Noviembre 2014
número 8

Vía Libre
INVESTIGACIÓN técnica

- Las aves y el ferrocarril. Un estudio ornitológico desde la ventanilla
- MetroDuo, una propuesta innovadora para la movilidad en las megalópolis
- Análisis de la correlación entre los Puntos Kilométricos Nominales y Reales en la geometría de la línea ferroviaria
- Las implementaciones de sistemas de gestión de tráfico y la seguridad en la circulación entre 1975 y 2009
- Análisis de las perturbaciones producidas por el sistema eléctrico de potencia de ferrocarriles de alta velocidad alimentados a frecuencia industrial
- Recorrido y numeración de los trenes. Interoperabilidad mediante análisis espacial tridimensional e INSPIRE
- La problemática de los pasos a nivel en la red ferroviaria de ancho ibérico y las actuaciones preventivas en el periodo 1975-2009
- ¿Son justificables unas Cercanías de alta velocidad?: El caso gallego

Fundación de los Ferrocarriles Españoles
www.ffe.es

número 8
noviembre de 2014

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

Consejo de redacción:

Pilar Lozano (Directora editorial, FFE)
Ángeles Tauler (FFE)
Alberto García (Renfe Operadora)
Yolanda del Val (FFE)
Antonio Berrios (ADIF)
J. Mariano Rodríguez (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
ISSN: 2174-0194

FUNDACIÓN DE LOS FERROCARRILES ESPAÑOLES
www.ffe.es

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

SUMARIO

Las aves y el ferrocarril. Un estudio ornitológico desde la ventanilla 9
Enrique Murgui Pérez

MetroDuo, una propuesta innovadora para la movilidad en las megalópolis 23
Ildefonso P. de Matías Jiménez

Análisis de la correlación entre los Puntos Kilométricos Nominales y Reales en la geometría de la línea ferroviaria 43
José Gómez Castaño; Alejandro Sánchez de Miguel; Jaime Zamorano

Las implementaciones de sistemas de gestión de tráfico y la seguridad en la circulación entre 1975 y 2009 55
José Perlasia Giol

Análisis de las perturbaciones producidas por el sistema eléctrico de potencia de ferrocarriles de alta velocidad alimentados a frecuencia industrial 81
José Conrado Martínez Acevedo

Recorrido y numeración de los trenes. Interoperabilidad mediante análisis espacial tridimensional e INSPIRE 101
José Gómez Castaño

La problemática de los pasos a nivel en la red ferroviaria de ancho ibérico y las actuaciones preventivas en el periodo 1975-2009 121
José Perlasia Giol

¿Son justificables unas Cercanías de alta velocidad?: El caso gallego 145
José Enrique Villarino Valdivielso

SUMMARY

Birds and railways: an ornithological study through the train window 9

Enrique Murgui Pérez

Abstract: This paper explores the suitability of railway travels in order to obtain reliable information on bird fauna and investigates how such information could be employed for scientific purposes. The study was carried out in the railway Valencia-Utiel (Comunidad Valenciana, Spain) between Xirivella and Buñol railway stations (40 km. apart). From April 2012 to March 2014 a weekly trip summarizing one hundred visits was made between 8.15 to 9.00 a.m. We recorded 16899 birds belonging to 57 species. Most of the bird species were associated to farmland being the species associated to woodland relatively rare, a situation that reflected quite exactly the distribution of habitats along the railway. Results indicated that travelling by train is possible to obtain a quite accurate view of the composition of bird communities, and a reliable estimate of the abundance of conspicuous bird species. Nevertheless, the abundance of very small bird species and those associated to the tree or the shrub layer was underestimated. The correction of these shortcomings, due to bias in detectability, is difficult insofar the main feature of censusing from the train is the fleetingness of sightings and the lack of the information provided by the songs and calls of birds. Therefore, the results indicate that this is not a reliable method to compare the abundance across species or sites. However comparisons across time periods would be feasible and the most promising use of bird data generated in railway travels would be to obtain long-term trends of bird populations, especially if a proper temporal and spatial coverage were reached. This information could complement other bird monitoring programs at national scale carried out in Spain and in other countries, bringing us useful information for science and bird conservation.

keywords: Biological Monitoring, Bird Censuses, Citizen Science, Population Trends, Railway, Seasonality, Species Richness.

MetroDuo, a major breakthrough for megacities transportation 23

Ildefonso P. de Matías Jiménez

Abstract: This article describes a new alternative of urban rail transport with great capacity and high commercial speeds in response to the mobility problem in the megalopolises, where the distances to cover are constantly increasing and travel time becomes a decisive factor to ensure the quality of life of their inhabitants, their competitiveness and therefore their sustainability.

Keywords: MetroDuo, mobility, megacities, railway urban transport, innovative solution.

Nominal and Real kilometer points analysis of the correlation in the geometry of the railway line 43

José Gómez Castaño; Alejandro Sánchez de Miguel; Jaime Zamorano

Abstract: Throughout the life of a railway line, this has fluctuations that afect its position mile points located along the route. These points mark hectometers in order to indicate to the operator and personnel working on the railway, where they are located. They also assume a point of reference for any reference made to it, as incidents position, speed limits, etc.

The alterations in the layout of the railway produce changes in the actual position of these mile points, so their geographical position does not coincide with they are showing. For this reason when it would be necessary locate any event over the infrastructure from its GPS coordinates, a correction will be applied . So, both locations will be the same.

Abstract: In this paper it is made a comparison between real and theoretical thereof, in order to identify where and to what extent there is casuistry. The dataset source for the locations of Nominal Pks has been extracted from “Mapa Topográfico Nacional” and “Base Cartográfica Nacional” 1:25.000. The features form lines have been extracted from “Tramificación Común version 12” by IDEAdif

As a result of this work a new field has been added for every PK from MTN25 to show the real line and an algorithm has been developed to correlate real and nominal kilometers.

Keywords: Railway, GIS, kilometer points, algorithm.

Contribution to the implementation of technological innovations in improving the security of Spanish rail system 55

José Perlasia Giol

Abstract: At the same time the in the carriage o passengers and good by rail, traffic safety is most important quality factor for society in general, for governments of the countries and to the managers of this transport.

In the evolution of the railway in Spain from 1848 to today has evolved dramatically and especially since 1975 during which time nearly 40 years has completely changed the management system circulation going from putting almost all the responsibility on the human factor in many implementation rules to the command and control modern signalling systems based on traffic management that have allowed total crashes reported annually has decreased in a spectacular way and especially those related to collisions train which is a class of accident whose consequences are of the utmost gravity for her involvement with the persons and property of the railroad.

This article aims to briefly explain what has been the evolution of locking systems train their movement within the stations which have been the technical means and security systems to prevent human error and the implementation of modern traffic management systems and centralized independent in markedly reduce the risk of human error.

Fundamental paper presents two graphs, the first concerning the evolution of all traffic accidents in the 40 years cited in particular collision and the second reflecting the different stages of that period as has occurred cause-effect relation ship between the implementation of the media and the corresponding reduction, witch has been made possible by sophisticated locking systems ,interlocks , of driving aids such as ASFA radio communications and centralized traffic control.

The discussion and analysis focus exclusively on Spanish railways Iberian gauge (1,668 m) and the period from 1975 to 2009 regardless of the high speed is not the subject of the article.

keywords: Level of railway safety, Block system trains, Innovation technical, Notice automatic braking signals, Moment of level crossing, Track twist, Automatic block banal, Leveling defect track, Interlocking, Centralized traffic control, Implementing, Accident reduction, Frequency index, Railway system, Technical failure, Human factor, Train collision, Radiotelephone of trains.

Analysis of disturbances produced by the electric power system of high speed railways fed at industrial frequency 81

José Conrado Martínez Acevedo

Abstract: High speed trains that operate with industrial frequency (network frequency) are a source of disturbances in the power lines and the own railway environment. In this case, the disturbances affect the rest of existing equipment. Although these disturbances cannot be removed, they can be reduced using techniques and schemes of connection between the affected elements (power line, railway electric substation and catenary).

Keywords: Disturbance, power line, railway electric substation, catenary.

Path and train numbering. Interoperability using spatial analysis and INSPIRE 101

José Gómez Castaño

Abstract: In this paper an algorithm to solve train path and numbering interoperability is proposed. The most powerful tool to achieve this is a three-dimensional analysis of the train position, integrating information about its route and schedule in the same spacetime geometry. Also a study of the different data formats for exchanging information and OGC services available to do it, was carry out.

Due to the increasing number of Railway Undertakings and Infrastructure Managers involved in railway operations in Europe, how to designate the trains are different from one organization to another and from one state to another. Thus, one can find different designations for the same train depending on the use that is of the same, to find a common methodology to meet the equivalence between them is necessary.

A staple of the train is its route or path. This consists of the set of points where the train moves through sequentially, from its origin to its destination. The same route can be designed differently, and even each route section of their journey can be known differently by each organization and several trains can be merged to be identified by another organization.

The use of geospatial data over rail operation is a new recently open target. These allow to optimize decision making processes and make them more flexible compared to traditional solutions, complementing alphanumeric data, and incorporating new analysis capabilities and improving existing processes.

INSPIRE ANNEX I and its application to transportation networks, provides a framework for geographic features, so that it is possible to define a common way across the European Union, along with the RINF initiative.

The spatial databases are specialized in this type of data and are proving increasingly harder, as a powerful tool for the use of these data in the railway operation. In this work a methodology to associate different numbering a path or part thereof, and knowing the relationships between them, and an interoperable result is presented. The result allows to know the numbers associated with a train for each segment of its route within each organization that manages it and their relations with others.

Keywords: Railway, GIS, INSPIRE, Interoperability, SFSQL, Spatial Analysis.

Problematic of level crossings on the 1,668 mm network and preventive action in 1975-2009..... 121

José Perlasia Giol

The problem of level crossings on the railway is as old as the construction of means of transport it had its origin in the need to divide farms , towns and cities to design the layout of it at the same time creating the need to cross them to move on either side thereof.

Thus for many years the railway authorities had only an agreement to establish gatekeepers in those steps affecting trunk roads , crosses from one side to another track in the cities and special cases.

The rest of the level crossings were limited to signals indicating saltire "Step unguarded . Service station " and trains have always had preference whereby numerous accidents steps were generated in this type of steps and even saved as most of them did not have the phone or side stations .

The first performances of automation modernization took place in 1954 and following that some railway lines León and Asturias and Galicia were equipped with Centralized Traffic Control and thus was forced to

They could close the distance from said control before authorizing the passing trains .

It was not until 1978 when the new management of the State Ministry of Transport conducted jointly with RENFE that true transformation suppression and improved protection of level crossings are created .

This paper develops the actions carried out in the areas mentioned and the correlation between them, including the removal of level crossings and incredible gains in reducing accidents and loss of life is a performance, in general, little known in its significant magnitude.

keywords: Gatekeeper, centralized traffic control (CTC), wire transmission, lifting barriers, sliding, automatic half-barriers, interlocked half-barriers, islands, pedals, planking, candlesticks, optical and acoustic.

Can a high speed commuter rail be justified? The Galician case..... 145

José Enrique Villarino Valdivielso

This article is divided into three sections. In the first section, it presents Galicia’s population and territory models. It also presents the limitations that the deployment of a commuter type rail services with high transport capacity, high frequencies and travel times which are competitive with other transport modes.

The second section discusses the distortions that such a service can have on the operation of the commuter rail services, with large average distance travelled, which require programming long train trips, which entails great costs because of the low load factor, due to a low recurrent mobility. To these costs, it is necessary to add the additional costs which will be incurred as it will be required to operate an important percentage of the offer with Avant type vehicles which have high costs of investment, maintenance and operations.

The third and last section warns the authorities of the unavoidable expansion of the already large deficit, if the current services are transformed into a commuter type operation, as it is done in other Spanish regions, recommending not to adopt such decision, which would be equivalent to look to the other side so as not to see the unsustainable effects, moreover with the current systemic crisis.

Keywords: Galician, Commuter, High Speed, Rail.

FUNDACIÓN DE LOS FERROCARRILES ESPAÑOLES
www.ffe.es

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

Las aves y el ferrocarril. Un estudio ornitológico desde la ventanilla

Birds and railways: an ornithological study through the train window

Enrique Murgui Pérez (*)
Grupo para el Estudio de las Aves.
G.V. Marqués del Turia, 28. 46005 Valencia

Resumen

Las aves y el ferrocarril: un estudio ornitológico desde la ventanilla. En este estudio se analizan las posibilidades que el desplazamiento en ferrocarril ofrece para el conocimiento de la avifauna y para la obtención de datos biológicos que puedan tener una utilidad científica. El estudio tuvo lugar en la línea férrea de Cercanías Valencia-Utiel (Valencia, España) y se prolongó desde el mes de abril del 2012 a marzo del 2014. En esos meses, se viajó en el tren semanalmente entre las 8.15 y las 9.00 a.m. y se identificaron y censaron las aves observadas desde el tren entre la estaciones de Xirivella y Buñol distantes 40 km. entre sí. En un total de 100 visitas se contabilizaron 16899 aves pertenecientes a 57 especies. La mayoría de especies registradas pertenecía a medios de cultivo, y eran escasas las forestales, reflejando con bastante aproximación las características del hábitat atravesado por el tren. Los resultados obtenidos indican que viajando en ferrocarril es posible obtener una visión bastante exacta de la composición de la comunidad ornitológica, y que la abundancia relativa de las especies conspicuas se aproxima a la que podríamos obtener mediante recorridos a pie; no obstante, la abundancia de las especies pequeñas, y propias de medios arbóreos o arbustivos densos aparece infravalorada. Tales deficiencias, debidas a la diferente detectabilidad de las especies, son difícilmente corregibles en un método de censo que se caracteriza por la fugacidad de las observaciones y la ausencia de la información aportada por el canto y reclamo de las aves. Estas circunstancias limitan seriamente la utilidad de los datos para la comparación entre especies o entre lugares. Sin embargo, la comparación entre periodos de tiempo es posible. Por tanto, la aplicación más fructífera de los datos recabados desde el ferrocarril estaría en la obtención de las tendencias demográficas a largo plazo de las especies de aves, un aspecto que, de alcanzar una cobertura espacial y temporal adecuada, podría rendir una información útil desde el punto de vista científico y de la conservación, y complementaria a la de los programas de seguimiento de las poblaciones de aves ya implementados en España o en otros países.

Palabras clave: Censos de Aves, Ciencia Cívica, Estacionalidad, Ferrocarril, Riqueza de Especies, Seguimiento Biológico, Tendencias Poblacionales.

Abstract

This paper explores the suitability of railway travels in order to obtain reliable information on bird fauna and investigates how such information could be employed for scientific purposes. The study was carried out in the railway Valencia-Utiel (Comunidad Valenciana, Spain) between Xirivella and Buñol railway stations (40 km. apart). From April 2012 to March 2014 a weekly trip summarizing one hundred visits was made between 8.15 to 9.00 a.m. We recorded 16899 birds belonging to 57 species. Most of the bird species were associated to farmland being the species associated to woodland relatively rare, a situation that reflected quite exactly the distribution of habitats along the railway. Results indicated that travelling by train is possible to obtain a quite accurate view of the composition of bird communities, and a reliable estimate of the abundance of conspicuous bird species. Nevertheless, the abundance of very small bird species and those associated to the tree or the shrub layer was underestimated. The correction of these shortcomings, due to bias in detectability, is difficult insofar the main feature of censusing from the train is the fleetingness of sightings and the lack of the information provided by the songs and calls of birds. Therefore, the results indicate that this is not a reliable method to compare the abundance across species or sites. However comparisons across time periods would be feasible and the most promising use of bird data generated in railway travels would be to obtain long-term trends of bird populations, especially if a proper temporal and spatial coverage were reached. This information could complement other bird monitoring programs at national scale carried out in Spain and in other countries, bringing us useful information for science and bird conservation.

keywords: Biological Monitoring, Bird Censuses, Citizen Science, Population Trends, Railway, Seasonality, Species Richness.

* enmurpe@alumni.uv.es

Toda la hermosura del campo
de ventanillas a ventanillas
traspasa el tren

Del tren
Agustín García Calvo

1. Introducción

Menciona Julio Cortázar, en uno de sus relatos, el menudo placer de propietario que se experimenta al ocupar un asiento de ventanilla en los transportes públicos. Es una expresión acertada, porque desde la ventanilla, en este caso del tren, se nos brinda, se diría que en exclusiva, un espectáculo siempre cambiante: las a veces bruscas y a veces graduales transformaciones del paisaje a medida que el ferrocarril avanza. Un paisaje en donde la cualidad y abundancia de los elementos que lo componen, sean naturales o antrópicos, y su disposición en el espacio obedecen a múltiples factores (geográficos, ecológicos, culturales…) que siempre resulta interesante conocer.

En el paisaje, resulta lógico que sean los objetos grandes e inmóviles los que más se presten a la observación por parte del viajero. No obstante, también existen elementos móviles, como las especies animales, a las que es interesante dedicar atención. Entre ellas son las aves el grupo quizá más visible y ubicuo, de tal modo que su observación e identificación desde el tren no sólo nos permite incrementar nuestro conocimiento y disfrute del paisaje que el tren atraviesa sino, incluso, puede permitir una cierta aplicación científica, como luego veremos.

Las aves y el ferrocarril desde un punto de vista científico

Si la comparamos con la bibliografía proporcionada por la otra gran infraestructura de transporte que son las carreteras (Forman & Alexander 1998; para un estudio reciente en España veáse Torres *et al.* 2011) el efecto del ferrocarril sobre la avifauna, y en general sobre las especies animales, ha generado una escasa literatura científica. En esta relativa escasez seguramente influyen dos motivos. El primero es que en toda Europa y en España el trazado del ferrocarril convencional aparece ya consolidado a principios del siglo XX, es decir, mucho antes de que existiera una legislación que exigiera aquilatar el impacto ambiental de las vías férreas; estudios de impacto ambiental que han sido preceptivos en los comparativamente más recientes trazados de carreteras o autopistas y en las nuevas líneas de ferrocarril. Una segunda causa tal vez sea la percepción por parte de la comunidad científica de que el ferrocarril convencional es menos lesivo para la avifauna que las carreteras (el tren de Alta Velocidad, en cambio, plantea otra problemática Rodríguez *et al.* 1996, Rodríguez *et al.* 2008). Percepción quizá no del todo errónea cuando consideramos que: (i) la longitud y la superficie ocupada por las vías férreas y su dispersión espacial es menor que la de las carreteras lo que implica, en líneas generales, menor destrucción, degradación y fragmentación de los habitats; (ii) la menor frecuencia de paso de los trenes, por comparación con los automóviles, supone menos contaminación acústica y, seguramente, un menor número de colisiones por kilómetro con la avifauna. Obviamente, esto no implica que el efecto del ferrocarril sobre las aves sea desdeñable: se producen electrocuciones con las líneas de tensión y atropellos, que en algunos tramos son frecuentes; problemas que llegan a afectar a especies en un estado de conservación desfavorable como el Buitre Negro *Aegypius monachus* o el Águila Imperial *Aquila heliaca* (De la Peña & Llama 1997).

El presente artículo no se adentra en los temas mencionados en el párrafo anterior sino que trata de dar respuesta a algunas preguntas que se hizo el autor, enfrentado a la necesidad de realizar un trayecto semanal en los trenes de cercanías: ¿es factible identificar y aun censar las aves desde el tren?, ¿cuántas especies es posible observar?, ¿resulta factible obtener una aplicación científica de tal conocimiento?

El censo desde vehículos es un procedimiento relativamente frecuente en los estudios sobre la ecología de especies animales que poseen territorios o áreas de campeo muy extensas. Así, han sido censados desde vehículos aéreos o terrestres las poblaciones de de grandes herbívoros (Gaidet *et al.* 2006, Foguekem *et al.* 2010) o desde un automóvil las poblaciones de aves rapaces y córvidos (Carrascal *et al.* 1989, Viñuelas 1997). Sin embargo, que sepamos, es la primera vez que se valora el uso del ferrocarril para estos propósitos y se extiende su aplicación a todas las especies de aves y no sólo a las de gran envergadura.

2. Material y métodos

Área de estudio

El estudio tuvo lugar en el tramo de la línea de ferrocarril entre las poblaciones de Valencia y Buñol (Comunidad Valenciana, España) distantes entre si 40 km (Figura 1). Este tramo forma parte del recorrido de la línea de Cercanías Valencia-Utiel que, a su vez, es un sector de la línea de ferrocarril Valencia-Cuenca-Madrid. Esta vía soporta un tráfico aproximado de 50 trenes diarios entre los de Cercanías y de Media-Distancia. La velocidad media de los trenes de cercanías alcanza unos 80 Km./hora. Para el estudio comenzamos las observaciones desde la segunda estación (Xirivella) ya que el primer tramo (Valencia-Xirivella) tiene un carácter básicamente urbano.

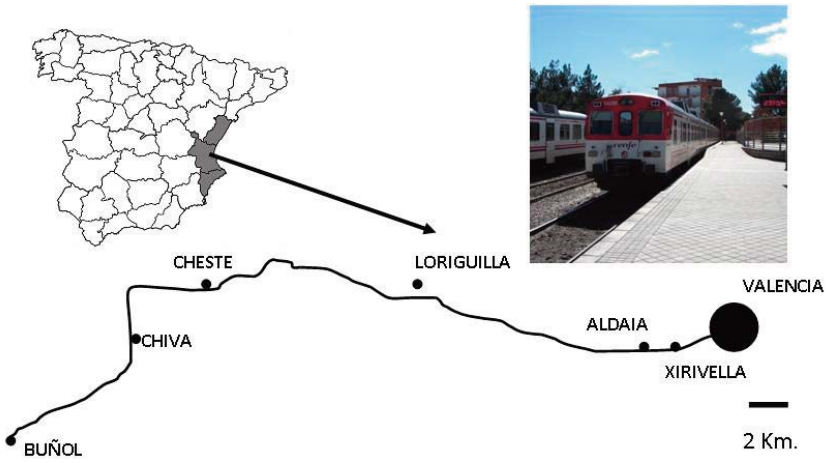


Figura 1. Ubicación del área de estudio

La línea de ferrocarril atraviesa un paisaje que va cambiando a medida que nos alejamos de la costa. En los primeros quince kilómetros predominan campos de cítricos *Citrus spp*. mezclados con parcelas, a veces muy amplias, de vegetación ruderal (ej. Cerraja *Sonchus tenerrimus,* Zarramaga *Conyza sumatrensis*, Malva *Malva parviflora*, Rabaniza *Diplotaxis erucoides*…). Conforme nos desplazamos hacia el oeste, las parcelas de vegetación ruderal casi desaparecen y los campos de cítricos se hacen más escasos siendo sustituidos por cultivos de secano, sobre todo Algarrobo *Ceratonia siliqua*, Almendro *Prunus dulcis*, Olivo *Olea europaea* y, en menor medida, Vid *Vitis vinifera*. Paralelamente ganamos altitud, el relieve se va haciendo

más abrupto, y en las zonas de mayor pendiente la tierra aparece sin trabajar y ocupada por una vegetación natural de tipo mediterráneo compuesta por un estrato arbóreo muy disperso de Pino Carrasco *Pinus halepensis* y un estrato arbustivo en el que predominan especies como la Coscoja *Quercus coccifera*, la Aliaga *Ulex parviflorus* o el Aladierno *Rhamnus spp*. El otro elemento fisiográfico más relevante de esta línea es el Barranco de Chiva, en cuyo fondo discurre un arroyo, normalmente con agua, y en cuyos bordes encontramos una vegetación herbácea o arbustiva (ej. Zarza *Rubus ulmifolius*) no muy desarrollada. Todo el recorrido, sobre todo en su primera parte, aparece muy antropizado con numerosos caminos, carreteras y edificaciones aisladas o formando pequeños grupos o urbanizaciones.

Periodo de estudio

El periodo de estudio abarca desde el 18 de abrilde 2012 hasta el 31 de marzo de 2014. En ese periodo de tiempo se realizó un viaje semanal en el tren de cercanías que cubre el tramo Valencia-Buñol entre las 8.15 y las 9.00 a.m. Es decir, se realizaron 100 viajes.

Método de censo

Las características propias de un estudio como éste, en el cual las observaciones de las aves se hacen desde un vehículo en marcha, exigen algunas precauciones a la hora de ubicar el puesto de observación. En primer lugar, dado que las aves más cercanas a la vía suelen espantarse al paso del tren, es necesario colocarse en el vagón de cabeza del convoy, lo que nos asegurará observar las aves que levantan el vuelo al paso del vehiculo. Luego, debemos de elegir entre las ventanillas del lado derecho o izquierdo del vagón considerando el sentido del trayecto, ya que se ha de evitar tener el sol de frente lo que impediría una correcta visión.

La observación desde un vehículo impone algunas limitaciones a nuestra capacidad para identificar las especies y determinar su abundancia. La primera y más obvia limitación proviene de la velocidad del tren que hace que las observaciones sean muy fugaces, tanto más cuanto más cerca se halle el objeto a la vía; además, en un medio de transporte público no es posible, como podría ocurrir en nuestro automóvil, detenernos para confirmar la observación. Una segunda limitación, muy importante, la constituye el hecho de que no escuchamos los cantos y reclamos de las aves a nuestro paso, de tal modo que perdemos una fuente de información crucial a la hora de detectar las especies y determinar su abundancia. Estas circunstancias hacen obligatoria una capacitación previa en la identificación de especies de aves (ver Discusión).

Un ultimo punto a considerar tiene que ver con el registro de los datos: si cada vez que observamos un pájaro apartamos la vista para apuntar el dato podemos, dada la velocidad del tren, pasar por alto otras observaciones. Una solución es usar una grabadora; otra, menos sofisticada, consiste en dividir el tramo entre estaciones o en periodos de tiempo no superiores a 15 minutos (lo cual, además, es conveniente desde un punto de vista analítico), memorizar las especies e individuos que hemos observado y anotar los datos durante la parada. Con un poco de entrenamiento no es difícil ya que, como veremos, la abundancia de especies e individuos que podemos detectar entre estaciones no resulta muy elevada.

Estandarización del esfuerzo de muestreo y de los datos obtenidos

Un aspecto básico en cualquier estudio sobre la riqueza de especies o sobre la abundancia de las poblaciones es el control del esfuerzo aplicado a la detección de los individuos (Tellería 1986, Bibby *et al.*

1992) lo cual nos permitirá discernir variaciones en la distribución espacial y temporal de tales parámetros. Por ejemplo, si durante el invierno realizamos las observaciones en el viaje de ida, y durante la primavera siguiente en el viaje de vuelta, ya no podemos atribuir diferencias en las especies detectadas únicamente al cambio de estación meteorológica, sino que hemos añadido una fuente de variación (el horario) que hace más difícil la interpretación de los resultados. La conclusión es que debemos mantener las condiciones de observación constantes (el mismo vagón, ventanilla, horario, forma de recoger los datos etc.).

Otra cuestión importante es que debemos estandarizar los datos que obtenemos para su correcta valoración. Por lo que se refiere al número de aves, un correcto análisis requiere dividir el número de aves observadas por los kilómetros recorridos, obteniéndose de este modo un índice de abundancia relativa. Normalizar la riqueza de especies requiere de un tratamiento más complicado, tanto desde un punto de vista conceptual como metodológico, cuya descripción excede el propósito de este estudio, tanto más cuando la comparación de este parámetro entre zonas o épocas del año no es prioritaria (ver la Discusión). Mediante el programa PAST (Hammer *et al.* 2001) hemos utilizado un proceso de estandarización denominado rarefacción (Krebs 1989) que, básicamente, nos permite conocer el número de especies que podemos esperar para una abundancia determinada de aves.

3. Resultados

Composición en especies y abundancia

En total se detectaron 16 899 individuos correspondientes, al menos, a 57 especies de aves (Apéndice 1). Y decimos *al menos* porque 236 individuos no pudieron ser identificados y se clasificaron como indeterminados.

Taxonómicamente, las 57 especies identificadas representan 31 familias de aves. Cuando separamos estas especies por el tipo de hábitat que utilizan (Figura 2) observamos que más de la mitad corresponden a especies propias de medios abiertos y cultivos como, por ejemplo, el Verdecillo *Serinus serinus* y el Colirrojo Tizón *Phoenicuros ochruros*; las especies forestales, como el Petirrojo *Erithacus rubecula* y el Carbonero Común *Parus major*, son más escasas. Las aves rapaces (ej. Cernícalo Vulgar *Falco tinnunculus* y Busardo Ratonero *Buteo buteo*) forman asimismo un pequeño conjunto, pero las especies ligadas a medios acuáticos (Garza Real *Ardea cinerea* o Cigüeñuela *Himantopus himantopus*) están mejor representadas.

Figura 2. Distribución de las especies observadas atendiendo a su utilización del hábitat

La abundancia de las especies aparece muy desigualmente repartida (Apéndice 1). Las cinco especies más abundantes constituyen el 74 % de las aves registradas, mientras que 34 especies, es decir el 60 %, aparecen con abundancias inferiores a 50 individuos.

Variación temporal

Las especies registradas en cada desplazamiento semanal oscilaron entre 5 y 19 con una media de 12 especies por desplazamiento, no mostrando un patrón muy definido a lo largo del año (Figura 3).

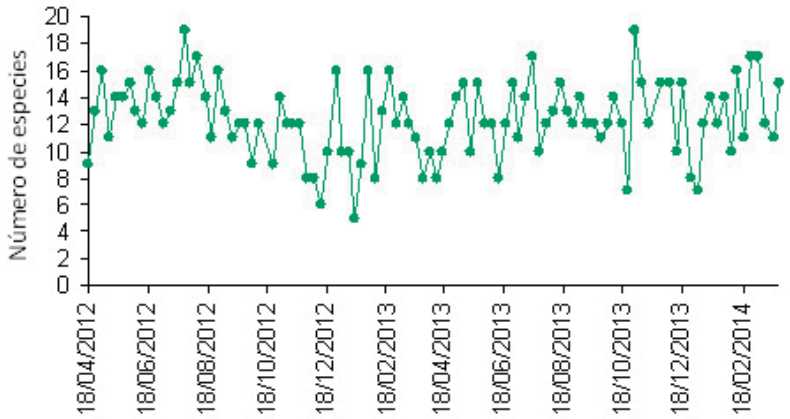


Figura 3. Número total de especies de aves registradas en cada trayecto realizado entre abril del 2012 y marzo del 2014.

Cuando, para cada mes, promediamos la riqueza de especies obtenida en cada desplazamiento (Figura 4) se observa que durante el verano se obtienen unos valores algo más elevados que el resto del año; existía, sin embargo, una cierta variación interanual de modo que en el otoño del 2013 aparecían valores superiores a los del 2012.

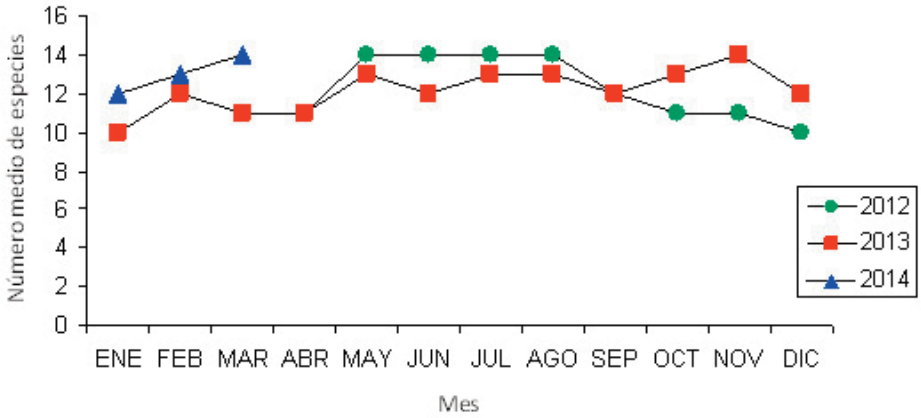


Figura 4. Número medio de especies de aves registradas mensualmente entre abril del 2012 y marzo del 2014.

Por lo que concierne a la abundancia, los valores semanales oscilaron en un rango muy amplio (31 a 685 individuos) con un valor medio de 169 aves por desplazamiento (Figura 5).

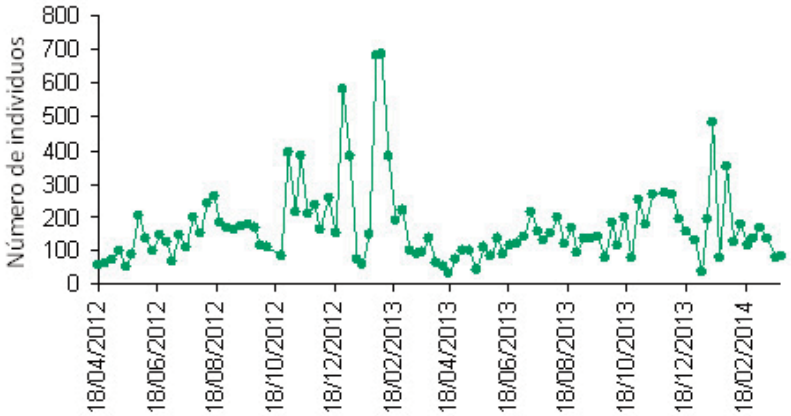


Figura 5. Número total de individuos registrados en cada trayecto realizado entre abril del 2012 y marzo del 2014.

Los valores de abundancia mostraban un patrón interanual similar, sobre todo cuando para cada mes promediamos los valores (Figura 6): la abundancia aumenta gradualmente desde abril alcanzando el máximo en los meses invernales y luego cae bruscamente en marzo (sobre todo en el año 2013), registrándose los valores mínimos al comienzo de la primavera.

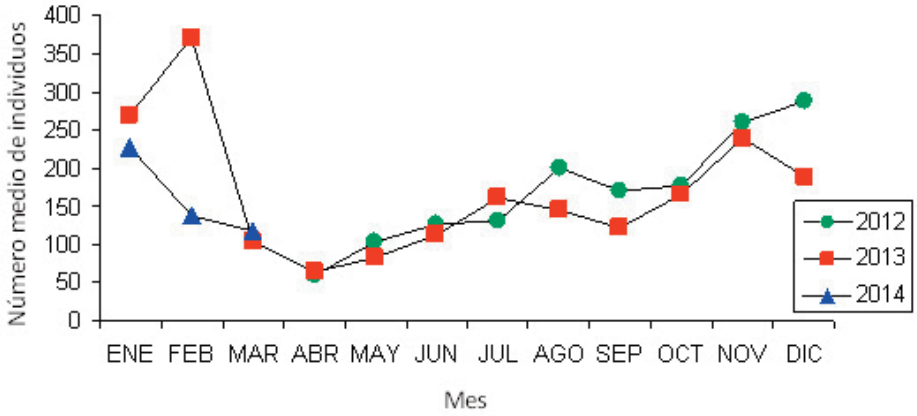


Figura 6. Número medio de individuos registrados mensualmente entre abril del 2013 y marzo del 2014.

Variación espacial

Un análisis adecuado de este aspecto necesitaría tener en cuenta la interacción entre el tramo recorrido y la época del año; sin embargo, para simplificar, vamos a utilizar los datos de abundancia en cada tramo recorrido para cada uno de los años de estudio. Estos datos indican (Tabla 1) que durante el segundo año aumentó el número de especies observadas en casi todos los tramos pero se observaron menos aves en los tres últimos tramos, especialmente en el tercero.

Tabla 1. Valores de riqueza de especies y de abundancia de aves para cada uno de los años de estudio.

	2012-2013		2013-2014	
Tramo	Especies	Aves	Especies	Aves
T1: Xirivella-Aldaia	17	583	23	543
T2: Aldaia-Loriguilla	32	3800	32	3708
T3: Loriguilla-Cheste	35	3271	34	1561
T4: Cheste-Chiva	27	806	35	552
T5: Chiva-Buñol	27	1036	31	941

El número de aves observadas por tramo osciló entre 543 y 3800 (Tabla 1) pero estos valores no pueden ser comparados directamente ya que el numero de aves observadas depende de la distancia recorrida. Cuando estandarizamos los datos de abundancia en función de los kilómetros recorridos (Figura 7) observamos que, con alguna ligera diferencia entre años, el máximo de abundancia se alcanza en el tramo segundo y disminuye progresivamente a medida que avanzamos hacia el oeste.

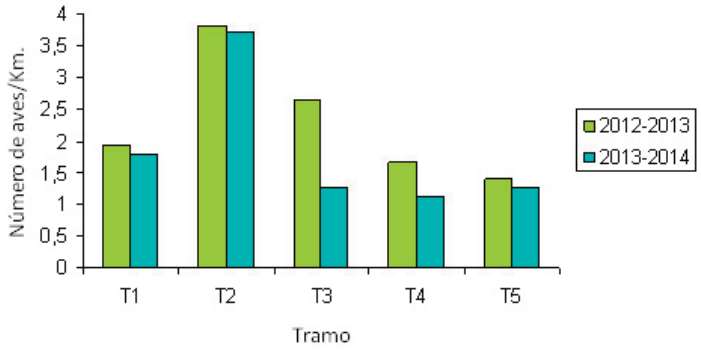


Figura 7. Índice de abundancia (aves/kilómetro) obtenido en cada tramo recorrido.

El número de especies observado por tramo osciló entre 17 y 35 (Tabla 1). Como ocurría con la abundancia, la comparación directa entre tramos es engañosa ya que la riqueza de especies está influenciada por el número de aves observadas así que hemos estandarizado por rarefacción los datos (ver Métodos). De este modo, obtenemos el número de especies esperadas para una abundancia determinada de aves, en este caso para 583 o 543 aves que es el número mínimo registrado durante cada año en el tramo 1 (Tabla 1). La riqueza esperada de especies sigue un patrón opuesto al de la abundancia y tiende a aumentar conforme nos desplazamos al oeste (Figura 8).

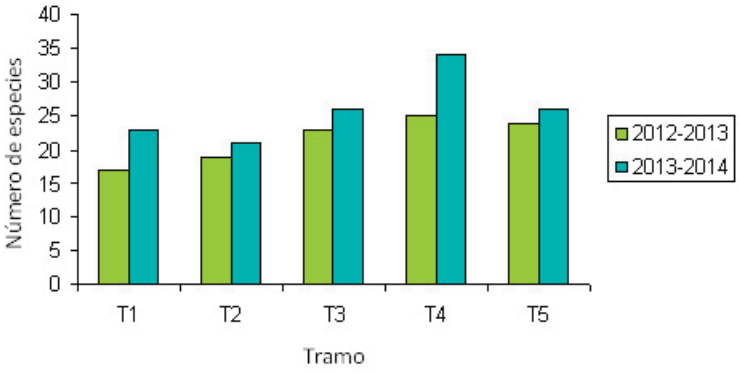


Figura 8. Número de especies obtenido por el proceso de rarefacción para cada tramo recorrido.

4. Discusión

Las casi sesenta especies de aves identificadas durante la realización de este estudio demuestran que es posible añadir una dimensión más a la observación del entorno que el viaje en tren permite, incrementando así nuestro conocimiento del paisaje que podemos contemplar desde la ventanilla.

Es cierto, sin embargo, que ese objetivo requiere de una capacitación previa en la identificación de aves que, necesariamente, debe de realizarse al modo tradicional, es decir, caminando. Más aun, las ya mencionadas limitaciones que la marcha del tren impone al acto de observar, implican que sea necesaria una elevada experiencia en la identificación de aves para obtener el máximo rendimiento de un viaje en tren. Esto no obsta para que determinadas especies (palomas, córvidos, algunas aves acuáticas…) puedan ser fácilmente reconocibles por cualquier viajero. En este sentido, la iniciación a la observación de aves desde el tren se beneficiaría de una introducción, limitada pero muy útil, como es la de Deom (1990) apoyada por algunas guías de identificación más ceñidas a la avifauna española (de Juana 2005) y de otras (Couzens 2011) que ponen el énfasis en algunos aspectos del comportamiento que pueden ser cruciales en la identificación rápida y sin el concurso de aparatos ópticos.

Establecido, pues, que la observación e identificación de aves es posible desde el tren, se suscita la cuestión de si es posible obtener una idea exacta de las comunidades de aves que habitan los lugares que atraviesa el ferrocarril y de sus variaciones temporales y espaciales. La respuesta a esta pregunta depende del tipo de parámetro que consideremos.

Por lo que respecta a la composición de especies, comparando las especies observadas desde el ferrocarril con las registradas en hábitats similares y cercanos, ya sea como reproductoras (Murgui 1998, Martí & Del Moral 2003, Murgui 2010) o invernantes (Murgui 1996, 2010), vemos que el grado de coincidencia es elevado, de tal modo que pocas de las especies comunes han permanecido sin detectar. A estas ausencias puede contribuir la identificación errónea desde el tren de algunas pocas especies muy similares a otras. Por ejemplo, algún Zorzal Charlo *Turdus viscivorus* puede haber pasado desapercibido entre los zorzales comunes *Turdus philomelos* asociados a los olivares. En líneas generales, no obstante, las ausencias corresponden a especies poco abundantes o que habitan medios de vegetación densa (ej. Chochín *Troglodytes troglodytes*) donde la detección desde el vehículo es reducida. Esta circunstancia se ve exacerbada durante los periodos migratorios (marzo-mayo y septiembre-noviembre) cuando muchas de las especies en paso son pequeños paseriformes (Mosquitero Musical *Phylloscopus trochilus*, Curruca Zarcera *Sylvia communis*…) asociados a medios forestales o arbustivos y, por tanto, difícilmente identificables, y aun detectables, desde el tren en marcha.

En lo que se refiere a la abundancia relativa de las especies, la idoneidad del ferrocarril para obtenerla depende de las características de esas mismas especies. Para bastantes de ellas (aves rapaces y acuáticas, córvidos…) la abundancia obtenida refleja bastante bien lo que cabría esperar o, al menos, lo que podríamos obtener mediante recorridos a pie por la misma zona. En este sentido, es interesante observar que para algunas de estas especies (Ratonero *Buteo buteo*, Alcaudón Real *Lanius excubitor*, Urraca *Pica pica*) la abundancia relativa obtenida desde el tren resulta comparable — hasta donde tal comparación es posible teniendo en cuenta las diferencias geográficas y temporales entre los dos estudios — con respecto a los censos realizados desde automóvil por Carrascal *et al*. (1989).

Para otras especies es menor la confianza que podemos depositar en la abundancia relativa obtenida. Por ejemplo, en cuarenta kilómetros de recorrido de hábitats mayoritariamente de cultivo arbóreo disperso resulta poco verosímil que la abundancia de urracas sea 1000 veces superior a la de carboneros comunes *Parus major* (ver Apéndice 1). La solución a esta discrepancia se encuentra en el hecho de que las relativamente grandes y conspicuas urracas son, meramente, más fáciles de detectar desde el tren que un pájaro de 18 gramos de peso asociado a las copas de los árboles y cuya detección, además, se ve mermada

por la imposibilidad de escuchar los cantos y reclamos que emite. De hecho, un examen de los datos mostrados en el Apéndice 1 indica, coincidiendo con Carrascal *et al*. (1989), que las especies de pequeño tamaño, las asociadas al estrato arbóreo o a medios arbustivos densos, y las que no se desplazan en bandos se presentan con una abundancia menor de la que correspondería en las zonas prospectadas, o dicho de otro modo que su detectabilidad es menor y está siendo disminuida por la forma en que se realiza el censo.

En suma, la variación en la detectabilidad, de difícil solución por la propia metodología de censo, impone restricciones al uso de los datos. De este modo, la comparación entre épocas del año debe realizarse con cuidado si los fenómenos migratorios implican cambios muy acusados en la demografía de las poblaciones. En este sentido, los relativamente bajos valores, tanto de riqueza de especies como de abundancia, obtenidos en este estudio durante los pasos migratorios podrían deberse a que muchas especies propias de esta época son de reducido tamaño y de carácter forestal, especies, por tanto, candidatas a una imperfecta detección. En cambio, el aumento predecible de la abundancia en invierno refleja fielmente la contribución de las poblaciones invernales de Estornino Negro *Sturnus unicolor* y, en especial, de Estornino Pinto *S. vulgaris*. Igualmente, sería poco sensata la comparación de la composición entre comunidades de aves cuando el tren atraviesa hábitats que difieren acusadamente en su estructura (por ejemplo, estepas cerealistas frente a cultivos arbóreos). En nuestro caso ésta comparación sería más factible en cuanto que el hábitat difería poco entre los tramos recorridos por el tren: la ligera tendencia a aumentar el número de especies conforme se avanzaba hacia el oeste podría ser el resultado de una mayor diversidad de hábitats y un carácter menos antrópico de los mismos, características que también podrían explicar la tendencia a una menor abundancia de aves, por la disminución de algunas especies ligadas a medios humanizados (estorninos, palomas) que contribuyen de forma acusada a la abundancia total.

Aves desde el tren: utilización de los datos a largo plazo

Como hemos visto en los párrafos anteriores, la comparación de parámetros como la riqueza de especies o la abundancia relativa, ya sea entre especies, zonas o periodos del año, puede ser problemática. No obstante esos mismos parámetros pueden ser comparados con seguridad de forma diacrónica. Por seguir con el ejemplo mencionado anteriormente: los datos obtenidos desde el tren no nos permiten afirmar taxativamente, en razón de la desigual detectabilidad, que la abundancia de urracas sea mayor que la de carboneros comunes, pero sí que podemos comparar como evolucionan las poblaciones de estas especies a largo plazo. Un requisito absolutamente indispensable para la fiabilidad de estas tendencias temporales es que los protocolos de censo se mantengan inalterados a lo largo del tiempo (véase Métodos).

La obtención las tendencias temporales a largo plazo de las poblaciones biológicas es muy importante desde el punto de vista científico (Magurran *et al.* 2010) y resulta indispensable para la conservación de la biodiversidad (para el caso de las aves veáse Greenwood 2000). De acuerdo con ello, son numerosos los programas de seguimiento en los que un número más o menos elevado de voluntarios recogen de forma periódica información sobre diferentes variables biológicas o físicas, fundamento de lo que últimamente viene en denominarse "*citizen science*" (Bonney *et al.* 2009). Ciñéndonos a las aves, en numerosos países se han desarrollado programas de seguimiento que proporcionan una información muy relevante a la hora de, por ejemplo, establecer el estado de conservación de una especie (Mace *et al.* 2008) o aquilatar el efecto de las políticas agrarias (Davey *et al.* 2010). Ejemplos de tales programas son el BBS (*Breeding Bird Survey*) en Reino Unido (Newson *et al.* 2005) o el BBS (*Breeding Bird Survey*) de Estados Unidos y Canadá (Sauer *et al.* 2008) cuyos equivalentes en España serian el programa SACRE (*Seguimiento de Aves Comunes Reproductoras en España*) a nivel nacional (Escandell 2009) y el SOCC (*Seguiment d'Ocells Comuns a Catalunya*) en Cataluña (Brotons *et al.* 2008).

En el contexto mencionado, cabe preguntarse dónde pueden ubicarse las observaciones de aves realizadas por un viajero en su trayecto cotidiano en tren. En primer lugar, debe decirse que aunque los programas de seguimiento de aves operan y obtienen todo su potencial a partir de la información recabada sobre territorios muy amplios, esto no significa que los datos obtenidos en ámbitos geográficos más reducidos sean desdeñables (para un caso de utilización de datos de seguimiento en ámbitos locales veáse Murgui & Macias 2010). Por ejemplo, de haberse obtenido datos sobre las aves en este trayecto en tren desde hace quince años hubiéramos podido verificar, con certeza estadística, el aumento progresivo de la abundancia de Urraca en zonas costeras reflejando así una tendencia a nivel nacional constada por otros medios (Martínez *et al.* 2003). En segundo lugar, si la observación de aves desde el ferrocarril se popularizara entre un número suficiente de viajeros, nada impide pensar que se pudiera obtener un volumen de información no desdeñable sobre las poblaciones de aves con, además, un coste muy reducido, fuera del que se deriva de organizar, recoger y analizar esta información. Evidentemente, nunca habría que pensar en este tipo de iniciativa como un sustituto de los programas de seguimiento de poblaciones de aves a escala nacional o regional ya existentes, sino como algo complementario. Tanto más cuanto que su máxima utilidad estaría circunscrita a grupos concretos de aves que son fácilmente detectables.

5. Conclusiones

Observar y censar las especies de aves que se nos muestran desde la ventanilla del tren es una actividad que puede contribuir a aumentar nuestro conocimiento del paisaje que el ferrocarril atraviesa. Un requisito indispensable sería un conocimiento ornitológico básico, al menos con respecto a las especies más comunes de aves de mediano y gran tamaño. Como también ha demostrado este estudio, es posible, una vez valoradas sus limitaciones, analizar científicamente los datos obtenidos. Tales limitaciones, debidas a la diferente detectabilidad de las especies, son difícilmente corregibles en un método de censo que se caracteriza por la fugacidad de las observaciones y la ausencia de información complementaria, como es el sonido emitido por las aves. Es por ello que la observación de aves desde el tren (o desde otro tipo de transporte) no puede sustituir a los métodos clásicos de estudio sobre las comunidades de aves. No obstante, sí que brinda una visión muy aproximada a la real sobre la composición de las comunidades y, potencialmente, sobre la evolución a largo plazo de las poblaciones de aves. Ese conocimiento a nivel local puede ser importante, pero donde alcanzaría todo su valor es en el marco de un programa de seguimiento que aglutinara las observaciones de diferentes viajeros, cuantos más y más ampliamente distribuidos, mejor.

En suma, atraviesa el tren campos, páramos y bosques, y las aves que habitan estos lugares se brindan a nuestra observación y conteo con poco esfuerzo, proporcionando unos datos que pueden contribuir a su conservación…¿alguien más se anima?

Bibliografía

[1] Bibby, C., Burgess, N. & Hill, D. 1992. *Bird Census Techniques*. Academic Press, London.

[2] Bonney, R., Cooper, C., Dickinson, J., Kelling, S., Phillips, T., Rosenberg, K. & Shirk, J. 2009: Citizen Science: A Developing Tool for Expanding Science Knowledge and Scientific Literacy. *BioScience* 59: 977-984.

[3] Brotons, L., Herrando, S., Estrada, J., Pedrocchi, V. & Martin, J. 2008: The Catalan Breeding Bird Atlas (CBBA): methodological aspects and ecological implications. *Revista Catalana d´Ornitologia* 24: 118-137.

[4] Carrascal, L., Díaz, J. & Ruiz, M. 1989: Detectabilidad de visual de aves en censos desde coche. *Ardeola* 36: 210-214.

[5] Couzens, D. 2011. *Guía para identificar aves por su comportamiento*. Tikal, Madrid.

[6] Davey, C., Vickery, J., Boatman, N., Chamberlain, D., Parry, H. & Siriwardena, G. 2010: Assessing the impact of Entry Level Stewardship on lowland farmland birds in England. *Ibis* 152: 459-474.

[7] De Juana, E. 2005. *Guía de las aves de España*. Lynx Edicions, Barcelona.

[8] De la Peña, R. & Llama, O. 1997: *Mortalidad de aves en un tramo de línea de ferrocarril*. SEO-BirdLife.

[9] Deom, P. 1990. *Guía de las aves al borde del camino*. SIA S.L., Madrid.

[10] Escandell, V. 2009. Programa SACRE. Seguimiento de Aves Comunes Reproductoras en España. Pp. 4-9. En: J. del Moral, A. Bermejo, B. Molina, V. Escandell, y D. Palomino (eds.). Programas de seguimiento de SEO/BirdLife en 2007. SEO/BirdLife, Madrid.

[11] Foguekem, D., Tchamba, M. & Omondi, P. 2010: Aerial survey of Elephants (*Loxodonta africana africana*), other large mammals and human activities in Waza National Park, Cameroon. *African Journal of Environmental Science and Technology* 4: 401-411.

[12] Forman, R. & Alexander, L. 1998: Roads and their major ecological effects. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 29: 207-231.

[13] Gaidet, N., Fritz, H., Bourgarel, M., Renaud, P., Poilecot, P., Chardonnet, P., Coid, C., Poulet, D. & Le Bel, S. 2006: Cost and efficiency of large mammal census techniques: comparison of methods for a participatory approach in a communal area, Zimbabwe. *Biodiversity and Conservation* 15: 735-754.

[14] Greenwood, J. 2000: Birds as biomonitors: principles and practice. *Bird Census News* 13: 1-10.

[15] Hammer, Ø., Harper, D. & Ryan, P. 2001: *PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis*. *Palaeontologia Electronica* 4: 9-15.

[16] Krebs, C. 1989. *Ecological Methodology*. Harper & Row, New York.

[17] Mace, G., Collar, N., Gaston, K. J., Hilton-Taylor, C., Akçakaya, H., Leader-Williams, N., Milner-Gulland, E. & Stuart, S. 2008: Quantification of Extinction Risk: IUCN´s System for Classifiying Threatened Species. *Conservation Biology* 22: 1424-1442.

[18] Magurran, A., Baillie, S., Buckland, S., Dick, J., Elston, D., Scott, E., Smith, R., Somerfield, P. & Watt, A. 2010: Long-term datasets in biodiversity research and monitoring: assessing change in ecological communities through time. *Trends in Ecology and Evolution* 25: 574-582.

[19] Martí, R. & Del Moral, J. (eds.). 2003. *Atlas de las aves reproductoras de España*. Dirección General de Conservación de la Naturaleza-SEO/BirdLife, Madrid.

[20] Martínez, J., Soler, M. & Soler, J. 2003. Urraca *Pica pica*. Pp. 542-543. En: R. Martí, y J. del Moral (eds.). Atlas de las Aves Reproductoras de España. Dirección General de Conservación de la Naturaleza-Sociedad Española de Ornitología, Madrid.

[21] Murgui, E. 1996: Aproximación al conocimiento de la avifauna invernante de la Sierra Calderona. *El Serenet* 1: 2-18.

[22] Murgui, E. 1998: Estructura de la comunidad de aves reproductoras de la Sierra Calderona. *El Serenet* 3: 1-20.

[23] Murgui, E. 2010: Seasonal patterns of bird crop use in traditional irrigated land (the *Huerta* of Valencia, Spain). *Ardeola* 57: 87-102.

[24] Murgui, E. & Macias, A. 2010: Population trends of the House Sparrow *Passer domesticus* in Valencia (Spain) from 1998 to 2008. *Bird Study* 57: 281-288.

[25] Newson, S., Woodbur, R., Noble, D., Baillie, S. & Gregory, R. 2005: Evaluating the Breeding Bird Survey for producing national population size and density estimates. *Bird Study* 52: 42-54.

[26] Rodríguez, A., Crema, G. & Delibes, M. 1996: Use of non-wildlife passages across a high-speed railway by terrestrial vertebrates. *Journal of Applied Ecology* 33: 1527-1540.

[27] Rodríguez , J., García, E. & González, D. 2008. *Estudio de las medidas correctoras para reducir las colisiones de aves con ferrocarriles de alta velocidad*. Ministerio de Fomento. CEDEX, Madrid.

[28] Sauer, J., Hines, J. & Fallon, J. 2008. *The North American Breeding Bird Survey, Results and Analysis 1996-2007*. U.S. Geological Survey Patuxent Wildlife Research Center, Laurel, Maryland.

[29] Tellería, J. 1986. *Manual para el censo de vertebrados terrestres*. Editorial Raices, Madrid.

[30] Torres, A., Palacín, C., Seoane, J. & Alonso, J. 2011: Assessing the effects of a highway on a threatened species using Before-During-After and Before-During-After-Control-Impact designs. *Biological Conservation* 144: 2223-2232.

[31] Viñuelas, J. 1997: Road transects as large-scale census method for raptors: the case of the Red Kite *Milvus milvus*. *Bird Study* 44.

Apéndice 1. Lista sistemática de las especies observadas y ejemplares censados (Abn.) de cada una de ellas a lo largo del periodo de estudio

Especie	Abn.	Especie	Abn.
Cormorán Grande *Phalacrocorax carbo*	1	Lavandera Cascadeña *Motacilla cinerea*	1
Garcilla Bueyera *Bubulcus ibis*	206	Lavandera Blanca *Motacilla alba*	52
Garceta Común *Egretta garzetta*	9	Petirrojo *Erithacus rubecula*	6
Garza Real *Ardea cinerea*	1	Colirrojo Tizón *Phoenicuros ochruros*	26
Cigüeña Blanca *Ciconia ciconia*	5	Tarabilla Común *Saxicola torquata*	19
Anade Real *Anas plathyrynchos*	10	Collalba Rubia *Oenanthe hispanica*	1
Milano Real *Milvus milvus*	1	Mirlo *Turdus merula*	110
Busardo Ratonero *Buteo buteo*	5	Zorzal Común *Turdus philomelos*	12
Cernícalo Vulgar *Falco tinnunculus*	15	Buitrón *Cisticola juncidis*	1
Perdiz Roja *Alectoris rufa*	10	Curruca Carrasqueña *Sylvia cantillans*	1
Polla de Agua *Gallinula chloropus*	17	Curruca Cabecinegra *Sylvia melanocephala*	24
Cigüeñuela *Himantopus himantopus*	6	Mosquitero Común *Phylloscopus collybita*	9
Andarríos Grande *Tringa ochropus*	1	Papamoscas Cerrojillo *Ficedula hypoleuca*	1
Gaviota Patiamarilla *Larus cachinnans*	51	Carbonero Común	1
Gaviota Reidora *Larus ridibundus*	17	Oropéndola *Oriolus oriolus*	1
Paloma Bravía *Columba livia*	810	Alcaudón Real *Lanius excubitor*	24
Paloma Torcaz *Columba palumbus*	365	Alcaudón Común *Lanius senator*	6
Tórtola Turca *Streptopelia decaocto*	164	Urraca *Pica pica*	1302
Tórtola Común *Streptopelia turtur*	65	Cuervo *Corvus corax*	2
Mochuelo *Athene noctua*	1	Estornino Pinto *Sturnus vulgaris*	4550
Vencejo Común *Apus apus*	627	Estornino Negro *Sturnus unicolor*	3880
Martín Pescador *Alcedo atthis*	1	Gorrión Común *Passer domesticus*	1331
Abejaruco *Merops apiaster*	41	Pinzón Vulgar *Fringilla coelebs*	667
Abubilla *Upupa epops*	41	Verdecillo *Serinus serinus*	1374
Cogujada Común *Galerida cristata*	85	Verderón *Carduelis chloris*	7
Avión Roquero *Ptyoprogne rupestris*	5	Pardillo *Carduelis cannabina*	1
Avión Común *Delichon urbica*	106	Jilguero *Carduelis carduelis*	186
Golondrina Común *Hirundo rustica*	394	Triguero *Emberiza calandra*	2
Bisbita Común *Anthus pratensis*	6	Especie indeterminada	236

FUNDACIÓN DE LOS FERROCARRILES ESPAÑOLES
www.ffe.es

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

MetroDuo, una propuesta innovadora para la movilidad en las megalópolis

MetroDuo, a major breakthrough for megacities transportation

Ildefonso P. de Matías Jiménez
Ingeniero Aeronáutico. Presidente de INGEOTRANS
Ex Vicepresidente de UITP (Unión Internacional de Transporte Público)
Ex Presidente de ALAMYS (Asociación Latinoamericana de Metros y Subterráneos)

Resumen

En el presente artículo se expone una nueva alternativa de transporte ferroviario urbano de gran capacidad y con altas velocidades comerciales como respuesta al problema de la movilidad en las megalópolis, donde las distancias a recorrer son cada vez mayores y el tiempo de viaje pasa a ser un factor decisivo para asegurar la calidad de vida de sus habitantes, su competitividad y, por tanto, su sostenibilidad.

Palabras clave: MetroDuo, movilidad, megalópolis, transporte urbano ferroviario, solución innovadora.

Abstract

This article describes a new alternative of urban rail transport with great capacity and high commercial speeds in response to the mobility problem in the megalopolises, where the distances to cover are constantly increasing and travel time becomes a decisive factor to ensure the quality of life of their inhabitants, their competitiveness and therefore their sustainability.

Keywords: MetroDuo, mobility, megacities, railway urban transport, innovative solution.

1. Introducción

Las tendencias demográficas indican que el proceso de concentración de una gran parte de la población mundial en grandes ciudades va a continuar. Se espera que en el año 2025 existan más de 20 ciudades con más de 10 millones de habitantes y otras 20 más superarán los 5 millones.

Las dificultades y resistencias para armonizar, al menos en el corto y medio plazo, las medidas de la política territorial y urbanística, que permitan reducir el número necesario de viajes mecanizados o la distancia a recorrer en cada uno de ellos, conducirá inevitablemente a altos grados de movilidad en el horizonte de los próximos 20 años y con tendencia a aumentar.

La mayor utilización de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC´s) debe ayudar a que dicho crecimiento no sea mayor del que cabe esperar, pero aun así, los incrementos en los tiempos dedicados al transporte se traducirán en fuertes costes sociales que afectarán negativamente a la calidad de vida de los habitantes de estas ciudades y a su competitividad, poniendo en riesgo su sostenibilidad. De esta manera, el reto de reducir el tiempo empleado en la movilidad en las grandes ciudades se convierte en un aspecto clave para garantizar la supervivencia de las mismas.

Las distancias a recorrer por los habitantes de esas megalópolis serán cada vez mayores pero además el número de personas afectadas por este fenómeno negativo será también cada vez mayor. Los costes económicos y sociales se dispararán, una parte importante del PIB será dedicada a la movilidad que, como actividad, no es productiva para la sociedad y lejos de tener un impacto positivo en la prosperidad de las ciudades tiene asociados además otros factores sociales y medioambientales.

En esta situación, los metros van a continuar siendo una herramienta absolutamente necesaria para ayudar a resolver los problemas de movilidad como parte de los sistemas integrados de transporte en los que la intermodalidad y los intercambiadores seguirán siendo vitales. Pero estos problemas, en el caso de las megalópolis, cambian radicalmente de dimensión. No es difícil prever la existencia de ciudades superpobladas que cubrirán áreas de centenares de Km^2. Se tratará de ciudades policéntricas con recorridos urbanos y corredores de transporte de alta intensidad que podrían llegar y superar los 100 kilómetros.

La reducción del tiempo empleado en la movilidad necesaria para desarrollar la actividad económica en las grandes ciudades es un objetivo que ha estado presente siempre en la misión de los metros. Y es también preocupación de la Unión Europea, tal y como se recoge en el Libro Blanco, en donde se propugnan medidas para romper el binomio "a mayor crecimiento económico, mayor movilidad y congestión en las ciudades". Cabe destacar entre ellas la incentivación de la utilización de los transportes públicos, que deberán ser cada vez más eficientes.

Sin embargo, las redes y líneas de metro tal y como las conocemos hasta ahora, no van a poder resolver de forma eficiente el problema que se plantea debido principalmente a los siguientes motivos: a) la experiencia indica que cuando aumenta la longitud de las líneas la velocidad comercial tiende a bajar y que, como consecuencia de ello, los tiempos de recorrido son cada vez mayores. b) a pesar de estar aplicando tecnologías de señalización ferroviaria de última generación, y trenes también con tecnologías avanzadas, la mejora de las velocidades comerciales resulta insuficiente incluso en el caso de líneas automáticas. c) el tiempo de viaje y la distancia media recorrida por los ciudadanos siguen aumentando, como consecuencia de la expansión de las áreas urbanas y metropolitanas.

Por tanto, se hace necesaria una solución alternativa que incremente la velocidad actual en los desplazamientos, la velocidad comercial en el caso de los metros, como medio para reducir el tiempo empleado en los mismos. Dicha solución debe, al mismo tiempo, responder a las expectativas de los usuarios de las

redes de metro convencional actuales, incluyendo una gran capilaridad que garantice un alto grado de cobertura de la red y por tanto una buena accesibilidad a la misma. Pero este último aspecto, que conlleva la existencia de una estación en un radio de pocos cientos de metros (entre 600 y 800 metros de media en las nuevas líneas), implica una penalización de la velocidad comercial por la necesidad de un número elevado de paradas/estaciones.

El compromiso entre el incremento de la velocidad comercial, que permita una reducción de los tiempos de viaje, y la alta capilaridad, que permita garantizar una gran cobertura de las redes de metro, es la motivación para la propuesta de líneas de metro duales que hemos denominado MetroDuo, y cuya configuración se describe en este documento.

Logo para MetroDuo

En los siguientes apartados se recogerán los resultados de los estudios básicos realizados para analizar la viabilidad y rentabilidad de la solución propuesta, tanto desde el punto de vista social como económico y medioambiental. Se compararan los tiempos invertidos en los viajes entre una línea dual y otra convencional así como las inversiones y mantenimientos necesarios en ambos casos.

2. Configuración de una línea dual. El MetroDuo.

La línea dual de metro subterráneo, el MetroDuo, está compuesta por cuatro vías que utilizan una infraestructura común tanto en su recorrido en túnel como en las estaciones.

Las cuatro vías están segregadas dos a dos y dispuestas en dos niveles diferentes, configurando en realidad dos líneas separadas superpuestas, con la misma traza que se interconectan en las estaciones también comunes.

Estas dos líneas tendrán diferentes características de operación. Mientras que una de ellas, a la que denominaremos en lo sucesivo línea local, tendrá las características de una línea convencional de metro, con estaciones entre 600 y 800 metros, la otra línea a la que denominaremos línea exprés sólo parará en algunas de las estaciones y no en todas, lo que le proporcionará una velocidad comercial muy superior.

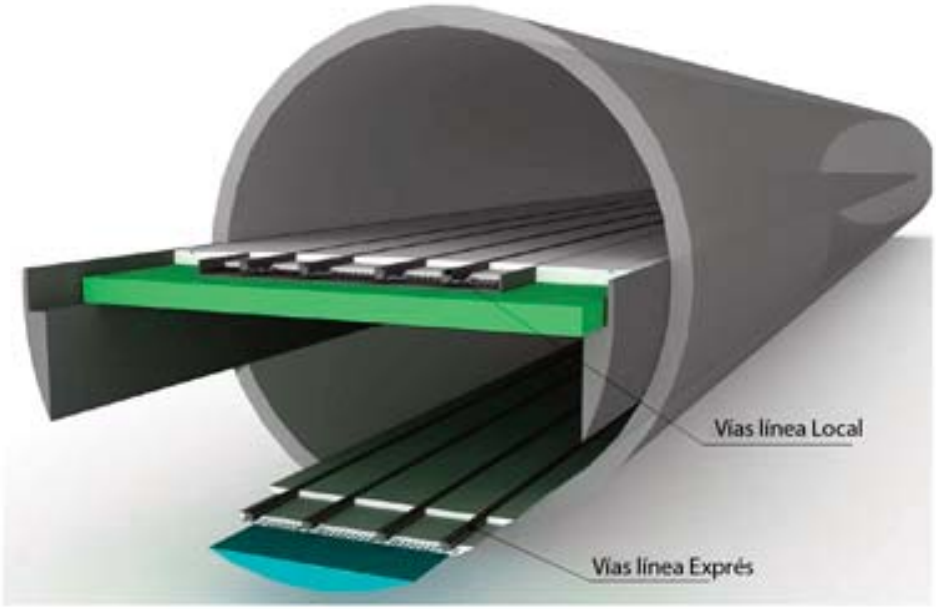


Figura 1: Vista de la sección del túnel

La línea local seguirá garantizando altos grados de accesibilidad a la red, mientras que la exprés dotará a los viajes de una velocidad media muy superior a las actuales. Cuanto más largos sean los desplazamientos, mayores serán los ahorros de tiempo con respecto a las soluciones de metro existentes.

La línea exprés ocupará el piso inferior y la local el superior. Hay varias razones para ello: unas de tipo funcional y otras medioambientales. En cuanto a las primeras hay dos importantes: en primer lugar porque, a no ser que haya un gran desequilibrio en las entradas y salidas de las estaciones de la línea exprés comparada con la local, se estaría penalizando en su recorrido hasta andenes a un mayor número de clientes y, en segundo lugar, porque de lo contrario, para acceder a la línea local deberían pasar, en aquellas estaciones en que la exprés no tenga parada, a través del espacio que ocupa la línea exprés y que no tiene por qué requerir tener un acabado y equipamiento completo para conseguir la funcionalidad que se requiere de las mismas.

En cuanto a las razones medioambientales, éstas tienen que ver con la minimización del nivel de ruido y vibraciones. Aunque se adoptarán en el diseño de vía sistemas de fijación y suspensión elástica de la misma, parece lógico que los trenes de la línea exprés, al alcanzar mayores velocidades, emitirán mayores niveles de vibraciones y ruido que la local y, por tanto, cuanto más alejado esté el foco emisor de las cimentaciones de los edificios, las perturbaciones inducidas en ellos serán menores. De la misma forma, la velocidad de paso de los trenes de la línea exprés por las estaciones en que no paren aunque, como se verá más adelante se limitará, inducirá movimientos del aire que pueden ser más fácilmente controlados si la línea ocupa el espacio inferior.

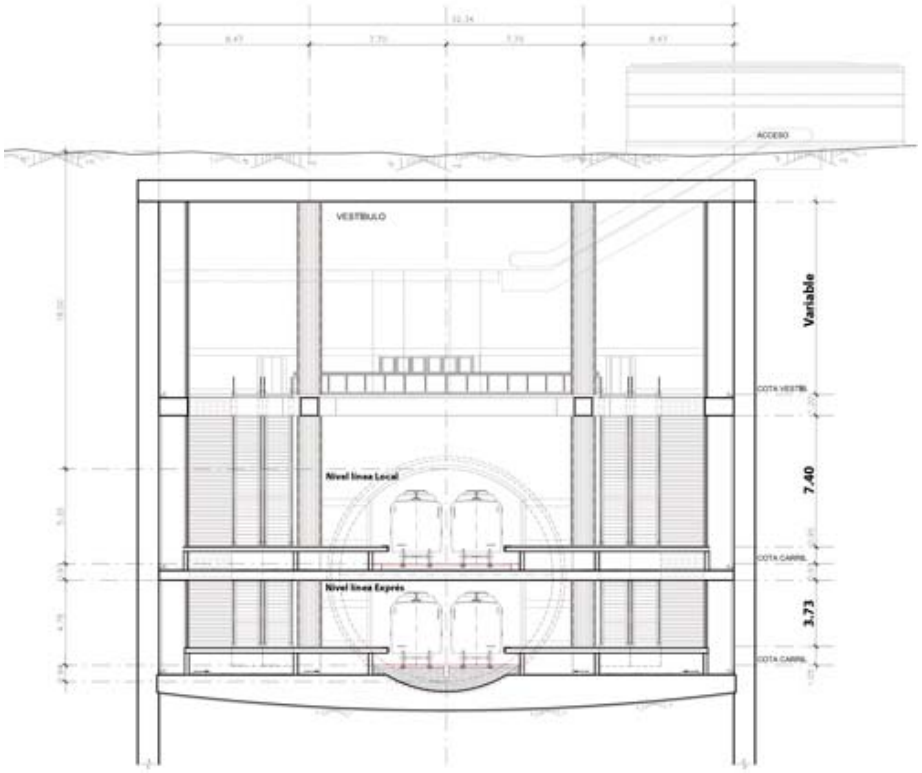


Figura 2: Detalle de la sección de la estación

Se configuran de esta forma varios tipos de viaje en la utilización de la línea dual dependiendo del origen y destino de los mismos:

a) Los que tienen origen y destino en estaciones de la línea local que no coinciden con estaciones de la línea exprés y, que por su corto recorrido de viaje no trasbordarán a la exprés, al no tener un ahorro sensible de tiempo. El viaje consta por tanto de una sola etapa realizada sobre la línea local

b) Los que tienen origen y destino en estaciones de la línea local que no coinciden con estaciones de la línea exprés, pero con distancia de viaje suficiente como para justificar por ahorro de tiempo la utilización de la línea exprés como una etapa intermedia del viaje. El viaje consta por tanto de dos trasbordos (de local a exprés y de exprés a local) y tres etapas, dos sobre la línea local y una sobre la exprés.

c) Los que tienen como origen y destino una estación local que también coincide con una estación de la línea exprés. En este caso, todo el viaje se realiza en una solo etapa y en la línea exprés.

d) Los que tienen como origen o destino una estación local en un caso y una estación que coincide con una exprés en otro. En este caso el viaje constará de dos etapas, una sobre la línea local y otra sobre la exprés, y un solo trasbordo (de local a exprés o viceversa).

A la hora de estimar el tiempo de viaje se ha tenido en cuenta tanto el empleado a bordo de los trenes como los de espera y trasbordo.

Es evidente que la rentabilidad social de la línea dual frente a la convencional, ligada en su mayor parte a los ahorros de tiempo, va a depender de diferentes parámetros, entre ellos tres fundamentales:

1) El nivel de demanda del corredor.

2) El reparto de dicha demanda en el corredor.

3) La longitud de los viajes.

Los resultados de los análisis paramétricos se mostrarán más adelante, conjuntamente con otra serie de ventajas basadas en la versatilidad y flexibilidad en la explotación conjunta que presenta este tipo de línea y que redundan, sin duda, en la mejora de los niveles de calidad y seguridad en el servicio.

3. Aspectos constructivos y estructurales

Siendo importantes los aspectos funcionales de la solución que aquí se presenta no lo es menos su viabilidad constructiva. El túnel de una línea dual puede ser construido de forma segura, sencilla y rápida utilizando tecnologías de excavación mecanizada, mediante la utilización de tuneladoras con diámetro suficiente y similares a los que se están utilizando o han sido utilizadas en diversos proyectos, tanto en suelos blandos como en roca, para albergar en la misma sección de túnel dos líneas de vía doble cada una de ellas.

Aunque la alternativa que aquí se desarrolla comprende la utilización de tuneladoras, es evidente que cualquier otro tipo de construcción del túnel es igualmente válido.

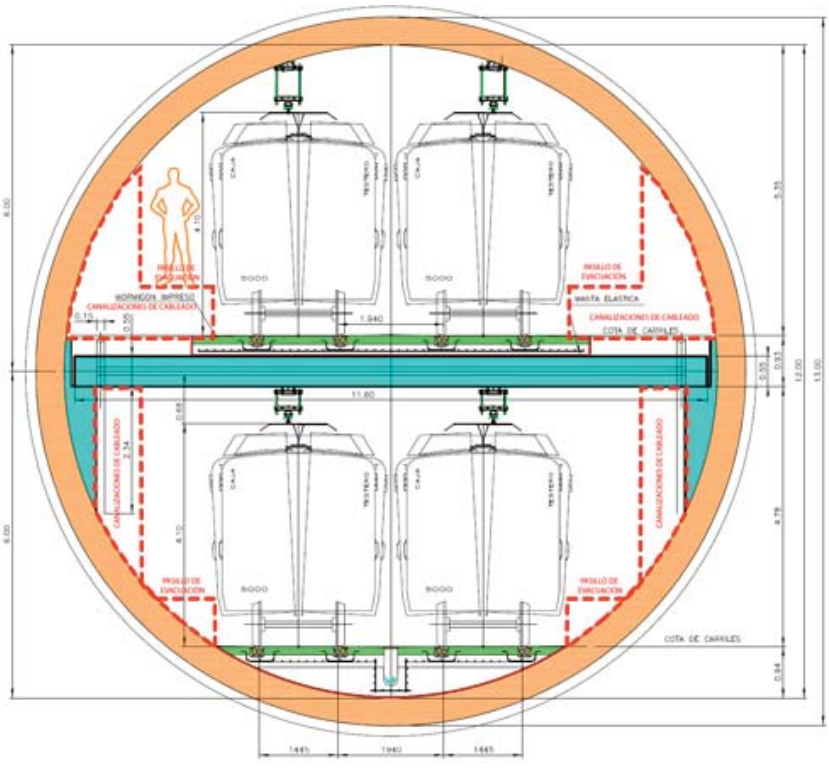


Figura 3: Prediseño de la sección de túnel.

En el caso que nos ocupa se ha diseñado una sección circular de túnel basada en los resultados de los análisis para determinar los gálibos cinemáticos de trenes con ancho de plataforma en los coches de 2,80 metros y con radios mínimos de curvatura en el trazado de 250 metros.

En la figura 3, que muestra el prediseño de la sección de túnel, se pueden observar algunas características de la misma, como el diámetro interior libre de 12 metros, aunque de forma estricta se podría llegar a diámetros del orden de 11,5 metros. Con estas dimensiones de sección los constructores de tuneladoras consultados confirman la posibilidad de trazar los radios mínimos de curvatura anteriormente dichos.

Un aspecto de especial relevancia es el aprovechamiento de la sección de túnel. Para una sección de 8,43 metros correspondiente a una línea convencional, el aprovechamiento del túnel teniendo en cuenta la ocupación de los trenes por gálibo, resulta ser de un 67 %, y para la sección de 12 metros del túnel en MetroDuo, este aprovechamiento es de un 79 %. Por otro lado, el espacio útil para el túnel de 8,43 metros, descontando la zona superior, que resulta de utilidad únicamente para la toma de alimentación del tren es de 5 m^2, mientras que para el túnel de 12 metros es de 24 m^2. En este último caso, el espacio útil se destinaría a pasillos de evacuación y canalizaciones de cableado, tal y como se puede ver en las figura 3.

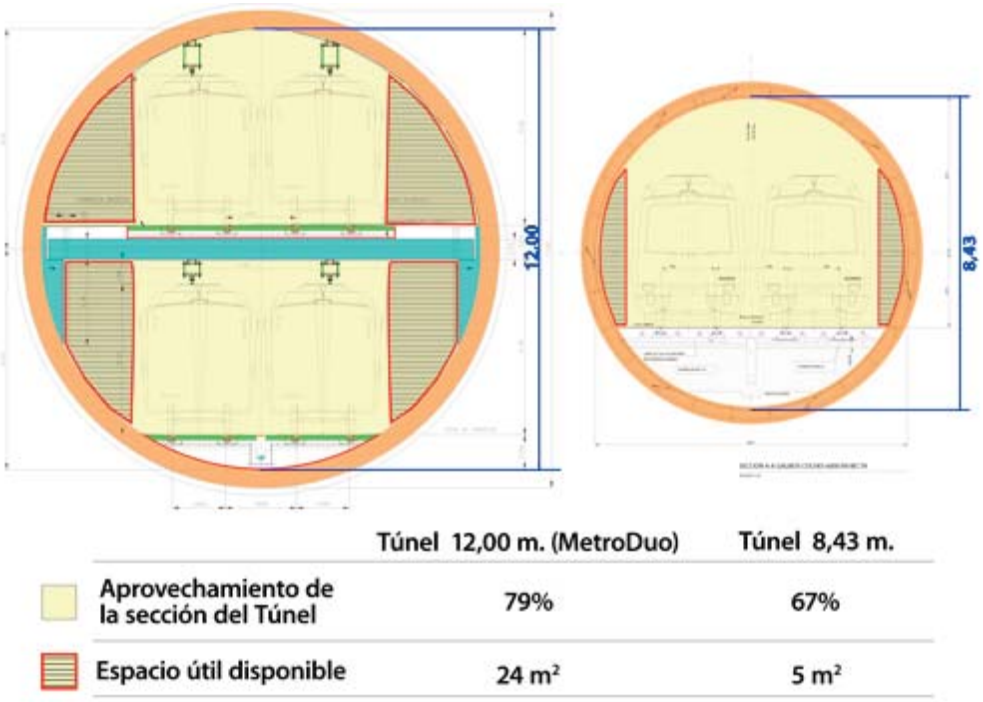


Figura 4: Detalle del aprovechamiento del túnel y espacio disponible

La experiencia y el conocimiento que existe en estos momentos en España, y particularmente en Madrid, en proyectos de construcción empleando tuneladoras para excavar en zonas urbanas, es seguramente la más alta del mundo. Es conocido que la contribución que a ello ha tenido el impulso dado en la utilización de estas tecnologías por parte de Manuel Melis, anterior Presidente de Metro de Madrid, resultó decisiva. Se han empleado desde tuneladoras de pequeño diámetro para excavar colectores y túneles de servicio, pasando por los de metro (entre 6 y 9 metros) y terminando con los de la M30 (más de 15 metros). Se puede asegurar, por tanto, que excavar con tuneladoras del diámetro que se propone no representa ningún problema o riesgos nuevos, tanto si se excava en suelos blandos como en roca.

Así mismo, las experiencias acumuladas en la construcción de túneles demuestran que la velocidad de excavación no disminuye sensiblemente con el aumento de sección, por lo tanto, parece lógico afirmar que los túneles de una línea dual excavados con tuneladora pueden ser ejecutados con rendimientos similares a los ya conocidos, aproximadamente medias de 600 metros de túnel al mes. Una sola tuneladora podría excavar 15 kilómetros de túnel en dos años.

El tipo de suelo marcará la profundidad mínima a la que se deberá realizar la excavación del túnel para evitar subsidencias. En el caso de suelos blandos y aplicando la regla general de situar la clave del túnel a una distancia de 1,5 veces el diámetro de excavación, el nivel de la cota de carriles de la línea superior se situará aproximadamente a 24 metros de profundidad y el de la inferior a 30 metros. Las plataformas de los andenes correspondientes estarán aproximadamente a una distancia 1 metro menor, es decir, a 23 y 29 metros respectivamente. Estas profundidades podrán reducirse en función de la calidad del terreno a excavar y de los tratamientos de mejora del mismo que se realicen.

Las estaciones tendrían una configuración similar a las diseñadas para los diferentes Planes de Ampliación de la red de Metro de Madrid. Se trata de estaciones dobles. El criterio seguido a la hora de diseñarlas es que en todas ellas, con independencia de que la línea exprés tenga o no parada en condiciones normales de explotación, en el nivel inferior se le dotará de los acabados y elementos suficientes como para ser utilizada en situaciones excepcionales del servicio o de emergencia como un elemento importante que aporte flexibilidad a la explotación de la línea o en su caso a la evacuación. Por lo tanto, en su terminación, se incluirán los andenes, escaleras fijas, tanto normales como de emergencia, la iluminación y todos aquellos sistemas que hagan posible la utilización del nivel inferior de la estación con la misma seguridad que la de una línea normal aunque con condiciones de confort limitadas.

En todo caso, deberá permitir realizar en su ámbito, de forma sencilla y sin afectar a la circulación de trenes, las modificaciones necesarias en el equipamiento para que en el futuro se puedan transformar en estaciones con parada de todos los trenes de la línea expres, en el caso de que los cambios en la demanda lo aconsejen. En resumen: la geometría de las estaciones con parada únicamente de la línea local y de las estaciones con parada de la línea local y la exprés es la misma. Sin embargo, no lo será el equipamiento con el que se dote a ambos tipos de estaciones para el nivel inferior o nivel exprés.

Por ello, las estaciones presentan dos tipologías: estación tipo 1 con parada de línea local y estación tipo 2 con parada de línea exprés y local. El hecho de compartir la geometría en ambos tipos de estaciones permite convertir una estación tipo 1 en tipo 2 sin más que equiparla con las instalaciones necesarias.

El criterio de diseño del acceso facilita no solo un intercambio fácil y rápido entre los dos niveles cuando coincidan paradas de ambas líneas, sino también una entrada al vestíbulo lo más directa posible. La longitud de los andenes que se ha considerado es de 120 metros, pero podrá variar en función del material móvil a utilizar en la explotación.

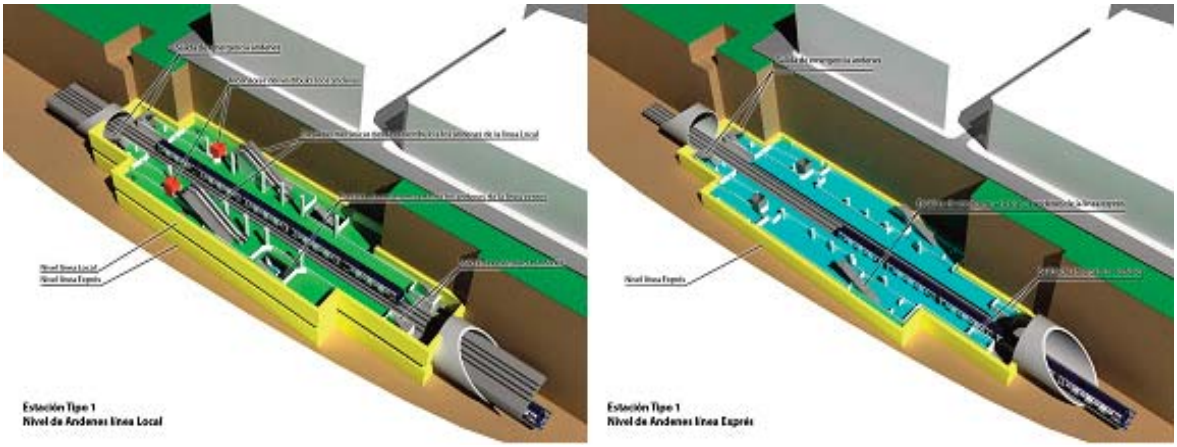


Figura 5: Detalle de estaciones tipo 1

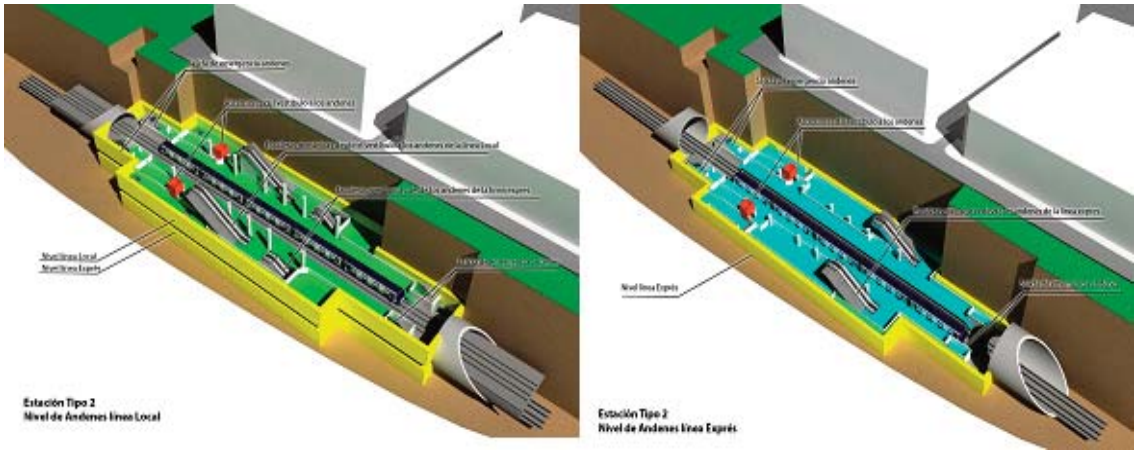


Figura 6: Detalle de estaciones tipo 2

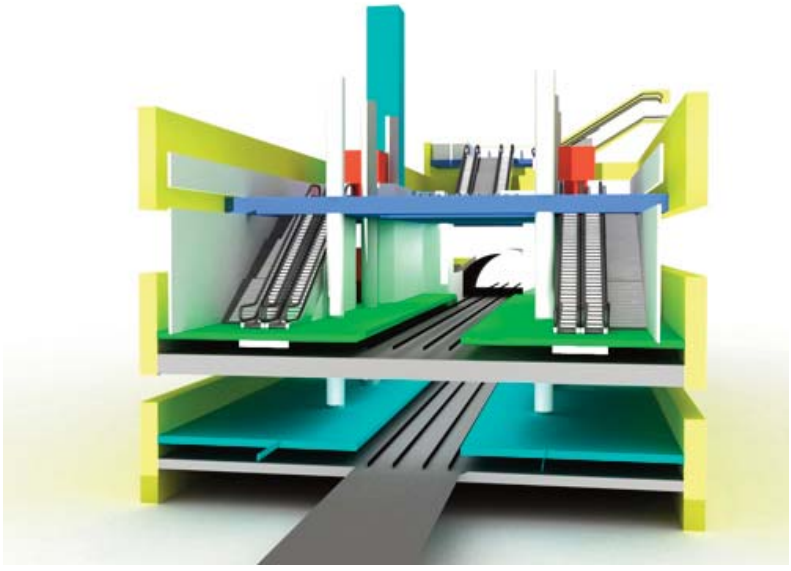


Figura 7: Sección de estación tipo 2

Las estaciones tendrán un ancho similar a las construidas en los últimos años en Madrid, pues el mayor diámetro del túnel no condiciona dicha dimensión y se considera suficiente para asegurar la transitabilidad de un número elevado de personas, aunque en algún caso, donde las demandas alcancen niveles extraordinarios, serán necesarios diseños con mayores espacios, pero siguiendo los mismos criterios funcionales.

4. Tiempos de viaje. Análisis paramétricos.

Se han determinado los tiempos de viaje en MetroDuo y se han comparado con los de una línea convencional. Con el fin de simplificar los análisis se ha supuesto que la traza de la línea es recta, sin desniveles y que las estaciones de la línea local están situadas a una distancia que varía entre los 700 y 1000 metros.

Así mismo, se han fijado unas características cinemáticas idénticas para los trenes de la línea local y la exprés, pues de hecho, uno de los aspectos que le dará flexibilidad a la oferta de trenes es que estos puedan circular indistintamente por una línea o por otra, pudiendo cambiar de nivel en los terminales de la línea MetroDuo, que serán instalaciones para mantenimiento, talleres y aparcamientos de trenes comunes a ambas.

La velocidad máxima de los trenes será de 110 Km./h, limitándose la velocidad en los trenes de la línea exprés a su paso por estaciones sin parada a 60 Km./h. Esta velocidad de paso puede aumentarse si se toman medidas de diseño especificas en las estaciones para controlar la velocidad del aire.

Se han analizado los casos correspondientes situando una estación con parada de la línea exprés cada 4 de la línea local, cada 5, 6 y 7, lo que supone interestaciones en la línea exprés de 2,8 kilómetros, 3,5 kilómetros, 4,2 kilómetros y 4,9 kilómetros, en el caso de distancias entre estaciones locales de 700 metros, y de forma análoga con distancias de 1.000 metros (4, 5, 6 y 7 kilómetros.).

Para todos estos casos se han hecho las simulaciones de los tiempos de viaje utilizando una línea convencional (equivalente a utilizar solo la línea local en MetroDuo) y utilizando las posibilidades de MetroDuo, de acuerdo con los diferentes tipos de viaje descritos en el Apartado 2.

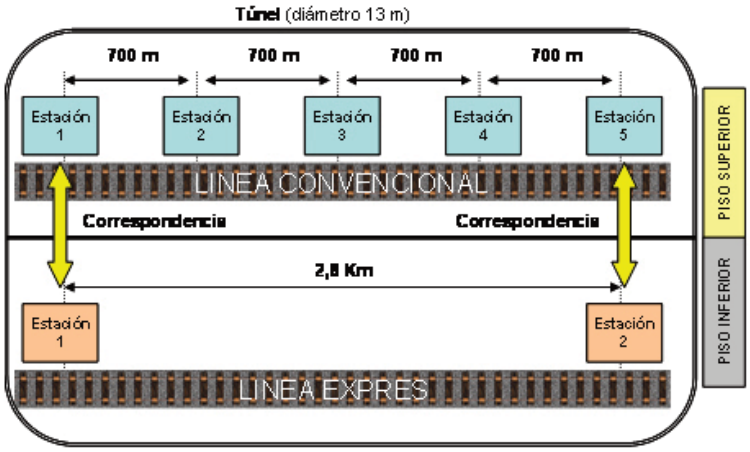


Figura 8: Configuración de la línea Metrodúo con interestación de 700 metros

Se han considerado los tiempos de espera en andenes, los de intercambios entre líneas cuando son necesarios, los tiempos de parada en estación y los tiempos de viaje en tren.

El gráfico 1 se corresponde con el esquema de la figura 8 y con estaciones de la línea exprés separadas 2,8 km.

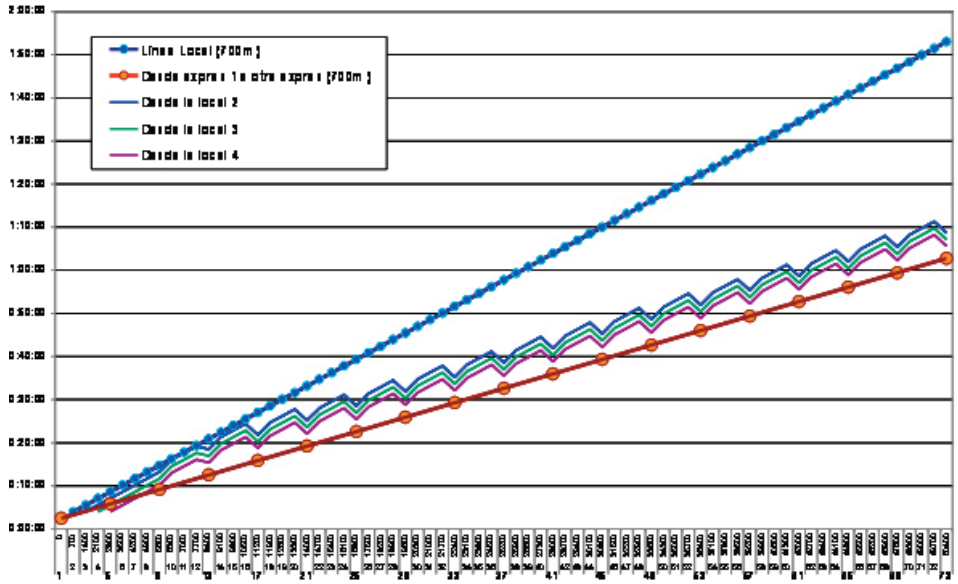


Gráfico 1: Tiempo de Recorrido combinado entre estaciones de una línea MetroDuo de 50,4 km con distancias entre estaciones locales de 700 metros y 2.800 metros para estaciones exprés (1 exprés de cada 4 locales)

Como se puede observar en la gráfica anterior, para cada distancia hay un tiempo máximo de viaje, correspondiente a la recta que responde a la velocidad comercial de la línea local (o de líneas convencionales) y un mínimo, correspondiente a la recta que marca la velocidad comercial de la línea exprés. En este caso, obviamente, los valores sólo tienen sentido cuando la distancia se corresponde con la posición de una estación con parada de la línea exprés. Las curvas con forma de diente de sierra recogen los valores de los tiempos empleados en los viajes que tienen que realizarse de forma combinada, teniendo como origen y/o destino una estación de la línea local.

A continuación se muestra el análisis comparativo de tiempos de recorrido para distancias de interestación de 700 m y 1000 m.

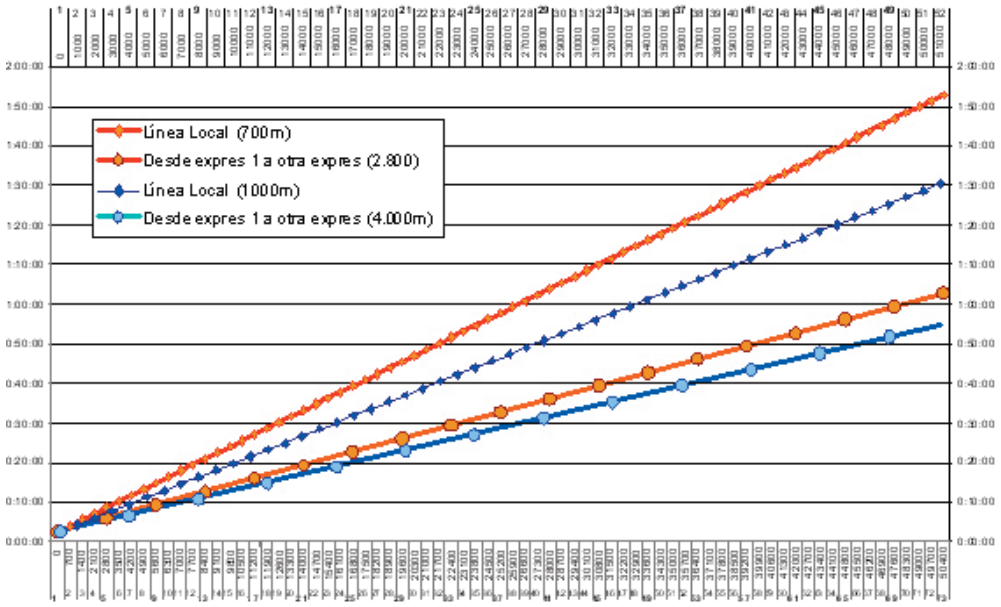


Gráfico 2: Tiempo de Recorrido entre estaciones Locales y Expres de una Línea MetroDuo de 50,4 km con distancias entre estaciones de 700 y 1000 m. (1 de cada 4)

El gráfico 3 corresponde al caso en que las interestaciones de la línea exprés tienen 4,9 kilómetros de longitud.

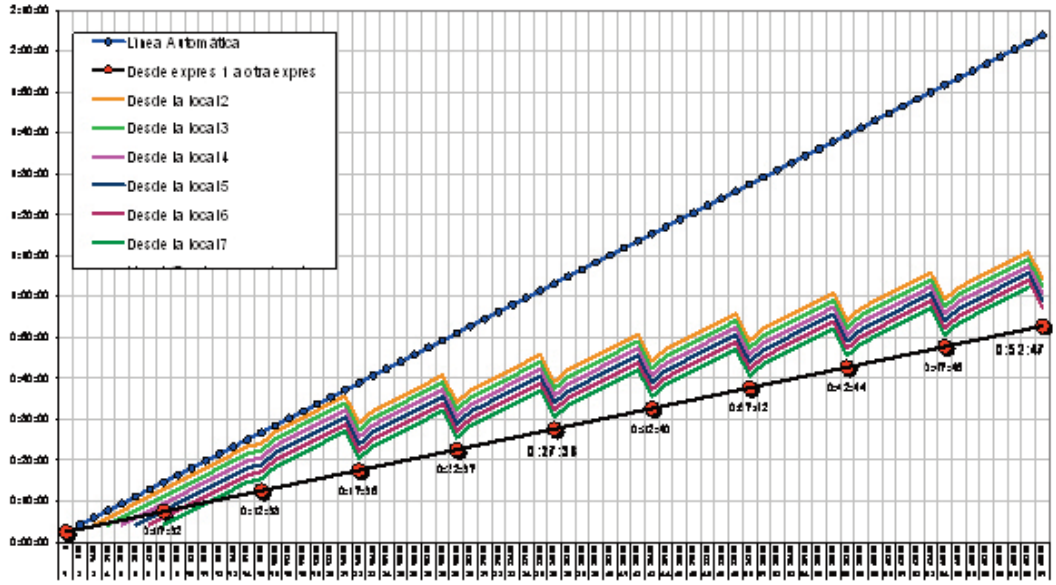


Gráfico 3: Tiempos de recorrido entre estaciones en una Línea Automática y MetroDuo de 49 Km y 71 estaciones 1 de cada 7

A la vista de los resultados se puede concluir que:

1.- Excepto en los casos en que el viaje se realice solo sobre la línea exprés, los ahorros medios de tiempo empiezan a ser notables a partir de los 5 o 10 km.

2.- La mayor separación de las estaciones exprés aumenta la velocidad comercial de la misma (disminuye la pendiente de la recta de la línea exprés), pero penaliza el tiempo de los viajes combinados (aumentan los valores de los picos de la curva en diente de sierra).

En lo que sigue se presenta el análisis efectuado para el primer caso planteado, es decir, estaciones de la línea local a 700 metros de distancia y a 2.800 metros las de la línea exprés.

Se considerará así mismo que la longitud de la línea es de unos 50 km. Esta hipótesis parece estar dentro de lo razonable para la tipología de ciudad que se está considerando. En el mundo ya hay líneas que rozan estas longitudes, superando los 70 km en el caso de Londres. En Madrid también se está próximo a alcanzar dicha longitud, aunque con ruptura de la demanda en algunos puntos (MetroSur, línea 9, línea 10).

5. Modelo de demanda y cuantificación de los ahorros de tiempo

La comparación en lo que respecta a capacidad de las líneas, tiempos de viaje, consumo energético y otros factores, se va a establecer entre una línea tipo MetroDuo y una línea convencional dotada de la tecnología más avanzada, que opera con conducción automática integral, es decir, aquella que tiene la posibilidad, con el estado del arte actual, de tener la máxima capacidad de transporte y la máxima velocidad comercial.

Para valorar la rentabilidad de la línea es necesario previamente construir un modelo de demanda. Para ello, se han tomado como base los datos de las redes de ciudades del mundo en donde ya se plantean problemas de movilidad como el que se quiere resolver con MetroDuo, con valores altos de la demanda, grandes niveles de ocupación en trenes y cercanos ya a la saturación de algunas líneas. En este sentido se han considerado datos de las redes que operan en Moscú, Sao Paulo, Santiago de Chile, México DF y Tokio.

Imagen del Metro de Sao Paulo

Tomando la media de los viajeros por kilómetro para las redes anteriores, y aplicando dicho resultado a la línea de estudio (50 kilómetros de longitud), se obtiene una demanda total en día laborable de 1.090.000 viajes. Para esta demanda se estima una intensidad máxima para la hora punta y tramo más cargado de 43.600 viajeros/hora y sentido.

Una línea convencional explotada con un sistema de ATP y con regulación automática de la velocidad (ATO) en el estadio tecnológico actual alcanza una capacidad de transporte de 30.000 viajeros/hora con los datos de partida de material móvil señalados anteriormente, con lo que no sería posible atender a la demanda objetivo al encontrarse al 145 % de su capacidad, para lo que es necesario aceptar niveles de ocupación media mucho más altos de los de diseño (6 viajeros/m^2).

	Linea Automática	Linea Local / Expres (para la misma capacidad)		
		Local	Expres	Trenes / Capacidad Total
Velocidad Comercial (km/h)	27,04	26,76	48,18	
Tiempo de viaje redondo	3h. 43'	3h. 46'	2h. 5'	
Intervalo medio entre trenes (seg.)	105	262	175	
Número de Trenes	**128**	52	43	**95**
Capacidad de Transporte (Viaj./h.)	**43.611**	17.478	26.167	**43.645**

Tabla 1: Datos de explotación de línea convencional automática y MetroDuo

Para la misma capacidad de transporte, 43.600 viajeros/hora y sentido se necesitan 95 trenes en la solución Metroduo frente a los 128 para el caso de la línea automática integral sin conductor. Pero además, la diferencia más importante entre una y otra solución es que mientras la línea automática quedaría al borde de su capacidad máxima, MetroDuo tiene posibilidades de aumentar su capacidad, bien operando más trenes o bien dotándoles de los equipamientos necesarios para la automatización. MetroDuo permitiría, sin automatizar, llegar a operar 145 trenes con una capacidad de 61.056 viajeros/hora y sentido, lo que significa un 40% más de capacidad que la línea automática, y hasta 204 trenes si se automatizan la línea local y la líneas exprés, llegando a los 87.223 viajeros/hora y sentido, es decir, el doble de capacidad de la línea automática integral sin conductor.

A partir de los datos existentes de las redes antes mencionadas se ha determinado también el promedio de la distribución horaria de la demanda con el fin de aplicarla al análisis.

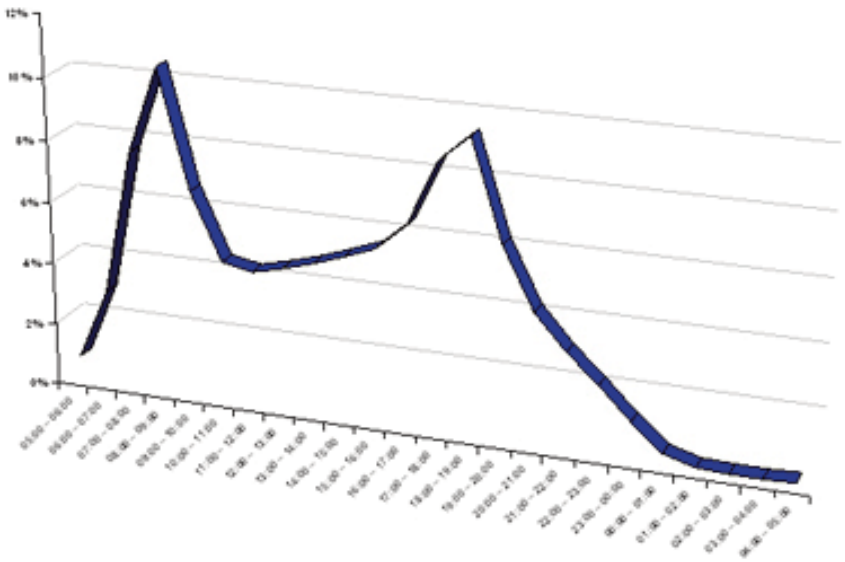


Gráfico 4: Promedio de distribución horaria de la demanda de las principales redes del mundo en día laborable

La demanda total para un día laborable, estimada en 1.090.000 viajes, se distribuiría de acuerdo al perfil mostrado en el gráfico 4.

Los valores anteriores de demanda y de intensidad máxima no son en absoluto desmesurados. Suponen una densidad por kilómetro de red para la línea de 21.626 viajeros. Próximamente se abrirá una línea en Sao Paulo con 14 kilómetros de red y 15 estaciones, con una intensidad máxima durante la hora punta en el tramo más cargado de 72.000 viajeros/hora y una densidad por kilómetro de red de 85.714 viajeros. No se pondrán en servicio todas las estaciones hasta que una mayor vertebración de la red permita moderar dicho valor.

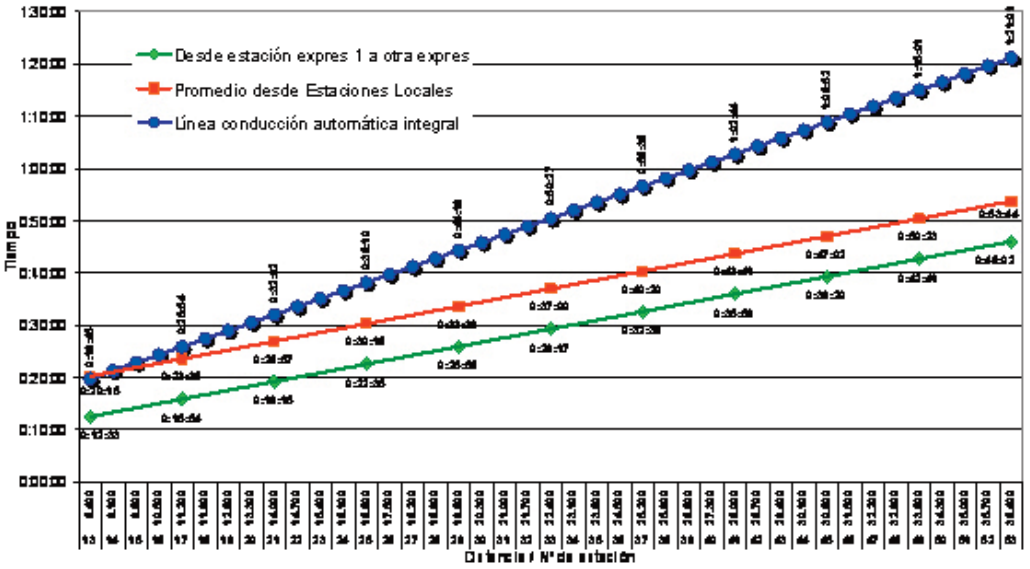


Gráfico 5: Tiempos de trayecto para una distancia de interestación de 700 m. (1 exprés de cada 4 locales)

Las rectas de la gráfica 5 recogen las velocidades de desplazamientos resultantes de la simulación para una línea de metro convencional automática y para MetroDuo. En el caso de ésta, se ha desdoblado en dos rectas. La recta verde responde a la velocidad comercial cuando el viaje se realiza sólo sobre la línea exprés y la recta roja representa la velocidad comercial equivalente media cuando se utiliza de forma combinada tanto la exprés como la local.

Los tiempos vienen dados respectivamente por:

$$Tconvencional = Distancia/(Veloc.\ Comercial)/60 = Distancia/27/60$$

$$Texprés = Distancia/(Veloc.\ Comercial)/60 = Distancia/48/60$$

$$Tcombinada = T\ exp. + 7{,}5$$

NOTA: las distancias se expresan en Kilómetros y los tiempos en minutos.

Para realizar la comparación de ahorros de tiempos de viaje entre ambas soluciones se necesita hacer hipótesis sobre el reparto de la demanda entre cada uno de los posibles tipos de viaje y sobre la distancia de recorrido medio de los mismos.

Se ha supuesto que la demanda, en cuanto a entradas y salidas, es uniforme en todas las estaciones de la línea excepto en las que tienen parada tanto de la red local como de la exprés, pues se da por hecho que éstas se situarán en puntos singulares, bien porque por sí mismas sean generadoras de un número importante de viajes o por su interrelación con el resto del sistema de transporte (correspondencia con otras líneas, intercambiadores de transporte, etc.). Para tener en cuenta este aspecto, se le ha dado un peso a estas estaciones del doble de las simples.

Para el estudio del recorrido medio se han realizado también análisis paramétricos. Los resultados que aquí se presentan corresponden a recorridos de 14 y 20 Kilómetros, acordes con las características de las ciudades donde, como ya hemos dicho, el problema se presenta en el elevado tiempo de viaje que supone cubrir distancias de esta longitud utilizando metros convencionales. Estas distancias medias son similares a las que ya se recorren a día de hoy en algunos ferrocarriles metropolitanos (Moscú, por ejemplo).

En el gráfico 6 se muestran los ahorros en tiempo cuando se viaja en MetroDuo con respecto a una línea automática convencional en función de la distancia y del tipo de viaje.

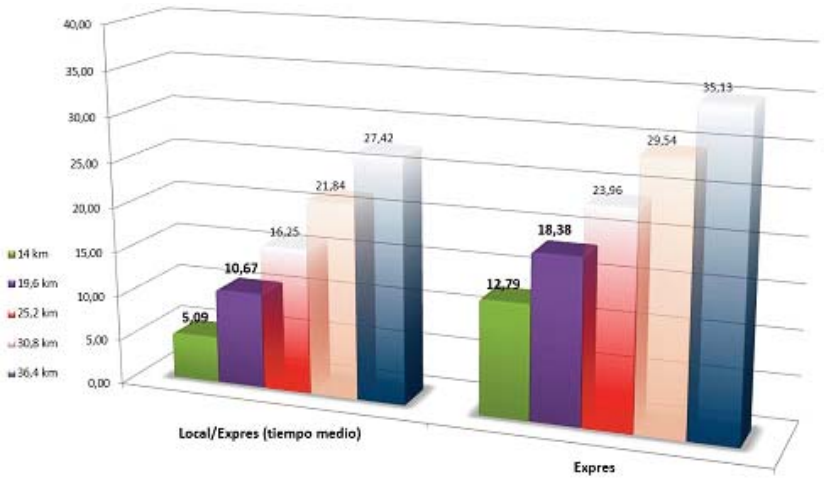


Gráfico 6: Tiempo ahorrado en función de la distancia recorrida

Aplicando estos ahorros por viaje a la demanda total de la línea se obtienen los siguientes valores de ahorro de horas anuales de MetroDuo respecto de la línea convencional automática.

Distancia de viaje (km)	Utilización	Ahorro (min)	Ahorro medio por viaje (min)	Ahorro día laborable (horas)	Ahorro Anual (horas)	Monetarización (€)
14	Local/exprés	5,09	9,71	176.386	44.096.556	518.134.528
	Exprés	12,79				
19,6	Local/exprés	10,67	15,29	277.817	69.454.194	816.086.785
	Exprés	18,38				

Tabla 3: Valoración económica de las horas anuales ahorradas

Se han considerado únicamente los ahorros derivados de los viajes en días laborables (250 días al año), correspondientes a la demanda diaria para la línea y mencionada anteriormente (1.090.000 viajes).

La monetarización de los costes, tanto los costes del tiempo, como de las inversiones necesarias para la construcción y puesta en servicio de las líneas que se exponen a continuación, se ha llevado a cabo con los valores aplicables en España. Para monetarizar los ahorros de tiempo se utiliza la hora de desplazamiento al trabajo, sobre la que existen diferentes valoraciones. Para este estudio se ha utilizado el valor de 11,75 €/hora[1].

[1] Valor utilizado en la Cuenta Económica y Socioambiental del Transporte Terrestre de Viajeros de la Comunidad de Madrid en 2004. (actualizado a 2008)

6. Inversión de construcción y puesta en servicio

Se muestra a continuación la inversión necesaria para poner en servicio una línea automática, con su máxima capacidad, de 43.600 viajeros/hora y una línea MetroDuo con la misma capacidad que la anterior, con las características de partida que ya se han comentado anteriormente.

El coste de la línea MetroDuo incluyendo infraestructura, instalaciones, equipamientos y trenes se sitúa en unos 6.023 millones de € lo que representa un coste de 120 millones de € por kilómetro.

El coste de la línea convencional automática, con los mismos conceptos, es de unos 4.424 millones de €, es decir, una inversión de 88 millones de € por kilómetro. Por tanto, la inversión se incrementa en 1.600 millones de € para la línea MetroDuo respecto de la línea convencional automática, lo que representa un incremento de un 36 % .

	Metroduo (1 expres-4 local)	Línea Automática	Diferencia
Coste de la Infraestructura (por Km)	92.385.146	47.903.955	44.481.190
Coste de las Instalaciones (por Km)	324.640	240.654	83.986
Coste Total (por Km)	92.709.786	48.144.609	44.565.177
Coste total para longitud de 50,4 km	4.672.573.213	2.426.488.299	2.246.084.914
Material Móvil: Tren 6 coches (ATO)	10.200.000		
Material Móvil: Tren 6 coches (UTO)		12.000.000	
Trenes: capacidad de transporte 43.600 viaj./hora incl. reserva	103	139	-36
Coste Material Móvil	1.050.600.000	1.668.000.000	-617.400.000
Coste 2 Cocheras Capacidad 70 Trenes	220.000.000		
Coste 2 Cocheras Capacidad 70 Trenes (UTO)		250.000.000	-30.000.000
Coste Total para Puesta en Servicio	6.023.173.213	4.424.488.299	1.598.684.914

Tabla 4: Valoración de la inversión diferencial Línea Automática y MetroDuo

7. Otros aspectos económicos, sociales y medioambientales.

En este apartado se valoran otros aspectos de carácter económico, social y medioambiental que contribuyen, junto con los ahorros de tiempo de viaje, al retorno de la inversión de MetroDuo.

Consumo energético

La menor necesidad de número de trenes en MetroDuo para satisfacer el mismo volumen de demanda, lleva a un ahorro energético que se estima en 34,06 GW/hora al año, con una repercusión económica de 3.077.919 €/año.

Pérdidas de tiempo por perturbaciones en la línea

Adicionalmente, al tratarse de una explotación con dos líneas paralelas existen menores pérdidas de tiempo derivadas de perturbaciones en el servicio por incidencias en una de ellas, dado que es posible utilizar la otra línea como alternativa. A nos ser que se produzcan averías simultaneas en ambas, la movilidad en el corredor está siempre garantizada. Aplicando los datos existentes sobre índices de averías que miden las perturbaciones del servicio en explotaciones de Metro, se obtienen los siguientes valores.

	Pérdida de tiempo por incidencias (horas)	Valoración económico (€)
Convencional	1.094.396	12.859.151
Línea Metroduo	218.879	2.571.830
Ahorro de tiempo incidencias	875.517	10.287.321

Tabla 5: Cuantificación de los ahorros de tiempo en incidencias

Se han considerado las incidencias de una línea convencional con una vía por cada sentido de acuerdo a la demanda del modelo y se estima una reducción del 80 % en el tiempo perdido en las mismas.

Disminución emisiones GEI

La reducción del consumo energético descrita anteriormente lleva asociada una disminución de las emisiones de gases efecto invernadero.

Ahorro energético diario (Kwh)	Ahorro energético anual (Gwh)	Valoración económica (€)	Emisiones evitadas año (TM)	Monetarización (€)	Árboles equivalentes
136.796	34,20	3.077.919	13.064	287.409	332.350

Tabla 6: Cuantificación de los ahorros energéticos, emisiones evitadas y equivalencias

La tabla 6 presenta la valoración de la reducción de Gases Efecto Invernadero. Para ello, se utiliza el factor de emisiones correspondiente a la energía consumida por Metro de Madrid durante el año 2008, obteniendo las TM ahorradas que se valoran a razón de 22 €/TM[2]. Se incluye además una equivalencia con árboles necesarios para absorber las emisiones anteriores.

8. La rentabilidad social de MetroDuo. Períodos de retorno de la inversión.

Se han calculado los retornos anuales para las inversiones definidas en el apartado 6 considerando ahorros de carácter económico y socioambiental en un escenario diferencial referenciado a la línea automática integral, que se monetarizan para analizar la rentabilidad de MetroDuo sobre la misma:

Ahorros de tiempo de viaje.

Ahorros de tiempo por reducción del impacto de las incidencias.

Ahorros de consumo energético.

Ahorros de emisiones de gases de efecto invernadero *GEI*.

[2] Valor en el rango de la recomendación del estudio Impact v 1.1. (Internalisation Measures and Policies for All external Cost of Transport) Feb. 08. Participado por INFRAS (Universidad Karlsruhe)

	Valor económico
TIEMPO	
Ahorro anual de tiempo de viaje 14 km (€)	518.134.528
Ahorro anual de tiempo de viaje 19,6 km (€)	816.086.785
Ahorro por reducción impacto de incidencias (€)	10.287.321
ENERGIA CONSUMIDA	
Ahorro anual por menor consumo energético (€)	3.077.919
Ahorro anual por reducción de emisiones de GEI (€)	287.409

Tabla 7: Cálculo del retorno anual

A la vista de los ahorros anuales los períodos de retorno se expresan a continuación:

	Recorrido medio viaje 14 km	Recorrido medio viaje 19,6 km
Inversión diferencial (MetroDuo - L.Convencional) (€)	1.598.684.914	
Retorno anual (€)	531.787.177	829.739.434
PERÍODO DE RETORNO (AÑOS)	**3,01**	**1,93**

Tabla 8: Período de recuperación.

9. Otras ventajas adicionales de MetroDuo

Además de la ya mencionada en el apartado 7, en lo que se refiere a la posibilidad de continuar dando servicio por una de las líneas, en el caso de corte de servicio en la otra, hay otras relacionadas con la seguridad de difícil cuantificación, pero que indudablemente mejoran los niveles de la misma.

La existencia de dos ámbitos distintos para cada una de las líneas permite que, interconectando los dos niveles a través de la losa de separación, una de ellas puede utilizarse como camino de evacuación seguro, en caso de producirse un incidente en la otra.

También, la existencia del espacio correspondiente al nivel inferior de las estaciones sin parada de la línea expres, no utilizado en la explotación en condiciones normales, pueden ser utilizados como una pieza importante de los planes de evacuación en casos de emergencia.

Finalmente, la línea MetroDuo permite la optimización del uso de equipos no embarcados que podrían ser compartidos por las dos líneas.

10. Conclusiones

Se ha diseñado un nuevo sistema de transporte ferroviario suburbano para grandes ciudades y se analizará su rentabilidad considerando los aspectos económicos, sociales y medioambientales que se ha denominado MetroDuo. Del análisis del triple balance se deduce que esta alternativa presenta mejoras sustanciales con respecto a los sistemas de metro más avanzados que existen en la actualidad. Las mejoras en rentabilidad se basan fundamentalmente en la fuerte reducción de los costes sociales ligados a elevados ahorros de tiempo. De dicho análisis se extraen las siguientes conclusiones:

1.- Para niveles de capacidad de transporte superiores a los admisibles por las líneas automáticas de metro, MetroDuo necesita una inversión de construcción y puesta en servicio del 36% superior, pero presenta grandes retornos de carácter socioambiental.

2.- Los ahorros relacionados con el tiempo y la energía consumida que supone MetroDuo, con respecto a las líneas automáticas, amortizan esta diferencia de inversión en un plazo de tiempo que se puede estimar en 3 años para el escenario más conservador. A partir de ese momento, para una línea de 50 km y con los grados de ocupación y distancias de viaje supuestos, la monetarizacion de los ahorros de tiempo y energéticos se estiman entre los 530 y los 830 millones de € anuales.

3.- En las condiciones expuestas, mientras la capacidad de una línea automática con igual trazado y longitud queda agotada y no puede responder a posibles aumentos de demanda, MetroDuo tiene capacidad remanente suficiente pues puede transportar hasta el doble de clientes.

4.- MetroDuo es más eficiente energéticamente y, como consecuencia de ello, y en igualdad de condiciones emite 13.000 toneladas de CO_2 al año menos que la línea convencional automática.

5.- La construcción y puesta en servicio de MetroDuo se lleva a cabo con procedimientos y tecnologías existentes en el mercado y suficientemente probadas, con alto grado de seguridad y eficiencia.

FUNDACIÓN DE LOS FERROCARRILES ESPAÑOLES
www.ffe.es

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

Análisis de la correlación entre los Puntos Kilométricos Nominales y Reales en la geometría de la línea ferroviaria

Nominal and Real kilometer points analysis of the correlation in the geometry of the railway line

Gómez Castaño, José; Sánchez de Miguel, Alejandro; Zamorano, Jaime
Grupo de Astronomía Extragaláctica e Instrumentación Astronómica,
Departamento de Astrofísica y CC de la Atmósfera. UCM

Resumen

A lo largo de la vida de un trazado ferroviario, este sufre variaciones que influyen en la posición que ocupan los postes kilométricos ubicados junto a la vía. Estos se encuentran marcando puntos hectométricos con el objeto de indicar al maquinista y personal que trabaja en la vía, dónde se encuentran en cada momento o dónde se sitúan las instalaciones. También suponen un punto de referencia para cualquier trabajo que se haga en la misma, lugar de las incidencias, de limitaciones de velocidad, etc.

Las alteraciones en el trazado modifican la posición real de estos postes kilométricos, lo que hace que su posición geográfica no coincida con la que muestran. Por este motivo, si se necesita posicionar cualquier evento sobre la vía, a partir de sus coordenadas GPS, será necesario llevar a cabo una corrección, de forma que estén referidas a la posición nominal y que sea identificable por los afectados. De modo inverso, se tiene que aplicar esta corrección a los kilometrajes nominales, si se quieren representar sobre cartografía.

En este trabajo se hace una comparación entre las posiciones reales y teóricas de los mismos, con el objeto de detectar dónde y en qué medida existe esta casuística y crear una correspondencia entre ambos valores. La fuente de datos para los PK se ha obtenido del Mapa Topográfico Nacional y de la Base Cartográfica Nacional 1:25:000. Las geometrías de los fenómenos de líneas se ha obtenido de la versión 12 de Tramificación Común de IDEAdif.

Como resultado del trabajo, se ha introducido un nuevo campo en la información de cada PK del MTN25 para indicar la línea a la que pertenece y se ha desarrollado una metodología que permite la correlación entre una y otra kilometración. Se ha encontrado una correlación directa entre ambos valores en una línea dada, teniendo en cuenta los casos en los que se producen saltos de kilometración en ella.

Palabras clave: Ferrocarril, GIS, Punto Kilométrico, Algoritmo.

Abstract

Throughout the life of a railway line, this has fluctuations that afect its position mile points located along the route. These points mark hectometers in order to indicate to the operator and personnel working on the railway, where they are located. They also assume a point of reference for any reference made to it, as incidents position, speed limits, etc.

The alterations in the layout of the railway produce changes in the actual position of these mile points, so their geographical position does not coincide with they are showing. For this reason when it would be necessary locate any event over the infrastructure from its GPS coordinates, a correction will be applied . So, both locations will be the same.

In this paper it is made a comparison between real and theoretical thereof, in order to identify where and to what extent there is casuistry. The dataset source for the locations of Nominal Pks has been extracted from "Mapa Topográfico Nacional" and "Base Cartográfica Nacional" 1:25.000. The features form lines have been extracted from "Tramificación Común version 12" by IDEAdif

As a result of this work a new field has been added for every PK from MTN25 to show the real line and an algorithm has been developed to correlate real and nominal kilometers.

Keywords: Railway, GIS, kilometer points, algorithm.

Jgomez03@pdi.ucm.es

1. Introducción

Es conocido el hecho de que existen diferencias entre los puntos kilométricos y hectométricos nominales inscritos en los hitos que hay junto a la infraestructura ferroviaria, y el que realmente ocupan.

Estos puntos se encuentran distribuidos cada 100 metros a lo largo de la vía, con objeto de ser puntos de referencia para el personal que trabaja en ella. Ejemplos de su uso es la delimitación de puntos de inicio y fin de limitaciones de velocidad, localización de lugares de incidencias o puntos relevantes donde la marcha de los trenes debe sufrir variaciones de velocidad.

Al realizarse trabajos sobre la vía, el hito sufre desplazamientos y deja directamente de indicar el kilometraje con precisión. Aunque este hecho es conocido, en este trabajo se desarrolla un proceso que permite la cuantificación de la desviación en cada caso. Todos los gráficos han sido realizados por el autor

2. Datos utilizados

El principal problema en este trabajo ha sido conseguir una fuente que proporcione la posición de los postes kilométricos actuales. Para ello se ha recurrido a la capa Puntos Kilométricos, de la Base Topográfica Nacional y de la Base Cartográfica Nacional, del Instituto Geográfico Nacional (BTN y BCN). La ubicación de estos postes se realiza tomando 2 de ellos por cada hoja del Mapa Topográfico Nacional 1:25.000

Se ha partido de la localización de 7117 postes kilométricos repartidos en 227 líneas. Aunque solo constituyen una parte del total, servirán como base para un estudio más profundo, si así se necesita.

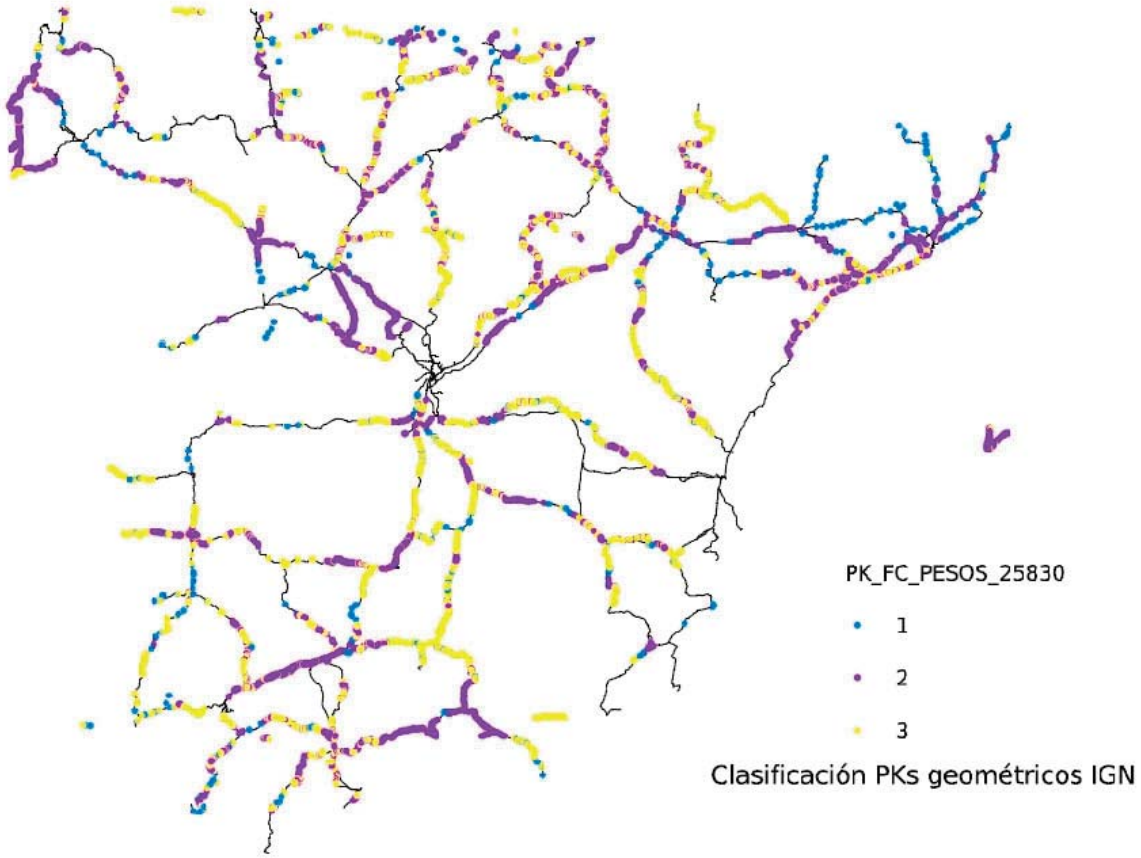


Fig 1. Distribución original de PK analizados Azules los geolocalizados con GPS y amarillos los interpolados por el IGN. EPSG:25830

Los Pks han sido extraídos del fichero PK_FC_PESOS proporcionado por el IGN. En esta base de datos se detalla la posición de cada hito de PK, asignándose diferentes pesos en función de la precisión. 1 para los fiables (481 postes), 2 para los dudosos (3267) y 3 para los interpolados. En principio existen dos hitos para cada hoja del MTN25 para los que se ha tomado su posición directamente en campo, siendo el resto interpolados a partir de ellos. En el gráfico anterior se muestra la distribución de los hitos por la red ferroviaria.

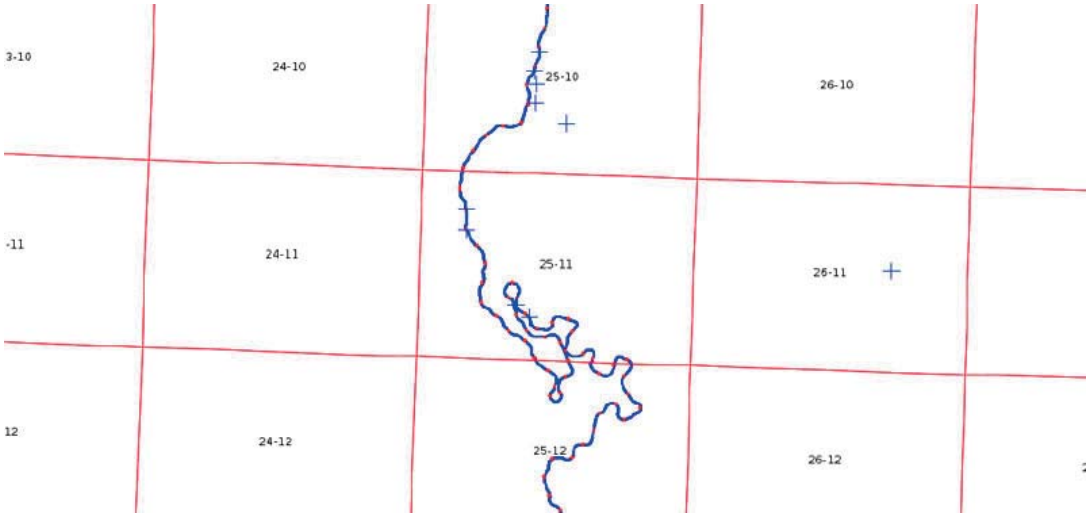


Fig 2. Distribución de los PK de referencia (cruz azul) de la BTN25 respecto a la cuadrícula del MTN25

Esta información presenta la dificultad de que los Pks no se encuentran asociados a una línea en concreto. Por ello, el primer paso ha sido crear un geoproceso con el fin de relacionar cada punto a su línea correspondiente. Este consiste en asociar a cada línea los Pks localizados a menos de 10 metros del eje de la via. Como resultado del mismo, se ha creado una capa con esta asociación, añadiendo el atributo COD_LINEA y actualizado la información de la BTN25. Las líneas son las publicadas por ADIF en la Declaración de Red [ADIF 2013]

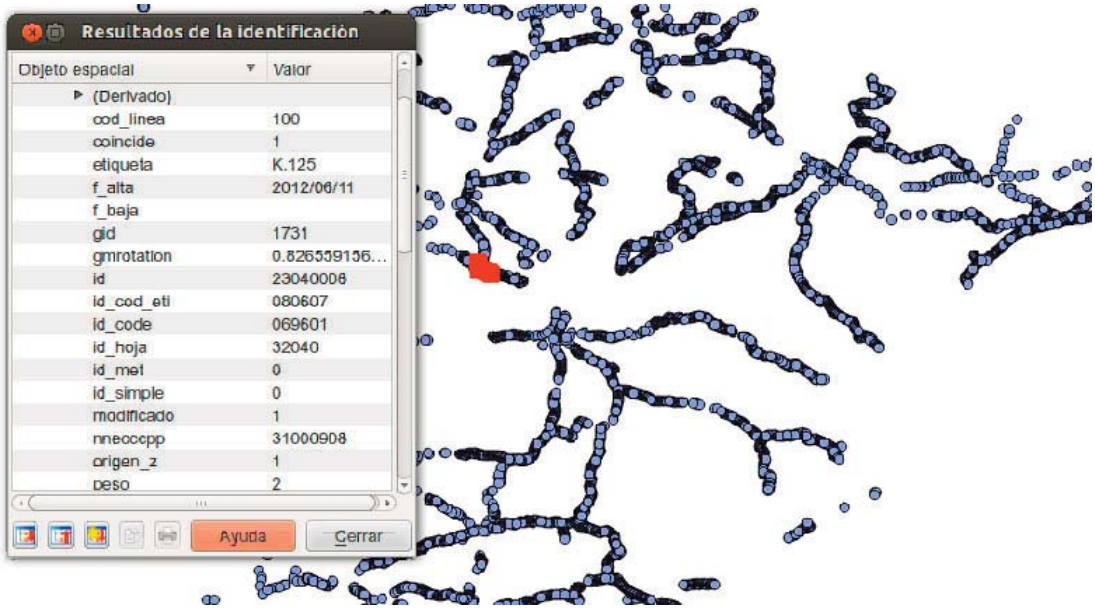


Fig 3. Resultado de asociar cada PK de IGN a su línea correspondiente

Para la geometría de vía se ha utilizado la versión 12 de la Tramificación común, publicada por ADIF a través de IDEAdif a finales de 2012. Esta se ha construido a partir de medidas con GPS embarcado en trenes auscultadores, tomándose las mejores medidas de diferentes pasadas. Su ajuste a la geometría de vía real es la más precisa actualmente y formará parte de la Base Topográfica Nacional 1:25.000 (BTN25) en breve. El sistema de referencia es el EPSG:25830.

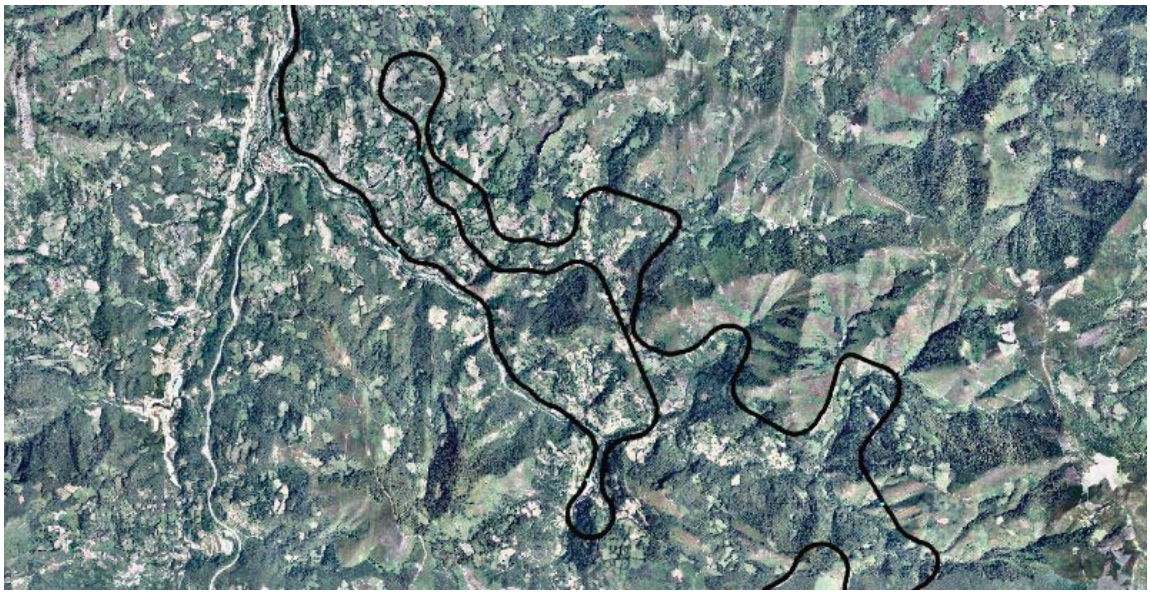


Fig.4. Ortofotografía y la geometría de vía superpuesta en la subida a Pajares.
EPSG:25830 En azul la posición de las estaciones

Otra fuente indirecta la constituye la posición de las Estaciones, de las que se conoce tanto su posición geográfica como el punto kilométrico nominal en el que se encuentran dentro de una línea concreta. Tradicionalmente, estos reciben el nombre del punto kilométrico en el que se encuentran. De esta forma se dispone de 2716 puntos de referencia.

3. Metodología

Las herramientas utilizadas han sido gvSIG y QGIS, como software de escritorio, una base de datos PostGIS 2,0 y Scripts a medida desarrollados en Python para los geoprocesos usando las librerías de GDAL y PyQgis.

Cálculo de la desviación

Como se ha dicho, el objetivo es calcular la desviación en metros entre la posición real de cada hito, y su valor nominal. Por lo tanto empezaremos por poner los datos de referencia de forma que sean comparables, para después calcular la diferencia, ya que la capa IGN se presenta en proyección EPSG4326 y la geometría de vía en EPSG25830. Por último, representaremos esta diferencia de forma tabular y sobre cartografía.

Otra fuente de datos de PK Nominales se ha escogido las posiciones de las dependencias de ADIF, directamente en sistema EPSG25830. Estos proceden de la kilometración que aparece respecto a cada línea en los Libros Horarios.

Para la obtención de los PK reales, se ha utilizado la geometría de vía. Dado que esta representa la Tramificación Común, se ha aplicado un geoproceso de Disolución basado en la línea a la que pertenece cada tramo, en el que se han unido los tramos pertenecientes a la misma línea, para formar uno solo.

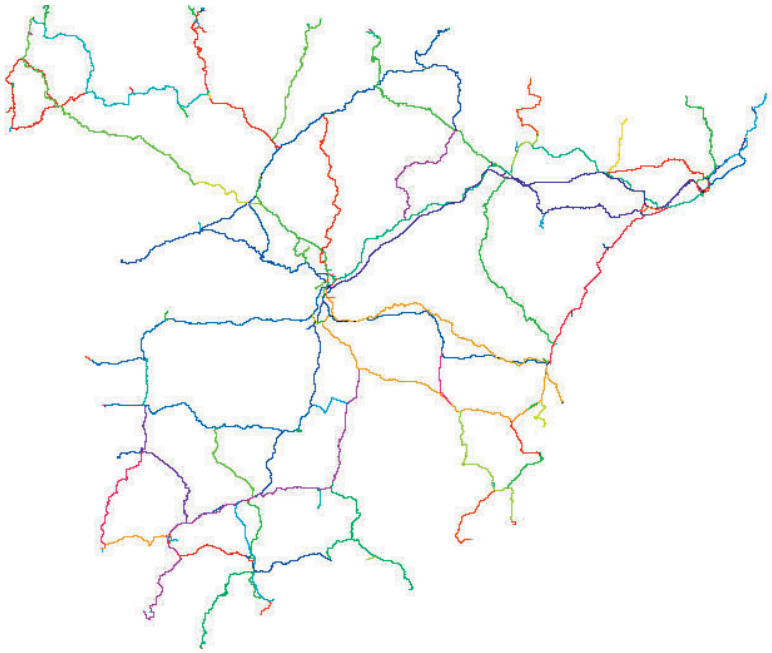


Fig 5. Resultado de las líneas después de la Disolución. Cada color indica una línea

Para comprobar la fiabilidad de las geometrías, se ha comparado la longitud nominal con las reales. El resultado se muestra en la siguiente figura. El origen de las líneas geométricas no coincide exactamente con los puntos donde comienza la kilometración nominal. Existe un offset dependiendo de donde haya comenzado la medicion GPS. Este se ha añadido para tener el mismo origen

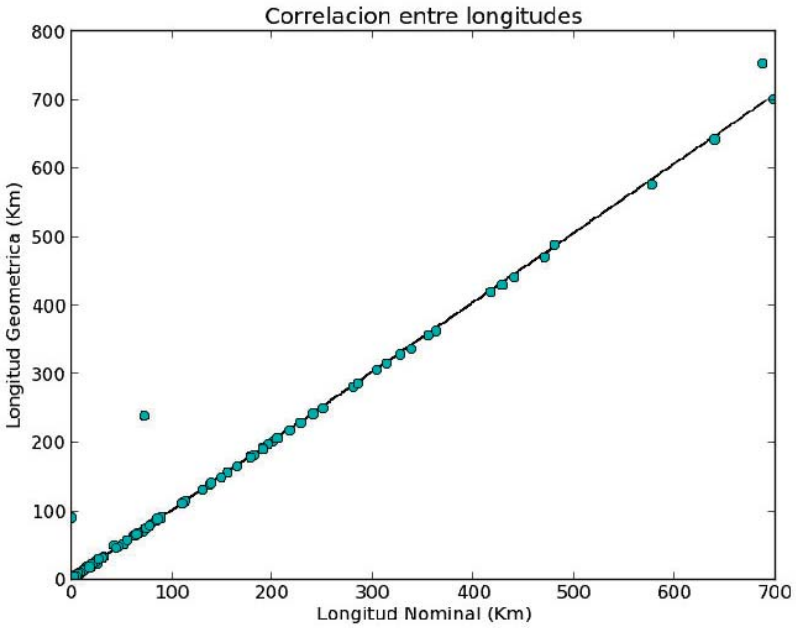


Fig 6. Correlación entre las longitudes nominales y reales de las líneas

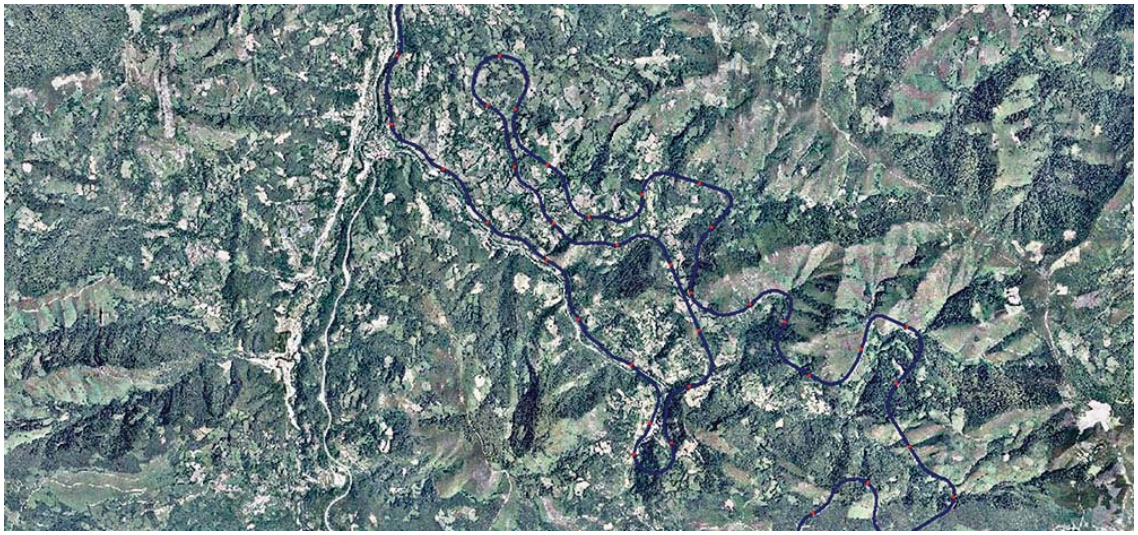


Fig 7. Resultado el geoproceso de localización de los PK reales (rojo) sobre la línea (azul) a partir en la zona de Pajares

A partir de estas líneas disueltas, se ha segmentado cada una de ellas a intervalos de 1km aplicando un geoproceso que devuelve la posición X‘, Y‘ de cada PK. A estos los llamaremos Pkreales.

De esta forma tenemos X‘,Y‘, las posiciones UTM de cada PKreal, y X, Y, las posiciones UTM de los PKnominales.

Como fuente de datos de los PK nominales con su correspondiente posición, se ha tomado la posición de la cada Estación. En la Consigna Serie A de cada estación de ADIF se encuentra el PK en el que se sitúa cada Estación dentro de cada línea. De esta forma tenemos una relación Estacion – KM - linea. PointNode – KM – RailwayLine, en nomencaltura INSPIRE.

Por otra parte disponemos de las posiciones X0, Y0 de cada Estación. Ya que esta posición se refiere al edificio de viajeros de la estación, esta encuentra ligeramente desviada de trayectoria de la vía en sí. Para corregir el efecto, se ha aplicado un geoproceso que devuelve la coordenada X, Y, sobre la línea georreferenciada.

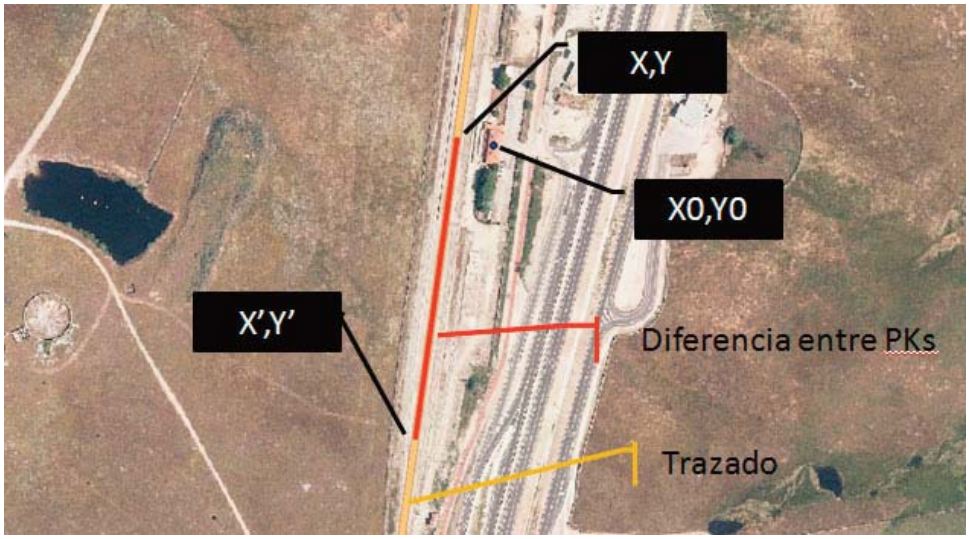


Fig. 8 Resultado de la desviación de la posición X0, Y0 de la línea y su proyección calculada

En la figura anterior, la línea amarilla representa el trazado ferroviario, el punto azul la posición de la estación (X0,Y0), su proyección sobre el trazado representa las coordenadas X,Y, y la línea roja representa la diferencia entre esta posición y el PK real.

A partir de esta información se ha creado una tabla PostGIS con la información RailwayNode – RailwayLine – KM – geom(point(X,Y)), con lo que cada registro define la posición de los Pknominales en coordenadas UTM

Por otra se ha tomado la geometría almacenada de cada línea en otra tabla PostGIS. A esta se ha aplicado un geoproceso de segmentación dinámica, que devuelve, para cada punto de la tabla de PKNominales, la posición UTM de cada KM, a la que llamaremos X',Y'. Esto nos devuelve el Pkreal descrito más arriba. Con esta información se ha añadido esta posición a la tabla anterior, quedando la estructurada

RailwaNode – RailwayLine – KM – PKn= geom(point(X,Y)) – Pkr =geom(point(X',Y'))

Por último, la diferencia entre ambas se obtiene aplicando un geoproceso consistente en

distancia = Length(point(X,Y),point(X',Y'))

Las funciones utilizadas son las definidas por el OGC, por lo que permiten tratar cualquier complejidad en las geometrias

Sin embargo, esta no es esta la mejor metodología, ya que en muchas de las líneas estudiadas, se producen saltos de kilometración, lo que hace imposible obtener una función que relacione ambos puntos.

Por este motivo, se ha optado por realizar una tabla de correspondencia entre ambos valores. Para ello se ha calculado, para cada X,Y, de cada estación, el Pkreal al que corresponde en la geometría. Un proceso inverso al anterior

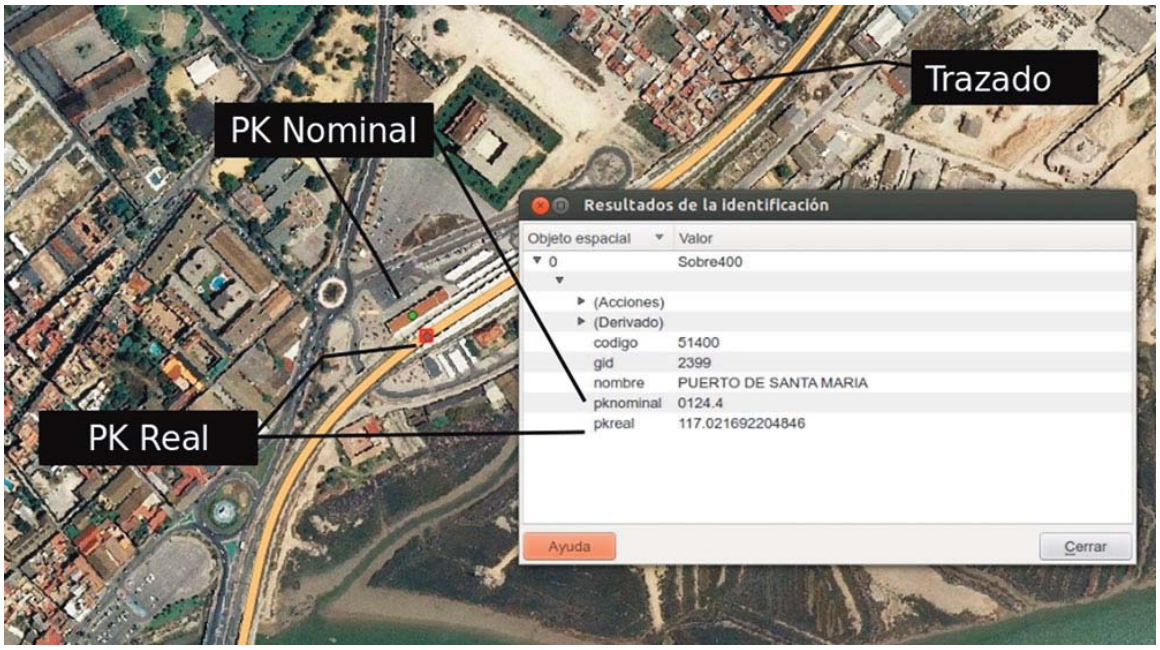


Fig.9 Situación del PK nominal (verde) y PK real (rojo) sobre la línea

Este mismo proceso se ha aplicado a la capa de Pks del IGN con lo que en total se dispone de más de 9800 puntos de referencia con los que se puede hacer la conversión de uno a otro.

Ejemplos de uso

Una vez creadas las tablas auxiliares mediante la metodología anterior, se puede conocer el PK nominal a partir del real y viceversa. Dado un PK nominal a representar, se determina el intervalo al que pertenece y se obtiene su correspondiente real. Aplicando un algoritmo de segmentación dinámica, se obtienen las coordenadas geográficas correspondientes al mismo

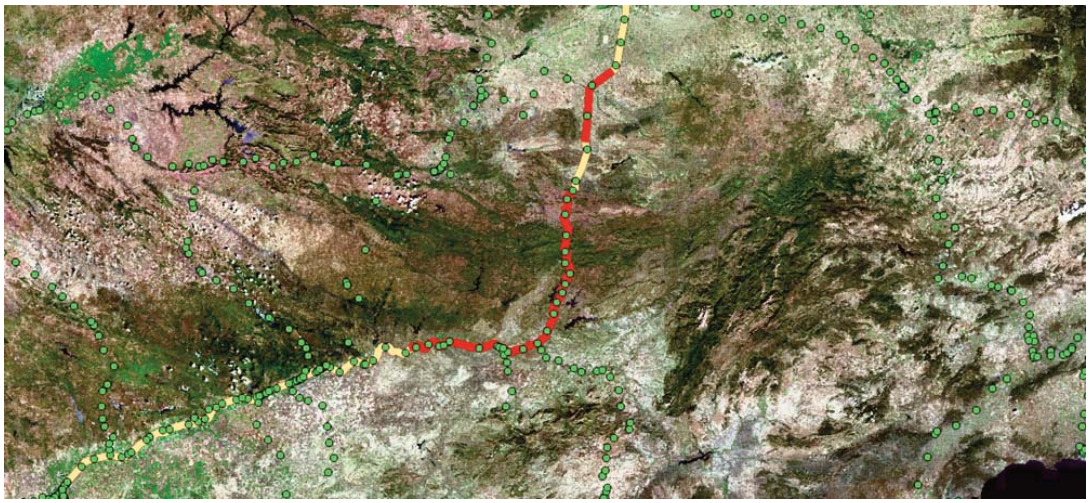


Fig. 10. Representación de dos tramos de la línea 400

Otro uso es posicionar un evento a partir de sus coordenadas GPS sobre la línea, y obtener su PK nominal, de forma que sea posible informar a un maquinista, o cualquier personal de vía.

A partir de la posición GPS es sencillo conocer el PK real más cercano, por lo que se ha acometido el problema de conocer el PK nominal.

En la figura, se han obtenidos las coordenadas con un GPS. A partir de ellas se calcula el punto más cercano a la vía, lo que devuelve su PK real. Usando de nuevo, la tabla de conversión, se obtiene el PK nominal.

Fig 11. Posicionamiento y kilometración a partir de coordenadas geográficas

Por último, sería posible calcular la distancia Manhattan añadiendo el sistema de grafos asociado a la geometrías de carreteras.

Para la implementación de los algoritmos anteriores, se han desarrollado un conjunto de programas en Python que toma como datos de entrada la topología de toda la red almacenada en las tablas PostGIS y devuelve la tabla y gráficos del apartado siguiente.

4. Resultados

Como resultado del análisis de los Pks proporcionados por el IGN, se ha creado una capa con esta asociación, añadiendo el atributo COD_LINEA y actualizado la información de la BTN25, de forma que sea más fácil asociar cada uno a su línea correspondiente

Para llevar a cabo las conversiones, se ha desarrollado una base de datos específica PostGIS con la información y los programas necesarios.

En la siguiente figura se pueden observar diferentes tipos de correlaciones para diferentes tipos de líneas aplicando el algoritmo propuesto

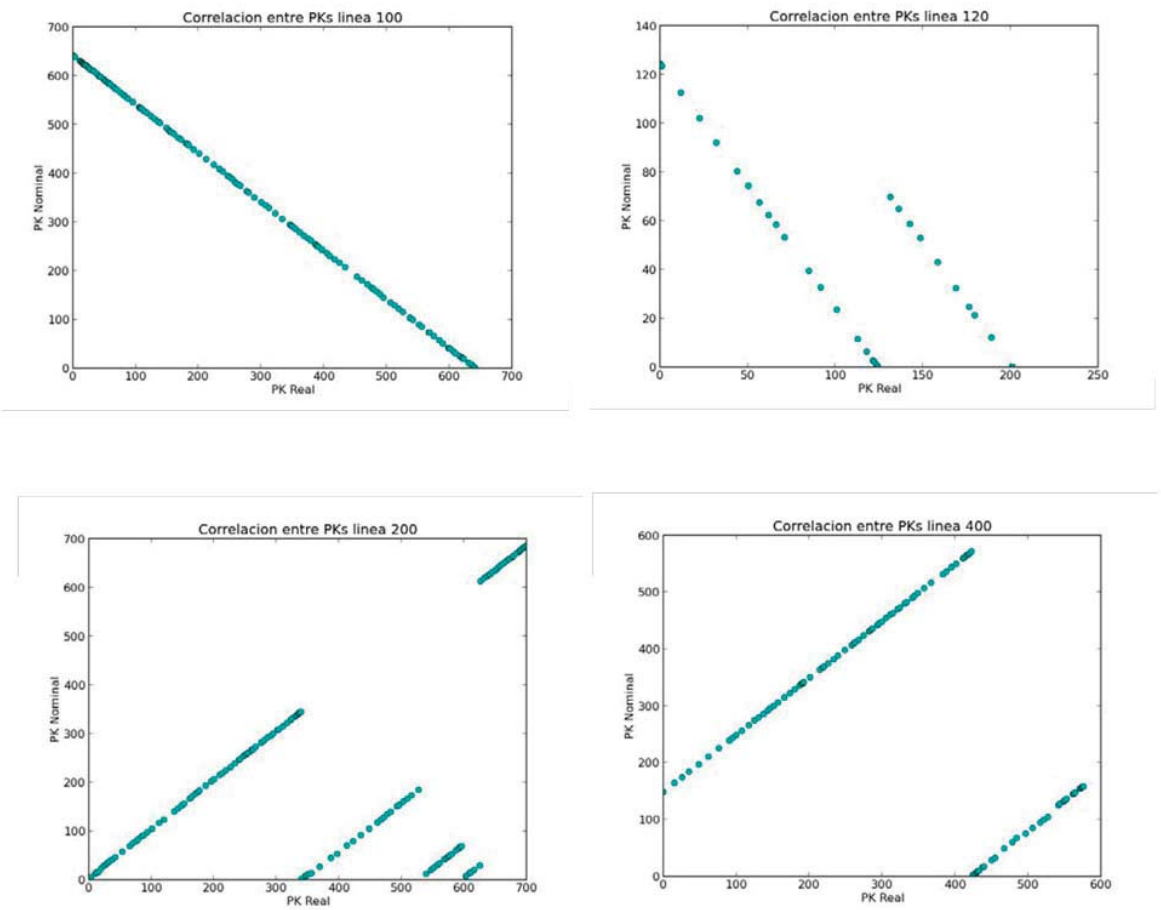


Fig 12. Correlación resultante en varias líneas

Como puede verse, la casuística encontrada es diversa. La mayoría de los casos responde al caso de líneas como la 100, en la que existe una total correlación lineal entre ambos valores. En otros, como el caso de la línea 120, existen saltos en el kilometraje nominal, comenzando en un KM diferente al cero. Un caso similar son los que se asemejan al de la línea 400, con saltos para comenzar de nuevo en el cero. En escasas ocasiones, se tiene un comportamiento mucho más complejo, como en el de la línea 200. Aquí encontramos no solo saltos, sino que se dan los dos casos anteriores, en los que después del mismo, se comienza en el cero o en otro KM.

La problemática derivada de estas circunstancias se traduce que en algunos casos, dentro de la misma línea, los PK nominales, se repiten. En el caso de la línea 120, por ejemplo, existen 2 KM 40, o en el de la línea 200, se pueden encontrar hasta cuatro KM 20. En estos casos, para identificar unívocamente el PK, se hace necesario indicar los RailwayNode colaterales.

El algoritmo desarrollado, cubre toda la casuística y en el ANEXO I se incluye un catálogo con todas las líneas

Por último, se ha elaborado una tabla con las estaciones en las que se detecta el cambio de kilometraje. De esta forma quedan identificadas las líneas y estaciones limítrofes

Línea	Estación	Línea	Estación
020	KM. 54.215	436	MZAMBRANO-AGK0.7
070	TARDIENTA	440	BIF. CARTUJA
100	IRUN	500	LEGANES
120	LA ALAMEDILLA	528	PEÑARROYA-P NUEV (Plena vía)
130	SANTIBAÑEZ	600	VALENCIA-LA FONT
130	GRIJOTA	600	TARRAGONA
200	MIRAFLORES	610	CAMINREAL-FTES.
200	LLEIDA-PIRINEUS	700	ALFARO
200	PLANA-PICAMOIXON	762	PRAVIA
202	BIF.VALCORBA	764	PALOMAR
204	JACA	764	PARTEAYER
210	REUS	764	MIERES-VASCO
214	C.I.M. DE ZARAGO	764	UJO TARUELO
222	CAMPDEVANOL	764	PIÑERES
262	BARNA-CLOT-ARAGO	764	SANTA ANA-SOTO
276	B.SAG.AG.KM 2.1	780	BILBAO-CONCORDIA
300	SOL (APD)	780	GÜEÑES
300	LA ENCINA	780	VALDECILLA-LA MA
304	VALENCIA-LA FONT	790	ZALLA
310	UTIEL	790	BALMASEDA
310	EL REBOLLAR	790	GUARDO-APEADERO
322	PULPI	790	SORRIBA
322	PTO. LUMBRERAS	790	LA LOSILLA
336	BUTANO S.A.	790	BARRIO LAS OLLAS
400	SEVILLA-S. JUSTA	910	PIRAMIDES
420	BIF. MARAVILLAS	920	EMBAJADORES
426	ANTEQUERA		
430	CORDOBA-EL HIGUE		

Tabla 1. Ejemplo de Líneas y Puntos de cambio de kilometraje

5. Conclusión

Se ha constatado la diferencia existente entre los Hitos que marcan la posición de los Pks nominales y su posición geométrica en la vía. Esto hace inviable que se usen las posiciones geográficas GPS, directamente para relacionar eventos físicos, haciéndose necesaria una conversión de estos a nominales, si se quiere que sean entendibles por el personal de vía. De forma similar, cualquier intento de representar los Pks nominales, deben ser transformados a reales.

Se ha mejorado la base de datos de Pks del IGN asociando cada uno de ellos a la línea correspondiente de ADIF

Se ha desarrollado un algoritmo que permite el cálculo de la diferencia entre la posición de los PK reales y PK nominales de las líneas de ferrocarril, que se utilizan para referenciar cualquier evento sobre la infraestructura ferroviaria. La precisión del resultado mejorará cuanto más precisa sea la geometría de vía que se elija y el número de referencias.

Agradecimientos

Desde aquí el agradecimiento del autor a IDEAdif y el IGN por haber aportado los datos para el presente estudio

Referencias

[1] [ADIF 2013] Declaración de Red http://www.adif.es/es_ES/conoceradif/declaracion_de_la_red.shtml

[2][BTN25] Base Topográfica Nacional 1:25.000 IGN

http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/catalogo.do

[3] [PK_FC_PESOS.shp] Exportación de la base de datos de PKs del IGN

Fundación de los Ferrocarriles Españoles
www.ffe.es

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

Las implementaciones de sistemas de gestión de tráfico y la seguridad en la circulación entre 1975 y 2009

Contribution to the implementation of technological innovations in improving the security of Spanish rail system

José Perlasia Giol (*)
Ingeniero Industrial

Resumen

En el transporte de viajeros y mercancías por ferrocarril, la seguridad en la circulación es el factor de calidad más importante para la sociedad en general , para los gobiernos de los países y para los gestores de este medio de transporte.

En la evolución del ferrocarril en España desde 1948 hasta nuestros días ha tenido una evolución espectacular y muy especialmente desde el año 1975 en cuyo periodo de casi 40 años ha cambiado totalmente el sistema de gestión de la circulación pasando desde recaer casi toda la responsabilidad en el factor humano y en multitud de normas a la implantación de mando y control así como la señalización basada en modernos sistemas de gestión de la circulación que han permitido que el total de accidentes anuales registrados haya disminuido de una manera espectacular y muy especialmente los relacionados con colisiones de trenes que es una de las clases de accidente cuyas consecuencias revisten la mayor gravedad por su afectación a las personas y a los bienes del ferrocarril.

El presente artículo tiene por objeto exponer resumidamente cual ha sido la evolución de los sistemas de bloqueo de trenes, de su movimiento dentro de las estaciones, cuales han sido los medios técnicos empleados y los sistemas de seguridad para prevenir el fallo humano así como la implementación de modernos sistemas de gestión de tráfico centralizado que independizan y reducen notablemente el riesgo de fallo humano

Al propio tiempo el artículo presenta dos gráficos fundamentales, el primero relativo a la evolución del total de accidentes de circulación en los 40 años citados y en particular del de colisiones y el segundo que refleja en las distintas fases de dicho periodo como se ha producido la relación de causa-efecto entre la implementación de dichos medios y la reducción correspondiente, hecho que ha sido posible gracias a sofisticados sistemas de bloqueo, de enclavamientos , de ayudas a la conducción como el ASFA, de comunicaciones por radiotelefonía y del control de trafico centralizado.

La exposición y el análisis se centran exclusivamente en los ferrocarriles españoles de ancho ibérico (1,668 m) y en el periodo 1975-2009 con independencia de la Alta Velocidad que no es objeto del artículo.

Palbras clave: Nivel de seguridad ferroviaria, Bloqueo de trenes, Innovacion técnica, ASFA (aviso señales, frenado automático), Momento de paso a nivel, Alabeo de via, Bloqueo automático banalizado, Defecto de nivelación de via, Enclavamiento. Control de tráfico centralizado, Implementar, Reducción de accidentes, Indice de frecuencia, Sistema ferroviario, Fallo técnico, Reducción de accidentes, Indice de frecuencia, Sistema ferroviario, Fallo técnico, Factor humano, Colisión de trenes, Radiotelefonía de trenes.

* jperlasia@telefonica.net

Abstract

At the same time the in the carriage o passengers and good by rail, traffic safety is most important quality factor for society in general, for governments of the countries and to the managers of this transport.

In the evolution of the railway in Spain from 1848 to today has evolved dramatically and especially since 1975 during which time nearly 40 years has completely changed the management system circulation going from putting almost all the responsibility on the human factor in many implementation rules to the command and control modern signalling systems based on traffic management that have allowed total crashes reported annually has decreased in a spectacular way and especially those related to collisions train which is a class of accident whose consequences are of the utmost gravity for her involvement with the persons and property of the railroad.

This article aims to briefly explain what has been the evolution of locking systems train their movement within the stations which have been the technical means and security systems to prevent human error and the implementation of modern traffic management systems and centralized independent in markedly reduce the risk of human error.

Fundamental paper presents two graphs, the first concerning the evolution of all traffic accidents in the 40 years cited in particular collision and the second reflecting the different stages of that period as has occurred cause-effect relation ship between the implementation of the media and the corresponding reduction, witch has been made possible by sophisticated locking systems ,interlocks , of driving aids such as ASFA radio communications and centralized traffic control.

The discussion and analysis focus exclusively on Spanish railways Iberian gauge (1,668 m) and the period from 1975 to 2009 regardless of the high speed is not the subject of the article.

keywords: Level of railway safety, Block system trains, Innovation technical, Notice automatic braking signals, Moment of level crossing, Track twist, Automatic block banal, Leveling defect track, Interlocking, Centralized traffic control, Implementing, Accident reduction, Frequency index, Railway system, Technical failure, Human factor, Train collision, Radiotelephone of trains.

1. Principios fundamentales de la seguridad en la circulación de trenes

La principal función-objetivo del ferrocarril es el transporte de viajeros y/o mercancías. Es decir, transportar el mayor número posible de viajeros o mercancías por hora y en el menor tiempo posible y al menor coste posible que evidentemente no es el mínimo coste, función que debe tener muy en cuenta la primordial seguridad. Esta función - objetivo está influido por muchos factores ferroviarios; entre ellos, y de manera especial, destacan los sistemas de señalización, esto es, los sistemas de mando y control que proporcionan la seguridad en las circulaciones.

En el presente artículo consideraremos las colisiones entre ellos, que es preciso evitar a toda costa por sus posibles graves efectos sobre las personas y los bienes de las empresas.

La prevención de colisiones de trenes como clase de accidente de circulación se basa fundamentalmente en el Reglamento General de Circulación de RENFE[1] entre 1975 y 2004 y de ADIF entre 2005 y 2009 de manera que en este concepto la circulación segura de los trenes depende de los principios básicos que son los que se detallan a continuación:

- Que los trenes no colisionen frontalmente si han de circular por vía única entre dos estaciones, en sentidos contrarios.

- Que cuando los trenes circulen por una vía en el mismo sentido, sucediéndose, el de atrás no alcance nunca al que le precede, manteniendo siempre la distancia de seguridad preceptiva.

- Que cuando una vía enlaza con otra por medio de un desvío se disponga de sistemas que puedan prevenir una colisión de costado tanto en un trayecto de plena vía entre dos estaciones como en estaciones o bifurcaciones.

Estos sistemas de señalización deben garantizar que uno solo de los dos trenes tiene autorizado el paso mientras el otro permanece detenido frente a la señal que protege al primero y además, que si no cumple la orden de parada el sistema lo frena automáticamente**.**

Se dispone pues de sistemas capaces de asegurar que se cumpla el primero de los principios de no producirse choques frontales y cuya denominación son los *sistemas de bloqueo.* Lo mismo en el segundo caso donde se trata de evitar que un tren alcance al que le precede circulando ambos sucesivamente entre dos estaciones, manteniendo entre si la distancia suficiente para que ambos circulen con seguridad y también el tercero en la forma expuesta en e párrafo anterior.

Estos sistemas o acantonamientos protegidos por la señalización permiten lograr mayor capacidad de circulación y frecuencia de servicio. Para ello se requiere el sistema de señalización mediante el cual se realiza el bloqueo de forma que las señales transmiten órdenes, como la de vía libre (verde) que permite desarrollar la marcha a la velocidad de itinerario, la de anuncio de parada (amarillo) que ordena ponerse en condiciones de parar ante la señal siguiente y la de parada (rojo) que ordena detenerse ante ella sin rebasarla.

Esta es una secuencia completa de bloqueo de sucesión de trenes dentro del sistema de bloqueo automático en doble vía donde cada vía tiene un sentido de circulación.

Una vez llegados los trenes a las estaciones que disponen de al menos dos vías para realizar cruces entre dos trenes de sentido contrario o dar paso un tren tranvía a otro semidirecto, es necesario también garantizar

[1] En el periodo de estudio 1975-2009, han estado vigentes los Reglamentos Generales de Circulación de 1982, 1993 y 2006, cada vez más reducidos en cuanto a Normas, al automatizar progresivamente las funciones correspondientes a ellas.

la correcta disposición de los desvíos que hacen posible el establecimiento de itinerarios de seguridad y maniobras de los trenes en las estaciones mediante los sistemas que se llaman enclavamientos**.**

Visto pues que la seguridad en la circulación depende fundamentalmente de estos sistemas básicos como son los bloqueos, la señalización, complementados con otros sistemas pasaremos a exponer las distintas clases existentes de cada uno de ellos siguiendo un orden de más antiguo a más moderno, de mayor riesgo a menor riesgo, hasta llegar a los implementados en el periodo de estudio 1975-2009 de eficacia muy satisfactoria.

2. Los sistemas de bloqueo de trenes entre estaciones

Se exponen en este punto muy brevemente los distintos sistemas de bloqueo de trenes que se han venido utilizando desde el principio del ferrocarril, cronológicamente desde los más primitivos hasta los más sofisticados. Todos ellos se refieren a los trenes de ancho ibérico de 1,668 metros.

Bloqueo telefónico normal en vía única

Es un sistema basado casi exclusivamente en la intervención del factor humano mediante fórmulas de petición de vía libre para expedir un tren, concesión de vía libre para aceptarlo, todo ello registrado y con número de codificación en un libro de telefonemas, que tiende a ser eliminado por sus riesgos de fallo humano y sustituido por control de tráfico centralizado, bloqueo por radio, sistema de contador de ejes.

Fig. 1 Gabinete telefónico de la estación de Lleida
Fuente: Internet. Señalización ferroviaria.

Bloqueo telefónico normal en doble vía

El sistema se basa en el mismo principio que el anterior pero gestionando el bloqueo también por telefonemas para cada una de las dos vías que tienen cada una distinto sentido de circulación. El detalle del procedimiento es semejante al anterior.

Bloqueo eléctrico manual

En esta modalidad de bloqueo los Jefes de Circulación colaterales disponen de un sistema eléctrico con un cuadro de mando en cada estación y puede ser de dos tipos:

Petición y concesión de vía

*S*e sustituye la petición verbal de vía por una llamada eléctrica y un piloto que se enciende y su contestación que implica también la disposición de la señal de salida en verde de la estación que solicita la vía si puede concederla.

Sistema de toma de vía

La estación que quiere tomar la vía, si no hay ningún tren en el cantón acciona eléctricamente el cierre de la señal de salida de la colateral y con ello consigue que esta ya no pueda enviar ningún tren y a la hora de salida pone en verde la de salida de su estación y expide el tren con la orden de marcha. Empezó a utilizarse hacia 1964. (Figura 2)

Fig. 2 Cuadro de operaciones del bloqueo eléctrico manual
Fuente: Internet. Señalización ferroviaria

Bloqueo Automático en Vía Única (BAU)

Se trata de una tecnología que controla la circulación de trenes automáticamente en un tramo de vía única. La vía posee señalización para ambos sentidos de circulación., como podemos ver en el esquema de la figura 3.

Garantiza que una vía única entre dos estaciones dividida en tramos o cantones protegidos por señales en los dos sentidos que puede ser utilizado en mando local por los Jefes de circulación de dos estaciones colaterales por su condición tiene impedido el error de autorizar la salida o paso de un tren a un cantón ocupado por estar controlado este por su circuito de vía, su señal de acceso al mismo y el ASFA, para mayor seguridad. Estas funciones normalmente son asumidas por un Jefe de Control de Tráfico Centralizado sustituyendo la función de los Jefes de circulación de estación.

El primer CTC puesto en servicio empezó a funcionar en España en 1954, (Figura 4) entre Ponferrada y Brañuelas. Su tecnología era estadounidense GRS (General Railway Signal) y su aportación esencial desde un punto de vista tecnológico residía en permitir el mando a distancia a través de diferentes pulsadores y manetas, de las instalaciones de via, señales y agujas, para la elaboración de rutas y encaminamientos en las estaciones.

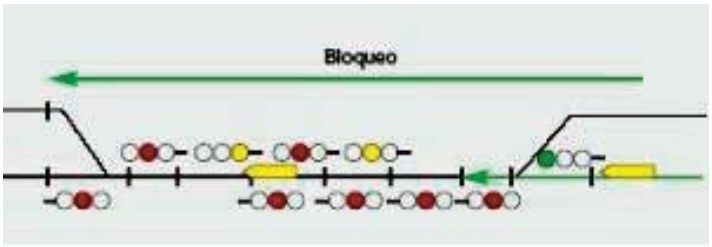


Fig. 3 Esquema de trayecto con Bloqueo automático en vía única[2]
Fuente: Internet. Señalización ferroviaria

El control físico de este primer CTC en España estaba ubicado en Ponferrada y queda reflejado en la siguiente fotografía**.** Figura 4

Fig. 4 Mesa de mando del CTC Brañuelas-Ponferrada inaugurada el 27-4-1954
Fuente: Internet. Señalización ferroviaria

Bloqueo Automático en Vía Doble (BAD)

Se trata de un Bloqueo Automático instalado en una vía doble. Cada una de las vías se utiliza para un solo sentido de circulación, por lo que cada vía posee señalización para su sentido y no para el contrario, como podemos ver en la figura 5. En España se inició su aplicación en el entorno de Madrid y Barcelona hacia 1922.

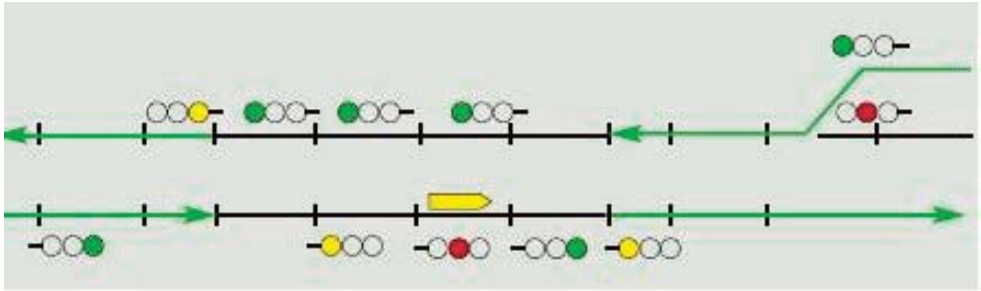


Fig. 5 Esquema de trayecto con Bloqueo automático en doble via
Fuente: Internet. Señalización ferroviaria

[2] Fuente Análisis de Mecánica y Electricidad. Revista de los Ingenieros de ICAI. Los trenes circulan aun por la izquierda.

Bloqueo Automático de Vía Doble Banalizada (BAB)

Se trata de un Bloqueo Automático instalado en una vía doble por la que pueden circular los trenes en cualquier sentido por ambas vías. Cada vía posee señalización en los dos sentidos y al término del cantón las señales se encuentran yuxtapuestas a dicho efecto. El efecto es similar al de dos BAU‘s (bloqueos automáticos en vía única) paralelos y puede estar gestionado también por un Jefe de Control de Tráfico Centralizado. En la figura 6 podemos ver su característica de señalización en línea del BAB

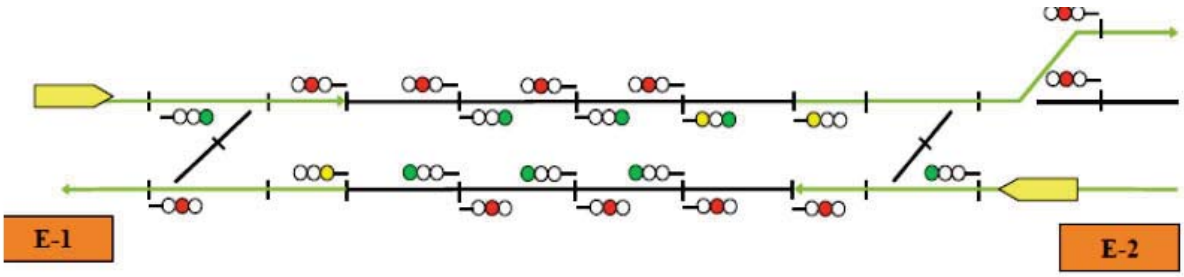


Fig. 6 Esquema de trayecto con Bloqueo automático banalizado[3]
Fuente: Internet. Señalización ferroviaria

El esquema de la figura 6 se corresponde, funcionalmente, con la fotografía de la figura 7 de forma que podemos ver en ambas vías las señales que limitan y protegen un cantón dispuestas para circular los trenes indistintamente por cualquiera de las dos vías facilitando con ello la agilidad de la circulación, la conservación de una vía a determinadas horas y el recurso en caso de una incidencia que inutilice una de las dos vías temporalmente y deba establecerse un bloqueo automático en vía única como el anteriormente expuesto.

Fig. 7 Vista de un de trayecto con bloqueo automático banalizado
Fuente: Internet. Señalización ferroviaria

[3] Fuente Anáisis de Mecanica y Electricidad. Revista de los Ingenieros de ICAI.

Bloqueo de Liberación Automática (BLA)

Este tipo de bloqueo funciona exactamente igual que el BA, con la diferencia de que, en lugar de usar circuitos de vía, se instalan contadores de ejes a la salida y a la entrada de las estaciones. El cantón no queda libre hasta que el contador de la estación receptora haya contado los mismos ejes que el contador de la estación expedidora. Sus primeras aplicaciones datan del año 1998.

Bloqueo de Liberación Automática en vía única (BLAU) con CTC

Este sistema se caracteriza por la instalación de contadores de ejes a la entrada y salida de las estaciones. El cantón no queda libre hasta que el contador de la estación receptora no haya contado los mismos ejes que el contador de la estación expedidora del tren.

El Control de tráfico centralizado (CTC)

El objetivo de controlar a distancia en un tramo de explotación ferroviaria todas las agujas , señales y los movimientos en estaciones, siguió un largo proceso que se inició con el establecimiento de los enclavamientos mecánicos que permitían concentrar en una *cabina el mando* de las agujas y señales de una estación mediante palancas y contrapesos que con una transmisión de alambre accionaban a distancia las mismas estableciendo relaciones de seguridad para impedir movimientos o recorridos incompatibles y haciendo compatibles sin embargo en algunos casos maniobra y paso de trenes por las mismas.

El siguiente paso motivado por la necesidad de aumentar la frecuencia de los trenes de cercanías de las grandes ciudades ya fue el *bloqueo automático* que gracias al circuito de vía permite dividir un trayecto de vía en varias partes denominadas cantones de unos 1200 metros de longitud, cada uno de los cuales tiene su acceso protegido por una señal de tres focos. Cuando entra un tren en este cantón por un sencillo principio de circuito eléctrico ocupado, la señal que lo protege enciende su lámpara roja y no permite que la rebase el tren siguiente.

Al avanzar el tren al cantón siguiente y ponerse en rojo la señal que lo protege la correspondiente que protege el cantón anterior pasa de rojo a amarillo y permite el avance de un tren que debe estar dispuesto a parar ante la señal siguiente, tal vez todavía en rojo.

De esta forma se establece una secuencia de cantones en rojo-amarillo-verde que se va desplazando y permite el avance de los trenes con la seguridad y una ínter- distancia mínima de dos cantones consecutivos que da la garantía de que no se alcancen los trenes pudiendo aplicarse en vía doble y también en vía única.

La implantación del CTC responde a la filosofía de conceder prioridad absoluta a las actuaciones que permiten reducir los riesgos derivados de la intervención humana en la circulación**,** aprovechando al máximo la capacidad de circulación de un tramo y línea a la vez que se aumenta la calidad de las instalaciones y de los sistemas con los que se trabaja, para lograr seguridad en la circulación y puntualidad en el cumplimiento de los horarios que son ofrecidos por RENFE. Especialmente garantiza también desde el punto de vista de la explotación que puede no ser preciso duplicar la vía en una línea sin antes haber obtenido el máximo rendimiento con el sistema CTC.

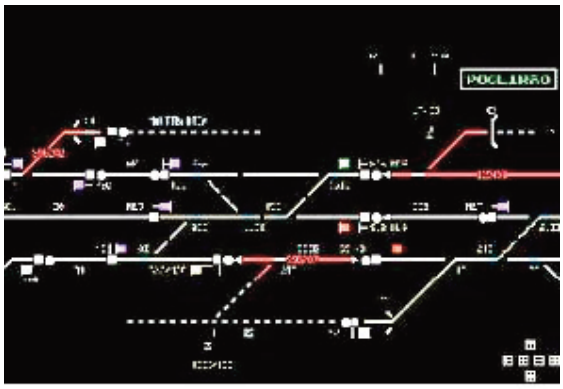


Figura 8 Pantallas CTC que registran posición de trenes y los envíos de órdenes
Fuente: Elaboración propia del autor Manual de circulación. Bloqueo de trenes

Entre 1975 y 1989, hizo su aparición un nuevo tipo de CTC para la regulación del tráfico ferroviario telemandado. La prestación que distinguía esta segunda generación era su capacidad de disociar el mando de agujas y señales de su comprobación o visualización. De esta forma, los elementos de mando para accionar agujas y señales adoptaron la forma de teclado y, separado de éste, en un panel sinóptico se representaban geográficamente las estaciones, señales y agujas.

El resultado ha sido una mejora de la visualización y del manejo. De una parte, porque es posible ampliar las dimensiones del panel y, de otra, porque se facilita la manipulación, ya que el operador tiene a su alcance el teclado de órdenes y el sistema de comunicaciones.

Un *Puesto de Mando de Delegación de Circulación*, incorpora básicamente los siguientes sistemas necesarios para las funciones que tiene encomendadas:

- CTC y regulación. Organización ejecutiva de la circulación de trenes
- Comunicaciones. Gestión y control de los sistemas de comunicación
- Control de energía. Control de subestaciones, seccionamientos en carga.
- Información al viajero .Generación de la información
- Control de estaciones a través del CTC de la Regulación
- Seguridad y protección civil. Control de incidencias y accidentes
- Sistemas de información de tráfico. Generación de gráficos en tiempo real
- Sistemas de gestión de tráfico.

En la figura 9 podemos ver una sala de CTC con el cuadro general y los puestos de Jefe de CTC.

El Control de Tráfico Centralizado consiste en la regulación de todas las señales y agujas situadas en el trayecto desde un punto único y mediante sistemas informáticos, lo que permite establecer la ruta de los diferentes trenes con las mayores garantías de seguridad y fiabilidad.

Las operaciones se realizan mediante un sistema de retroproyectores que reproducen la topografía de las vías y visualizan los diferentes trenes en circulación con su número y posición y una serie de ordenadores que dictan y ejecutan las órdenes.

La utilización de sofisticados sistemas informáticos que controlan los elementos de la infraestructura e impiden la ejecución de órdenes contradictorias y que, al mismo tiempo, visualizan en cada momento la situación de los trenes, aumenta considerablemente las condiciones de seguridad de la explotación ferroviaria. En la figura 10 podemos ver una sala de CTC de ADIF en Barcelona.

Figura 9 Sala de CTC. (Puesto de Mando de Barcelona).
Fuente: Cortesía de ADIF al autor, perteneciente al equipo directivo de la Gerencia Operativa de Barcelona. 1997

Los sistemas están diseñados de forma que aunque se produjera un error humano se garantizaría la seguridad, una vez que el tren está en un tramo de vía, el ordenador no ejerce ninguna orden contradictoria que pueda afectar a la seguridad.

El CTC implica la instalación de sistemas de enclavamientos en las estaciones, tendido de cables de comunicaciones, telemando, señalización, sistema de comunicación Tren-Tierra y obras complementarias de instalación de equipamientos. También desde la mesa del CTC se gobierna y controla la apertura y el cierre de los pasos a nivel dotados de semibarreras enclavadas, que funcionan normalmente.

Normalmente los únicos agentes responsables que participan en la circulación son el Jefe del CTC (por secciones) y los Maquinistas de cada tren y en algún caso a extinguir el guardabarreras, con los que mantienen la comunicación necesaria mediante la radiotelefonía de trenes normalmente con códigos de órdenes dadas por pulsadores o también si es necesario por conversación directa.

3. Separación mínima entre dos trenes consecutivos

En la figura 14.3.10 podemos ver un esquema de una línea con tres señales consecutivas la de la derecha en rojo ya que acaba de pasar un tren y debe protegerle mientras se encuentre el tramo de vía o cantón que protege esta señal, la señal siguiente en amarillo que advierte de que la derecha esta en rojo y la de la izquierda en verde que autoriza a circular si nada se opone al siguiente tren.

De esta forma regulando la distancia entre señal y señal en función de la distancia de frenado que necesitemos por la velocidad a la que se circula en la línea vemos que para que dos trenes consecutivos no tengan que reducir su velocidad es preciso que mantengan al menos dos cantones de distancia entre ellos. La distancia entre señales para velocidades máximas de 120 kms / h es de unos 1.200 metros.

Fig. 10 Separación mínima de dos trenes consecutivos
Fuente: Elaboración propia del autor

4. Función del sistema ASFA

ASFA (Anuncio de Señales y Frenado Automático), es un sistema de repetición de señales en cabina con ciertas funciones de control de tren. Se basa en la transmisión puntual vía-locomotora para garantizar el cumplimiento de las órdenes establecidas por las señales convencionales. Está operativo en 8691 kms de la Red de ADIF.

Su objeto fundamental es asegurar que los trenes cumplen rigurosamente las órdenes de las señales fijas y en el caso de que un tren no obedeciera la indicación de una señal de parada o la rebasara simplemente, actúa automáticamente el sistema de frenado de emergencia del tren.

El sistema embarcado en el vehículo transmite esa información al maquinista, que debe en todo caso reconocer su recepción. En caso de que pasados unos segundos tras la lectura de la baliza, no se produzca dicho reconocimiento, o no se adecue la marcha a las condiciones impuestas por la señal, el equipo ASFA ordena automáticamente al tren que se detenga, accionando el freno de emergencia.

En la figura 11, podemos ver el pupitre de conducción de una locomotora con el panel de mandos de ASFA en la parte central.

Figura 11. El ASFA en el pupitre de conducción
Fuente: ASFA Manual de circulación RENFE

RENFE adoptó ASFA en 1975 y empezó a entrar en servicio en 1978, es decir, en el trayecto Madrid a Guadalajara, mucho más tarde que otras administraciones ferroviarias europeas que ya habían generalizado sistemas simples de señalización en cabina y frenado de emergencia antes. Al ser un sistema más moderno, pudo utilizar "transponders" de alta frecuencia, lo que permite la transmisión de más datos del equipo de vía al del vehículo.

Figura 12. Baliza en la caja de la vía[4]
Fuente: Manual de Circulación. RENFE

Los equipos de vía, son básicamente de dos tipos, las balizas y las cajas de conexión, que transfieren la información de la señal a las balizas. Las balizas son dispositivos estáticos y pasivos, es decir, no necesitan alimentación para realizar la transmisión de la información, aunque sí para variar la información a transmitir. Las cajas de conexión toman información del aspecto de la señal y esa información es transmitida, a través de las balizas, al pasar el tren.

ASFA digital

ADIF aprobó, en 2005, un proyecto para el desarrollo e implantación de nuevos equipos ASFA embarcados en las locomotoras y automotores y realizar las adaptaciones necesarias en los equipos en vía. Es el llamado ASFA digital que contempla dos fases. El término "digital" se refiere al procesado de datos y no a la transmisión de datos por las balizas, que no es por mensajes digitalizados, sino que sigue siendo sólo un dato por frecuencia. En la figura 13 podemos ver el aspecto en el pupitre de la de cabina.

La primera fase, llamada **"**ASFA Digital modo básico**"** empezó a entrar en servicio en septiembre de 2007 y consiste en el cambio de parte de los equipos embarcados con la incorporación de "hardware de tecnología digital**"** que permite la supervisión de la velocidad del tren tras reconocer una señal (curva de frenado) y *ofrece una nueva iconografía en una pantalla* ***que recuerda al maquinista en todo momento la señal que ha reconocido, para que pueda cumplimentarla*** con lo que se evitan "posibles errores en la interpretación de la indicación de las señales".

[4] Fuente: del Fascículo de ASFA , que forma parte del Manual de Circulación de ADIF.

Fig. 13. Pupitre de locomotora con ASFA DIGITAL[5]
Fuente: ASFA.Declaración Red .ADIF

Esta primera fase no exige que ADIF efectúe modificaciones en los equipos de tierra. En la figura 14 podemos ver una señal de paso a nivel dotada de ASFA.

Figura 14. Señal de PN dotada de ASFA[6]
Fuente: ASFA Manual de Circulación

En una segunda fase, que requiere cambios en los equipos de tierra por parte de ADIF, será posible dar más indicaciones al maquinista en cabina, ya que **"ASFA Digital"** utilizará en el futuro las nueve frecuencias disponibles, en vez de las cinco que se usan actualmente**.** Las nuevas frecuencias permitirán indicaciones separadas para "paso a nivel protegido", "anuncio de precaución", "baliza previa de señal de salida en indicación de parada" e "indicación de preanuncio de parada". El ASFA Digital modo básico" en septiembre de 2007, indica que la implantación de ASFA Digital' persigue "reducir el riesgo de accidente por fallo humano en un 60%" y que ASFA Digital debe ser la señalización principal en las líneas convencionales".

[5] Línea de Moncada Bifurcación a Ripoll. Archivos de servicio del Autor.

[6] Línea de Moncada Bifurcación a Ripoll. Archivos de servicio del Autor.

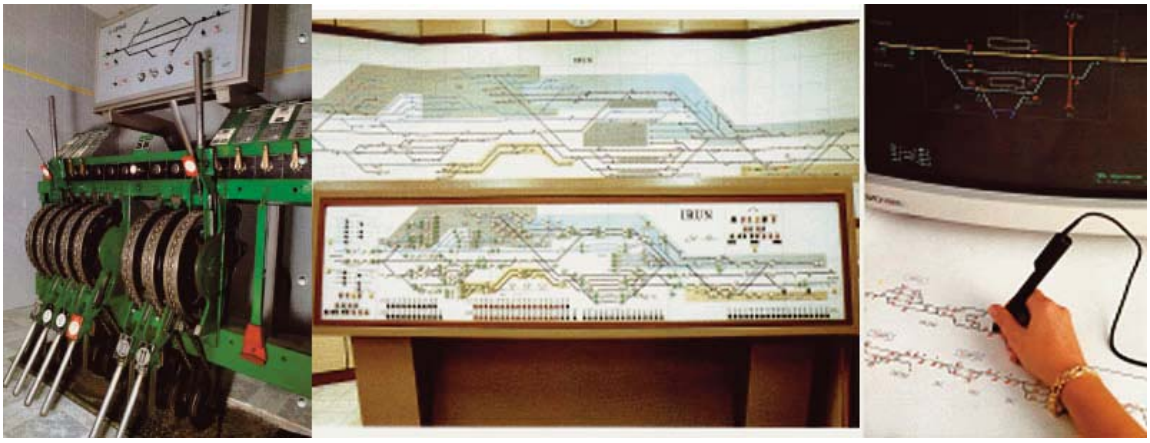
5. Sistemas de enclavamientos. Movimiento de trenes

A través de los sistemas de bloqueo hemos visto como se garantiza la seguridad en la circulación entre dos estaciones colaterales por diversos sistemas que van evolucionando según las innovaciones que integran y aumentando con ello la seguridad y por tanto reduciendo accidentes por colisiones como ha sucedido en el periodo de estudio, 1975-2009.

También hemos visto como los sistemas de bloqueo, integran la señalización para hacer posible la circulación segura manteniendo siempre las distancias de seguridad o garantizando que no se van a autorizar los movimientos de trenes que sean incompatibles y puedan generar un accidente**.**

Corresponde pues ahora considerar como puede garantizarse con la tecnología actual los movimientos seguros en las estaciones ya sea de paso con parada o sin parada y al mismo tiempo como pueden hacerse maniobras en otras vías que no sean las de circulación

En una estación o bifurcación o instalación ferroviaria similar, se considera enclavamiento la relación de dependencia entre la posición de aparatos agujas-calces, escapes, barreras, semibarreras y la indicación de las señales. A lo largo de los años han ido evolucionando siendo primero simples cerraduras centrales y cerrojos Bourè, después de concentraciones de palancas, después eléctricos y actualmente electrónicas. En la figura 15 pueden verse imágenes de la evolución de los sistemas de enclavamientos:



1940 *Mecánicos* | 1970 *Eléctricos* | 1990 *Electrónicos*

Fig. 15. Evolución de los enclavamientos y sus mesas de control[9]
Fuente: Elaboración propia del autor con imágenes del Manual de Circulación de RENFE

Su objeto es garantizar la seguridad de las circulaciones mediante la posición adecuada de los aparatos y las órdenes correspondientes de las señales.

La instalación de enclavamiento y su modernización continuada han contribuido básicamente a establecer y asegurar itinerarios de entrada y salida de trenes y maniobras y a:

- Garantizar una correcta relación entre agujas y señales correspondiente a
- Itinerarios posibles que pueden realizarse en una estación o en una bifurcación

[7] Manual de Circulación de RENFE.

- Agilidad máxima en la realización de las operaciones de itinerarios.

- Garantizar las incompatibilidades entre itinerarios que originarían un accidente.

- Reducir casi a cero el personal de accionamiento de agujas y los supervisores de los mismos pudiendo accionarse todo desde una mesa de enclavamiento o últimamente desde un teclado y un monitor, incluso a distancia de la estación donde está instalado el enclavamiento.

- Como se comprende esta innovación ha tenido con toda probabilidad una importancia relevante en la reducción de accidentes por fallo humano.

En efecto, en la figura 16, vemos una estación dotada de señalización y enclavamiento que le permite realizar operaciones de entrada y salida de trenes o bien pasos directos por la misma sin realizar parada, con toda seguridad

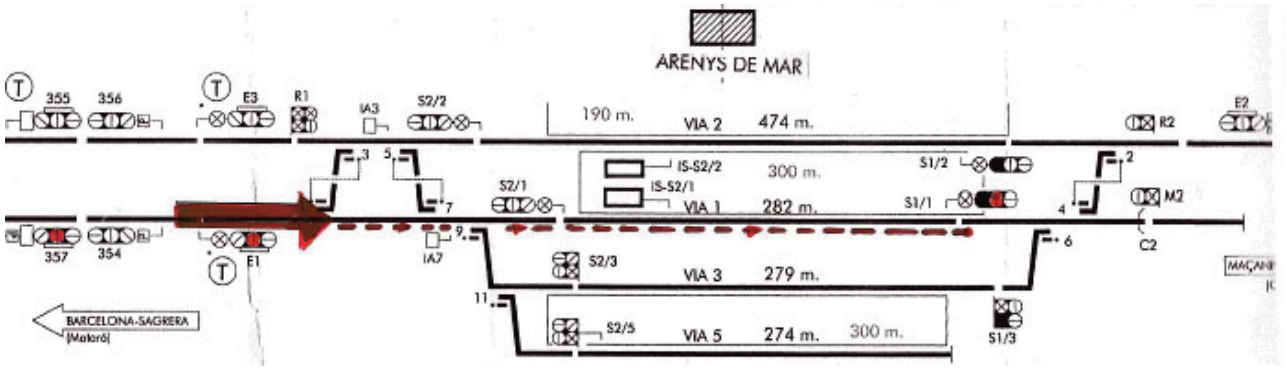


Fig. 16. Esquema de una estación con señalización y enclavamiento
Fuente: Elaboración propia del autor a partir de la Consigna de Enclavamiento de la estación de Arenys

Cada línea negra representa una vía y las discontinuidades, los límites de circuitos de vía es decir los tramos de vía protegidos por las señales mientras un tren está sobre esa vía está protegido por delante y por detrás**.**

Cada movimiento que se puede realizar implica unos condicionamientos de seguridad, de forma que las señales no permiten autorizarlo si es incompatible con cualquier otro. Así , si se desea recibir un tren procedente de Barcelona Sagrera por la vía 1 y estacionarlo en la misma vía 1 los escapes 1-3 y 5-7 deben estar en posición normal es decir que permitan la entrada directa a la vía 1, el desvío nº 9 también en posición normal y la señal de entrada en amarillo (anuncio de parada) para efectuar parada en la estación ante la señal de salida S1/1 que es la que autorizaría la salida hacia la estación colateral de Canet de Mar, trayecto en vía única.

Si al mismo tiempo quisiéramos recibir un tren procedente de Maçanet para estacionarlo en la vía 1 el sistema no lo permitiría ya que se produciría una colisión frontal y la señal E2 estaría en rojo. En cambio si deseamos recibir el mismo tren en la vía 2, si podríamos poner la señal E2 en verde o en amarillo ya que este movimiento de entrada a vía 2 es compatible en seguridad con la entrada procedente de Barcelona a vía 1.Todas estas relaciones se establecen en un sistema eléctrico o electrónico que se denomina enclavamiento y que nos garantiza la seguridad de las operaciones en la estación y la entrada y salida de trenes a la misma.

El enclavamiento va complementado por el sistema ASFA, que garantiza que si el Maquinista del tren no se detiene ante una señal en parada (rojo) enviará una orden automática de frenado de urgencia al tren para evitar una colisión.

6. Otros sistemas de seguridad en la circulación

La radiotelefonía de trenes

La radiotelefonía de trenes denominada inicialmente tren-tierra, tiene por objeto facilitar la información necesaria a los agentes para adoptar decisiones que afecten o puedan afectar a la circulación de los trenes, especialmente en caso de anormalidad y también contribuir en cuanto sea posible a eliminar o impedir situaciones de peligro que pudieran presentarse durante la circulación de los trenes y de hecho han evitado accidentes o reducido mucho sus proporciones.

El sistema está constituido esencialmente por un Puesto Central de Radio , unos Puestos Móviles en los trenes, unos equipos portátiles y unos Puestos Fijos situados a lo largo de la línea .La comunicación radiotelefónica se establece entre el Puesto Central y los Puestos Móviles o Portátiles por el intermedio de los Puestos Fijos. En la figura 17 podemos ver un esquema de la banda de regulación.

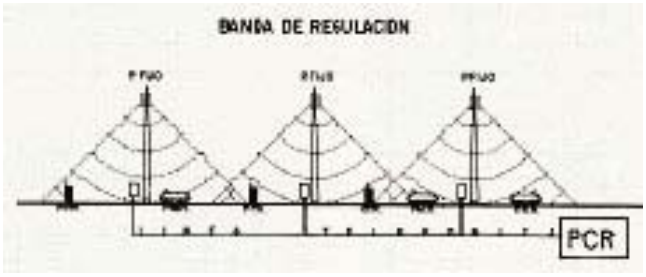


Fig.17 Banda de regulación
Fuente: Manual de Circulación de RENFE. Radiotelefonia de trenes

En la figura 18 la pantalla de comunicación ubicada a la izquierda del pupitre de conducción con sus pulsadores de acción rápida para cada función

Fig. 18. Pantalla en cabina
Fuente: Manual de Circulación de RENFE. Radiotelefonia de trenes

El Puesto Móvil que circula por la línea se conecta automáticamente con el Puesto Fijo más cercano que es en general con el que existe mejor transmisión por radio y desde éste pasa la comunicación telefónica al Puesto Central a través de la línea telefónica. El sistema tiene diversas modalidades de funcionamiento que permiten establecer comunicaciones individuales y en algunos casos secretas entre los distintos tipos de Puestos dominando el PCR que es el Puesto Central de Radio.

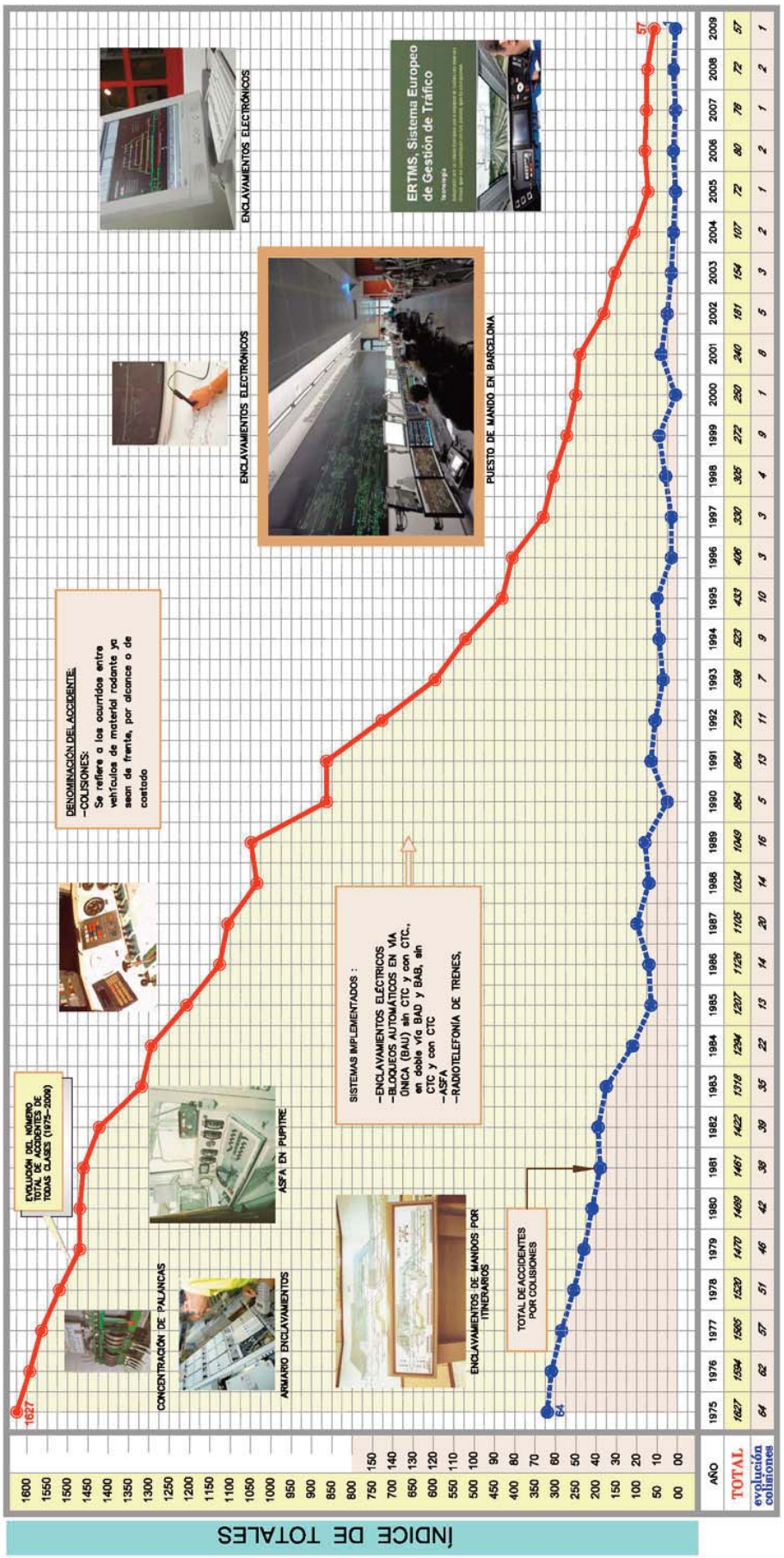
Hombre muerto de control periódico en cabina de conducción

Dispositivo de seguridad instalado en todas las cabinas de conducción de cualquier vehículo motor. Este sistema, que actualmente se denomina d**ispositivo de Vigilancia Hombre-Muerto***,* tiene como misión activar el frenado de emergencia en el caso de que maquinista sufra un desvanecimiento.

7. Evolución del número total de accidentes por colisiones

Representamos en una gráfica cuyo titulo es EVOLUCIÓN DEL NÚMERO TOTAL DE ACCIDENTES POR COLISIONES, GR-6, que se inserta a continuación, la evolución de accidentes de todas clases en el periodo 1975-2009 (línea en color rojo). Sobre el mismo gráfico y en color azul representamos también la evolución especifica del número de colisiones a 31 de diciembre de cada año desde 1975 a 2009, periodo de estudio

En esta gráfica, a la izquierda tenemos dos escalas que son respectivamente las correspondientes al total de accidentes de todas clases (0-1600) y la específica de colisiones (0-150).


CONTRIBUCIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS INNOVACIONES TECNOLÓGICAS EN LA MEJORA DE LA SEGURIDAD DEL SISTEMA FERROVIARIO ESPAÑOL
EVOLUCIÓN DEL NÚMERO TOTAL DE ACCIDENTES POR COLISIONES
ÍNDICE DE TOTALES
EVOLUCIÓN DEL NÚMERO TOTAL DE ACCIDENTES DE TODAS CLASES (1975–2009)
DENOMINACIÓN DEL ACCIDENTE:
–COLISIONES:
Se refiere a los ocurridos entre vehículos de material rodante ya sean de frente, por alcance o de costado
SISTEMAS IMPLEMENTADOS :
–ENCLAVAMIENTOS ELÉCTRICOS
–BLOQUEOS AUTOMÁTICOS EN VIA ÚNICA (BAU) sin CTC y con CTC., en doble vía BAD y BABI, sin CTC y con CTC
–ASFA
–RADIOTELEFONÍA DE TRENES.
TOTAL DE ACCIDENTES POR COLISIONES
ENCLAVAMIENTOS DE MANDOS POR ITINERARIOS
ASFA EN PUPITRE
ARMARIO ENCLAVAMIENTOS
CONCENTRACIÓN DE PALANCAS
ENCLAVAMIENTOS ELECTRÓNICOS
ENCLAVAMIENTOS ELECTRÓNICOS
PUESTO DE MANDO EN BARCELONA
ERTMS, Sistema Europeo de Gestión de Tráfico
AÑO 1975 1976 1977 1978 1979 1980 1981 1982 1983 1984 1985 1986 1987 1988 1989 1990 1991 1992 1993 1994 1995 1996 1997 1998 1999 2000 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009
TOTAL 1627 1594 1585 1520 1470 1469 1461 1422 1310 1294 1207 1126 1105 1034 1049 864 864 729 589 523 433 406 330 325 272 250 240 181 154 107 72 60 78 72 57
evolución colisiones 64 62 57 51 46 42 38 39 35 22 13 14 20 14 16 5 13 11 7 9 10 3 3 4 9 1 8 5 3 2 1 2 1 2 1

8. Actuaciones realizadas y la reducción de accidentes por colisiones.

Las informaciones obtenidas por el autor por sus propias notas en el periodo de actividad laboral en RENFE y después en las Direcciones de Seguridad de RENFE y de ADIF se han centrado en jalonar la situación de cada sistema implementado en cuatro fechas que se indican a continuación con objeto de, posteriormente, asociar su evolución a la gráfica de accidentes y analizar la posible correlación de estos y su reducción.

Partiendo pues de unas condiciones de explotación primitiva con métodos de bloqueo de trenes telefónico y de un manejo de agujas y señales manual o enclavamiento Bourè y cerradura central, o enclavamientos mecánicos, se han implementado sucesivamente los sistemas que se indican a continuación observando una elevación progresiva del nivel de seguridad, por la reducción continuada de accidentes. Se ha realizado:

- Los enclavamientos eléctricos y electrónicos en las estaciones cuyas características se han mencionado antes.

- La implementación de bloqueos eléctricos manuales. y automáticos, también antes mencionados con elevados niveles de seguridad

- La implementación de bloqueos automáticos banalizados en doble vía con control de tráfico centralizado o sin el que además de elevar la seguridad han contribuido a un mejor aprovechamiento de las instalaciones para hacerlas compatibles con conservación de día a determinadas horas en una de las dos vías.

- La instalación del sistema ASFA (Aviso de señales y frenado automático)

- El control de tráfico centralizado y sus diversas funciones ya descrito

- El ASFA digital como sistema avanzado del ASFA inicialmente instalado,

- La radiotelefonía de trenes como facilidad de comunicación permanente entre el Centro de Control de Tráfico y los Maquinistas de los trenes u otras personas autorizadas en misión de línea.

Tomando como base pues, en función de la disponibilidad de datos fiables, cuatro fechas centradas en los años 1975, 1985, 1998 y 2009 establecemos una tabla con las fechas indicadas y los medios de explotación aplicados en cada fecha de manera que de una visión de conjunto y evolutiva de la mejora de los medios y el aumento del nivel de seguridad como se verá en un gráfico que se insertará posteriormente a las tablas 1 y 2.

Tabla nº 1 Evolución de la tecnologia de seguridad e innovación tecnologica (enclavamientos, bloqueos, ASFA y radiotelefonia de trenes y accidentes por colisiones)

INNOVACIÓN TECNOLÓGICA	1975	1985	1998	2009	Observaciones
SIN ENCLAVAMIENTO	620	376	194	72	
ENCLAVAMIENTO BOURÉ	468	317	272	48	
ENCLAVAMIENTO MECÁNICO	391	286	203	109	
ENCLAVAMIENTO HIDRODINÁMICO	8	6	3	1	
ENCLAVAMIENTO ELÉCTRICO	182	441	660	477	
ENCLAVAMIENTOS ELECTRÓNICOS	0	37	43	544	
BLOQUEO TELEFÓNICO Kms	8.165	5.951	4.699	2.543	
BLOQUEO ELÉCTRICO MANUAL Kms	2.194	912	847	97	
BLOQUEO AUTOMÁTICO Kms	568	1.835	1.665	247	Fuente: Adif. Declaración 2008 Fuente: Memoria Renfe 1985
CONTROL TRÁFICO CENTRALIZADO (CTC) Kms	1.178	2.493	3.980	8.304	Fuente: Adif. Declaración 2008
ASFA (Inicio en 1978) Kms de línea	0	6.030	7.958	10.165	Fuente: Adif. Declaración 2008
RADIOTELEFONÍA DE TRENES (Inicio en 1978)	0	0	4.148	8.395	Fuente: Adif. Declaración 2008
ACUMULADO DE ACCIDENTES POR COLISIONES A 31 DE DICIEMBRE DE LOS AÑOS 1975, 1985, 1998 Y 2009	64	13	4	1	

Fuente: Plan Renfe 1972-1975. 150 Años de Historia de los Ferrocarriles Españoles y Dirección de Seguridad en la Circulación de RENFE

Unas breves observaciones sobre los datos de la tabla y su evolución por conceptos únicamente para reparar en algunos hechos que implican una sensible mejora en las condiciones de explotación y de seguridad en los distintos años considerados.

a) Año 1975

- Una explotación en la que existen 620 estaciones sin enclavamiento es decir con agujas libres accionadas por el factor humano (guardagujas con órdenes verbales directas o por teléfono) y disco rojo de parada diferida con farol de aceite y poste de punto protegido, es decir condiciones propicias al accidente por fallo humano.

- 468 estaciones con cerradura Bourè y señales luminosas concebidas básicamente en 1950 para asegurar el paso de los trenes directos, expresos y rápidos que era la tecnología mínima para pasar sin parar por las estaciones de noche, mercancías, etc.

- 391 enclavamientos mecánicos y solamente 182 con enclavamiento eléctrico y como antes se han indicado 620 estaciones sin enclavamiento.

- 8.165 kms de bloqueo telefónico con todos sus riesgos de factor humano de los 12000 kms que tenia la Red aproximadamente en dicho año.

- El número de accidente de todas clases fue de 1626, punto de partida del presente estudio y de ellos 64 accidentes por colisiones objeto de este Capítulo.

b) Año 1985

- Las estaciones sin enclavamiento se reducen de 620 a 376, se duplican las estaciones con enclavamiento eléctrico y aparecen los primeros en enclavamientos electrónicos en grandes estaciones.

- Aumentan el bloqueo automático y el CTC, con retroceso del bloqueo telefónico

- Aparecen en servicio 6030 kms del sistema ASFA instalados a partir de 1978 con unos resultados de eficacia excelente pues el número total de accidentes de todas clases se reduce de 1626 a 1213 pero es significativo que las colisiones en este periodo de 1975 a 1985 se reducen de 64 a 13 .Una gran nota de eficacia elevada pues a favor del sistema ASFA entre otras implementaciones.

c) Año 1998

- Disminuyen las estaciones sin enclavamiento y con enclavamiento Bourè**,** aumentando notablemente los enclavamientos eléctricos que proporcionan elevado nivel de seguridad y de agilidad en la preparación de itinerarios, muy importante en estaciones con gran tráfico de CercanÍas.

- Continúa el mismo ritmo de descenso de estaciones sin enclavamiento y con enclavamiento Bouré y aumentan los enclavamientos eléctricos.

- Se produce un trasvase de kms de bloqueo automático a este con control de trafico centralizado (CTC) en que proporciona mayor agilidad en la explotación aplicado a líneas de gran tráfico como son el entorno de las grandes ciudades.

- Un avance importante en la continuación de la instalación de ASFA que aumenta un 20 % en 10 años y lo que es muy importante los accidentes por colisiones se reducen de 13 en 1985 a 4 en 1998, descendiendo también los accidentes globales de 1213 a 306.

d) Año 2009

Finalmente en este año, final del presente estudio se logra una reducción muy importante de estaciones sin enclavamiento y con enclavamiento Bourè, el bloqueo telefónico se reduce a 2543 kms en líneas de débil trafico 8304 kms de líneas con CTC de un total de 11000 aproximadamente y a un aumento de líneas dotadas de ASFA con 10165 kms casi un 90 % de los kms de vía existentes

El año 2009 cierra con un total de 57 accidentes de todas clases y de ellos 1 por colisiones, cifras que ponen en evidencia la eficacia de la acción preventiva realizada en los accidentes por colisiones, en las que pende la vida de viajeros, empleados y a menudo terceros.

9. Gráfico de implementación de nuevas tecnologías y evolución de las colisiones.

En 1975, cada una de los 4 grupos de 3 barras, que se divide en tramos, se parte de unos kms totales de la Red que eran 12.105 aproximadamente.

En la barra de izquierda se representan cada uno de los sistemas de bloqueo existentes mediante tramos con iluminados con distintos colores y podemos ver como en 1975 predomina mayoritariamente el bloqueo telefónico y apuntan los automáticos (bloqueo eléctrico manual BEM, bloqueo automático BA y CTC que corresponde a los de Galicia, León, y Asturias. No se ha iniciado el ASFA ni se ha iniciado tampoco la radiotelefonía de trenes. El total de accidentes por colisiones es de 64.

En 1985 si observamos el segundo grupo de tres barras, la de la izquierda representativa de el número de kms de línea de cada clase, retrocede el bloqueo telefónico y avanzan CTC y bloqueo automático, habiéndose instalado 6030 kms de sistema ASFA y ninguno de radiotelefonía todavía. Los accidentes por colisiones anuales descienden coincidiendo con la siguiente variación de los medios tecnológicos:

En el periodo 1985-1998 las líneas equipadas con bloqueo automático con CTC aumentan retrocediendo el bloqueo telefónico, un avance importante los kms de línea dotados de ASFA.

Finalmente el periodo 1998-2009 registra un avance espectacular en líneas dotadas de CTC y únicamente 2543 kms de bloqueo telefónico en líneas de débil trafico que posteriormente serán tributarias de Bloqueo eléctrico manual, bloqueo por radio o algún otro tipo de las modernas modalidades existentes.

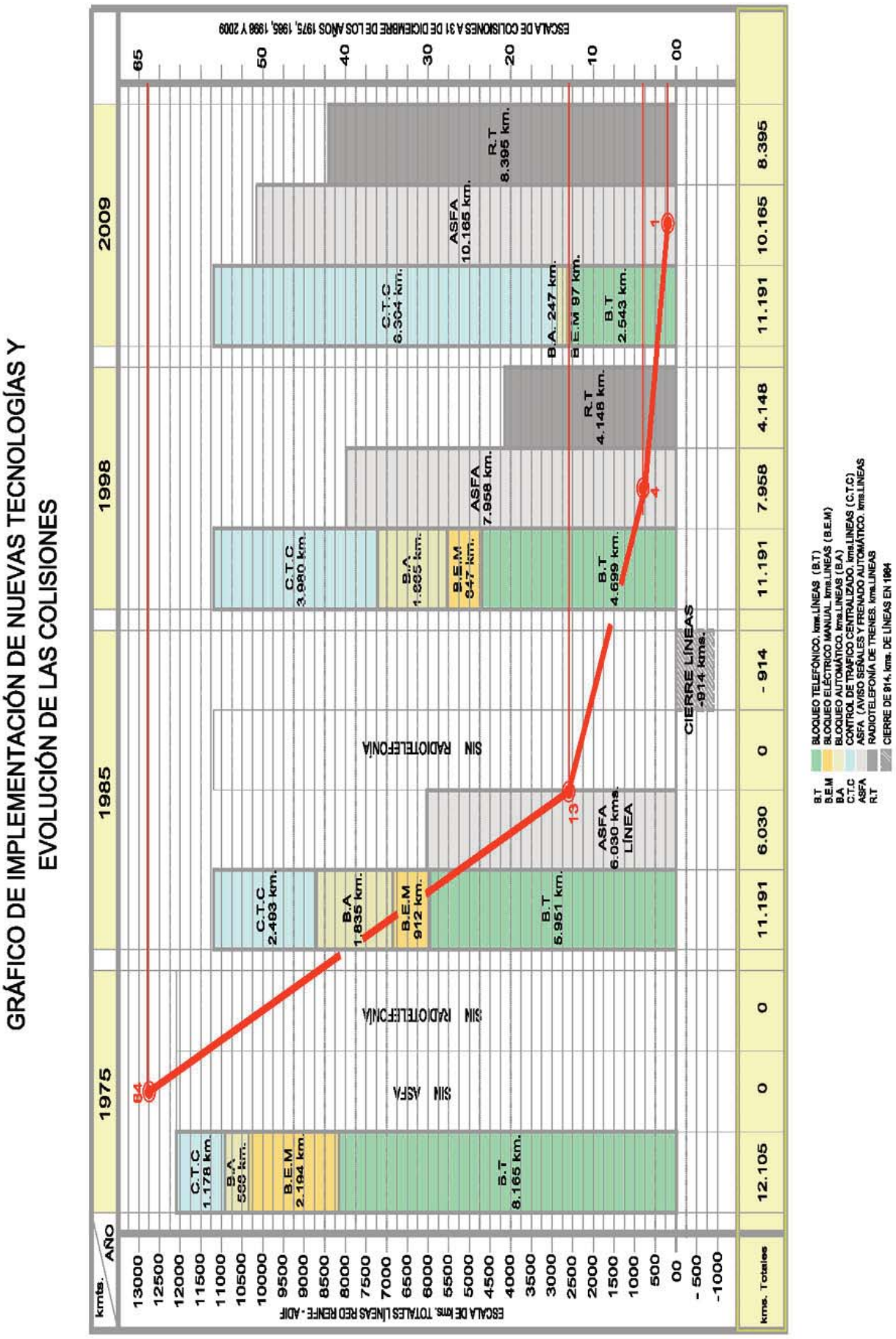


GRÁFICO DE IMPLEMENTACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS Y
EVOLUCIÓN DE LAS COLISIONES
ESCALA DE COLISIONES A 31 DE DICIEMBRE DE LOS AÑOS 1975, 1985, 1998 Y 2009
ESCALA DE kms. TOTALES LINEAS RED RENFE - ADIF
kmts.
AÑO
1975
1985
1998
2009
kms. Totales
12.105
0
11.191
6.030
0
- 914
11.191
7.958
4.148
11.191
10.165
8.395
C.T.C 1.178 km.
B.A 589 km.
B.E.M 2.194 km.
B.T 8.165 km.
SIN ASFA
SIN RADIOTELEFONÍA
C.T.C 2.483 km.
B.A 1.835 km.
B.E.M 912 km.
B.T 5.951 km.
ASFA 6.030 kms. LÍNEA
CIERRE LÍNEAS -914 kms.
C.T.C 3.980 km.
B.A 1.835 km.
B.E.M 847 km.
B.T 4.699 km.
ASFA 7.958 km.
R.T 4.148 km.
C.T.C 6.304 km.
B.A. 247 km.
B.E.M 97 km.
B.T 2.543 km.
ASFA 10.185 km.
R.T 8.395 km.
64
13
4
1
B.T BLOQUEO TELEFÓNICO. kms.LÍNEAS (B.T)
B.E.M BLOQUEO ELÉCTRICO MANUAL. kms.LÍNEAS (B.E.M)
B.A BLOQUEO AUTOMÁTICO. kms.LÍNEAS (B.A)
C.T.C CONTROL DE TRÁFICO CENTRALIZADO. kms.LÍNEAS (C.T.C)
ASFA (AVISO SEÑALES Y FRENADO AUTOMÁTICO. kms.LÍNEAS
R.T RADIOTELEFONÍA DE TRENES. kms.LÍNEAS
CIERRE DE 914. kms. DE LÍNEAS EN 1984

10. Enclavamientos en estaciones

Como ya se ha indicado anteriormente los enclavamientos de las estaciones son sistemas para establecer y asegurar itinerarios de entrada y salida de trenes y maniobras. Al mismo tiempo nos garantizan una correcta relación entre agujas y señales correspondiente a cada itinerario que queramos establecer y si son más de uno nos aseguran que no sean incompatibles ya que de si lo fueran el sistema no lo permitiría. En todos los casos nos proporcionan agilidad máxima en la realización de las operaciones.

Tabla nº 2. Evolución de los enclavamientos en estaciones

INNOVACIÓN TECNOLÓGICA	1975	1985	1998	2009	Observaciones
SIN ENCLAVAMIENTO	620	476(1)	234	97	
ENCLAVAMIENTO BOURÉ	468	317(1)	272	9	
ENCLAVAMIENTO MECÁNICO	391	286(1)	251	181	
ENCLAVAMIENTO HIDRODINÁMICO	8	6	3	1	
ENCLAVAMIENTO ELÉCTRICO	182	441	660	524	
ENCLAVAMIENTOS ELECTRÓNICOS	0	37	43	574	

(1) En 1984 se cerraron 914 kms de líneas.

En la implementación de sistemas innovadores se ha pasado de tener las estaciones, como antes ya se ha indicado, hasta finales de 1969, con agujas libres y únicamente un disco rojo de parada diferida que aseguraba, la distancia suficiente de parada hasta un punto negro, llamado poste de punto protegido que limitaba la salida de la estación para hacer maniobras

Por otra parte era el punto donde los trenes que habían encontrado el disco rojo debían detenerse y que estaba después de la primera aguja de la estación, a pequeñas mejoras como fueron los enclavamientos Bourè concebidos para realizar combinaciones entre itinerarios y posición de las agujas, después se construyeron cabinas para concentrar palancas de accionamiento de las agujas a distancia también asegurando que nunca fueran incompatibles los itinerarios y ya finalmente los enclavamientos eléctricos y electrónicos en que las agujas se mueven mediante motores eléctricos que además quedan encerrojados en su posición para asegurar su inmovilidad al paso de los trenes.

11. Conclusiones

En resumen podemos concluir este capítulo con las siguientes conclusiones**:**

- La implementación de sistema ASFA a partir de 1978 con 6030 kms hasta un total de 10165 kms de línea entre 1978 y 2009 unido a otros factores puede establecerse que redujo las colisiones desde 64 en 1975 a 1 en 2009.

- El ASFA instalado tiene carácter de control puntual de la velocidad del tren y cuando al pasar por una baliza, aquella no es adecuada activa el freno de emergencia evitando sin duda accidentes por colisiones. Posteriormente se ha mejorado el sistema con el ASFA DIGITAL que supone un control continuo de la velocidad con mayor eficacia todavía.

- La instalación de enclavamientos eléctricos y electrónicos en las estaciones sustituyendo a otros más rudimentarios y complementados con el ASFA, han elevado notablemente el nivel de seguridad, aumentado la agilidad de su preparación y anulación permitiendo la aplicación de mejores aceleraciones y deceleraciones en los procesos de arranque y parada de los trenes.

- Los nuevos sistemas de bloqueo automático, automático banalizado, complementados con el ASFA han elevado la seguridad, la capacidad de circulación de las líneas y la facilidad de circulación y también la posibilidad de la conservación de vía y catenaria circulando en vía única sin reducción de velocidad.

- La ampliación del control de tráfico centralizado del cual en 1975 ya existían 1178 kms al instalarse los primeros CTC, en Asturias y León ha agilizado la explotación al tiempo que se han reducido costes de personal.

- La implementación de la radiotelefonía de trenes a partir de 1987 ha sido un gran avance en la facilidad de comunicación evitando medios tan anacrónicos como los teléfonos de pértiga, el bajarse a la señal de entrada estando esta en rojo para recibir una autorización de rebase y en una emergencia abre la posibilidad de tomar decisiones que se transmiten y cumplen de inmediato pudiendo evitar o disminuir la importancia de accidentes.

- Paralelamente a este proceso de innovación de los sistemas de bloqueo y explotación han ido descendiendo los kms de explotación con bloqueo telefónico de mayor riesgo para seguridad en la circulación.

Referencias bibliográficas

[1] DENOMINACIÓN DE LAS CLASES DE ACCIDENTES FERROVIARIOS [RENFE (1997)]. Norma Técnica de Tratamiento de Accidentes de Circulación. Dirección de Inspección y Seguridad de RENFE

[2] EL SISTEMA ASFA (AVISO DE SEÑALES Y FRENADO AUTOMÁTICO). Manual de Circulación RENFE anejo al REGLAMENTO GENERAL DE CIRCULACIÓN.

[3] FUNDACIÓN DE LOS FERROCARRILES ESPAÑOLES 1995.150 AÑOS DE HISTORIA DE LOS FERROCARRILES ESPAÑOLES. ISBN de RENFE. Fundación de los Ferrocarriles Españoles. ISBN 84-88675-57-7

[4] FUNDACIÓN DE LOS FERROCARRILES ESPAÑOLES. OBRAS PÚBLICAS EN CATALUÑA. PRESENTE, PASADO Y FUTURO. 2003.Fundación de los Ferrocarriles Españoles

[5] JEAN ALIAS Y ANTONIO VALDÉS. 1990. La vía del ferrocarril. Librería Editorial Bellisco Madrid. ISBN 84-85198-43-3.

[6] LEY 39/2003 DE 17 DE NOVIEMBRE DEL SECTOR FERROVIARIO que dispone, que la entidad pública empresarial Red Nacional de los Ferrocarriles Españoles pase a denominarse Administrador de Infraestructuras Ferroviaria

[7] LEY DE BASES DE ORDENACIÓN FERROVIARIA Y DE TRANSPORTES POR CARRETERA DE 24 DE ENERO DE 1941.

[8] LIBRO BLANCO DE TRANSPORTES. MINISTERIO DE TRANSPORTES 1987

[9] LÓPEZ PITA A. 2004. FERROCARRIL, INGENIERÍA Y SOCIEDAD. Real Academia de Ingeniería. Madrid ISBN 84-95662-23-X

[10] LÓPEZ PITA A 2006 a) INFRAESTRUCTURAS FERROVIARIAS. 2006. Ediciones UPC. Cenit. ISBN 2006- 25777

[11] LÓPEZ PITA A 2006 b) LA EXPLOTACIÓN FERROVIARIA. Explotación convencional en ancho IBERICO

[12] LÓPEZ PITA A, MANTENIMIENTO DE VÍA. INFRAESTRUCTURAS FERROVIARIAS. Ediciones UPC 2006.c) Producción Comgrafic S.A., I.S.B.N.:25577-2006

[13] 987-84-8468-363-6—LOSADA MARTÍNEZ M.1995. CURSO DE FERROCARRILES. MECÁNICA DE LA VÍA. ETS, Ingenieros de Caminos, canales y puertos. ISBN 978-847- 493- 2256

[14] LOZANO P. EL LIBRO DEL TREN. Fundación de los Ferrocarriles Españoles. I.S.B.N. 84-96.052-84-2

[15] OLIVEROS RIVES F.1980 a) TRATADO DE EXPLOTACIÓN DE FERROCARRILES. Tomo I Planificación.

[16] OLIVEROS RIVES F.1980 b). MADRID. LA VÍA. Editorial Rueda. I.S.B.N.: 84-7207-005-0

[17] OLIVEROS RIVES F.1983, TRATADO DE FERROCARRILES INGENIERÍA CIVIL E INSTALACIONES. Editorial Rueda

[18] PONCE DE LEÓN, FERNANDO .2011. UNIVERSIDAD DE COMILLAS. LOS SISTEMAS DE CONTROL DE TRÁFICO Y SEÑALIZACIÓN. ISBN

[19] PLAN ESTRATÉGICO DE INFRAESTRUCTURAS Y TRANSPORTE 2005-2020 (PEIT) a política de infraestructuras y transportes del Ministerio de Fomento viene establecida en el Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte 2005-2020 (PEIT).

[20] PLAN DE MODERNIZACIÓN DE RENFE 1964-1973

[21] PLAN RENFE 1972.1975

[22] PLAN GENERAL DE INSPECCIÓN Y SEGURIDAD 1992. RENFE. DIRECCIÓN GENERAL DE INFRAESTRUCTURA.

[23] REAL DECRETO 2422/1978 DE 28-8-1978 SOBRE PASOS A NIVEL. 1993 Orden de homologación de 2-1-1993 en RENFE del sistema de protección de pasos a nivel con señalización luminosa y acústica.

[24] REAL DECRETO 780/2001 DE 1 DE AGOSTO sobre pasos a nivel, a distinto nivel, reordenación de pasos a nivel y máximo rigor en el uso de pasos a nivel particulares. BOE.

[25] REAL DECRETO 780/2011 DE 1 DE AGOSTO

[26] RENFE DIRECCIÓN DE TRANSPORTES. 1973. BLOQUEO AUTOMÁTICO EN VÍA ÚNICA CON CONTROL DE TRÁFICO CENTRALIZADO ENTRE SAN JUAN DE MOZARRIFAR – LÉRIDA - SAN VICENTE DE CALDERS. Publicación de RENFE. Dirección de Transportes.

[27] REGLAMENTO GENERAL DE CIRCULACIÓN DIRECCIÓN DE TRANSPORTES – RENFE 1982. Documentos de la Dirección de Inspección y Seguridad de RENFE para la regulación de la circulación ferroviaria. Instalaciones, circulación, trenes, bloqueos, maniobras.

[28] RENFE .1982. a, MANUAL DE CIRCULACIÓN. DIRECCIÓN DE TRANSPORTES, comprendiendo los fascículos Semibarreras automáticas, ASFA, Enclavamientos, Bloqueos, Radiotelefonía.

[29] RENFE. 1982. b, NORMA TÉCNICA DE ACCIDENTES DE CIRCULACIÓN, ACCIDENTES DE PERSONAS Y AVERÍAS E INCIDENCIAS. Dirección de Reglamentación y Seguridad. RENFE. 1982

[30] REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS. 1965 agosto. PLAN DECENAL DE MODERNIZACIÓN

[31] RENFE. LA NORMATIVA FERROVIARIA INTERNA DE 1975-1993. La evolución de los Reglamentos e Instrucciones Generales de Circulación y demás normativa en el periodo 1975-1993. Dirección de Transportes 1975. Dirección de Circulación 1997. Recopilación propia del autor de la tesis.

[32] RENFE-ADIF .SEÑALIZACIÓN FERROVIARIA .Documentación interna

[33] SITRA .1987. INSTRUCCIÓN TÉCNICA PARA LOS OPERADORES DEL SISTEMA INFORMÁTICO DE TRÁFICO utilizado en los Centros de Control de Trafico Centralizado de las Delegaciones de Circulación de RENFE. Dirección General de Infraestructura de RENFE.

[34] TABLA Nº 3 [ARQUES J.L.(2007)]QUE SINTETIZA LOS CRITERIOS DE LA ORDEN DEL 2-8-1981 indicando para cada clase.

FUNDACIÓN DE LOS FERROCARRILES ESPAÑOLES
www.ffe.es

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

Análisis de las perturbaciones producidas por el sistema eléctrico de potencia de ferrocarriles de alta velocidad alimentados a frecuencia industrial

Analysis of disturbances produced by the electric power system of high speed railways fed at industrial frequency

José Conrado Martínez Acevedo

Jefe de Área de Proyectos de I+D+i
Dirección de Ingeniería e Innovación, ADIF

Resumen

Los trenes de alta velocidad que funcionan con frecuencia industrial (frecuencia de red), son fuente de perturbaciones en las líneas eléctricas de alimentación y en el propio entorno ferroviario, afectando al resto de instalaciones existentes. Aunque estas perturbaciones no pueden ser eliminadas, sí son reducidas empleando diferentes técnicas y esquemas de conexión entre los elementos afectados (línea eléctrica de alimentación, subestación eléctrica de tracción y catenaria).

Palabras clave: Perturbación, línea eléctrica de alimentación, subestación eléctrica de tracción, catenaria.

Abstract

High speed trains that operate with industrial frequency (network frequency) are a source of disturbances in the power lines and the own railway environment. In this case, the disturbances affect the rest of existing equipment. Although these disturbances cannot be removed, they can be reduced using techniques and schemes of connection between the affected elements (power line, railway electric substation and catenary).

Keywords: Disturbance, power line, railway electric substation, catenary.

1. Introducción

Puede afirmarse que el sistema eléctrico ferroviario empleado en ferrocarriles de alta velocidad, es un sistema perturbador como consecuencia de sus características técnicas de funcionamiento: Se trata de una carga alimentada con corriente alterna monofásica, variable en el espacio y en el tiempo, y de naturaleza muy singular debida, entre otros motivos, a la electrónica de potencia que equipan las locomotoras. Esta electrónica produce componentes armónicas de la corriente de tracción que circula por la catenaria para después retornar por el terreno circundante. Este hecho complica aún más el escenario operativo, teniendo en cuenta que el resto de instalaciones de la línea ferroviaria precisan de cables eléctricos para su funcionamiento.

En general, si bien la corriente alterna monofásica ofrece una ventaja importante sobre la corriente continua como es su facilidad de transformación, como inconveniente está su propiedad de inducir tensiones en conductores paralelos. Nótese que en la utilización normal de la corriente alterna en sistemas trifásicos, las inducciones de cada fase se ven compensadas por las inducciones de las otras fases. Este hecho no se da en la electrificación monofásica pues se produce una perturbación electromagnética que puede ser importante para las otras instalaciones ferroviarias.

Este artículo analiza las perturbaciones que este tipo de ferrocarriles producen sobre el entorno en el que se encuentran operando, así como las principales soluciones técnicas que permiten minimizarlas. Se entiende por perturbación a la interacción mutua entre diferentes sistemas eléctricos que se encuentran bajo tensión y por los cuales circulan corrientes eléctricas.

El análisis se reduce al caso de los sistemas de potencia ferroviarios que emplean la frecuencia industrial para su funcionamiento[1]. Este hecho implica la conexión directa al sistema eléctrico general de potencia (Figura 1).

Las perturbaciones producidas por el tren de alta velocidad pueden ser clasificadas en dos grupos (Figura 2):

Perturbaciones producidas sobre la línea eléctrica de transporte, como consecuencia de encontrarse conectada a ella[2].

Perturbaciones sobre las instalaciones existentes en el entorno de la línea ferroviaria, ya que la catenaria se encuentra muy próxima a los cables y equipos de estas instalaciones, produciendo interferencias electromagnéticas.

[1] Este es el caso de la mayor parte de los ferrocarriles que emplean corriente alterna para su funcionamiento. Por el contrario, diversas administraciones ferroviarias europeas emplean frecuencia especial en sus redes (16,7 Hz), no siendo aplicable el estudio aquí contemplado.

[2] Debido a las altas potencias de cortocircuito que se precisan, la red eléctrica de los ferrocarriles de alta velocidad suele conectarse directamente a líneas de transporte por lo que éstas actúan como autenticas líneas de distribución de la energía eléctrica demandada.

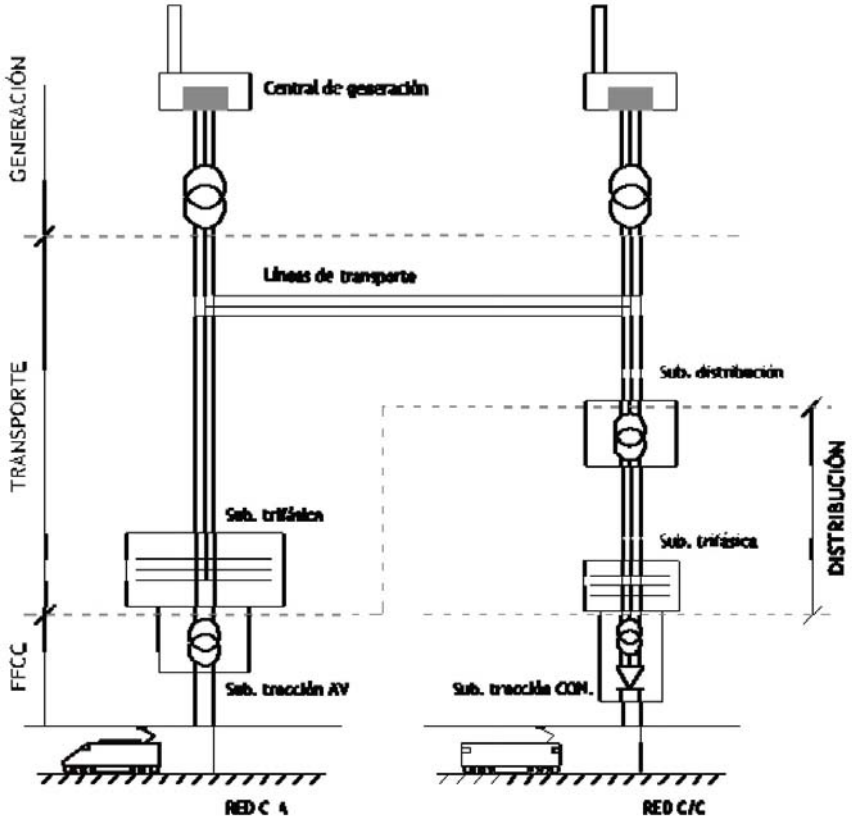


Figura 1.Esquema de conexión eléctrica entre el sistema ferroviario y el sistema de transporte y generación. (Fuente propia).

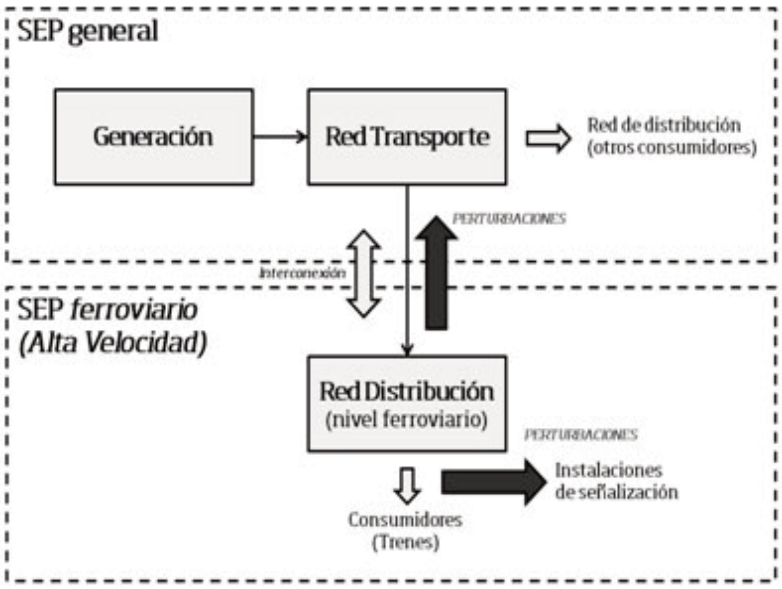


Figura 2. Representación de las perturbaciones producidas por el Sistema Eléctrico de Potencia (SEP) ferroviario en el SEP general (línea de transporte) y en su propio entorno (por ejemplo, instalaciones de señalización). (Fuente propia).

2. Planteamiento del problema

En el estudio de los distintos tipos de orígenes, medios de propagación e influencias que las perturbaciones pueden ejercer sobre otros circuitos distintos de los que las generan, se manejan diferentes conceptos que pueden resumirse en los siguientes:

- Origen o fuente de la perturbación.
- Medio de propagación.
- Receptor afectado.

En el caso de un sistema eléctrico de potencia ferroviario de alta velocidad, el esquema a considerar sería el que sigue:

- Origen: Tren de alta velocidad.
- Medio de propagación: Catenaria, equipos de potencia de las subestaciones de tracción y cables de las instalaciones cercanas.
- Receptores: Línea eléctrica de transporte e instalaciones ferroviarias.

Técnicas generales de eliminación

Por lo general, hay tres modos de eliminar la perturbación producida:

- Eliminándola en la propia fuente.
- Disminuyendo la energía transmitida a través del medio de propagación.
- Insensibilizando el receptor.

Considerando de nuevo el caso del sistema eléctrico de potencia ferroviario de alta velocidad:

- Ya que la electrónica de potencia que equipan las locomotoras es responsable de la generación de armónicos de corriente, éstos pueden ser atenuados mediante la instalación de filtros o modificando la estrategia de control de los equipos de la propia locomotora. Cabe destacar que estos armónicos, con frecuencia múltiplo de la frecuencia industrial, afectan tanto a la línea de transporte cómo a las líneas de comunicación cercanas al trazado ferroviario. Este sería un caso de eliminación de la perturbación en la propia fuente.

- Para actuar sobre el medio por el que se propagan las interferencias electromagnéticas, que en el caso de las líneas ferroviarias son principalmente cables, deberá disminuirse la energía de la perturbación a través del acoplamiento, teniendo que actuar sobre el diseño del propio cable. Este diseño consiste en la incorporación de una pantalla metálica que rodea los conductores de los cables y que permite atenuar la propagación de los campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos.

- Interesa reducir la corriente de tracción que circula por la catenaria y por el terreno. Para ello, y aunque no se puede eliminar la componente fundamental de esta corriente, el empleo de configuraciones específicas de alimentación a la catenaria, permitirá que la circulación de esta corriente disminuya (estas configuraciones serán explicados en próximos apartados).

- Del mismo modo, debe considerarse que para suministrar las potencias eléctricas requeridas, en los ferrocarriles de alta velocidad se incrementa la tensión de funcionamiento y se reduce la corriente que circula por la catenaria[3], siendo por tanto una manera indirecta de reducir las perturbaciones.

3. Perturbaciones sobre las instalaciones existentes en la línea ferroviaria

En el caso de las perturbaciones en el entorno de la línea ferroviaria, éstas se centran en el circuito de tracción eléctrica y en sus componentes. El motivo principal se debe a la circulación de corrientes eléctricas elevadas y muy especialmente a la existencia de corrientes de retorno por tierra.

Estas perturbaciones son principalmente interferencias electromagnéticas de tipo conducido y radiado. Ambos tipos pueden interrumpir, degradar o limitar el rendimiento de los sistemas afectados, incapacitándolos para realizar la misión para la que fueron diseñados y produciendo riesgo para la seguridad de las instalaciones e incluso de las personas. Es por ello que su tratamiento debe ser especialmente considerado en el diseño y operación posterior. Es importante señalar que las perturbaciones transmitidas son siempre proporcionales a la distancia que existe entre los cables de señalización y los cables pertenecientes al sistema eléctrico de potencia.

Considerando el caso específico de las instalaciones de señalización, los cables empleados serían los transmisores de las perturbaciones producidas por el tren hasta los propios equipos de señalización. Según se ha señalado, la pantalla de los conductores es el medio de reducir las interferencias, minimizando la energía transmitida.

Centrando el análisis en el caso de las interferencias radiadas, existen dos tipos de perturbaciones:

- Perturbación o acoplamiento capacitivo.

- Perturbación o acoplamiento inductivo.

El acoplamiento capacitivo, también denominado acoplamiento electrostático, se produce a causa de las capacidades que existen entre los cables del sistema perturbado y la fuente de interferencias. En este tipo de perturbaciones la severidad depende de la velocidad de cambio de las tensiones en la fuente de interferencias y de la impedancia que exista entre ambos elementos. Este efecto se puede cuantificar, por ejemplo, calculando las capacidades entre los cables de la catenaria y los cables del sistema de señalización.

Debido a las perturbaciones capacitivas, determinadas partes de la instalación pueden quedar sometidas a altas tensiones. Esto se produce cuando dichas partes no están puestas a tierra y discurren en paralelo a las instalaciones sometidas a tensión. Considerando que las pantallas son conectadas a tierra, estas perturbaciones no suelen ser importantes.

Las perturbaciones inductivas son producidas por las variaciones de corrientes que circulan por los cables de la catenaria y principalmente, por la corriente que retorna por tierra. Las variaciones de corriente en un conductor modifican las distribuciones del campo magnético, y a su vez, estas variaciones de campo originan tensiones inducidas en el resto de conductores. Estas perturbaciones son más importantes que las anteriores, debiendo ser analizadas en detalle mediante el cálculo de los enlaces de flujo existentes.

[3] Así, si se considera una tensión de 3 000 V C/C en el caso de ferrocarriles convencionales y una tensión de 25 000 V C/A en ferrocarriles de alta velocidad, se tiene que la tensión se aumenta en ocho (8) veces, por lo que a igualdad de potencia, la corriente que debe circular es la octava parte, siendo las afecciones producidas menores.

4. Perturbaciones sobre la línea eléctrica de transporte

Estas perturbaciones son las siguientes (Figura 3):

Desequilibrios de las intensidades y tensiones de línea en los diferentes puntos de la red, originados por el carácter de la carga monofásica.

Corrientes y tensiones armónicas que producen el fenómeno de distorsión armónica. Suelen originarse por los equipos electrónicos de la locomotora e incluso por los arcos eléctricos producidos en la interacción entre el pantógrafo y la catenaria. La distorsión armónica afecta a las características de la tensión de la red, deteriorando la calidad del servicio (de esta manera, aquellos usuarios con aparatos eléctricos y electrónicos sensibles a las deformaciones de la onda de tensión, serán los más afectados).

Fluctuaciones de tensión en la red. Tiene su origen en las variaciones del régimen de la carga, es decir, en la aleatoriedad de las circulaciones de los trenes y en la variabilidad de la potencia demandada por cada uno de ellos. Las fluctuaciones de tensión provocan variaciones en la tensión de alimentación a los usuarios próximos al punto de conexión común (próximos a la subestación eléctrica de tracción).

Huecos de tensión. Son provocados por defectos en el circuito de tracción originando efectos nocivos que pueden llegar a ser inaceptables por los usuarios conectados en el entorno del punto de conexión común.

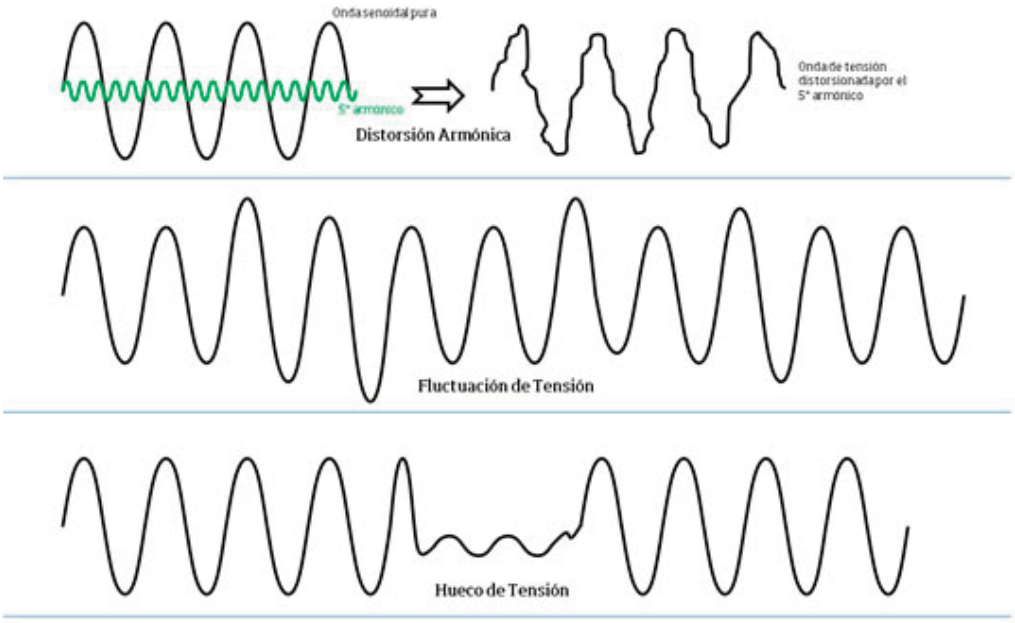


Figura 3. Perturbaciones sobre la línea eléctrica de transporte. (Fuente propia).

Desequilibrios de intensidades y tensiones

De todas las perturbaciones producidas sobre la línea de transporte, los desequilibrios de las intensidades y tensiones de línea son las más importantes (Figura 4). Si siempre se empleara la misma fase eléctrica de la red, el sistema trifásico sería descompensado. Por ello en la alimentación eléctrica de las líneas de alta velocidad siempre se alternan o rotan las fases de la red.

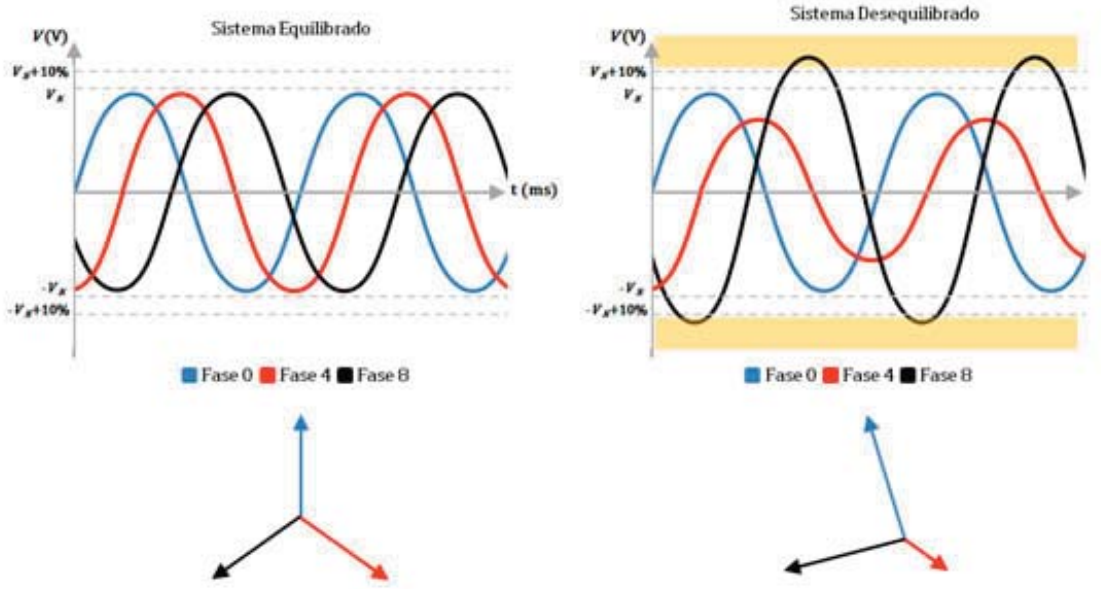


Figura 4. Izq.) Sistema trifásico equilibrado; Dcha.) Sistema trifásico desequilibrado. (Fuente propia).

En la Figura 5 se ha representado una red trifásica a la que se encuentra conectada una carga monofásica representada por un tren de alta velocidad. Si se consideran los sistemas desequilibrados de intensidades y tensiones de un punto A cualquiera de la red, ambos pueden representarse por dos sistemas simétricos equilibrados, uno directo y otro inverso, expresando el cociente de las componentes simétricas respectivas el grado de desequilibrio. Aplicando la transformación de *Fortescue* al cálculo de las componentes simétricas, se obtienen los valores correspondientes, directo e inverso, de la tensión entre fases en el punto A. La relación en última instancia, da el siguiente valor práctico aproximado del factor de desequilibrio en tensiones:

$$\tau = \frac{V_{0i}}{V_{0d}} \cong \frac{S_{TR}}{S_{CC}}$$

En la anterior ecuación:

- τ es el factor de desequilibrio en tensiones.
- V_{0i} es la tensión inversa.
- V_{0d} es la tensión directa.
- S_{TR} es la potencia monofásica demandada por el tren.
- S_{CC} es la potencia de cortocircuito de la línea de transporte.

Este factor de desequilibrio en tensión, el más importante a considerar, condiciona en gran medida el tipo de conexión eléctrica a emplear entre la subestación de tracción ferroviaria y la línea de transporte.

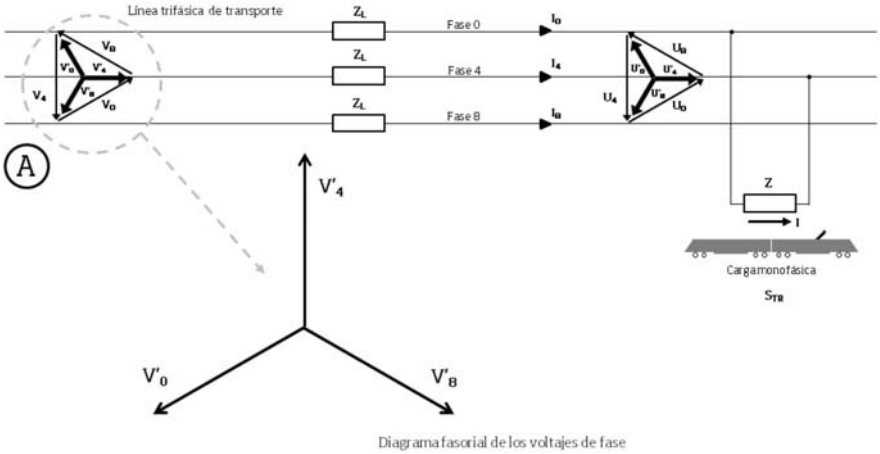


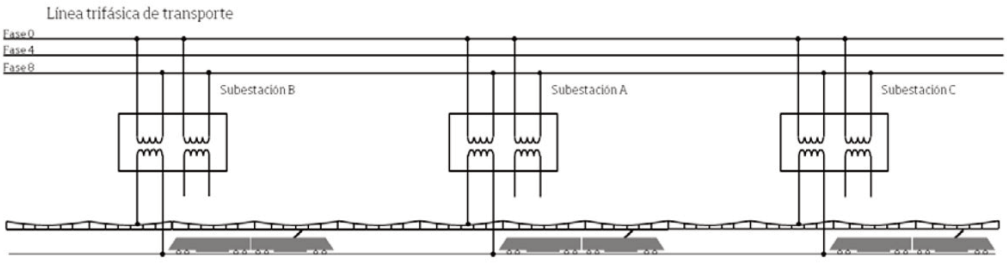
Figura 5. Representación esquemática de una carga monofásica (tren) conectada a la línea trifásica de transporte. Esquema de un sistema trifásico equilibrado. (Fuente propia).

La normativa técnica de la red siempre establece el grado de desequilibrio que se puede producir. Así por ejemplo, en el caso de la red eléctrica de transporte española, su operador técnico[4] establece que este desequilibrio no debe ser superior al 0,7% para una duración de minutos y del 1% para una duración de segundos. Admitiendo cargas de entre 50 MW y 100 MW, el sistema de alimentación debe tener un nivel de cortocircuito de al menos 5 000 MVA a 10 000 MVA para que permanezca dentro de los requisitos de desequilibrio.

5. Técnicas y esquemas de conexión entre la subestación eléctrica y la línea de transporte

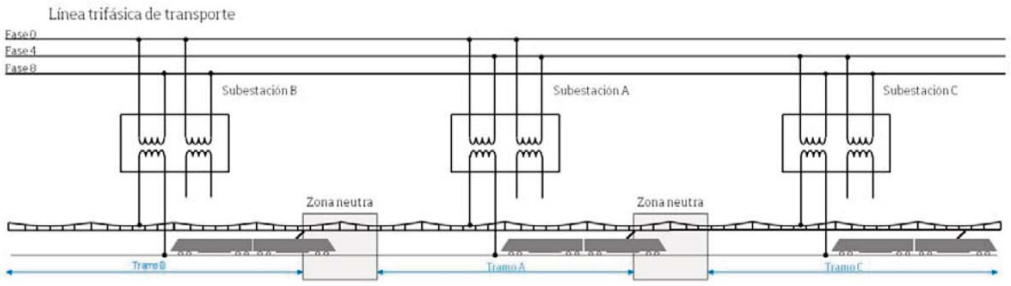
Aunque la solución ideal para la operación ferroviaria sería conectar las subestaciones de tracción de acuerdo a la Figura 6 (A), en la práctica las subestaciones se conectan alternativamente a las fases de la red según se muestra en las Figuras 6 (B) y 6 (C). Dichas conexiones suelen denominarse *conexiones monofásicas puras*.

En todos los casos las tensiones que pueden aplicarse entre los terminales del devanado primario de los transformadores de potencia, son las tensiones compuestas que pueden obtenerse combinando las tres tensiones de fase de la red trifásica de transporte.

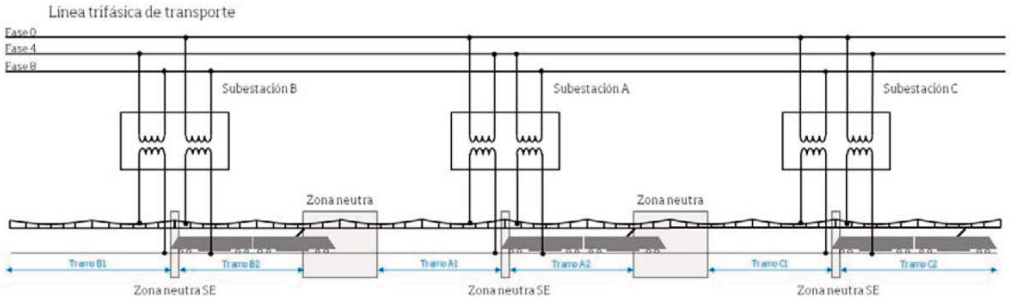


(A)

[4] Red Eléctrica de España (REE).



(B)



(C)

Figura 6. Conexiones monofásicas puras en subestaciones de tracción de C/A. (Fuente propia).

En el caso indicado, se considera una red con una tensión nominal de 220 ó 400 kV. Dichas tensiones, representadas en la Figura 7, se encuentran desfasadas 120° ideales. En la figura se considera además que presentan índices horarios 0, 4 y 8. También se han representado las tensiones compuestas con índices horarios 1, 3, 5, 7, 9 y 11, obtenidas combinando las tres tensiones de fase anteriores.

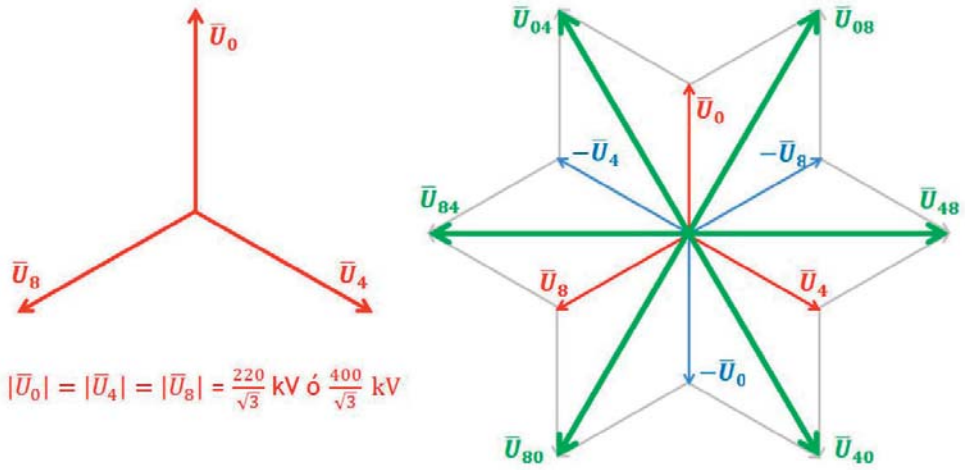


Figura 7. Izq.): Tensiones simples o de fase de la red de transporte; Dcha.): Tensiones compuestas mediante la combinación de las tensiones de fase. (Fuente propia).

Precisamente las tensiones posibles en el devanado primario de los transformadores de la subestación de tracción, son las tensiones compuestas mostradas en la Figura 7, habiendo sido representadas de manera más sencilla en la Figura 8.

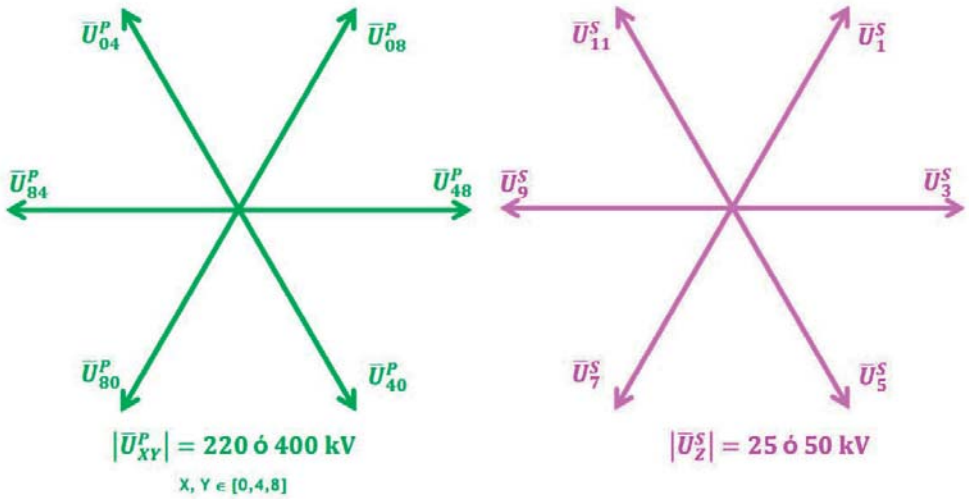


Figura 8. Izq.): Tensiones compuestas en el primario (P); Dcha.): Tensiones compuestas en el secundario (S). (Fuente propia).

Por su parte, las tensiones en el devanado secundario de los transformadores se obtienen aplicando su relación de transformación a las tensiones primarias (se considera una tensión nominal de 25 000 ó 50 000 V). Los índices horarios de las tensiones secundarias son 1, 3, 5, 7, 9 y 11, no habiendo variado pues para la obtención de dichas tensiones sólo se ha multiplicado por un escalar a las tensiones primarias.

En el caso de la Figura 6 (B) se dice que la rotación de fases es por subestación eléctrica (los dos transformadores están conectados a la misma fase). En el caso de la Figura 6 (C) la rotación es por transformador. A modo de ejemplo, en la Figura 9 se ha recogido el esquema de rotación de fases eléctricas de la línea de Alta Velocidad Madrid-Barcelona, en el trayecto comprendido entre las subestaciones eléctricas de Anchuelo y Medinaceli. Como puede observarse se trata de una rotación por transformador (Figura 6 (C)).

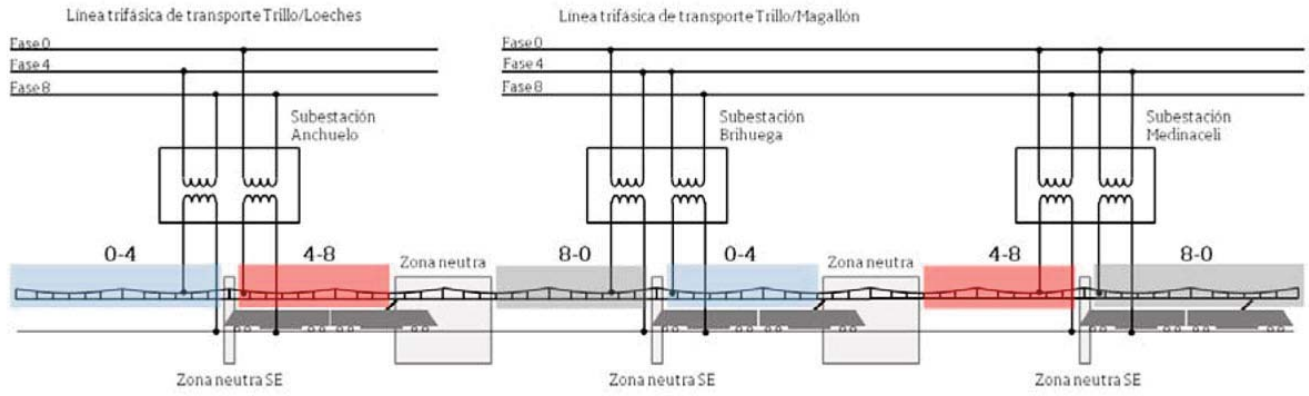


Figura 9. Esquema de rotación de fases eléctricas entre Anchuelo y Medinaceli (LAV Madrid-Barcelona). (Fuente propia).

Conexiones especiales

Las conexiones vistas en las Figuras 6 (B) y 6 (C) suelen ser las que se emplean cuando hay suficiente potencia de cortocircuito en la red trifásica de alimentación a la subestación. Se observa que los transformadores de potencia de la subestación ferroviaria no se conectan a las tres fases.

Ahora bien, si la red trifásica de alimentación no dispone de suficiente potencia de cortocircuito, no se puede emplear una conexión monofásica pura, existiendo otras conexiones especiales como la conexión *Scott*, la conexión en *V* y la conexión *Le Blanc* entre otras. Este sería el caso de la red ferroviaria japonesa, donde este tipo de conexiones son implementadas frecuentemente debido a que en ocasiones la alimentación a los trenes de alta velocidad (Shinkansen) es suministrada desde redes eléctricas de bajas prestaciones.

La conexión Scott es la manera de obtener dos fases (separadas 90° eléctricos) a partir de una fuente de alimentación trifásica, cuyas fases se hallan separadas 120° eléctricos. Esta conexión consiste en dos transformadores monofásicos con idéntica potencia nominal. Uno tiene derivación en su bobinado primario al 86,6% de voltaje a plena carga. Están conectados tal y como se ilustra en la Figura 10. La derivación del transformador T1 al 86,6%, está conectada a la derivación central del transformador T2.

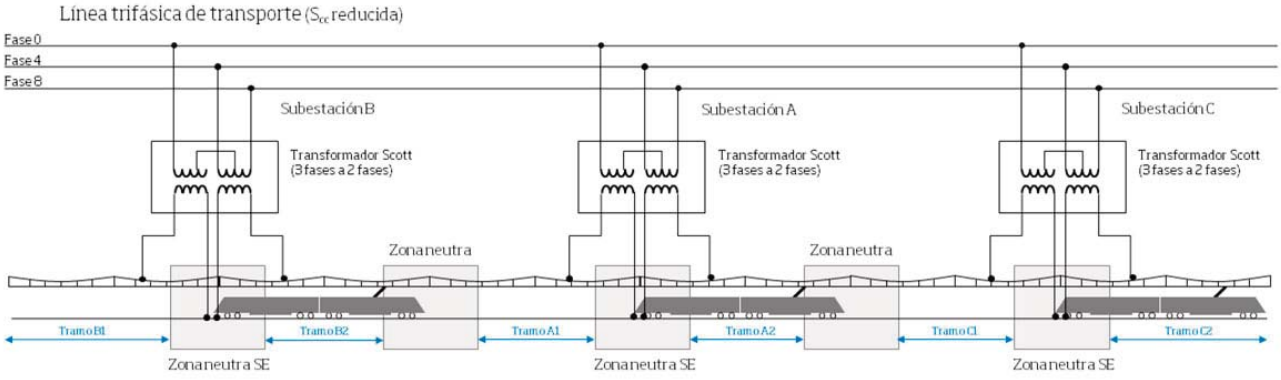


Figura 10. Conexión Scott en subestaciones eléctricas de tracción de C/A. (Fuente: Autor).

Dispositivo FACT

Puede darse el caso en el que la línea de alta velocidad se encuentra alejada de una línea trifásica de transporte con alta potencia de cortocircuito. En esta situación podría emplearse una línea de menor potencia y prestaciones, aunque habrá que controlar el desequilibrio producido. Si el empleo de conexiones especiales no es aconsejable por determinados motivos, un dispositivo FACT también permitiría conseguir una energía de calidad adecuada con alimentación a tensiones de línea más bajas. Estos equipos son dispositivos estáticos que se controlan mediante sistemas de control junto con electrónica de alta potencia

En general, el empleo de un FACT mejora las afecciones que el sistema eléctrico ferroviario de corriente alterna produce a la línea trifásica de alimentación independientemente de su tensión nominal. Debe tenerse en cuenta que el incremento de tráfico, así como la puesta en servicio de nuevas tipologías de trenes, pueden recomendar el empleo de estos equipos en un momento determinado de la vida útil de la línea ferroviaria.

Se pueden utilizar tanto para compensar desequilibrios como para apoyar dinámicamente las caídas de tensión en la catenaria y reducir los armónicos procedentes de locomotoras equipadas con tiristores.

La zona neutra de separación de fases eléctricas

La transición del tren entre tramos de catenaria alimentados a distinta fase eléctrica, debe ser convenientemente proyectada o de lo contrario podría producirse una conexión eléctrica entre dos fases de la línea de transporte. Esta zona de transición es denominada *zona neutra de separación de fases eléctricas*.

En el caso de adoptar una rotación por subestación, no será necesario instalar una zona neutra en ella sino sólo entre subestaciones colaterales. En el caso en el que la rotación se realice por transformador de potencia, sí se precisará una zona neutra en la subestación y otra entre subestaciones colaterales (Figura 6).

Un aspecto importante de la zona neutra se refiere a la diferencia de tensión eléctrica existente entre sus extremos, es decir, entre las fases eléctricas que alimentan ambos extremos. Esta diferencia de tensión debería ser siempre la tensión nominal de la catenaria con objeto de no tener problemas de aislamiento con la catenaria sin tensión. Sólo si los índices horarios de las tensiones de los transformadores de potencia colaterales son consecutivos (desfase de 60°), la tensión eléctrica entre los extremos de la zona neutra es del orden de la tensión nominal del secundario del transformador. Si los índices no son consecutivos (desfase de 120°), la tensión entre extremos será del orden de √3 veces la tensión nominal del secundario.

En efecto, de acuerdo a la distribución de tensiones compuestas del devanado secundario del transformador (Figura 8), se puede demostrar que sólo si los índices horarios de estas tensiones son consecutivos (1-3, 3-1, 3-5, 5-3, 5-7, 7-5, 7-9, 9-7, 9-11 ó 11-9), la tensión entre ambos extremos de la zona neutra no es superior a la tensión nominal de alimentación a la catenaria. En el análisis no se considera que dos transformadores contiguos, dentro de la misma subestación o de subestaciones colaterales, estén conectados a tensiones compuestas con índices horarios contrarios (1-7, 7-1, 3-9, 9-3, 5-11 ó 11-5) pues ello significaría que se han conectado entre las mismas fases lo cual no es posible por el desequilibrio producido.

En la Figura 11 se muestra el esquema fasorial de la diferencia de tensión entre extremos de la zona neutra en el supuesto de que los índices horarios de las tensiones entre dos transformadores contiguos sean consecutivos (Z ± Z+2).

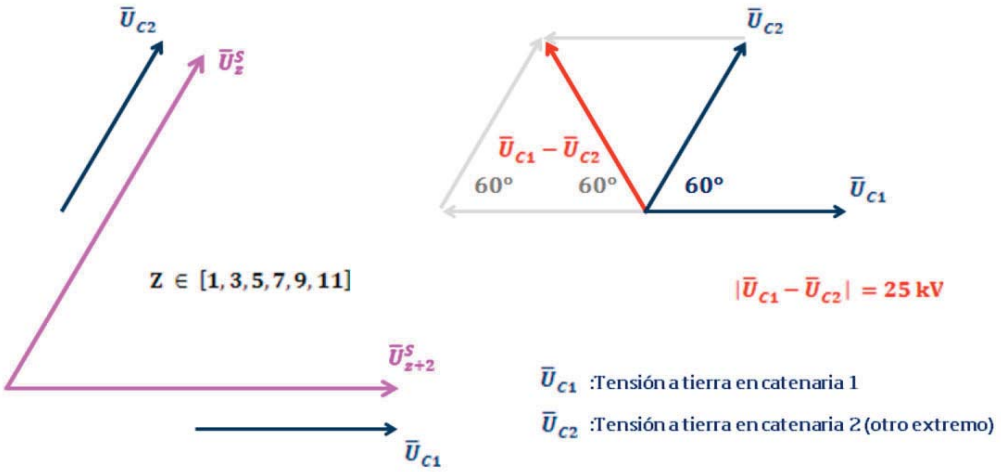


Figura 11. Diferencia de tensión entre extremos de la zona neutra considerando que los índices horarios de las tensiones entre transformadores contiguos son consecutivos (Z ± Z+2). (Fuente propia).

De la figura anterior se deduce que la tensión entre extremos de la zona neutra es la tensión de alimentación a la catenaria (25 000 V).

Por el contrario, en la Figura 12 se muestra la diferencia de tensión entre extremos de la zona neutra cuando los índices horarios de dos transformadores contiguos no son consecutivos (1-5, 5-1, 3-7, 7-3, 5-9, 9-5, 7-11, 11-7, 9-1, 1-9 ó Z ± Z+4).

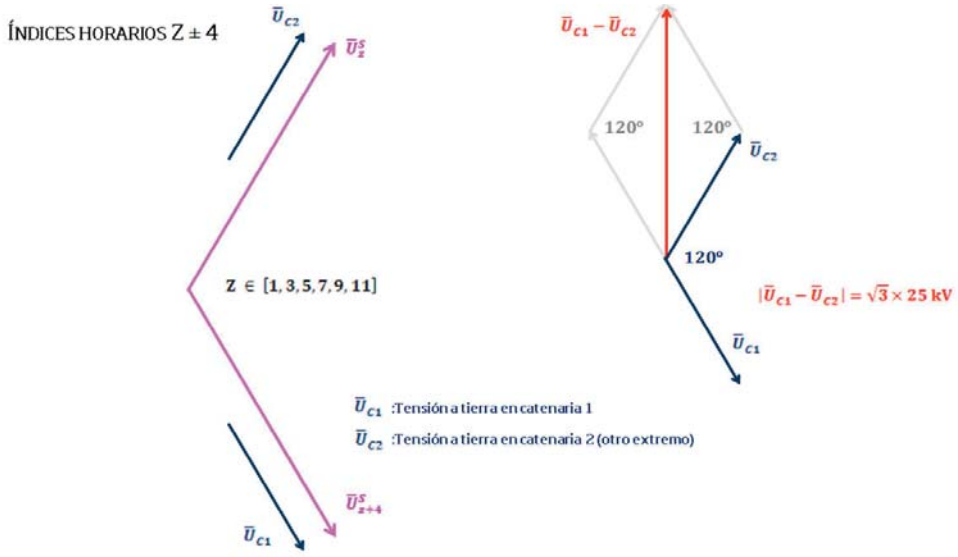


Figura 12. Diferencia de tensión entre extremos de la zona neutra en el supuesto de que los índices horarios de las tensiones entre dos transformadores contiguos no son consecutivos (Z ± Z+4). (Fuente propia).

Se deduce de la figura anterior que la diferencia de tensión entre extremos de la zona neutra en catenaria es superior a 25 000 V, concretamente √3×25 000 V (@ 43 300 V).

6. Técnicas y esquemas de conexión entre la subestación eléctrica y la catenaria

En el apartado 5 se ha podido analizar cuáles pueden ser los criterios y características de conexión de la subestación de tracción a la línea de transporte. En este apartado se analizan las posibles conexiones de la subestación con la catenaria.

Un criterio importante a considerar en la conexión eléctrica de ambos elementos, es el número de puntos de conexión a la red de transporte de los que se dispone. Este número suele ser condicionado a si la red es sólo empleada para la alimentación de la línea de alta velocidad o tiene otros usos que impide la conexión ex profeso al ferrocarril. En todo caso se considera que la red tiene suficiente potencia de cortocircuito para alimentar al tren de alta velocidad.

Como puede intuirse, si el número de puntos de conexión es pequeño y espaciado, la caída de tensión que se puede producir en la catenaria, entre la subestación y el punto más alejado a la misma, podría ser inadmisible para el escenario de tráfico más restrictivo.

Otro criterio a tener en cuenta es la circulación de corriente de retorno por tierra y por carril, algo que no es deseable considerando las perturbaciones producidas sobre otras instalaciones cercanas. Como se verá a continuación, dependiendo de la conexión empleada, esta circulación de corriente podrá ser disminuida.

Conexión monofásica simple

La conexión monofásica simple es la configuración adoptada cuando se dispone de suficientes puntos de conexión a la línea de transporte. En este caso la distancia entre subestaciones colaterales suele estar entre 35 y 40 kilómetros.

Si se considera un valor de tensión nominal V en la catenaria, esta conexión suele denominarse sistema 1×V kV. Teniendo en cuenta el valor normalizado de tensión eléctrica en catenaria (25 000 V), se denomina sistema 1×25 kV.

El esquema de funcionamiento está representado en la Figura 13.

Generalmente los transformadores de la subestación van conectados a las mismas fases eléctricas por lo que pueden funcionar en paralelo. De esta forma todo el tramo de la subestación está conectado a la misma fase eléctrica, no siendo necesario instalar una zona neutra de separación de fases en dicha subestación. El devanando primario de cada transformador se conecta a una tensión compuesta de la red y transforma dicha tensión a la de funcionamiento del tren (25 000 V). El devanado secundario se conecta por tanto entre la catenaria y tierra.

Esta conexión es económica y fácil de explotar y mantener, si bien ha de disponerse de suficientes puntos de conexión a la red de transporte. Como puede observarse en la Figura 13, la energía se transmite desde la subestación al tren a través de la catenaria (marca azul) y de un conductor de refuerzo si existiese. El retorno de corriente se realiza por los carriles de la vía, el conductor de retorno y el terreno circundante.

Conexión con autotransformador

La conexión con autotransformador es la configuración adoptada cuando no se dispone de suficientes puntos de conexión a la línea de transporte. En este caso la distancia entre subestaciones colaterales suele estar entre 60 y 80 kilómetros.

Si se considera un valor de tensión nominal V en la catenaria, esta conexión suele denominarse sistema 2×V kV, pues como se verá a continuación, existen realmente dos circuitos eléctricos en oposición de fase. De nuevo, teniendo en cuenta el valor normalizado de tensión eléctrica en catenaria, se denomina sistema 2×25 kV. Este doble circuito obliga al empleo de un conductor adicional (feeder negativo) así como autotransformadores cada ciertos kilómetros (de ahí su denominación).

El principal objetivo es asegurar una caída de tensión en catenaria adecuada considerando el mayor distanciamiento entre subestaciones colaterales.

El esquema de funcionamiento está representado en la Figura 14.

Los transformadores de la subestación pueden ir conectados a iguales o diferentes fases eléctricas. En este último caso no se podrán conectar en paralelo y cada transformador alimentará a un semitramo de la subestación, siendo necesario instalar una zona neutra en dicha subestación. El devanando primario de cada transformador se conecta a una tensión compuesta de la red y transforma dicha tensión al doble de la tensión de funcionamiento del tren (50 000 V). Realmente el secundario del transformador dispone de dos devanados y una toma central conectada a tierra. Un devanado secundario se conecta entre la catenaria y tierra (25 000 V) y el otro entre el feeder negativo y tierra (-25 000 V).

Cada 10-15 kilómetros, se colocan autotransformadores conectados entre la catenaria y el feeder negativo con su punto medio conectado a tierra. Si se sitúa un tren en un punto del tramo, los autotransformadores,

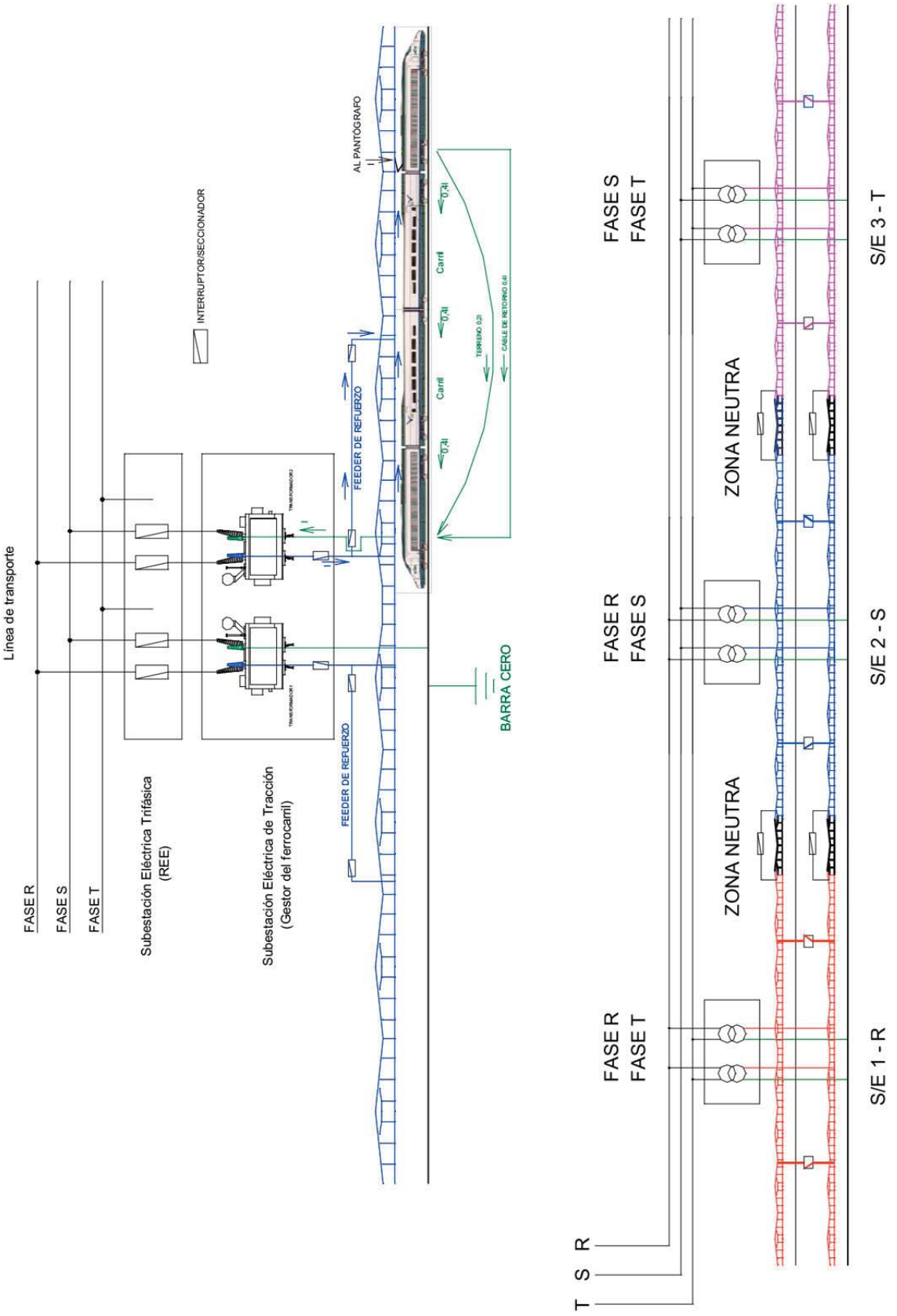


Figura 13. Conexión monofásica simple. (Fuente propia).

que tienen la propiedad de distribuir la corriente que les llega por el punto central en dos partes casi iguales[5], obligan a la circulación de corrientes que se indica en la Figura 14. Considerando una hipótesis ideal de funcionamiento, el reparto de corriente consumida por el tren se efectúa en un 100% por la catenaria al pantógrafo (téngase en cuenta que en este sistema también puede existir un feeder de refuerzo).

Las corrientes de ida hacia el tren son aportadas dependiendo de la situación de éste. Así, en el esquema de la Figura 14, un 50% de la corriente circula desde la subestación al tren por la catenaria. El 50% restante es proporcionada por los autotransformadores situados a ambos extremos del tren.

Por tanto uno de los objetivos de los autotransformadores es que la corriente de retorno circule por el feeder negativo. Teóricamente la corriente de retorno está limitada al feeder negativo, salvo en una sección compensadora, es decir, aquella existente entre dos autotransformadores consecutivos, cuando además hay un tren tomando corriente.

Así, según puede verse en la Figura 14, si hay un tren situado entre los dos autotransformadores, toda la corriente de retorno circula por los carriles y por la tierra pero únicamente en ese tramo de línea, pues fuera de ella la corriente es transportada únicamente por el feeder negativo. Realmente el sistema no es perfecto debido a la impedancia de fuga de los devanados del autotransformador y al hecho que su potencia es limitada. En consecuencia, la corriente de tracción es suministrada también desde autotransformadores distantes, lo que supone que circule corriente por los carriles en toda la sección de suministro eléctrico. Una parte de esa corriente pasará a tierra, que es la que causa problemas de inducción en las líneas de telecomunicaciones cercanas, aunque en menor proporción que en el sistema 1×25 kV.

Puede notarse que si en una conexión 2×25 kV se prescinde del feeder negativo y de los autotransformadores, se tendría una conexión 1×25 kV (por lo general, en esta situación se deberá explotar el sistema en condiciones degradadas).

Conexión con transformador Booster

En un sistema de corriente alterna monofásica los elementos que forman parte del circuito de retorno son el cable de retorno, los carriles de rodadura y el terreno circundante. La corriente de retorno que circula por el terreno depende fundamentalmente del aislamiento entre los carriles y tierra. Este aislamiento depende a su vez de factores como la resistividad del terreno, las características del balasto empleado y de la distancia entre el punto en el que se encuentra el tren y el transformador de potencia o el autotransformador en el caso de un sistema 2×25 kV.

Considerando una hipótesis ideal de funcionamiento, es decir, conductores sin resistencia ni pérdidas, así como una tensión de cortocircuito de los transformadores tendiendo a cero, el reparto ideal de la corriente consumida por el tren en un sistema 1×25 kV sería:

- Toda la corriente que el tren consume (100%) se transporta por la catenaria.
- El 40% de la corriente consumida por el tren retorna por los carriles de la vía.
- Otro 34% retorna por el conductor de tierra.
- Otro 6% por las pantallas metálicas de los conductores de instalaciones próximas a la vía.
- El 20% restante retorna por el terreno.

[5] Esta pequeña desigualdad viene originada por la caída de tensión en el arrollamiento, que se procura que sea muy pequeña, del orden del 1%.

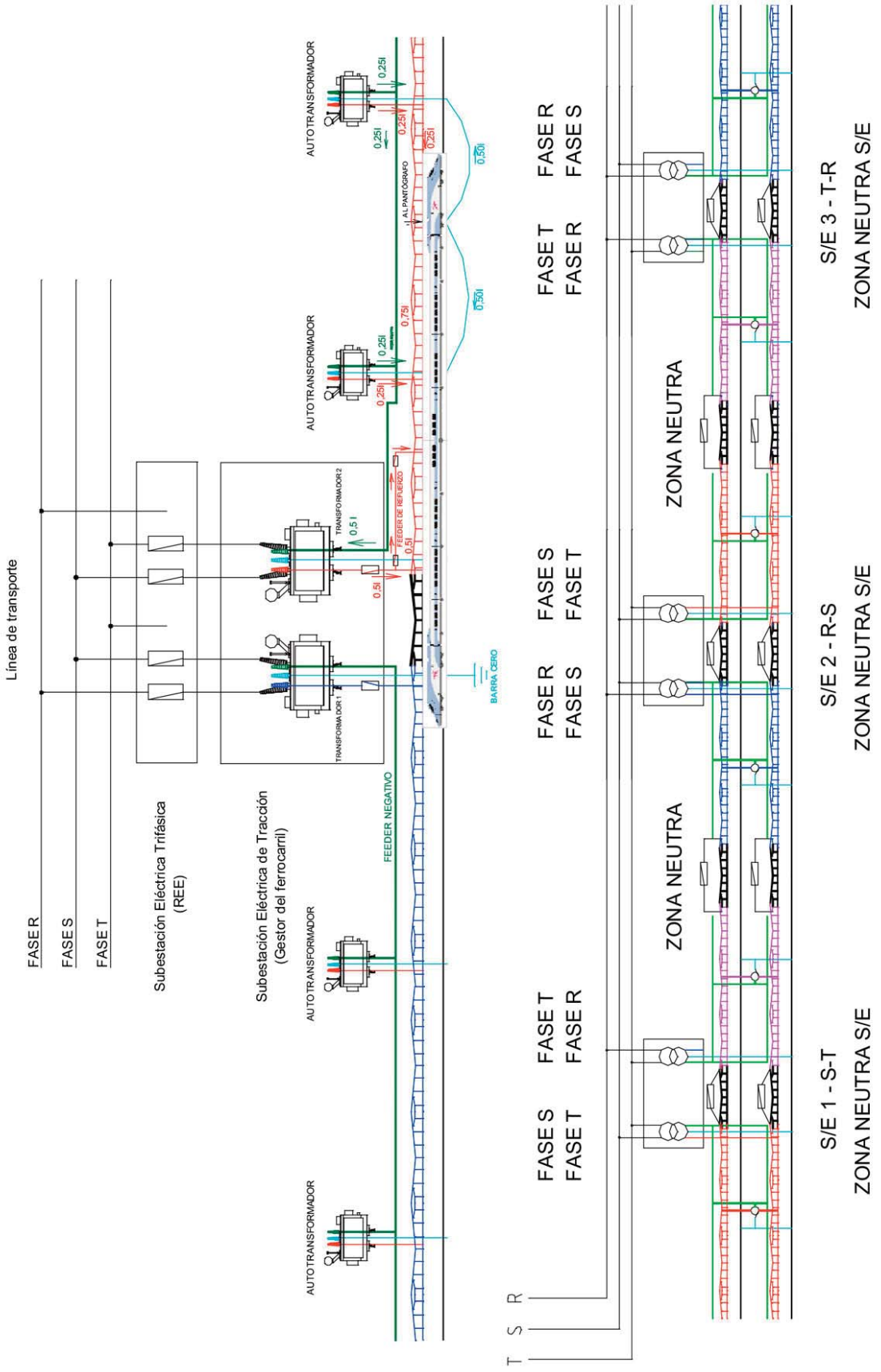


Figura 14. Conexión AT. (Fuente propia).

Aunque estos porcentajes no son aplicables en su totalidad a un sistema 2×25 kV, sí se puede considerar un porcentaje de fugas a tierra similar. Esta hipótesis está del lado de la seguridad, ya que los tramos donde la corriente circula por los carriles en la conexión 1×25 kV son más largos que en la conexión 2×25 kV y por tanto también lo serán las corrientes que retornen por tierra.

La conexión con transformador Booster consiste en un cable de retorno paralelo a la vía y aislado del terreno. Entre 3 y 4 kilómetros se instala un transformador de relación de transformación 1:1 entre la catenaria y el cable de retorno (transformador Booster). En el punto medio entre dos transformadores se realiza una conexión entre el carril de retorno y el cable aislado de retorno. Con esta configuración se consigue que la mayor parte de la corriente de retorno que circula por los carriles circule por el cable aislado de retorno y de esta forma se disminuya las perturbaciones causadas por la corriente de retorno. Cabe destacar que la reducción de corriente de retorno por los carriles es mayor con esta configuración que con la conexión 2×25 kV.

Resumen comparativo

La Tabla 1 recoge una breve comparación de los diferentes sistemas de conexión a catenaria analizados, en función de diferentes parámetros y características.

7. Breve análisis de la configuración eléctrica existente en algunas líneas ferroviarias

La Tabla 2 recoge un breve análisis realizado sobre diversas líneas ferroviarias de alta velocidad existentes en el mundo, indicando las diferentes técnicas y conexiones eléctricas empleadas.

	Conexión Monofásica Simple	**Conexión AT**	**Conexión BT**
Disponibilidad de puntos de conexión a la línea eléctrica de transporte	Se dispone de puntos de conexión abundantes	No se dispone de puntos de conexión	-
Distanciamiento entre subestaciones eléctricas de tracción	30 – 40 km	50 – 60 km	-
Elementos adicionales a la catenaria	No	Feeder Negativo Autotransformador (AT)	Transformador Booster (BT)
Explotación (operación y mantenibilidad)	Sencilla	Compleja	Media
Flexibilidad	Baja	Alta (puede funcionar como conexión monofásica simple)	-
Caída de tensión (consultar Figura 14)	-	Baja caída de tensión eléctrica (y por tanto menores pérdidas) como consecuencia de transportar la energía demandada por el tren al doble de la tensión de funcionamiento (50 000 V)	-
Corriente de retorno por catenaria	Alta	Baja	Alta
Corriente de retorno por tierra (consultar Figura 15)	Alta	Media	Baja

Tabla 1. Comparación técnica de los diferentes sistemas de conexión a catenaria analizados. (Fuente propia).

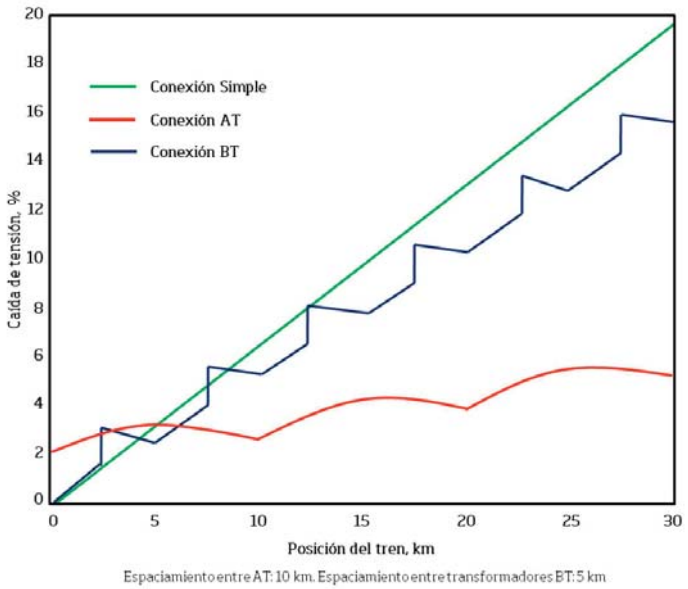


Figura 14. Comparación de la caída de tensión producida en las diferentes conexiones. Nota: Se considera un tren de potencia 8 MVA. (Fuente propia con documentación del Prof. György Varju).

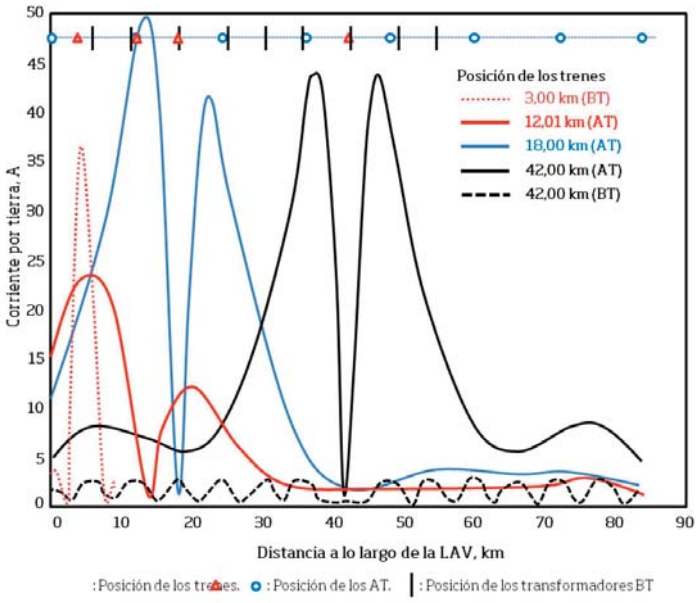
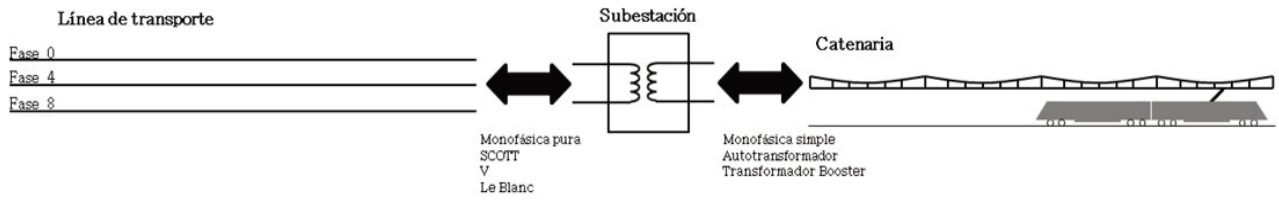


Figura 15. Comparación de la corriente de retorno por tierra en las conexiones AT y BT. (Fuente propia con documentación del Prof. György Varju).

	Conexión Subestación de Tracción/Red Trifásica de Alimentación	Tensión de Red	Conexión Subestación de Tracción/Catenaria	Dispositivo FACT
España. LAV Madrid-Toledo/Sevilla	Monofásica pura (rotación por subestación)	132 – 220 kV	1x25 kV	No
España. LAV Madrid-Barcelona-Figueras	Monofásica pura. (rotación por transformador)	220 -400 kV	2x25 kV	No
España. LAV Madrid-Alicante/Valencia	Monofásica pura (rotación por subestación)	220 -400 kV	2x25 kV	No
Inglaterra/Francia. Túnel del Canal le La Mancha	Monofásica pura	400 kV	2x25 kV	Sí
Francia. LAV París-Estrasburgo	Monofásica pura	225-400 kV	2x25 kV	No
Italia. LAV Roma-Nápoles	Monofásica pura	380 kV	2x25 kV	No
Japón	Conexiones especiales (Scott entre otras)	77 a 275 kV	2x25 kV	Sí

Tabla 2. Análisis de la configuración eléctrica en diferentes líneas ferroviarias de alta velocidad (LAV). (Fuente propia).



Bibliografía

[1] Willian D. Stevenson. “Elements of power system analysis”. McGraw-Hill Inc. 1982.

[2] John J. Grainer, Willian D. Stevenson Jr. “Power System Analysis”. McGraw-Hill Inc. 1994.

[3] Sten Benda. “Interference-free electronics”. Studentlitteratur 1991.

[4] Hiroaki Morimoto (RTRI). “New-Type Transformer for AC Feeding Systems”. Railway Technology Avalanche No. 20, December 26, 2007.

[5] Davor Vujatovic y Qingping Zhang. “Harmonics Generated from Railway Operation”. Artículo IEEE 2006 (1-4244-0493-2/06).

[6] Per Halvarsson (ABB). “Facts for availability and power quality improvement in high speed railway electrification”. 6th World Congress on High Speed Rail (Amsterdam) 2008.

[7] Siemens AG. “N.A.F.A. Madrid - Sevilla Medidas tomadas para evitar perturbaciones intolerables. Sistema de puesta a tierra R11087”.

FUNDACIÓN DE LOS FERROCARRILES ESPAÑOLES
www.ffe.es

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

Recorrido y numeración de los trenes. Interoperabilidad mediante análisis espacial tridimensional e INSPIRE

Path and train numbering. Interoperability using spatial analysis and INSPIRE

José Gómez Castaño [1,2]

[1] Especialista SIG en el Grupo de Astronomía Extragaláctica e Instrumentación Astronómica, Departamento de Astrofísica y CC de la Atmósfera. UCM jgomez03@pdi.ucm.es

[2] Dirección de Gestión de Red ADIF jgomezc@adif.es

Resumen

En este trabajo se presenta una metodología que permite asociar las diferentes numeraciones a un recorrido o parte del mismo, y conocer las relaciones entre ellos, de forma que sean interoperables. El resultado es la posibilidad de conocer la numeración asociada a un tren y para cada tramo de su recorrido, los puntos comunes o diferentes designaciones que tiene para las diferentes organizaciones.

Para ello, se pone en práctica un análisis tridimensional de la posición del tren, integrando la información de su recorrido y su horario en la misma geometría espacio-temporal. Se estudian los diferentes formatos de datos para intercambiar la información y los servicios OGC disponibles para ello.

Debido al creciente número de Empresas Ferroviarias y Administradores de la Infraestructura que intervienen en las operaciones ferroviarias en Europa, la forma de designar a los trenes presenta diferencias de una organización a otra y de un Estado a otro. De esta manera, se pueden encontrar diferentes designaciones para un mismo tren dependiendo del uso que se le de a la misma, lo que hace necesario encontrar una metodología común que permita conocer la equivalencia entre ellos.

Un elemento básico del tren es su recorrido. Este se compone del conjunto de puntos que va recorriendo de forma secuencial, desde su origen hasta su destino. Un mismo recorrido puede tener diferentes designaciones, e incluso cada tramo de su recorrido puede ser conocido de diferente manera por cada organización. Existe normativa que indica como llevar a cabo la denominación de los trenes a nivel Nacional y Europeo, pero no un procedimiento estandarizado de conversión entre las diferentes denominaciones.

El uso de la vertiente geoespacial a los datos en la operación ferroviaria es un nuevo campo abierto recientemente. Estos permiten optimizar los procesos de toma de decisión y hacerlos más ágiles frente a las soluciones tradicionales, complementando a los datos alfanuméricos, e incorporando nuevas capacidades de análisis y mejorando los procesos ya existentes.

INSPIRE y su ANEXO I de aplicación a redes de transporte, ofrece un marco de referencia para los fenómenos geográficos, de forma que sea posible definirlos de forma común en toda la Unión Europea, junto a la iniciativa RINF.

Palabras clave: Ferrocarril, GIS, INSPIRE, Interoperabilidad.

Abstract

In this paper an algorithm to solve train path and numbering interoperability is proposed. The most powerful tool to achieve this is a three-dimensional analysis of the train position, integrating information about its route and schedule in the same spacetime geometry. Also a study of the different data formats for exchanging information and OGC services available to do it, was carry out.

Due to the increasing number of Railway Undertakings and Infrastructure Managers involved in railway operations in Europe, how to designate the trains are different from one organization to another and from one state to another. Thus, one can find different designations for the same train depending on the use that is of the same, to find a common methodology to meet the equivalence between them is necessary.

A staple of the train is its route or path. This consists of the set of points where the train moves through sequentially, from its origin to its destination. The same route can be designed differently, and even each route section of their journey can be known differently by each organization and several trains can be merged to be identified by another organization.

The use of geospatial data over rail operation is a new recently open target. These allow to optimize decision making processes and make them more flexible compared to traditional solutions, complementing alphanumeric data, and incorporating new analysis capabilities and improving existing processes.

INSPIRE ANNEX I and its application to transportation networks, provides a framework for geographic features, so that it is possible to define a common way across the European Union, along with the RINF initiative.

The spatial databases are specialized in this type of data and are proving increasingly harder, as a powerful tool for the use of these data in the railway operation. In this work a methodology to associate different numbering a path or part thereof, and knowing the relationships between them, and an interoperable result is presented. The result allows to know the numbers associated with a train for each segment of its route within each organization that manages it and their relations with others.

Keywords: Railway, GIS, INSPIRE, Interoperability, SFSQL, Spatial Analysis.

1. Introducción

Tras la liberalización del transporte ferroviario en Europa, han aparecido gran cantidad de Empresas Ferroviarias y Administradores de la Infraestructura, cada uno de ellos con unos procedimientos de trabajo propios. La generalización del trafico transfronterizo y la necesidad de integración en los diferentes sistemas de gestión de cada organización, hace necesario tener procesos que permitan la interoperabilidad entre Estados y Organizaciones.

La numeración de los trenes es una información básica y ha sido abordada por el TAF/TAP-TSI Working Group 10 TAF/TAP-TSI (2011a). Esta se utiliza para identificar cada tren y asociarle los atributos necesarios en cada organización. Disponer de una identificación única para todas las organizaciones que intervienen en la gestión del tren, o al menos un sistema de conversión fiable entre ellos, es indispensable.

El esquema de numeración en uso en Europa se describe en las fichas UIC 419-1 y 419-2, y la comunicación entre Administradores de la Infraestructura y Empresas Ferroviarias se describe en los interfaces del TAF/TAP-TSI (2011b). En España la numeración de los trenes, a efectos de gestión de tráfico, está descrito en el Manual número 21

En España se regulan más de 1,852,000 trenes al año, a lo largo de 15333 Km de red ferroviaria (ADIF 2013) Existen 24 Empresas Ferroviarias y 3 Administradores de la Infraestructura, cada uno con sus procedimientos nacionales. Además se tiene la conexión internacional con Portugal y Francia. Como referencia para este trabajo, se ha aplicado la resolución al ámbito Español, pero es exportable a los Estados de toda la Unión. A nivel Europeo los 14 Administradores de la Infraestructura más importantes pertenecientes a 11 paises, se agrupan en la European Rail Infrastructure Managers (EIM 2014).

Aún con esta normativa se plantea que cada organización utiliza una numeración diferente para la identificación de las circulaciones. Esta, además, puede o no corresponderse con el recorrido completo del tren, o tener varias numeraciones dependiendo de la organización. Incluso dentro del mismo Estado, un tren es conocido de forma diferente por los procesos comerciales que por los de gestión de tráfico. Uno para circulación y otro diferente para la gestión comercial.

Tradicionalmente se utilizan bases de datos con tipos de datos alfanuméricos para relacionar estas designaciones, y además del número, se dispone del recorrido del tren respecto a cada numeración. El uso de bases de datos espaciales está optimizado para el tratamiento de datos de tipo geográfico y se pueden utilizar para mejorar su tratamiento. Dado que la mayoría de gestores de bases de datos relacionales, disponen en la actualidad de extensiones espaciales, su aplicación a la resolución de este tipo de problemas presenta grandes ventajas.

En este trabajo se muestra una metodología que resuelve la relación entre las numeraciones de los trenes y su recorrido, tratado desde el punto de vista espacial y usando la especificación proporcionada por INSPIRE, y otras iniciativas, en el ámbito Europeo. Esto permite la interoperabilidad de los datos de tráfico y características de un tren, tanto a nivel de circulación como comercial. El uso de estándares de servicios propuestos por el Open Geospatial Consrotium (OGC), permite la interoperabilidad de las comunicaciones y los formatos de datos, en el ámbito geográfico.

El objetivo final es conseguir la identificación de los trenes en cada parte del recorrido usando cualquier numeración.

2. Descripción de la problemática

El problema que se quiere resolver es la posibilidad de nombrar a un mismo tren con diferentes identificaciones, y encontrar una forma de encontrar la relación entre ellas. La identificación puede referirse

a todo el recorrido del tren o tener diferentes para distintos trayectos de su recorrido. Esto se produce cuando se fusionan ramas de dos trenes en uno solo para compartir parte del recorrido, o cuando se separan en un punto determinado. Conocer esta equivalencia permite la interoperabilidad entre diferentes organizaciones y facilitar las operaciones a lo largo del recorrido del tren.

Actualmente se utilizan bases de datos relacionales con atributos alfanumericos para identificar el tren, las estaciones de paso y las horas de paso por ellas. Con esta informacion se calculan los puntos comunes entre los trenes.

3. Elementos implicados

A continuación se describen los elementos implicados en la solución del problema. A ellos hay que añadir requisitos impuestos por el propio entorno ferroviario. La solución debe poder implementarse en los Sistemas de Información actuales con el mínimo impacto posible y tener el mínimo coste posible

3.1. Recorrido de los trenes

El otro elemento en juego es el recorrido propio del tren. Este se compone del paso del tren por cada una de las estaciones. Cada tren tiene definido las estaciones por las que pasa y a qué hora lo hacen. El Administrador de la Infraestructura asigna este horario dependiendo de la capacidad de la infraestructura. Las Empresas Ferroviarias, lo siguen con sus trenes y publican sus horarios para que los conozca el resto de organizaciones o personas.

El proceso de cálculo de la ruta del tren se hace teniendo en cuenta el tipo de tren, el tipo de tracción, la orografía del recorrido, curvas, número de vías del trazado, número de paradas, existencia o no de viajeros, y los posibles cruces con otros trenes Se pueden encontrar varios estudios detallados sobre este cálculo en Hansen, I. (2010). Estas planificaciones pueden mejorarse como se ha expuesto en Salido, M.A. et all (2008) o utilizando métodos estocásticos, analizados en Lüti (2005)

El resultado de esta planificación es una lista con el momento de entrada, salida o paso de un tren por cada estación o punto de interés de la red ferroviaria. Esta información no está georreferenciada y solo es útil a efectos de horario del tren para los maquinistas o personal que necesite conocer dónde estará el tren en cada momento.

Aunque la asignación de la capacidad de la infraestructura la hace el Administrador de la Infraestructura, las Empresas Ferroviarias y otras Empresas, la utilizan para sus propios trenes. Los trenes pueden fusionarse, separarse en ramas o ser nombrados por cada una de ellas.

3.2. Inspire

Dentro del Anexo I de INSPIRE (D2.8.I.7 2009 2009) podemos encontrar los siguientes fenómenos relacionados com el ferrocarril:

- Fenómenos de localizaciones - RailwayNode
- Fenómenos de tramos - RailwayLink
- Fenómenos de líneas - RailwayLine

Sus esquemas se definen en RailwayTransportNetwork.xsd

Las series temáticas de INSPIRE, como el ANEXO I están basadas en el Generic Conceptual Model que recoge las recomendaciones de la serie ISO 19100 sobre estándares de información geográfica. Además del modelo conceptual, proporciona mecanismos para la comunicación de los datos, a través del Generic Network Model. Estos incluyen:

- Mecanismos de interconexión de redes
- Referenciación de objetos para asegurar la reutilización de los objetos

Los recorridos de las circulaciones han sido, hasta ahora, tratados como meros atributos alfanuméricos, enumerando los puntos de paso en ciertos instantes. Aprovechando la nomenclatura INSPIRE, en este trabajo se define el TrainRailwayLine, como el fenómeno correspondiente al recorrido del tren. Estos se han transformado en objetos geoespaciales ya que se trata, en definitiva, de polilíneas compuestas por cada una de las geometrías que enlazan los diferentes nodos del recorrido. El recorrido se traduce en una polilínea desde el origen al destino. Este tratamiento no solo permite definir el recorrido de los trenes en el trayecto, sino que lo hace dentro de las estaciones si se han creado las geometrías dentro de las mismas definiendo las vías internas de la estación.

Además de trenes con planificación previa, existen trenes especiales. El recorrido de estos se hace siempre en función de otros planificados, adoptando lo que se conoce como marchas de asimilación. De esta forma se puede obtener el TrainRailwayLink de un tren especial usando el recorrido marcado para el de su tren asimilado.

Los tramos, por otra parte, se definen como segmentos entre dos puntos de una línea. Los puntos origen y destino de los mismos se referencian como puntos kilométricos sobre la misma. Para crear geometrías a partir de ellos, es necesario primero llevar a cabo una georreferenciación de estos. En un apartado más abajo se detalla el proceso, pero baste decir que cualquier proceso de segmentación dinámica, puede devolver la coordenada geográfica del origen y fin.

Una vez almacenados estas geometrías, es posible llevar a cabo sobre ellas cualquier consulta o tratamiento espacial, tanto dentro de la base de datos como con herramientas GIS. El más importante es conocer qué tramos afectados por alguna circunstancia, atravesará un tren.

En este caso tenemos que estudiar diferentes casos que se producen cuando parte o todo el recorrido de un tren, se comparte. Tenemos las siguientes posibilidades. Siendo RNo1 y RNo2 los RailwayNode origen para dos sistemas diferentes y RNd1 y RNd2 los RailwayNode destino, podemos encontrar los siguientes casos, descritos en la Fig 1

a) Los dos trenes comparten todo el recorrido

b) Los dos trenes tienen el mismo origen pero diferente destino

c) Los trenes tiene el mismo destino pero diferente origen

d) Los dos trenes tienen diferente origen y destino y solo comparten parte del recorrido

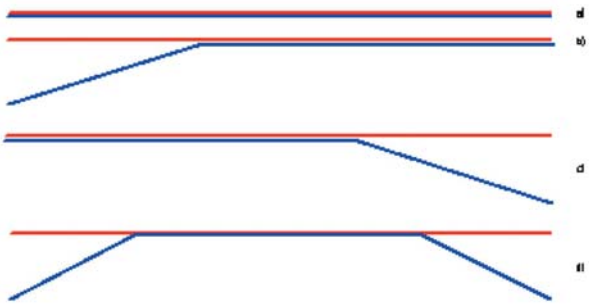


Fig 1 Posibles intersecciones de RailwayNodes

Se pueden tener otras configuraciones que combinen estos 4 casos, que conformen el recorrido completo de los trenes.

3.3. *Georreferenciación de los elementos*

Las estaciones por las que pasa cada tren están identificadas solo por un numero o atributo alfanumérico. Para una misma organización, o dentro del mismo Estado existe un sistema de nomenclatura para las estaciones que identifica con un código alfanumérico. En Europa en la Directiva INSPIRE se define un RailwayNode como " A point spatial object which represents a significant point along the railway network or defines an intersection of railway tracks used to describe its connectivity". En Europa, la iniciativa RINF (2011) está recopilando toda la información sobre infraestructuras, incluidas las posiciones geográficas. En esta se definen los Operational Points y los Station Code. Existe una correspondencia entre la codificación INSPIRE y RINF, que se describe en el Anexo H de ERA (2010). De esta forma, se unifica el uso de fuentes geográficas en el ferrocarril europeo. En relación con INSPIRE y su ANEXO I, la identificación de cada fenómeno debe cumplir las siguientes condiciones:

- La identificación debe ser única para todas las Infraestructuras Espaciales de Europa
- Debe ser trazable en esta Infraestructura
- Debe estar documentado el ciclo de vida de cada objeto

Se ha optado en este trabajo por esta normativa porque ofrece una fuente común y abierta de datos actualizada y mantenida por organismos que velan por su calidad.

Una vez localizados cada punto del recorrido del tren, se puede hacer la correspondencia entre ellos y las horas de entrada, salida o paso por cada uno, obteniendo una lista georreferenciada de su recorrido.

Para esto es necesario un sistema adicional que proporcione su georreferenciación Para que la información de horario sea útil a efectos geográficos es necesario georreferenciar el paso del tren por cada punto. Para ello se necesita conocer las posiciones de cada estación. En Europa la cada Estado dispone de su Organismo encargado de la localización geográfica de sus insfraestructuras. Como se ha dicho, mediante INSPIRE o RINF que marcan el un marco de referencia en que debe hacerse.

En España, por ejemplo, el Instituto Geográfico Nacional se encarga de recopilar esta información en diferentes bases de datos. La correspondiente a transporte ferroviario se encuentra en la Base Topográfica Nacional 1:25.000, a partir de la que se genera el Mapa Topográfico Nacional 1:25.000. Esta es una escala más que suficiente para el propósito de este trabajo, y los datos son proporcionados de acuerdo al esquema de transportes de INSPIRE.

En caso necesario, la información más actualizada sobre las posiciones de las instalaciones ferroviarias las pueden proporcionar los propios Administradores de la Infraestructura. En España es IDEAdif quien recopila toda la información geográfica relacionada con líneas ferroviarias. Existe también la ley LISIGE que impone el uso de la Directiva INSPIRE para todos los datos geográficos, incluidos los ferroviarios, lo que obliga a las Empresas Ferroviarias y Administradores de la Infraestructura españoles a normalizar y unificar las fuentes de datos en este sentido.

4. Arquitectura del sistema

El algoritmo propuesto se implementa en un sistema que integra las siguientes partes:

- Servidor de bases de datos espacial PostGIS
- Sistema de planificación de tráfico
- Sistema de gestión de tráfico
- Sistema de georreferenciación o geocoding
- Aplicación de análisis

El recorrido previsto de los trenes llega desde los sistemas de planificación de tráfico, de las de los sistemas de tiempo real de gestión, de las bases de datos de gestión o de cualquier otro entorno en el que se necesite integrar la información. Para encauzar esta información se utililzan diferentes sistemas, desde mensajería basada en Servicios Web y conexiones JMS, hasta el intercambio de ficheros entre las organizaciones involucradas.

La parte más importante en la que se apoya esta solución son las bases de datos espaciales. Los gestores de bases de datos tradicionales han ido incorporando paulatinamente extensiones que permiten almacenar en elementos geográficos como puntos, líneas, polígonos y hasta imágenes raster. Este modelo se describe mediante el diagrama UML de la Fig 2 aplicando OGC 1999. Una lista de los gestores de bases de datos que implementan extensiones espaciales se puede consultar en OGC (OGC DB List 2014).

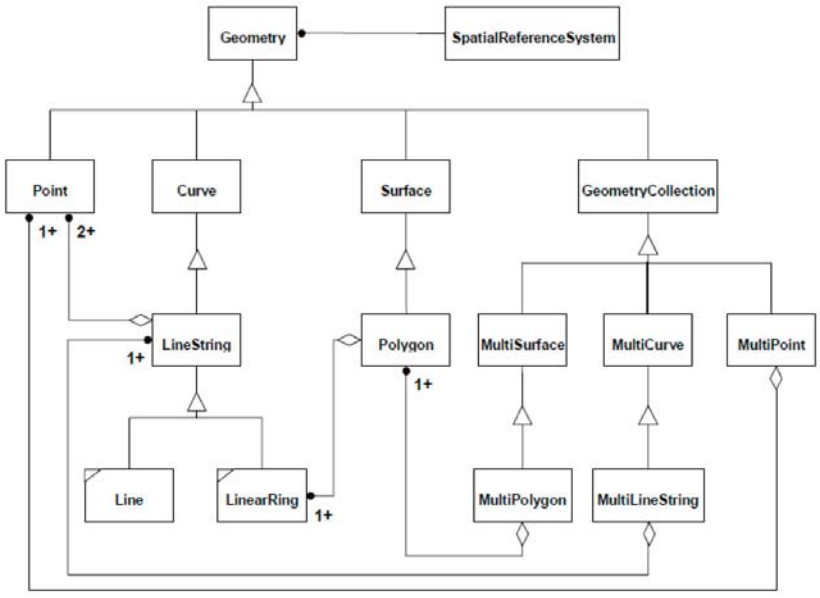


Fig 2. Modelo Simple Features Specification For SQL Revision 1.1

Este software no solo proporciona un almacén de datos, sino que ofrece una serie de funciones para el análisis de los datos espaciales. Como se explicará en el apartado siguiente, estas permiten tratar estos datos de forma geométrica calculando intersecciones, longitudes, solapamientos, transformaciones de coordenadas etc

En este trabajo se ha estudiado también el procedimiento de actualización de los datos utilizados. El recorrido de los trenes se obtiene de los sistemas de planificación y gestión de tráfico, y los proporciona el Administrador de la Infraestructura, como se ha dicho. Su actualización está sujeta a los acuerdos entre las empresas implicadas, y pueden hacerse utilizando sistemas que van desde el envío de ficheros por correo electrónico, intercambio mediante servicios FTP, Servicios Web o mensajería JMS.

Para la actualización de datos geográficos, INSPIRE describe los servicios necesarios. El servicio WFS (Web Feature Service) es el más adecuado (OGC 2010). Este servicio permite la publicación mediante un interfaz de servicios web los fenómenos. En Gómez Castaño 2010, se ha descrito detalladamente el conjunto de servicios a implementar en una IDE Ferroviaria, para la publicación y consumo de esta información. La mayoría de Agencias geográficas Europeas disponen de estos servicios. En concreto el Instituto Geográfico Nacional dispone de una lista (IGN 2014) de las URL con estos servicios. Un ejemplo de petición WFS se muestra abajo

```
http://example.com/wfs?service=WFSSIMPLE&version=1.0.0&REQUEST=GetFeature
 &BBOX=-71.00,42.00,-72.00,43.00&
 MINDATE=2006-09-12&MAXDATE=2006-09-22&OUTPUTFORMAT=text/xml
```

Esta petición es fácil de implementar en cualquier lenguaje y devuelve la lista de los fenómenos dentro del Bounding Box requerido en formato GML (OGC 2012). GML es un estandar ISO 19136:2007, es una gramática derivada de XML para la representación de fenómenos geográficos, ámpliamente utilizado para el intercambio de este tipo de datos a través de internet.

```
<Stations xmlns = "http://www.railwayscompany.org"
        xmlns:gml = "http://www.opengis.net/gml"
    xmlns:xsi = "http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
    xsi:schemaLocation = "http://www.railwayscompany.org stations.xsd ">
   <items>
     <Item>
       <name> Las Matas </ name>
       <position>
         <gml: Point srsDimension="2" rsName="http://www.opengis.net/def/crs/EPSG/0/25830">
           <gml: pos> 424073.7072 4489453.1563 </gml: pos>
         </gml: Point>
       </position>
     </Item>
   </items>
 </Stations>
```

Ejemplo de posición GML

De esta forma se puede actualizar esta información con la aparición de nuevos puntos de paso de los trenes. Para la gestión de estas peticiones se ha utilizado el software QGIS en la versión 2,4. Para este trabajo se ha desarrollado un script en Python que permite buscar los fenómenos descritos para la capa de transportes de la Infraestructura de Datos Espaciales de España, y los actualiza en la base de datos PostGIS.

5. Solución Aportada

En este trabajo se aporta una solución basada en el análisis espacial del recorrido del tren. Parte ha sido estudiado anteriormente en (Gómez Castaño, J. 2013) Como se ha explicado más arriba, uniendo los RailwayNodes que atraviesa el tren se construye una geometría que representa en un solo fenómeno geográfico todo su recorrido. De esta forma se define la geometría TrainRailwayLink como un conjunto de RailwayLinks (D2.8.I.7 2009) que recorre el tren. En este fenómeno queda descrito no solo el conjunto de los RailwayNode, también al espacio situado entre ellos. Este tratamiento es útil cuando queremos estudiar elementos que afectan a cualquier parte del su recorrido, pero en este caso solo nos interesan algunos de esos puntos, las estaciones por las que pasa. Uniendo estas estaciones componemos un grafo.

El tratamiento de la ruta de ferrocarril como un grafo en sí mismo ha sido tratado con anterioridad en (Roanes 2008, 2009). El estudio ha sido desde el punto de vista algebráico, usando la teoría de grafos con el objetivo de estudios históricos.

En este trabajo se hace una composición de las dos visiones. Por una parte se construye el recorrido de los trenes como un grafo, en el que los nodos están definidos por las posiciones geográficas de los RailwayNodes que recorre. Las aristas en este caso, pasan a ser rectas entre los nodos, despreciándose la geometría de los RailwayLinks.

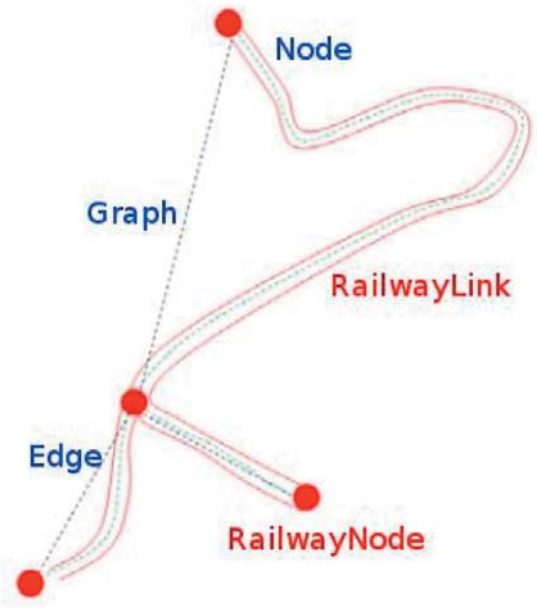


Fig 3. Relación entre grafos y fenómenos INSPIRE

El recorrido que nos interesa es el común para dos trenes y entre dos RailwayNodes, si el tren es el mismo, el RailwayLink correspondiente es el mismo siempre Fig XX. Por lo tanto su geometría completa no es necesaria para el estudio. Solo los RailwayNode, que son los extremos del RailwayLink, tienen interés. Desde el punto de vista topológico, un camino recto para enlazar dos RailwayNodes es la mejor

solución. El usar lineas rectas permite reducir el número de puntos a tener en cuenta en la geometría final, reduciéndose también la necesidad de almacenamiento en la base de datos y el tiempo de computación

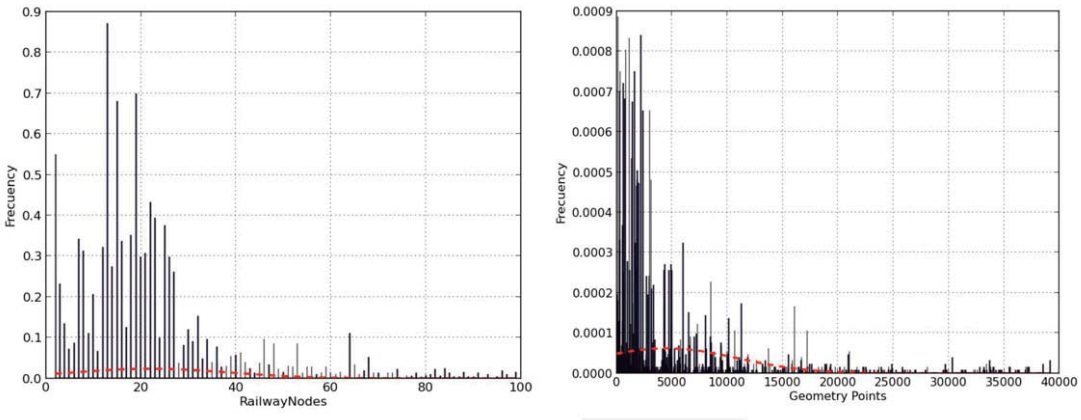


Fig 4. Histogramas de distribución de a) RailwayNodes y b) puntos de la geometría que componene los fenómenos RailwayLinks

En la Fig 4 se ha comparado el número de puntos necesarios para construir el recorrido del tren usando RailwayNodes (a) o puntos de la geometría del Linestring correspondiente (b). En cualquier caso la densidad de puntos del LinsString depende de la calidad de la geometría capturada. En el primer caso se necesita almacenar menos de 40 puntos en la mayoría de los casos, en contraposición a los casi 5000 si tuviéramos en cuenta toda la geometría. Mediante esta simplificación se consigue aumentar por un factor de 100 la capacidad de almacenamiento y de proceso.

Los histogramas se han calculado teniendo en cuenta todos los recorridos de los trenes estudiados, las estaciones de parada y paso y la geometría publicada

Teniendo definidos los grafos de todos los trenes a estudiar, los recorridos comunes, y por tanto que corresponden al mismo tren físico, quedará definido por el grafo intersección resultante. El problema se reduce ahora en conocer cuales son los grafos que comparten alguna de sus aristas. Se han tenido en cuenta varios métodos. La teoría de grafos, el uso de bases de datos de grafos y el análisis espacial

La primera es usando la teoría de grafos. La condición de intersección utilizada se describe Nandy 2012. Considerando la distribución R^d de objetos, la intersección geométrica de los grafos G(V,E) es un nuevo grafo de forma que

- Cada nodo en V corresponde a un objeto distinto
- Cada par de nodos hay un eje v_i, v_j $\in$ V hay un eje v_{ij} $\in$ E

Otra solución es utilizar una base de datos de grafos (VicKnair et al 2010) aunque en este trabajo no se ha puesto en práctica. Estas bases de datos ofrecen un alto rendimiento, y utilizan un lenguaje de consultas sin sentencias SQL

Aunque se dispone de muchos algoritmos que pueden implementar estas soluciones, no están soportados en las bases de datos actualmente en explotación en los sistemas de información ferroviaria. Se requiere por lo tanto una adaptación de estas o instalaciones expresamente diseñadas . Por lo tanto, se ha buscado que la solución pueda ser aplicada a otros ámbitos del recorrido de los trenes, incluyendo las geometrías intermedias, y estas no se ven reflejadas por un segmento, sino por una polilínea.

Por estos motivos, en este trabajo se ha optado por una solución basada en el análisis espacial de los fenómenos geográficos implicados. Como se ha explicado en el apartado anterior, cada RailwayNode queda definido por su código de identificación y sus coordenadas, uniéndose los consecutivos. Para construir el grafo de cada tren, es necesario tener en cuenta no solo el recorrido, también su horario. Si no tenemos esto en cuenta, la intersección contendrá todos los trenes y no solo los que comparten recorrido y horario, como se explicará ahora.

La condición final para que un tramo sea compartido por dos trenes es que sus geometrías estén contenidas una en la otra. Como hemos construido una LineString con todo el recorrido (TrainRailwayLink) junto al horario, llamamos LineString1 y LineString2 a cada uno de los trenes. Se debe cumplir la condición

$$LineString_1, LineString_2 \Rightarrow \exists LineString_3 \mid LineString_3 = LineString_1 \cap LineString_2 \qquad \text{EQ.1}$$

El conjunto de puntos pertenecientes a LineString3 serán los nodos comunes por los que pasan los dos trenes

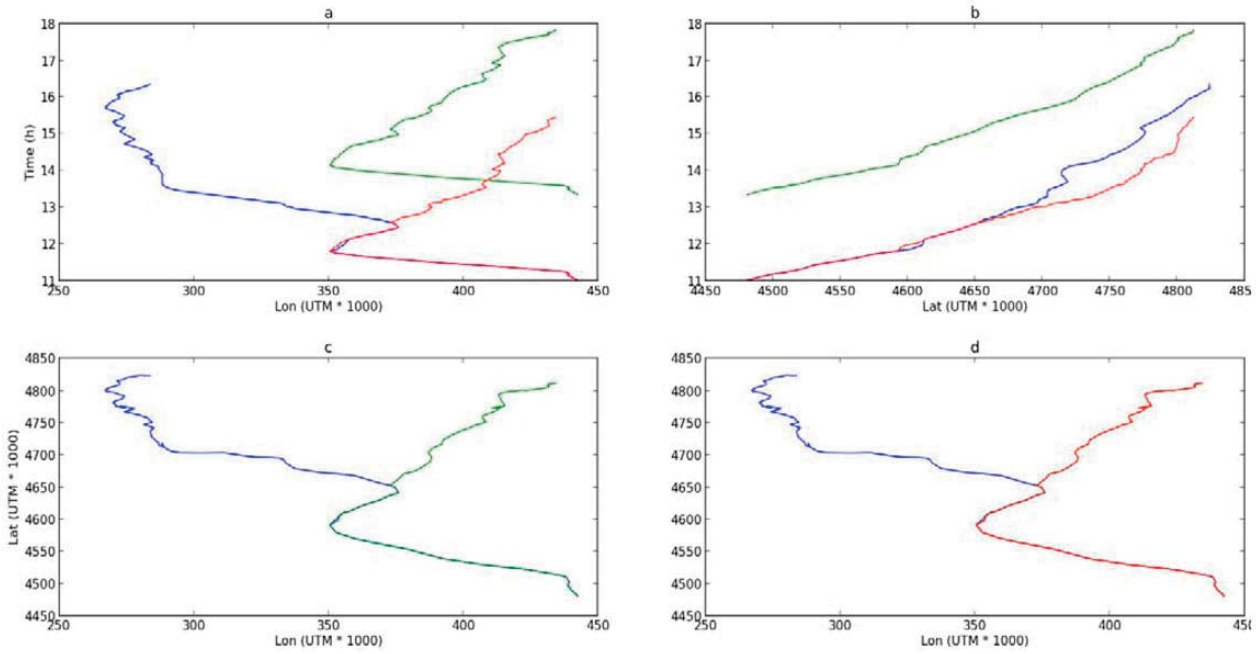


Fig 5. Representación 2D de los TrainRailwayLink

El resultado se observa mejor al hacer una proyección 2D en la Fig 5 Se han calculado los RailwayLnk, de acuerdo a lo explicado, para 3 trenes. a) y b) representan el recorrido de los tres trenes en longitud y latitud a lo largo del tiempo. c) y d) muestran el recorrido teniendo en cuenta solo el recorrido geográfico en longitud y latitud.

Si tenemos en cuenta solo el recorrido de cada tren, (c y d), resultaría que los tren comparten parte del recorrido. Esto es debido a que cada uno tiene un horario diferente y no lo hemos tenido en cuenta. Cuando añadimos el estudio del horario y lo representamos respecto a su posición (a y b), solo los trenes 000A y 000C tienen un tramo común. Por lo tanto es obligatorio tener este factor en cuenta a la hora de crear los TrainRailwayLink. Se necesita una componente adicional además de la componente geográfica.

Para solucionar esto se ha utilizado la coordenada Z de cada RailwayNode para almacenar el momento de entrada, salida o paso en el mismo, excepto para el primero que se toma la hora de salida. En todos los casos en horas a lo largo del día y se toman 5 decimales de precisión. De esta forma cada RailwayNode se define para cada tren con las siguientes coordenadas:

X Longitud

Y Latitud

Z Hora de entrada, salida o paso

De esta manera, cada punto de paso queda definido de la forma POINT(longitude latitude time) por ejemplo POINT(442231.0278 4480617.1122 11.01666)

La geometría resultante de unir los nodos del grafo, representa una geometría tridimensional, Fig 6. Como puede verse, el recorrido del tren cambia en longitud, latitud y hora, representándolo tridimensionalmente desde el origen al destino. El TrainRailwayLink es ahora un fenómeno sobre el que se puede calcular su intersección con el resto de forma unívoca, teniendo el horario del mismo en cuenta.

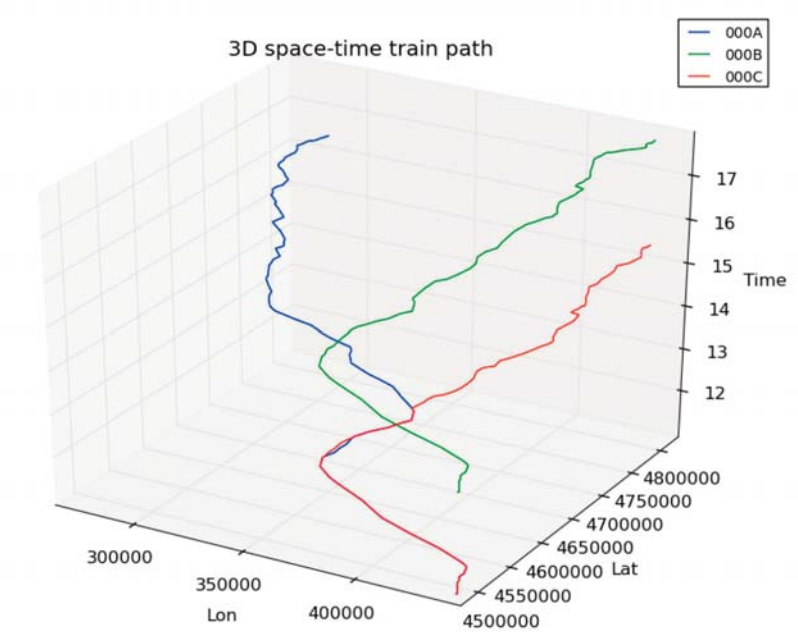


Fig 6. Representación 3D espaciotemporal del recorrido de los trenes

El resultado final es un nuevo fenómeno intersección de acuerdo a la ecuación de condición (eq 1). Este fenómeno estará compuesto por los puntos comunes entre los TrainRailwayLink comunes. Los atributos derivados de ella serán una lista con los números de tren y sus respectivas organizaciones, que se obtiene mediante una consulta SFSQL a la base de datos donde se almacenan. Además se obtiene la lista de los RailwayNodes comunes por los que pasa el tren. Esto último es importante porque el resultado contiene la identificación de los RailwayNodes comunes, para poder tratarlos en cualquier otro procedimiento

Una ventaja de esta solución es que no es necesario conocer la topología de la red para utilizarla. Publicar los cambios en la topología por parte de los Administradores de la Infraestructura y su mantenimiento por parte del resto de empresas, es un proceso complejo y laborioso, que requiere una infraestructura de

comunicaciones dedicada. Tampoco es necesario mantener un versionado de los RailwayNodes. La información de cada uno es valida para esta solución durante el tiempo que está en vigor, porque el TrainRailwayLink autocontienen la geometría y horario de todo el tren en vigor.

Para el cálculo de la marcha del tren, si es necesario conocer las características de la vía, sus radios de curvatura, pendientes etc, pero solo para la publicación de la marcha del tren. Una vez calculado, solo nos interesa los puntos de paso y no la relación de estos con el resto de la red.

6. Ejemplo de solución

Se propone un supuesto en el que tenemos 3525 trenes, de los que se ha tomado su recorrido por toda la red ferroviaria española. Se ha obtenido el momento y nombre de la estación de paso a partir de los datos publicados por RENFE en su página web de horarios. Se ha simulado una segunda organización, para lo que se ha partido del horario de los trenes de RENFE y se ha calculado un subconjunto, modificando el número de cada uno de ellos y su recorrido. Se ha desarrollado un script que genera los nuevos trenes de esta organización de acuerdo a:

- Cambiar número de tren
- Identificar los códigos de estación con su identificación posterior geográfica
- Georreferenciar el recorrido
- Almacenar los fenómenos

Disponemos también de la información geográfica de los RailwayNode proporcionada por el IGN e IDEAdif. Esta se proporciona en formato Shapefile y se ha almacenado previamente en la base de datos espacial. Se han tenido en cuenta 3068 localizaciones almacenadas en la base de datos de topónimos de estaciones, en el formato EPSG25830:

“LAS MATAS”;”POINT(424073.7072 4489453.1563)”

Al descargar los recorridos de los trenes se ha encontrado el problema de que las estaciones se encuentran identificadas con su nombre y estos no se corresponden con los recogidos en la base de topónimos. Esto se debe a que los nombres no están normalizados. Por ejemplo tenemos Madrid CH para referirse a Madrid-Chamartín.

Se ha implementado un proceso para encontrar una correspondencia entre su nombre y su identificación, Para esto se ha utilizado el algoritmo expuesto en Gómez Castaño, J. 2014, basado en indexación semántica, buscando la correspondencia de cada nombre de estación con los topónimos que aparecen en la base de datos de RailwayNode. Después de encontradas las coincidencias, todavía quedan estaciones sin identificar, y se ha llevado a cabo una labor manual para su localización.

Partimos del recorrido de un tren para una organización y generamos la secuencia de los puntos de paso. Usando el esquema descrito en el Anexo I de la Directiva INSPIRE, el recorrido se convierte en una secuencia de RailwayNodes, un RailwayLink. Como se ha indicado arriba, la coordenada Z almacena la hora de entrada, salida o paso por la estación El resultado es una Linestring que almacenamos en una tabla TrainRailwayLink definida por los siguientes campos

Gid	Identificador único
numTrain	Número del tren
organization	Organización a la que pertencece el número de tren
geom	Geometría del grafo como Linestring

El campo geom almacena los linestring en el formato LINESTRING(lon1 lat1 time1, lon2 lat2 time2,....., LONn LATn TIMEn)

Un ejemplo de para la generación de cada nodo se utiliza una SFSQL como la siguiente

```
select B.”gid”,A.”codEst”, A.”horaLlegada”, ST_AsText(B.”geom”)
from public.”pasos” as A
inner join public.”dependencias_v13” as B on B.”cod_depend” = A.”codEst”
where A.”numTren” = ‘04133’
```

El resultado es que para cada número de tren tenemos un recorrido compuesto por un grafo en el que sus aristas son rectas y sus nodos las posiciones geográficas de las estaciones que recorre junto a su horario

En este trabajo se ha optado por utilizar la información almacenada en la base de datos e interrogada mediante SFSQL [SFSQL OGC] Fig 7.

Fig 7. Fenómeno TrainRailwayLink como resultado de la consulta SFSQL

Una vez georreferenciado el recorrido espacio-temporal y almacenado en la base de datos espacial, queda unívocamente relacionado el número, su recorrido y la organización que lo referencia.

El resultado de los números de tren y organización a la que pertenecen, que comparten todo o parte de su recorrido será devuelto por el conjunto de grafos que intersectan su recorrido. Utilizando una consulta SFSQL a la base de datos espacial será fácil conocerlos. Esta consulta implementa la condición representada por la Ecuación EQ1

```
select B.”numTren”, B.”organization” from public.”trainRailwayLink” as B
where ST_Intersects(b.”geom”,
        (Select A.geom from public.”trainRailwayLink” as A
        where A.”numTren” = ‘XXXX’)
        )
```

Una vez conocidas las identificaciones asociadas, podemos conocer los tramos comunes entre ellas mediante

```
select  ST_Intersection(b.”geom”,
        (Select A.geom from public.”trainRailwayLink” as A
        where A.”numTren” = ‘04133’)
        ) as intersection
from public.”trainRailwayLink” as B
where  B.”numTren” = ‘XXXX’
```

Como resultado se obtiene la geometría de la intersección

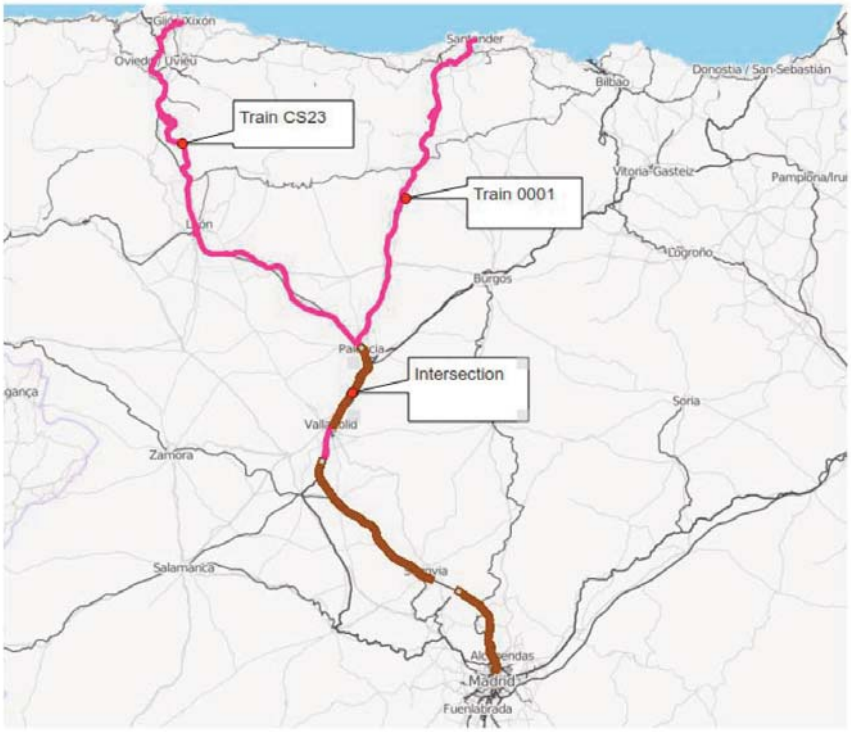


Fig 8. Grafo de los trenes y de su intersección

En la FigXX se muestra el resultado, en rosa, cada uno de los recorridos de los trenes 000A y 000C, y en marrón, el tramo con recorrido común pero numeración compartida. Una vez conocida la geometría del grafo de intersección, se puede obtener el conjunto de RailwayNodes que componen los nodos del mismo. Para cada uno de ellos, el número de tren será compuesto, dependiendo de la Organización a la que se refiera la consulta

```
select * from public.”dependencias_v13” as C
where ST_Intersects(
(select
        ST_Intersection(b.”geom”,
                (Select A.geom from public.”trainRailwayLink” as A
                where A.”numTren” = ‘04133’)
                )
```

```
        as the_geom
from public."trainRailwayLink" as B
where  B."numTren" = '04111')
,ST_SetSRID(C."geom",25830))
```

7. Herramientas utilizadas y rendimiento

Para llevar a cabo el análisis se ha utilizado una base de datos PostGIS 2.0 y lenguaje Python para la programación. También es posible el uso de otros lenguajes que pueden interactuar con el gestor de base de datos. Como ejemplo, se dispone de la librería JTS que hace posible el análisis espacial en Java Fig 9. La integración con cualquier infraestructura de Sistemas de Información Ferroviaria es inmediata.

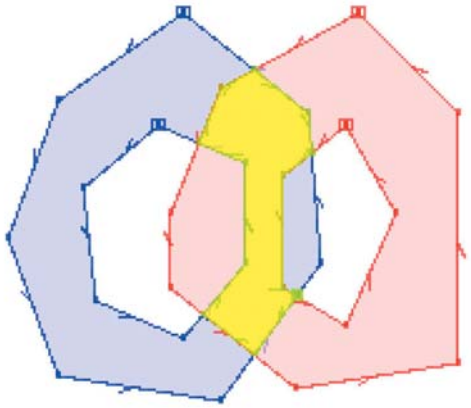


Fig 9. Intersección de geometrías utilizando la librería JTS

Los datos de recorrido de los trenes se han obtenido desde la web de RENFE y las posiciones de las estaciones de IDEAdif y el Instituto Geográfico Nacional.

El equipo utilizado es un portátil HP Probook 4540 con 4 GB de RAM, y procesador Intel i5. El tiempo medio de creación de un objeto espacial de tipo TrainRailwayLine, a partir de sus datos de circulación, es de 22 milisegundos +/- 3. Esto permite su uso para cálculos en tiempo real y no necesitar a otros de tipo Batch. El tiempo medio de consulta de un tren contra los 3557 TrainRailwayLine de la tabla es de 0,375 segundos +/- 0,015. Si la consulta se hace sobre la geometría completa de cada fenómeno, el tiempo se multiplica por un factor de 100.

Para analizar el resultados de las consultas de forma gráfica, se ha utilizado el software QGIS (QGIS 2014) en su versión 2,4 Se ha utilizado para representar los diferentes fenómenos. Además permite la creación de cartografía ad-hoc con la que se han generado los gráficos de este trabajo. Este es un software de código abierto que dispone de herramientas para el análisis espacial, gestión de la base de datos, y generación de cartografía en diferentes formatos.

Para la georreferenciación de las estaciones de paso con la información de los RailwayNode, se ha utilizado el lenguaje Python para su desarrollo

8. Posibilidades de intercambio de información

Tener en un mismo objeto espaciotemporal toda la información del recorrido del tren permite su intercambio de una forma diferente. En la actualidad existe el esquema definido por taf-tsi para el intercambio de información internacional en formato alfanumérico, utilizando un esquema Xml. Se refiere a los horarios y estaciones de paso.

El grafo básico generado en forma de linestring se puede expresar en diferentes formatos para permitir su intercambio. Es posible extender el esquema taf-tsi para incluir la información geográfica utilizando atributos GML.

Esto permite tener en el mismo mensaje toda la información del recorrido del tren sin tener que georreferenciar los puntos de paso mas que por el origen.

Para trenes internacionales la georreferenciación presenta el problema de conocer las posiciones geográficas de los puntos de otros paises. Si no se dispone de acceso a los servicios geográficos de los estados, se pueden utilizar los nuevos servicios que pone a disposición de los estados el sistema RINF. Aunque se encuentra en desarrollo en el momento de escribir este trabajo, ofrecerá a principios en 2015 un medio de consulta de estas posiciones. La Decisión actualmente en vigor está disponible en Decisión 2011/633/UE

Desgraciadamente, esta publicación no se hará a través de estándares OGC y deberá usarse un formato de datos y servicios exclusivo de RINF, aunque INSPIRE si prevee una extensión de los esquemas de transporte para incluir geometrías de más bajo nivel

Otro formato mas sencillo es GeoJSON (GeoJSON 2014), que esta pensado para la comunicacion de fenomenos espaciales, y esta basado en el estandar JSON. Sus ventajas son que los mensajes tienen un tamaño mas reducido, comparado con GML, que poseen un esquema de parseo json schema (JSON Schema 2014), y es un formato de salida nativo de las consultas SFSQL en la propia base de datos, mediante la funcion ST_AsGeoJSON(geom) en PostGIS, por ejemplo.

```
{
 “type”: “Feature”,
 “geometry”: {
  “type”: “Point”,
  “coordinates”:[424073.7072, 4489453.1563]
 },
 “properties”: {
  “station”: “LAS MATAS”
 }
}
```

```
{
 “type”: “Feature”,
 “geometry”: {
  “type”: “LineString”,
   “coordinates”: [ [100.0, 0.0, 12], [101.0, 1.0,
12,5] ]

 },
 “properties”: {
  “train”: “000A”
 }
}
```

Ejemplo de datos JSON Point y LineString

Un derivado de este formato es TopoJSON, que reduce aun mas el tamaño de las estructuras de datos y aumenta la eficiencia en su uso (Sierra Javier, Antonio 2013)

Al utilizar este tipo de formatos es posible incluir esta informacion en el catalogo de una IDE ferroviaria. Así los Administradores de la Infraesturctura publiquen servicios Web Processing Service (OGC 2007). Este servicio permite encapsular la lógica de un procesamiento geográfico en un servicio transparente para la aplicación que lo solicit, y devuelve el fenómeno resultado en formato GML El esquema de peticion seria el siguiente. Una empresa ferroviaria invoca el servicio con un mensaje que contiene la geometria basica del TrainRailwayLink correspondiente a su compañia. El proceso calcula la geometría correspondiente a la intersección con sus trenes y devuelve este fenómeno

Como simple medio de publicación, es posible hacerlo a través de servicios WFS en los que se ofrecen las geometrías de los TrainRailwayLink como un fenómeno más en una capa propia de la IDE.

9. Conclusión

Se ha presentado una metolodogía para convertir el recorrido de los trenes en elementos geoespaciales, añadiendo la componente temporal a la posición geográfica. Para la georreferenciación del trazado se há utilizado un algoritmo de indexación semántica basado en el reconocimineto de patrones en el nombre de las estaciones Esto crea un fenómeno tridimensional que se trata en los análisis espaciales.

Para ahorrar espacio de almacenamiento y tiempo de proceso se ha reducido el tamaño de las geometrias a analizar. Se há estudiado la forma de generarlas usando una simplificacion del fenomeno completo, usando un grafo solo con los RailwayNodes, y prescindido de la geometria intermedia formada por un LineString. Es una simplificación de toda la geometría del fenómeno recorrido del tren, pero com la suficiente precisión.

Como resultado del análisis de intereseccion se obtiene la lista de trenes, organizaciones, y recorrido que comparten, utilizando como base la Directiva INSPIRE para la definicion los atributos geograficos. Para la resolución, no es necsario conocer la topología de la red ferroviaria.

La creación de los TrainRailwayLine ofrece nuevas posibilidades en las que la componente geoespacial viene a complementar los procesos actualmente en vigor en el resto de aplicaciones de planificacion y gestion de tráfico. La componente temporal dentro de la geometria permite el tratamiento de cada tren teniendo en cuenta todo el horario, desde el origen al destino. Teniendo en el mismo fenómeno el recorrido y su horario, es posible llevar a cabo análisis complejos y facilitar el intercambio de información.

Se han estudiado diferentes formas para calcular la intersección de los TrainRailwayLinks, usando el analisis de grafos, bases de datos de grafos y por ultimo el analisis espacial mendiante consultas SFSQL.

Se há estudiado la mejor forma para incorporar esta solucion a un entorno ya existente dentro de un Sistema de Informacion Ferroviaria. Para ello se han utilizado extensiones espaciales propias de los gestores de bases de datos mas utilizados en cualquier organización. También se han estudiado los diferentes mecanismos para intercambiar la información entre las organizaciones, utilizando estándates OGC contemplados en INSPIRE.

Se há mostrado el sistema en un ejemplo práctico sobre la red ferroviaria Española Aunque la solución se há aplicado al caso de la red ferroviaria Española, es extrapolable a cualquier red de ferrocarriles. Con ellos se mejora la interoperabilidad de la información ferroviaria entre todos los actores que intervienen en las operaciones. El esquema descrito se apoya en INSPIRE, pero cualquier definición común de fenómenos geográficos puede utilizarse como base para la georreferenciación de los puntos de paso de los trenes, lo que se encuentra disponible en cualquier Estado. Esto hace posible que sea aplicable a cualquier red de ferrocarriles donde coexistan diferentes Empresas Ferroviarias y Aministradores de la Infraestructura.

Como objetivo futuro se plantea la posibilidad de incluir servicios de procesamiento (WPS), incluidos en las IDE de cada AI, que permitan a las empresas a exponer este tipo de funcionalidades encapsulando la complejidad de los cálculos implicados.

10. Agradecimientos

Mi agradecimiento a IDEAdif y al Centro Nacional de Información Geográfica por proporcionar los datos de localización de estaciones necesarios para elaborar este trabajo.

11. Referencias

[1] 2011/633/UE: Decisión de Ejecución de la Comisión, de 15 de septiembre de 2011 , sobre las especificaciones comunes del registro de la infraestructura ferroviaria [notificada con el número C(2011) 6383] Texto pertinente a efectos del EEE

[2] ADIF, 2013 Declaración de Red

[3] D2.8.I.7 2009 INSPIRE Data Specification on Transport Networks

[4] EIM 2014, http://www.eimrail.org/

[5] ERA 2010, IU-Recommendation on specification of RINF-Final Report

[6] GeoJSON 2014 http://geojson.org/geojson-spec.html

[7] Gómez Castaño, J. 2010 "Desarrollo de una Infraestructura de Datos Espaciales Ferroviaria basada en Software Libre" IV Jornadas de SIG libre, Universidad de Girona, marzo 2010

[8] Gómez Castaño, J 2013. "Tratamiento geoespacial del recorrido de trenes y de tramos ferroviarios: Mejoras en la interacción con la infraestructura" Jornadas Ibéricas de Infraestructuras de Datos Espaciales, Toledo, Noviembre 2013

[9] Gómez Castaño, J. 2014 "Georreferenciación de documentación ferroviaria mediante indexación semántica y su publicación, usando software libre", VIII Jornadas SIG Libre, Universidad de Girona, marzo, 2014

[10] Hansen, I 2010, Timetable planning and Information Quality, WIT Press

[11] IGN 2014 http://www.idee.es/web/guest/directorio-de-servicios?p_p_id=DIRSRVIDEE_WAR_DIRSRVIDEEportlet_INSTANCE_q4BW&p_p_lifecycle=1&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&_DIRSRVIDEE_WAR_DIRSRVIDEEportlet_INSTANCE_q4BW_descSrv=DESCARGA

[12] INSPIRE, 2007, http://inspire.jrc.ec.europa.eu/

[13] JSON Schema 2014, http://json-schema.org/

[14] JTS Libray http://www.vividsolutions.com/jts/JTSHome.htm

[15] LISIGE, 2011, http://www.boe.es/boe/dias/2010/07/06/pdfs/BOE-A-2010-10707.pdf

[16] Lüthi, M., D. Hürlimann and A. Nash (2005) Understanding the Timetable Planning Process as a Closed Control Loop, proceedings of the *1st International Seminar on Railway Operations Modelling and Analysis*, Delft, June 2005.

[17] Nandy 2012 "Frontiers in Algorithmics and Algorithmic Aspects in Information and Management" Volume 7285, 2012, pp 327-338

[18] OGC 1999 OpenGIS Simple Features Specification For SQL Revision 1.1

[19] OGC DB List http://www.opengeospatial.org/resource/products/byspec/?specid=149

[20] OGC 2007, OpenGIS® Web Processing Service

[21] OGC 2010, OpenGIS Web Feature Service 2.0 Interface Standard

[22] OGC 2012, Geography Markup Language (GML) — Extended schemas and encoding rules

[23] RailwayTransportNetwork.xsd
http://inspire.ec.europa.eu/schemas/tn-ra/3.0/RailwayTransportNetwork.xsd

[24] QGIS 2014

[25] RINF 2011, Recommendation on Specification of the Register of Intrastructure and Procedure demonstrating the level of compliance with the basic parameters of Technical Specifications for Interoperability for existing lines. European Railways Agency

[26] Roanes Lozano, Eugenio et al "Unas reflexiones sobre el reconocimiento de rutas en mapas ferroviarios y teoría de grafos", Boletín de la Soc. Puig Adam, num 78, Febrero 2008

[27] Roanes Lozano, Eugenio et al . "Estudio matemático de la evolución de la topología de la red Española de ancho ibérico 1956-2006", Vía libre Técnica, 2009

[28] Salido, M.A. et al 2008 "Robustness in Railway Transportation Scheduling" Intelligent Control and Automation, 2008. WCICA 2008. 7th World Congress on

[29] Sierra Javier, Antonio 2013 "GeoJSON y TopoJSON: comparación entre los formatos de intercambio de Información Geográfica alternativos a GML" Jornadas Ibéricas de Infraestructuras de Datos Espaciales, Toledo, Noviembre 2013

[30] TAF-TSI 2011 a, TAF/TSI Objects Identifiers Handbook

[31] TAF-TSI 2011 b Commission Regulation (EU) No 454/2011.

[32] Vicknair 2010 "A comparison of a graph database and a relational database: a data provenance perspective" Proceedings of the 48th Annual Southeast Regional Conference

FUNDACIÓN DE LOS FERROCARRILES ESPAÑOLES
www.ffe.es

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

La problemática de los pasos a nivel en la red ferroviaria de ancho ibérico y las actuaciones preventivas en el periodo 1975-2009

Problematic of level crossings on the 1,668 mm network and preventive action in 1975-2009

José Perlasia Giol (*)
Ingeniero Industrial

Resumen

El problema de los pasos a nivel en el ferrocarril es tan antiguo como la construcción de dicho medio de transporte pues tuvo su origen en la necesidad de dividir fincas, pueblos y ciudades al proyectar el trazado del mismo que creaba al propio tiempo la necesidad de cruzarlos para moverse en ambos lados del mismo.

Por ello durante muchos años las Administraciones ferroviarias únicamente tenían un acuerdo de establecer guardabarreras en aquellos pasos que afectaban a carreteras generales, cruces de un lado a otro de la vía en las ciudades y casos especiales.

El resto de los pasos a nivel se limitaban a unas señales en aspa que indicaban “Paso sin guarda. Atención al tren” y los trenes siempre han tenido preferencia con lo cual se generaban numerosos pasos accidentes en este tipo de pasos y aun en los guardados pues la mayoría de ellos no disponían ni de teléfono con las estaciones colaterales.

Las primeras actuaciones de modernización por automatización se desarrollaron en los años 1954 y siguientes en que algunas líneas ferroviarias de León y Asturias y Galicia fueron dotadas de Control de Trafico Centralizado y con ello resultaba obligado que pudieran cerrarse los pasos desde dicho Control antes de autorizar el paso de los trenes.

No fue hasta 1978 en que con la nueva gestión del Estado se creó el Ministerio de Transportes que realizó conjuntamente con RENFE una verdadera transformación de la supresión y mejora de protección de los pasos a nivel.

El artículo desarrolla las actuaciones realizadas en los aspectos citados y la correlación existente entre las mismas , especialmente la supresión de pasos a nivel y los extraordinarios resultados obtenidos en reducción de accidentes y pérdida de vidas humanas que es una actuación , en general, poco conocida en su importante magnitud.

Palabras clave: Guardabarera, control de tráfico centralizado (ctc), transmisión alámbrica, barreras levadizas, correderas, semibarreras automáticas ,semibarreras enclavadas, isletas, pedales, entablonado, candelabros, señales ópticas y acústicas.

Abstract

The problem of level crossings on the railway is as old as the construction of means of transport it had its origin in the need to divide farms , towns and cities to design the layout of it at the same time creating the need to cross them to move on either side thereof.

Thus for many years the railway authorities had only an agreement to establish gatekeepers in those steps affecting trunk roads , crosses from one side to another track in the cities and special cases.

The rest of the level crossings were limited to signals indicating saltire "Step unguarded . Service station " and trains have always had preference whereby numerous accidents steps were generated in this type of steps and even saved as most of them did not have the phone or side stations .

The first performances of automation modernization took place in 1954 and following that some railway lines León and Asturias and Galicia were equipped with Centralized Traffic Control and thus was forced to

They could close the distance from said control before authorizing the passing trains .

It was not until 1978 when the new management of the State Ministry of Transport conducted jointly with RENFE that true transformation suppression and improved protection of level crossings are created .

This paper develops the actions carried out in the areas mentioned and the correlation between them, including the removal of level crossings and incredible gains in reducing accidents and loss of life is a performance, in general, little known in its significant magnitude.

keywords: Gatekeeper, centralized traffic control (CTC), wire transmission, lifting barriers, sliding, automatic half-barriers, interlocked half-barriers, islands, pedals, planking, candlesticks, optical and acoustic.

* jperlasia@telefonica.net

1. Introducción

Una breve referencia inicial explicativa de como se generó el problema de los pasos a nivel, de que forma ha evolucionado, como se han clasificado estos en función de su nivel de riesgo y también como se afrontaba el riesgo hasta 1975; que acciones se promovieron para suprimir unos pasos a nivel y proteger mejor otros, que medios se implementaron y que evaluación se hace de su eficacia para el logro obtenido de la importante reducción de accidentes en dichos pasos que se ha logrado.

2. La necesidad del paso a nivel.

Al construirse el ferrocarril, el proyecto de trazado en unos casos interceptaba carreteras o caminos dividía algunas fincas en dos partes o bien dividía un pueblo también en dos partes al implantar la estación en una zona donde la ubicación de la misma se deseaba que fuera céntrica y accesible a la mayoría de las personas. También se daba el caso de situarla en uno de los extremos del pueblo y el crecimiento del mismo se desarrollaba al otro lado de la vía con lo cual se producía el mismo efecto que generaba la necesidad de una formula que armonizara o al menos evitara que se produjeran accidentes por arrollamiento de vehículos o personas que cruzaran la vía.

Antiguo paso a nivel de barreras levadizas accionado con transmisión alámbrica

3. La situación de los pasos a nivel con anterioridad a 1975

En 1975 el número de pasos a nivel públicos todavía en servicio en la Red, de ancho ibérico, era de 10795, siendo las diversas clases existentes, los pasos a nivel sin guardar los guardados a pie de paso por guardabarreras o bien por agentes de las estaciones y los particulares cerrados con cadena y candado.

4. El servicio del antiguo guardabarreras del paso a nivel.

Los pasos a nivel guardados a pie de paso se accionaban a manivela , desde el lado de las barreras junto a una caseta de madera, obra o casilla-vivienda del guardabarrera.. Los de la estación, generalmente se accionaban desde la propia estación levantándose y bajando las barreras mediante una manivela que accionaba una transmisión alámbrica o bien se tendían cadenas, o se empujaban barreras con ruedas, siempre con antelación al paso de los trenes ,acordando la Administración del ferrocarril y los Ayuntamientos que los trenes darían un toque de silbato al pasar por un cartelón situado 600 metros antes del paso a nivel para advertir a los que fueran a cruzarlo de la proximidad del tren.

Por otra parte las estaciones colaterales del paso a nivel debían avisar por teléfono, al guardabarrera de la llegada del tren para que cerrara el paso. Cuando el guardabarrera estaba en la propia estación el Jefe de Circulación se lo indicaba directa y verbalmente; cuando el guardabarrera estaba en la propia estación en una casilla de resguardo se lo indicaba por teléfono , pero si el guardabarrera estaba en el trayecto por cruzar allí una carretera a veces no disponía de teléfono, basándose la seguridad en los horarios y las órdenes de circulación de trenes en sus fechas.

Con estas carencias y el nivel de tecnología el número de accidentes era elevado pues la mayor parte de los guardabarreras en plena vía, ni siquiera disponían de teléfono con las estaciones colaterales para recibir los avisos de salida de los trenes hacia el paso a nivel y debían guiarse, como se ha indicado, por los horarios prescritos y una "atención permanente a la vía" como establecían las Consignas de guardería del paso a nivel para el/la guardabarrera.

En el caso de trenes especiales tenían conocimiento de que iban a circular, por sus anuncios a la vía mediante señalización convenida a la cola del tren con un banderín de día o farol de noche en el furgón de cola, todo ello con el concepto de "señalamiento a la via de trenes especiales" y con un cierto riesgo de que no fuera correctamente identificado por los guardabarreras de los pasos a nivel y pudiera pasar algún tren con las barreras abiertas.

Existían también unos pocos pasos a nivel automatizados que se habían instalado en tramos de líneas a las que se había aplicado inicialmente el (C.T.C) control de trafico centralizado en León-Asturias-Galicia cuya instalación ya iba asociada al proyecto de dicho CTC

5. Nuevas disposiciones legales en el año 1978 y siguientes

En 1978 el Ministerio de Transportes, responsable en aquel momento decidió establecer nuevas disposiciones que mejoraran notablemente la seguridad en dichos cruces de la carretera con el ferrocarril decretó mediante el R.D. 2422/ 1978 de 24 de agosto una mejora muy substancial en la protección de pasos a nivel que se detalla más adelante y que como se verá al final de este capítulo supuso una mejora extraordinaria encaminada a la supresión de los accidentes en los pasos a nivel con un notable y sostenido decremento de los mismos a partir de la aplicación de la disposición.

Posteriormente en 1993 se homologó en RENFE la protección adicional a los pasos con *señales fijas de señalización luminosa y acústica* que dio origen a una nueva clase de pasos denominada clase B, que también elevó considerablemente la protección de los mismos respecto a los de clase A protegidos con señales fijas exclusivamente.

Ya en 2001 otro Real Decreto el 740/2001 de 1 de Agosto, redobló el esfuerzo normativo legal para aumentar el rigor en la protección, supresión y establecimiento de cruces a distinto nivel que evitaban definitivamente el accidente en la intersección de la vía ferroviaria con la carretera.

Un Plan continuado de supresión de pasos a nivel por una parte y por otra la continua instalación de semibarreras enclavadas en las estaciones y automáticas en el trayecto, fueron reduciendo en 35 años (1975-2009) este riesgo público, disminuyendo de forma extraordinaria el número de accidentes anuales que se registraron. El autor por su experiencia larga y continuada en esta cuestión considera que la extraordinaria labor realizada por el Ministerio, RENFE Y ADIF no es bien conocida y valorada por el ahorro de vidas humanas que ha logrado de sencillo cálculo conocidos los accidentes mortales en 1975 y en 2009.

6. La gravedad de un accidente en un paso a nivel.

Podemos notar, que un accidente en un paso a nivel genera casi siempre al menos una víctima que o no puede salir ante la inminencia del arrollamiento , especialmente en vehículos de dos puertas si van ocupantes en los asientos traseros o permanece en el vehículo hasta el último momento intentando sacar el vehículo del paso a nivel, dándose casos de proyección fuera de la vía y otros de quedar atrapado bajo la locomotora o coche de cabeza con cabina de conducción en los automotores y de rescate dificilísimo.

Figura 4.2. Vehículo arrollado en un paso a nivel de una urbanización

7. Las clases de pasos a nivel

Clase A. Pasos a nivel protegidos por señales fijas.

Es la protección mínima que puede haber. Para señalizarlo a la vía, sólo tienen un cartelón de "Silbar" a 500 metros a cada lado del PN Para la carretera, tienen varias señales entre ellas "Paso a Nivel sin barreras", la de "Parada obligatoria" y la de "Adelantamiento prohibido". Está instalada en PPNN con un momento de circulación inferior a 1000 y sólo en plena vía

Paso a nivel de clase A, protegido por señales fijas

Clase B . Pasos a nivel protegidos por señales fijas, luminosas y acústicas cuya instalación en los pasos a nivel de RENFE se inició en 1993 después de su homologación.

Tienen algo más que señales fijas. En este caso cuentan con señales luminosas y acústicas, es decir, las SLA. Para la vía tienen los mismos cartelones que antes, y además una Señal Ferroviaria de Paso a Nivel

(SFPN) que indicará al maquinista si el PN está protegido o no. Para la carretera, además de las señales de antes, tiene un semáforo con dos luces rojas intermitentes y de una sonería de tipo campana o timbre. El semáforo y la sonería se encienden, al menos, 30 segundos antes del paso del tren. En PPNN con un momento de circulación (AXT) superior a 1000 e inferior a 1500 y sólo en plena vía.

Paso a nivel de clase B, protegido por señales fijas, luminosas y acústicas

Clase C. Pasos a nivel protegidos por semibarreras enclavadas con las señales de las estaciones, ubicados dentro de las mismas y pasos a nivel automáticos ubicados en el trayecto entre dos estaciones colaterales cuyo cierre y apertura se produce automáticamente por la proximidad del tren para cerrarse y por el accionamiento de un dispositivo de apertura después de haber rebasado su cola de tren dicho paso

Además de las señales acústicas y luminosas los interiores de estaciones, tienen unas barreras enclavadas. De esta clase son las SBE. Para la vía son iguales que los de antes y para la carretera también, pero con las barreras. Las barreras pueden ser de varios tipos. Pueden ser barreras completas (que cruzan toda la carretera), pueden ser semibarreras (que cruzan sólo uno de los carriles) o pueden ser semibarreras dobles (dos semibarreras que cruzan, cada una, un carril). La sonería y los semáforos se encienden 45 segundos antes del paso del tren (60 para semibarreras dobles). Entre 6 y 8 segundos después de comenzar la sonería y los semáforos, las barreras, semibarreras o semibarreras de entrada (en el caso de las semibarreras dobles) empiezan a bajar y tienen que tardar entre 7 y 10 segundos en bajar completamente. Si son semibarreras dobles, las de salida empiezan a bajar cuando las de entrada hayan terminado. Está instalada en PP.NN. con un momento de circulación (AxT) superior a 1000 e inferior a 1500 en plena vía y en estaciones

Clase D. Se trata de pasos a nivel situados tanto en vía general como en estaciones en las que en las líneas que no se alcancen velocidades superiores a 40 km/h cuando el Momento de circulación (AxT) sea superior a 1000 e inferior a 1500. Son pasos a nivel protegidos en régimen de Consigna , que son unas instrucciones específicas establecidas por la Administración ferroviaria para regular la utilización del paso a nivel en cuestión. Podrán ser sustituidos por la clase B o la clase C , antes descritas siempre que exista acuerdo entre el Titular del camino y el Titular de la Explotación ferroviaria.

Clase E. Se trata de pasos a nivel protegidos con barreras o semibarreras con personal al pie de paso, exclusivamente con carácter transitorio hasta que se lleve a efecto la instalación de clase B o C en cada caso

Clase F. Son pasos a nivel con protección específica para el uso exclusivo de peatones o de peatones y ganado.

Además de los anteriores , que son públicos, existen también otro tipo de pasos llamados *particulares* siempre cerrados con barrera o cadena y candado que son antiguos contratos entre la Administración y particulares para acceder a sus fincas en condiciones especificas establecidas y bajo la total responsabilidad del particular, que poco a poco se van suprimiendo al disponer de otras alternativas de acceso a dichas fincas sin cruzar el ferrocarril.

A modo de ejemplo, las figuras 4.5 y 4.6 corresponden respectivamente a imágenes de un paso a nivel de tipo A con sus señales fijas, de tipo B con sus señales fijas, luminosas y acústicas, de tipo C en su modalidad de dobles *semibarreras enclavadas* dentro de una estación y de tipo C también en su modalidad de *semibarreras automáticas* cuando están ubicados entre dos estaciones.

8. Aspectos técnicos que se ofrecen a la solución del problema.

Un paso a nivel es un punto de intersección de un trazado ferroviario con otra vía de comunicación terrestre, situada en el mismo plano del paso a nivel, permitiéndose en dicho espacio concreto el tránsito de vehículos y de personas sobre la vía férrea respetando las disposiciones legales relativas a estos y las órdenes de los sistemas de seguridad que puedan estar instalados

De entrada las alternativas que se ofrecen, como es evidente y siempre que sea posible, es su supresión mediante un paso a distinto nivel inferior o superior en función de las exigencias del entorno de su ubicación y cuando ello no es posible por diversas razones debe mejorarse al máximo posible la tecnología de protección , debiendo considerarse siempre a extinguir aquellos cuya protección es simplemente las señales fijas que tienen en su proximidad y en su inmediatez que por supuesto es totalmente Legal en el momento actual.

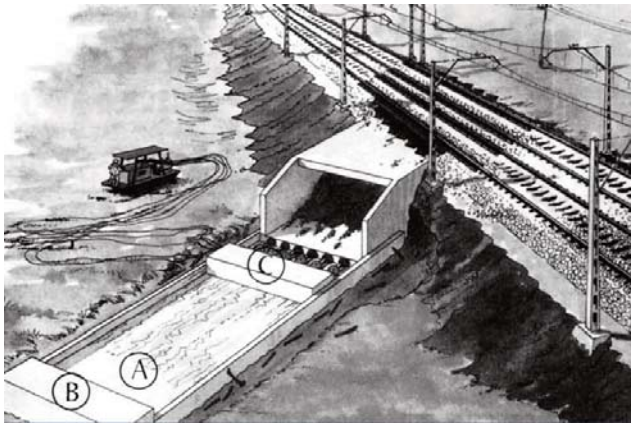
No obstante la consideración Legal del paso a nivel, de la Normativa vigente que exige respeto y cumplimiento de la Ley a los conductores de vehículos de carretera, a los peatones de la misma y a los maquinistas de los trenes, a veces se producen incumplimientos por parte de las personas que intervienen y se producen accidentes la mayor parte de ellas de carácter mortal para la parte más débil que es la persona o el vehículo que lo cruza indebidamente o inoportunamente sin precaución y este es el problema inicial que se trata de solucionar satisfactoriamente.

Es evidente que si se pudiera suprimir en todos los casos el paso a nivel o deprimir la línea ferroviaria desaparecería este tipo de accidentes pero como ello no es posible, al menos en el corto plazo que sería la solución radical del problema, este nos orienta hacia la solución a la que debe tenderse y que como se verá el Ministerio y la Administración ferroviaria ha ido aplicando con gran acierto e interés y aportación de muchos medios y recursos.

Actuaciones continuadas del Ministerio y de la Administración ferroviaria.

Dado que esta solución apuntada no es totalmente posible, el Ministerio y la Administración ferroviaria de RENFE-ADIF han recurrido en los últimos 35 años a otras soluciones como son *el paso a distinto nivel en unos casos y una protección técnica de mayor garantía* que no deja de precisar el respeto absoluto a las órdenes de señales de carretera y barreras o semibarreras que en su posición bajadas no autorizan el paso.

El objeto del Capítulo es analizar la labor realizada en relación con los resultados de menor número de accidentes ocurridos, en decrecimiento constante y definir la eficacia de cada una de las soluciones aportadas y la línea a seguir frente a este problema tan antiguo como el propio ferrocarril pero en vias de total solución. La figura 4.3 muestra un sistema de supresión de un paso a nivel.



Figua 4.3. Innovación tecnológica de construcción de un paso a distinto nivel

9. Las innovaciones tecnológicas relacionadas con los pasos a nivel

Para el nivel de protección de supresión del paso a nivel las innovaciones tecnológicas constructivas aplicadas en el periodo 1975-2009 de esta cuestión de supresión de pasos a nivel merecen una referencia en el proyecto ya que aportan entre otras ventajas la reducción de tiempo y menores costes de construcción, *seguridad en la ejecución y en la circulación de los trenes* mientras se construye. El procedimiento es el del cajón de hormigón ejecutado fuera de la vía donde va a instalarse, orientado su eje en la dirección de su posición final bajo la vía, con un empuje posterior teniendo la vía apoyada en un empaquetado de carriles y preparación adecuada de perfiles metálicos para cruzar bajo ella.

Cuando no es posible aplicar el procedimiento anterior por la topografía de la zona donde va a suprimirse el paso a nivel y a construir otro a distinto nivel, se recurre a otro procedimiento conocido que es construir unas pantallas de hormigón ,fig. 4.4, bajo la vía manteniendo esta en servicio con limitación de velocidad y una losa sobre las mismas sobre la cual finalmente descansará la vía y bajo la losa quedará el nuevo vial de circulación de vehículos a distinto nivel

Figura 4.4. Supresión de un paso a nivel y construcción de un paso inferior al lado

Cuando no es posible aplicar la solución más eficaz y definitiva con los métodos anteriores que es la supresión , es necesario evaluar y determinar el tipo de protección innovadora más adecuado en función de la peligrosidad del paso a nivel según el criterio que se expone a continuación:

El producto de la intensidad media diaria de circulación de vehículos por el tramo de carretera afectado por el paso a nivel, multiplicado por el número de circulaciones diarias de trenes , denominado momento del paso, da idea del riesgo y por tanto del nivel de protección que debe tener.

Cuando el cruce entre el ferrocarril y la carretera se producía en el trayecto entre dos estaciones el guardabarrera si no disponía de teléfono debía estar permanentemente atento a la llegada de los trenes por su horario o su anuncio si eran especiales o su supresión mediante una señalización en cola del tren anterior.

Con el tiempo esta situación en que los trenes generaban mucho ruido, humo, golpes rítmicos en las juntas de carriles y se desplazaban a bajas velocidades constituyendo esto una alarma o aviso para las personas del entorno ha dado paso a una vía soldada silenciosa por la que circulan los trenes con velocidades de hasta 155 km/h con lo cual el tiempo de reacción es mínimo.

Por distintas razones y fallos diversos el hecho es que durante años se han generado accidentes que mediante las actuaciones que a continuación se expondrán se han ido resolviendo hasta llegar a un nivel de alta seguridad, con las actuaciones que aquí se expondrán y las soluciones técnicas que las realizan.

10. Disposiciones legales existentes antes de 1975 y entre 1975 y 2009

Antes de 1975.

Al examinar la legislación existente sobre pasos a nivel con anterioridad a 1975 año de inicio del estudio, encontramos la siguiente:

Decreto del 20 de septiembre de 1962 nº 2408/62 que establece resumidamente lo siguiente:

"Los pasos a nivel que hasta entonces podían estar protegidos por barreras y señales con AxT > 24000 deberán ser suprimidos y sustituidos por pasos a distinto nivel "

"Los pasos a nivel con AxT < 24.000 deberán estar protegidos por un sistema de seguridad adecuado con arreglo a las Normas que dicte el Ministerio de Obras Públicas"

Las obras de RENFE que den lugar a un paso a nivel se someterán a examen de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas que determinará la protección a aplicar"

Orden del Ministerio de Obras Públicas del 30 de Diciembre de 1967 por la que se establece el uso de semibarreras automáticas en pasos a nivel:

"Se aprueba el uso de semibarreras automáticas cuando el AxT< 24000 a título provisional siempre que la semibarrera automática esté homologada por el Ministerio de Obras Públicas y siempre que las semibarreras queden totalmente cerradas 30 segundos antes del paso del tren.

Orden del Ministerio de Obras Públics del l 27 de Enero de 1972 por la que se reconocen los sistemas adecuados de protección de pasos a nivel sitos en la zona comprendida entre las señales de las estaciones ferroviarias cualquiera que sea el valor de Ax T de dichos pasos y que estas semibarreras esten enclavadas con las señales de entrada y salida de estas estaciones mencionadas, de forma que para que las semibarreras estén abiertas las señales de entrada y/o salida de las estaciones estén en indicación de parada (rojo).Cuando vayan a autorizarse movimientos de entrada o salida de trenes las semibarreras estarán totalmente cerradas 30 segundos antes del paso de los trenes.

Entre 1975 y 2009.

Volviendo a la grafica del número de accidentes totales en los pasos a nivel que tal como se indica fueron 140 acumulados a 31 de diciembre de 1975, podemos ver sobre el gráfico nº 2 una nota insertada relativa a la publicación del:

Real Decreto 2422/1978 de 28 de agosto:

Este Real Decreto supuso en su momento un aumento de rigor considerable en la protección de pasos a nivel de forma que sustancialmente establecía :

-Una prohibición de instalar ningún paso a nivel nuevo

-La implantación de guardería en todos aquellos pasos cuyo A x T fuera superior a 2500

-La implantación de guardería en todos aquellos pasos en que el AxT fuera superior a 1500 y la visibilidad desde el paso a nivel respecto al tren fuera menor de 500 m.

—La dotación de señales fijas de peligro , pasos a nivel sin barreras, stop, señales horizontales etc

Al propio tiempo hay que considerar también que los planes del Ministerio respecto a *actuaciones de supresión en pasos a nivel* en los mismos 7 años fueron de 1500 pasos a nivel menos aproximadamente. Sin embargo el año *1987 se produjo un repunte en la gráfica* que aumenta de 53 accidentes a 82 de difícil explicación a pesar de las investigaciones realizadas, en parte atribuible a un aumento importante del parque automovilístico unido a que el conductor vehículos nunca es lo suficientemente precavido para los riesgos de un paso a nivel, pero inmediatamente volvió a producirse un descenso continuado de los accidentes continuando por otra parte el proceso de supresión, también continuado, llevado a cargo por el Ministerio de Fomento.

La labor del Estado y la Administración ferroviaria continua y en 1990 se inician los ensayos de los nuevos sistemas de protección de señales luminosas y acústicas activadas por pedales en la via del ferrocarril situados a una distancia de 1500 m y en vista de los resultados satisfactorios son homologados por RENFE en 1993 procediéndose inmediatamente a su instalación especialmente en los pasos tipo A con AxT mayor de 1500 y falta de visibilidad de 500 m y también en los de Ax T mayor de 2500.

En la evolución de la gráfica de accidentes se observa un descenso continuado más suave desde 1980.

El Estado en su labor continuada de supresión de pasos a nivel y de mejora de los sistemas de protección publica un nuevo decreto el 780/2001 de 1 de Agosto en el que aumentó el rigor en las disposiciones de protección forzando a la construcción de pasos a distinto nivel en todos los nuevos cruces de carretera – ferrocarril , la concentración de cruces cuando existan varios pasos a nivel en determinadas condiciones de proximidad para cruzar la via a distinto nivel y otras disposiciones complementarias.

Al propio tiempo el Ministerio de Fomento desplegó una Campaña en los medios de comunicación de televisión y publicaciones escritas advirtiendo de los riesgos en los pasos a nivel y desarrollando una fuerte critica a la “cultura de saltarse los pasos a nivel” por parte de los conductores de vehículos , lo cual unido a la continuada supresión de pasos a nivel forzó el *descenso continuado del número de accidentes llegando a 12 en 2009, hecho que puede considerarse como una labor muy eficaz en 35 años (1975-2009) al pasar de 140 a 12*.

La tabla nº 3 [Dr. Arques J.L.(2007)] sintetiza los criterios de la Orden del 2-8-1981 indicando claramente para cada clase de paso a nivel, la correspondiente clase de protección en vía general y en estaciones considerando en su caso el momento A*T y las particularidades de las Clases.

Tabla nº 3-1. Aplicación de las distintas protecciones de pasos a nivel por clases

	CLASES DE PROTECCIÓN	VÍA GENERAL			ESTACIONES
		AT<=100	100<AT<=1.000	1.000<AT<=1.500	
CLASE A	SEÑALES FIJAS		Dr < Dt V < 40 Km/h		TRANSITORIO PREFERIBLE CLASE C
CLASE B V > 40Km/h	ID CLASE A SEÑALES LUMINOSAS SEÑAL ACÚSTICA		Dr < Dt	A < 100	
CLASE C V > 40Km/h	ID CLASE B SEÑAL DE BALIZAMIENTO AUTOMÁTICA ó ENCLAVADA			A < 100	TODOS LOS CASOS EXCEPTO PARTICULARES Y F
CLASE D V < 40Km/h	SEÑALES FIJAS RÉGIMEN DE CONSIGNA			SUSTITUIDOS POR CLASE B ó C	
CLASE E	SEÑALES FIJAS SEÑALES LUMINOSAS SEÑAL ACÚSTICA SEÑAL DE BALIZAMIENTO ACCIONADA POR GUARDABARRERAS	ÚNICAMENTE CON CARÁCTER TRANSITORIO HASTA INSTALACIÓN DE PN CLASE B ó C			
CLASE F	SEÑALES FIJAS SEÑALES LUMINOSAS SEÑAL ACÚSTICA SEÑAL DE BALIZAMIENTO	USO EXCLUSIVO PARA PEATONES CON GANADO			

11. Los pasos a nivel de las clases A y B

Los registros de accidentes de las Direcciones de Seguridad en la Circulación de RENFE y ADIF relativos al total de accidentes en pasos a nivel de todas clases y también de los específicos correspondientes a los pasos a nivel protegidos por señales fijas y posteriormente en 1993 por señales luminosas y acústicas, que son los denominados clase A y clase B, a los que legalmente correspondía por tener un AxT (producto del número de automóviles diarios (A) por el número de trenes también diarios(T), con un valor superior a 2500 y menor que 10.000, registran un considerable descenso que va de 140 accidentes en 1975, valor acumulado a 31 de diciembre de dicho año y correspondiente al mismo a 12 accidentes en 2009 con el mismo concepto.

El autor del trabajo se plantea estudiar en este Capítulo si las acciones desarrolladas desde 1975 por el Estado a través del Ministerio correspondiente y las Administración ferroviaria de RENFE desde 1975 hasta 2004 y de ADIF desde dicho año hastael 2009, final del periodo de estudio, R una correlación clara de manera que dicha reducción sea el resultado de la eficacia de las actuaciones y acciones aplicadas al problema de estos pasos a nivel de clase A y B..

Grafica nº GR 5B DWG.

-En esta gráfica que tiene por objeto representar agrupadamente la evolución de los distintos hechos obtenidos por investigación que tienen relación con los pasos a nivel entre los años 1975 y 2009 para tratar de correlacionarlos , podemos hacer las siguientes observaciones:

<u>En abscisas</u>.

La gráfica está destinada básicamente a representar la evolución de los accidentes en los pasos de clase A y clase B entre 1975 y 2009.y los hechos que han influido en ello.

La grafica se dispone sobre una base formada por una tabla que contiene tres filas de arriba a abajo; en la superior, los años correlativos, debajo el número total de accidentes de todas clases entre 1975 (1626 accidentes) y 2009.(57 accidentes)

En la fila inferior el total de accidentes en pasos a nivel de las clases A y B también entre 1975 y 2009

En ordenadas

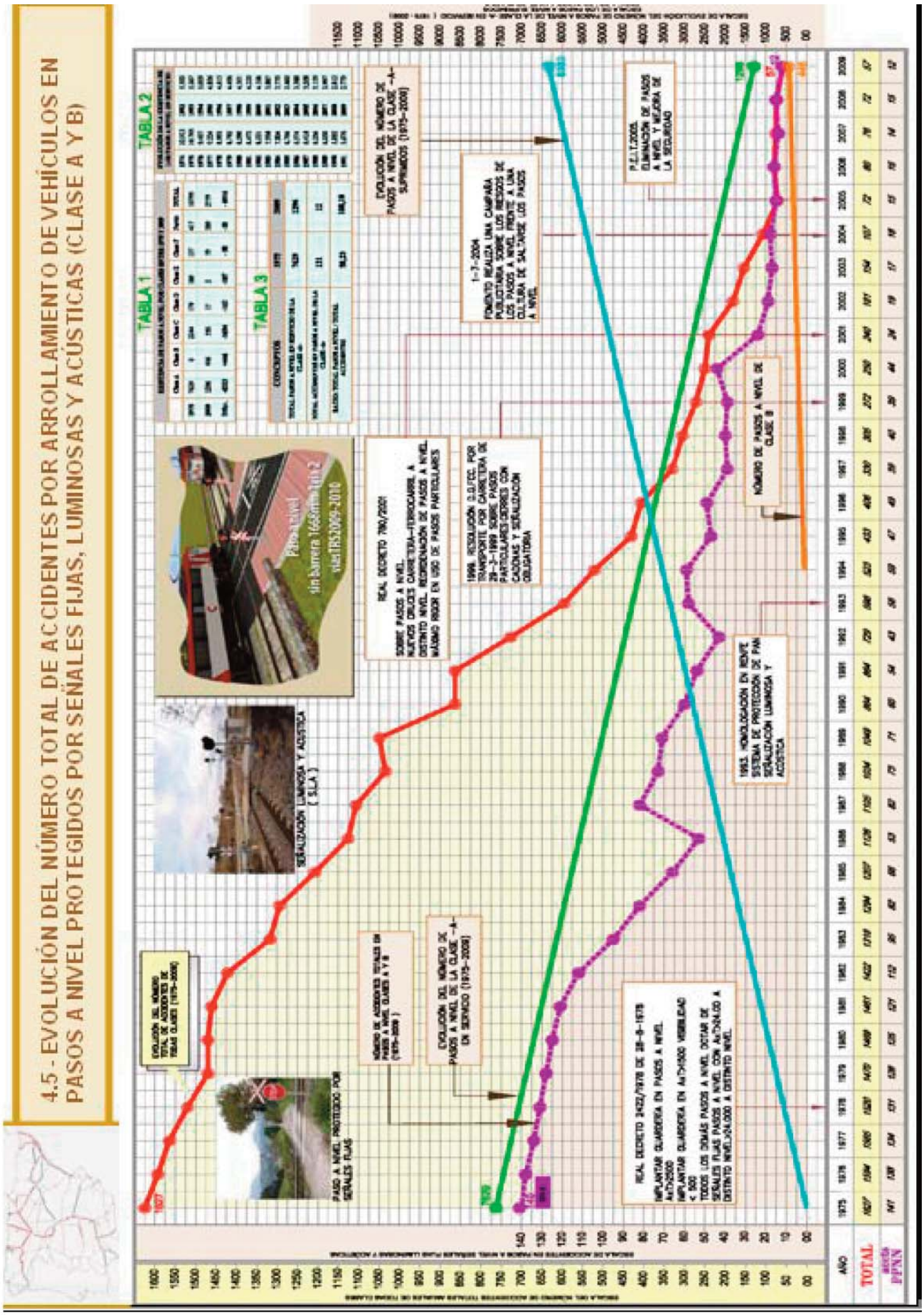
- La escala vertical más a la izquierda corresponde al número total de accidentes de todas clases cuya grafica esta dibujada en color rojo.(0-1600)
- La escala de la derecha, más corta, de 00 a 140 esta destionada a medir la evolución del total de accidentes anuales desde 1975 (140 accidentes) hasta 2009 (12 accidentes)
- La gráfica de *color granate* representa la evolución del número total anual de accidentes en el conjunto de los pasos a nivel A y B.
- En el gráfico se incluyen también, sobre los años que fueron decretadas las *actuaciones legislativas mediante Reales Decretos y Ordenes Ministeriales publicada por el Estado en el periodo 1975-2009* para observar sus efectos, con posterioridad a la fecha de la disposición en la evolución de accidentes.
- La gráfica de color verde representa la evolución global de los pasos a nivel de clase A en servicio , entre 1975 (7629 pasos a nivel) y 2009 (1296 pasos a nivel) que como es evidente, supone una reducción importante teniendo en cuenta que su protección se basa únicamente en las señales fijas y por lo tanto la seguridad , en que "*se detengan frente al stop del paso a nivel observen a un lado y otro de la via si se acerca algún tren y si es que no, crucen con marcha corta pero con diligencia el paso a nivel"* .
- *Los trenes deben silbar a 600 metros del paso a nivel para avisar de su proximidad frente a un cartelón con una S" pero a las velocidades actuales 600 metros son recorridos por un tren en 24 segundos y de ahi la peligrosidad del paso a nivel y la conveniencia de su supresión que es la solución definitiva.*
- *Por ello la acción de máxima eficacia en un paso a nivel protegido por señales fijas es su* ***supresión y sustitución por otro a distinto nivel o concentración de varios pasos a nivel próximos en uno a distinto nivel.***

Supresión de pasos a nivel próximos y sustitución por otro a distinto nivel**.**

La necesidad de suprimir un determinado paso a nivel protegido únicamente por señales fijas por sus riesgos específicos o por su AxT a veces presenta dificultades por su elevado

coste y en este caso se efectúa un estudio de todo el entorno de dicho paso a nivel por un lado y otro de la via , identificando otros pasos a nivel y al mismo tiempo la posibilidad de aprovechar o ampliar un camino paralelo a la vía para suprimir 2, 3 o más pasos sustituyéndolos por uno a distinto nivel más o menos centrado o donde sea menos costoso y más conveniente por un conjunto de circunstancias favorables.

El Ministerio y ADIF, efectuan con carácter continuado estos estudios en función de los planes parciales , las necesidades urgentes y los recursos económicos disponibles para resolver situaciones de este tipo y lograr un plan de supresión de pasos a nivel que evidentemente unido a no autorizar ninguno nuevo, es la solución definitiva.


4.5 - EVOLUCIÓN DEL NÚMERO TOTAL DE ACCIDENTES POR ARROLLAMIENTO DE VEHÍCULOS EN PASOS A NIVEL PROTEGIDOS POR SEÑALES FIJAS, LUMINOSAS Y ACÚSTICAS (CLASE A Y B)
TABLA 1
TABLA 2
TABLA 3
REAL DECRETO 2422/1978 DE 28-9-1978
REAL DECRETO 784/2001
1993. HOMOLOGACIÓN EN RENFE SISTEMA DE PROTECCIÓN DE PAN SEÑALIZACIÓN LUMINOSA Y ACÚSTICA
P.E.I.7.2005. ELIMINACIÓN DE PASOS A NIVEL Y MEJORA DE LA SEGURIDAD
1-3-2004 FOMENTO REALIZA UNA CAMPAÑA PUBLICITARIA SOBRE LOS RIESGOS DE LOS PASOS A NIVEL FRENTE A UNA CULTURA DE SALTARSE LOS PASOS A NIVEL
1994. RESOLUCIÓN D.G.F.C. POR TRANSPORTE POR CARRETERA DE 29-3-1999 SOBRE PASOS PARTICULARES DOTADOS CON CADENAS Y SEÑALIZACIÓN OBLIGATORIA
SEÑALIZACIÓN LUMINOSA Y ACÚSTICA (S.L.A.)
PASO A NIVEL PROTEGIDO POR SEÑALES FIJAS
AÑO
TOTAL
PASOS A NIVEL

Visión global de la supresión y transformación de pasos a nivel en el periodo 1975-2005.

A continuación presentamos una sencilla tabla (T. 4-2)que permite formar concepto de la gestión de supresión y transformación de pasos a nivel realizada en el periodo de estudio 1975-2009.

Sobre esta primera tabla realizamos algunas observaciones:

- El número de pasos a nivel de clase A , con protección de señales fijas disminuyó entre 1975 y 2009 en 6333 pasos, por distintos motivos objeto de investigación
- La observación de la columna de la clase B, nos indica que en 1975, todavía no se había implantado esta modalidad de paso a nivel y homologado por RENFE y el sistema se inició la implantación en el año 1993, habiéndose instalado 446 unidades desde dicho año hasta el 31 de diciembre de 2009, final del periodo de estudio.

Tabla 4-2. Existencia de pasos a nivel de las distintas clases en 1975 y en 2009

	Clase A	Clase B	Clase C	Clase D	Clase E	Clase F	Partic	TOTAL
1975	7629	0	2244	179	189	137	417	10795
2009	1296	446	550	17	2	79	389	2779
DIF	**-6333**	**+446**	**-1694**	**-162**	**-187**	**- 58**	**-28**	**- 8016**

- El número de pasos a nivel de clase A , con protección de señales fijas disminuyó entre 1975 y 2009 en 6333 pasos, por distintos motivos objeto de investigación que son en primer lugar por supresión si no está justificada su permanencia , en segundo lugar por un plan parcial que agrupe varias supresiones y condtruya un paso a distinto nivel en el lugar más adecuado como antes se ha razonado.
- La observación del cero de la columna de la clase B, nos indica que en 1975, todavía no se había implantado esta modalidad de paso a nivel y homologado por RENFE y el sistema se inició la implantación en el año 1993, habiéndose instalado 446 unidades desde dicho año hasta el 31 de diciembre de 2009, final del periodo de estudio.
- Observando el valor de la clase C correspondiente a semibarreras enclavadas, semibarreras automáticas y guarderías con personal a pie de paso vemos que se han reducido de 2224 en 1975 y a 550 en 2009, que tiene su explicación en pasos a nivel suprimidos por otros a distinto nivel por su valor de AxT.
- Respecto a la Clase D quedan ya muy pocos, y son los que están ubicados en líneas por las que no se circula a más velocidad de 40 km/h y por ello la solución es la dispuesta que es convertirlos en clase C dotándolos de semibarreras enclavadas si están en estaciones o de semibarreras automáticas si están en plena via.
- Los de clase E, se han ido equipando con los medios de protección definidos en Real Decreto y han disminuido a la mitad . Son tanto para peatones como para ganado y tienen el condicionante de requerir cruces a nivel por las resistencia de las personas a las escaleras y la imposibilidad de hacer cruzar el ganado a distinto nivel o por pasos inferiores,

- Los particulares normalmente están cerrados con cadena y candado o cancela y cerradura y registran muy pocos accidentes aunque estos están agregados en el conjunto de A y B por : criterio de la Dirección de Seguridad de RENFE1975 y 2009 la gestión conjunta del MINISTERIO , RENFE Y ADIF, ha tenido como resultado la supresión de 8016 pasos a nivel que es una solución de máxima eficacia para la prevención de pasos a nivel y teniendo en cuenta que se partía de una cifra de 10.975 pasos a nivel se considera que existe correlación causa – efecto toda vez que además los accidentes anuales en el mismo periodo descendió de 140 a 12.

Como el número de pasos a nivel en servicio no es el único factor relacionado con accidentes es lógico pensar en otros factores que hayan contribuido al descenso de la probabilidad de que haya un accidente como por ejemplo los niveles de protección de los pasos a nivel que están en relación también con las disposiciones legales que se han ido decretando elevando el nivel de seguridad en los pasos a nivel y otros factores como los planes parciales continuados de supresión de pasos a nivel que ha desarrollado continuamente el Ministerio de Fomento o el de Obras Públicas.

Considerando la notable reducción del *número de accidentes totales de pasos a nivel de las clases A y B* en el periodo 1975-2009, en relación con las disposiciones adoptadas por el Estado en primer lugar con la elevación del nivel de protección en el año 1978, la implementación de las señales luminosas y acústicas en los pasos a nivel de clase A, que lo requerían, en 1993 y un nuevo aumento del nivel de protección en el año 2001, así como la actuación permanente del Ministerio de Fomento la labor de supresión de pasos a nivel y las campañas de sensibilización en los medios de comunicación en 2004 , respecto a los riesgos existentes al cruzar un paso a nivel, el autor del trabajo estima que existe correlación suficiente entre las actuaciones realizadas por el Estado y RENFE y los resultados obtenidos en la reducción de accidentes en los pasos a nivel de clase A y B y que es el procedimiento eficaz de tratamiento de este riesgo eligiendo siempre que sea posible la supresión del paso a nivel , figura 4.8, a pesar de los costes que se amortizan con un solo accidente que se evite y si en ese momento no es posible disminuir los riesgos con su tecnificación , figura 4.9.

Actuaciones realizadas en los pasos a nivel clase A y clase B

Fig. 4.8. Supresión de un paso a nivel de la clase A y sustitución por un paso superior

Los pasos a nivel de las clases C,D y E.

Examinamos ahora , la influencia de las actuaciones sobre los pasos a nivel protegidos por semibarreras automáticas semibarreras enclavadas y guardería a pie de paso que corresponden a las clases C, D y E, en la reducción de los accidentes en dichas clases de pasos a nivel, registrada durante el periodo 1975-2009.

Para ello el autor del trabajo estudia si las acciones desarrolladas desde 1975 por el Estado a través del Ministerio correspondiente y las Administraciones ferroviarias de RENFE, hasta 2004 y ADIF desde dicho año hasta 2009, final del periodo de estudio, presentan una correlación clara de manera que dicha reducción corresponda a acciones muy concretas de evidente eficacia para la reducción de acidentes que se ha producido

Figura 4.10. Clase C. Dobles semibarreras enclavadas

En algunos casos, figura 4.10, es necesario evitar que las barreras puedan ser sorteadas por su carácter de semibarreras, cerrando solo la mitad del paso para que puedan salir los vehículos , pero si hay mucha intensidad de automoviles o cruzan el paso peatones se utilizan las dobles semibarreras enclavadas con las señales de entrada y salida de las estaciones para afrontar el problema como en el ejemplo de la figura superior.

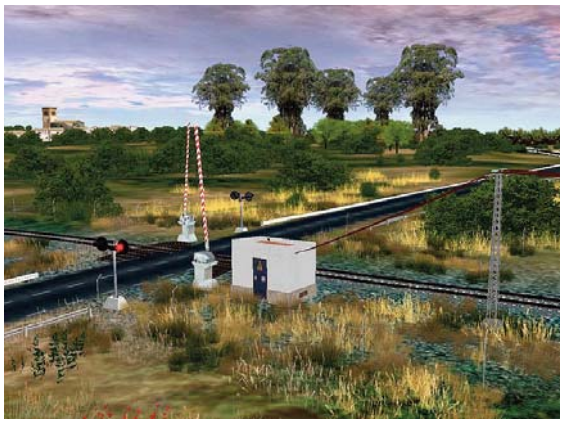


Figura 4.11. Clase C.Semibarreras automáticas

Las semibarreras automáticas, figura 4.11, se aplican en plena vía entre dos estaciones colaterales , se accionan mediante un pedal en la via cuando el tren se aproxima al paso a nivel y se levantan mediante otro pedal una vez que el tren ha superado el paso a nivel. Estas sustituyen a las antiguas guarderias a pie de paso servidas por guardabarreras.

12.1. Metodología de trabajo. Exposición de datos. Análisis de ratios.

Se integra sobre un gráfico con el título ACTUACIONES EN PASOS A NIVEL fig 4.12, página siguiente, toda la información investigada y obtenida en forma de gráficas consistentes en líneas quebradas y las tablas con datos para la elaboración de las mencionadas gráficas.

12.2 Gráficas

Línea gráfica nº 1 (color rojo)

Evolución del número *total anual de accidentes de todas clases* a 31 de diciembre de cada año entre 1975 (1.627 accidentes) y 2009 (57 accidentes) .

El dibujo de esta gráfica se establece en base a la tabla que se inserta en la parte inferior con la primera fila dedicada a los años que comprende el estudio , desde 1975 hasta 2009 y en la primera fila de la parte inferior el total de accidentes de todas clases. Debajo de esta fila están igualmente año por año la evolución de los correspondientes accidentes en los pasos a nivel protegidos por semibarreras automáticas , enclavadas y a pie de paso (clases C, D y E).

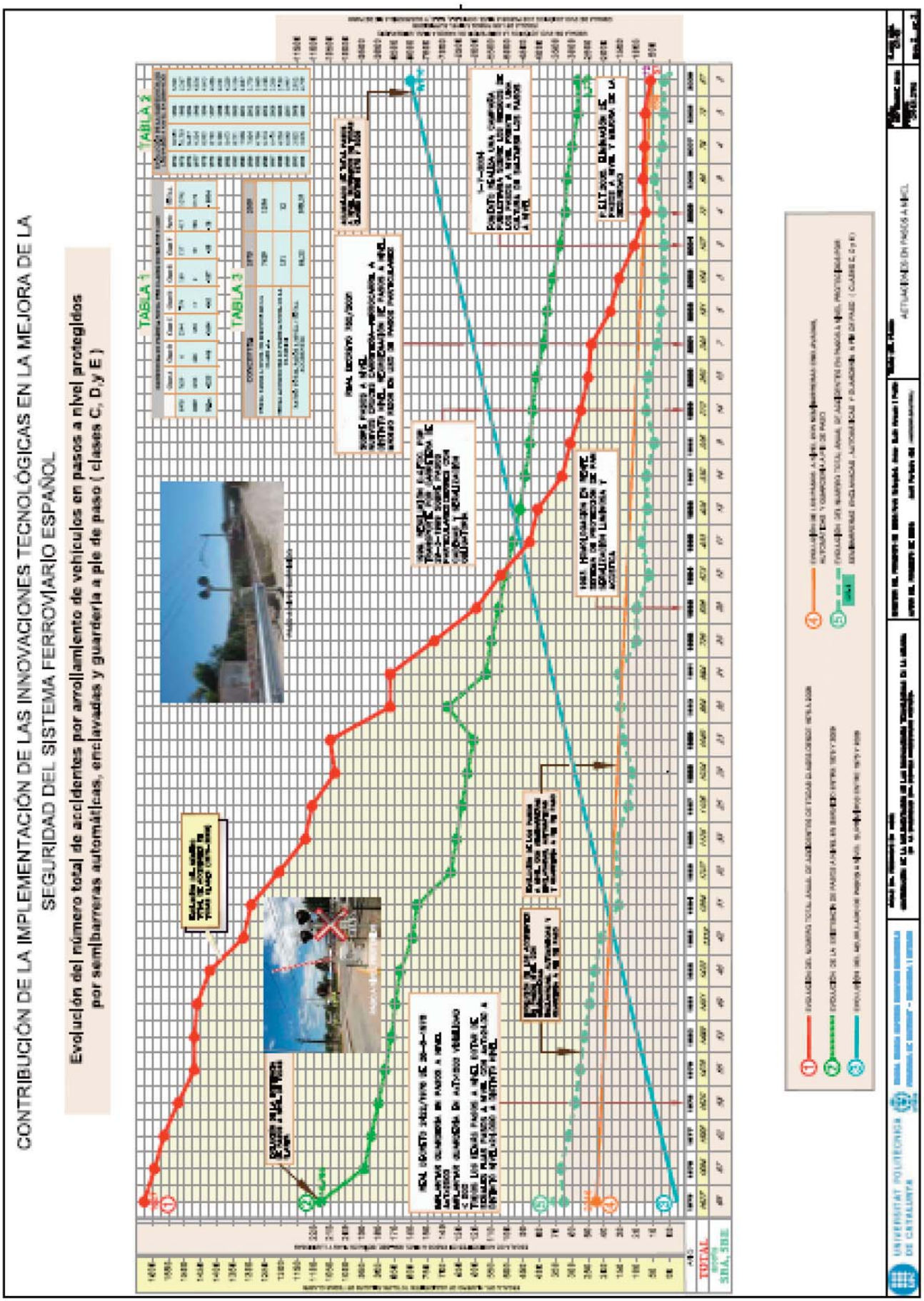
La escala correspondiente a este valor es la primera de la izquierda con valores comprendidos entre 00 y 1600 y la escala de la derecha va de 00 a 220 para poder medir valores puntuales de accidentes en un año determinado.

Línea gráfica nº 2 (color verde)

Nos señala la evolución de la *existencia de pasos a nivel que quedan en servicio* a 31 de diciembre de cada año, entre 1975 y 2009. Pasa de 10.795 en 1975 a 2779 en 2009.

Las actuaciones del Ministerio de Fomento y de Renfe/Adif, se fu eron desarrollando a lo largo de los 35 años , mejorando la señalización de protección de los pasos a nivel, implementando semibarreras automáticas que sustituyan a las guarderías de guardabarreras servidas a pie de paso, instalando semibarreras automáticas en pasos a nivel de los trayectos que por su A* T deban tenerlas e instalando también semibarreras enclavadas en las estaciones para que no sea necesario servirlas con personal de la estación o accionarlas desde la propia estación con procedimientos mecánicos de transmisión alámbrica para bajar y subir las barreras levadizas.

Fig. 4.12. Pasos a nivel protegidos de las clases C


CONTRIBUCIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS INNOVACIONES TECNOLÓGICAS EN LA MEJORA DE LA SEGURIDAD DEL SISTEMA FERROVIARIO ESPAÑOL
Evolución del número total de accidentes por arrollamiento de vehículos en pasos a nivel protegidos por semibarreras automáticas, enclavadas y guardería a pie de paso (clases C, D,y E)
TABLA 1
TABLA 2
TABLA 3
TOTAL
SBA, SBE

Por otra parte a lo largo del periodo ha existido una acción intensa y continuada para la supresión de grupos de pasos a nivel dentro de una zona mediante diversas soluciones de agrupamiento en uno único a distinto nivel. El balance de esas actuaciones en los 35 años de periodo de estudio es el que reduce los pasos a nivel existentes de 10.795 en 1975 a 2779 en 2009, es decir 8.016 pasos a nivel menos en 2009.

Línea gráfica nº 3 color azul) P(co asos *a nivel suprimidos de todas clases entre 1975 y 2009* a 31 de diciembre de cada año, partiendo de 1975 inicio del estudio. Pasa de 0 en 1975, inicio del estudio a 8.016 en 2009, y es balance de la labor realizada en el periodo de estudio en cuanto a supresión de pasos a nivel, actuación que anula todo riesgo.

Línea gráfica nº 4 (color butano) Evolución de los *pasos a nivel con semibarreras enclavadas , automáticas y guardería a pie de paso, a 31 de diciembre de cada año.*

Esta clase de protecciones pasa de 2244 en 1975 a 550 en 2009, estando la diferencia integrada en los suprimidos puesto que muchos de ellos ya rebasaban el producto A*T > 24.000, que obligaba a su supresión o conversión en paso a distinto nivel.

Línea gráfica nº 5**.(** color verde trazo largo) Evolución de los *accidentes en pasos a nivel con semibarreras enclavadas , automáticas y guardería a pie de paso.*Estos han pasado de 65 accidentes en 1975 a 3 en 2009 que puede considerarse una reducción casi óptima.

La existencia de pasos a nivel de las distintas clases A,B,C,D, y E y particulares en 1975, inicio del estudio y 2009, final del estudio.

Los resumimos en las siguientes tablas:

Tabla nº 1. Resume la *existencia de pasos a nivel de las distintas clases A,B,, C,, D, E, F y particulares, en 1975, inicio del estudio y 2009*, final del estudio resumiendo en la diferencia la disminución de todas las clases salvo en la clase B (señales fijas, luminosas y acústicas que no existían en 1975) dando datos de magnitud de la labor realizada en las 35 años, del periodo estudiado.

Tabla 4-2. Existencia de pasos a nivel de las distintas clases en 1975 y en 2009

	Clase A	Clase B	Clase C	Clase D	Clase E	Clase F	Partic	TOTAL
1975	7629	0	2244	179	189	137	417	10795
2009	1296	446	550	17	2	79	389	2779
Difer.	**-6333**	**+446**	**-1694**	**-162**	**-187**	**- 58**	**-28**	**- 8016**

Sobre esta tabla anterior realizamos ya algunas observaciones :

a) Observando el valor de la clase C correspondiente a semibarreras enclavadas, semibarreras automáticas y guarderías con personal a pie de paso vemos que se han reducido de 2224 en 1975 y a 550 en 2009

b) Respecto a la Clase D, pasos a nivel quedan ya muy pocos pues siguiendo lo ordenado por disposición legal se han ido convirtiendo en clase C de semibarreras automáticas o enclavadas.

c) Los pasos a nivel de clase E, para peatones y ganado, se han ido equipando con los medios de protección definidos en Real Decreto y han disminuido a la mitad . Tanto para peatones como para ganado tienen el condicionante de requerir cruces a nivel por las resistencia de las personas a las escaleras y la imposibilidad de hacer cruzar el ganado a por pasos a distinto nivel.

d) particulares normalmente están cerrados con cadena y candado o cancela y cerradura y registran muy pocos accidentes aunque estos están agregados en el conjunto de A y B por criterio de la Dirección de Seguridad de RENFE

Tabla nº 4.3

Esta tabla detalla la "Evolución de la existencia de los pasos a nivel en servicio" desde 1975 hasta 2009 y nos permite ver numéricamente como se fueron reduciendo los pasos a nivel en servicio en la medida que se iban desarrollando las actuaciones del Ministerio y de RFNFE / ADIF. Su grafica GR-4B ,correspondiente esta representada con el número 2 en color verde en el plano ACTUACIONES EN PASOS A NIVEL incorporado en la página anterior.

Tabla 4-3. Evolución de la existencia de los pasos a nivel en servivio

Año estudio	Pasos a nivel existentes a 31 -12	Año Estudio	Pasos a nivel existentes a 31 -12	Año Estudio	Pasos a nivel existentes a 31 -12	Año estudio	Pasos a nivel existentes a 31 -12
		1981	8.473	*1991*	5.676	*2001*	3.887
		1982	8.321	*1992*	5.503	*2002*	3.770
		1983	7.938	*1993*	5.267	*2003*	3.660
		1984	7.804	*1994*	5.039	*2004*	3.388
1975	10.795	*1985*	6.766	*1995*	4.836	*2005*	3.208
1976	9.437	*1986*	6.574	*1996*	4.615	*2006*	3.159
1977	9.224	*1987*	6.418	*1997*	4.456	*2007*	2.997
1978	8.993	*1988*	6.236	*1998*	4.301	*2008*	2.812
1979	8.792	*1989*	6.050	*1999*	4.220	*2009*	2.779
1980	8.590	*1990*	5.852	*2000*	4.106		

Tabla nº 4.- 3

Partiendo de la consideración de que el riesgo de accidentes en pasos a nivel aumenta con el número de los que están en servicio disponemos una tabla de doble entrada de la que son datos conocidos el número de pasos a nivel de la clase A en servicio en 1975 y el número existente en 2009. .

Si bien sería deseable poder conocer año a año dentro del periodo 1975 -2009 las variaciones de número total de pasos a nivel de la clase A en servicio para poder relacionarlos con el total de accidentes ocurridos a 31 de diciembre de cada año , no ha sido posible lograr los datos.

Por lo que se insertan los de 1975 y 2000 principio y final del periodo de estudio que también se considera que tienen suficiente significación.

Examen de las disposiciones legales decretadas entre 1975 y 2009 y observación de los probables efectos que ellas pueden haber causado en la evolución de la gráfica de accidentes en pasos a nivel registradas en el mismo período.

Volviendo a la grafica del número de accidentes totales en los pasos a nivel que tal como se indica fueron 65 acumulados a 31 de diciembre de 1975, podemos ver sobre el gráfico nº 2 una nota insertada relativa a la publicación del

Real Decreto 2422/1978 de 28 de agosto que supuso en su momento un aumento de rigor considerable en la protección de pasos a nivel de forma que sustancialmente establecía :

a) *Una prohibición de instalar ningún paso a nivel nuevo, salvo en determinadas obras por un periodo determinado y con autorización del Ministerio.*

b) *La implantación de guardería en todos aquellos pasos* ***c****uyo Ax T fuera superior a 2500.*

c) *La implantación de guardería en todos aquellos pasos en que el AxT fuera superior a 1500 pero la visibilidad desde el paso a nivel respecto al tren fuera menor de 500 m.*

d) *La dotación de señales fijas de peligro , paso a nivel sin barreras, stop, señales horizontales etc*

Examinando la evolución de la gráfica de accidentes inmediatamente después de iniciarse la *aplicación del Real Decreto mencionado* se observa un descenso continuado durante 5 años consecutivos 1979-1984 , en los que el número total anual de accidentes desciende de 65 a 31 efecto que invita a pensar en una correlación manifiesta entre las disposiciones adoptadas y la reducción de accidentes producida. Corroboran estas observaciones de resultados las manifestaciones de los gestores de Renfe que tuvieron a su cargo la dirección de pasos a nivel en aquel periodo respecto a que en su concepto, este Real Decreto fue el más efectivo de todo el periodo pues la reducción de los accidentes a la mitad en 7 años nos da un nivel de eficacia muy superior a la de lograda en todo el periodo , 65 accidentes a 3 en 35 años, si bien también es cierto que cabe señalar la precariedad y carencias de instalaciones de protección de los pasos a nivel con anterioridad a 1975.

Al propio tiempo hay que considerar también que los planes del Ministerio respecto a *actuaciones de supresión en pasos a nivel* en los mismos 7 años fueron de 1500 pasos a nivel menos aproximadamente, actuación de máxima eficacia para suprimir accidentes en pasos a nivel.

Sin embargo el año *1991 se produjo un repunte en la gráfica* que aumentó de 23 accidentes que era el mínimo conseguido en 1988 a 30 accidentes con difícil explicación a pesar de las investigaciones realizadas pero inmediatamente en 1993 vuelve a producirse un descenso continuado de los accidentes y prosigue por otra parte el proceso de supresión continuado llevado a cargo por el Ministerio de Fomento llegando en 2009 a 3 accidentes próximo al cero.

El Real Decreto 1211/1990, de 28 de septiembre, regulaba los cruces de carretera u otras vías de comunicación con las líneas férreas en el artículo 235 de la sección II del capítulo II de su Título VII, y demás preceptos concordantes.

El Estado en su labor continuada de supresión de pasos a nivel y de mejora de los sistemas de protección d elos pasos a nivel, publica un nuevo decreto el R.D. 780/2001 de 1 de Agosto en el que aumenta el rigor en las disposiciones de protección forzando a la construcción de pasos a distinto nivel en todos los nuevos cruces de carretera –ferrocarril , la concentración de cruces cuando existan varios pasos a nivel en determinadas condiciones de proximidad para cruzar la via a distinto nivel y otras disposiciones complementarias.

Este Real Decreto 780/2001 de 1 de agosto consideraba que si bien el índice de accidentalidad en los pasos a nivel existentes en la red ferroviaria española había ido disminuyendo de forma constante en los últimos años anteriores a 2001 , era preciso reforzar las medidas necesarias para la eliminación, o la reducción al máximo posible, de los riesgos potenciales de accidentes en dichos pasos, para lo cual se estimaba necesario introducir determinadas modificaciones en el régimen normativo vigente sobre pasos a nivel.

Con dicha finalidad, este Real Decreto modificó el citado Reglamento estableciendo las medidas necesarias para llevar a efecto la eliminación del mayor número de pasos a nivel existentes y facilitando la promoción de las actuaciones de mejora de la protección de dichos pasos en todos aquellos puntos en que no sea factible su supresión quedando modificadas las disposiciones vigentes de acuerdo con el siguiente resumen:[1]

Resumen del Real Decreto 780/2001 de 1 de agosto

" Los cruces de carreteras u otras vías de comunicación con líneas férreas que se produzcan por el nuevo establecimiento o la modificación de unas u otras, deberán en todo caso realizarse a distinto nivel.

Los órganos administrativos competentes sobre los correspondientes ferrocarriles y carreteras, así como las entidades que tengan a su cargo la infraestructura ferroviaria, procederán, en los plazos que las disponibilidades presupuestarias permitan y conforme a los convenios que, en su caso, pudieran establecerse a dicho efecto, a la supresión de los pasos a nivel existentes y, en su caso, a su sustitución por cruces a distinto nivel, cuando, de las características de los mismos se desprenda que dicha supresión resulta necesaria o conveniente

El Ministerio de Fomento, directamente o a través de las entidades que tengan a su cargo la infraestructura ferroviaria, con el objeto de preservar y mejorar la seguridad de los usuarios de las carreteras y caminos y del ferrocarril podrán realizar la reordenación de pasos a nivel, así como la de sus accesos, tanto de titularidad pública como privada, garantizando en este último caso el acceso al predio servido mediante la concentración de aquéllos y, en su caso, supresión de los que no resulten estrictamente imprescindibles.

Los pasos a nivel que resulten subsistentes conforme a la aplicación de lo preceptuado en los párrafos anteriores, deberán contar con los sistemas de seguridad y señalización adecuados para garantizar su seguridad, de acuerdo con las reglas que, en función de sus diversas características, establecerá a tal efecto el Ministro de Fomento

Los pasos a nivel particulares existentes establecidos para el servicio de determinadas fincas o de explotaciones de cualquier clase, se regirán por las condiciones fijadas en la correspondiente autorización, quedando expresamente prohibida su utilización por tráficos o personas distintas o para fines diferentes de los comprendidos en aquélla.

[1] Resumen del Real Decreto 780/2001 de 1 de agosto en sus disposiciones más directamente relacionadas con el aumento de seguridad en cruces de pasos a nivel.

Los órganos competentes podrán, de oficio o a propuesta de las entidades que tengan a su cargo la infraestructura ferroviaria, decretar el cierre o clausura de los pasos a nivel particulares cuando los titulares de los mismos no respeten rigurosamente las condiciones de la autorización o no atiendan debidamente a su conservación, protección y señalización, o cuando el cruce de la vía pueda realizarse por otros pasos cercanos, a igual o distinto nivel"

Al propio tiempo el Ministerio de Fomento despliega una Campaña en los medios de comunicación de televisión y publicaciones escritas advirtiendo de los riesgos en los pasos a nivel y desarrollando una fuerte critica a la "cultura de saltarse los pasos a nivel" por parte de los conductores de vehículos , lo cual unido a la continuada supresión de pasos a nivel fuerza el descenso continuado del número de accidentes llegando a 12 en 2009, hecho que puede considerarse como una labor muy eficaz en 35 años (1975-2009) al pasar de 140 a 12.

Observaciones relativas a las actuaciones en pasos a nivel de clases C, D y E

Considerando la notable reducción del *número de accidentes totales de pasos a nivel de las clases C, D y E* en el periodo 1975-2009, en relación con las disposiciones adoptadas por el Estado en primer lugar con la elevación del nivel de protección en el año 1978, y un nuevo aumento del nivel de protección en el año 2001, así como la actuación permanente del Ministerio de Fomento la labor de supresión de pasos a nivel y las campañas de sensibilización en los medios de comunicación en 2004 , respecto a los riesgos existentes al cruzar un paso a nivel, el autor del trabajo estima que existe correlación suficiente entre las actuaciones realizadas y los resultados obtenidos y que es el procedimiento eficaz de tratamiento de este riesgo.

- *El R.D. 2422/1978 de 24-8-1978* elevó considerablemente el nivel de protección de los pasos a nivel y suprimió la posibilidad de instalar nuevos pasos implantando guardería a partir de un A*T>2500 y de 1500 con visibilidad menor de 500m. cuya actuación coincidió con una reducción de accidentes de 128 en 1979 a 43 (33,5%) en 1992 en cuya fecha se tomaron adoptaron. nuevas disposiciones legales
- Con las disposiciones del R.D. 780/2001 de 1-8-2001 que redoblo el rigor del R.D. 2422/1978, se produjo una nueva reducción **pasando de 44 accidentes en el año 2000 a 12 accidentes el 2009** año final del estudio.
- En el periodo 1975-2009 el número de pasos a nivel de la clase A se redujo por supresión o cambio a clase B (señales ópticas y acústicas además de fijas) **de 7629 a 1966, es decir, 6333 pasos menos**.
- **El conjunto de las tres actuaciones con alto nivel de eficacia las tres , redujo los accidentes de 140 en 1975 a 12 accidentes en 2009.**

Respecto a los pasos a nivel de clases C,D y E

a) El R.D. 2422/1978 de 24-8-1978 elevó considerablemente el nivel de protección de los pasos a nivel y suprimió la posibilidad de instalar nuevos pasos implantando guardería a partir de un A*T>2500 y de 1500 con visibilidad menor de 500m. cuya actuación coincidió con una reducción de accidentes de 65 en 1975 a 3 (4,6 %) próximo ya al objetivo óptimo.

b) Las disposiciones del R.D. 780/2001 de 1-8-2001 no mejoraron especialmente la reducción en este tipo de pasos a nivel pues ya presentan un alto nivel de protección salvo imprudencias o transgresiones legales que son las que originan en el caso más general los escasos accidentes que se produjeron en los últimos años del estudio (2009).

c) Supone una disminución muy importante de la probabilidad de accidente en los pasos Durante el periodo 1975-2009 los pasos a nivel protegidos por semibarreras automáticas y enclavadas, clase C, se redujeron de 2244 a 550 por supresión y construcción de pasos a distinto nivel. Los pasos a nivel de clase D, de régimen de Consigna se redujeron de 179 a 17 por conversión a clase C y los de clase E, guardería a pie de paso de 189 a 2 por conversión en clase C.

d) Una ratio establecida entre número de pasos a nivel en servicio y accidentes ocurridos pone de relieve que las condiciones técnicas de protección de los pasos a nivel han pasado de 40,18 a 189,66 el número de pasos que deben existir en servicio de las clases C, D, y E para que se produzca un accidente lo que supone dichas clases .

e) Con el conjunto de las acciones descritas de alto nivel de eficacia , los accidentes en los pasos de clase C, D y E , se redujeron de 65 en 1975 a 3 en 2009 como antes ya se ha indicado.

13. Conclusiones

En conclusión global, las actuaciones sobre Disposiciones Legales del Estado (Ministerio de Fomento) y las técnicas de las administraciones ferroviarias de RENFE / ADIF consistentes básicamente en elevar los niveles de protección de los pasos a nivel y suprimir otros sustituyéndolos por pasos a distinto nivel con o sin concentración de pasos en uno a distinto nivel han resultado de una gran eficacia, reduciendo por otra parte la probabilidad de que se produzcan accidentes en los pasos a nivel por el grado de protección alcanzado y señalan la línea correcta para reducir a cero o a mínimos de difícil eliminación, por imprudencia, los accidentes en pasos a nivel, estimando el autor que existe una clara y evidente correlación de causa a efecto en las actuaciones desarrolladas y los resultados obtenidos, hipótesis que se pretendía probar.

Fig.4.13. Paso elevado en la carretera de La Peña a Jaca para supresión de un paso a nivel

Fig.4.14. Paso a nivel protegido por semibarreras enclavadas con las señales y paso peatonal señalizado.

FUNDACIÓN DE LOS FERROCARRILES ESPAÑOLES
www.ffe.es

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

¿Son justificables unas Cercanías de alta velocidad?: El caso gallego

Can a high speed commuter rail be justified? The Galician case

José Enrique Villarino Valdivielso
Economista. Ex Jefe de Planificación de Cercanías de RENFE Operadora (1994-2005)
Ex Jefe del Gabinete de Proyectos Estratégicos de la Dirección General de los Servicios de ALTA VELOCIDAD- LARGA DISTANCIA de RENFE Operadora (2006-2008)

Resumen

Este artículo se organiza en torno a tres partes. La primera parte, llama la atención acerca del modelo poblacional y territorial gallego y las limitaciones que conlleva a fin de desplegar un conjunto de servicios ferroviarios del corte de "cercanías", es decir de gran capacidad de transporte, altas frecuencias y tiempos de viaje competitivos con otros modos.

La segunda parte, pone la atención en las distorsiones que el modelo anterior produce sobre la operación de los servicios, conformando elevados recorridos medios de los viajes, lo que induce, a su vez, a tener que programar recorridos largos de los trenes con los elevados costes asociados que conlleva una producción poco aprovechada, debido a la debilidad de una demanda recurrente. A estos, hay que añadir los extra costes de operar buena parte de la oferta con infraestructuras y vehículos tipo Avant de altos costes de inversión, mantenimiento y explotación.

La tercera y última parte, advierte a las autoridades de la inevitable expansión del ya abultado déficit actual, de producirse el trasvase y generalización de los servicios bajo estándares de una operación al modo de "Cercanías", tal y como se entiende en otras zonas españolas, desaconsejando tal decisión. Un decisión de este tipo vendría a ser algo así como hacerse trampas en el solitario las propias autoridades, no queriendo ver los efectos insostenibles, máxime en la actual coyuntura de crisis sistémica.

Palabras clave: Galicia, Cercanías, Alta Velocidad, Ferrocarril.

Abstract

This article is divided into three sections. In the first section, it presents Galicia's population and territory models. It also presents the limitations that the deployment of a commuter type rail services with high transport capacity, high frequencies and travel times which are competitive with other transport modes.

The second section discusses the distortions that such a service can have on the operation of the commuter rail services, with large average distance travelled, which require programming long train trips, which entails great costs because of the low load factor, due to a low recurrent mobility. To these costs, it is necessary to add the additional costs which will be incurred as it will be required to operate an important percentage of the offer with Avant type vehicles which have high costs of investment, maintenance and operations.

The third and last section warns the authorities of the unavoidable expansion of the already large deficit, if the current services are transformed into a commuter type operation, as it is done in other Spanish regions, recommending not to adopt such decision, which would be equivalent to look to the other side so as not to see the unsustainable effects, moreover with the current systemic crisis.

Keywords: Galician, Commuter, High Speed, Rail.

jevillarino@yahoo.es

Una precisión terminológica

Cuando nos referimos a los núcleos de Cercanías españolas, los solemos denominar así: núcleos de Cercanías, (núcleo de Cercanías de Madrid, núcleo de Cercanías de Barcelona, etc) referidas en la mayoría de los casos a una capital y su entorno urbano o metropolitano más inmediato. No decimos, ni hay, unas Cercanías andaluzas, ni levantinas, ni aragonesas, ni vascas, etc. Hay Cercanías de Sevilla, de Málaga, de Zaragoza, de Bilbao, etc. La única excepción la de Asturias, que a diferencia del resto, la red sirve a un sistema trinario de ciudades, caso algo, pero no del todo, parecido al de Galicia.

Hace años, cuando en 1990 se crean oficialmente las Cercanías, nada menos que con rango de dirección general, esto lo resolvió RENFE, diferenciando entre los servicios regionales y de Cercanías, limitando éstos a distancias no superiores, por regla general, de 100 km y tiempos de viaje no superiores a 60-90 minutos.

En buena ley, no se debe hablar de "Cercanías gallegas", sino de Cercanías de La Coruña, o de Vigo, por ejemplo, diferenciadas, cada una de ellas con un núcleo central y sus hinterlans satélites. Una explotación así concebida difícil, porque el territorio, la distribución de la población, las bajas ligazones funcionales las hacen inviables, tanto por insuficiencia de movilidad y por tanto de demanda, como por sobre costes de oferta. Para una explotación de óptica "regional", ya están los servicios de MD actuales.

Algunos rasgos que definen a las Cercanías ferroviarias

El poblamiento gallego adolece de estructuras metropolitanas potentes para articular un sistema de centro-periferias, que es donde las cercanías encuentran el terreno de juego más adecuado. Por otro lado, las cercanías ferroviarias encuentran una de sus ventajas en su capacidad de ser capaces de transportar grandes volúmenes de pasajeros, con estándares de confort y tiempos de viaje competitivos frente a otros modos .

En segundo lugar, las mayores demandas de viajes se producen en aquellas líneas en las que predomina la movilidad obligada; es decir, la que se nutre de viajes de trabajo y estudios, fundamentalmente.

Poco de esto se da en el escenario de la movilidad gallega. En primer lugar, el poblamiento gallego, a excepción de los hinterlands de Vigo, y en menor medida de La Coruña, no existen áreas urbanas, no digamos ya metropolitanas, dominantes y potentes. Ambas ciudades lideran áreas urbanas, con núcleos dotados de un cierto autonomismo funcional.

Indudablemente, la presencia de unas Cercanías ferroviarias se justifica allí donde existen demandas importantes de movilidad, y de movilidad recurrente. Ofertar trenes de gran capacidad y altas frecuencias de servicio allí donde no hay demanda suficiente, lo hemos dicho innumerables veces, es "matar moscas a cañonazos".

Tampoco cabe olvidar que un sistema ferroviario de Cercanías, hasta el momento presente, se financia en nuestro país con recursos de la Administración Central, es decir, con el esfuerzo fiscal de todos los contribuyentes, dispongan éstos, o no, de dichos servicios. Por ello, es muy importante a la hora de planificar estos servicios vigilar para que no se produzcan inadecuaciones entre la oferta programada de servicios y la demanda existente. Es muy habitual en la programación de los servicios por parte de las autoridades de transporte que se produzcan situaciones de sobrecapacidad instalada. Lo que en lenguaje cotidiano, la calle suele llamar despilfarro.

Parte I:

El modelo poblacional y territorial gallego

1.1. Envejecimiento, dispersión y escasa jerarquía urbana

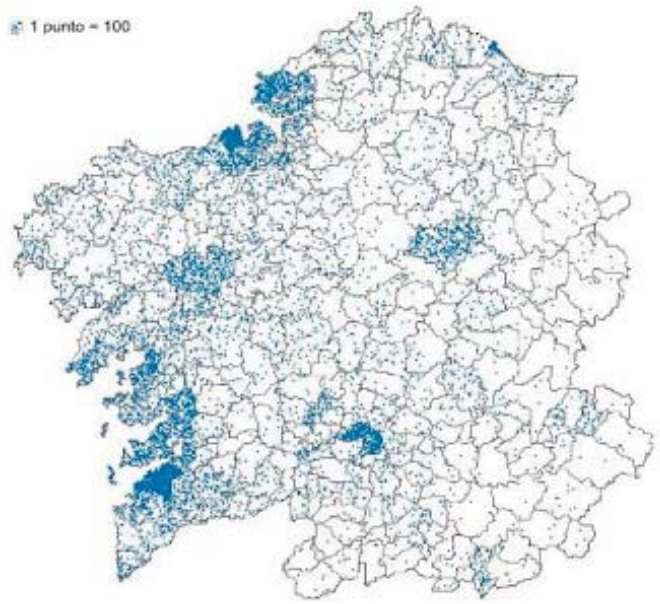


Figura 1. Un hábitat muy disperso y de escasa jerarquía urbana
Fuente: "Panorama demográfico de Galicia. 2007. IGE

El tradicional sistema de asentamiento poblacional, basado en la delimitación religiosa de la parroquia, ha conformado el disperso gallego, que, a su vez, y precisamente por ello, adolece de un sistema de núcleos suficientemente jerarquizados. Esta estructura tiene consecuencias sobre todo en los servicios y en las dotaciones de activos públicos. En concreto, en el transporte, la dispersión poblacional crea problemas graves de accesibilidad y, sobre todo, en el sistema ferroviario, carente de la capilaridad que tienen el vehículo privado y el autobús.

Tabla 1. Elevada y creciente dependencia y envejecimiento de la población gallega

	Total		
	Índice de envellecemento	Índice de sobreenvellecemento	Índice de dependencia global
2010			
Galicia	137,6	14,7	50,1
A Coruña	133,8	13,7	48,4
Lugo	206,0	17,1	58,2
Ourense	208,0	17,0	60,1
Pontevedra	104,6	13,5	46,2
2021			
Galicia	158,1	19,3	58,7
A Coruña	153,0	18,3	58,2
Lugo	220,6	22,5	63,9
Ourense	228,2	22,2	66,4
Pontevedra	130,6	18,0	55,4

IGE. Proxeccións de poboación a curto prazo

Galicia, ha sufrido, quizá la que más de las regiones españolas, los zarpazos de la emigración. Desde finales del siglo XIX hasta más que mediado el XX, la sociedad gallega se vio impelida a buscar en la emigración el sustento que no le daba la tierra natal. Las primeras oleadas de principios del siglo XX se dirigieron fundamentalmente a sudamérica, Argentina, Paraguay, Uruguay, Brasil, Venezuela, etc, como antes lo había sido a Cuba, que llegó a ser la 5ª provincia gallega.

Las consecuencias de ello, se están pagando hoy y, todavía, se seguirán pagando en un futuro. La población gallega es hoy una población muy envejecida y con unas elevadas tasas de dependencia, envejecimiento y dependencia que prosiguen y proseguirán en años, lustros, venideros.

A la dispersión antedicha se unen estas dos características, y conforman una demografía muy poco dinámica si se tiene en cuenta, además, el bajo perfil de la natalidad y fecundidades gallegas. Como consecuencia, se puede afirmar que tasas de reposición poblacionales positivas, son una excepción en el paisaje demográfico gallego.

Tabla 2. Las proyecciones oficiales prevén importantes pérdidas de población a corto y medio plazo

	2002	2012	2022
Coruña,A	1.095.177	1.123.734	1.082.606
Lugo	357.050	337.259	311.849
Ourense	337.968	321.223	289.892
Pontevedra	903.538	946.686	915.312
Galicia	2.693.733	2.728.903	2.599.659

Fuente: INE.Instituto Nacional de Estadística

Tabla 3. Jerarquía urbana de Galicia

Áreas Urbanas

au	nombre	num_mun	pob	2004p	inc	%	km2	densidad
A001	Coruña (A)	9	393470	373422	20048	5.37	469.69	837.72
A002	Vigo	6	365936	376357	9579	2.55	358.1	1077.73
A003	Ourense	12	144718	143089	1629	1.14	607.38	238.27
A004	Lugo	3	103241	97584	5657	5.80	469.15	220.06
A005	Santiago de Compostela	4	146889	135721	11148	8.21	451.94	324.97
A006	Ferrol	8	150676	151615	-939	-0.62	430.6	349.92
A007	Pontevedra	3	102087	98010	4057	4.14	286.89	355.77
A008	Vilagarcía de Arousa	1	37576	35053	2523	7.20	44.24	849.37
A009	Carballo	1	30990	29521	1469	4.98	186.09	166.53
A010	Marín	1	25969	25706	263	1.02	36.68	707.99
A012	Ribeira	1	27518	26623	895	3.36	68.83	399.80
A014	Ponteareas	1	23172	21049	2123	10.09	125.56	184.55
A021	Cangas	1	25748	24643	1105	4.48	38.08	676.16
A022	Estrada (A)	1	21880	22217	-337	-1.52	280.77	77.93
A023	Lalín	1	21254	20698	556	2.69	326.83	65.03

Jerarquía

cu	au	sau	conurbacion	area	subarea
M001	A001		Coruña (A) - Carballo	Coruña (A)	
M001	A001	S017	Coruña (A) - Carballo	Coruña (A)	Arteixo
M001	A009		Coruña (A) - Carballo	Carballo	
M002	A002		Vigo - Ponteareas	Vigo	
M002	A014		Vigo - Ponteareas	Ponteareas	
M003	A003		Ourense	Ourense	
M004	A004		Lugo	Lugo	
M005	A005		Santiago de Compostela	Santiago de Compostela	
M005	A005	S016	Santiago de Compostela	Santiago de Compostela	Ames
M006	A006		Ferrol	Ferrol	
M007	A007		Pontevedra - Marín	Pontevedra	
M007	A010		Pontevedra - Marín	Marín	
M008	A008		Vilagarcía de Arousa	Vilagarcía de Arousa	
M012	A012		Ribeira	Ribeira	
M021	A021		Cangas	Cangas	
M022	A022		Estrada (A)	Estrada (A)	
M023	A023		Lalín	Lalín	

Fuente: “Población de España: datos y mapas”. Francisco Ruíz

Todo lo anterior hace que el balance demográfico a futuro sea un balance negativo, con importantes pérdidas poblacionales previstas, tanto a medio como largo plazo. Como se observa en la tabla anterior, basta un sólo dato. Para el año 2022, la población gallega habrá retrocedido a niveles inferiores a los del año 2002, en casi 100.000 habitantes menos.

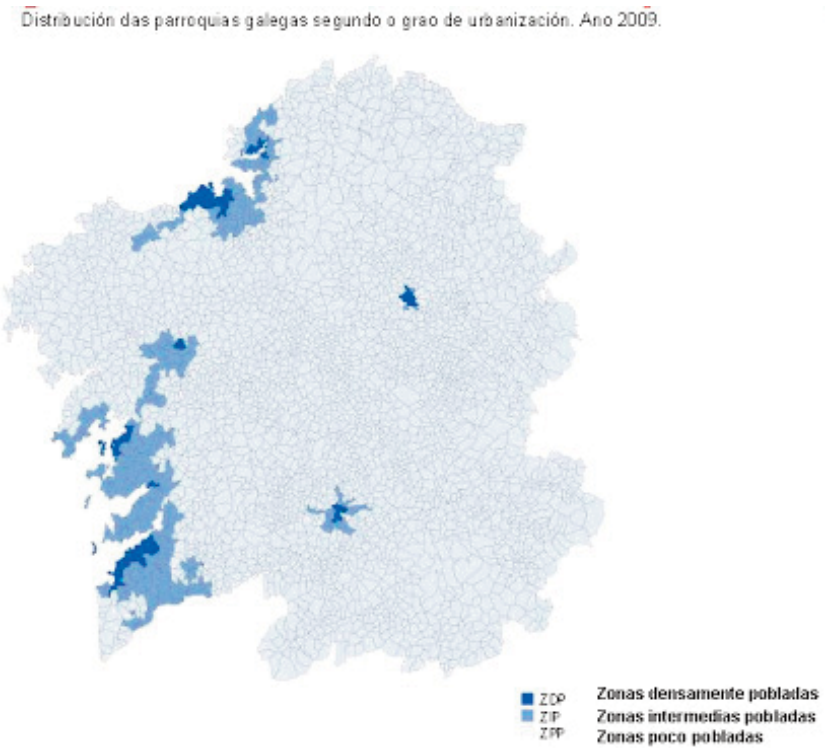


Figura 2. Escaso grado de urbanización en un desierto poblacional:
Distribución de las parroquias según el grado de urbanización. 2009
Fuente IGE. Instituto Galego de Estadística

La estructura urbanística gallega se articula, prácticamente, en torno al eje norte sur o también llamado eje Atlántico, con dos grandes áreas: la de A Coruña-Ferrol, la de Santiago y la que conforman las rías hasta el epicentro Pontevedra-Vigo. Las capitales interiores, tanto Ourense y, en menor medida Lugo, no conforman en la realidad áreas urbanas propiamente dichas, aunque la caracterización institucional, así las considere.

Sobre este escenario territorial se va a producir el escenario de la movilidad gallega y la demanda de viajes, que destaca por escasos volúmenes de tránsito rodado, donde la prevalencia se la lleva la movilidad del automóvil particular, con escaso peso del transporte colectivo y, sobre todo ferroviario, según veremos a continuación.

1.2. Desigual y baja movilidad global y ferroviaria recurrente

En lo que se refiere a la demanda de viajes de Larga Distancia, los datos de MOVILIA, de FOMENTO, ponen de manifiesto la debilidad, respecto al resto de modos, del ferrocarril. Aún siendo viajes de LD, los viajes internos son 774.000, que representan un exiguo 2,6 % en el conjunto modal. Ni siquiera el autobús tiene una cuota importante, con un 6,8 %, correspondiendo la mayoría de desplazamientos al vehículo privado con casi el 90 %.

Tabla 4. Movilidad de Galicia según la Encuesta Movilia. Larga distancia.2007

Origen: Galicia

		USO DE MODOS DE TRANSPORTE					
		Total viajes	Coche	Autobús	Tren	Avión	Otros
Destino:	Galicia	29.769,8	26.099,9	2.022,0	774,0	49,6	1.171,8
	España	33.218,6	28.849,2	2.372,8	841,5	663,1	1.453,6
	% s/ T Viajes	100,0	87,7	6,8	2,6	0,2	3,9
	% s/España	89,6	90,5	85,2	92,0	7,5	80,6

Origen: Galicia

		MOTIVO DEL VIAJE						
		Total viajes	Vacaciones	Ocio	Motivos profesionales	Visita a familiares o amigos	Ir a 2ª residencia	Otros
Destino:	Galicia	29.769,8	636,4	7.129,7	6.087,3	5.154,9	5.821,4	4.940,2
	% s/ T Viajes	100,0	2,1	23,9	20,4	17,3	19,6	16,6
	% s/España	89,6	40,4	87,4	86,8	94,1	96,6	97,0

Origen: Galicia

	Total viajes	DESTINO ESPAÑA				DESTINO ESPAÑA			EXTRANJERO
		Total viajes	Misma provincia	Provincia limítrofe	Otra provincia	Total viajes	Misma comunidad	Otra comunidad	Total viajes
Coruña, A	14.436,7	14.125,5	8.904,3	3.140,6	2.080,6	14.125,5	12.807,7	1.317,8	311,3
Lugo	4.982,5	4.814,1	1.440,0	3.152,0	222,0	4.814,1	4.019,1	795,0	168,5
Ourense	5.026,1	4.820,6	1.368,0	2.199,6	1.253,0	4.820,6	4.512,5	308,1	205,5
Pontevedra	10.315,4	9.458,4	3.713,4	4.717,2	1.027,8	9.458,4	8.430,6	1.027,8	856,9
Galicia	34.760,7	33.218,6	15.425,7	13.209,4	4.583,5	33.218,6	29.769,8	3.448,7	1.542,1

Fuente: "Encuesta Movilia". 2007. Ministerio de Fomento

Tabla 4. Movilidad de Galicia según la Encuesta Movilia. Movilidad cotidiana. 2006

. Personas según número de desplazamientos por provincia.
Valores absolutos en miles

	Total	DESPLAZAMIENTOS EN DÍA MEDIO LABORABLE				DESPLAZAMIENTOS EN DÍA MEDIO DE FIN DE SEMANA			
		Personas con desplazamientos	Personas sin desplazamientos	Media en total población	Media con desplazamientos	Personas con desplazamientos	Personas sin desplazamientos	Media en total población	Media con desplazamientos
Coruña,A	1.119,1	953,9	165,1	3,2	3,8	834,9	284,2	2,5	3,3
Lugo	352,9	281,3	71,6	2,7	3,4	264,0	88,8	2,1	2,8
Ourense	336,8	234,0	102,8	2,3	3,3	187,8	149,0	1,6	2,8
Pontevedra	937,5	703,3	234,2			573,2	364,3	1,6	2,7
Galicia	2.746,2	2.172,5	573,7	2,7	3,4	1.859,9	886,3	2,0	2,9
España	44.185,9	36.874,7	7.311,1	2,8	3,4	31.821,1	12.364,8	2,1	2,9

. Desplazamientos según modo principal de transporte por provincia.
I. En día medio laborable. Valores absolutos en miles.

	Total	MODO PRINCIPAL DE TRANSPORTE					
		Más 5 min. a pie o bicicleta	Coche o moto	Autobús urbano y metro	Autobús inter-urbano	Tren	Otros
Coruña,A	3.599,4	1.301,6	1.868,0	143,2	81,1	1,5	184,0
Lugo	969,5	418,6	502,9	10,1	12,6	0,5	24,9
Ourense	783,4	359,5	342,9	33,5	23,9	0,5	23,2
Pontevedra	2.237,0	815,1	1.210,7	64,6	22,0	1,4	123,1
Galicia	7.589,3	2.894,8	3.944,4	251,4	139,6	3,8	355,3
España	123.364,8	56.310,8	52.172,4	8.082,6	2.396,3	1.552,3	2.850,3

Fuente: "Encuesta Movilia". 2006. Ministerio de Fomento

En lo que se refiere a la movilidad cotidiana, la que se asocia a los servicios de cercanías, movilidad de tipo recurrente, de día laborable o, en mucha menor medida, de fin de semana. Según MOVILIA en Galicia se producen del orden de 7,6 millones de desplazamientos, de todo tipo, que suponen una media de 3,4 desplazamientos por persona en laborable medio y un 2,9 en fin de semana. De ellos, 3,9 millones en vehículo privado y 251.400 en autobús urbano. En cuanto al ferrocarril el nº de desplazamientos en día laborable son tan sólo el 0,2 % del conjunto de España.

2.3. Dos limitantes territoriales básicos

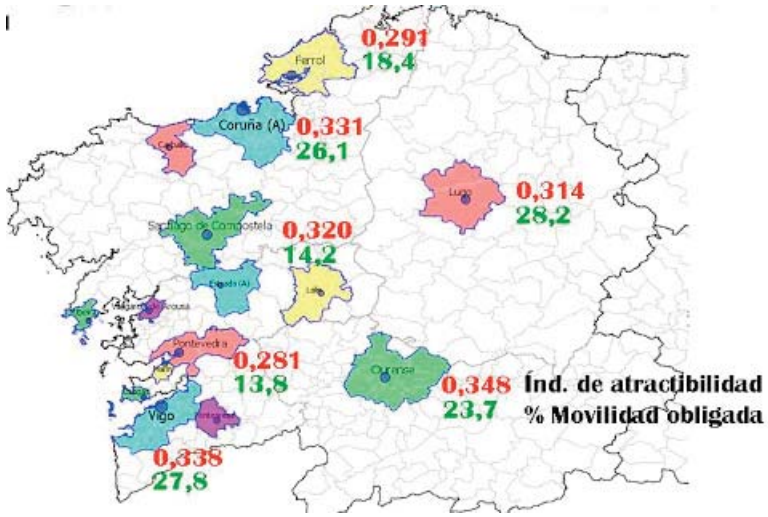


Figura 3. La baja interatractibilidad de las AUs gallegas limita una movilidad recurrente
Suficiente para un sistema de Cercanías ferroviarias
Fuente: "Población de España: datos y mapas". Francisco Ruiz

Los datos anteriores se ven corroborados por los bajos índices de atractibilidad interna de las diferentes áreas urbanas, cuyo valor se mueve entre 0 y 1, mínima y máxima atractibilidad. Así mismo destacan los bajos valores de la movilidad obligada (trabajo y estudios).

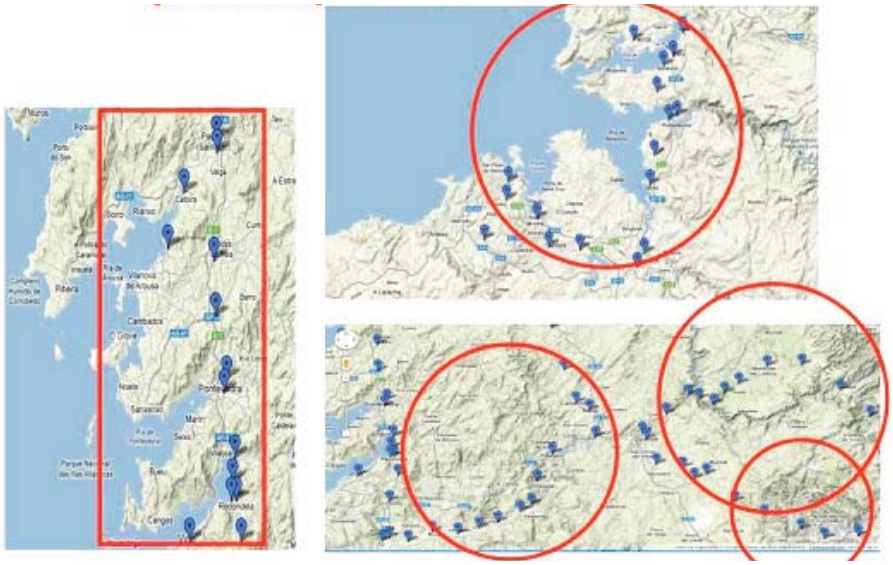


Figura 4. Topografías y topologías adversas, condicionan una explotación de Cercanías
Fuente:"Localización de estaciones", aplicación sobre Google Maps

La topografía gallega, sobre todo en su cuadrante sudeste, es bastante complicada, lo mismo que es complicada en algunos casos su topología. En este último caso nos referimos al trayecto A Coruña-Ferrol, que discurre bordeando el Golfo Ártabro, duplicando y mucho más el tiempo de viaje de la carretera y, no digamos ya por vía marítima. Ello hace que existan limitaciones para la explotación de líneas de Cercanías, porque, en definitiva, limitan las velocidades y agrandan los tiempos de viajes del ferrocarril. Pero no sólo la configuración y el modelado territorial condicionan una explotación de cercanías ferroviarias, sino que a ello se une una red de prestaciones muy bajas y limitadas.

2.4. Características y limitaciones de la red ferroviaria gallega:

Una red dual

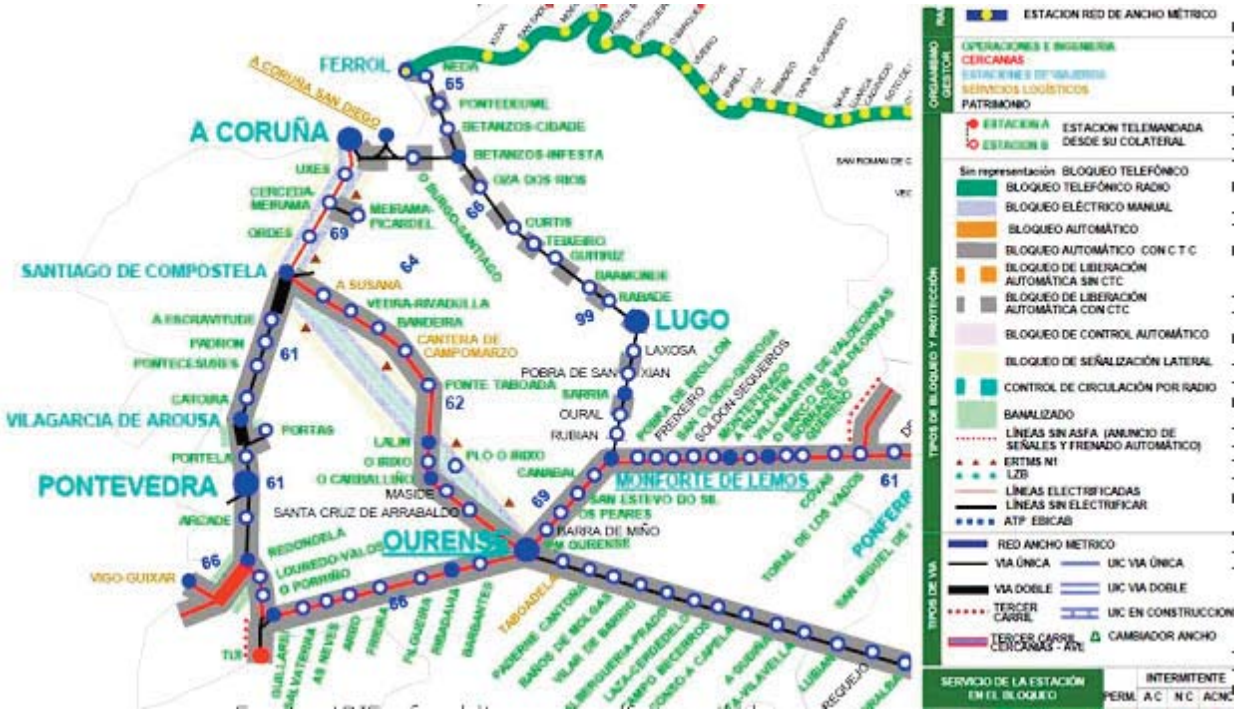


Figura 5. Una red ferroviaria dual: la convencional, obsoleta y poco tecnificada y la de Alta Velocidad, inapropiada para una explotación de Cercanías
Fuente: ADIF

En Galicia, desde hace relativamente poco tiempo, se puede hablar de una red ferroviaria dual. Por un lado existe la red convencional, que adolece de limitaciones sin fin, como por ejemplo la todavía muy mayoritariamente vía única y con trayectos en vía única sin electrificar, que, sin duda, junto con unas prestaciones en la supervía, las telecomunicaciones y sistemas de bloqueo, conforman una red obsoleta.

Esta red convencional, convive, no obstante, con una red de velocidad alta que se desarrolla en parte del eje Atlántico, en los tramos A Coruña-Santiago de Compostela-Ourense. Actualmente esta red presta servicios de Media Distancia, bajo la marca comercial AVANT, que dados sus elevados costes de explotación y escasos niveles de demanda, arrojan márgenes muy negativos de explotación.

Baja demanda que genera bajas coberturas y déficits de explotación elevados

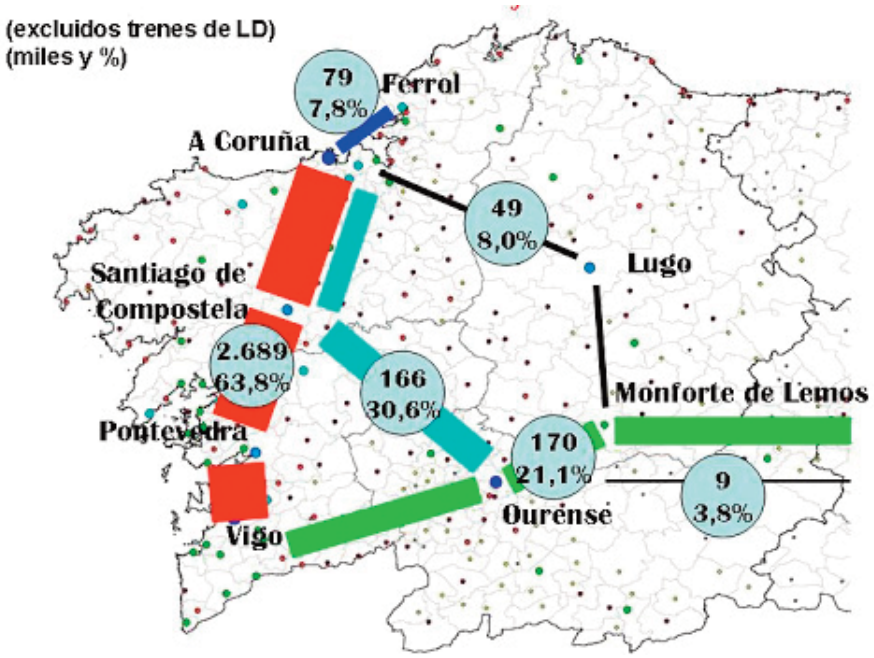
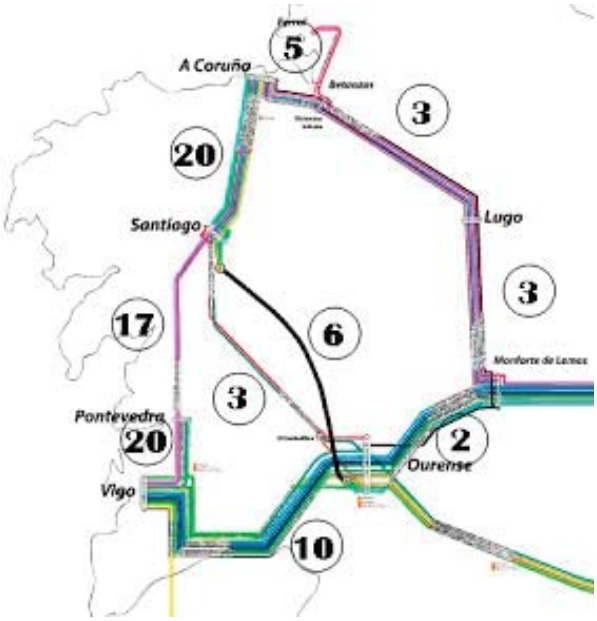
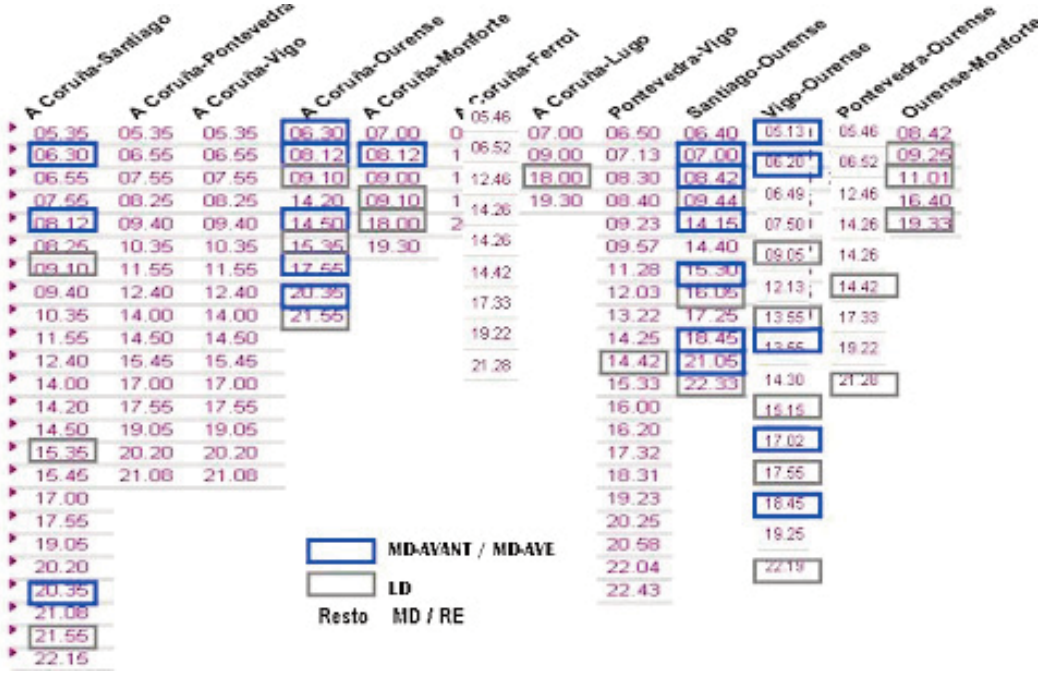


Figura 6. La baja demanda de viajes recurrentes conlleva bajos índices de coberturas y déficits elevados en la mayoría de corredores
Fuente: Ministerio de Fomento. 2011

Según datos referidos a 2011, del Ministerio de FOMENTO, existen importantes desequilibrios en la distribución de la demanda regional de viajes por ferrocarril. En conjunto, la demanda año de viajes internos y externos a la Comunidad Autónoma de MD convencional , se puede establecer en tres millones cien mil viajes largos, de los cuales el 85% corresponden la eje Atlántico. Las cifras, con la incorporación del tramo Santiago- Ourense, estas cifras pueden haber experimentado algún crecimiento. De cualquier manera, estamos hablando de una demanda que diariamente no alcanza los 10.000 viajes diarios. que suponen menos de 300 viajes por hora y sentido en toda la red. Evidentemente, con estas cifras de movilidad no se puede hablar de la necesidad de cercanías ferroviarias.





Figuras 6 y 7. Nº de frecuencias-día por sentido de MD en la Comunidad gallega, excepto servicios LD. Abril 2013
Fuente: Geotren y Renfe Operadora

Las demandas de viajes, muy diferentes entre los distintos corredores, conforman una oferta de servicios igualmente muy diferenciada, que para constituir una oferta de Cercanías debe distinguirse por ser servicios mínimamente cadenciados, diferenciados entre horas o períodos punta y valle, orientados a incurrir en el menor parque de trenes posible, mediante el correspondiente proceso de optimización de los gráficos de material y personal a bordo y que contemplen un nº de frecuencia de trenes adecuada, cosa que hoy no se da y que resultaría de muy costosa cadenciación.

Tiempos de viaje poco apropiados para una red de Cercanías

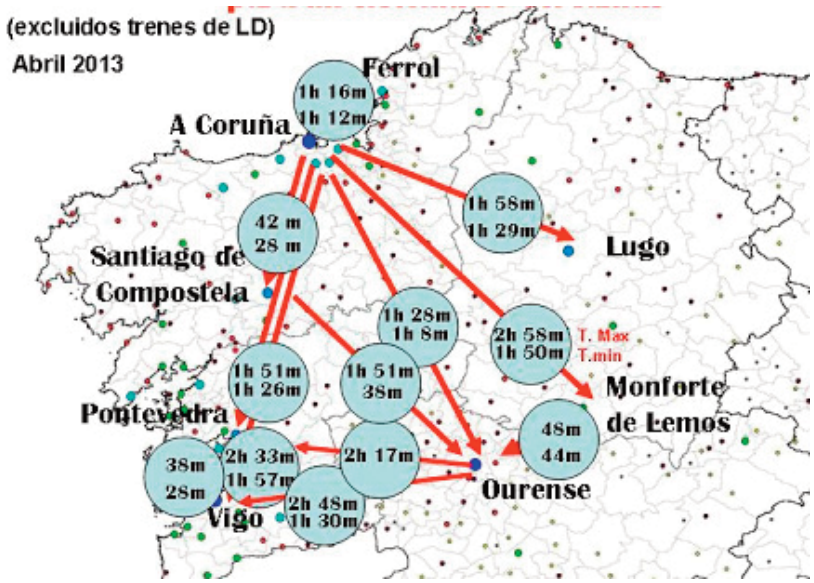


Figura 8. Tiempos de viaje
Fuente: Renfe Operadora

El último atributo que cabe esperar de un servicio de Cercanías se refiere a los tiempos de viaje, que deben ser lo más reducidos posibles para dar satisfacción a los requerimientos de la principal naturaleza de los viajes de este tipo, de movilidad obligada: trabajo y estudios. Los servicios AVANT han reducido los tiempos de viaje en las relaciones A Coruña-Santiago y Santiago-Ourense. Si a éstas se une la de Pontevedra Vigo, el resto de relaciones superan, con creces la hora de viaje, siendo los tiempos máximos de algunas relaciones entre los 150 y 180 minutos.

Parte II:

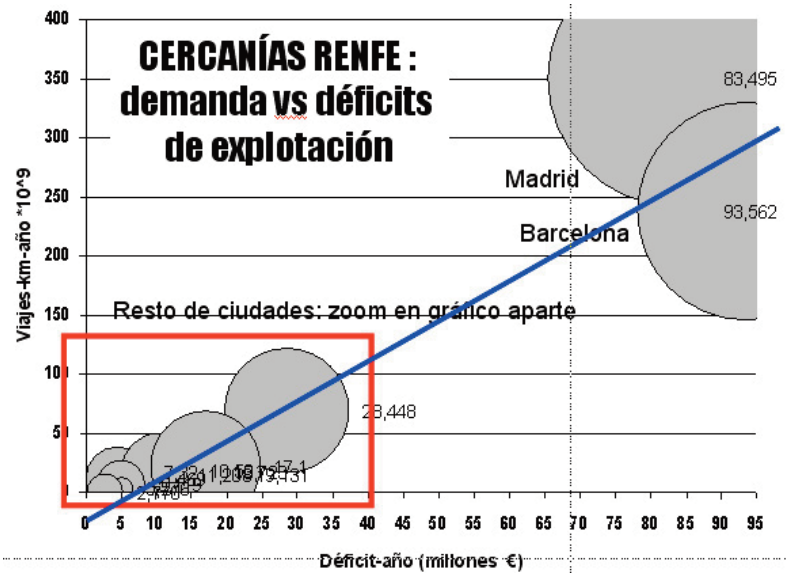
El modelo operacional y económico

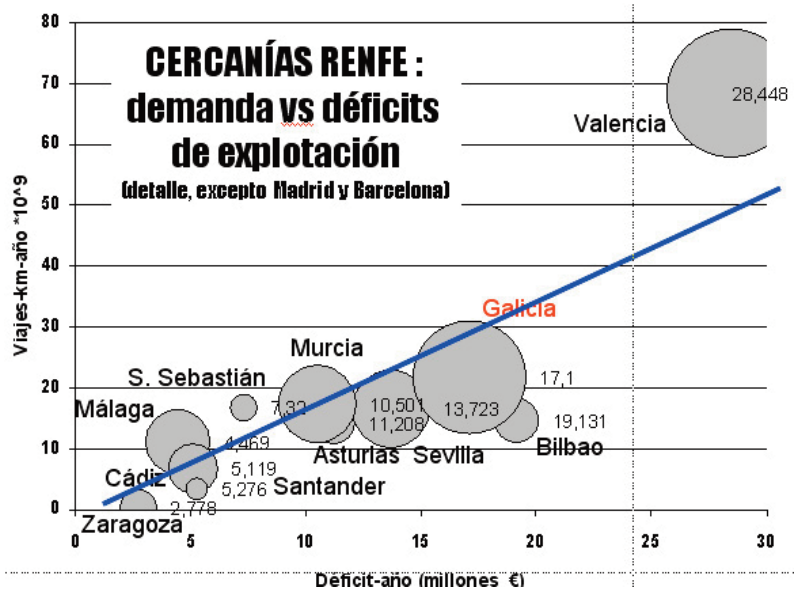
Un sistema poco adecuado y caro para una explotación de Cercanías: La propensión al déficit de las OSP: cuánto más se transporta, más se produce, más dinero se pierde

A pesar de lo dicho, el Ministerio de Fomento ha formalizado una gerencia de Cercanías, e insiste en implantar un núcleo a añadir a las doce ciudades españolas donde ya existe este tipo de ferrocarril metropolitano. En esta segunda parte vamos a abundar en el tema para intentar demostrar que, no sólo la estructura poblacional y territorial gallega, además de la adversa morfología y topología de la red ferroviaria regional, que ya hemos destacado, existen factores operacionales derivados de lo anterior, que desaconsejan una explotación "al estilo" Cercanías. La longitud media de los viajes y la debilidad de la demanda recurrente, no propician un tipo de servicios de proximidad, como se denominan en gallego, a no ser a un coste insoportablemente alto.

Las rigideces que presenta la explotación ferroviaria, así como la asunción generalizada por parte de los poderes públicos de ser un servicio público al que raramente e históricamente casi nunca se le han cuestionado sus déficits, han retardado, incluso por parte de las administraciones que financian sus pérdidas, la aplicación de criterios de rentabilidad y eficiencia al ferrocarril, y no digamos a los servicios públicos como las cercanías. La etiqueta de OSP las blinda para que nadie ya se plante si los los costes asociados a su explotación tienen justificación, o son susceptibles de una mayor racionalización, empezando, como decíamos, por un diseño y capacidad, ajustados a la realidad.

Como se puede observar en los dos gráficos siguientes, a mayor demanda (viajes-km), mayor déficit, o lo que es lo mismo, que cuanto más se produce, más se pierde. Lo que llamamos nosotros, la propensión al déficit de las cercanías y la MD ferroviarias.





Figuras 9 y 10. Cercanías de Renfe Operadora: demanda vs déficits de explotación y población servida
Fuente: Renfe Operadora e INE

Para entender los gráficos de tres variables, en el eje de abcisas (X) se expresa el déficit anual y en el eje de ordenadas (Y) la demanda anual medida en viajeros-km, mientras que el diámetro de las bolas expresa la población correspondiente a cada una de las ciudades donde se localizan cercanías ferroviarias

Como se observa, existen hasta cuatro tipologías de núcleos de Cercanías: cuatro ciudades (Zaragoza, Santander, Cádiz y Málaga) que, aunque no todas son las de menor población, se mueven hasta los 10 mill de v-km año y los 5 millones de déficit anual. En un segundo grupo se situarían San Sebastián, Murcia, Asturias, Sevilla y Bilbao, grupo en el que se situarían unas hipotéticas Cercanías gallegas, grupo que lideraría en cuanto a producción y en el segundo puesto en cuanto a déficit con algo más de 17 millones de déficit anual. A caballo entre este grupo y las dos megalópolis más importantes del territorio nacional, aparece Valencia, más próxima al último grupo, que a las dos grandes metrópolis españolas, siendo ambas líderes tanto en producción como en déficits de explotación, si bien Barcelona (93,5 mill), con menor producción que Madrid, supera a Madrid (83,5 mill) en 10 mill anuales de déficit.

2.1. MD vs Cercanías en Galicia: la estructura de la red y la movilidad gallegas poco aptas para implantar un servicio de Cercanías

El sistema ferroviario gallego se caracteriza por los siguientes rasgos: la distancia media del viaje es alta, cuatro veces más que la media de las Cercanías, 74,3 km de Galicia, frente a 19,4 de media de las Cercanías. Ello hace que cualquier diseño de unas cercanías en Galicia, deba tener muy en cuenta la necesidad de asumir una elevada producción, como consecuencia de esta estructura del viaje. 75 km de desplazamiento medio es un viaje típico de unos servicios regionales o de MD y, en absoluto, de unas cercanías urbanas.

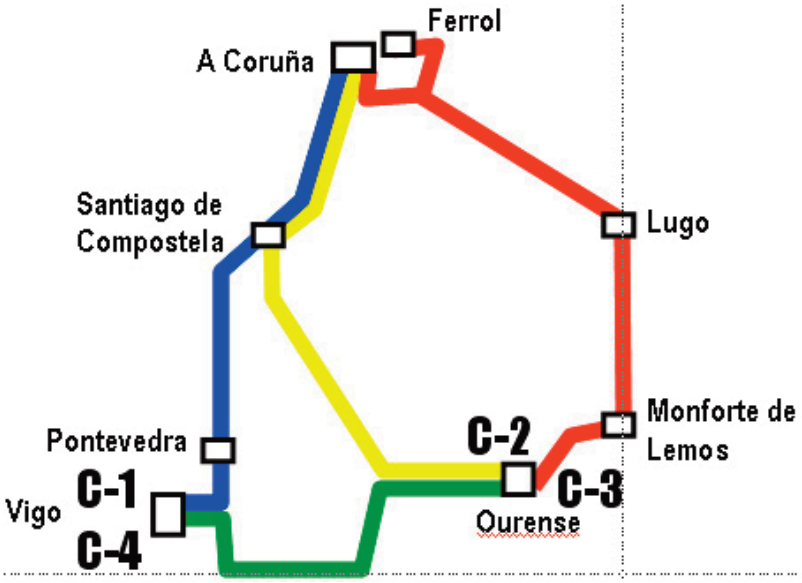


Figura 11. El largo recorrido medio de los viajes induciría a definir largas líneas, lo que a su vez obligará a una elevada y costosa producción de trenes-km
Fuente: elaboración propia

En segundo lugar, el nº de circulaciones de las Cercanías es muy superior al valor medio de los servicios gallegos, cosa lógica ya que si algo distingue también a un sistema de cercanías frente a otras tipologías de servicios son sus altas frecuencias, sobre todo en las horas punta.

La tercera característica que distingue a unos y otros servicios es que las Cercanías se justifican como tales servicios solamente allí donde existen demandas suficientes de movilidad recurrente. Desgraciadamente la movilidad ferroviaria gallega no presenta cuotas importantes de movilidad, aunque se alcanzasen los 3, 3 millones de viajes anuales, que la Xunta espera poder alcanzar el año próximo.

Por tanto, viajes largos, bajas frecuencias y débil demanda configuran una baja ocupación y aprovechamiento, al tiempo que altos costes de producción, que no pueden ser absorbidos por unos débiles ingresos, a pesar de que la percepción media, al no estar constreñida por los precios intervenidos como es el caso de las tarifas de cercanías, sea más de cuatro veces la de éstas. En definitiva, el resultado negativo por cada viaje es hasta 12 veces más elevado que el resultado por viaje de las Cercanías (-5,84 para los trenes gallegos y -0,84 de media de Cercanías).

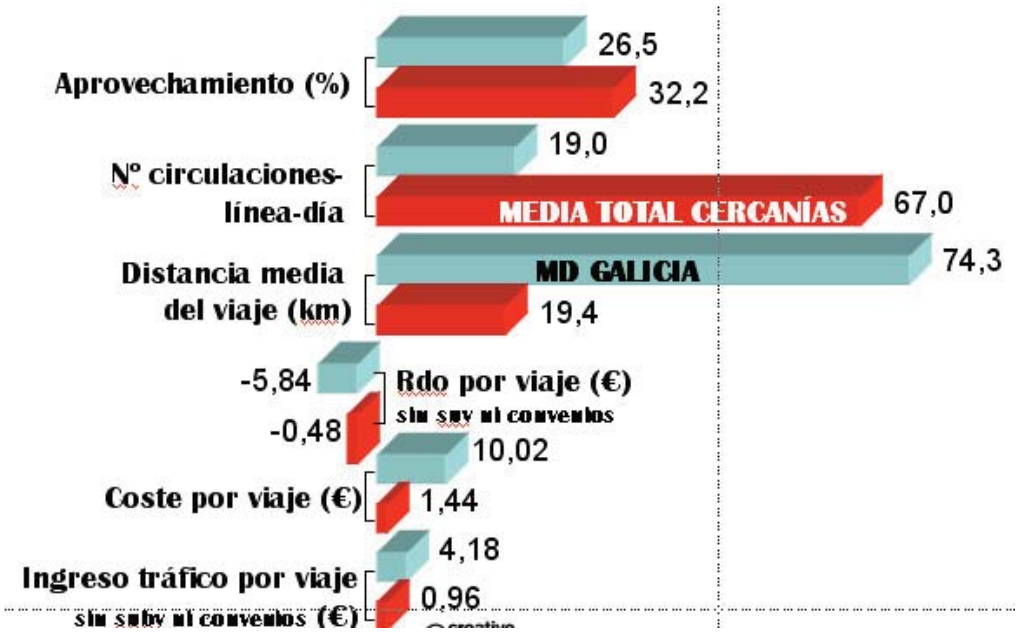


Figura 12. Comparaciónde los valores medios del total de Cercanías y la Media Distancia de Galicia. 2011
Fuente: Renfe Operadora

2.2. Una aproximación a los datos de las nuevas Cercanías: bajas ocupaciones aún bajo hipótesis de partida optimistas

Aún asumiendo la cifra de 3,3 millones de viajes-año que la Xunta de Galicia espera poder alcanzar en breve plazo, esta demanda no es suficiente para conformar unas Cercanías de carácter regional.

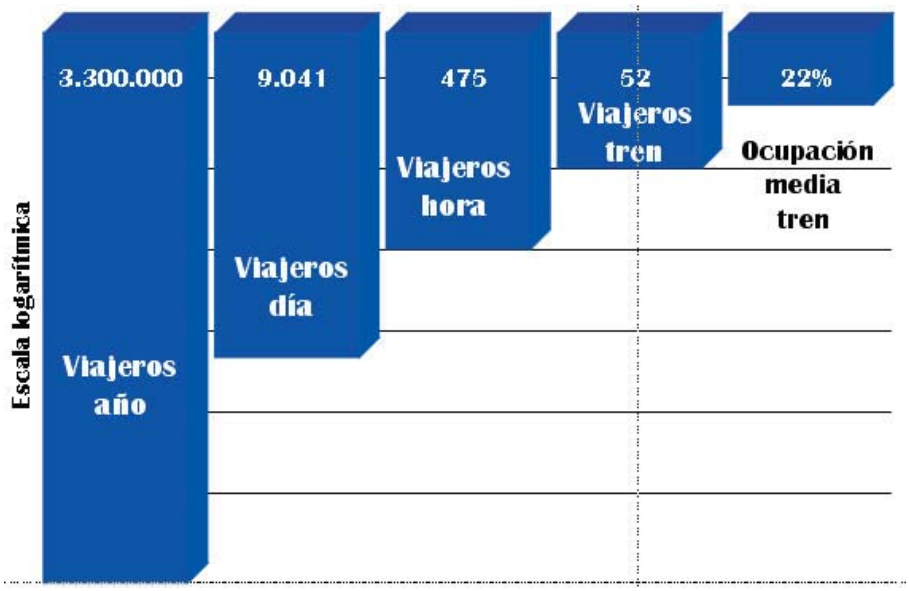


Figura 13. **Parámetros de demanda de unas hipotéticas cercanías gallegas bajo una hipótesis muy optimista de 3,3 mill de viajes.**
Fuente: Elaboración propia

En el mejor de los casos, no serían esperables ocupaciones que sobrepasasen un 22% como media.

2.3. Los insostenibles costes de unas cercanías de velocidad alta

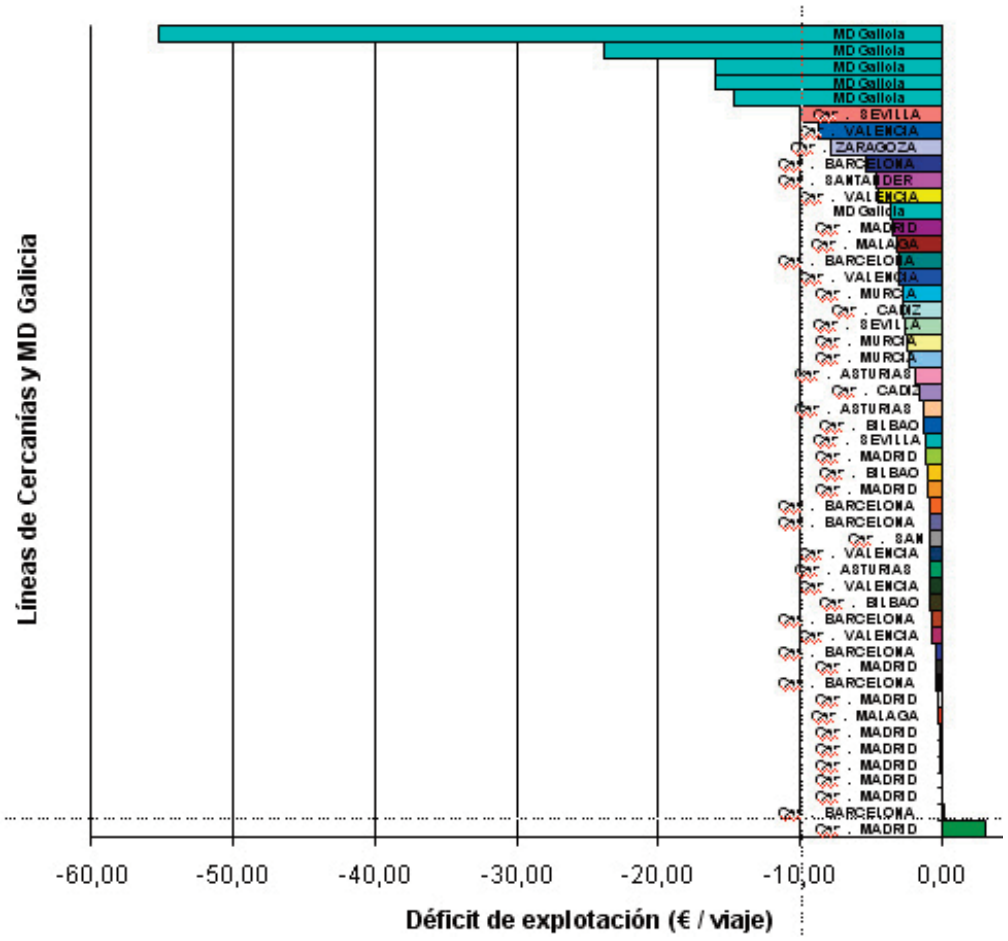


Figura 14. Déficit por viaje. Media de Cercanías y de la Media Distancia gallega
Fuente: Renfe Operadora y elaboración propia

Los trenes gallegos de MD le cuestan al erario público casi 20 millones de € anuales. Pero, no sólo la adversa estructura del viaje medio y la baja ocupación por una débil demanda, consecuencia a su vez de una movilidad más bien escasa, hacen que por cada viaje que se produce, haya que cubrir casi seis euros de coste, con cargo a los recursos fiscales de todos los contribuyentes, sean usuarios, o no de estos servicios.

Además, a todo ello, hay que añadir un elevado coste extraordinario, consecuencia de que buena parte de los servicios están hoy ya servidos por trenes AVANT, es decir por trenes de velocidad alta, con costes mucho más altos que los de los servicios convencionales. Pero, ojo la previsión es que en un próximo futuro todo el eje atlántico, al igual que la penetración desde Orense hasta Vigo sea servido por este tipo de trenes. No sólo son ya los costes de inversión de las infraestructuras y los vehículos, sino los crecientes costes de mantenimiento y explotación, que sin duda, se van a producir.

Si observamos línea a línea las líneas de Cercanías y las seis líneas gallegas, los déficits de explotación, o lo que es lo mismo, lo que RENFE Operadora pierde por cada viajero que se sube a los trenes de nuestra OSPs, sin tener en cuenta las subvenciones ni las compensaciones de las CCAA, vemos que las líneas con los déficits más abultados se corresponden con 5 de las 6 líneas gallegas. La restante, La Coruña-Santiago-Vigo, figura en la posición 12 del ranking de pérdidas por viaje.

La pregunta es: ¿puede la mera declaración como Cercanías de los servicios gallegos de Media Distancia convertir a éstos en unas auténticas cercanías ferroviarias? La respuesta contundente es, no. Todo lo contrario, la conversión de servicios de MD en servicios de Cercanías, incrementarían, con toda seguridad, el número de servicios (frecuencias en el argot de Cercanías) con el consiguiente incremento de producción, costes y déficit.

Nada hay que aconseje cambiar el producto ferroviario gallego actual (trenes de MD y trenes AVANT) por unos servicios de Cercanías de mayor coste, no sólo como consecuencia del incremento de frecuencias sino, por lo ya aludido, de que más del 60% de los servicios se realizan por infraestructura y con vehículos de velocidad alta, con los extracostes que ello supone respecto de los servicios convencionales.

Sobre la base ya citada de 3,3 millones de viajes año, escenario muy optimista que maneja la Consellería de Transporte de la Xunta, que representa casi 400.000 viajeros anuales más de los actuales, suponiendo una transferencia de los servicios de la MD a una nueva gerencia de Cercanías de Galicia, los parámetros operacionales y de negocio serían los que se recogen en el siguiente gráfico.

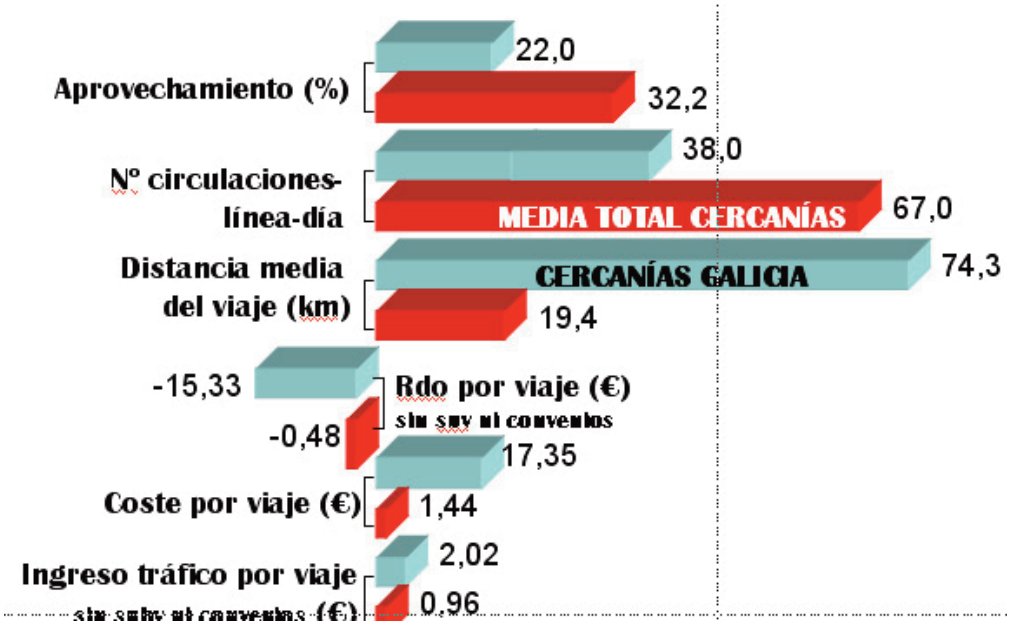


Figura 15. Comparación de los valores medios del total de Cercanías y los de unas hipotéticas Cercanías gallegas
Fuente: Renfe Operadora y elaboración propia

En la nueva situación con Cercanías, el ingreso por viaje (la percepción media) se vería reducido en más de la mitad, al tiempo que el coste pasaría de 10,02 a 17,35 euros, con lo que el déficit se dispararía en el equivalente a casi tres veces más.

En definitiva, unas Cercanías gallegas son un sinsentido no sólo bajo los criterios de explotación aplicados en otras ciudades, sino inviables por coste, que resultaría todavía mucho más elevado que el ya actual incurrido como servicios de Media Distancia.

Parte III:

Conclusiones

De lo expresado, no parece aconsejable desplegar en Galicia un sistema de cercanías ferroviarias, al menos, al modo que conocemos en el resto de capitales españolas en las que RENFE Operadora presta estos servicios. Estos servicios tienen su máxima virtualidad social desde el momento en que fueron concebidos como sistemas potentes y capaces de transportar grandes volúmenes de viajeros, con frecuencias breves, sobre todo en las horas o períodos punta y con altos niveles de prestaciones en cuanto a capacidad de transporte, fiabilidad y puntualidad.

De sobra es sabido que, incluso bastantes núcleos de Cercanías españoles, o al menos bastantes líneas, no cumplen los requisitos que acabamos de mencionar. Por varias razones: en unos casos porque su estructura territorial no es la más adecuada (las cercanías ferroviarias encuentran su mejor cabida en estructuras metropolitanas, con núcleos en torno a una ciudad dominante), o bien en áreas urbanas de menor tamaño que las metropolitanas, pero con estructura similar. En otros casos, porque las demandas de movilidad no alcanzan la "masa crítica" suficiente para aprovechar mínimamente, sin despilfarros escandalosos, la oferta que se despliega. Bastaría en estos casos con un sistema ferroviario regional o subregional convencionales para subvenir a muchas necesidades como las descritas.

En el caso de Galicia, ésta carece de una estructura metropolitana evidente, siendo más bien un sistema de asentamientos poblacionales basado en un amplio disperso urbano, como ya hemos expuesto más arriba, en las que las principales capitales configuran áreas urbanas de tamaño medio (A Coruña y Vigo) y tamaño bajo (Ourense, Santiago, Ferrol y Lugo). A su vez, estos núcleos, lejos de tener una estructura metropolitana, son muy endógenos, con una muy escasa dependencia funcional e inter-atractibilidad entre la capital y los municipios circundantes.

Si a esto le añadimos una topografía que es en algunos escenarios muy adversa y, en otros, una topología de igual naturaleza cual es el caso de la comunicación terrestre entre A Coruña y Ferrol o Vigo y Pontevedra, con topologías nada favorables al transporte, y menos al ferroviario, y una red ferroviaria que va del "cero al infinito" con una red convencional de las más obsoletas de España conviviendo con una red de Alta Velocidad, las circunstancias para que tengan cabida unas cercanías ferroviarias son escasas.

Algunos se preguntarán: ¿Y por qué no Cercanías de Alta Velocidad, ya que tenemos las vías y los trenes? Porque decir servicios regionales (no ya Cercanías) de alta velocidad (los comercialmente llamados AVANT) es matar moscas a cañonazos. Es un contrasentido que para recorrer espacios relativamente cortos empleemos trenes de gran velocidad carísimos, circulando por una infraestructura más que carísima, cuando los trenes convencionales desarrollan velocidades suficientes. La velocidad, no es el principal atributo de las Cercanías ferroviarias. El principal atributo debe ser la frecuencia de servicios en determinadas horas del día, y cuando no hay demanda para ello, pues no la hay. Y poner frecuencias, sin ser necesario, es despilfarrar el dinero.

No hay que ser muy avisado para colegir que basar servicios regionales en trenes AVANT, es apostar por obtener elevadas pérdidas económicas, como la experiencia ha demostrado y sigue demostrando. Pues razón de más, de mucho más, hacer Cercanías de Alta Velocidad sería económicamente inviable por las pérdidas escandalosas que se producirían, más escandalosas de las que ya se producen.

Para concluir, se va a repetir en Galicia el mismo error que se repitió en el resto de la red: un modelo extensivo de alta velocidad a todos los sitios, cuando la movilidad española de larga distancia no da más de sí, ni siquiera, para tres corredores (NE, Sur y Levante) de Alta Velocidad, y el resto de relaciones

podrían haber sido servidas por las correspondientes renovaciones y mejoras en la red convencional para velocidades de 250 km/h, con un reducido incremento perfectamente asumible en los tiempos de viaje.

3.1. Trampas en el solitario

El trasvase de los actuales servicios ferroviarios gallegos de MD a una Gerencia de Cercanías, de nueva creación, es como jugar al solitario y hacerse trampas uno mismo. Esto, vale tanto para el ministerio de Fomento, como para la Xunta de Galicia que ha sido la institución demandante de tal trasvase y la que ha inducido las correspondientes reivindicaciones en los medios y la opinión pública gallega.

Por parte de las autoridades regionales, se ha "vendido" el mensaje de que Galicia era discriminada por carecer de un sistema ferroviario de Cercanías, frente a otras ciudades españolas, que si lo tienen.

Ya hemos dicho que las Cercanías requieren de determinados requisitos urbanos, territoriales, poblacionales y de demanda para poder constituirse en eficaces y eficientes sistemas para atender demandas de movilidad, relevantes en cuantía, de tipo recurrente y obligada. Desgraciadamente, no todos los núcleos, ni todas las líneas, que disponen de este tipo de servicios en España cumplen con algunos, o todos, los requerimientos expresados, y Galicia va a ser uno más de ellos.

Fuentes:

I.G.E. Instituto Galego de Estadística. "Panorama Demográfico de Galicia"..

I.G.E. Instituto Galego de Estadística. "Proxeccións de poboación a curto prazo".

I.N.E. Instituto Nacional de Estadística. "Proyecciones de la población española"

Francisco Ruiz. "Población de España. Datos y mapas.

Mº de Fomento. "Encuesta MOVILIA. Larga Distancia. 2007"

Mº de Fomento. "Encuesta MOVILIA. Movilidad cotidiana. 2006"

ADIF, Administrador de Infraestructuras Ferroviarias. Mapa de la Red de Ferrocarriles. 2013.

RENFE Operadora. Página web y datos.

GEOTREN: Otra forma de ver el ferrocarril (web).

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.

Noviembre 2014
número 8

Las aves y el ferrocarril. Un estudio ornitológico desde la ventanilla

MetroDuo, una propuesta innovadora para la movilidad en las megalópolis

Análisis de la correlación entre los Puntos Kilométricos Nominales y Reales en la geometría de la línea ferroviaria

Las implementaciones de sistemas de gestión de tráfico y la seguridad en la circulación entre 1975 y 2009

Análisis de las perturbaciones producidas por el sistema eléctrico de potencia de ferrocarriles de alta velocidad alimentados a frecuencia industrial

Recorrido y numeración de los trenes. Interoperabilidad mediante análisis espacial tridimensional e INSPIRE

La problemática de los pasos a nivel en la red ferroviaria de ancho ibérico y las actuaciones preventivas en el periodo 1975-2009

¿Son justificables unas Cercanías de alta velocidad?: El caso gallego

FUNDACIÓN DE LOS FERROCARRILES ESPAÑOLES

www.ffe.es