



*Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos,
Canales y Puertos.*
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



ESTUDIO DE PLANIFICACIÓN Y EXPLOTACIÓN DE LA ALTA VELOCIDAD FERROVIARIA EN CANTABRIA

Trabajo realizado por:

Jorge Vázquez Fernández

Dirigido:

Borja Alonso Oreña

Titulación:

Grado en Ingeniería Civil

Santander, Junio de 2015

TRABAJO FINAL DE GRADO

OBJETIVO

El objetivo del estudio será conocer los posibles tráficos que se den en las futuras líneas ferroviarias, conociendo los horarios y velocidades máximas permitidas en cada punto del tramo de vía analizado, pudiendo así establecer un sistema de explotación. Para lograr alcanzar estos objetivos se han de analizar los factores que influyen en sus cálculos.

A continuación se muestra un breve esquema del contenido del trabajo:

1. La alta velocidad en Cantabria
2. La organización de los servicios de viajeros
3. Material móvil de alta velocidad
4. Planificación de horarios
5. Diseño y planificación del sistema de explotación

INTRODUCCIÓN A LA ALTA VELOCIDAD EN CANTABRIA

Como su propio nombre indica, el presente proyecto tratará el estudio de planificación y explotación de las posibles líneas de alta velocidad en Cantabria.

Para comenzar se han supuesto tres posibles líneas de alta velocidad en Cantabria:

- Línea Santander-Palencia
- Línea Santander-Mediterráneo
- Línea Santander-Bilbao

Actualmente ninguna de ella se ha construido y, por lo tanto, no conocemos los trazados exactos.

El estudio de planificación y explotación se realizará de un único tramo, donde las tres líneas coinciden en una sola. Este tramo es el tramo Santander-Sarón. La localidad de Sarón será el lugar donde las tres líneas se bifurquen tomando direcciones diferentes cada una de ella.

Para la elaboración del estudio se ha partido de varios supuestos:

- Se trata de vía única en todo momento.
- El tráfico será exclusivo de viajeros.
- Solo circulará un tipo de tren por la vía.
- Los trenes que circulen en diferentes direcciones, solo podrán cruzarse en las estaciones.

LA ORGANIZACIÓN DE LOS SERVICIOS DE VIAJEROS

En este punto, el trabajo realiza una descripción de los distintos servicios que ofrece el transporte por ferrocarril, ahondando en los servicios de largo recorrido y alta velocidad, objeto del estudio, realizando un breve resumen y análisis de las líneas de alta velocidad españolas

Se destacan los pros y los contras del servicio de Alta Velocidad ferroviaria frente a otros medios y modos de transporte. Se analizan las posibilidades que ofrece la alta velocidad, así como su evolución en las líneas donde ha sido implantada. Además se compara la alta velocidad con otros servicios ferroviarios en los últimos años.

MATERIAL MOVIL DE ALTA VELOCIDAD EN ESPAÑA

En este apartado de trabajo, se realiza una clasificación del material móvil en función del tipo de vía por el que puede circular.

A continuación son analizadas las características, tanto técnicas (potencia, materiales, sistemas de señalización, tipo de frenado, ancho de vía, etc.), como dimensionales (longitud de tren, peso, etc.), de los diferentes trenes que podrían circular por la vía. Para ayudar la comparación entre vehículos, se ha elaborado una tabla resumen con todos los trenes.

Para concluir, una vez analizados todos los datos, se describe un vehículo tipo que servirá para la realización de los cálculos. Las características de este vehículo tipo se han supuesto teniendo en cuenta todo el material móvil y tratando de que estos valores pueden asemejarse lo más posible a la mayoría de trenes. Algunos valores son datos que ADIF obliga a tomar en algunas formulaciones.

PLANIFICACIÓN DE HORARIOS

En este apartado del estudio se realiza una descripción de por qué es necesaria la planificación y cómo se ha de llevar a cabo.

Para una correcta planificación es necesaria la elaboración de un estudio de horarios, para el cual se establecen unos pasos a seguir y una descripción de los datos necesarios para realizar los cálculos.

Una vez obtenidos estos datos numéricos, se elaboran gráficos de marcha, brevemente descritos, donde se sitúa el movimiento de los trenes, representando las velocidades en cada punto de la vía. Para poder elaborar los gráficos, se dan una serie de pautas a seguir.

Para finalizar el análisis de la planificación de horarios, se describe el horario cadenciado y los libros de itinerarios, ambos, sistemas muy utilizados en los últimos años, que ayudan a un mejor funcionamiento del sistema desde el punto de vista del viajero y de los trabajadores, respectivamente.

DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DEL SISTEMA DE EXPLOTACIÓN

En este apartado se engloban todos los cálculos a realizar en el estudio, además de la elección de los sistemas de control, señalización, planificación de horarios, etc. elegidos para la elaboración del sistema de explotación.

El sistema de señalización del tráfico que se va a tomar va a influir en el movimiento de los trenes, así como en la disponibilidad de la vía, por lo tanto es fundamental ahondar en el tema.

Una vez elegido un sistema de señalización, se procede a determinar los aspectos que influyen en dicho sistema, como por ejemplo, la división de la vía en segmentos o cantones.

En el caso que presenta el estudio, el criterio elegido para la división en cantones ha sido la capacidad de frenado y aceleración del tren. Para ello se debe de conocer la velocidad máxima de circulación en cada cantón y las características técnicas de la vía. De esta manera podremos elaborar un gráfico de velocidades, donde conoceremos los puntos de frenado y aceleración óptimos para el funcionamiento de la vía.

Con estos datos de las curvas de velocidades y el sistema de señalización elegido, a continuación se calcula el tiempo en que cada cantón se encuentra bloqueado al tráfico. Esto permite saber en qué momento se puede utilizar la vía, cuando esta esté disponible.

Conocidos todos los datos, se calcula la capacidad máxima de la vía siguiendo el método de la ficha UIC-406.

Finalmente se elaboran los horarios (gráficos de marcha), cumpliendo con los valores obtenidos en los cálculos previos, y cumpliendo con los sistemas anteriormente seleccionados. Mostrándose dos posibles soluciones, basándose en dos hipótesis descritas.

Al final del trabajo se encuentra un anexo con gráficas de elaboración propia que expresan resultado y ayudan a la comprensión del trabajo realizado.

CONCLUSIONES

Durante los cálculos, se describen las limitaciones que tienen las formulaciones y/o los datos, muchas veces influidos por los supuestos de partida o la falta de información al no existir la línea ferroviaria construida.

En el apartado de diseño y planificación del sistema de explotación se realiza una comparación final de las soluciones obtenidas, además de una valoración crítica de ambas en cuanto al servicio ofrecido.



*Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos,
Canales y Puertos.*
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



STUDY OF PLANNING AND EXPLOITATION OF HIGH-SPEED IN CANTABRIA

Made by:

Jorge Vázquez Fernández

Director:

Borja Alonso Oreña

Titulation:

Grado en Ingeniería Civil

Santander, Junio de 2015

FINAL DEGREE WORK

OBJECTIVE

The objective of the study is to identify the potential traffic that will be possible in the future railway lines, knowing the times and maximum speeds permitted in each point of the stretch of track analyzed, thereby establishing a system of exploitation. To achieve these goals, they have been to analyze the factors that make influence in their calculations. Below is a brief outline of the content of the work:

1. High speed in Cantabria.
2. The organization of the traveler services.
3. Types of trains of high speed.
4. Planning schedules.
5. Design and planning of the system of exploitation.

INTRODUCTION TO THE HIGH SPEED IN CANTABRIA

As its name indicates, this project is about the study of planning and exploitation of the potential high speed in Cantabria. To get started, there are three possible high speed lines in Cantabria:

- Line Santander-Palencia.
- Line Santander-Mediterráneo
- Line Santander-Bilbao

Currently, none of its have been built and, therefore, we don't know the exact paths. The study of planning and operation shall be carried out in a single tier, where the three lines circulate in the same stretch. This stretch is the tier Santander-Sarón. Sarón will be the place where the three lines branching out in different directions each one of them. For the preparation of this study has been taken several assumptions:

- It is single track at all line.
- The traffic will be exclusively for passengers.
- Only a type of train will circulate on the track.
- The trains that travel in different directions may be crossed only at stations.

THE ORGANIZATION OF PASSENGER SERVICES

At this point, the job made a description of the various services offered by the transport by rail, delving into the long-haul services and high speed, object of study, making a short summary and analysis of high speed lines in Spain.

It makes a comparison of pros and cons of high speed rail service compared to others modes of transport. Analyzes the possibilities that offers high-speed, as well as its evolution in the lines where has been implanted. In addition it compares with other high speed rail services in recent years.

HIGH SPEED TRAINS IN SPAIN

In this section of the work, there is a classification of the rolling stock depending on the type of track that can circulate.

Below are analyzed the characteristics, both techniques (power, materials, signaling systems, type of braking, track width, etc.), as dimensions (length of train, weight, etc.), of the different trains that could be driving on the track. To help the comparison between vehicles has developed a summary table with all the trains.

Once analyzed all the data, it describes a type vehicle that will serve to make the calculations. The characteristics of this vehicle type have been course taking into account all the rolling stock and trying to get these values can resemble as closely as possible to the majority of trains. Some values are ADIF data that compels us to take in some formulations.

PLANNING SCHEDULES

In this section of the study is carried out a description of why it is necessary the planning and how it has to carry out. For a proper planning is necessary to draw up a study schedule, to which are set steps to follow, a description of the data needed to perform the calculations.

Once obtained these numerical data, charts are developed up, briefly described, where is the movement of trains, representing the speeds in each point of the track. In order to make the graphics, there was a series of guidelines to follow.

To finish the analysis of the planning schedules, describes the cadenced schedule and the books of itineraries, both systems widely used in the last years that help to improve the functioning of the system from the point of view of the passengers and the workers, respectively.

DESIGN AND PLANNING OF THE OPERATING SYSTEM

In this section brings together all the calculations to be performed in the study, in addition to the choice of systems of control, signaling, planning schedules, etc. , chosen for the development of the operating system.

The signaling system of traffic that is going to take is going to affect the movement of trains, as well as in the availability of the track, it is therefore essential delve into the topic. Once you've chosen a signaling system, it is necessary to determine the issues that affect this system, as for example, the division of the track in segments or cantons.

In the case that presents the study, the approach chosen for the division in cantons has been the ability of braking and acceleration of the train. For this purpose must be to know the maximum speed of movement in each canton and the technical characteristics of the track. In this way, we can develop a graph of speeds, where we'll know the points of braking and acceleration for the optimal operation of the track.

With these data of the velocity curves and the signaling system chosen, is then calculated the time each canton is blocked to traffic. This lets you know when you can use the track, when it becomes available.

All the known data, it is estimated the maximum capacity of the track following the method of UIC-406.

Finally are the timetables (graphics of movements), complying with the values obtained in previous calculations, and complying with the previously selected systems. Showing two possible solutions, based on two assumptions as described.

At the end of the job is an annex with own graphical elaboration that express result and help the understanding of the work done.

CONCLUSIONS

During calculations, it describes the limitations of the formulations and/or the data, often influenced by the initial assumptions or the lack of information in the absence of the railway line built.

In the section on design and planning of the system of exploitation is performed a final comparison of the solutions obtained, in addition to a critical appraisal of both in terms of the service offered.



*Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos,
Canales y Puertos.*
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



ESTUDIO DE PLANIFICACIÓN Y EXPLOTACIÓN DE LA ALTA VELOCIDAD FERROVIARIA EN CANTABRIA

Trabajo realizado por:

Jorge Vázquez Fernández

Dirigido:

Borja Alonso Oreña

Titulación:

Grado en Ingeniería Civil

Santander, Junio de 2015

TRABAJO FINAL DE GRADO

INDICE

1-	LA ALTA VELOCIDAD EN CANTABRIA	4
2-	LA ORGANIZACIÓN DE LOS SERVICIOS DE VIAJEROS	5
2.1-	LA ORGANIZACIÓN DE LOS SERVICIOS DE LARGO RECORRIDO	5
3-	MATERIAL MOVIL ALTA VELOCIDAD ESPAÑA	15
3.1.-	LISTA DE VEHÍCULOS DE ALTA VELOCIDAD SEGÚN EL ANCHO DE SUS EJES.	15
3.2.-	AVE.....	16
•	Serie 100:.....	16
•	Serie 102 y 112:	19
•	Serie 103:.....	22
3.3.-	ALVIA.....	24
•	Serie 120:.....	24
•	Serie 130:.....	27
•	Serie 730 (híbrido):.....	28
3.4.	ALTARIA.....	30
3.5.	AVANT	31
•	Serie 104.....	31
•	Serie 114:.....	33
•	Serie 121.....	34
3.6.	TREN TIPO	39
4-	PLANIFICACIÓN DE HORARIOS	40
4.1.	INTRODUCCIÓN	40
4.2.	SERVICIOS DE VIAJEROS EN GRANDES LÍNEAS (LARGO RECORRIDO)	40
4.3.	PLANIFICACIÓN DE LA CIRCULACIÓN DE LOS TRENES	41
4.3.1.	Estudio de Horarios	41
4.3.2.	Análisis cualitativo de los márgenes de tiempo	42
4.3.3.	Evaluación cuantitativa de los márgenes de tiempo	43
4.4.	GRÁFICOS DE MARCHA.....	43
4.4.1.	Trazado de un gráfico	44
4.4.2.	Gráficos de marcha tipo	44
4.5.	HORARIO CADENCIADO	45
4.5.1.	Elementos de Referencia.....	45
4.6.	LIBROS DE ITINERARIOS.....	46
5-	DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DEL SISTEMA DE EXPLOTACIÓN.....	46

5.1. LOS SISTEMAS DE CONTROL DE TRÁFICO Y SEÑALIZACIÓN EN EL FERROCARRIL	47
5.1.1. La señalización en líneas AV española	47
5.1.2. Bloqueo en las líneas AV españolas	48
5.1.3. Bloqueo y secuencia de señales en LAV Españolas.....	49
5.1.4. Principio de Funcionamiento y Niveles del ERTMS.....	50
5.2. CANTONAMIENTO	51
5.3. TIEMPO DE BLOQUEO DEL CANTÓN.....	53
5.4. CAPACIDAD.....	55
6- BIBLIOGRAFÍA	59
7- ANEXO: PLANOS.....	60
PLANO Nº1	60
PLANO Nº2	61
PLANO Nº3	62
PLANO Nº4	63
PLANO Nº5	64

1- LA ALTA VELOCIDAD EN CANTABRIA

El trazado ferroviario que comunica Cantabria con otras provincias data de finales del siglo XIX y, actualmente, no es competitivo con otros medios de transporte en lo que se refiere a viajes de larga distancia. También se prevé un aumento de dichos viajes, por lo que resulta necesaria una mejora en la infraestructura ferroviaria para devolver la competencia al ferrocarril.

Debido a la orografía de Cantabria, en la cual se deben librar grandes pendientes en cortas distancias, el trazado resultó sinuoso y con una baja velocidad de paso. Actualmente se quiere mejorar esta velocidad y llegar a implantar la alta velocidad, conectando Santander con Madrid prioritariamente, además de otras conexiones como pueden ser Santander-Bilbao (conectando las ciudades de la costa cantábrica) o Santander-Mediterráneo.

De estas tres líneas podríamos decir que solo una de ellas está parcialmente construida pues en la conexión Santander-Madrid, ya hay línea de alta velocidad entre Valladolid y Madrid. Además está aprobada la construcción de una línea de alta velocidad entre Palencia y Valladolid, por lo tanto, solo faltaría la implantación de la alta velocidad entre Palencia y Santander.

Actualmente el ministerio de fomento está realizando inversiones que van a reducir el tiempo de viaje a algo menos de 4 horas entre Santander y Madrid.

Recientemente ha sido publicado un estudio realizado por el equipo del catedrático de la universidad de Cantabria Enrique Castillo, cuya propuesta traería la Alta Velocidad Ferroviaria a Cantabria con una inversión en torno a los 300 millones de euros, lo que supone una décima parte del presupuesto necesario para el mismo trayecto con vía doble a lo largo de todo su recorrido. Esta propuesta supondría un tiempo de viaje entre Santander y Madrid de unas 2 horas y 58 minutos (3 horas y 53 minutos en el caso de mercancías) frente a las a las 2 horas y 31 minutos que supondría un trazado completo con vía doble.

Esta solución es una de las más económicas y podría suponer una programación de unos 36 trenes diarios.

En cuanto a las otras dos líneas:

-Santander-Bilbao: une directamente las dos ciudades, siguiendo una línea más o menos paralela a la costa y, por lo tanto, a la autovía del Cantábrico. No está construido ningún tramo de esta línea, sin embargo, el trabajo va a basarse en los trabajos realizados por otros compañeros en cursos anteriores. De esta manera, podría conocerse una longitud aproximada y punto donde convergen con las demás líneas que cuentan con la ciudad de Santander como origen o destino.

-Santander-Mediterráneo: siguiendo paralelo al trazado antiguo de mediados del siglo XX, realiza el siguiente recorrido: Santander - Miranda de Ebro – Soria – Calatayud - Teruel - Valencia. Al igual que en caso anterior, podemos conocer una longitud aproximada, así como punto de convergencia con las demás líneas.

Estas tres líneas ferroviarias que hemos mencionado, partirán de Santander dirección Sur hasta llegar a la localidad de Sarón donde las tres se separarán tomando direcciones diferentes; siendo el tramo Santander-Sarón el tramo más concurrido y, por lo tanto, el cuello de botella en todas las líneas que cuenten con Santander como estación.

2- LA ORGANIZACIÓN DE LOS SERVICIOS DE VIAJEROS

En el sector del transporte de viajeros, el ferrocarril ofrece sus servicios en tres segmentos de mercado: cercanías, regionales y grandes líneas, incluyendo en este último grupo los servicios prestados por líneas convencionales y de Alta Velocidad.

En términos de número de viajeros y de viajeros/km, los servicios de cercanías son los predominantes, llegando a superar el 80% del total de viajeros/km y número de viajeros.

Esto se debe a la comodidad para desplazarse en el medio urbano en un servicio público y que además no está afectado por el tráfico por carretera. En cambio, en largas distancias, el ferrocarril pierde eficacia debido a la escasez de líneas de Alta Velocidad que comuniquen las grandes ciudades, lo cual obliga al uso de las antiguas líneas ferroviarias, largas y tortuosas, algo inevitable ya que, para salvar los accidentes geográficos, el ferrocarril es menos flexible y tiene más restricciones que el transporte por carretera. Todo ello ocasiona que el tiempo de viaje por carretera sea menor que en ferrocarril, además de las diferencias tarifarias. En cambio, puede observarse que las grandes ciudades, que se encuentran comunicadas por servicios de Alta Velocidad, su tiempo de viaje por carretera es mayor y el uso del ferrocarril para largas distancias es superior al que se presenta en el resto de ciudades.

Los servicios de Alta Velocidad están aumentando el número de usuarios a medida que se implantan nuevas líneas, lo cual es un indicativo de que el servicio es eficaz y competitivo.

2.1- LA ORGANIZACIÓN DE LOS SERVICIOS DE LARGO RECORRIDO

Los desplazamientos a distancias relativamente importantes se consideraron tradicionalmente en el ferrocarril español como de largo recorrido. Se agrupaban bajo este concepto los siguientes trenes: rápidos y expresos; Talgo, TER y TAF, junto a los electrotrenes en función del tipo de material con que se prestase cada servicio.

La creación de las unidades de negocio (en 1990) como herramienta básica de la gestión de la oferta y demanda ferroviaria, así como la introducción de los servicios de alta velocidad en 1992, dieron lugar a que el tráfico de viajeros a larga distancia se distinguiese:

-La UNE de largo recorrido (propriadamente dicha). Con posterioridad se la denominó Grandes Líneas.

-La UNE de alta velocidad.

Esta última se encargaba de gestionar los servicios que se prestaban por la línea de alta velocidad, bien a través de los trenes AVE, bien por medio de los trenes Talgo 200.

Los productos (referentes a la alta velocidad) que hoy día ofrece Renfe son muy numerosos y reciben las siguientes denominaciones:

- Alaris: Dotados de caja inclinable, pueden alcanzar 200/220 km/h
- Altaria: Está formado por talgos pendulares de séptima generación.
- Alvia: Dispone de bogies o Talgo que le permiten sin interrumpir la marcha pasar de un ancho de vía a otro. Velocidad máxima de 250 km/h.
- Arco: Aptos para circular a 200 km/h.
- AVE: tren de alta velocidad 300 km/h.
- Euromed: adaptación de las composiciones AVE, para circular por ancho ibérico, a velocidades de hasta 200 km/h.
- Talgo y Talgo 200: Con la velocidad máxima que indica su número.

Para comenzar el análisis, primero veremos una breve organización de los servicios desde el punto de vista de la infraestructura.

Visión general de las infraestructuras ferroviarias

Red ferroviaria española en función de sus características y gestores (31-12-2011)



Fuente: elaboración propia

Fuente: www.observatoriodelferrocarril.es

Se puede apreciar que la red española presenta una distribución radial con Madrid como centro. La capital, además, es el punto de donde nacen la mayoría de las líneas de Alta Velocidad. Las líneas de Alta de Velocidad se están expandiendo de manera radial, fomentando el uso del ancho internacional.

Red ferroviaria de ancho ibérico y estándar gestionada por Adif

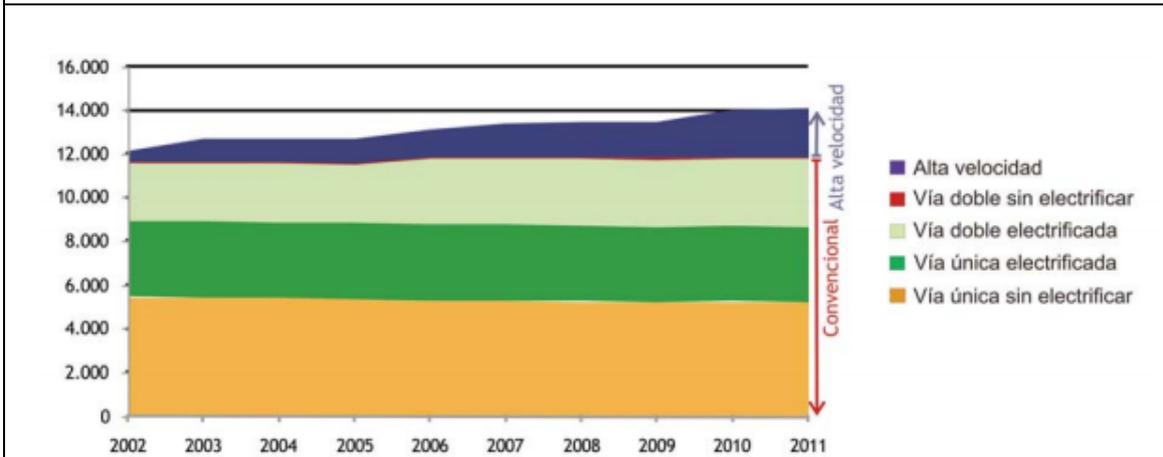
La red de ancho ibérico y estándar está compuesta, a 31 de diciembre del 2011, por un total de 14.094,7 km de líneas (+0,66 % respecto al año anterior) de los que 5.285,4 km (el 37,50 %) son de vía doble, y 8.731,4 km (el 61,95 %) están electrificados.

Longitud de líneas de ancho ibérico y ancho UIC en función de las características de la vía de la red gestionada por Adif (unidades en km)

	Vía única sin electrificar	Vía única electrificada	Vía doble sin electrificar	Vía doble electrificada	Total
Red convencional	5.247,5	3.421,1	115,8	3.084,9	11.869,3
Alta Velocidad	0,0	140,6	0,0	2.084,7	2.225,4
Total	5.247,5	3.561,7	115,8	5.169,7	14.094,7

Fuente: www.observatoriodelferrocarril.es

Longitud de las líneas de ancho ibérico y estándar en función de las características de la vía en la red gestionada por Adif (unidades en km)

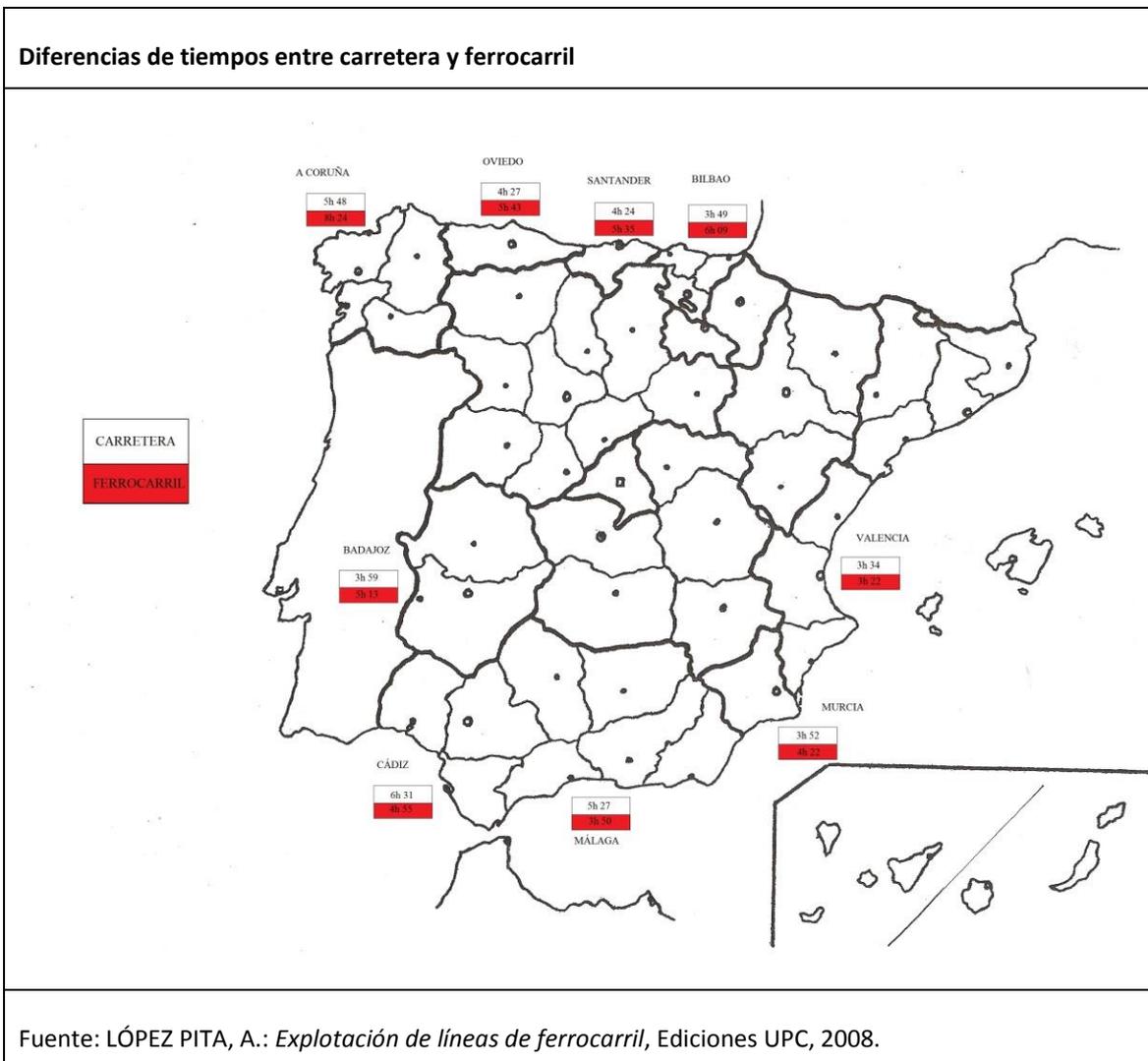


Fuente: www.observatoriodelferrocarril.es

En el gráfico superior podemos observar como la longitud de vías se ha mantenido constante en todos los tipos de vías excepto en las vías de Alta Velocidad que están en continuo crecimiento. El sector ferroviario está construyendo líneas de Alta Velocidad para ser más competitivo en las largas distancias con los demás medios de transporte, con los cuales tiene una gran desventaja en cuanto al tiempo de viaje.

En el siguiente gráfico podemos ver una comparativa de los tiempos de viaje por carretera y ferrocarril entre algunas de las principales ciudades españolas y la capital Madrid (año 2006). Cabe destacar que la carretera es el medio de transporte más rápido con diferencia, salvo algunos casos donde el tiempo es similar, esto se da en las ciudades que cuentan con línea de Alta Velocidad continua hasta Madrid.

Actualmente se están desarrollando más líneas de Alta Velocidad para el ferrocarril, lo cual reducirá el tiempo de viaje, mientras que por carretera el tiempo permanecerá más o menos constante pues las principales redes de autovías y autopistas ya están construidas y todas las ciudades cuentan con una buena comunicación por autovía con Madrid.



Una vez analizada brevemente la situación de las infraestructuras de la red ferroviaria española, se ha de analizar la organización de los servicios de viajeros como tal.

La mejor manera de analizar los servicios de viajeros en el ferrocarril de alta Velocidad es observar la evolución del tráfico de viajeros y sus causas.

Antes de comenzar el análisis conviene conocer en qué año se inauguró cada una de las principales líneas de Alta Velocidad:

-1992: Madrid-Sevilla (470,3 km)

-2003: Madrid-Zaragoza (621 km)

-2005: La Sagra-Toledo (5,3 km)

-2007: Madrid-Valladolid (179 km)

Córdoba-Málaga (155 km)

-2010: Madrid-Valencia (362 km)

Figueres-Frontera (19,8 km)

-2011: Ourense-Santiago (87,5 km)

-2013: Valencia-Alicante (165 km)

Barcelona-Figueres (127,9 km)

Una vez conocida la fecha de puesta en funcionamiento de cada línea, podemos analizar la evolución del número de viajeros, así como el número de viajeros/km.

Evolución del número de viajeros (unidad: miles de viajeros)

PERIODO	TOTAL	CERCANÍAS	MEDIA DISTANCIA CONVENCIONAL	MEDIA DISTANCIA ALTA VELOCIDAD	LARGA DISTANCIA Y ALTA VELOCIDAD
2014	464. 881	405. 443	23. 520	6. 248	29. 670
2013	466. 057	409. 670	24. 264	6. 526	25. 596
2012	472. 145	417. 881	25. 872	6. 044	22. 349
2011	476. 917	421. 149	26. 866	6. 070	22. 831
2010	463. 012	408. 887	26. 032	5. 900	22. 193
2009	476. 334	420. 531	27. 054	5. 652	23. 097
2008	510. 176	453. 635	28. 443	4. 842	23. 256
2007	517. 583	467. 213	28. 197	3. 576	18. 596
2006	527. 975	477. 745	28. 709	3. 289	18. 231
2005	517. 867	470. 043	28. 053	2. 064	17. 707
2004	484. 447	439. 746	26. 082	1. 475	17. 144
2003	491. 645	446. 048	26. 778	1. 534	17. 285
2002	484. 626	438. 773	26. 320	1. 503	18. 030
2001	466. 800	420. 950	26. 234	1. 505	18. 111
2000	437. 819	392. 847	25. 745	1. 412	17. 815
1999	418. 917	375. 038	24. 818	1. 344	17. 717
1998	409. 471	366. 653	24. 369	1. 309	17. 140
1997	395. 223	354. 357	23. 945	1. 277	15. 644
1996	377. 894	339. 892	22. 324	1. 200	14. 478
1995	365. 503	328. 651	21. 390	1. 100	14. 362

Fuente: Gobierno de España, Ministerio de Fomento

Se puede apreciar como las distancias cortas han perdido usuarios mientras que las distancias largas y en especial las de Alta Velocidad han ido creciendo hasta el punto de estar cerca de doblarse en los últimos 10 años. Además es destacable que en los viajeros de alta Velocidad, el número no se incrementa progresivamente, lo cual indica que las nuevas líneas rápidamente captan sus usuarios en

los primeros meses, un número de usuarios que en los siguientes años no se ve afectado y permanece más o menos constante.

Evolución del número de viajeros kilómetro (en millones de viajeros km)

PERIODO	TOTAL	CERCANÍAS	MEDIA DISTANCIA CONVENCIONAL	MEDIA DISTANCIA ALTA VELOCIDAD	LARGA DISTANCIA Y ALTA VELOCIDAD
2013	22. 395	7. 325	2. 326	801	11. 943
2012	21. 144	7. 468	2. 499	762	10. 416
2011	21. 403	7. 536	2. 635	769	10. 462
2010	20. 978	7. 288	2. 514	754	10. 423
2009	21. 700	7. 565	2. 630	717	10. 788
2008	22. 074	8. 187	2. 800	595	10. 491
2007	19. 966	8. 294	2. 775	431	8. 466
2006	20. 266	8. 563	2. 826	410	8. 468
2005	19. 806	8. 415	2. 746	293	8. 352
2004	19. 022	7. 992	2. 587	223	8. 220
2003	19. 333	8. 049	2. 627	232	8. 425
2002	19. 481	7. 769	2. 578	226	8. 908
2001	19. 204	7. 557	2. 574	227	8. 846
2000	18. 547	7. 087	2. 480	213	8. 767
1999	18. 150	6. 831	2. 373	200	8. 746
1998	17. 474	6. 620	2. 279	192	8. 383
1997	16. 585	6. 548	2. 208	185	7. 644
1996	15. 605	6. 318	2. 109	176	7. 002
1995	15. 318	6. 133	2. 074	162	6. 949

Fuente: Gobierno de España, Ministerio de Fomento

Nuevamente apreciamos como la Alta Velocidad es el tipo de transporte que más crece, ya sea en media o larga distancia, donde los grandes incrementos se corresponden con la implantación de

nuevas líneas. En cuantía total destaca la larga distancia, mientras que en porcentaje, ha crecido más la media distancia y Alta Velocidad.

Estos estancamientos en el crecimiento de las líneas convencionales y líneas de Alta Velocidad (estancamientos que duran 2 ó 3 años) pueden ser explicados razonablemente por los siguientes hechos:

- La dificultad del ferrocarril español para configurar una oferta en los servicios diurnos de viajeros a larga distancia, a causa de las restricciones de velocidad derivadas de la sinusoidad de las líneas. La poca flexibilidad del trazado del ferrocarril obliga a curvas con radios mayores y acuerdos de mayor valor, produciéndose un aumento en la longitud de recorrido así como una reducción de la velocidad.
- Los avances producidos en la modernización de las infraestructuras viarias españolas, posibilitando una sensible reducción de los tiempos de viaje. La carretera es más flexible que el ferrocarril y puede adaptarse mejor a los accidentes geográficos.
- La llegada al mercado español de nuevas compañías aéreas, incluyendo las denominadas de bajo coste. Esto fomenta la competitividad entre los distintos medios y modos de transporte. Las compañías de bajo coste pueden llegar a ofertar, aproximadamente, unas 10.000 plazas-km, lo que correspondería unos 37 millones de km-tren. El grado de aprovechamiento es del orden del 64%. Cada tren, de media, transporta unos 175 pasajeros.

Todos estos motivos han hecho que el ferrocarril sea en mucho pares origen-destino de ciudades españolas, la peor opción ya sea en precio o tiempo de viaje.

La Alta Velocidad puede ser una solución, consiguiendo en algunos casos que el ferrocarril sea el modo de transporte más rápido.

Los servicios de Alta Velocidad tienen un efecto absorbente, atrayendo un gran número de viajeros en poco tiempo, que rápidamente se estabiliza, como pudo observarse en la línea Madrid-Sevilla, la cual no experimento aumentos significativos de viajeros desde el año de su implantación.

Los incrementos puntuales de viajeros en el uso de las líneas de Alta Velocidad puede deberse principalmente a la implantación de nuevas líneas, las cuales reducen el tiempo de viaje entre ciudades, haciendo competitivo al ferrocarril frente al transporte por carretera y el avión.

Estos incrementos puntuales en las líneas de Alta Velocidad y estancamientos en las líneas convencionales, así como en las grandes líneas, no son fenómenos que se den solamente en España, igualmente se produjeron en otros países europeos como por ejemplo Francia.

Por otro lado, destaca el impacto que se produce en los desplazamientos aéreos cuando se implanta una nueva línea de Alta Velocidad, en donde el ferrocarril alcanza rápidamente una cuota de

mercado elevada respecto al avión (en el caso de Madrid-Sevilla fue del 80%). Es relevante reflejar la alta valoración que los clientes han tenido para los servicios ofertados.

3- MATERIAL MOVIL ALTA VELOCIDAD ESPAÑA

Debido a la particularidad del ancho de vía ibérico que recorre casi toda la península y la estandarización con el ancho de vía internacional, en España encontramos diferentes corredores con diferentes anchos de vía que los recorren (ancho ibérico de 1668 mm y ancho internacional de 1435 mm).

Por lo tanto, entre el material móvil español hallamos diferentes vehículos de alta velocidad según el ancho de vía por el que circulen. Sin embargo, habrá determinados pares origen-destino que requieran un cambio de vehículo para poder llegar a conectarse. Para evitar este problema surgieron vehículos que cuentan con la posibilidad de realizar un cambio de ancho en sus ejes (existen varias maneras de cambiar el ancho), estos cambios se realizan en lugares llamados intercambiadores de ejes o de ancho y que se encuentran estratégicamente repartidos en zonas donde son necesarios, evitando así tener que retirar todas las vías de ancho ibérico sustituyéndolas por vías de ancho internacional.

Debido a la exigencias de la Alta Velocidad se trata de conseguir los vehículos más ligeros posibles pues debido al peso y a la alta velocidad, la vías es sometida a esfuerzos que exigen un alto grado de mantenimiento, de esta manera, reduciendo el peso, se consigue que el mantenimiento necesario sea menor.

Los trenes están formados por vehículos de vagones indivisibles, formando todo una sola unidad¹.

3.1.- LISTA DE VEHÍCULOS DE ALTA VELOCIDAD SEGÚN EL ANCHO DE SUS EJES.

ALTA VELOCIDAD (ANCHO INTERNACIONAL)

- AVE
 - S-100
 - S-102
 - S-112
 - S-103
- AVANT
 - S-104
 - S-114

ALTA VELOCIDAD (ANCHO VARIABLE)

- ALVIA
 - S-130

¹ Todas las imágenes y datos se han obtenido de www.renfe.com

- S-120
- S-730 híbrido
- AVANT
 - S-121
- ALTARIA

A continuación se explicarán brevemente las características principales de cada vehículo.

3.2.- AVE

Se trata de una marca comercial utilizada por Renfe Operadora para referirse a sus trenes de Alta Velocidad y de más alta gama. El primer vehículo AVE circulo en la línea Madrid-Sevilla.

Son trenes capaces de superar los 300 Km/h (algunos modelos llegan a alcanzar los 350 Km/h) y que circulan por vías de ancho internacional. Aunque algunos vehículos son capaces de circular a más de 310 Km/h, no se les permite debido a la falta de homologación del sistema de control de tráfico que es necesario a partir de dicha velocidad. Requieren una electrificación de 25 Kv a 50 Hz.

- **Serie 100:**

Su tecnología se basó en el TGV Atlántico francés, pero modificándolo para adaptarlo a la red española.

La composición del tren no puede ser modificada y cuenta con dos cabezas motoras extremas y ocho vagones intermedios. Así puede circular en ambos sentidos de la marcha. También es posible la circulación de dos trenes acoplados en mando simple.

El tren dispone de una sala de reuniones, cafetería y de clases Club, preferente y turista.

Este tren en las cabinas dispone de señalización tipo LZB y Asfa.

El sistema de frenado del tren consta de frenos eléctrico reostático, automático, de inmovilización y de estacionamiento. El freno eléctrico es el prioritario y se puede emplear sólo o junto con el neumático.

Características técnicas:

Composición mínima	8 coches + 2 cabezas tractoras
Composición múltiple	16 coches (dos composiciones)
Ancho de vía	1.435 milímetros
Tensión	25 KV / 50 Hz y 3 V en corriente continua
Estructura de caja	Cabezas tractoras en acero, remolques extremos en chapa soldada y remolques intermedios en acero
Velocidad máxima (Km/h)	300 Km/h
Plazas sentadas por unidad de tren	332 plazas
Motores de tracción	8 motores trifásicos síncronos autopilotados
Frenado	Eléctrico, reostático, automático, de inmovilización y de estacionamiento
Sistemas de señalización	LZB y Asfa
Unidades de servicio	22
Constructor principal	Alstom

Los pesos y dimensiones de este tren son los siguientes:

Longitud total del tren	200,150 m
Longitud máxima de cabezas tractoras	22,130 m
Longitud de las cajas de remolques extremos	21,845 m
Ancho máximo caja cabeza tractora	2,814 m
Ancho máximo caja remolques	2,904 m
Distancia entre bogies portadores	18,700 m
Distancia entre ejes de bogies portadores	3,000 m
Carga por eje	17,2 toneladas
Masa sin carga en orden de marcha	392,6 toneladas
Masa del tren con carga normal	421,5 toneladas



En la siguiente imagen se puede apreciar cómo se ensamblan dos cabinas para poder circular en conjunto, con varios trenes como uno solo.



- **Serie 102 y 112:**

El tren puede estar formado por un conjunto de entre 12 y 23 coches a los que hay que añadir dos cabezas tractoras.

Dispone de clase turista, preferente y club.

La cabeza tractora de estos trenes está especialmente diseñada para soportar vientos laterales así como para reducir las olas de presión que se producen al atravesar túneles.

Los coches se han construido con un material más ligero, lo que permite una gran reducción de consumo de energía. Además el carenado consta de un nuevo tratamiento que reduce la resistencia al avance y elimina ruidos.

Los retrovisores del tren han sido sustituidos por cámaras, las cuales se han colocado en los laterales y en las cabezas tractoras. Las imágenes se pueden ver en cabina mediante pantallas.

La cabina cuenta con un sistema de comunicaciones GSM-R, Asfa 200 y lleva equipo de señalización ETCS/ERTMS de niveles 1 y 2, así como LZB.

Este tipo de tren cuenta con medidas respetuosas con el medio ambiente, por ejemplo: los contadores de energía consumida y devuelta a la red para un control lo más exhaustivo posible; o la refrigeración de los equipos electrónicos con agua, evitando así el uso de líquidos contaminantes.

El tren cuenta con un freno regenerativo, de forma que cuando se activa el freno eléctrico, el excedente de energía se emplea para alimentar otros servicios y todo lo demás se devuelve a la catenaria.

Las cabezas cuentan con freno neumático. El freno eléctrico es de recuperación y reostático. También cuentan con freno neumático con ABS.

Características técnicas:

Composición mínima	12 coches + 2 cabezas tractoras
Composición múltiple	23 coches + 2 cabezas tractoras
Ancho de vía	1.435 milímetros
Tensión	25 KV / 50 Hz en corriente alterna
Estructura de caja	Cabeza tractora diseñada en túnel de viento. Coches con materiales ligeros, extrusiones soldadas de aleación de aluminio.
Velocidad máxima (Km/h)	330 Km/h
Plazas sentadas por unidad de tren	316 en la serie 102 / 353 en la serie 112
Motores de tracción	8 motores asíncronos
Frenado	Eléctrico, y neumático
Sistemas de señalización	ERTMS niveles 1 y 2; STM de LZB y Asfa
Unidades de servicio	16 de la serie 102 / 30 de la serie 112
Constructor principal	Consortio Talgo/Bombardier

Los pesos y dimensiones de este tren son los siguientes:

Longitud total del tren	200,000 m
Longitud máxima de cabezas tractoras	20,000 m
Longitud de las cajas de remolques extremos	13,890 m
Ancho máximo caja cabeza tractora	2,960 m
Carga por eje	17,0 toneladas
Masa sin carga en orden de marcha	322,0 toneladas



- **Serie 103:**

Este tren deriva del ICE 3 alemán y está construido por Siemens. Se trata de un tren autopropulsado que puede llegar a alcanzar una velocidad máxima de 350 km/h. Su mayor peculiaridad dentro de la serie AVE es que la tracción es distribuida, situada bajo los bastidores, por lo tanto no cuenta con cabezas tractoras y todo el tren es utilizado para el transporte de viajeros.

Cuenta con 404 plazas de viajeros distribuidas en las clases: preferente, turista y Club.

La estructura del tren es de aluminio para reducir peso. La composición completa es de 8 coches. El enganche entre coches permite que los trenes circulen en doble composición y es compatible con las locomotoras de la serie 252 y los AVE de la serie 100.

El tren está equipado con el sistema de señalización ERTMS de nivel 1 y 2 y es compatible con el sistema LZB, así como el Asfa como sistema de respaldo. Las antenas de los sistemas de control ERTMS, LZB y Asfa se sitúan en los bogies extremos. Esta serie también cuenta con un sistema de control integrado que recoge, trata y transmite los datos, facilitando el mantenimiento.

Como ya se ha dicho, la tracción del tren está distribuida, se reparten los equipos de tracción bajo los bastidores y por lo tanto no hay cabezas tractoras tradicionales. Al repartirse el equipo eléctrico a lo largo de todo el tren, se mejora la adherencia ya aceleración, a la vez que se reparte de manera más homogénea la masa por eje, reduciendo el daño producido a la vía y, por lo tanto, los costes de mantenimiento de esta.

Este tren dispone de una potencia de frenado muy elevada gracias a un freno eléctrico que permite conmutar automáticamente entre el régimen de frenado de recuperación y el régimen de frenado reostático.

A continuación se especifican las características técnicas de este tren resumidas:

Composición mínima	8 coches + 2 cabezas tractoras
Composición múltiple	Dos composiciones
Ancho de vía	1.435 milímetros
Tensión	25 KV / 50 Hz y 3 V en corriente continua
Estructura de caja	Aluminio
Velocidad máxima (Km/h)	350 Km/h
Plazas sentadas por unidad de tren	404/405 plazas
Motores de tracción	16 motores asíncronos
Frenado	Regenerativo, reostático y neumático
Sistemas de señalización	ERTMS niveles 1 y 2, ASFA, STM de LZB
Unidades de servicio	26
Constructor principal	Siemens

Los pesos y dimensiones de este tren son los siguientes:

Longitud total del tren	200,000 m
Longitud máxima de cabezas tractoras	22,130 m
Longitud de las cajas de remolques	24,775 m
Ancho máximo caja remolques	2,950 m
Carga por eje	15,0 toneladas
Masa sin carga en orden de marcha	425,0 toneladas



3.3.- ALVIA

Se trata de un tren de larga distancia que puede llegar a circular a 250 km/h en líneas de alta velocidad y 220 km/h en líneas convencionales. Puede circular tanto por ancho internacional como por ancho ibérico.

La principal característica de este tipo de trenes es que puede cambiar de ancho durante la marcha, esto es debido a la tecnología desarrollada por Talgo.

- **Serie 120:**

Son los primeros trenes autopropulsados capaces de realizar un cambio de ancho de vía de manera continua, es decir, sin paradas ni maniobras. Esto supone un ahorro de tiempo sobre la operativa tradicional de cambio de ancho de vía.

El tren está formado por cuatro coches motores, unidos de forma neumática, mecánica y eléctrica. Se puede acoplar un tren a otro de manera que podemos llegar a tener hasta 8 coches.

Los coches extremos cuentan con cabinas de conducción donde podemos encontrar los adecuados equipos de control y conducción.

Cada uno de los coches descansa sobre dos bogies con un único eje motor, lo que supone ocho ejes motores y ocho portadores, que permiten realizar la maniobra de cambio de ancho a una velocidad de unos 30 km/h.

Este modelo de tren cuenta con todos los sistemas de señalización existentes, lo que le permite circular por todo el territorio español: ASFA 200/98, ASFA AVE y ERTMS.

La peculiaridad de este tipo de tren es que permite realizar un cambio entre ancho de vía ibérico e internacional sobre la marcha en el intercambiador en un tiempo de 3 segundos. Todos los bogies son motores y forman parte del sistema denominado Brava (Bogie de Rodadura de Ancho Variable Autopulsado) y están montados sobre dos ejes, uno portante y otro motor, que permiten circular a los vehículos por cualquier ancho de vía.

El sistema Brava está formado por dos conjuntos de ruedas que pueden desplazarse lateralmente. Durante la circulación, este movimiento lateral está impedido por un doble sistema de seguridad.

También destaca el sistema ATMS, una red de sensores en el Bogie que monitoriza diversos parámetros de las partes mecánicas del eje Brava.

Características técnicas:

Composición mínima	4 coches motores
Composición múltiple	Dos disposiciones
Ancho de vía	Adaptable Ibérico / Internacional.
Tensión	25 kV c.a. (internacional) y 3 kV c.c. (ibérico).
Estructura de caja	Cabeza tractora aerodinámica fabricada con aleación ligera de aluminio
Velocidad máxima (Km/h)	250 km/h ancho internacional y 220 km/h ancho ibérico.
Plazas sentadas por unidad de tren	S-120: 238 plazas. S-121: 281 plazas.
Motores de tracción	8 asíncronos - Alstom MTA / 550 H.
Frenado	Eléctrico, y neumático
Sistemas de señalización	ERTMS niveles 1 y 2; STM de LZB y Asfa
Unidades de servicio	12 de S-120 (+ 16 de S-120 y 29 de S-121).
Constructor principal	CAF, con motor Alstom.

En cuanto a sus dimensiones:

Longitud total del tren	107,36 m.
Longitud máxima de cabezas tractoras	27,90 m.
Longitud de las cajas de remolques	25,78 m.
Ancho máximo caja remolques	2,92 m.
Carga por eje	15,0 toneladas
Masa sin carga en orden de marcha	494,0 toneladas



- **Serie 130:**

También conocidos como Talgo 250 o Patitos, al igual que la serie 120 son capaces de cambiar el ancho de sus ejes en movimiento. Se componen de 11 coches talgo de la serie 7 (ofertando 299 plazas) y dos cabezas tractoras. Pueden llegar a circular a 250 y 200/220 km/h en vías de ancho internacional e ibérico respectivamente.

En cuanto a las características técnicas, y especialmente, en lo referido a los bogies, la serie 130 es muy similar a la 120, contando ahora con mejores sobre todo en comodidad tanto de viajeros como de operarios.

Como dato podemos apuntar que la distancia de frenado con el freno de servicio es de 2300 metros (61 seg) a 250 km/h y de 1406 metros a 200 km/h.

Composición simple	2 cabezas motrices + 11 coches
Ancho de vía	1.668/1.435 metros.
Tensión	25 kV y 50 Hz c.a. y 3 kV c.c.
Estructura de caja	Aleación ligera de aluminio
Velocidad máxima (Km/h)	250 km/h ancho internacional y 220 km/h ancho ibérico.
Plazas sentadas por unidad de tren	299.
Motores de tracción	8 asíncronos
Frenado	Eléctrico, y neumático
Sistemas de señalización	ERTMS niveles 1 y 2; STM de LZB, ATP Edicab y Asfa.
Constructor principal	Talgo/Bombardier.

Longitud total del tren	184,158 m.
Longitud máxima de cabezas tractoras	20,749 m.
Longitud de las cajas de remolques	20,749 m.
Ancho máximo caja remolques	2,96 m.
Carga por eje	18,0 toneladas
Masa sin carga en orden de marcha	312,0 toneladas



- **Serie 730 (híbrido):**

Se trata del primer tren eléctrico de la empresa, combinando tecnología de tracción tanto diésel como eléctrica. Esto permite aplicar las ventajas de la alta velocidad a tramos sin electrificar, ya que cuenta con un sistema de rodadura desplazable que también le permite circular por vías de ancho UIC o de ancho convencional. Además cuenta con bogies de dos ejes de ancho variable para cambiar de red.

Actualmente circula por todas las vías de Alta Velocidad de España. Cuenta con 216 plazas de clase turista, 26 plazas de clase preferente y coche cafetería.

Pueden desarrollar una velocidad máxima de 250 km/h en líneas AV, mientras que en vías convencionales pueden circular a 220 km/h y 180 km/h en vías electrificadas y sin electrificar respectivamente. Cuenta con sistemas de señalización ERTMS, LZB y Asfa digital, que garantizan la interoperabilidad por toda la red ferroviaria española.

Características Técnicas:

Composición simple	2 cab.motrices + 2 furgones + 9 coches
Ancho de vía	1.668/1.435 metros.
Tensión	25 kV y 50 Hz y 3 kV c.c.
Estructura de caja	Aleación ligera de aluminio
Velocidad máxima (Km/h)	250 km/h (25kV), 220 km/h (3kV) y 180 km/h (diésel)
Plazas sentadas por unidad de tren	242
Motores de tracción	Diésel y eléctricos
Constructor principal	Talgo/Bombardier.



3.4. ALTARIA

Es el nombre comercial que se le da al Talgo de larga distancia y gama media-alta, que circula por líneas de Alta Velocidad de ancho internacional y líneas convencionales de ancho ibérico, con diferentes locomotoras en cada etapa.

Puede desarrollar una velocidad máxima de 200 km/h.

También es el nombre comercial que recibe un servicio ferroviario de largo recorrido prestado por Renfe desde 2001. Se realiza con un talgo de las series IV ó VI y una locomotora de la serie 252 ó 354 para vías AV o vía convencional respectivamente.

Debido a que Renfe cuenta con pocos automotores diésel de larga distancia, suelen ser empleados en tramos no electrificados.

Existen dos ramas de servicio prestados por Talgo, los servicios más sencillos denominado Talgo también, y los de nivel superior denominados Altaria. La principal diferencia reside en las prestaciones.



3.5. AVANT

Es un servicio de trenes de media distancia y Alta Velocidad. Puede circular a una velocidad máxima de 250 km/h usando la misma tecnología que el Alvia.

Cuenta con una clase única y sin cafetería, excepto en algunas unidades de la serie 104.

Disponen de una tarifa media y unos horarios y frecuencias que se adaptan a los viajeros diarios. Los servicios Avant se extienden por España a medida que se inauguran nuevas líneas de Alta Velocidad.

- Serie 104

Son los primeros trenes, que fueron construidos en todo el mundo, destinados a dar servicios de distancias medias a Alta Velocidad. Son trenes formados por cuatro coches, con posibilidad de circular en tracción múltiple de hasta tres composiciones y a una velocidad máxima de 250 km/h. El paso entre coches se realiza a través de fuelles de intercomunicación y de puertas deslizantes de dos hojas con mando electrónico neumático.

Las diferencias técnicas con otros trenes de la familia se hallan en la falta de basculación, la diferente tensión, el ancho de vía (1.435mm), la velocidad máxima (250km/h) y la mayor potencia (4000kw).

En este modelo, destaca la tracción distribuida, que reparte los equipos de tracción y auxiliares bajo los bastidores a lo largo de toda la composición. Esta tracción la proporcionan 8 motores trifásicos.

Los trenes están provistos de diversos sistemas de seguridad pasiva como la absorción de impactos a baja velocidad con deformación progresiva, con frontales reforzados y de confort.

Dispone de un sistema de señalización ERTMS de nivel 1 y 2, así como traductores de lenguaje que le permite poder circular con los sistemas STM-LZB y Asfa. También cuenta con un equipo de telecomunicación GSM-R, sistema de diagnóstico de averías y ayuda a la conducción, dispositivo de vigilancia continua, equipo de registro de incidencias y sistemas de patinaje y antibloqueo, engrase de pestaña y areneros. Igualmente incorpora equipos de información a los viajeros.

Otra característica fundamental de este tren es su capacidad de frenado, gracias a un freno eléctrico que permite conmutar automáticamente entre el régimen de recuperación en los ejes motores y el de frenado reostático. También dispone de freno neumático/electrodinámico con discos autoventilados. El freno de servicio es conjugado neumático/electrodinámico, el de emergencia es neumático y el de auxilio es conjugado con mando neumático.

A continuación se especifican las características técnicas de este tren resumidas:

Composición mínima	Mc+Mi+Mi+Mc (4 coches)
Estructura de caja	Aleaciones de aluminio
Ancho de vía	1.435 mm
Tensión	25 kV, 50 Hz
Velocidad máxima (Km/h)	270 km/h
Plazas sentadas por unidad de tren	236 plazas + 1PMR
Motores de tracción	8 asíncronos trifásicos
Frenado	Eléctrico, y neumático
Sistemas de señalización	ERTMS niveles 1 y 2; STM de LZB y Asfa
Unidades de servicio	20
Constructor principal	Alstom-Caf

Los pesos y dimensiones de este tren son los siguientes:

Longitud total del tren	107,100 mm
Longitud máxima de cabezas tractoras	27,60 m.
Longitud de las cajas de remolques	25,90 m.
Ancho máximo caja remolques	2,920 mm
Carga por eje	17,0 toneladas
Masa sin carga en orden de marcha	221,5 toneladas



- **Serie 114:**

Trenes formados por cuatro coches, con posibilidad de marchar en tracción múltiple de hasta tres composiciones y con una velocidad comercial máxima de 250 km/h.

De los coches que conforman el tren, los extremos incorporan un frontal aerodinámico, que reduce la resistencia al avance y detrás, en los cuales se sitúan las cabinas de conducción. A diferencia del modelo 104, el morro de la cabina del 114 es más alargado, al contar con un sistema anti-crash, característica destacable en este tren.

Tanto las características de tracción y frenado, como de señalización son idénticas en los modelos de las series 104 y 114, así como las características de los coches.

A continuación se especifican las características técnicas de este tren resumidas:

Composición mínima	Mc+Mi+Mi+Mc (4 coches)
Estructura de caja	Aleaciones de aluminio
Ancho de vía	1.435 mm
Tensión	25 kV, 50 Hz
Velocidad máxima (Km/h)	270 km/h
Plazas sentadas por unidad de tren	236 plazas + 1 PMR
Motores de tracción	8 asíncronos trifásicos
Frenado	Eléctrico, y neumático
Sistemas de señalización	ERTMS niveles 1 y 2; STM de LZB y Asfa
Unidades de servicio	20
Constructor principal	Alstom-Caf

Los pesos y dimensiones de este tren son los siguientes:

Longitud total del tren	105,52 m.
Longitud máxima de cabezas tractoras	27,60 m.
Longitud de las cajas de remolques	25,16 m.
Ancho máximo caja remolques	2,92 m.
Carga por eje	17,0 toneladas
Masa sin carga en orden de marcha	230,0 toneladas



- **Serie 121**

Este tren autopropulsado cuenta con un sistema de rodadura autodesplazable basado en los bogies Brava, lo que les permite circular por los dos anchos de vía que encontramos en España. Es capaz de adaptarse de un ancho a otro en tan sólo 3 segundos y a una velocidad de 30 km/h, permitiendo ahorrar 15 minutos en la operativa tradicional de cambio de vía.

El tren está formado por cuatro coches pero puede circular en composición de 2 trenes, lo que supone 8 coches.

Cada unidad dispone de dos cabinas de conducción donde se encuentran montados los equipos de control y conducción, distribuidos en una consola y en un panel situado en el techo de la cabina. La estructura de la caja es autoportante y se ha realizado en aleación ligera de aluminio.

El tren, desde un punto de vista del equipo de tracción y generación de auxiliares está concebido como dos semiunidades. Cada una de ellas está concebida como un tren de modo que dispone de todos los elementos de captación, transformación y transmisión de la energía necesarios para el funcionamiento del tren.

Para poder circular por todas las vías españolas, cuenta con los sistemas de señalización existentes: ASFA, ASFA AVE y ERTMS.

Estas series incorporan tres sistemas de freno. El freno eléctrico es el sistema prioritario, con el objeto de reducir al mínimo la aplicación del freno neumático. El freno neumático se aplica como complemento del eléctrico para alcanzar el esfuerzo de frenado solicitado. En caso de frenado de emergencia actúa exclusivamente el freno neumático, que producirá la parada en una distancia máxima de 1.000 metros si se circula a 160 km/h, y en 2.700, si la velocidad es de 250 km/h. Las ruedas son enterizas, de acero no aleado de bajo contenido en carbono y con llanta templada superficialmente.

A continuación se especifican las características técnicas de este tren resumidas:

Composición mínima	4 coches Mc-M-M-Mc.
Composición múltiple	23 coches + 2 cabezas tractoras
Estructura de caja	Aleación de aluminio
Ancho de vía	Adaptable Ibérico / Internacional.
Tensión	25 kV c.a. (internacional) y 3 kV c.c. (ibérico).
Velocidad máxima (Km/h)	250 km/h ancho internacional y 220 km/h ancho ibérico.
Plazas sentadas por unidad de tren	S-121: 281 plazas.
Motores de tracción	8 asíncronos - Alstom MTA / 550 H.
Frenado	Eléctrico, y neumático
Sistemas de señalización	ASFA, Ertms y Ave.
Unidades de servicio	29.
Constructor principal	CAF, con motor Alstom.

Los pesos y dimensiones de este tren son los siguientes:

Longitud total del tren	107,36 m.
Longitud máxima de cabezas tractoras	27,90 m.
Longitud de las cajas de remolques	25,78 m.
Ancho máximo caja remolques	2,92 m.
Carga por eje	15,0 toneladas
Masa sin carga en orden de marcha	251,3 toneladas

Para concluir se muestra la siguiente tabla comparativa entre los diferentes tipos de vehículos que circulan en España:

Tipo	Serie	Composición mínima	Composición múltiple	Ancho de vía
AVE	100	8 coches + 2 cabezas tractoras	Dos composiciones	1.435 mm
	102/112	12 coches + 2 cabezas tractoras	23 coches + 2 cabezas tractoras	1.435 mm
	103	8 coches + 2 cabezas tractoras	Dos composiciones	1.435 mm
Alvia	120	4 coches motores	Dos composiciones	1.435 / 1.668 mm
	130	11 coches + 2 cabezas motrices	-	1.435 / 1.668 mm
	730	9 coches + 2 cabezas motrices + 2 furgones generadores	-	1.435 / 1.668 mm
Avant	104	4 coches motores	Tres composiciones	1.435 mm
	114	4 coches motores	Tres composiciones	1.435 mm
	121	4 coches motores	Dos composiciones	1.435 / 1.668 mm

Tipo	Serie	Tensión	Estructura de caja	Velocidad máxima
AVE	100	25 KV / 50 Hz y 3 V en CC	Cabezas tractoras en acero, remolques extremos en chapa soldada y remolques intermedios en acero	300 km/h
	102/112	25 KV / 50 Hz en CA	Cabeza tractora diseñada en túnel de viento. Coches con materiales ligeros	330 km/h
	103	25 KV / 50 Hz y 3 V en CC	Material de aluminio	350 km/h
Alvia	120	25 KV / 50 Hz y 3 V en CC	Aleación de aluminio	250 km/h en UIC 220 km/h en ibérico
	130	25 KV / 50 Hz y 3 V en CC	Aleación de aluminio	250 km/h en UIC 220 km/h en ibérico
	730	25 KV / 50 Hz y 3 V en CC	Aleación de aluminio	250 km/h para 25 KV 220 km/h para 3 KV 180 km/h para diésel
Avant	104	25 KV / 50 Hz en CA	Aleación de aluminio	270 km/h
	114	25 KV / 50 Hz en CA	Aleación de aluminio	270 km/h
	121	25 KV / 50 Hz en CA	Aleación de aluminio	250 km/h en UIC 220 km/h en ibérico

Tipo	Serie	Plazas	Motores de tracción	Frenado
AVE	100	332	8 síncronos	Eléctrico, reostático, automático, de inmovilización y de estacionamiento
	102/112	316 en la serie 102 353 en la serie 112	8 asíncronos	Eléctrico y neumático
	103	404	16 asíncronos	Regenerativo, reostático y neumático
Alvia	120	238	8 asíncronos	Eléctrico y neumático
	130	299	8 asíncronos	Eléctrico y neumático
	730	242	Diésel y eléctricos	Eléctrico y neumático
Avant	104	236 + 1 PMR	8 asíncronos	Eléctrico y neumático
	114	236 + 1 PMR	8 asíncronos	Eléctrico y neumático
	121	281	8 asíncronos	Eléctrico y neumático

Tipo	Serie	Señalización	Unidades en servicio	Constructor principal
AVE	100	LZB y Asfa	22	Alstom
	102/112	ERTMS niveles 1 y 2, STM de LZB y Asfa	16 de la serie 102 30 de la serie 112	Consorcio Talgo/Bombardier
	103	ERTMS niveles 1 y 2, STM de LZB y Asfa	26	Siemens
Alvia	120	ERTMS niveles 1 y 2, STM de LZB y Asfa	27	CAF, con motor Alstom
	130	ERTMS niveles 1 y 2, STM de LZB, ATP Edicab y Asfa	30	Talgo/Bombardier
	730	ERTMS niveles 1 y 2, STM de LZB y Asfa	15	Talgo/Bombardier
Avant	104	ERTMS niveles 1 y 2, STM de LZB y Asfa	20	Alstom-Caf
	114	ERTMS niveles 1 y 2, STM de LZB y Asfa	13	Alstom-Caf
	121	ERTMS niveles 1 y 2 y Asfa	29	Alstom-Caf

3.6. TREN TIPO

Para futuros cálculos, se empleará un tren tipo con unos valores estándar. Dicho tren tipo se basará en el AVE de la serie 103 en cuanto a dimensiones, mientras que para valores técnicos será similar pero con unos valores de aceleración y frenado más próximos a la media de todos los modelos. Quedando así las siguientes características:

Longitud	400m (tren compuesto)
Ancho de vía	1435 mm (ancho internacional)
Sistema de señalización	ERTMS Nivel 2
Tensión	25 KV / 50 Hz en CC
Sistema de Frenado	Regenerativo, reostático y neumático
Velocidad Máxima	350 km/h
Motores de Tracción	16 asíncronos
Aceleración	A velocidades “bajas” se tomará una aceleración continua de 0,85 m/s ²
Frenado	Para el frenado de emergencia se tomará 0,75 m/s ² Para el frenado confortable de servicio se tomara 0,375 m/s ²

4- PLANIFICACIÓN DE HORARIOS

4.1. INTRODUCCIÓN

La planificación del movimiento de trenes consiste en determinar, para cada línea de una red ferroviaria, los horarios de los trenes que van a circular de forma que técnicamente sean posibles y den lugar a una explotación económica del conjunto de los servicios. En paralelo, otras finalidades son la organización de los medios humanos y del material de transporte necesario para realizar los citados servicios.

A continuación se expondrá una visión general de la tipología de servicios hoy en día existentes en el ferrocarril.

4.2. SERVICIOS DE VIAJEROS EN GRANDES LÍNEAS (LARGO RECORRIDO)

Las relaciones por ferrocarril entre núcleos urbanos de gran población y distantes al menos en 300 km, se designan como servicios de largo recorrido o grandes líneas.

La velocidad máxima de circulación de los trenes convencionales se sitúa en el intervalo de 160 a 220 Km/h, y la de los trenes de Alta Velocidad entre 250 y 300 Km/h.

En cuanto a la capacidad de transporte, las composiciones formadas por locomotora y coches disponen de un número de plazas, en general comprendido entre 230 y 500. El AVE dispone de 320 plazas.

4.3. PLANIFICACIÓN DE LA CIRCULACIÓN DE LOS TRENES

Haciendo referencia a aspectos cuantitativos, es de interés comprobar la importante densidad de circulaciones existente en la red ferroviaria española. (Organización de los servicios de viajeros).

Debe hacerse constar que los horarios asignados a un tren determinado son el resultado de un compromiso entre diversas exigencias: correspondencias que debe asegurar, aprovechamiento de material, etc.

4.3.1. Estudio de Horarios

Para confeccionar los horarios de los trenes se necesita disponer, básicamente, de dos tipos de datos: técnicos y comerciales.

A partir de los datos técnicos, se establece, para cada línea, cada material motor previsto y para la carga remolcable establecida, la velocidad o marcha base. Naturalmente, el tren necesita un cierto tiempo para alcanzar la citada velocidad o marcha tipo, así como otro intervalo de tiempo para pasar de dicha velocidad a detenerse en la estación correspondiente.

- Datos Técnicos:
 - Perfil de la vía del trayecto que se trate.
 - Velocidades máximas, limitadas por la geometría de la vía en el trayecto considerado.
 - Tipo de tracción a utilizar y curvas características de las locomotoras
 - Composición y carga del tren.
 - Condiciones de seguridad. Tipo de frenado, enclavamiento y bloqueos.
 - Longitud de estaciones.
- Datos Comerciales:
 - Programa de llegadas y salidas en estaciones, apeaderos, etc.
 - Enlaces y esperas.
 - Tiempos de parada en las estaciones.
 - Cadencia de los trenes.

Desde el punto de vista teórico, la suma de los tiempos de arranque, circulación a la velocidad de régimen y frenado deberían proporcionar el tiempo de recorrido entre dos puntos dados. Sin embargo, en la práctica, la marcha de los trenes difiere de su marcha teórica. La dispersión de los valores de la duración del recorrido, alrededor de un valor medio, es inevitable. Algunos de los motivos que pueden incrementar el tiempo de recorrido son: trabajos de mantenimiento o renovación de las vías (lo que obliga a reducir la velocidad); incidencias técnicas al nivel del material o de las instalaciones; superación de los tiempos concedidos en las paradas comerciales, etc. El cumplimiento de los horarios es, no

obstante, un indicador de calidad de primordial importancia para todo operador ferroviario. Como consecuencia, resulta obligado introducir unos determinados márgenes de tiempo que aseguren la fiabilidad del servicio.

4.3.2. Análisis cualitativo de los márgenes de tiempo

De acuerdo con la ficha UIC 451-1 (diciembre 2000), se definen los siguientes conceptos:

a) Tiempo de la marcha-tipo

Es el tiempo necesario entre dos puntos para adoptar como horario de un tren. Es la suma del tiempo deducido de la marcha de base más los márgenes de regularidad y suplementarios que se le incorporen.

b) Marcha de base

Es el tiempo más corto posible para recorrer una sección determinada de línea remolcando una cierta carga, a partir de la consideración de los valores medios referidos a:

- La conducción del tren por parte del maquinista.
- Las prestaciones técnicas ofrecidas por el material motor.
- La alimentación de la corriente de tracción.
- La adherencia.
- La resistencia ofrecida por el material remolcado y por las secciones de línea (rampas, curvas, etc.).
- La velocidad permitida por el trazado.

c) Margen de regularidad

Representa un tiempo suplementario al tiempo de recorrido calculado en el apartado b) para compensar los retrasos debidos a:

- Los trabajos periódicos de conservación de las instalaciones, que son susceptibles de ser planificados y modulados.
- Los posibles tiempos perdidos a causa de incidentes técnicos a nivel de explotación, condiciones meteorológicas adversas, estacionamientos elevados en estaciones por una elevada afluencia de viajeros, etc.

d) Margen suplementario

Representa un incremento de tiempo destinado a compensar los retrasos debidos a la realización de importantes trabajos en las instalaciones y durante un periodo prolongado de tiempo. También se incluyen los retrasos que se producen en grandes nudos

ferroviarios por causa de las operaciones de maniobra que se derivan de la configuración de su infraestructura.

4.3.3. Evaluación cuantitativa de los márgenes de tiempo

Si nos referimos, en primer lugar, a los márgenes de regularidad, se señala que las distintas administraciones ferroviarias han establecido tres categorías de márgenes:

- a) En función de la distancia recorrida. Se expresa en minutos por cada 100 Km.
- b) En función del tiempo de recorrido. Se expresa como porcentaje del tiempo de viaje.
- c) Como valor constante (minutos) por estación o nudo ferroviario.

En cuanto al primer criterio, los valores habituales han oscilado alrededor de 4 a 5 minutos por cada 100 Km de recorrido. Por lo que respecta al segundo criterio, la magnitud adoptada varía del 3 al 5%.

De esta manera, al aumentar la velocidad máxima de circulación los porcentajes de tiempo suplementarios aumentan de forma relevante.

Por otro lado, la experiencia pone de manifiesto que a medida que aumenta la carga remolcable, las posibles incidencias respecto del tiempo previsto se incrementan. De ahí que la ficha UIC proponga tener en cuenta, al cuantificar el margen de regularidad, este aspecto.

Los márgenes de regularidad se distribuyen a lo largo de una línea de manera uniforme por lo que se refiere a la componente ligada al tiempo de recorrido, y en la proximidad de los nudos ferroviarios en lo que concierne a la componente ligada a la distancia.

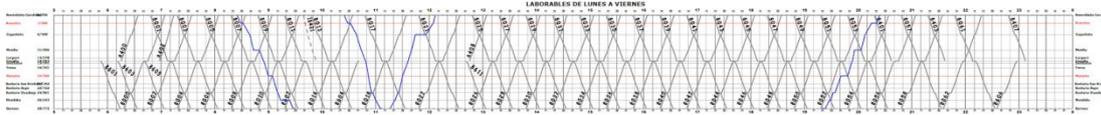
Por lo que respecta al margen suplementario, la ficha UIC señala que su magnitud debe ser equivalente a la pérdida real de tiempo. En caso de tratarse de un margen debido a un nudo ferroviario, es deseable que no supere los 3 minutos.

4.4. GRÁFICOS DE MARCHA

La previsión del servicio de trenes que afectará a una línea o a un tramo de la misma, se efectúa por medio de los denominados gráficos de marcha. Estos gráficos son la representación en ejes cartesianos de los recorridos de todos los trenes que durante un periodo de 24 horas deberían circular en la línea o en la sección considerada. Sobre el eje deberían circular en la línea o en la sección considerada. Sobre el eje horizontal se indican las horas y los minutos del tiempo. Sobre el eje vertical se escriben, por el orden en que se encuentran, las estaciones de la línea. Cada línea que se encuentra en el gráfico

corresponde a un tren determinado, que se identifica por el número que le es asignado según ciertas reglas. La inclinación de cada línea indica el sentido de la circulación del tren.

Ej: Malla de urdaibai



Fuente: <http://tyyst.blogspot.com.es/>

4.4.1. Trazado de un gráfico

El objetivo principal en el trazado de los gráficos de marcha se centra en alcanzar un elevado nivel en los índices de explotación de una línea (velocidades comerciales de los trenes, reducción de las paralizaciones de los trenes de mercancías, etc.), de manera que se garantice el mejor aprovechamiento posible de la capacidad de circulación sobre una infraestructura dada.

Para lograrlo se han de tener en cuenta numerosas variables, tanto de tipo técnico como comercial; en el primer ámbito, a título indicativo, las reglas para la separación de los trenes en la línea considerada; en el segundo caso, las posibilidades de correspondencia entre los trenes más lentos y más rápidos.

Resulta de interés destacar el de que la explotación comercial de los servicios ferroviarios ha incorporado hace algún tiempo un compromiso de calidad respecto a la puntualidad de los trenes que implica la devolución total o parcial del importe del viaje en función del tiempo de retraso en la llegada. La planificación del movimiento de trenes debe tener presente este hecho.

4.4.2. Gráficos de marcha tipo

La diversidad de circunstancias técnicas y comerciales que concurren en cada línea hace que los gráficos de marcha puedan adoptar diferentes formas.

Se intuye que la situación de máximo aprovechamiento de la infraestructura se correspondería con una configuración en donde todos los trenes tuviesen la misma velocidad y los mismos puntos de parada, estando trazados con el mínimo intervalo posible entre dos trenes consecutivos. De esta manera obtenemos los denominados gráficos paralelos. Sin embargo, en la mayoría de las líneas ferroviarias coexisten trenes de velocidades muy diferentes. No solo por tratarse de trenes de mercancías y de viajeros, sino por existir diferencias en el interior de cada grupo.

En consecuencia, lo normal es encontrar gráficos no paralelos donde la diferencia de velocidades puede afectar a la capacidad de la línea.

Finalmente, también encontramos gráficos de marcha con horario cadenciado, que es aquel donde el movimiento de cada tren se repite a intervalos fijos y constantes a lo largo de la línea durante un cierto periodo de tiempo.

4.5. HORARIO CADENCIADO

Es un término utilizado para indicar la sucesión regular de los movimientos de las circulaciones ferroviarias. Este particular tipo de horario se caracteriza por dos elementos fundamentales: estandarización y repetitividad. Estandarización en relación con la oferta desde el punto de vista del recorrido, el tiempo empleado y las paradas realizadas; repetitividad por lo que respecta al horario.

La implantación de un horario cadenciado en el ferrocarril presenta ventajas tanto desde el punto de vista comercial como técnico. En el primer ámbito, por la facilidad que supone para los viajeros, que no necesitan retener unos determinados horarios. En el segundo caso, porque posibilitan una mejor gestión de la red y del material.

Es importante destacar que puede hablarse de horario cadenciado en una relación dada, o bien, de horario cadenciado en la red, lo que implica la optimización del conjunto del servicio y, en particular, el estudio en profundidad de las conexiones en los nudos ferroviarios más importantes.

4.5.1. Elementos de Referencia

El horario cadenciado se caracteriza por un módulo que se repite a lo largo del día, durante un período de tiempo preestablecido y a un intervalo regular. Dicho módulo es definido para cada sentido y viene representado por el diagrama espacio-tiempo que caracteriza la oferta de transporte ferroviario.

De forma sintética, las variables que caracterizan el horario cadenciado son:

- T_p : tiempo de recorrido entre dos estaciones A y B, que define la forma de la traza.
- I : intervalo de cadenciado, que identifica la frecuencia de repetición del servicio.
- ΔT : indica la estructura de cadenciamiento, es decir, es el tiempo que transcurre entre la llegada de un tren y la salida del siguiente en sentido contrario.

4.6. LIBROS DE ITINERARIOS

Como se ha indicado anteriormente, los gráficos de marcha son los documento esenciales sobre los cuales se estudia un determinado servicio, siendo utilizados, una vez aprobados, por los agentes encargados de regular la circulación de los trenes Su empleo no sería práctico para el personal de conducción del material motor. Por ello se establecen los denominados libros de itinerarios, en donde se recogen los servicios de trenes correspondientes a cada uno de ellos.

La información que contiene se refiere a dos aspectos: el primero concierne a las instalaciones con que cuenta la línea; el segundo, a la explotación propiamente dicha. Para proporcionar indicaciones sobre las instalaciones, se utilizan una serie de signos convencionales. En la línea considerada se explicita el significado práctico de cada uno de ellos.

Esta información ayuda al maquinista. Por lo que respecta a la explotación, el libro de itinerarios indica:

- Velocidad máxima de circulación, en cada tramo.
- Tiempo concedido para recorrer un tramo dado.
- Hora de llegada a las estaciones donde efectúa parada el tren.
- Tiempo de parada: comercial, para subida y bajada de viajeros en su caso; técnica, por razones de explotación.
- Hora de salida o de paso por cada estación del itinerario.

Con esta información, el conductor del tren sabe cómo lograr los tiempos de viaje comercialmente establecidos en una relación dada.

5- DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DEL SISTEMA DE EXPLOTACIÓN

Para comenzar, es aconsejable conocer a que nos referimos con sistema de explotación. Entendemos por sistema de explotación al conjunto de técnicas, medios y modos que garantizan la circulación de trenes de forma segura y fluida, de manera que cada tren queda encaminado a su destino según el horario que le ha sido establecido.

Dentro de los medios de explotación podemos encontrar: el personal necesario para el correcto funcionamiento del sistema, la infraestructura (englobando todos sus componentes) y los diferentes trenes que pueden circular por las vías.

Tanto las técnicas como el material rodante ya han sido descritos en apartados anteriores de manera general.

Para un correcto funcionamiento de un sistema de explotación, debemos conocer cómo funcionan los sistemas de control del tráfico y señalización en el ferrocarril.

5.1. LOS SISTEMAS DE CONTROL DE TRÁFICO Y SEÑALIZACIÓN EN EL FERROCARRIL

5.1.1. La señalización en líneas AV española

En este punto se hace una breve descripción del sistema de bloqueo instalado en las líneas de Alta Velocidad en España y su relación con el intervalo especificado en los proyectos de señalización. No se hace una descripción del sistema ERTMS, que se trata en otros módulos, sino de la relación con la señalización lateral. Se hace énfasis en el aspecto de sistema de bloqueo del ERTMS, las siglas RBC corresponde a Radio Block Centre, es pues el ERTMS un sistema de bloqueo más, con información en cabina.

La alta velocidad dificulta y en muchos casos hace problemático, conducir únicamente con señalización lateral. Las líneas de AV requieren una señalización en cabina que completamente y en algunos casos, sustituya a la señalización lateral y que le permita al jefe de tren o maquinista, recibir de forma fiable la información de la velocidad a la que debe conducir. La información del bloqueo pasa de la vía a la cabina.

Las líneas de AV debido a su alto coste, no se conciben como un servicio de pocos trenes por hora. Normalmente sirven a ciudades de gran población. Con una demanda de transporte de viajeros muy alta, y son pequeños los intervalos teóricos especificados para su diseño.

En este punto, se explica el sistema de bloqueo y señalización elegido en las líneas AVE españolas con ERTMS y sistema de respaldo ASFA.

Los intervalos teóricos especificados para el sistema de señalización incluido ERTMS han sido de:

- 2,5 minutos para el sistema ERTMS Nivel 2
- 5,5 minutos para el Nivel 1
- 8 minutos para los trenes circulando con ASFA

En el Nivel 2, la sucesión entre los trenes está determinada por la distancia de frenado de un tren al cv ocupado por el tren que le precede. Esta información se recibe desde el RBC (Radio Block Centre) vía radio al tren, la señalización lateral pasa a un segundo lugar aplicándose sólo para trenes en Nivel 1, ASFA o trenes en conducción manual o averiados.

Para establecer una relación coherente entre la señalización convencional y los sistemas ERTMS, se han elegido en las líneas AVE unos aspectos luminosos que lucen al mismo tiempo el aspecto rojo de la señal y que permiten su rebase a los trenes equipados con ERTMS.

Así en el Nivel 2, se presenta un aspecto azul fijo con el aspecto rojo para permitir rebasar la señal roja a los trenes equipados con Nivel 2. El tren se encuentra protegido por el RBC/ERTMS. Para el resto de los trenes la señal es una señal roja no rebasable.

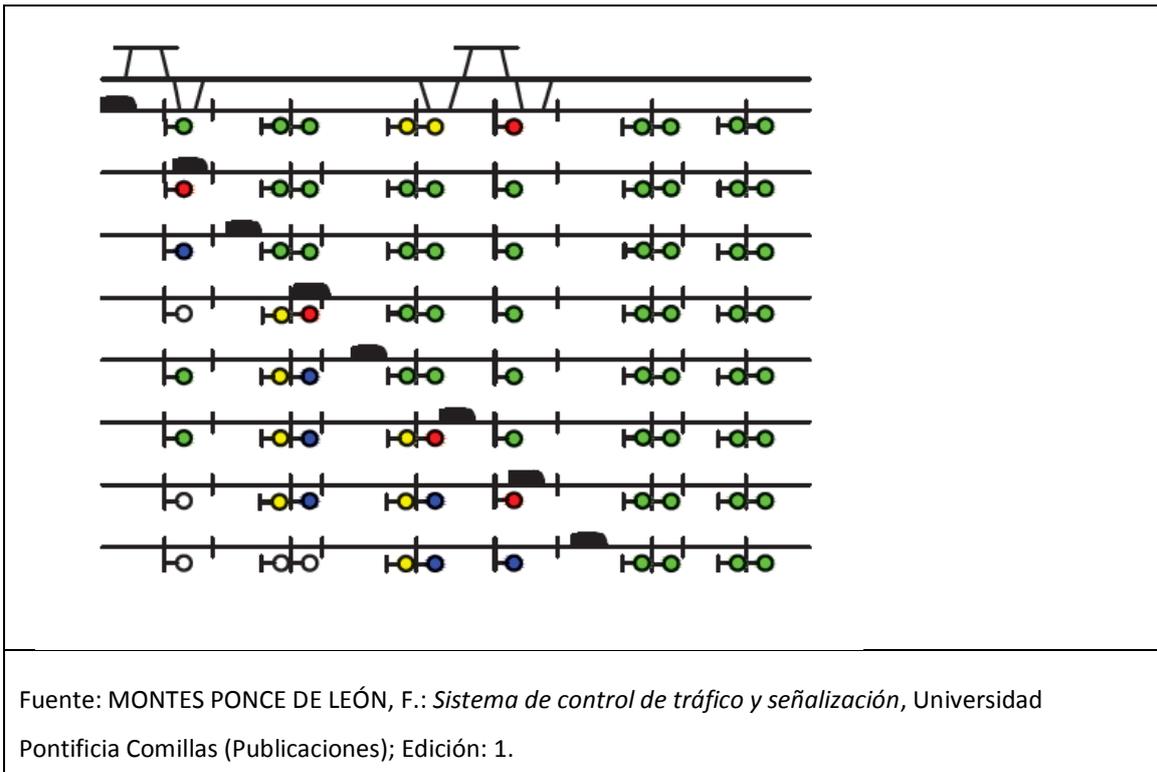
Los trenes con Nivel 1, pueden rebasar las señales con los aspectos azul destellante y rojo, siendo esta señal, no permisivas (roja) para todos los trenes ASFA o en conducción manual.

5.1.2. Bloqueo en las líneas AV españolas

La distancia típica en un cantón de bloqueo para trenes N1 o ASFA es de 13 km.

Aunque no sea exactamente igual, el funcionamiento de la línea desde el punto de vista de la señalización, se puede equiparar a un sistema de señalización de tres aspectos.

Rojo	Parada para todos los trenes
Azul fijo + rojo	Autorización para trenes Nivel 2
Azul destellante + rojo	Autorización para trenes Nivel 1 / Nivel 2
Verde	Autorización para trenes ASFA / Nivel 1 / Nivel 2



5.1.3. Bloqueo y secuencia de señales en LAV Españolas

En el esquema se puede ver con más detalle, la secuencia de aspectos que un tren deja al moverse en la línea. Esta secuencia es independiente del modo de circulación en que se encuentra el tren y es el tren que sigue el que, en función de su modo de conducción, debe interpretar el mismo aspecto de diferente modo.

El sistema ERTMS embarcado, dependiendo del nivel seleccionado en el tren, recibirá una autoridad de movimiento diferente. Para trenes en Nivel 1 hasta la señal en rojo o rojo azul. Los trenes equipados con el Nivel 2, recibirán la autoridad de movimiento hasta las señales en rojo o hasta el circuito de vía (anterior) al ocupado por el tren.

Los trenes que, por la razón que sea, funcionen con el sistema ASFA deberán respetar la señalización con los aspectos convencionales de rojo, verde y amarillo.

A continuación se muestra el cálculo simplificado para determinar la distancia mínima de seguimiento en función del Nivel ERTMS y el intervalo nominal teórico que resulta para cada nivel de funcionamiento y condiciones del bloqueo.

La distancia de frenado requerida para un tren circulando a 350 km/h (N2), 300 km/h (N1) y 200 km/h (ASFA) suponiendo una deceleración media de 0,5 m/s² es:

$350/3,6 = 97,2 \text{ m/s}$	$D_f = 9447 \text{ m}$
$300/3,6 = 83,3 \text{ m/s}$	$D_f = 6348 \text{ m}$
$200/3,6 = 55,5 \text{ m/s}$	$D_f = 3080 \text{ m}$

Estos valores incrementados en: la distancia correspondiente al tiempo de respuesta en la aplicación del freno, a la aplicación de coeficiente de seguridad del 25% y en longitud del cantón que necesitan por delante dependiendo del Nivel ERTMS, dan unas distancias de seguimiento mínimas en horizontal que suponen unos intervalos teóricos aproximados de:

ERTMS Nivel 2	$D_f = 12294 + 1500 \text{ m}$	->141 seg
ERTMS Nivel 1	$D_f = 9089 + 13000 \text{ m}$	->265 seg
ASFA	$D_f = 4125 + 13000 \text{ m} + 1500 \text{ m}$	->335 seg

Que aproximadamente corresponden con los valores especificados en los proyectos constructivos para los sistemas de bloqueo.

5.1.4. Principio de Funcionamiento y Niveles del ERTMS

El sistema ERTMS funciona con tres niveles operativos diferentes.

- El ERTMS-ETCS Nivel 1 está basado en la transmisión al tren desde balizas situadas en la vía de la información necesaria para la conducción, y constituye un sistema de los catalogados como un sistema puntual de supervisión continua, mientras que en el Nivel 2, el tren recibe de forma continua vía radio, la información que necesita para circular y constituye un sistema de transmisión continua. El Nivel 3, aún todavía en fase inicial de aplicación, corresponde a un sistema tipo "Moving Block".
- ERTMS Nivel 2: En este nivel, la información necesaria para la conducción del tren se recibe vía radio continuamente desde el RBC (Radio Block Centre). El RBC está situado a nivel de vía y se comunica con el enclavamiento que establece de forma segura la ruta.
El ERTMS Nivel 2 constituye un sistema de protección continuo.

La información que envía el RBC al tren vía radio es, además de los datos geográficos de la ruta seleccionada por el enclavamiento, la distancia al próximo obstáculo en la ruta bien sea el circuito de vía o cantón ocupado por el tren que le precede u otro obstáculo que impida o limite su movimiento, es decir, lo que se llama Autoridad de Movimiento (MA-Movement Authority)

Las señales laterales no son necesarias. La Información de conducción que recibe el equipo embarcado del ERTMS, Eurocabina, desde el RBC, es presentada al maquinista a través del DMI (Driver Machine Interface) situado en el pupitre de conducción. El maquinista debe conducir en base a esta información. Si no atendiera las indicaciones que recibe en el DMI, la Eurocabina le avisa en primer lugar, y si no reacciona, aplica automáticamente el freno de servicio y posteriormente, si fuera necesario, el de emergencia para detener al tren delante del punto de peligro.

La detección de la posición del tren se sigue realizando por medio de los circuitos de vía, aunque la localización precisa del tren la realiza la propia Eurocabina por medio del equipo de odometría que determina con precisión su localización en cada momento para poder supervisar la velocidad a la que circula y realiza la parada ante el punto de peligro.

Para las funciones de localización, y corregir errores de medida, utiliza una información de referencia enviada al tren por balizas fijas situadas en la vía.

Las características del sistema ERTMS Nivel 2 pueden resumirse en:

ERTMS Nivel 2-ETCS

- Funcionamiento con cantones fijos.

- Circuito de vía para detección y posicionamiento del tren.
- Sistema de odometría para localización del tren.
- No requiere señales.
- MA (Autoridad de Movimiento) enviadas por el RBC (Radio Block Centre) hasta el circuito de vía ocupado u obstáculo detectado.
- Balizas fijas para relocalización.

A continuación se elaboraran una serie de cálculos y suposiciones con el objetivo de obtener la capacidad del tramo de línea analizado y sus gráficos de marcha correspondientes, tratando de conseguir el mayor aprovechamiento posible de vía.

Para ello vamos a suponer que el tráfico que circule por la línea será de tipo T1, es decir, solamente circularán vehículos de transporte de pasajeros y todos ellos serán de vehículos de Alta Velocidad, lo que supone que no contaremos con vehículos convencionales. Para simplificar aún más los cálculos, tomaremos un vehículo estándar, suponiendo que las características técnicas son idénticas para todo el material móvil que circula por la vía.

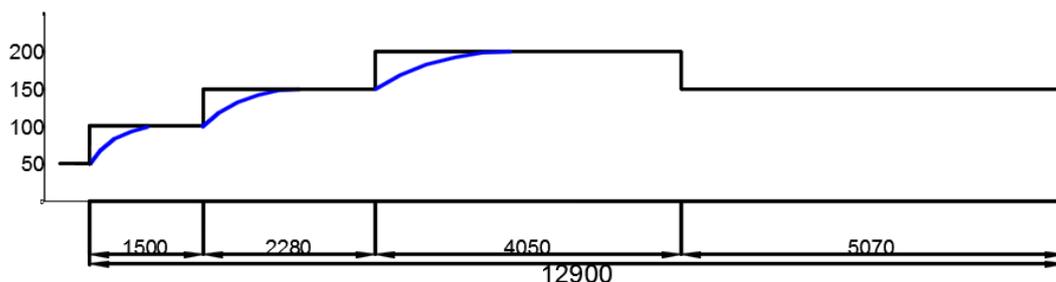
Antes de comenzar el cálculo de la capacidad, es necesario dividir el tramo de línea en cantones.

5.2. CANTONAMIENTO

Un cantón es una sección de distancia fija entre dos puntos de una línea ferroviaria que se encuentra protegida por una señal determinada. Su ocupación por un tren provoca el bloqueo a otras circulaciones en esa misma vía. De esta manera la circulación es más segura y se puede organizar y controlar mejor el movimiento de los diferentes trenes de una línea.

Para la división en cantones, se emplearán las distancias de frenado mínimas para la velocidad máxima del tren en ese tramo más una distancia de seguridad.

De manera que nos quedará la siguiente distribución:



En el eje vertical está representada la velocidad en km/h, mientras que en el horizontal queda representada la distancia del tramo, quedando a la izquierda la entrada a la estación de Santander y a la derecha el punto en que se produce la división de vía en las tres líneas (Bilbao, Madrid y Mediterráneo).

Para calcular la longitud de los cantones, emplearemos la distancia de frenado de emergencia más una distancia de seguridad, para lo cual empleamos la fórmula:

$$d = 0.038 * v^2/0.75$$

No obstante, en las secciones de frenado, se ha empleado una deceleración de frenado confortable de 0,375 m/seg².

Podemos encontrar un primer cantón saliendo de la estación con un límite de 100 km/h y una distancia de 1,5 km; los demás cantones tienen la longitud adecuada a su velocidad, siendo:

- 1140 m para 150 km/h.
- 2025 m para 200 km/h.

Podemos encontrar un último cantón de 1650 m, donde la velocidad máxima permitida es de 160 km/h, sin embargo, se ha considerado una velocidad de 150 km/h en ese cantón.

De ahora en adelante nos referiremos a los cantones con números del 1 al 9 según se alejan de la estación de Santander.

De tal manera que obtenemos los siguientes gráficos de movimientos, dependiendo de si el tren sale o entra a la estación de Santander ([ver plano 1](#)):

Para el cálculo de cada sección se han empleado los siguientes criterios:

- Al tratarse de velocidades relativamente bajas, consideramos la aceleración constante de 0,85m/s².
- A pesar de tener una mayor potencia de frenado, las velocidades se reducirán con una deceleración constante de 0,375m/s². Esta deceleración es apropiada para no alterar la confortabilidad de los viajeros. La capacidad e frenado máxima se reservará para casos de emergencia, así como para el cálculo de la longitud de los cantones.

SANTANDER-SARÓN	Cantón 1		Cantón 2		Cantón 3	Cantón 4	
Longitud(m)	1500		1140		1140	2025	
Velocidad máxima(km/h)	100		150		150	200	
Longitud acelerando(m)	339,33		565,7			792,2	
Tiempo acelerando(seg)	16,3		16,3			16,3	
Longitud vel. cte (m)		1160,67		574,3	1140		1232,8
Tiempo vel. cte(seg)		41,78		13,78	27,36		22,19
Longitud frenando(m)							
Tiempo frenando(seg)							

	Cantón 5		Cantón 6	Cantón 7	Cantón 8	Cantón 9
Longitud(m)	2025		1140	1140	1140	1650
Velocidad máxima(km/h)	200		150	150	150	150
Longitud acelerando(m)						
Tiempo acelerando(seg)						
Longitud vel. cte (m)	224,5		1140	1140	1140	1650
Tiempo vel. cte(seg)	4,04		27,36	27,36	27,36	39,6
Longitud frenando(m)		1800,5				
Tiempo frenando(seg)		37,04				

SARÓN-SANTANDER	Cantón 1		Cantón 2	Cantón 3		Cantón 4	
Longitud(m)	1500		1140	1140		2025	
Velocidad máxima(km/h)	100		150	150		200	
Longitud acelerando(m)							
Tiempo acelerando(seg)							
Longitud vel. cte (m)		728,3			993,8		224,5
Tiempo vel. cte(seg)		26,22			23,85		4,04
Longitud frenando(m)	771,7		1140	146,2		1800,5	
Tiempo frenando(seg)	37,04		33,47	3,57		37,04	

	Cantón 5		Cantón 6	Cantón 7	Cantón 8	Cantón 9
Longitud(m)	2025		1140	1140	1140	1650
Velocidad máxima(km/h)	200		150	150	150	150
Longitud acelerando(m)		792,14				
Tiempo acelerando(seg)		16,3				
Longitud vel. cte (m)	1232,8		1140	1140	1140	1650
Tiempo vel. cte(seg)	22,19		27,36	27,36	27,36	39,6
Longitud frenando(m)						
Tiempo frenando(seg)						

5.3. TIEMPO DE BLOQUEO DEL CANTÓN

El tiempo de bloqueo es el intervalo de tiempo en el que una sección o segmento de vía (usualmente un cantón) está reservado exclusivamente para un tren y, por lo tanto, bloqueado para otros trenes.

El tiempo de bloqueo, generalmente es mayor al tiempo que el tren ocupa ese segmento de vía.

El tiempo de bloqueo está formado por:

- El tiempo para abrir la señal.
- Un cierto tiempo para que el conductor vea la señal en la entrada del cantón.
- Un tiempo de aproximación entre la señal previa y la señal del cantón.
- El tiempo entre señales con el cantón siguiente.
- Un tiempo de despeje del cantón.
- Un tiempo de liberación para el desbloqueo.

Se va a emplear una señalización multi-cantón, es decir, el estado de la señal depende del estado de dos o más cantones y un sistema de bloqueo automático, reduciendo tiempos en los cambios de señalización.

Para la división en cantones tendremos en cuenta que la velocidad nunca será superior a 200 km/h a lo largo del tramo a analizar, lo que supone que no serán necesarias señales de preaviso de parada, esto implica que no será necesario dejar tres cantones de separación entre dos trenes consecutivos.

Suele ser muy común la señalización de dos cantones en la que la información indicadora de aproximación se da directamente en la señal de la entrada del cantón precedente, eliminando las señales repetidoras o previas.

Es eficaz en líneas con cantones de longitud similar a la distancia de frenado.

De esta manera, el tiempo de bloqueo de nuestros cantones vendrá dado por:

$$h = \frac{d1+2D+l}{v}$$

dónde: d1 es la distancia mínima a la que se encuentra el tren de la señal de entrada al cantón. (Para velocidades superiores a 80 km/h se toma 500m)

D es la longitud del cantón.

l es la longitud de los trenes.(Para Alta Velocidad se adopta una longitud de 400m)

v es la velocidad máxima del cantón.

Donde habrá que particularizar para cada cantón de la vía, teniendo en cuenta los adyacentes.

A continuación se elaborarán los diagramas de sillones ([ver plano nº 2](#)) con los tiempos de bloqueo, siendo levemente diferentes para cada dirección del tráfico:

Santander-Sarón	Cantón 1	Cantón 2	Cantón 3	Cantón 4	Cantón 5	Cantón 6	Cantón 7	Cantón 8	Cantón 9
Tiempo de visualización	18	12	12	9	9	12	12	12	12
Tiempo de aproximación	54	54	27,85	27,85	36,5	36,5	27,85	27,85	27,85
Tiempo de recorrido del cantón	54	27,85	27,85	36,5	36,5	27,85	27,85	27,85	36,5
Tiempo de despeje	14,4	9,6	9,6	7,2	7,2	9,6	9,6	9,6	9,6
Tiempo total	140,4	103,45	77,3	80,55	89,2	85,95	77,3	77,3	85,95

Sarón-Santander	Cantón 1	Cantón 2	Cantón 3	Cantón 4	Cantón 5	Cantón 6	Cantón 7	Cantón 8	Cantón 9
Tiempo de visualización	18	12	12	9	9	12	12	12	12
Tiempo de aproximación	27,85	27,85	36,5	36,5	27,85	27,85	27,85	36,5	27,5
Tiempo de recorrido del cantón	54	27,85	27,85	36,5	36,5	27,85	27,85	27,85	36,5
Tiempo de despeje	14,4	9,6	9,6	7,2	7,2	9,6	9,6	9,6	9,6
Tiempo total	114,25	77,3	85,95	89,2	80,55	77,3	77,3	85,95	85,6

Cada uno de los diagramas será igual para todos los trenes, pues hemos supuesto que todos son de iguales características.

5.4. CAPACIDAD

Para el cálculo de la capacidad hemos de seguir el método de la ficha UIC-406.

Cálculo de la capacidad Método Ficha UIC 406 (2004)

El intervalo de línea es el mínimo intervalo entre trenes considerando el diagrama de escalera de la línea.

Si la ventana temporal de un tren llega a “tocar” a la respectiva del tren precedente, se denomina cantón crítico. Sin embargo, en líneas donde todos los trenes tienen velocidad similar (en nuestro caso será igual), el cantón crítico es usualmente aquél en el que el tiempo de bloqueo incluye los tiempos en la estación. En estos casos, las señales deben estar ubicadas de tal manera que permitan que el tiempo de bloqueo sea el más corto posible.

El método actual que propone la Unión Internacional de Ferrocarriles (UIC, 2004) se basa en la idea de “compactar horarios”, determinado el cantón crítico de cada sección. Como se ha visto en el apartado de cantonamiento, el cantón 1 es el que posee mayor tiempo de bloqueo y por lo tanto es el cantón crítico ya sea en viajes de salida o de entrada en la estación de Santander.

Utilizando un horario existente, la idea es comprimirlo lo máximo posible haciendo que las trayectorias temporales de los trenes estén lo más cerca posible entre sí. Para ello, se utilizan como restricciones que no pueden modificarse los tiempos de viaje, los adelantamientos, los cruces y las paradas comerciales. Una vez completado el proceso de “compactado” de los horarios, el tiempo que queda disponible en el horario permite identificar los servicios adicionales que podrían ser programados.

El método establece el cálculo de la capacidad como tiempo de ocupación real de la infraestructura, al que hay que añadir tiempos adicionales para estabilizar los horarios (tiempos o márgenes de seguridad – “buffer times”) y, cuando sea necesario, tiempos suplementarios para labores de mantenimiento y conservación.

De esta manera, se define la capacidad k como:

$$k = A + B + C + D$$

Dónde:

- A: tiempo de ocupación de la vía (min)
- B: buffer times (min)
- C: tiempo adicional para cruces de trenes en vías únicas (si es aplicable) (min)
- D: tiempo suplementario para mantenimiento y conservación.

En nuestro caso, se supondrá que toda la vía es única y los cruces de trenes se efectuarán únicamente en estaciones.

En consecuencia, el consumo de capacidad (K), en porcentaje, será:

$$K = 100 * k/U$$

Siendo U el periodo de análisis considerado (min).

La diferencia entre el consumo de capacidad y la ventana de tiempo adoptada es la capacidad no utilizada. Sin embargo, la capacidad no utilizada es la suma de dos términos:

- La capacidad utilizable, con un adecuado nivel de servicio.
- La capacidad perdida, en la que resulta imposible introducir nuevos “sillones” o bloques.

La ficha 406 sugiere valores standard para el ratio de tiempo de ocupación de la infraestructura (A) y la ventana temporal analizada.

Estos valores se indican en función del tipo de línea y el uso de la infraestructura, según la tabla siguiente:

TIPO DE LÍNEA	EN HORA PUNTA	A LO LARGO DEL DÍA
LÍNEA DEDICADA AL TRÁFICO DE CERCANÍAS	85%	70%
LÍNEA DEDICADA A SERVICIOS DE ALTA VELOCIDAD	75%	60%
LÍNEAS DE TRÁFICO MIXTO	75%	60%

Por otro lado, es posible calcular la utilización óptima de la línea con la ayuda de estos valores recomendados.

Si, por ejemplo, se escoge una ventana temporal de 720 minutos (12 horas), se tiene:

$$A/U = 75\%$$

siendo:

$$A = n_{opt} * h$$

n_{opt} : número óptimo de trenes con condiciones de operación satisfactorias

h: intervalo mínimo promedio entre trenes (min) (141 segundos en nuestro caso)

Por lo tanto: $n_{opt} = (A/h) = (75 * U/100)/h = 540/h$

Para el cálculo de la capacidad máxima, tomaremos un intervalo h correspondiente al cantón crítico, $h = 140,4$ segundos, lo que supone:

$$n_{opt} = 540 * 60 / 140,4 = 230 \text{ trenes}$$

donde se han supuesto unos diagramas de bloques con la siguiente disposición. ([Ver plano nº3](#))

Este valor solo sería posible en el caso de vía doble, además esta capacidad estaría muy por encima del valor de la demanda.

No obstante, en nuestro caso contamos con sección de vía única, donde el cruce de trenes solo se produce en estaciones. Esto supone que en cada línea contemos aproximadamente con un tren por cada hora de servicio:

$$n_{opt} = 3 * (540 / 60) = 27 \text{ trenes}$$

A continuación se analizarán los posibles gráficos de marcha tratando de obtener la mayor capacidad dotando al sistema de explotación de un horario cadenciado. Al ser vía única solo disponemos de un diagrama de bloques, en el cual hemos de tener en cuenta que los trenes no pueden cruzarse con otros hasta llegar a la siguiente estación (las siguientes estaciones de cada línea se encuentran a una distancia similar, con un tiempo de viaje próximo a 1 hora, redondeando para facilitar los cálculos, tomaremos este valor). El diagrama de bloques con el que se ha calculado la capacidad cuenta con los horarios de los distintos trenes comprimidos, tratando de optimizar los tiempos. Sin embargo, debido al horario cadenciado, y tratando de aprovechar sus ventajas anteriormente descritas, estos horarios más tarde serán descomprimidos, lo que ocasionará una disminución de la capacidad (aun reduciendo la capacidad, la demanda será bastante inferior).

- Hipótesis 1: Se efectuarán todas las llegadas una tras otra, y a continuación, todas las salidas. Se apoya en el siguiente diagrama de bloques. ([Ver plano nº4](#))

Desde el momento de la salida del primer tren, habrá de esperarse aproximadamente dos horas (una hora de ida hasta la siguiente estación y otra hora de vuelta del siguiente tren) hasta la llegada del siguiente tren. Esto hará que se pierda la característica del horario cadenciado en que los trenes con un mismo recorrido salen al mismo minuto pero en horas diferentes, en consecuencia, será necesario un tiempo de buffer para ajustar horarios (ya que habrá un tiempo de espera para cada tren en la estación antes de cada salida, podemos repartir la llegada y salida de los siguientes trenes a lo largo de ese tiempo sin perjudicar la capacidad de cada línea). Por estos motivos, el gráfico de marcha será el siguiente:

Al separar las llegadas de los diferentes trenes en el tiempo, así como las salidas, logramos un mejor funcionamiento en la estación, tanto en las vías, como en los andenes dando fluidez al tráfico de peatones, repartiendo el uso de la estación, por parte de estos, en el tiempo.

En este caso, el tiempo mínimo para que se repita cada ciclo son 2h y 11min (tiempo que se produce siguiendo el diagrama de bloques compactado) (el tiempo que cada tren está en la estación serían solo 11 minutos, un tiempo demasiado reducido), lo cual crea un desfase de 11 min entre una salida y otra de la misma línea. Debido al cumplimiento del horario cadenciado, el tiempo de ciclo son 3h 00min. A primera vista del gráfico de marcha, surge la opción de situar la primera salida inmediatamente después de la última llegada, teniendo así un tiempo de ciclo 2h 30min, quedando un desfase entre ciclos de 30 minutos.

- Hipótesis 2: Se efectuarán las llegadas y salidas alternando unas con otras. Esta hipótesis parte del siguiente diagrama de bloques. (Ver [plano N°5](#)):

Al igual que en el caso anterior, después de la salida de un tren, no podrá llegar a la estación ningún tren por esa misma línea hasta pasadas 2 horas, debido al tiempo que tarda el tren en llegar hasta la siguiente estación para poder cruzarse con un tren en dirección contraria. Sin embargo, en esta opción tenemos menos tiempo “extra”, entre la salida del tren de una línea y la llegada del próximo, para poder repartir las salidas y llegadas de las demás líneas. Una vez más, buscando un horario cadenciado, perjudicando el número total de trenes pero sin poner en peligro el poder hacer frente a la demanda, obtenemos el siguiente gráfico de marcha:

De la misma manera que ocurre en la hipótesis 1, al separar en el tiempo llegadas y salidas, mejoramos el funcionamiento de la estación, tanto en vías como andenes.

En esta hipótesis, obtenemos un tiempo de ciclo mínimo 2h y 32min. Nuevamente, para cumplir con el horario cadenciado, nuestro ciclo será de 3 horas.

6- BIBLIOGRAFÍA

LÓPEZ PITA, A.: *Alta velocidad en el ferrocarril*, Ediciones UPC, primera edición, 2010.

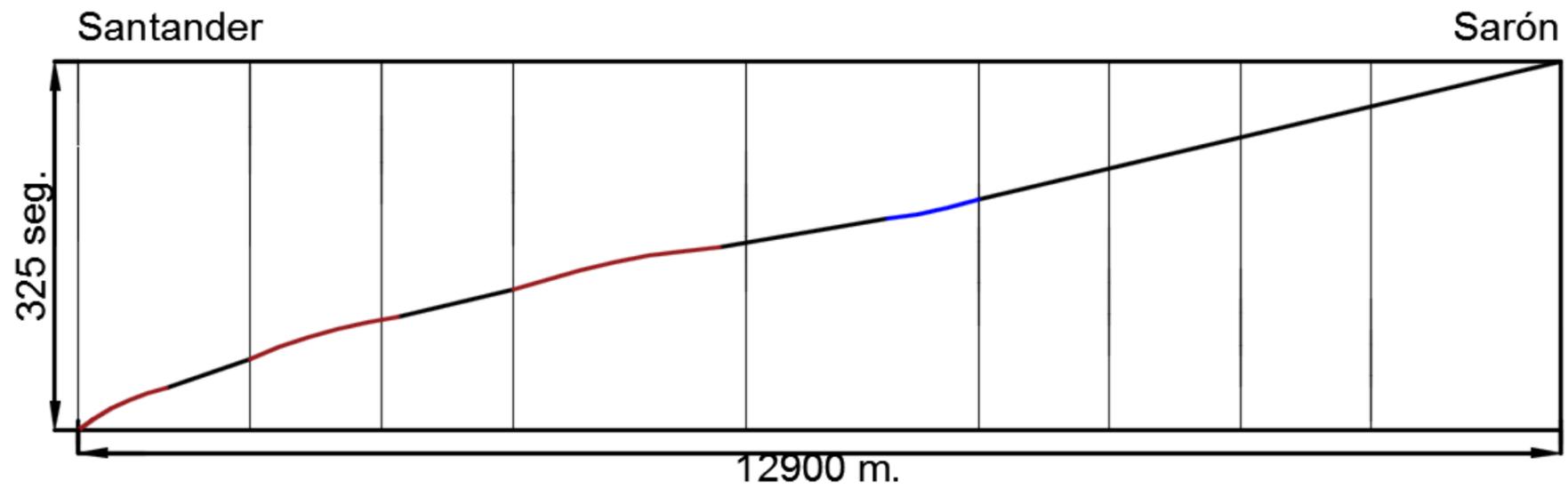
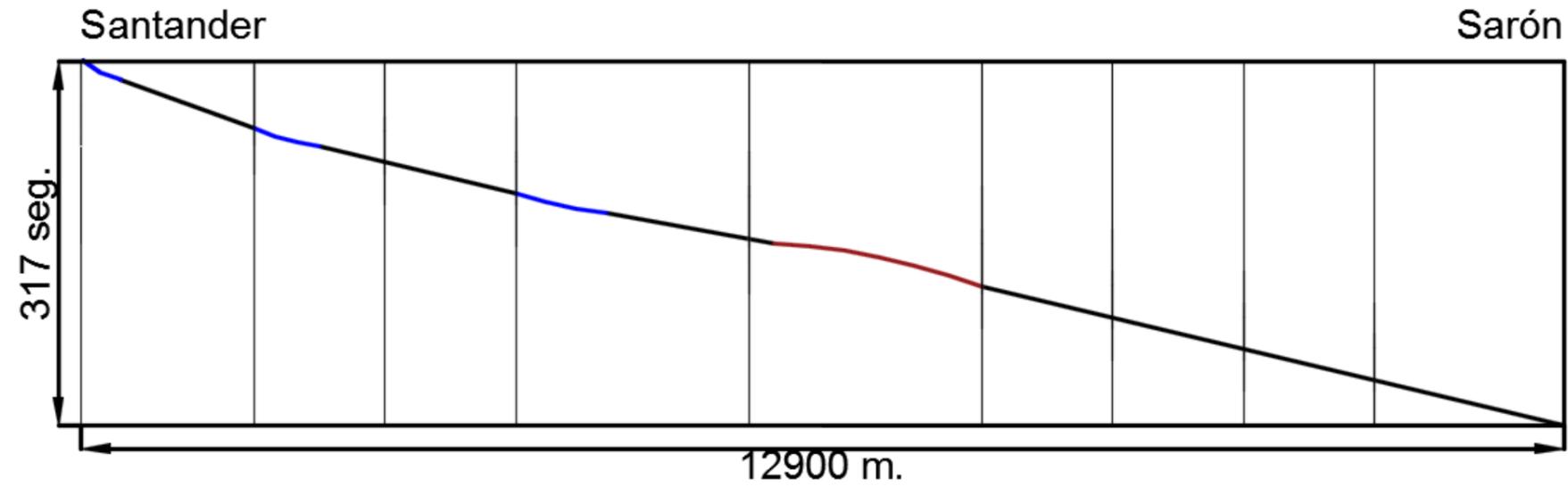
LÓPEZ PITA, A.: *Explotación de líneas de ferrocarril*, Ediciones UPC, primera edición, 2008.

MONTES PONCE DE LEÓN, F.: *Sistema de control de tráfico y señalización*, Universidad Pontificia Comillas (Publicaciones), primera edición, 2011.

7- ANEXO: PLANOS

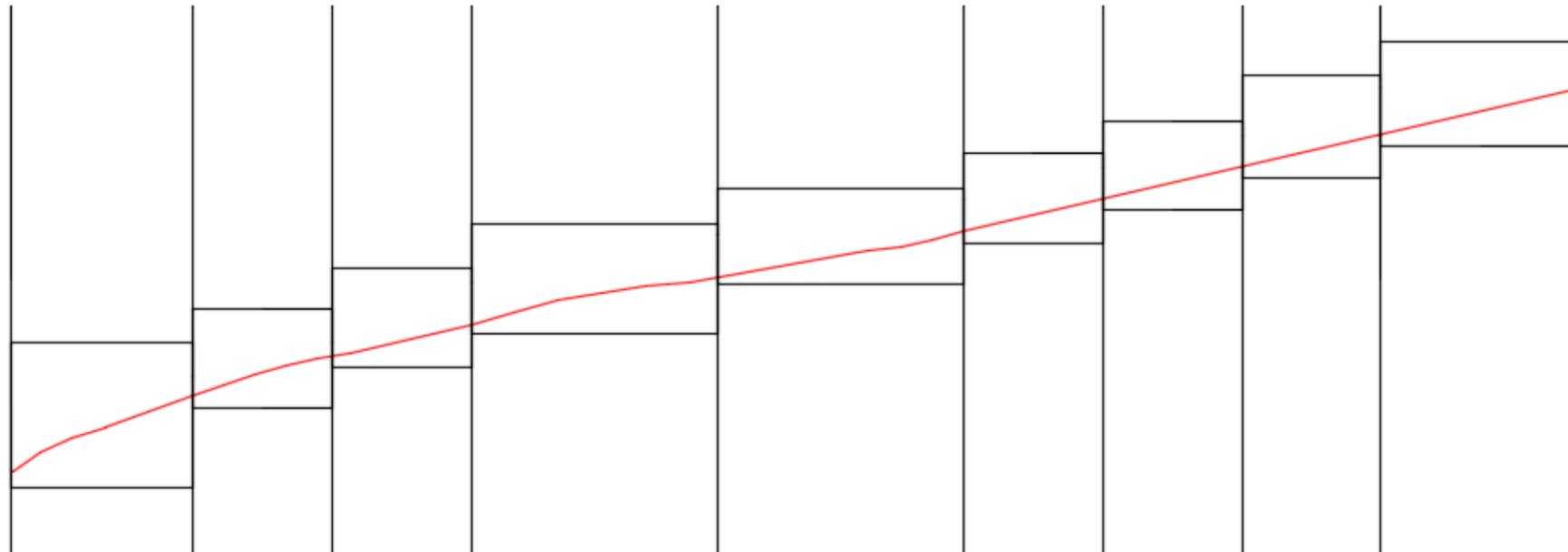
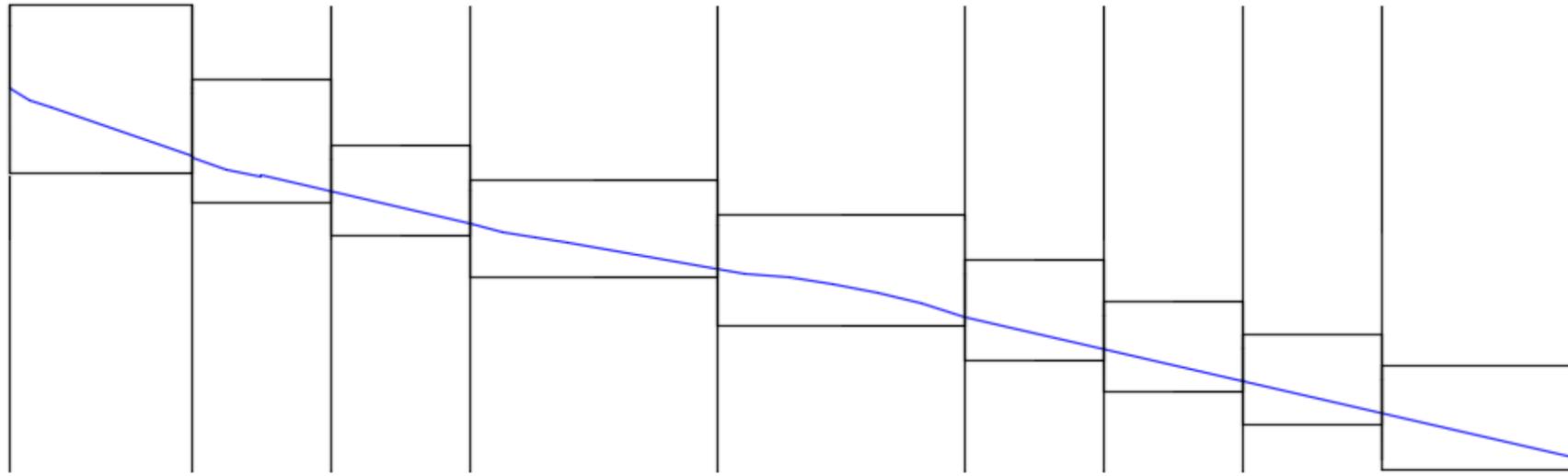
PLANO Nº1

VELOCIDAD CONSTANTE	■
ACELERACIÓN	■
FRENADO	■



Donde en el eje vertical está representado el tiempo en segundos y en el eje horizontal la distancia recorrida, correspondiente al tramo analizado.

PLANO N°2



Ambos diagramas de sillones representan en eje vertical el tiempo y en el eje horizontal el espacio, siendo el origen la estación de Santander y el punto más alejado, el desvío de Sarón. El primer diagrama muestra el movimiento de los trenes que salen de la estación de Santander, mientras que el segundo muestra las llegadas.

PLANO N°3

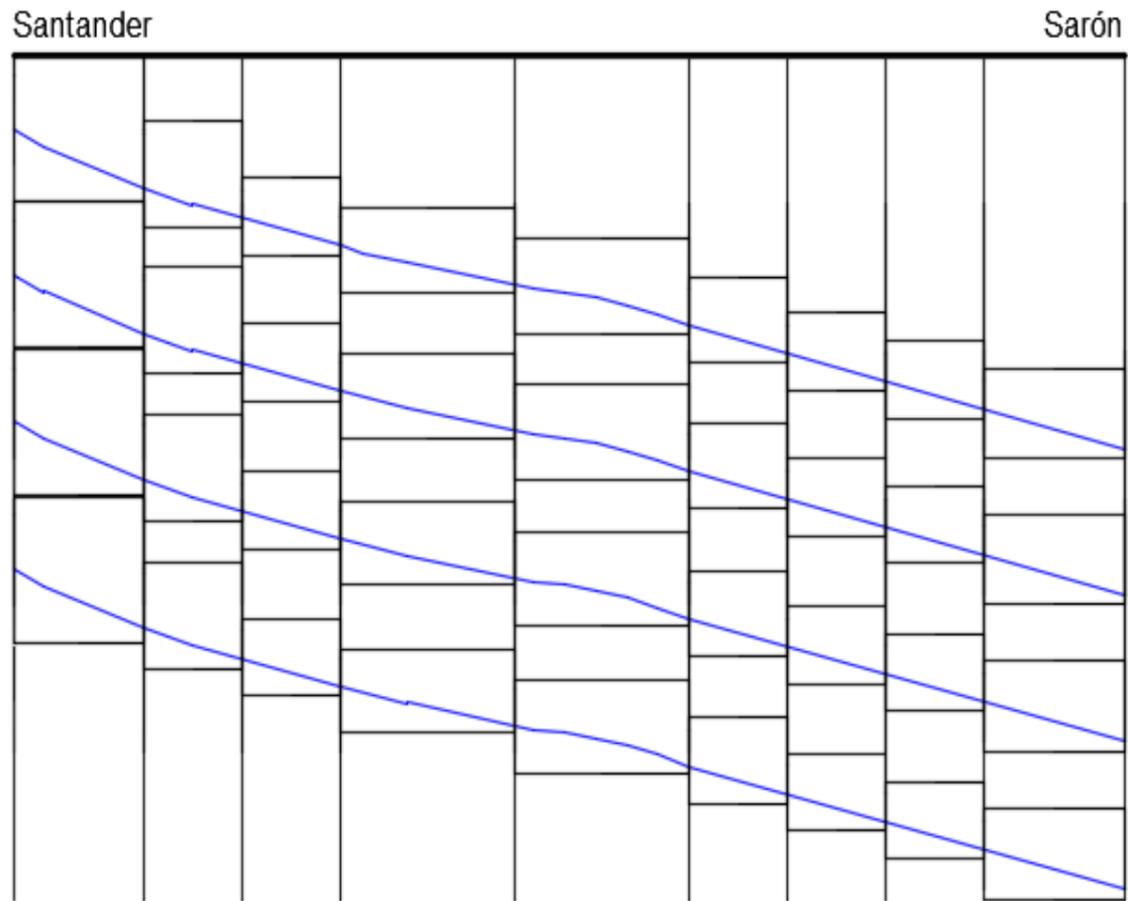


Diagrama de bloques para la vía de salida de la estación,
donde pueden salir tantos trenes consecutivos como se desee.

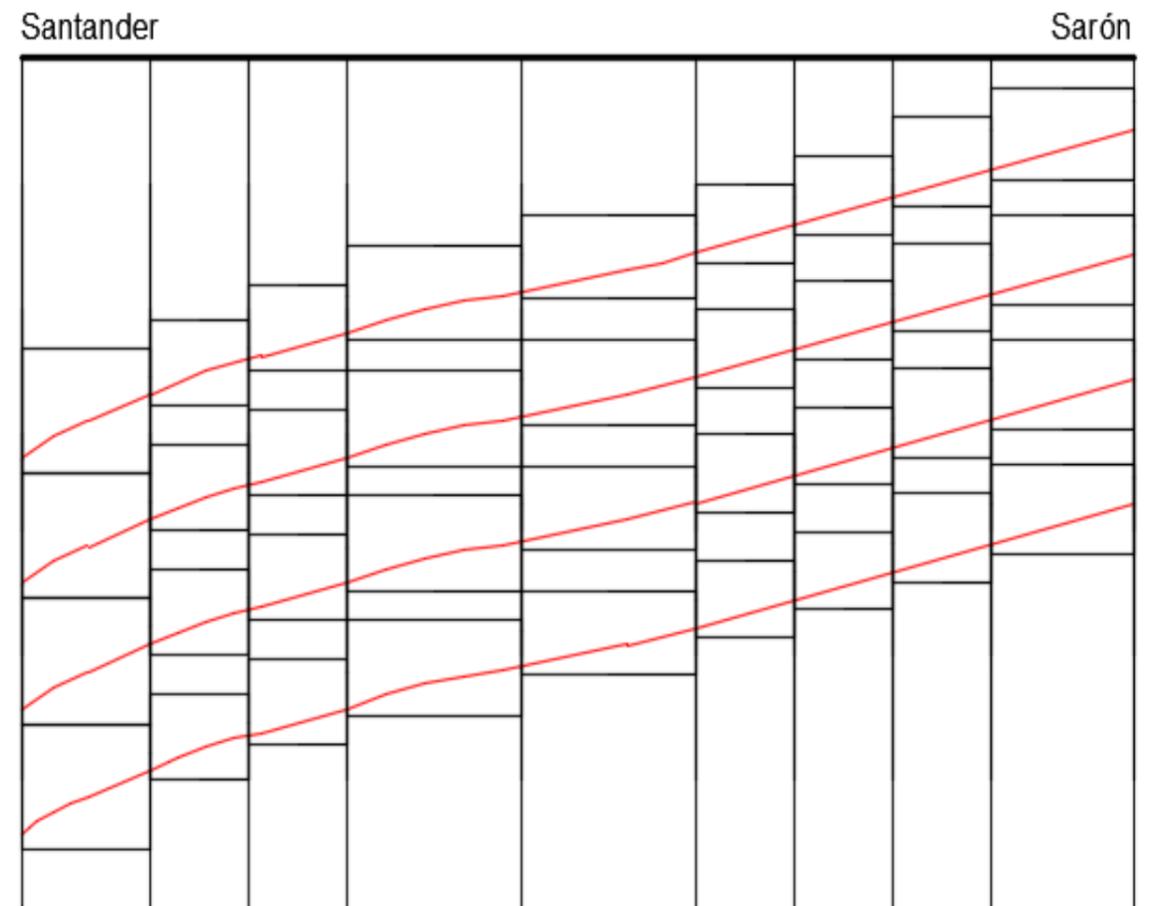


Diagrama de bloques para la vía de entrada.

PLANO N°4

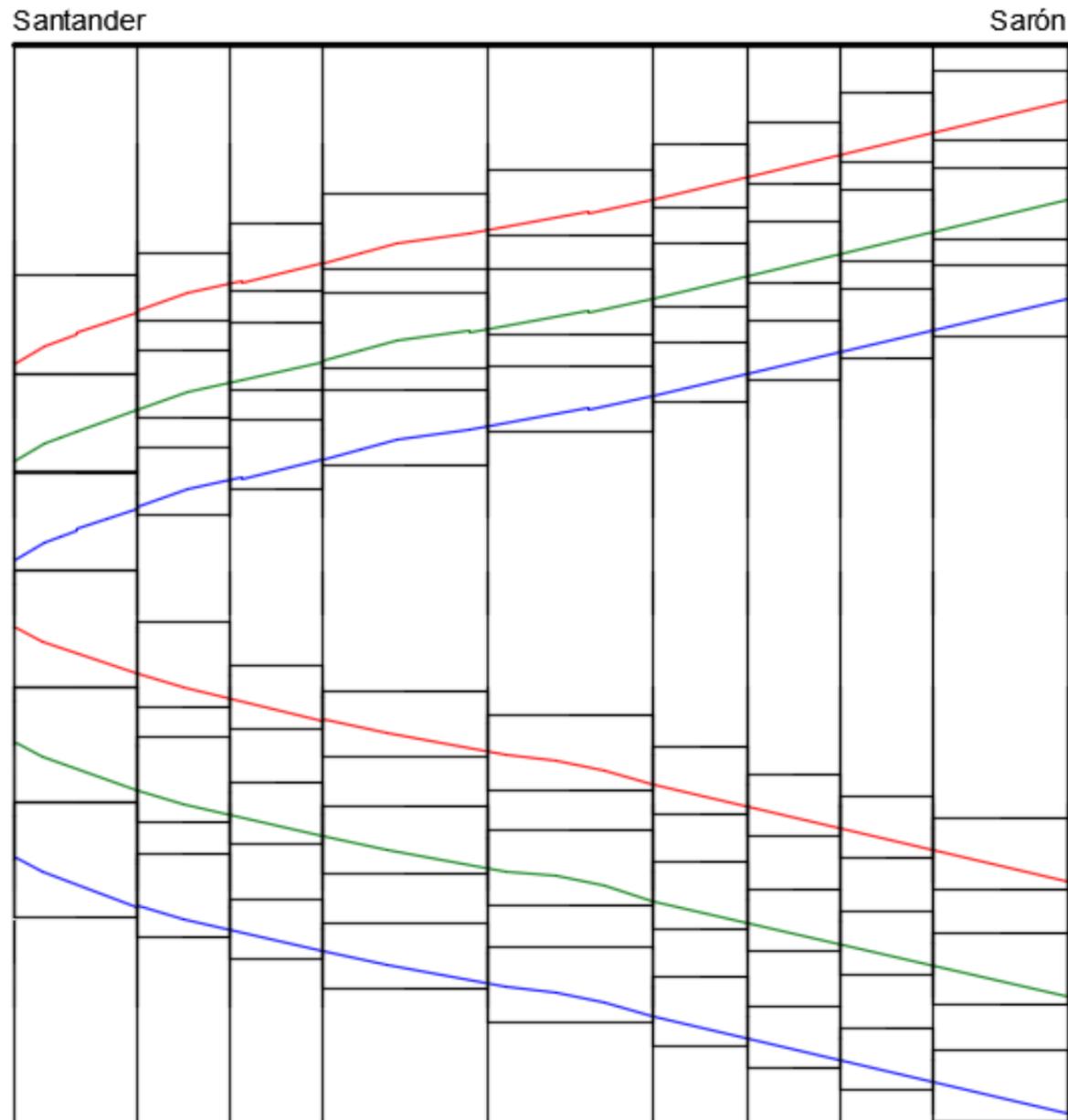


Diagrama de bloques de la hipótesis 1.
Donde cada color representa el tráfico de cada línea.

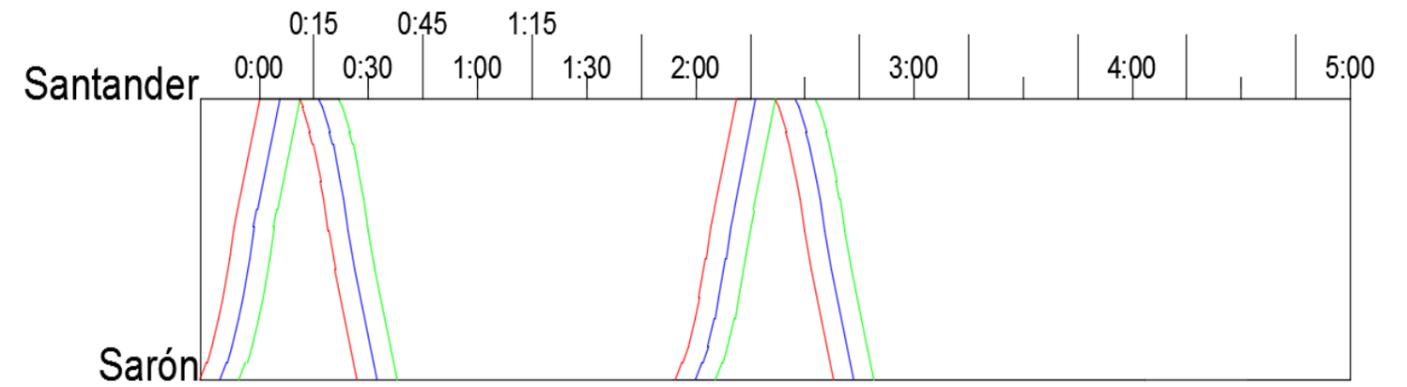


Gráfico de marcha con los horarios compactados.

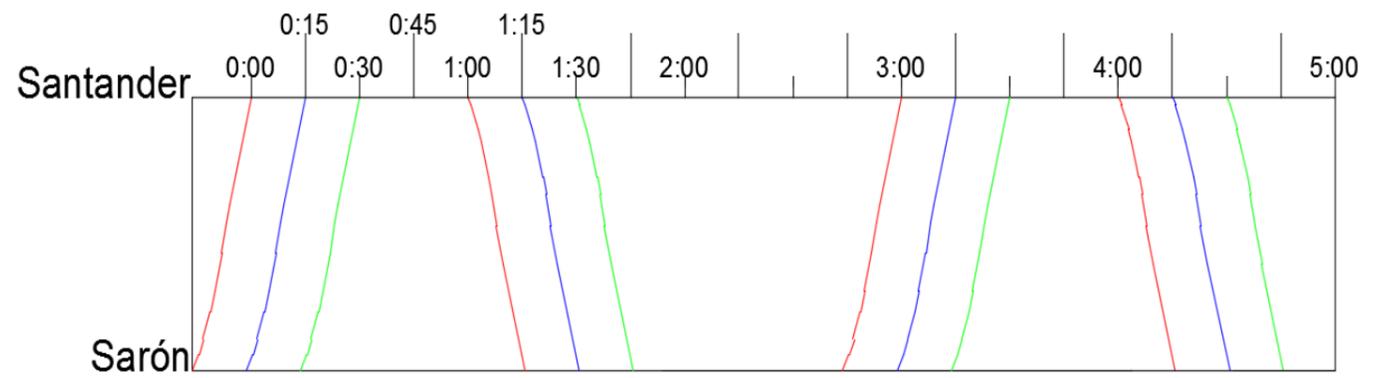


Gráfico de marcha con horario cadenciado.

PLANO N°5

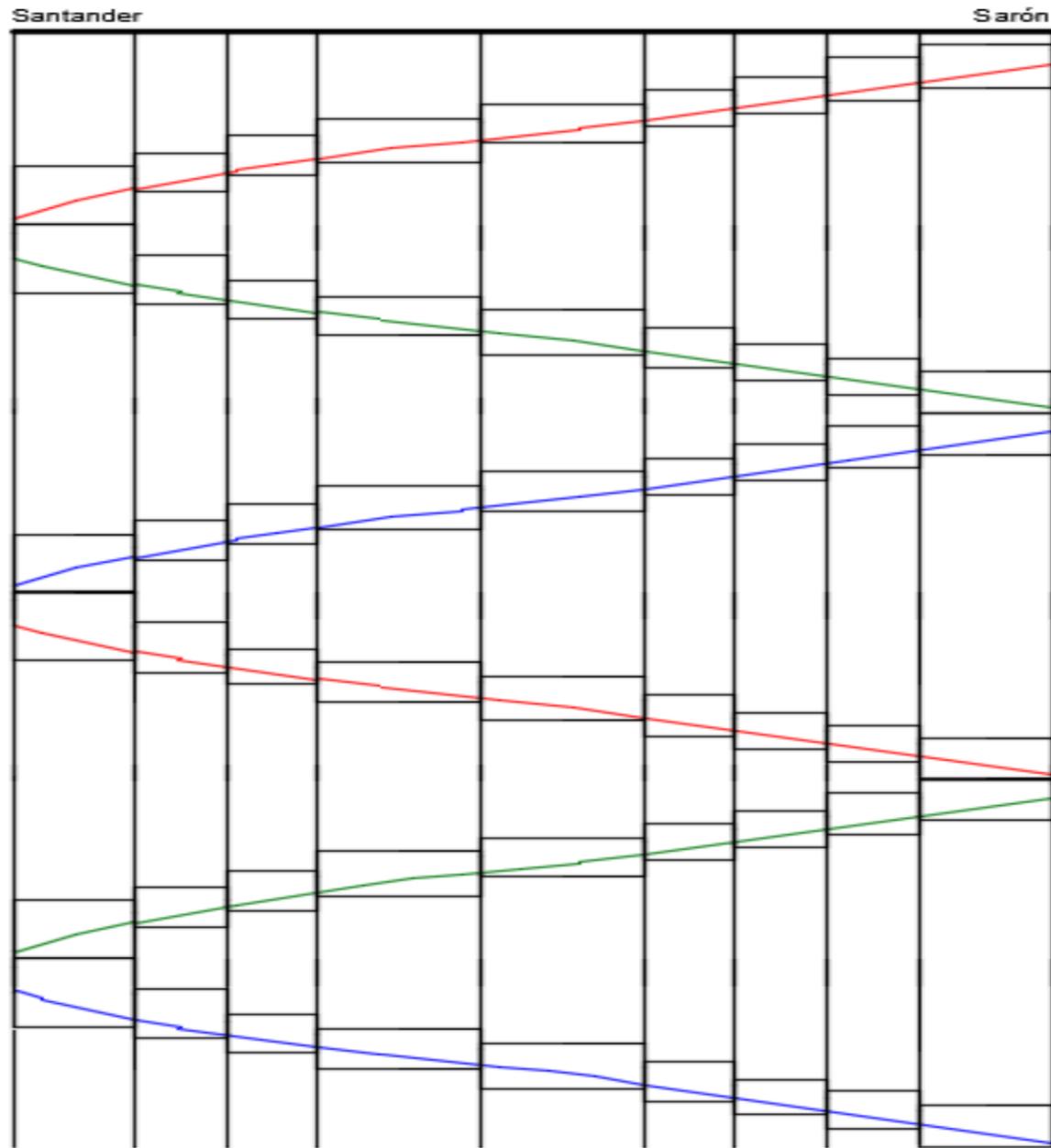


Diagrama de bloques de la hipótesis 2.

Donde cada color representa el tráfico de cada línea.

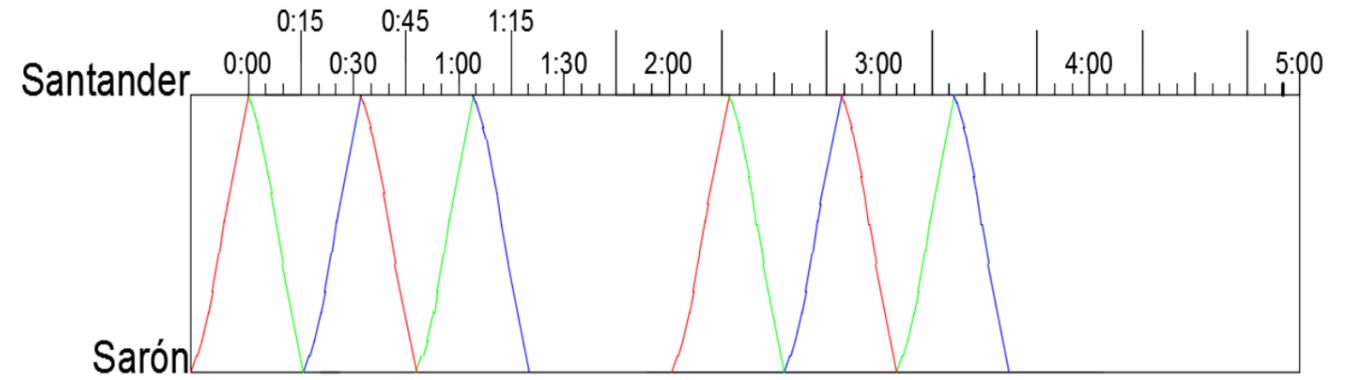


Gráfico de marcha con los horarios compactados.

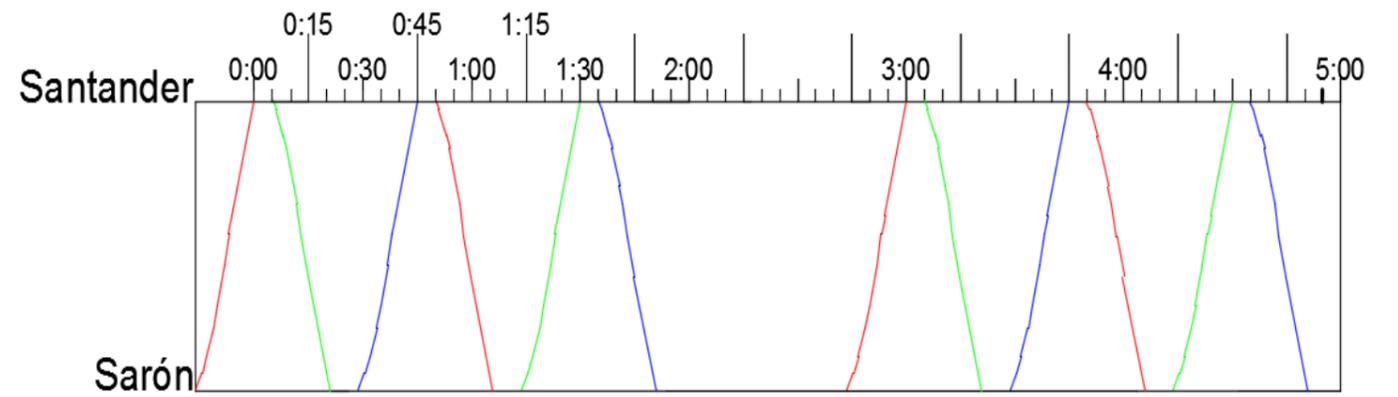


Gráfico de marcha con horario cadenciado.

