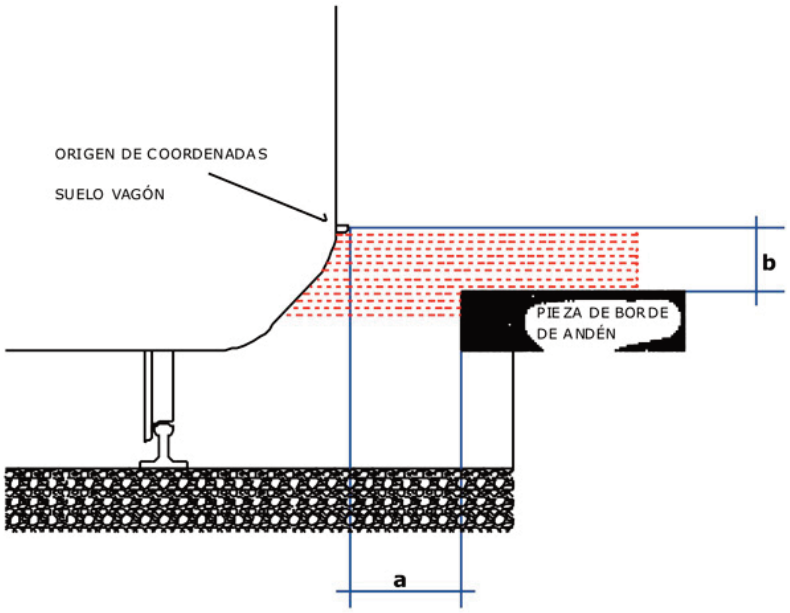
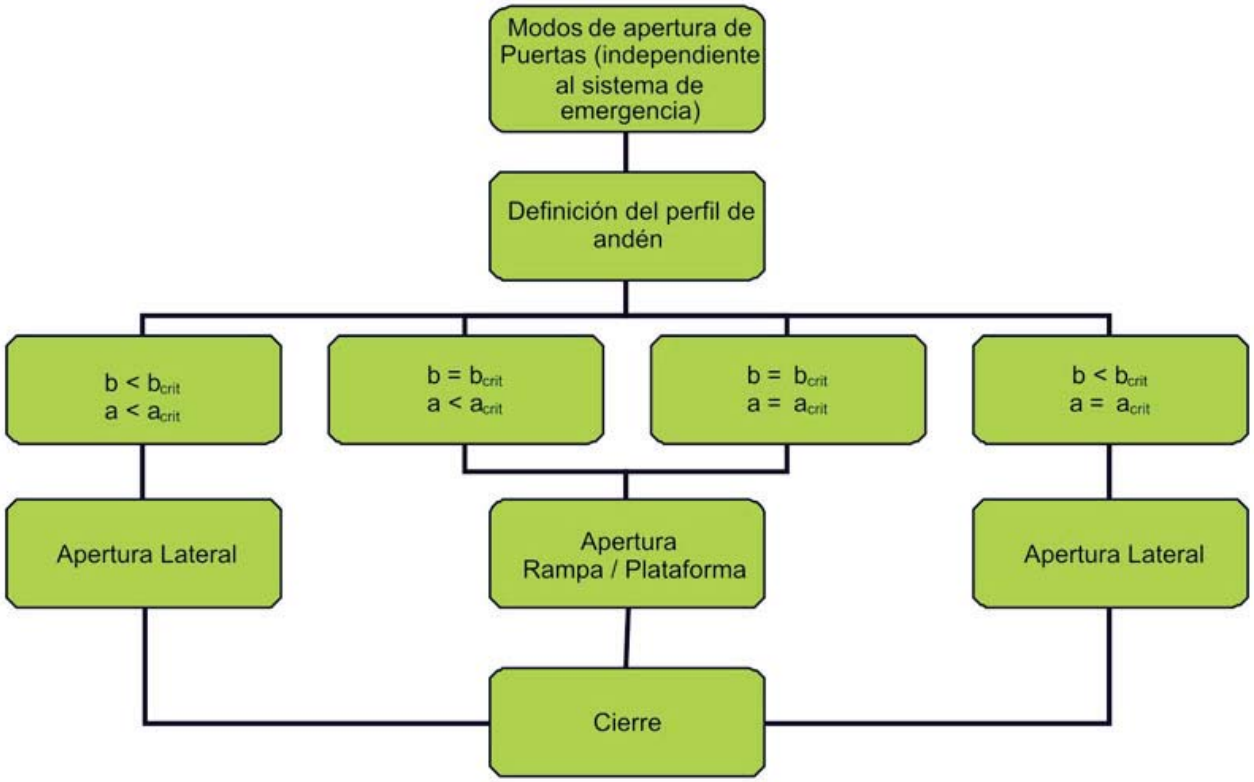



**Figura 1.1.** Generación de perfil de andén.

Tal y como se muestra en la figura 1.1 el sistema creará un perfil de andén en base al cual el sistema optará de forma autónoma por el mejor de los modos de apertura disponibles. Dicho perfil se generará empleando los datos tomados por los conjuntos de sensores y recogidos y procesados por el "plc" correspondiente, que a su vez actuará sobre los conjuntos hidráulicos y subsistemas de información.

Se ofrecerán tres tipos de apertura en condiciones normales más uno dedicado a situaciones de emergencia. En condiciones normales serán: apertura en rampa, apertura en plataforma y apertura lateral, cuya elección dependerá de la lógica reflejada en el esquema 1.1, donde se compararán los datos obtenidos por los sensores (perfil de andén y distancia y altura con respecto a la plataforma del coche) con las medidas críticas que en ningún caso superarán las dimensiones de la huella. En caso de emergencia, el sistema ejecutará el modo rampa alcanzando un grado de inclinación tal que permita su uso a modo de "tobogán" de evacuación disminuyendo la peligrosidad del descenso a cota de plataforma. La apertura será selectiva, pudiendo abrir únicamente las puertas seleccionadas en cabina. Los elementos de protección y seguridad tales como barandillas, zócalos, bandas fotoluminiscentes, iluminación sobre rampa/plataforma y superficie antideslizante contribuyen notablemente a minimizar el riesgo de accidente.




**Esquema 1.1.** Obtención de modo de apertura.

El confort en el embarque no dependerá del radio de curvatura de la vía, ni de la posición de la puerta en el coche, ni de la altura de andén, salvando en modo plataforma la altura requerida por el usuario y en modo rampa y con la pendiente máxima permitida una altura de hasta 16 centímetros. La distancia entre la rampa/plataforma y el primer obstáculo en andén es la suficiente para poder realizar las maniobras que resulten necesarias con sillas de ruedas, maletas, etc.

En las figuras 1.2, 1.3 y 1.4 aparecen esquematizados los modos de apertura en condiciones normales en función de la diferencia de cota y distancia de coche a andén. En la figura 1.5 se recoge el detalle de la reubicación e incorporación de los equipos de megafonía, iluminación, teleindicadores y mecanismo de apertura de la hoja superior. Esta nueva disposición oculta el cableado existente y recupera un espacio anteriormente empleado íntegramente para la ubicación del mecanismo superior de apertura.

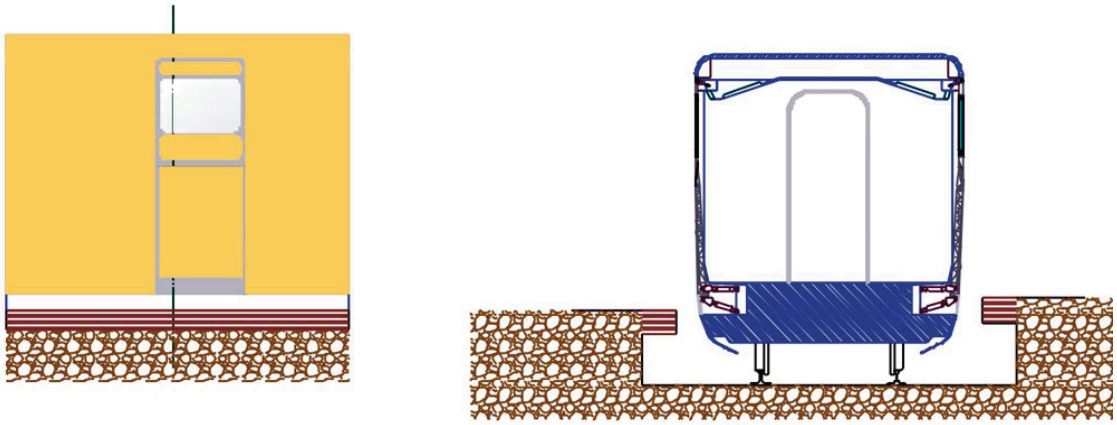


**Figura 1.2.** Sección de coche con puertas cerradas y andenes a dos alturas.

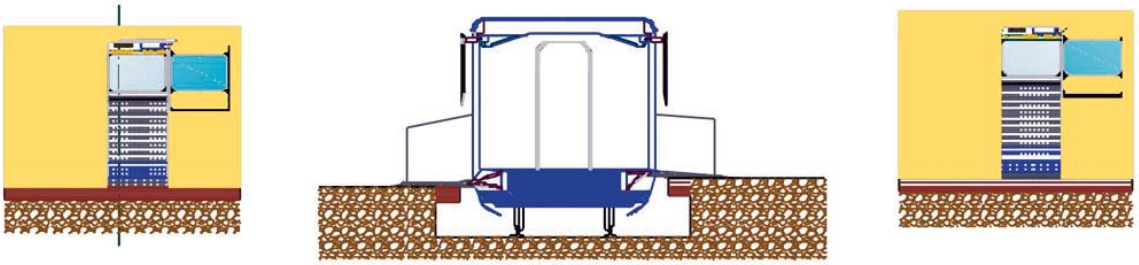


**Figura 1.3**. Sección de coche con apertura en plataforma a izquierda y rampa a derecha.

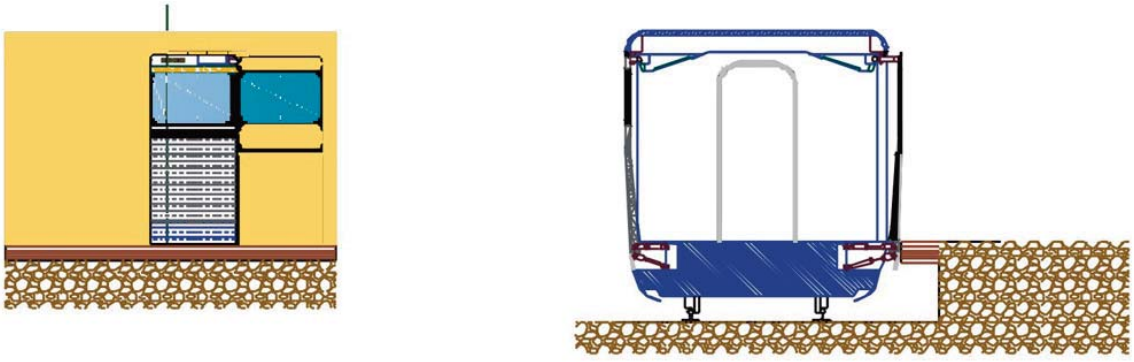


**Figura 1.4.** Sección de coche con apertura lateral.

**Figura 1.5**. Esquema de disposición de equipos y sistemas de información sobre puerta de coche.

## 4. Beneficios y costes de implantación

El sistema de apertura basado en dos hojas en disposición vertical y de apertura autónoma e independiente ofrece claras mejorías que agruparemos en los campos de: Seguridad, Rentabilidad y Funcionalidad.

El hecho de eliminar en la práctica totalidad de las situaciones, situaciones peligrosas tales como las derivadas de la separación entre coche y andén ó los escalones, al tiempo que se incorpora un mecanismo facilitador de la evacuación en caso de emergencia fuera de estación, confiere al sistema un mayor grado de seguridad con respecto a la situación actual.

Su implantación supondría un importante ahorro en sistemas y servicios auxiliares necesarios en la actualidad para alcanzar los requerimientos mínimos en materia de accesibilidad. Siendo el coste por unidad poco representativo frente al coste de fabricación de una unidad nueva de coche, y teniendo en cuenta que al no ser montado en la totalidad de las puertas de una composición el coste de implantación resulta asumible, al igual que sucede en el caso de las modificaciones superiores al 30% del valor patrimonial. En el apartado de los costes de operación y mantenimiento, los consumos energéticos previstos quedarán cubiertos gracias a la recuperación energética producida en la frenada y el mantenimiento no presenta grandes diferencias con respecto al actual.

El servicio sería plenamente operativo las veinticuatro horas al día, los trescientos sesenta y cinco días al año en todas las estaciones de la red. Resolverá la práctica totalidad de las casuísticas posibles y ofrecerá absoluta autonomía al pasajero en igualdad de condiciones de acceso al servicio que el resto de viajeros, ofreciendo también una considerable mejora de las condiciones de seguridad en evacuación sin andén. El sistema elimina la necesidad de ocupación de espacio para los equipos y servicios auxiliares de movilidad tanto dentro de los coches como en las estaciones. Los sistemas de información tanto acústica como visual ofrecerán toda la información necesaria en el acceso al tren. Se agilizaría la operación de carga de los servicios de catering.

El sistema propuesto supondría una importante mejora en materia de accesibilidad y seguridad, y un ahorro en coste de servicios de atención al viajero al tiempo que mejora de las condiciones de explotación.

## Bibliografía

[1] UNE-EN 280:2002+A2 Plataformas elevadoras móviles de personal. Cálculos de diseño. Criterios de estabilidad. Construcción. Seguridad. Exámenes y ensayos.

[2] UNE_EN 14752, de mayo de 2007. Aplicaciones ferroviarias. Sistemas de puerta de acceso para material rodante.

[3] UNE-EN 1756-2:2005+A1, de febrero de 2010. Compuertas elevadoras. Plataformas elevadoras para montaje sobre vehículos rodantes. Requisitos de seguridad. Parte 2: Plataformas elevadoras para pasajeros.

[4] REAL DECRETO 1544/2007, de 23 de noviembre, por el que se regulan las condiciones básicas de accesibilidad y no discriminación para acceso y utilización de los modos de transporte para personas con discapacidad.

[5] RD 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización de los trabajadores de los equipos de trabajo

[6] RD 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.

[7] EN 12663. Aplicaciones ferroviarias. Requisitos de dimensionamiento de las estructuras de los vehículos ferroviarios.

[8] EN 13272. Aplicaciones ferroviarias. Iluminación eléctrica para el material rodante de sistemas de transporte público.

[9] DECISIÓN DE LA COMISIÓN de 21 de diciembre de 2007 sobre la especificación técnica de interoperabilidad relativa a las «personas de movilidad reducida» en los sistemas ferroviarios transeuropeos convencional y de alta velocidad.

FUNDACIÓN DE LOS FERROCARRILES ESPAÑOLES
www.ffe.es

vía libre TÉCNICA
INVESTIGACIÓN FERROVIARIA
www.tecnica-vialibre.es

# Nuevo sistema de señalización ferroviario

## *New railway signalling system*

Alicia Larena(*), Andrés Manglano

ETS de Ingenieros Industriales
C/José Gutierrez Abascal, 2 – 28006 Madrid

**Resumen**

La utilización de materiales inteligentes para mejorar la seguridad y el control de sistemas de transporte ferroviario puede ser una importante innovación al ser necesaria una respuesta rápida y fiable, además de un sistema no demasiado complejo para evitar fallos.

El presente trabajo propone una instalación que, mediante dispositivos de material inteligente, transmite información codificada sobre el estado de distintos variables del entorno para garantizar la seguridad de las circulaciones.

Palabras clave: Señalización ferroviaria, seguridad y control.

**Abstract**

*The use of smart materials to improve safety and control of rail transport systems can be an important innovation due to the fast and reliable response which is needed to avoid failure.*

*This paper proposes an installation by smart material devices which transmit coded information on the status of environment variables to ensure the safety of passing trains.*

*keywords: railway signalling, safety and control.*

* alicia.larena@upm.es

## 1. Introducción

La utilización de materiales inteligentes para mejorar la seguridad y el control de sistemas de transporte ferroviario puede ser una importante innovación al ser necesaria una respuesta rápida y fiable, además de un sistema no demasiado complejo para evitar fallos. Dicho sistema debe de poder ser codificado para poder transmitir infinidad de mensajes desde la central de control al tren o viceversa.

El siguiente artículo trata de expresar de una forma sencilla y completa el funcionamiento del sistema, los materiales utilizados, las posibles aplicaciones del mismo y las principales ventajas que proporciona con respecto a los sistemas actuales (ref. 1 a 7).

## 2. Descripción del sistema

El objeto de nuestro trabajo era obtener una instalación que recorriera toda la red de ferrocarriles o por lo menos un tramo o línea del mismo, de tal forma que mediante unos dispositivos de material inteligente se transmita información codificada y que la locomotora pudiera interpretar dicha información y procesarla de manera inteligente dando aviso al maquinista o, incluso, actuando ella sola. También es posible diseñarlo de forma que la propia locomotora se comunique con otros trenes o con la central de una forma retroactiva.

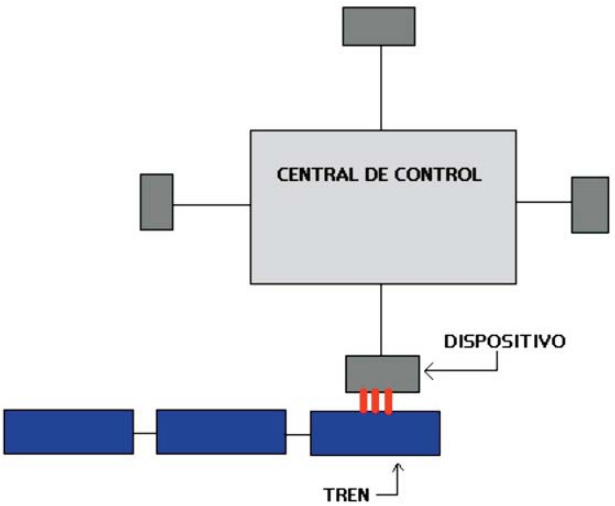



**Figura 1**. Sistema global de control

El mecanismo consiste en instalar en la red de ferrocarril conductos eléctricos, los cuales estarán unidos a un ordenador central que será el encargado de trasmitir la información y de codificarla, de tal forma que con solo dar un clic podremos transmitir un código a cualquiera de los trenes.

Dicho ordenador central, también podría recibir información de los trenes para saber su estado, su posición o cualquier incidencia y por tanto avisar a los demás trenes para evitar colisiones o accidentes.

La transmisión de los mensajes desde la locomotora al ordenador central y viceversa es la esencia del sistema puesto que mediante la utilización de un material barato que forma parte de las mayorías de las pinturas que utilizamos en fachadas, coches, decoración, etc… diseñamos un dispositivo que nos permite realizar nuestro objetivo de una manera óptima.

El diseño es muy sencillo, lo cual ahorrará mucho tiempo de instalación además de poder subsanar averías de una forma rápida y sencilla.

Una vez ha llegado la información al tren, la transmitirá mediante un cableado al ordenador de a bordo del tren y se convertirá en una señal luminico-acústica que avisará al conductor o en una señal mecánica que accionará los mecanismos que sean necesarios en el momento como el freno, el acelerador o los distintos dispositivos de la locomotora para el caso de conducción sin conductor.

A parte de este diseño, precisaremos un diseño de software que nos proporcione un entorno cómodo de trabajo para el controlador y además tenga en la base de datos todos los posibles códigos y sea capaz de enviar la señal.

Dicho software, también se aplicará en las computadoras de los trenes de forma que podamos interrelacionar la información que recibimos y que mandamos con las actuaciones del maquinista y del sistema automático de control.

## 3. Materiales

Nuestro sistema dispondrá de un soporte que puede ser una viga de acero de construcción cuyo precio es muy económico y solamente tiene como función sostener el resto del dispositivo.

La parte superior de dicha viga estará formada por una carcasa de acero con una zona frontal de un material transparente, dicho material debe de ser un material que permita el paso de la luz en amplio espectro y que a su vez sea impermeable y resistente, por ejemplo, metacrilato.

Para el dispositivo propiamente dicho utilizaremos una serie de cableados eléctricos de cobre o circuito impreso similares a los de los microchips y una capa de pintura inteligente electrocrómica blanca con dióxido de titanio.

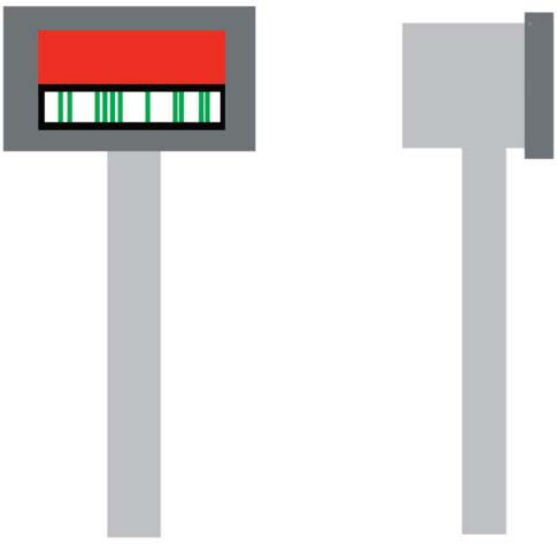


**Figura 2**. Esquema del dispositivo

Los materiales utilizados no elevan la cuantía del sistema, lo cual hace que el sistema sea muy competitivo desde el punto de vista económico con respecto a los sistemas actuales.

También el diseño hace que sea un sistema robusto y duradero que puede durar varios años instalado sin necesidad de que se tengan que reemplazar piezas o que los técnicos tengan que estarlos revisando con periodicidad.

A parte tiene la ventaja que estos materiales tienen la característica de que si por algún motivo se estropean, se puede detectar a simple vista y por tanto cualquier persona que valla en el tren estando un poco atento puede avisar del fallo.

## 4. Aplicaciones concretas

El sistema indicado en este artículo tiene una infinidad de aplicaciones a distintos niveles tanto de seguridad, como de control y automatización. Hemos seleccionado aquí algunos de ellos:

El sistema permite indicar al momento una cierta incidencia en una vía para que el maquinista de forma instantánea pueda reaccionar ante la misma así como para que la central de control sepa de forma directa lo que está ocurriendo en un tren o incluso que le pase mediciones de temperatura de frenos u otro tipo de parámetro que pueda comprometer la seguridad o en el transporte de mercancías peligrosas o inflamables, puede avisar de problemas internos del vagón como por ejemplo una agresión o desfallecimiento cardiaco de un pasajero o del propio conductor.

El sistema permite controlar la velocidad y posición del tren en todo momento y puede servir de forma eficaz para reducir los problemas de alcances o de retrasos horarios en las redes ferroviarias.

**Figura 3**. Colisión de trenes

Nuestro sistema es de gran uso en las aplicaciones actuales de trenes sin conductor, en las cuales una máquina que se instala en la cabina con un determinado software y es la encargada de gestionar todas las acciones de arranque, conducción, parada, apertura de puertas, u otros. Dicha máquina no debe de ir de forma autónoma puesto que se pueden producir fallos o situaciones no programadas que puedan comprometer la seguridad o la sincronía del flujo de trenes. Para evitar estos problemas, nuestro sistema sirve de nexo para unir de forma retroactiva la máquina que controla el tren y la central de control.

Aunque se puede utilizar para control en trenes sin conductor, este no es un impedimento para que se pueda utilizar de forma complementaria para trenes con maquinista, porque el sistema ayuda al maquinista y le alerta e incluso actúa ante fallos humanos de tal forma que mejora la vida del maquinista y su seguridad, por tanto, este sistema es un complemento muy útil para cualquier tipo de red de ferrocarril, sea metropolitano, nacional e internacional.

El sistema presenta innumerables ventajas con respecto a los sistemas actuales de control, seguridad y automatización de trenes.

Los sistemas actuales se basan en sistemas como el sistema de tren - tierra para comunicarse con la central por medio de telefónico o sistemas de semáforos o sistemas basados en controlar la posición, velocidad y alcances entre trenes mediante inversión del sentido de la corriente eléctrica.

Nuestro sistema permite controlar de forma directa la posición, velocidad y parámetros del tren y con una inversión sencilla. También mejora las comunicaciones central- tren de forma que se pueden intercambiar mensajes de forma codificada.

También nuestro sistema cubre otra serie de aplicaciones que incluyen el control de mercancías peligrosas o el control de incidentes de pasajeros, que en los sistemas actuales no tienen cabida. Nuestro sistema permite controlar en línea presión, temperatura y otras variables de depósitos a presión que en unas determinadas condiciones pueden ocasionar graves accidentes, imaginemos un tren que transporta etileno que por diversos motivos sufre desperfectos en el aislamiento, en este caso podría producirse un aumento súbito de la temperatura y presión del tanque pudiéndose provocar una explosión que puede ocasionar graves daños materiales y personales (como ocurrió en el camping de los alfaques). Entiéndase éste como solo uno de los ejemplos que pueden ocurrir y que han ocurrido que nuestra tecnología puede evitar.

**Bibliografía**

[1] Alicia Larena, Andrés Manglano. "Dispositivo y Sistema electrocrómico para señalización" Patente, nº registro: P201031995.

[2] A.Larena, R. Rodríguez-Vera.- "Smart materials: overview and a proposal for architecture and construction".- Internacional Review of Chemical Engineering, 1(5), 445-452, 2009.

[3] A.Larena, A.Bernabeu, J.Bernabeu et alter.- "Materiales e Inteligencia en Arquitectura" Edita ETSII.UPM, 2009.

[4] A.Larena.- "Materiales, productos y sistemas inteligentes en Ingeniería" Edita ETSII.UPM, 2008.

[5] Raegan Lynn Johnson, "Characterization of piezoelectric ZnO thin films and the fabrication of piezoelectric microcantilevers", Electrical Engineering, Iowa State University, Ames, Iowa, 2005, pag 6-7.

[6] Erika G.Tuesta y Abel Gutarra"Aplicaciones electrocrómicas y fotocatalíticas del dióxido de titanio". REVCIUNI 8(2), 32, 2004.

[7] C. G. Granqvist, Handbook of Inorganic Electrochromic Materials, Elsevier, 1995, pag 649.

FUNDACIÓN DE LOS FERROCARRILES ESPAÑOLES
www.ffe.es

vía libre TÉCNICA
INVESTIGACIÓN FERROVIARIA
www.tecnica-vialibre.es

# Sistema de seguridad ferroviario para personas invidentes y con movilidad reducida

## *Railway safety systems for blind and mobility impairment people*

Alicia Larena(*), Andrés Manglano

ETS de Ingenieros Industriales
C/José Gutierrez Abascal, 2 – 28006 Madrid

**Resumen**

La aplicación de la tecnología a la seguridad de las personas en entornos ferroviarios cobra una especial importancia en aquéllas con deficiencias visuales o dificultades de movilidad, Así, operaciones tan aparentemente sencillas como la aproximación de los viajeros al andén o la entrada y salida de los vagones pueden constituir un serio obstáculo para estas personas.

El presente artículo presenta un dispositivo de seguridad que, instalado en los bastones de las personas invidentes o en las sillas de ruedas de aquellas con movilidad reducida, les transmite información puntual para garantizar las eguridad de sus movimientos.

Palabras clave: Personas discapacitadas, seguridad ferroviaria, control.

**Abstract**

*The technology applications for safety of people in railway environments are specially important for those with mobility impairments. Thus, really simple operations as the approaching of passengers to the plattform or the entrance and exit of the trains can be a serious inconvenience for these people.*

*This article presents a safety device installed in the sticks for the blind people or in wheelchairs of those with reduced mobility which transmit timely information to ensure the safety of their movements.*

*keywords: Disabled people, railway safety, control.*

* alicia.larena@upm.es

## 1. Introducción

En la aplicación y uso de todas las tecnologías a nuestro alcance para la seguridad de personas han de tener cabida especial las que permitan velar por las personas más frágiles de la sociedad como son las personas invidentes o personas con dificultades de movilidad.

El sistema de seguridad que proponemos tiene como finalidad garantizar la seguridad de estas personas con limitaciones cuando se acerquen a zonas que puedan poner en peligro su integridad física como pueden ser:

-Aproximaciones al andén.

-Entrada y salida de vagones de tren o metro.

El dispositivo de seguridad de nuestro sistema estará insertado en los bastones (personas invidentes) o silla de ruedas (personas con movilidad reducida). El receptor de dicho dispositivo estará en el tren y actuará por medio de materiales inteligentes logrando la interacción.

## 2. Materiales

Los materiales utilizados serán dispositivos electrocrómicos para la interacción con el vehículo o materiales electromagneto activos (ref. 1 a 5)

-Los materiales electrocrómicos utilizados son los mismos que utilizamos para las aplicaciones ferroviarias y de vehículos terrestres.

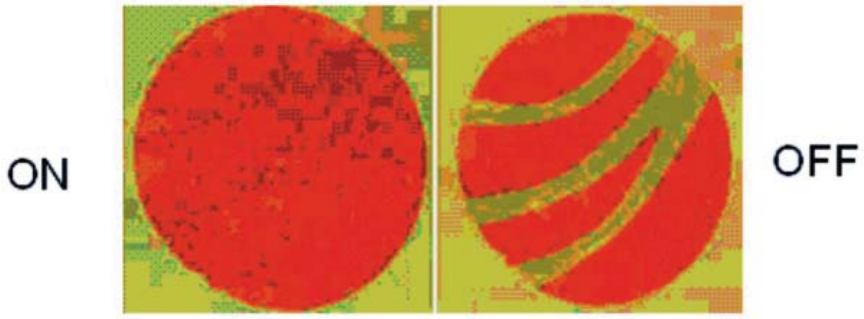



**Figura 1**. Material electrocrómico

-Los materiales electromagneto activos pueden ser cualquier clase de material ferromagnético que en presencia de un campo eléctrico, inducen un campo magnético produciendo lo que se denomina un electroimán, cuyo campo magnético inducido es proporcional al campo eléctrico (tensión e intensidad) que se le aplica, de tal forma que podemos utilizar esta propiedad para detectar la presencia de dicho electroimán en las cercanias de un paso de peatones o del andén.

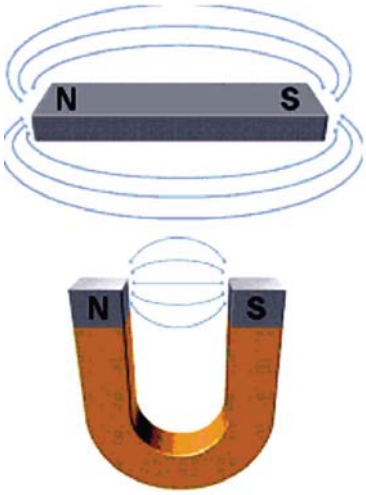



**Figura 2**. Electroimán

-También aplicaremos dispositivos fotoluminescentes (reflectantes) para mejorar la visibilidad de estas personas, estos materiales consisten en pinturas o polímeros que contienen en su composición materiales refractantes de la luz como pequeños cristales no metálicos que al ser incidida la luz sobre ellos, reflejan parte de la misma con la misma intensidad o intensidad menor al darse el fenómeno de reflexión total dentro de dichos cristales (como ocurre con los cristales de circonitas).

**Figura 3**. Reflectantes

-Una posible ampliación del sistema también es el uso de rfid para completar este mecanismo.

## 3. Descripción

El dispositivo de los bastones o sillas de ruedas consistirá en una combinación de materiales inteligentes que contribuyan a la seguridad de personas con minusvalías. Consistirá en tres acciones en una:

1ª **Bandas fotoluminescentes:**

Consiste en unas bandas de material reflectante que recubren al bastón, similares a las de los chalecos de emergencia que se utilizan para mejorar la visibilidad de las personas en casos de accidente de tráfico.

2ª **Dispositivo electrocrómico:**

Utilizando un aparato adherido a su bastón son capaces de comunicarse con el tren/coche directamente, a través de unos receptores en los mismos.

3ª **Materiales electromagneto-activos:**

Poniendo en la punta del bastón un material que emita un campo magnético en presencia de una corriente eléctrica, de tal forma que al pasar la persona invidente por unas láminas dispuestas en el asfalto o en el andén, su bastón emita un campo magnético de magnitud proporcional a la corriente eléctrica que atraviesa la lámina y que dicho campo sea recibido por un receptor en las cercanias.

También esta inducción provocará un pitido si el invidente se hacer demasiado a la vía.

Con estas tres acciones el conductor se percatará de la presencia de la persona por la detección de:

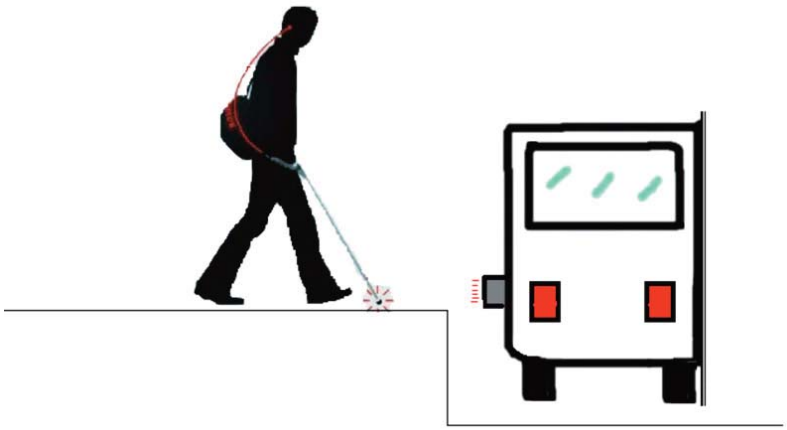


**Figura 4**. Detección de persona por el sensor del vehículo

Las *bandas fotoluminescentes* provocan la emisión de luz cuando son excitadas por la propia luz del ambiente o por la luz de los faros del coche/tren, de forma que conseguimos que se resalte la presencia de una persona con movilidad reducida y que el conductor se dé cuenta de su presencia por sus propios ojos.

El *dispositivo electrocrómico* permite que si existe un receptor en la parte frontal del coche o en la parte lateral del tren, lea la información del bastón avisando al conductor por megafonía o frenando el vehículo si va a alta velocidad.

También permite la activación de mecanismos de ayuda para estas personas incorporados en el tren para ayudarles a subir al vagón como pueden ser rampas para personas minusválidas o indicadores sonoros de localización de la ubicación de las puertas para personas invidentes.

Así conseguimos que de forma automática se activen estos sistemas sin que el conductor tenga que estar atento e incluso en trenes sin conductor.

Los *materiales electromagneto- activos* pueden conseguir que al existir una persona en las cercanías del paso de peatones o del andén, se envíe una señal magnética inequívoca a un receptor cercano, el cual a su vez, avisará a una serie de dispositivos electrocrómicos presentes a la entrada de la estación para que interactúen con el receptor presente en el tren variando sus características de velocidad o la activación de mecanismos de ayuda a minusválidos.

## 4. Aplicaciones directas

Nuestro sistema actuará avisando a la persona ciega de la presencia en las vías o en las cercanías de trenes y metros o avisándola de que llega el tren a la estación.

También estos dispositivos pueden ser retroactivos y permiten reducir la velocidad de los coches que se acercaran al andén reduciendo el peligro de atropello por caída a las vías e incluso frenando el coche en caso de emergencia.

Para la seguridad en el tren puede actuar como si se tratase de uno de los múltiples códigos que permiten intercambiar información con el tren desencadenando todos los mecanismos necesarios para la entrada de la persona minusválida.

A parte estos mecanismos se pueden acoplar con otros para mejorar la seguridad de estas personas con dificultades de movilidad en los accesos a las vías.

Las ventajas de estos sistemas de seguridad son considerables porque en la actualidad no existen sistemas de estas características para ayudar a estas personas.

En las redes actuales de metro y cercanías se ha hecho hincapié hasta ahora en mejorar la accesibilidad de estas personas al medio de transporte, pero en ningún momento se ha preocupado por la seguridad de los mismos.

Hoy en día los únicos sistemas que se preocupan de la persona invidente consisten en una serie de baldosas en las cercanías del escalón de caída a las vías que en caso de que la persona invidente se acerque producen que se percate de que está al borde, nuestro sistema mejora al actual puesto que permite que la persona se percate por otro sentido a parte del tacto del bastón que es uno de los sentidos mas desarrollados por los invidentes, el oido.

En el caso de personas con movilidad reducida nuestro sistema les puede ayudar bloqueando las ruedas de la silla de ruedas en las cercanías del escalón para evitar caídas.

Otro sistema que ayuda a estas personas es que existen unas señales sonoras en el vagón en las puertas que les guian hacia ellas. Nuestro sistema podría diseñarse para que en caso de que la persona invidente se encuentre en el andén se active con mayor potencia el silvido y en caso de que no halla ningún invidente no se llegara a activar innecesariamente.

Por otro lado, para la entrada por las puertas de personas inválidas nuestro sistema consigue que se puedan activar otros sistemas que permiten ayudar a estas personas como son las rampas y además la persona con minusvalía se puede comunicar con el conductor para que sepa que ha entrado dentro del tren de forma absoluta y que no tenga que ser el maquinista el que tenga que estar mirando si la persona ha entrado o no, arriesgándose a que se provoque algún fallo.

## Bibliografía

[1] A.Larena, R.Rodriguez-Vera.- "Smart materials: overview and a proposal for architecture and construction".- Internacional Review of Chemical Engineering, 1(5), 445-452, 2009.

[2] A.Larena, A.Bernabeu, J.Bernabeu et alter.- "Materiales e Inteligencia en Arquitectura" Edita ETSII.UPM, 2009.

[3] A.Larena.- "Materiales, productos y sistemas inteligentes en Ingeniería" Edita ETSII.UPM, 2008.

[4] Raegan Lynn Johnson, "Characterization of piezoelectric ZnO thin films and the fabrication of piezoelectric microcantilevers", Electrical Engineering, Iowa State University, Ames, Iowa, 2005, pag 6-7.

[5] Erika G. Tuesta y Abel Gutarra "Aplicaciones electrocrómicas y fotocatalíticas del dióxido de titanio". REVCIUNI 8(2), 32, 2004.

FUNDACIÓN DE LOS FERROCARRILES ESPAÑOLES
www.ffe.es

vía libre TÉCNICA
INVESTIGACIÓN FERROVIARIA
www.tecnica-vialibre.es

# Diseño e implementación de una red de comunicaciones ferroviaria de alta velocidad

## *Design and implementation of a telecommunications network high-speed rail*

Víctor Andrés Martín Moreno

**Resumen**

El artículo presenta el proceso de ingeniería y construcción para el despliegue de una red de comunicaciones ferroviarias en líneas de Alta Velocidad en España. La detección de necesidades y un óptimo diseño de ingeniería de red conforman la base de la primera fase de redacción del proyecto. El desarrollo de una arquitectura de red orientada a servicios, y un fuerte conocimiento en gestión, planificación y coordinación, constituyen los fundamentos de la fase de obra y puesta en servicio. El artículo se complementa con la descripción de la infraestructura típica de telecomunicaciones en este tipo de líneas, divididas en un nivel físico, un nivel de red y un nivel de servicios.

Palabras clave: Necesidades, diseño, cliente, ingeniería, proyecto, nivel físico, nivel de red, nivel de servicios, anillo, fibra óptica, topología, RAD (Red de Acceso de datos), RDE (Red de Datos de Explotación), JDS (Jerarquía Digital Síncrona), multiprotocolo de conmutación de etiquetas, protocolo de internet, interconexión de sistemas abiertos, ethernet, transporte, acceso, red, ancho de banda, calidad de servicio, coordinación, planificación, tarea, hito.

**Abstract**

*The article presents the engineering and construction process for the deployment of a railway communications network in high-speed lines in Spain. The identification of needs and an optimal network engineering design are the basis for the first phase of the project. The development of an architecture of networking, which is service-oriented, and a strong knowledge in management, planning and coordination, are the basis of the phase of work and commissioning. The article is complemented by the description of the typical telecommunications infrastructure in this kind of lines, divided into a physical level, a level of network and a service level.*

*keywords: Needs, design, client, engineering, project, physical level, network level, service level,ring, optical fiber, topology, ADN (Access Data Network), EDN (Exploitation Data Network), SDH (Synchronous Digital Hierarchy), MPLS (Multi-protocol Label Switching), IP (Internet Protocol), OSI (Open System Interconnection), ethernet, transport, access, network, bandwith, QoS (Quality of Service), coordination, planning, task, milestone.*

*victor.andres.martin@gmail.com / victor.martin@ineco.es

## 1. Introducción

La red de Telecomunicaciones Ferroviaria de Alta Velocidad experimenta, al igual que el mundo tecnológico que nos rodea en nuestra vida diaria, una constante evolución. El aumento de servicios que demandan necesidades de transporte, y el incremento del número líneas ferroviarias, convirtiéndose España en uno de los países del mundo con mayor número de kilómetros en Alta Velocidad, son dos factores clave para el proceso de evolución tecnológica que la red ha percibido en primera persona.

En el mundo del Ferrocarril de Alta Velocidad, la red de telecomunicaciones, como en cualquier otro ámbito de la sociedad dónde se despliega una red, tiene como objetivo prioritario la provisión de servicios; servicios los cuáles han ido en aumento, tanto en número como en necesidades de ancho de banda. El papel de la ingeniería encargada de desarrollar y desplegar esa red, es la de adaptarse a este incremento de demanda, presentando una oferta potente y escalable, de tal forma que presente fiabilidad en el soporte de los tráficos demandados, pero que de igual forma ofrezca una garantía de crecimiento futuro.

Tan importante resulta ser capaces de ofertar una solución de red que permita satisfacer las necesidades de los demandantes, como diseñar una arquitectura robusta con alta fiabilidad frente a fallos. Configuraciones de anillos de fibra óptica, redundancia 1+1 ó 1+n en componentes críticos, supervisión de los equipos de red, etc. son algunas de las estrategias para garantizar una excelente calidad del servicio.

Los recursos tecnológicos, los económicos y los plazos temporales, son tres de los factores fundamentales con los que hay que jugar para el desarrollo de las líneas de telecomunicaciones actuales. El primero de ellos, dentro de un panorama en el que la excelencia es clave, determina una búsqueda a nivel mundial de la ingeniería española de aquellos equipos que constituyen la mejor opción para satisfacer las necesidades de provisión de servicios. En paralelo, esta búsqueda de calidad y eficiencia tecnológica va sujeta a la disponibilidad de unos recursos económicos, los cuales necesitan de un análisis presupuestario para la obtención de aquellos elementos que cumplan con las especificaciones técnicas requeridas para las líneas de Alta Velocidad. Por último, y no menos importante, están los plazos temporales de obra determinados para alcanzar con éxito la puesta en servicio de las líneas ferroviarias; esto lleva aparejado la elaboración de unos planes de obra con una fecha fin muy marcada en la consecución de los hitos parciales y global. Una claridad en la definición de conceptos, disponibilidad de recursos en las diferentes fases de obra, tareas de coordinación activas entre técnicas, son algunas de las actuaciones necesarias para alcanzar con éxito la fecha fin de recepción de la obra.

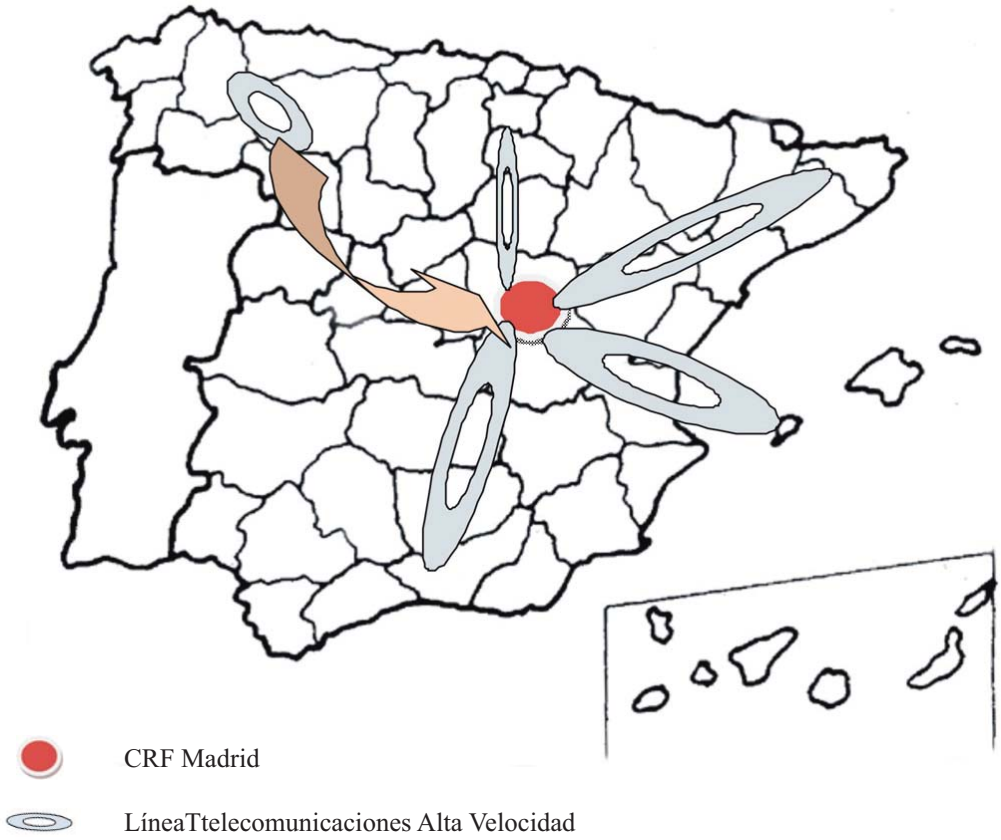
El artículo se divide en tres bloques principales. El primero de ellos, recoge el proceso de análisis de necesidades y diseño de ingeniería de red. El segundo, un resumen técnico de la topología típica de networking empleada en líneas de Alta Velocidad. El tercer y último bloque, se centra en la fase de obra, con la configuración, instalación y puesta en marcha del equipamiento de red.

## 2. Detección de necesidades y diseño de ingeniería

La primera fase en el desarrollo de una línea de telecomunicaciones ferroviaria viene determinada por la detección de necesidades y la elaboración de un diseño tecnológico que las satisfaga. Esto se traduce en la redacción de un proyecto que recoge las especificaciones técnicas y económicas del equipamiento a desplegar en la línea. Igualmente, se definen las diferentes arquitecturas de red que constituyen la base para los servicios ferroviarios a explotar; no se debe olvidar que el objetivo prioritario de la red de telecomunicaciones ferroviarias de Alta Velocidad es, como el de toda topología de networking, ofrecer un soporte físico a la transmisión de los servicios requeridos por los clientes.

## 2.1. ¿En qué consiste exactamente la detección de necesidades?

En España, las infraestructuras de telecomunicaciones ferroviarias tienen unos parámetros definidos de funcionamiento que es necesario cumplir en el desarrollo de todas las líneas, y que son empleados en la satisfacción de esas necesidades. Un ejemplo claro es la ubicación permanente de un Centro de Regulación y Control (CRC) en Madrid, que junto a un CRC dispuesto en cada una de las líneas, permiten el control de la explotación del servicio. Este hecho implica que toda topología de red es imprescindible que establezca una conexión física con este equipamiento central. Por lo tanto, esta necesidad es una premisa en el diseño de ingeniería. A continuación se muestra una ilustración que describe esta situación.




Como se observa en la imagen, todas las líneas de telecomunicaciones representadas en forma de anillo establecen una conexión con Madrid. Un caso especial es el representado con una flecha anaranjada, dónde la línea de telecomunicaciones, por concepción de la propia línea de Alta Velocidad, no tiene su origen/destino en Madrid; esta situación implica que debe establecerse por otros cauces esa comunicación, como puede ser mediante el empleo de la red de comunicaciones de líneas convencionales y/o mediante el soporte de topologías de red de otras líneas de AV. Esto es lo que representa la detección y satisfacción de necesidades de red y el diseño de ingeniería.

Algunos ejemplos claros de esta misma premisa son los siguientes:

Ubicación de Centrales de Conmutación Móviles (Mobile Switching Central, MSC) en los Puestos de Mando de Madrid-Puerta de Atocha y Zaragoza.

Servidores de Gestión Central de todos los equipamientos de las diferentes líneas en Atocha y Zaragoza.

Otra necesidad viene determinada por la definición de aquellos puntos que van a requerir de la provisión de algún servicio, o lo que es lo mismo, que van a constituir un nodo de acceso de comunicaciones en el ámbito de la línea. Una vez definido el trazado y el programa de explotación, aparecen los diferentes emplazamientos que para uno u otro servicio requerirán de satisfacer esta necesidad; estos emplazamientos son:

Edificios Técnicos

Estaciones

Casetas de Señalización

Casetas de Detectores

Subestaciones

Autotransformadores

Casetas de Comunicaciones Móviles

Casetas de Operadores

Casetas de Túnel

Pasos Superiores

Viaductos

Túneles

Bases de Mantenimiento

Centros de Control (CRC;CTC;CPS)

En resumen, la conjunción de las premisas de funcionamiento de las líneas de Alta Velocidad en España, y la definición de emplazamientos que precisan de la provisión de servicios, son en líneas generales la base para la satisfacción de las necesidades de red.

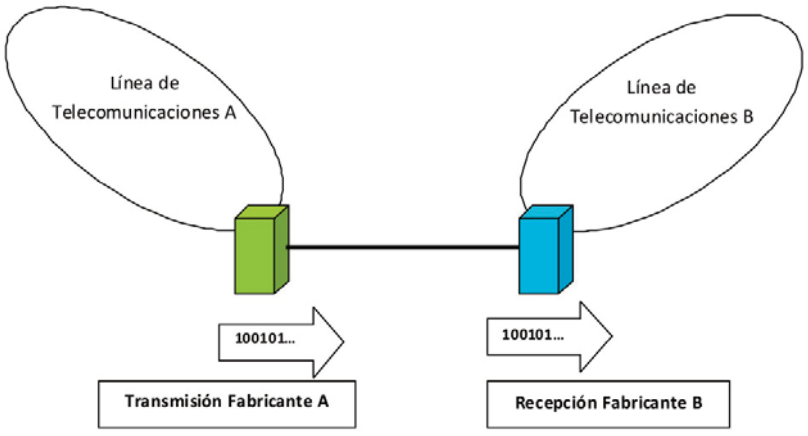
## 2.2 Casos particulares de diseño de ingeniería

El avance de las infraestructuras ferroviarias de Alta Velocidad ha supuesto y supone un fuerte reto para la ingeniería en nuestro país. Análisis, ingenio y búsqueda de la mejor y óptima solución, llevan a disponer de una red de telecomunicaciones global, robusta, escalable e integrada en una plataforma de variedad tecnológica. El diseño de ingeniería parte de la elaboración de una topología de red completamente orientada a los servicios requeridos por los clientes. ¿Dónde se demandan los servicios?, ¿qué requerimientos de capacidad de transmisión necesitan?, ¿cuáles son los estándares de calidad que precisan?; éstas son algunas de las preguntas que nuestra ingeniería debe responder previa a la definición de la red. Los servicios son la referencia prioritaria y la base de los diseños en las líneas de Alta Velocidad, que en ocasiones necesitan de un esfuerzo adicional de ingenio para alcanzar su objetivo.

A continuación se describen dos casos en los que se refleja esta ingeniería de diseño:

■ Escenario de networking multifabricante: las líneas de telecomunicaciones de Alta Velocidad apuestan por disponer de un concepto firme de topología de red en el que participen una amplia gama de tecnólogos. Esta circunstancia, que enriquece el conocimiento y ofrece oportunidades de negocio, suponen de forma paralela una labor de diseño de ingeniería. La conexión de dos redes de misma tecnología pero distinto fabricante obligan a asegurarse que el diálogo entre ambas es fluido, sin ausencia de información y sin pérdida de funcionalidades. La consistencia de dicha comunicación se sustenta en unas pruebas de interoperabilidad que confirmen que el código empleado por ambos fabricantes es el mismo.

Garantizar que la información enviada por el equipo del fabricante A se recibe completamente y sin alteraciones en el equipo del fabricante B es una de las pruebas básicas para asegurar la comunicación entre ambos. Sin embargo, estas pruebas son más exhaustivas, analizando otros parámetros como la propagación de fallo ante corte del enlace, transmisión de Calidad de Servicio, etc.




*Pruebas Conectividad Multifabricante*

■ Conexiones Líneas de Alta Velocidad y Líneas Convencionales: en la actualidad son muchas las situaciones en las que se produce una relación directa entre las instalaciones de ambas líneas de telecomunicaciones. El entronque directo de las vías de una línea de Alta Velocidad en una estación existente de convencional, es un ejemplo en el que aflora el diseño de ingeniería para establecer una correcta comunicación. Algunas de las actuaciones que hay que realizar en estos casos son:

Comunicación equipos AV y Convencional mediante interfaces.

Integración de protocolos.

Integración de Puestos de Mando.

Empleo de canalizaciones para tendidos de cables, y en ocasiones, retranqueo de existentes.

Actualización de la telefonía de explotación a la nueva distribución de señales.

Búsqueda de espacio para el layout del equipamiento de Alta Velocidad.

…

### 2.3 Redacción de proyectos constructivos

Una vez realizado el análisis de necesidades y obtenido la mejor solución al diseño deseado, se comienza con la redacción de un proyecto constructivo que recoja toda la información necesaria para una correcta ejecución de la obra. Este documento permite fijar las bases de funcionalidad que se quieren obtener, definiendo la topología de red deseada, los nodos de comunicaciones que la constituirán, y las especificaciones técnicas y económicas de los mismos.

La redacción del proyecto da como resultado los siguientes documentos:

1) Memoria y Anejos, dónde se realiza una descripción técnica en texto de la solución de telecomunicaciones elegida.

2) Planos, los cuales representan gráficamente la solución desarrollada en el punto anterior.

3) Pliego de Prescripciones Técnicas. Este documento sirve para establecer las clausulas contractuales que fijan las pautas para la ejecución de la obra, y sobre todo, dónde se recogen las características técnicas que deben cumplir los equipos y materiales que constituyen la red de telecomunicaciones.

4) Presupuesto. Se fijan los precios de todas las unidades necesarias para desarrollar el proyecto, y de acuerdo a la solución obtenida y a las mediciones calculadas, se obtiene un montante presupuestario necesario para la ejecución de la obra.

En el siguiente punto se va a realizar una breve descripción de la típica solución técnica de las arquitecturas de red de telecomunicaciones de Alta Velocidad.

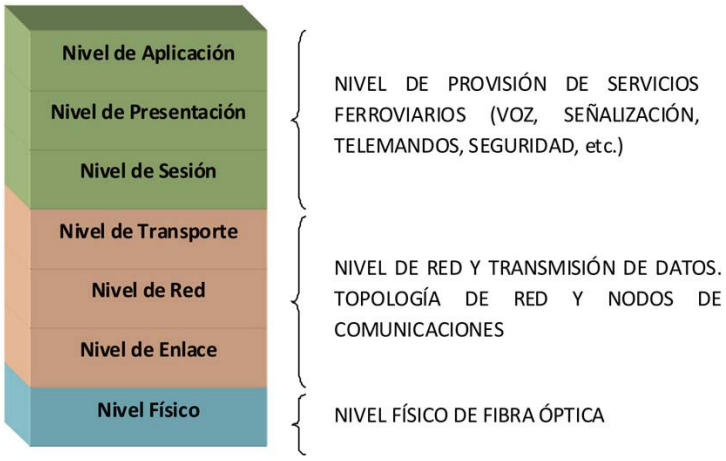
## 3. Arquitectura de red en líneas de alta velocidad

Las redes de telecomunicaciones de Alta Velocidad están constituidas por tres niveles básicos; un nivel Físico o de conectividad, un nivel de Red y transmisión de datos, y un nivel de servicios. Como se ha citado varias veces, este último es el más importante, el fin de la red de telecomunicaciones y el que permite realizar una medida de la calidad del diseño establecido. La provisión de unos servicios que satisfagan la necesidad del cliente, con un nivel de calidad alto, y una transmisión fiable y sin discontinuidades, definen el hito a conseguir por los diseñadores, que en consecuencia construyen una arquitectura cuyos criterios principales se detallan a continuación. Como se podrá observar, estos criterios guardan relación con la pila de comunicaciones del modelo OSI:

### 3.1 Nivel Físico

El nivel físico o soporte de transmisión de la red está formado por anillos de cables de fibra óptica. Si nos centramos primero en el concepto de anillo, esta arquitectura nos permite ofrecer siempre caminos alternativos y redundantes para la transmisión entre dos puntos.

En la siguiente ilustración se observa la seguridad en la transmisión ofrecida por los diseños en anillo. La caída de un enlace genera una conmutación a nivel de equipos y de protocolos de comunicaciones, que permiten continuar con el transporte de información sin corte de servicio.

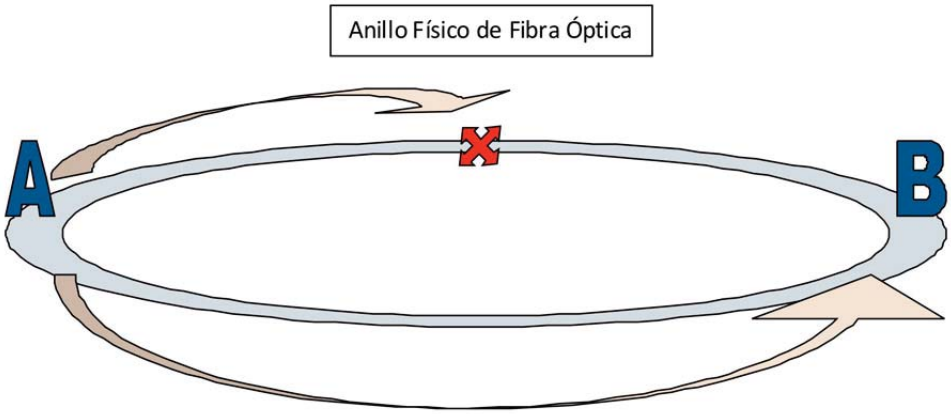



*Pila OSI*

¿Y por qué el empleo de la fibra óptica? Este medio de transmisión, ya ampliamente utilizado en la actualidad en todos los ámbitos de las telecomunicaciones, permite el transporte de una gran cantidad de información a elevadas velocidades en el mundo ferroviario.

Basándose su filosofía en la emisión de impulsos ópticos a través de un medio guiado que permite el confinamiento de la señal evitando su dispersión, la fibra óptica se ha convertido en la infraesrtuctura óptima para establecer los enlaces que unen los nodos de comunicaciones. En sustitución de los cables de cobre, muy utilizados en diseños anteriores y cuya filosofía es el empleo de impulsos eléctricos, la fibra óptica presenta una ventaja fundamental de inmunidad frente a interferencias electromágneticas. Esta característica es muy ventajosa en un ámbito dónde las "carreteras" son empleadas por un gran variedad de "vehículos", ya que por la misma canaleta en la que se encuentran los cables de fibra óptica se realizan también los tendidos de otros tipos de conductores, entre ellos cables de energía de múltiples secciones.

La dimensiones de los cables de fibra óptica (FO) empleados en las líneas de telecomunicaciones de Alta Velocidad son de 16, 32 y 96 FO. A nivel de segregación para acceder a los nodos de comunciaciones de los diferentes emplazamientos, todos ellos son empleados y su elección depende del número de servicios necesarios. A nivel de tendido a lo largo de las vías son los cables de 32 y 96 FO los que constituyen el vehículo de transporte de todos los servicios. Una característica común en todos ellos es su componente armada para ofrecer protección frente al ataque de roedores, golpes, corrosiones, agua, etc. Además, en algunos tramos de la línea con riesgos de incendio o con tránsito de personas, el cable se elige con características ignífugas que eviten la propagación de la llama.



Este nivel físico es completado con una relación de equipamiento y tareas que permiten dar consistencia al medio de transmisión:

- Cajas de empalme en recto para cambiar de sección de bobina de FO, y de segregación para proveer a los emplazamientos de acceso al medio óptico.
- Repartidores de fibra con variedad de capacidades, dónde fusionar los tendidos provenientes de la vía, y dónde conectar los equipos de transmisión.
- Medidas reflectométricas para comprobar que las pérdidas de atenuación del cable, las pérdidas por empalme, por conector y las reflectancias están acordes con lo indicado en las especificaciones.
- Equipos de supervisión óptica que permiten una monitorización constante de los parámetros de transmisión una vez se encuentra en explotación la infraestrutura de telecomunicaciones.

### 3.2 Nivel de Red

La Fibra Óptica es el soporte físico empleado para propagar los bits de información. Sin embargo, ¿quiénes son los encargados de transmitir esa información? Los nodos de comunicaciones que conforman la arquitectura de red son quienes se encargan de ello.

Según el requerimiento del servicio ferroviario, se despliegan dos topologías de red diferenciadas, una basada en conmutación de circuitos y otra en conmutación de paquetes. La primera de ellas, obtenida mediante una Red de Transmisión SDH (Synchronous Digital Hierarchy), ofrece la ventaja de disponer de una transmisión en circuitos dedicados con una capacidad reservada; la segunda, una Red de Datos basada en tecnología IP (Internet Protocol) y MPLS (Multiprotocol Label Switching), surge del proceso de convergencia de los equipos hacia ese tipo de comunicación, que ofrecen una mayor escalabilidad, versatilidad y optimización de los recursos de la red.

#### 3.2.1. Red de Transmisión SDH

La Jerarquía Digital Síncrona permite el establecimiento de circuitos dedicados para comunicaciones punto a punto entre dos emplazamientos. Son redes con un sincronismo de elevada calidad y sin pérdida de información. Cuando se establece el circuito, al ser exclusivo para una comunicación , no se producen pérdidas temporales en el cálculo y toma de decisiones para la selección del camino adecuado en nodos intermedios. Cada uno de éstos tiene una sola ruta para los paquetes entrantes y salientes de la sesión específica.

Una antena externa de GPS y un equipo de sincronismo de alta prestaciones permiten la generación de una señal de reloj de 2 MHz que se transmite a través de todos los nodos de la red SDH. Esta señal es tomada como referencia para mantener una sincronización perfecta en sus transmisiones y recepciones. Así lo requieren los servicios que la emplean como medio de transporte.

Se establecen circuitos dedicados con el incoveniente de al producirse un fallo en uno de los nodos intermedios, toda la comunicación se viene abajo y es necesario restablecer toda las conexiones desde el principio. Sin embargo, al igual que en las redes de paquetes, la conectividad se mantiene utilizando mecanismos de protección de enlace con protocolos como SNCP (Subnetwork Connection Protection Ring).

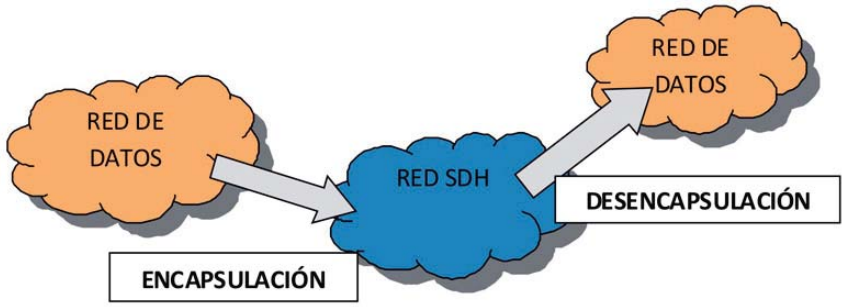
Las redes SDH son empleadas en las líneas de telecomunicaciones de AV principalmente para la transmisión de los siguientes servicios:

Servicios de comunicaciones móviles GSM-R (Group spécial mobile – Railway).

Conexiones entre centrales de telefonía automática.

Caminos de protección a enlaces con circuitos de datos.

Encpasulación de información proveniente de una red de datos.

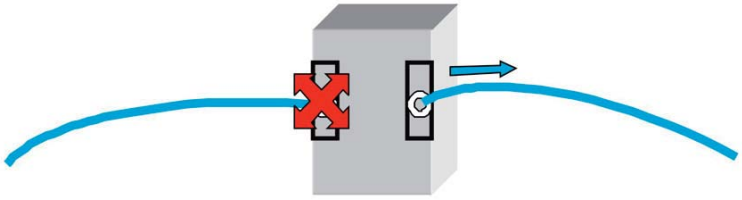



Los servicios que se transmiten en las líneas de Alta Velocidad utilizan capacidades de 2 Mbps (E1, VC-12), 63 Mbps (VC-3), 155 Mbps (VC-4, STM-1), 622 Mbps (STM-4) y 2,5 Gbps (STM-16). Además, con protocolos de concatenación de circuitos como el VCAT (Virtual Concatenation), se obtienen circuitos de mayor variedad de ancho de banda.

La arquitectura de red de transmisión SDH en las líneas de telecomunicaciones ferroviarias de Alta Velocidad se divide en dos niveles; el primero, una red de acceso de capacidad STM-1 y con interfaces ópticos de corto alcance que une los emplazamientos correspondientes; el segundo, una red de transporte de mayor capacidad, con interfaces de mayor alcance y que permite el agregado y la interconexión de los anillos de acceso.

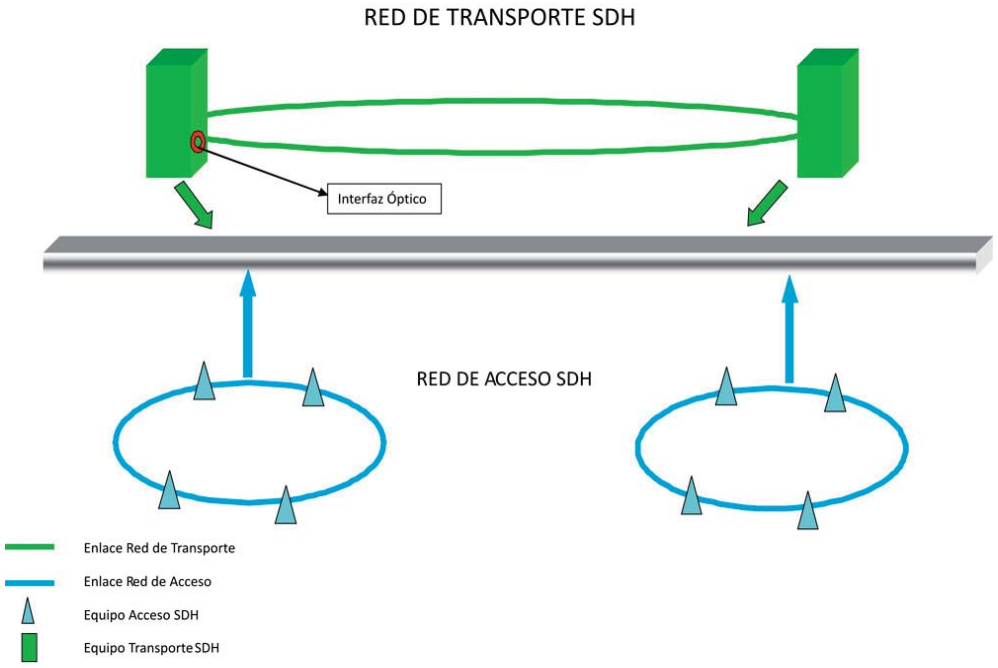
Los nodos que constituyen ambas redes, aunque de diferente capacidad de conmutación en cuánto a la cross-conexión de circuitos, tienen una característica común. Su chasis y componentes son de naturaleza modular, con redundancia 1+1 en los componentes más críticos (matriz de conmutación, fuente de alimentación y unidades de ventilación), de tal forma que ante el fallo de uno de ellos se dispone de otro para su activación automática. Además, para evitar tener que apagar el nodo de comunicaciones e instalar una nueva tarjeta en el chasis, éstas son insertables en caliente.

Los interfaces ópticos que establecen los enlaces con nodos colaterales, no se distribuyen con este mecanismo de seguridad 1+1, pero si se realiza su distribución en diferentes slots. De esta forma ante el fallo en una de las tarjetas, disponemos del otro interfaz para realizar la conmutación del anillo. Se refleja este hecho en la siguiente ilustración:



*Mecanismo de protección interfaz óptico*

**Esquema red acceso y transporte SDH**



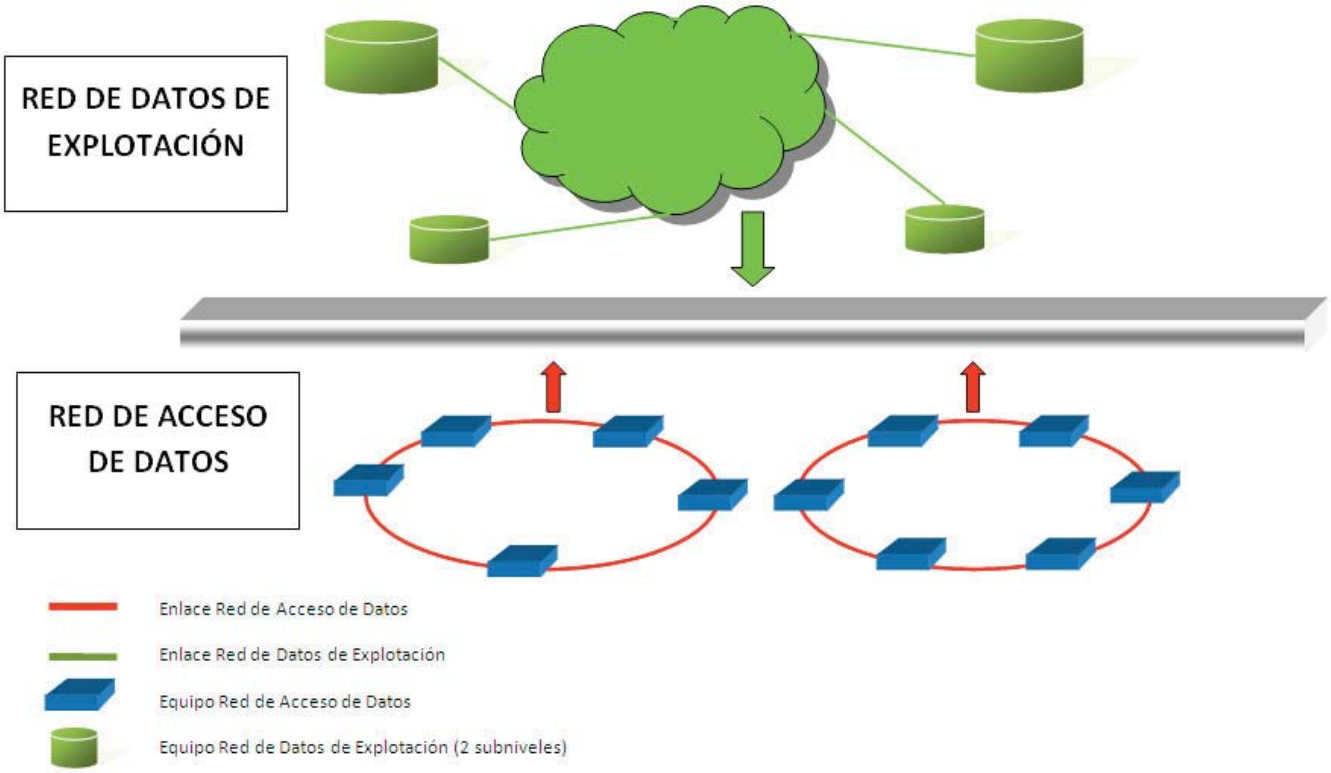

### 3.2.2. Red de Datos

La naturaleza de la información en la provisión de servicios de las redes de telecomunicaciones ferroviarias actuales ha generado una tendencia de convergencia hacia una red única de conmutación de paquetes. Estas redes ofrecen ventajas interesantes en relación a los sistemas de conmutación de circuitos como son la mayor versatilidad, flexibilidad y optimización de los recursos de la red; en caso de avería de un nodo de comunicaciones intermedio o la caída de un enlace óptico (cableado), el camino establecido puede alterarse automáticamente mediante una decisión de enrutamiento. Otras ventajas a destacar son la posibilidad de aplicar criterios de Calidad de Servicio (QoS, Quality of Service) al asignar a los paquetes una escala de prioridades en las colas de transmisión, así como en caso de fallo de uno de los paquetes, reenviar sólo aquellos con error manteniendo el resto de la comunicación activa.

El despliegue de una topología de datos estable y con gran flexibilidad es una prioridad en el diseño, siempre manteniendo unos ratios elevados de fiabilididad y disponibilidad de la red. Por ello, y al igual que en la red de conmutación de circuitos anteriormente descrita, se define una arquitectura en dos niveles. El primero de ellos es una Red de Acceso de Datos de suficiente capacidad de transmisión para los demandas de servicios requeridas y basado en el protocolo de comunicaciones IP. El segundo nivel lo conforma una Red de Datos de Explotación, dividida a su vez en dos subniveles, con ancho de banda capaz de soportar la agregación de información proveniente de la red de acceso, y con tecnología MPLS. La diferencia fundamental entre los subniveles de la Red de Datos de Explotación es la capacidad de conmutación del nodo en función de las necesidades del tipo de emplazamiento.

Una arquitectura a dos niveles permite disponer de unos nodos de acceso de datos que recogan la información de los emplazamientos con menor tráfico. Estos datos, dependiendo del destino de la comunicación, fluyen dentro del anillo de acceso o son transmitidos al nodo de la red de datos de explotación. Éste último, con mayor capacidad de conmutación, se encarga de realizar conexiones a largas distancias y evitar sobrecargar de tráfico otros anillos de acceso.

Se muestra un esquema de la topología de las redes de datos ferroviarias de Alta Velocidad.



Red de Acceso de Datos (RAD):

La Red de Acceso de Datos es, como su propio nombre indica, el acceso a la transmisión de todos los emplazamientos de la línea de Alta Velocidad. Toda fuente de datos se conecta a un puerto de acceso de los equipos de esta red, que se conforman mediante switches con funcionalidades en los niveles 2 y 3 de la capa OSI. El número de puertos por emplazamiento se define dependiendo de la cantidad de servicios calculados para dar acceso. Algunos de estos puertos se emplean para realizar enlaces ópticos mediante el correspondiente interfaz láser; son los puertos empleados para establecer conexión con los nodos de acceso colaterales. El resto, con capacidad variable y totalmente configurables, se dan de alta como puertos eléctricos para provisión de servicios ferroviarios a nivel local.

Ejemplo de Nomenclatura de puertos

- 100BASE-T ◊ Puerto Eléctrico Ethernet de 100 Mbps en torno a 100 metros.
- 1000BASE-T ◊ Puerto Eléctrico Ethernet de 1000 Mbps en torno a 100 metros.
- 1000BASE-SX ◊ Puerto Óptico hasta 550 metros de fibra óptica multimodo a 1000 Mbps.
- 1000BASE-LX ◊ Puerto Óptico hasta 10 kilómetros de fibra óptica monomodo y hasta 550 metros de fibra óptica multimodo, ambos a 1000 Mbps.
- 1000BASE-EX ◊ Puerto Óptico hasta 40 kilómetros de fibra óptica monomodo a 1000 Mbps.
- 1000BASE-ZX ◊ Puerto Óptico hasta 70 kilómetros de fibra óptica monomodo a 1000 Mbps.
- Con amplificadores (booster) se pueden alcanzar mayores distancias.

El acceso a la red es compartido físicamente en un emplazamiento por varios servicios a través de los distintos puertos del switch de la RAD. Así el puerto 1 y 2 pueden estar asignado al servicio de voz, el puerto 3, 4 y 5 al servicio de detectores, el 6 y 7 a servicio de gestión remoto, etc. Sin embargo, la definición de los servicios está asociada a la configuración de redes virtuales en forma local con VLAN (Virtual Local Area Network), en conexiones remotas a nivel 2 con VPLS (Virtual Private Lan Service) y a nivel 3 con VPN (Virtual Private Network). La filosofía consiste en diseñar múltiples redes virtuales a partir de una red física única, de tal forma que optimizemos los recursos y mejoremos los mecanismos de seguridad. Estas redes virtuales tienen la posibilidad de fijar un límite de ancho de banda (rate limiting) consumido, de tal forma que el exceso de transmisón de un servicio no limite las capacidades de otro. Otras funcionalidades que se consiguen son la aplicación de calidad de servicio y de control de acceso por red virtual, evitando que desde un puerto se pueda acceder a la red virtual definida en otro.

El diseño en anillo de la red de acceso de datos, como el resto de topologías de las líneas de Alta Velocidad, tiene una configuración física con redundancia de caminos. Los anillos se diseñan para ofrecer robustez en su misión de soporte de la red de transmisión, con una separación física entre cada uno de los lados. La protección de enlace obtenida mediante protocolos Spanning Tree en sus diferentes versiones, utilizan la topología anular para cumplir con su cometido de seguridad.

Los nodos de acceso de la RAD disponen de un puerto de gestión local por consola y la posibilidad de acceder a ellos vía gestión remota. Este último caso es posible gracias a la configuración de un servicio

con una red virtual transmitida hasta el puesto de gestión centralizado dónde se ubican los servidores. El operador monitoriza constantemente el estado de la red para analizar posibles problemas de caída de servicio por fallo en algún elemento. Estos problemas son resueltos mediante la aplicación de un comando remoto, o mediante el desplazamiento de operadores de mantenimiento al equipamiento afectado.

La gestión del estado de la red necesita una perfecta sincronización entre todos los equipos que la constituyen, tanto a nivel de transmisión como a nivel de servidores de gestión y puestos de operador. Los eventos de alarmas son registrados en una base de datos y representados en una interfaz de usuario para conocimiento del operador. Las alarmas informan de la fecha y la hora en la cuál se ha producido el evento, así como si se ha solucionado o si persiste el problema. Esta información cronológica debe ser acorde a la realidad para una gestión eficiente. Un servidor NTP (Network Time Protocol) centralizado se encarga de difundir una información horaria común a todos los equipos de la red de telecomunicaciones.

Red de Datos de Explotación (RDE):

La RDE representa el backbone de las redes de datos de telecomunicaciones en líneas de AV. Con una configuración de enlaces ópticos con capacidad ajustada a las necesidades de servicios y sustenada en el protocolo de comunicaciones MPLS (Multiprotocol Label Switching), tiene como función servir de medio de transporte a largas distancias de la información recogida por los nodos de acceso de comunicaciones. El objetivo es evitar la saturación de los anillos de la RAD, reducir el número de enlaces ópticos y centralizar la funcionalidad de almacenamiento, facilitando el acceso desde puestos de operación remotos. Los equipos que conforman la red son routers con elevada capacidad de conmutación y sin un elevado número de puertos eléctricos, ya que la responsabilidad del acceso es de los switches de la capa inferior. Establecen enlaces ópticos de larga distancia con los nodos colaterales de la RDE, y enlaces ópticos de corta distancia o eléctricos con los switches de la RAD del propio emplazamiento.

El protocolo MPLS establece caminos o LSP (Label Switched Path) que buscan obtener las ventajas de una red de conmutación de circuitos dentro de una red de conmutación de paquetes. Son rutas preestablecidas cuyo enrutamiento se realiza mediante la inserción de etiquetas de nivel 2 en la cabecera de los paquetes. En estas condiciones la dificultad de análisis del router es inferior, porque únicamente necesita consultar la etiqueta para decidir el camino que debe escoger, evitando una consulta más compleja de las tablas de direccionamiento IP para tomar la misma decisión. La reducción considerable del tiempo de latencia (tiempo de transmisión de fuente a destino) y del tiempo de convergencia (tiempo de recuperación de la red en caso de fallo, inferior a 50 milisegundos) son ventajas competitivas para ofrecer provisión de servicios con garantías de calidad. Son redes muy escalables, posibilitando la fácil inserción de nuevos nodos únicamente creando los LSP necesarios desde cada router existente al nuevo elemento de la red.

La Red de Datos de Explotación establece en ocasiones conexiones físicas con la Red de Transporte SDH. Las razones más habituales de esta comunicación son:

- Ofrecer un camino de protección a un servicio de datos a través de la encapsulación de la información en un contenedor SDH.
- Interconectar dos redes de datos aisladas y separadas físicamente por una red SDH. Así esta última se convierte en el medio de transporte transparente entre dos redes de conmutación de paquetes.

### 3.3. Nivel de servicios

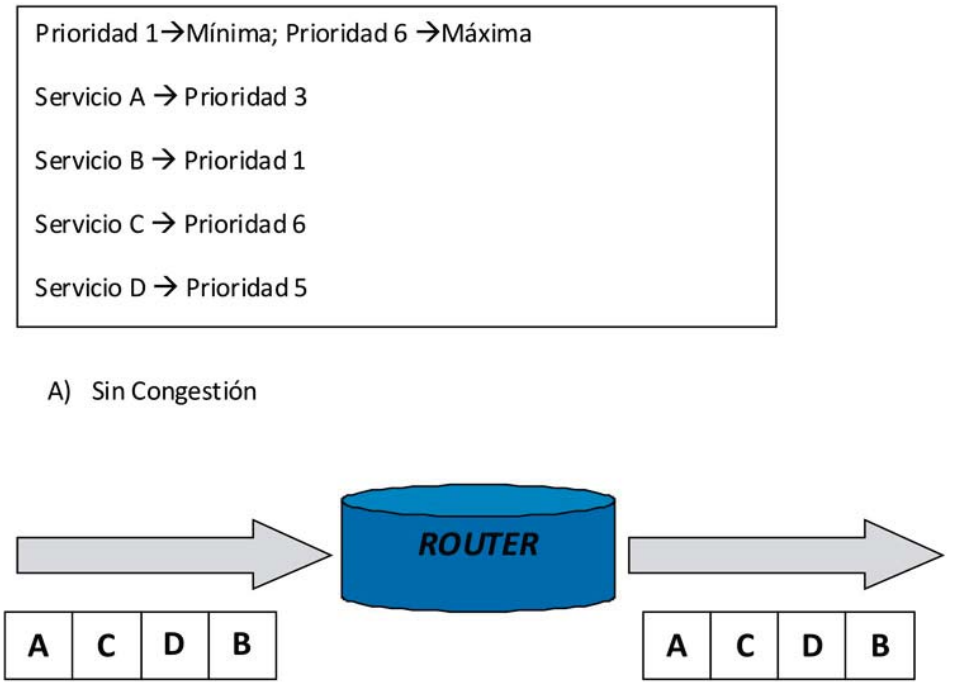
El objetivo de disponer de una arquitectura de red de calidad es poder satisfacer las necesidades de tus clientes, ofrecer una provisión de servicios que se ajuste a unos fines y estándares requeridos. Es por ello que la prueba de fuego de un ingeniero de redes es el nivel de servicios, la satisfacción de necesidades, el despliegue de circuitos para transmisión de información; un nivel dónde se vislumbra el buen hacer del diseño de ingeniería. De ahí la insistencia en remarcar que toda la infraestructura descrita en los puntos anteriores sobre un Nivel Físico y un Nivel de Red, se centra en ofrecer unos servicios que reúnan los criterios exigidos por el consumidor de los mismos:

- Seguridad de la información, autenticidad, confidencialidad, integridad y disponibilidad.
- Bajos tiempos de latencia y convergencia.
- Redundancia ante fallos para evitar cortes en el servicio.
- Fiabilidad.
- Ausencia de pérdidas en la información.
- Elevada calidad de señal.
- …

Son muchos los servicios ferroviarios que utilizan como medio de transporte la red de datos en las líneas de Alta Velocidad. Algunos de ellos son:

| Servicio Ferroviario | Descripción |
|---|---|
| Detectores | La técnica de detectores emplea la red de datos para establecer comunicación entre sus concentradores y servidores de gestión con los elementos de detección distribuidos en el campo. |
| Voz | La red de telefonía ferroviaria de AV, integrada completamente en la red, establece conectividad entre todos sus elementos (centrales, estantes remotos, teléfonos, etc.) a nivel de datos IP. |
| Cálculos de Telemedida y Calidad Energética | La técnica de electrificación, con el fin de llevar un control del consumo y calidad de la energía disponible en la línea, realiza controles de equipamiento propio a través de la red de datos. |
| Señalización. Bloqueos entre enclavamientos | La técnica de señalización envía por la red los comandos de señalización necesarios para comunicar los enclavamientos entre sí y poder realizar una correcta explotación de la línea. |
| Telemandos | Con el objetivo de poder operar y monitorizar la línea desde Puestos de Mando y Control, diversas técnicas envían en remoto información para su representación gráfica y para tareas de gestión. |
| Seguridad | El control de las instalaciones a través de cámaras, contactos magnéticos, detectores volumétricos, etc. y todos los elementos que conforman el sistema de videovigilancia, control de accesos y anti-intrusión (VCA), se sirven de la red de datos para la supervisión de las instalaciones desde Centros de Protección y Seguridad centralizados. |
| Gestión Remota del Equipamiento de transmisión | Los equipos de comunicaciones disponen de plataformas de gestión ubicadas en emplazamientos remotos y centralizados que permiten, entre otras funciones, la ejecución de comandos vía protocolos SNMP (*Simple Network Management Protocol*) y la monitorización del estado de los equipos. |
| Gestión del Estado de las Instalaciones | Los emplazamientos distribuidos a lo largo de la línea informan de su estado a los operadores del Puesto de Mando mediante la integración en sistemas de gestión de los detectores de incendio, sirenas, lectores de acceso, rectificadores de energía, sondas de temperatura, centrales de notificación de señales, etc. |

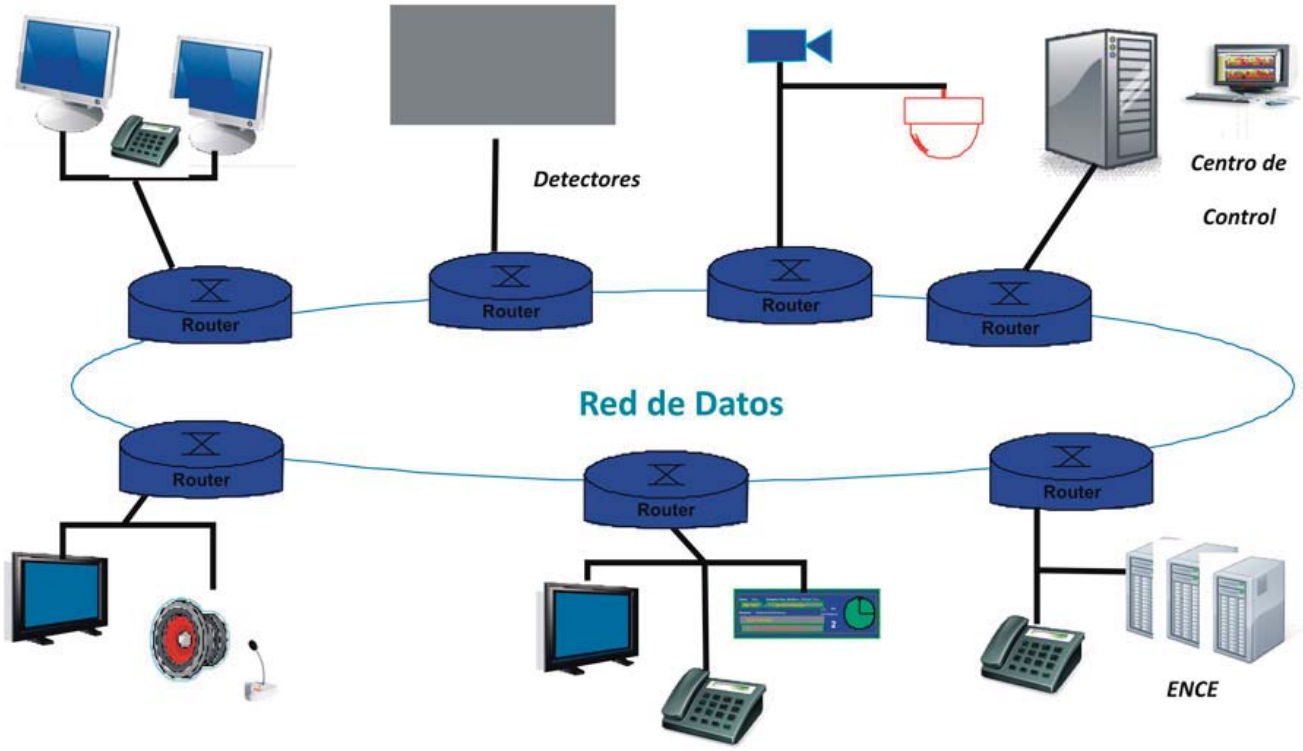
En el nivel de servicios, una vez obtenido un listado de aquellos que dispondrán de recursos en la red, se realiza una labor de ingeniería de tráfico que permita, conociendo el ancho de banda necesario por servicio y el trayecto de la información (en términos de emisor y receptor), dimensionar la capacidad tanto de las matrices de conmutación de los equipos como de los enlaces ópticos, con el fin de evitar fallos de comunicación por saturación de los enlaces. Sin embargo, en caso de que esto ocurra y según la criticidad de los servicios, se les asigna un nivel en una escala de prioridad para aplicar Calidad de Servicio en la red, y así evitar que servicios requiriendo una alta disponibilidad al ser indispensables en la explotación activa de la línea puedan sufrir una pérdida de información por la congestión de los nodos de comunicaciones. En el siguiente esquema se muestra un ejemplo de Calidad de Servicio.




*Aplicación de QoS en caso de congestión del enlace*

Con motivo de optimizar más eficientemente los recursos de la red y con objeto de evitar una interferencia entre servicios en el consumo de ancho de banda, se realiza una división virtual de la red en subredes privadas. Cada una de estas divisiones, además de disponer de rangos de direccionamiento diferentes y de separarlas físicamente mediante puertos de acceso, tienen asignado un ancho de banda máximo del que pueden disfrutar. Esta separación virtual te permite asimismo aplicar mecanismos de seguridad evitando el acceso entre subredes. En definitiva, la red de telecomunicaciones de datos está constituida por un conjunto de redes virtuales, completamente diferenciadas, y que nos permite manejar una adecuada provisión de servicios en función de los recursos de red disponibles.

La necesidad de servicios está en constante crecimiento, y su variedad en cuanto a la naturaleza de los datos es muy amplia. Así surge la importancia de disponer de una red escalable y con máximo control de los parámetros de la red. La siguiente ilustración representa el proceso de convergencia hacia una red de datos única por la que fluya la información de todos los servicios ferroviarios.




## 4. Ejecución de la obra. Despliegue de la red de telecomunicaciones

Terminado el análisis de necesidades, el diseño de ingeniería y la redacción del proyecto, comienza la ejecución de las instalaciones, el despliegue de la infraestructura de telecomunicaciones, la Fase de Obra. La definición de tareas y el seguimiento de las mismas en su fase temporal son primordiales para la consecución de los hitos parciales y final, marcado por la puesta en servicio de la línea en una fecha anunciada desde el comienzo del proceso. La labor de coordinación entre técnicas, direcciones de obra, equipos de asistencia técnica, contratistas y subcontratistas resultan claves para que el desarrollo de las tareas sea un éxito.

Centrándonos en el ámbito de las telecomunicaciones ferroviarias, la obra comienza con le elaboración de un plan de obra detallado en la que se encuentran los siguientes ítems:

- Emplazamientos sobre los que se debe realizar alguna actuación.
- Listado de tareas.
- Fechas de inicio y fin por cada una de las actuaciones.
- Relación entre actividades.
- Hitos internos y externos. Un hito interno implica la consecución de un objetivo para satisfacer la necesidad de un tercero, por ejemplo, fecha de disponibilidad de la red de datos. Un hito externo se refiere a una necesidad de telecomunicaciones que debe ser satisfecha por un tercero, como por ejemplo la disponibilidad de cuartos técnicos (responsable técnica de edificación) para la entrada de equipos.
- Recursos empleados por actividad.

El seguimiento de las actividades se realiza con exhaustividad para conocer el correcto avance de la obra, informar a otras técnicas de la consecución de objetivos internos, y en su caso, anticiparse a posibles retrasos aplicando acciones preventivas como el aumento de recursos o la priorización de tareas. Las redes de telecomunicaciones ferroviarias se desarrollan en un ámbito dónde los plazos son muy justos y dónde los márgenes de demora por tarea son escasos; es por ello que en esta fase del proceso debe reinar una excelente visibilidad ante problemas futuros y una eficiente capacidad de reacción. Entra en juego el Project Management.

A continuación se profundiza en dos de los ítems del plan de obra anteriormente enumerados: el listado de tareas y sus relaciones de dependencia.

### 4.1 Tareas para la ejecución de la Red de Telecomunicaciones Ferroviaria de Alta Velocidad

El gestor de proyectos elabora un listado de tareas en base a la definición de funcionalidades requeridas en la red de telecomunicaciones. Éstas se distribuyen de manera correlativa por su consecución en el tiempo y se interrelacionan para su adecuado desarrollo. El siguiente esquema define a nivel global las actividades necesarias en todo el proceso, con sus relaciones de fin e inicio de tarea, el requisito de entrada de ciertos hitos externos y la disponibilidad de hitos internos que satisfacen requerimientos de otras técnicas.

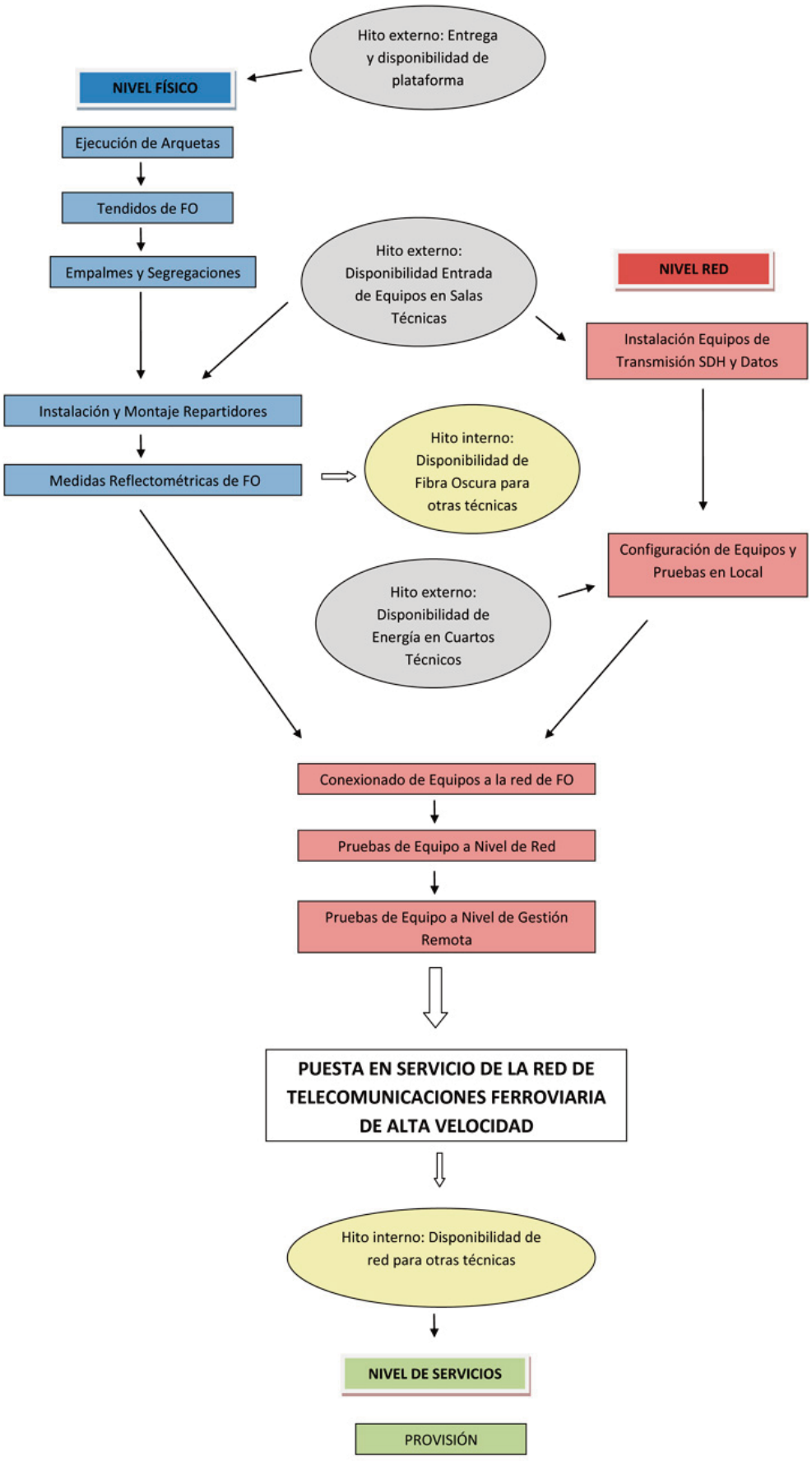
### 4.2 Vínculos de dependencia entre tareas

El diagrama de flujos representa, a nivel general, el proceso completo para el despliegue de la Red de Telecomunicaciones Ferroviaria en una línea de Alta Velocidad. Un detalle importante en la planificación de la obra, además de la definición de la duración de cada actividad y de los recusos necesarios para su óptimo desarrollo, es la claridad de las relaciones de dependencia entre las tareas que constituyen el plan de gestión.

Las tareas tienen fuertes vínculos entre ellas. Su comienzo, además de estar sujeto a la recepción de acopios de materiales y a la disponibilidad de recursos humanos y de maquinaria, se encuentra supeditado al comienzo o al finalización de otra tarea anterior.

Las relaciones pueden ser de muchos tipos en una obra de telecomunicaciones ferroviaria. Un caso es una relación de Fin - Comienzo, en la cuál es necesario que una actividad se complete en su totalidad para poder iniciar el comienzo de otra. Un ejemplo del gráfico anterior es el inicio de las “Pruebas a nivel de red”, para lo cuál resulta imprescindible que la actividad de “Configuración e instalación de equipamiento” se haya completado al cien por cien.

Una segunda opción son las relaciones de Comienzo – Comienzo, introduciendo un desfase temporal en una de ellas respecto el inicio de la otra. Son ampliamente utilizadas ya que permiten una paralelización en la ejecución de las tareas, aumentando el número de recursos necesarios pero recortando los plazos de obra. Recordando lo ajustado de los márgenes de demora para la consecución del hito final, es tarea del Project Manager tomar ventaja de estas posibilidades. Como ejemplo está la relación entre la tarea de “Tendido de cableado de FO” y la “Ejecución de Empalmes y Segregaciones”. El comienzo de los empalmes está restringido a la disponibilidad de cableado de fibra óptica a lo largo del trazado, pero no es estrictamente necesario que se hayan finalizado todos los tendidos para que se puedan comenzar a realizar fusiones. Así, en función de todas las variables de gestión que se han ido describiendo, se define un desfase temporal que marque el comienzo de la segunda actividad una vez iniciada la primera.


Hito externo: Entrega y disponibilidad de plataforma
NIVEL FÍSICO
Ejecución de Arquetas
Tendidos de FO
Empalmes y Segregaciones
Hito externo: Disponibilidad Entrada de Equipos en Salas Técnicas
NIVEL RED
Instalación Equipos de Transmisión SDH y Datos
Instalación y Montaje Repartidores
Medidas Reflectométricas de FO
Hito interno: Disponibilidad de Fibra Oscura para otras técnicas
Configuración de Equipos y Pruebas en Local
Hito externo: Disponibilidad de Energía en Cuartos Técnicos
Conexionado de Equipos a la red de FO
Pruebas de Equipo a Nivel de Red
Pruebas de Equipo a Nivel de Gestión Remota
PUESTA EN SERVICIO DE LA RED DE TELECOMUNICACIONES FERROVIARIA DE ALTA VELOCIDAD
Hito interno: Disponibilidad de red para otras técnicas
NIVEL DE SERVICIOS
PROVISIÓN

Para citar una última dependencia entre tareas existen las relaciones Fin – Fin. Este vínculo tiene especial importancia para el análsis de recursos necesarios y para evitar disponer finalizada una actividad que requiere de la terminación de otra. Retomando el diagrama de flujos, esta relación se encuentra entre las actividades de "Medidas Reflectométricas" y de "Configuración de Equipos y Pruebas en Local". El inicio de la actividad "Conexionado de Equipos a la red de FO" exige la finalización de las dos tareas anteriores, por lo que resulta innecesario que una de ellas termine con un elevado margen de tiempo respecto de la otra. Se busca evitar la existencia de recursos infrautilizados, así como disponer de infraestruturas finalizadas con anterioridad a la fecha requerida, incrementando su exposición al deterioro y al vandalismo.

En conclusión, la búsqueda de claridad en la definición de los vínculos de dependencia entre tareas en la Gestión de Proyectos reside en los beneficios obtenidos de ello. Optimización en el empleo de recursos, reducción de la duración de actividades, mejora en la eficiencia de las tareas, y lo más importante, el despliegue de una aquitectura de red de telecomunicaciones de calidad en el plazo exigido de puesta en servicio, son motivos suficientes para su aplicación en la gestión de las líneas de Alta Velocidad.

### 4.3. Coordinación de actividades entre técnicas

La gestión de las obras de telecomunicaciones en una línea de Alta Velocidad exige un control exhaustivo de las actividades íntrinsecas de la técnica, descritas en el punto anterior y con fuertes relaciones de dependencia en el desarrollo de las mismas. Sin embargo no es sólo la existencia de estas relaciones las que hay que considerar en la planificación del proyecto, sino también la coordinación entre actuaciones de diversas técnicas que influyen en modo de hitos externos y vínculos en la consecución de los objetivos. Algunas de ellas se definen a continuación.

Tendido de Cables en Canaleta:

El inicio del tendido de cableado de fibra óptica debe esperar a la disponibilidad de canaleta por parte de la técnica de plataforma. Una vez existente, con el fin de evitar la apertura y tapado de canaleta en varias ocasiones, se establece una coordinación entre varias técnicas para que esta tarea se realice una sóla vez, y todos los cableados necesarios se tiendan simultáneamente mediante el periodo en el cual la canaleta se encuentra abierta. El tendido de los cables de señalización, energía, detectores, seguridad y comunicaciones es coordinado obteniendo una optimización de recursos.

Disponibilidad de Energía:

El comienzo de las pruebas de telecomunicaciones requiere la disponibilidad de suministro de energía en los emplazamientos. Esta circunstancia, con el fin de cumplir los plazos de obra, suele producirse previamente a la existencia de un suministro de energía estable mediante las acometidas locales y de compañía. Hasta entonces ese suministro se realiza mediante la colocación de grupos eléctrogenos.

La coordinación entre la técnica de telecomunicaciones y la técnica de energía para disponer de esta última según avance del plan de pruebas, es necesario para permitir cumplir el hito de comienzo de provisión de servicios de comunicaciones ferroviarios.

Disponibilidad de Edificios y Salas Técnicas:

La construcción de los emplazamientos tiene una implicación directa en el avance de la planificación de las telecomunicaciones ferroviarias. Es por ello que la disponibilidad del cuarto técnico para la entrada de

equipos (repartidor de fibra óptica, armario de equipos de transmisión, etc.) requiere de una coordinación entre la técnica de telecomunicaciones y las diversas técnicas responsables de la construcción del emplazamiento, como son la técnica de electrificación para las subestaciones y autontransformadores, la técnica de señalización y edificación para las casetas de señalización, casetas de túnel y edificios técnicos, la técnica de comunicaciones móviles para la casetas de GSM-R y operadores, etc.

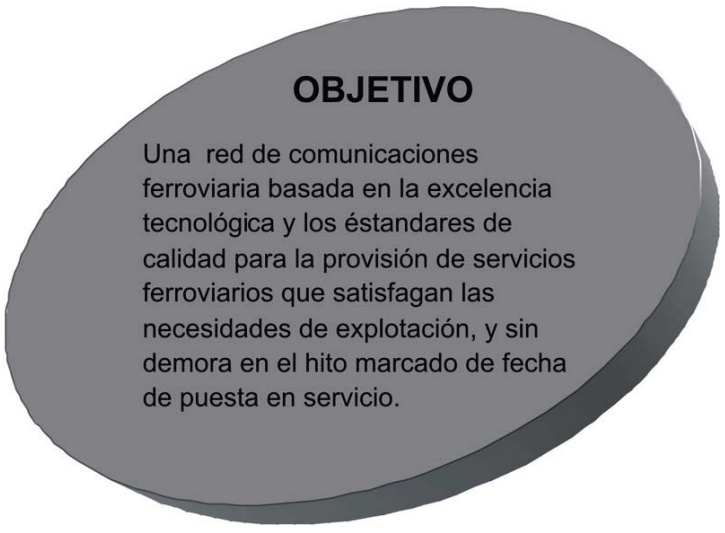
Coordinación con técnicas de plataforma y vía:

La coordinación en el despliegue de una red de telecomunicaciones en una línea de Alta Velocidad es fundamental. Especialmente importante es la cohesión entre las tareas internas descritas anteriormente y las actuaciones llevadas a cabo por plataforma y vía. La puesta en común de ambos planes de obra afloran posibles tareas simultáneas incompatibles. La búsqueda de una solución idónea para todas las técnicas, de tal manera que no se comprometa la fecha final, genera una gestión de proyecto que delimita las fechas de inicio y fin de cada actividad y optimiza los recursos. Cuando plataforma entrega cada uno de los tramos, es un buen momento para iniciar con ímpetu la actividad de instalaciones; en este momento se dispone de todo el trazado facilitándose la entrada a los diferentes puntos de actuación por la propia traza.

Un ejemplo claro de coordinación entre estas técnicas es la conjunción de las siguientes tareas: el extendido de traviesas previo al montaje de la vía y el proceso de tendidos de cables de fibra óptica en la canaleta. Ambas tareas son incompatibles en lo que se refiere a su simultaneidad en el tiempo, y la necesidad de correlación entre ambas planificaciones es imperativa. La búsqueda de una solución que satisfaga el óptimo desarrollo de los dos procesos es gestionada por los Project Manager.

Una circunstancia a destacar es el inicio de la circulación de trenes en fase de pruebas, y con ello, las restricciones de entrada a la vía por condiciones de seguridad en la franja horaria de dichas pruebas. Salvo la entrada a las salas técnicas, las posibilidades de actuación en el trazado son muy limitadas. Por ejemplo, atendiendo al plan de obra de telecomunicaciones, en este periodo deben haber acabado todas las tareas de tendido, empalmes y segregaciones del cableado de fibra óptica.

La puesta en servicio de una red de telecomunicaciones ferroviaria de Alta Velocidad exige un profundo conocimiento técnico de las instalaciones y un claro dominio de la gestión de la obra. Los vínculos de dependencia entre actividades internas, la influencia de hitos externos, la definición y duración de las tareas, la coordinación entre técnicas, y otros muchos más factores, son variables de gestión cuya correcta aplicación determinan el éxito en la consecución de tu objetivo.



**Bibliografía**

[1] "Fiber-Optic Communication System". Autor: Agrawall, G.P.; Año: 2002, Editorial: Wiley Interscience.

[2] "Sistemas de Telecomunicación. Transmisión por línea". Autor: José María Hernando Rábanos. Servicio de Publicaciones E.T.S.I. Telecomunicación Madrid. Año:1991

[3] Normativa CENELEC sobre el sector ferroviario. http://www.cenelec.org

[4] Normativa de Telecomunicaciones Internacional UIT-T y Nacional UNE.

[5] Especificaciones Técnicas Administrador de Infraestructuras Ferroviarias (ADIF).

[6] Experiencia Profesional en Proyectos de Telecomunicaciones Ferroviaria de Alta Velocidad en la empresa Ineco.

vía libre
INVESTIGACIÓN
técnica

La revista Vía Libre Técnica - investigación ferroviaria es una publicación científica digital con versión impresa que pretende acoger los artículos que dan a conocer resultados de investigaciones, estudios o desarrollos relevantes en el ámbito del transporte en general y del ferrocarril en particular.

**junio 2012**
**número 4**

**El efecto de los trenes y servicios de ancho variable en la accesibilidad de la red ferroviaria de alta velocidad**

**Mejora del comportamiento dinámico de puentes de ferrocarril mediante reacondicionamiento con amortiguadores fluido-viscosos**

**Sistema de acceso a trenes en líneas interurbanas con andenes a diferentes alturas**

**Nuevo sistema de señalización ferroviaria**

**Sistema de seguridad ferroviario para personas invidentes y con movilidad reducida**

**Diseño e implementación de una red de comunicaciones ferroviaria de alta velocidad**

FUNDACIÓN DE LOS FERROCARRILES ESPAÑOLES

www.ffe.es