



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERIA (ICAI)

GRADO EN INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

Diseño de una línea en vía única para circulaciones en Alta Velocidad equipada con señalización ERTMS Nivel 2 y su comparación en costes con una instalación en ERTMS Nivel 3. Establecimiento del programa de explotación y análisis de la capacidad de transporte en Nivel 2 y su comparación con el Nivel 3

Autora: Ana Rodríguez Beltrán
Directores: Doña Yolanda González Arechavala
Don Fernando Montes Ponce de León

Madrid
Junio 2015



AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN ACCESO ABIERTO (RESTRINGIDO) DE DOCUMENTACIÓN

1ª. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.

El autor D. Ana Rodríguez Beltrán, como alumna de la UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS (COMILLAS), **DECLARA** que es el titular de los derechos de propiedad intelectual, objeto de la presente cesión, en relación con la obra:

Diseño de una línea en vía única para circulaciones en Alta Velocidad equipada con señalización ERTMS Nivel 2 y su comparación en costes con una instalación en ERTMS Nivel 3. Establecimiento del programa de explotación y análisis de la capacidad de transporte en Nivel 2 y su comparación con el Nivel 3.

Que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual como titular único o cotitular de la obra.

En caso de ser cotitular, el autor (firmante) declara asimismo que cuenta con el consentimiento de los restantes titulares para hacer la presente cesión. En caso de previa cesión a terceros de derechos de explotación de la obra, el autor declara que tiene la oportuna autorización de dichos titulares de derechos a los fines de esta cesión o bien que retiene la facultad de ceder estos derechos en la forma prevista en la presente cesión y así lo acredita.

2ª. Objeto y fines de la cesión.

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad y hacer posible su utilización de *forma libre y gratuita (con las limitaciones que más adelante se detallan)* por todos los usuarios del repositorio y del portal e-ciencia, el autor **CEDE** a la Universidad Pontificia Comillas de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución, de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra (a) del apartado siguiente.

3ª. Condiciones de la cesión.

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia, el repositorio institucional podrá:

(a) Transformarla para adaptarla a cualquier tecnología susceptible de incorporarla a internet; realizar adaptaciones para hacer posible la utilización de la obra en formatos electrónicos, así como incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.

(b) Reproducirla en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato. .



(c) Comunicarla y ponerla a disposición del público a través de un archivo abierto institucional, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.

(d) Distribuir copias electrónicas de la obra a los usuarios en un soporte digital.

4º. Derechos del autor.

El autor, en tanto que titular de una obra que cede con carácter no exclusivo a la Universidad por medio de su registro en el Repositorio Institucional tiene derecho a:

a) A que la Universidad identifique claramente su nombre como el autor o propietario de los derechos del documento.

b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.

c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada. A tal fin deberá ponerse en contacto con el vicerrector/a de investigación (curiarte@rec.upcomillas.es).

d) Autorizar expresamente a COMILLAS para, en su caso, realizar los trámites necesarios para la obtención del ISBN.

e) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

5º. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.

b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.

c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e intereses a causa de la cesión.

d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA - ICAI

Grado en Ingeniería Electromecánica

Proyecto Fin de Grado.

a) Deberes del repositorio Institucional:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.

- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.

- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.

b) Derechos que se reserva el Repositorio institucional respecto de las obras en él registradas:

- Retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a de de

ACEPTA

Fdo



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA - ICAI
Grado en Ingeniería Electromecánica
Proyecto Fin de Grado.

Proyecto realizado por el alumno/a:

Ana Rodríguez Beltrán

Fdo.: Fecha:/...../.....

Autorizada la entrega del proyecto cuya información no es de carácter
confidencial

LOS DIRECTORES DEL PROYECTO

Doña Yolanda González Arechavala

Fdo.: Fecha:/...../.....

Don Fernando Montes Ponce de León

Fdo.: Fecha:/...../.....

Vº Bº del Coordinador de Proyectos

Don Fernando de Cuadra García

Fdo.: Fecha:/...../.....



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA - ICAI

Grado en Ingeniería Electromecánica

Proyecto Fin de Grado.



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERIA (ICAI)

GRADO EN INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

Diseño de una línea en vía única para circulaciones en Alta Velocidad equipada con señalización ERTMS Nivel 2 y su comparación en costes con una instalación en ERTMS Nivel 3. Establecimiento del programa de explotación y análisis de la capacidad de transporte en Nivel 2 y su comparación con el Nivel 3

Autora: Ana Rodríguez Beltrán
Directores: Doña Yolanda González Arechavala
Don Fernando Montes Ponce de León

Madrid
Junio 2015



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA - ICAI
Grado en Ingeniería Electromecánica
Proyecto Fin de Grado.

Agradecimientos.

La realización de este proyecto no podría haberse llevado a cabo sin la docencia y ayuda de los directores del proyecto. Muchas gracias Yolanda y Fernando por estos meses de dedicación y empeño.

Agradecer el apoyo de mis familiares y amigos. En especial a Rocío y a Isabel por aportar vuestro gran granito de arena.

Gracias a mis padres por darme todas las oportunidades y ánimos cada día.



DISEÑO DE UNA LÍNEA EN VÍA ÚNICA PARA CIRCULACIONES EN ALTA VELOCIDAD EQUIPADA CON SEÑALIZACIÓN ERTMS NIVEL 2 Y SU COMPARACIÓN EN COSTES CON UNA INSTALACIÓN EN ERTMS NIVEL 3. ESTABLECIMIENTO DEL PROGRAMA DE EXPLOTACIÓN Y ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE TRANSPORTE EN NIVEL 2 Y SU COMPARACIÓN CON EL NIVEL 3

Autora: Rodríguez Beltrán, Ana

Directores: González Arechavala, Yolanda

Montes Ponce de León, Fernando

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

Este proyecto tiene como finalidad el diseño del sistema de control y señalización de tráfico de una línea para circulaciones en Alta Velocidad con la peculiaridad de construirse la misma con configuración en vía única.

Esta peculiaridad se debe al planteamiento de nuevas posibilidades en el diseño de las líneas de Alta Velocidad en España, debido a diversos aspectos que se exponen a continuación.

Por lo tanto, este proyecto supone un estudio novedoso de gran interés actual proponiendo mejoras sencillas aplicables en el diseño de nuevas líneas de Alta Velocidad.

El sistema de señalización instalado en la línea de Alta Velocidad es el sistema ERTMS Nivel 2 y se procede a su comparación en costes con la instalación de la misma línea con Nivel 3.

Se establece el programa de explotación de la línea y se analiza la capacidad de transporte de la misma.

Introducción

Las líneas de circulación de trenes en Alta Velocidad vienen siendo diseñadas en doble vía en España hasta el momento, permitiendo una gran frecuencia de trenes en ambos sentidos de una población a otra. Este hecho se debe a la posibilidad de cruzamiento de los vehículos en todo su recorrido a lo largo de las líneas gracias a la configuración en vía doble.

La construcción de estas vías, doble vía, en nuestro país, al contar con zonas de relieve pronunciado, requiere de grandes inversiones en infraestructuras.

España, con 2.144 kilómetros en servicio, es el tercer país mundial y el primero de Europa en cuanto a kilómetros de línea de Alta Velocidad, únicamente por detrás de China y Japón.

Por otro lado, la demanda de viajeros atendida en España es generalmente baja, a excepción de corredores como el de Madrid-Barcelona, Madrid-Valencia o Madrid-Sevilla, con lo que en términos de rendimiento de transporte ocupa una posición baja a nivel mundial. [ECI_13]

En un contexto como en el que nos encontramos actualmente, previsiones de demanda futura semejantes a la actual y los hechos mencionados anteriormente, han llevado a plantearse otras posibilidades en el diseño de líneas de Alta Velocidad futuras, que deben proporcionar un mejor servicio entre regiones pero que no serán capaces de mantener un tráfico elevado. Aunque, la demanda de este servicio en casos particulares no lo requiere.

El siguiente gráfico, Figura 1, muestra la comparativa entre kilómetros de líneas de Alta Velocidad junto con la cobertura de la demanda de pasajeros en diferentes países del mundo. Aunque los datos corresponden con el año 2011 y la demanda de viajeros ha aumentado en estos años en un 15%, la diferencia entre ambas variables sigue siendo significativa. Así, se observa el desequilibrio en nuestro país entre estas dos variables y por lo tanto, se justifica la búsqueda de nuevas posibilidades en el diseño de las líneas de Alta Velocidad.

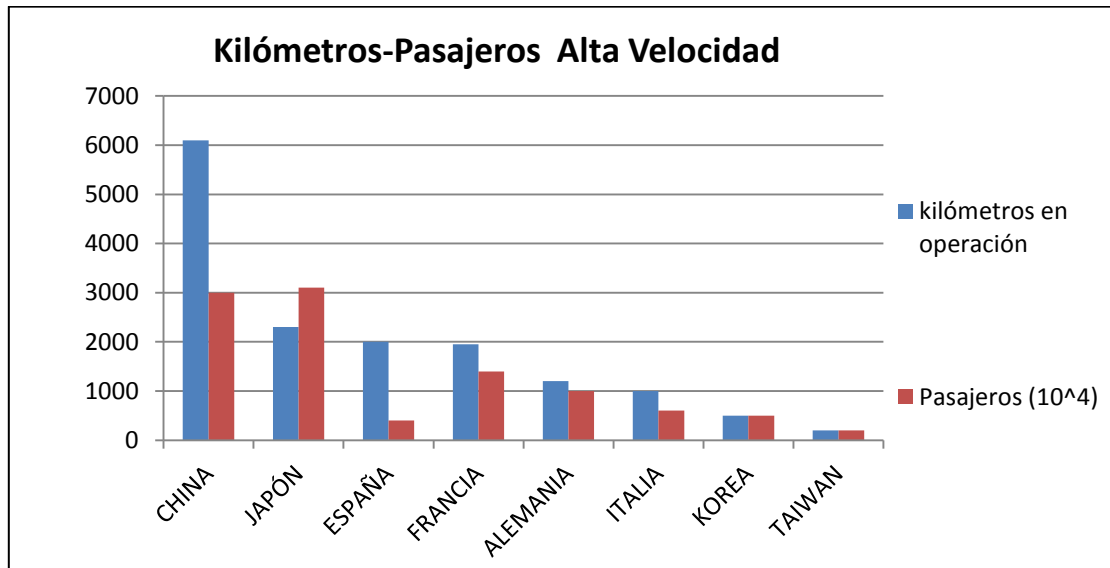


Figura 1. Comparativa kilómetros Alta Velocidad y pasajeros [ECI_13]

Este proyecto tiene como objeto el estudio y diseño de los procedimientos y equipos de los sistemas de control del tráfico en el ferrocarril, particularizando en una línea de Alta Velocidad con configuración en vía única como solución al problema planteado. Se singulariza en los sistemas ERTMS-ETCS (European Railway Train Management System-European Train Control System), sistemas de protección común para el ferrocarril en Europa, para una línea de Alta Velocidad con configuración en vía única.

El sistema ERTMS surgió como consecuencia de la gran variedad de sistemas ATP, *Automatic Train Protection*, existentes en Europa y la búsqueda de la interoperabilidad entre países para facilitar el tráfico ferroviario. [MONT11]

Este sistema tiene como objetivo básico y principal la interoperabilidad entre equipos fabricados e instalados de múltiples empresas de acuerdo a unas especificaciones comunes, permitiendo el funcionamiento homogéneo en toda Europa de los sistemas de protección de trenes para así mejorar la competitividad del ferrocarril como medio de transporte.

En el diseño de una línea para circulaciones de Alta Velocidad, los sistemas de control de tráfico y señalización requieren de un estudio detallado y exhaustivo debido a su alta importancia en la seguridad de los ferrocarriles.

Como consecuencia de la configuración de tramos en vía única de la línea, se debe prestar especial atención a la fiabilidad y seguridad de los equipos para que no exista la posibilidad de colisión frontal de los vehículos.

Metodología

La metodología seguida en la consecución de los objetivos del proyecto se basa en el estudio de los sistemas de control y señalización de tráfico de las líneas de Alta Velocidad para, posteriormente, aplicarlos en el diseño de la línea de Alta Velocidad con configuración en vía única analizada en este proyecto.



Así, en primera instancia se realiza el estudio de los equipos y procedimientos del sistema de señalización aplicado en el diseño de las líneas de Alta Velocidad equipadas con el sistema ERTMS Nivel 2.

Seguidamente, se definen y especifican los requisitos funcionales.

A continuación, se procede al diseño y establecimiento de los itinerarios a recorrer por los ferrocarriles simulando una marcha aproximada en ambos sentidos de la línea, teniendo en cuenta distancias de seguridad y capacidad de frenado de los trenes. Se obtiene como resultado la capacidad de transporte de la línea de Alta Velocidad con configuración en vía única.

Debido al diseño en vía única, la capacidad de la línea se ve reducida, obteniéndose una frecuencia de trenes no muy elevada pero suficiente para la demanda esperada.

Una correcta planificación aconseja realizar en estos momentos una serie de trabajos para dejar la vía preparada para que en el futuro se pueda ampliar a doble vía de forma sencilla y sin costes elevados. Por ello, este estudio incluye una serie de mejoras con el objetivo de posibilitar el aumento de dicha capacidad en un futuro.

El estudio de la capacidad de transporte de la línea se realiza calculando la marcha aproximada de los vehículos a lo largo de la misma por lo que se procede a la validación de esta marcha aproximada simulando el movimiento de los trenes en su recorrido por la línea.

Seguidamente, se diseñan y especifican los equipos de señalización que controlan las zonas donde se requiere realizar operaciones de composición de trenes, situarlos en andenes y facilitar la llegada o salida de los mismos, denominadas enclavamientos, ENCE.

De la misma manera, se diseñan y especifican los equipos de señalización destinados a permitir la circulación de trenes en tramos que unen estaciones, que reciben el nombre de equipos de bloqueo. Este diseño cumple con la normativa específica de Adif.

Por último se analiza y compara los costes de equipamiento e instalación para una línea con sistema ERTMS Nivel 2 y la misma línea equipada con sistema el ERTMS Nivel 3.

Resultados

Los resultados obtenidos en la realización del proyecto son el estudio de la capacidad de transporte de la línea de Alta Velocidad con configuración en vía única, así como el diseño de los sistemas de control y señalización de tráfico de la misma.

El estudio de la capacidad de transporte de la línea muestra como resultado una frecuencia de 11 trenes en cada sentido de marcha al día. La frecuencia de trenes obtenida puede considerarse adecuada para el corredor donde está destinada la construcción de la línea de Alta Velocidad, ya que no se prevé una gran demanda de viajeros para la misma.

En el caso de aumento de demanda de viajeros para la línea en cuestión, se ha habilitado la posibilidad de ampliación de la línea a configuración en vía doble en puntos en los que se permite el cruce de trenes, pudiéndose alcanzar una capacidad de 22 trenes en cada sentido de marcha al día.

La capacidad de transporte de la línea equipada con el sistema ERTMS Nivel 3 no queda afectada debido a la configuración en vía única de la línea.

Los resultados en el diseño de los sistemas de señalización y control de tráfico se muestran en el anexo planos del proyecto y en el estudio de comparación de costes de la instalación de la línea diseñada con el sistema ERTMS Nivel 2 y la misma línea diseñada en Nivel 3.

Los planos incluyen los equipos de detección de trenes, los aparatos de vía, la señalización lateral y las conexiones/interfaces del diseño de la línea de Alta Velocidad con configuración en

vía única equipada con el sistema ERTMS Nivel 2.

La siguiente figura, Figura 2, muestra, a modo de ejemplo, la configuración de uno de los enclavamientos diseñados en la línea objeto del proyecto.

Este diseño incluye la señalización lateral aplicada al enclavamiento, así como los equipos de detección de tren, circuitos de vía y sensores de rueda, las balizas del sistema ERTMS y ASFA para permitir el funcionamiento en modo degradado, y las conexiones-interfaces entre las vías de la línea y el enclavamiento.

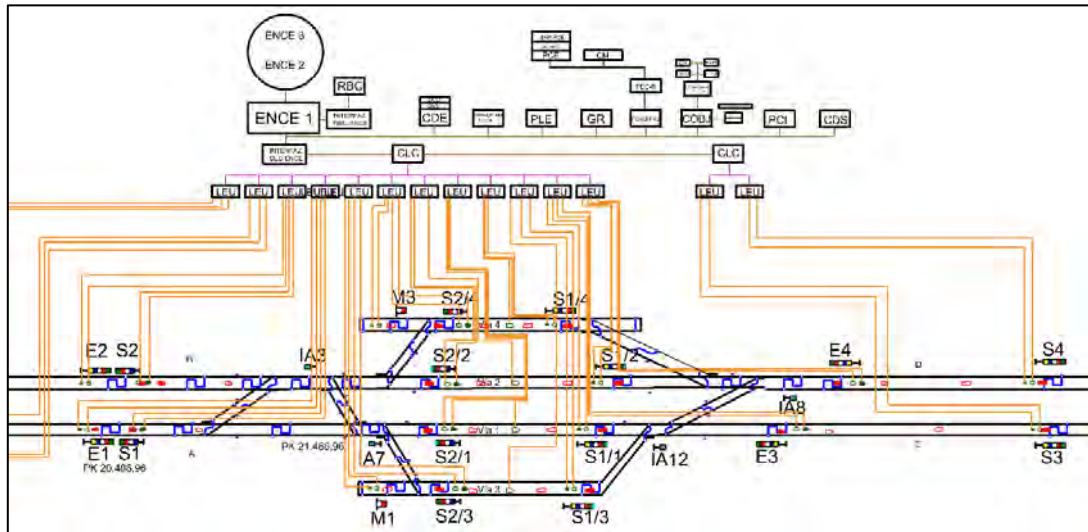


Figura 2. Diseño de un enclavamiento de la línea de Alta Velocidad

El estudio comparativo en costes de la instalación de la línea de Alta Velocidad con el sistema ERTMS Nivel 2 y con Nivel 3 muestra un ahorro del 7.74% en costes de instalación del Nivel 3 con respecto al Nivel 2.

Conclusiones

Las conclusiones extraídas tras la realización de este proyecto muestran una gran cantidad de aspectos favorables al tomar como solución alternativa en el diseño de las líneas de Alta Velocidad la configuración en vía única para casos particulares como el que se analiza en este estudio.

La frecuencia de trenes obtenida en el estudio de la capacidad de transporte muestra un resultado no muy elevado, pero sí suficiente, de 11 trenes diarios en ambos sentidos de circulación, para el destino del diseño de la línea de Alta Velocidad en cuestión. Se han incluido pequeñas mejoras en cuanto a la configuración de la línea para permitir aumentar al doble la frecuencia de trenes en el caso de que la demanda de viajeros para la línea objeto aumentase.

Por otro lado, el diseño de los equipos de control y señalización de tráfico en las zonas con configuración en vía única permite disminuir el número de equipos a instalar, así como simplificar su instalación y mantenimiento en comparación con la instalación de la línea en vía doble.

El estudio de comparación de costes de instalación de señalización de la línea de Alta Velocidad con el sistema ERTMS Nivel 2 y Nivel 3 no muestra una gran diferencia entre ambas instalaciones, una reducción del 7.74% del Nivel 3 en comparación con el Nivel 2. Por otro lado, la instalación del sistema ERTMS Nivel 3 simplifica el mantenimiento de los dispositivos



instalados en la vía.

En términos relativos, la diferencia entre la instalación de un nivel u otro se debe a que ambos sistemas cuentan con la instalación del equipo RBC, equipo principal del sistema ERTMS Nivel 2 y del Nivel 3, y los enclavamientos tienen la misma configuración en ambos niveles. Ésta podría reducirse en cuanto a la instalación de equipos en el Nivel 3.

Referencias

Las referencias utilizadas para la realización del proyecto se muestran a continuación.

- [ECI_13] Enrique Castillo Instituto (e c [i]). “Una propuesta metodológica para racionalizar inversiones en infraestructuras de alta velocidad ferroviaria. Aplicación a la línea Palencia-Santander”. 2013.
- [MONT11] Montes Ponce de León, Fernando. “Los sistemas de control de tráfico y señalización en el ferrocarril”. Universidad Pontificia Comillas. 2011.
- [ALVA14] Álvarez Sanz, Ángel. “Transiciones de modos en el ERTMS/ETCS”. Madrid. 2014.
- [COIT05] Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicaciones. Grupo de Nuevas Actividades profesionales. “Elementos Técnicos para la Gestión de Frecuencias en Espacios Complejos: Entornos Ferroviarios”. Capítulo 3: Descripción de Sistemas de Señalización y Control en Entornos Ferroviarios. Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicaciones. Madrid. 2005.
- [ADIF05] ADIF. “Sistema Europeo de Circulación de Trenes (ERTMS/ETCS)”. Edición 01- de 2005 (Provisional).
- [CAMA10] Camargo Rodríguez, Marco Antonio. “Sistema Europeo de Gestión del Tráfico Ferroviario, ERTMS-N1, para líneas convencionales”. Proyecto Fin de Carrera. 2010.
- [LORE07] Lorenzo Villanueva, Juan Carlos., De Santiago Cid, José Ignacio. “El sistema ERTMS: el primer estándar paneuropeo para señalización ferroviaria orientado a la Interoperabilidad”. Anales de mecánica y electricidad. Enero-Febrero 2007.
- [SANZ14] Álvarez Sanz, Ángel. “Descripción básica del sistema ERTMS/ETCS”. Madrid. 2014.
- [GARC06] García Álvarez, Alberto. “Dinámica de los trenes en Alta Velocidad”. Fundación de los Ferrocarriles Españoles. Documentos de Explotación técnica y económica de ferrocarriles. 2006.



DESIGN OF A HIGH SPEED SINGLE RAILROAD TRACK RAILWAY
LINE EQUIPPED WITH ERTMS LEVEL 2 SIGNALLING SYSTEM
AND ITS COSTS COMPARISON WITH ERTMS LEVEL 3
SIGNALLING SYSTEM. ESTABLISHMENT OF THE EXPLOITATION
PROGRAM AND ANALYSIS OF TRANSPORT CAPACITY IN LEVEL
2 AND ITS COMPARASION WITH LEVEL 3.

Author: Rodríguez Beltrán, Ana.

Directors: González Arechavala, Yolanda.

Montes Ponce de León, Fernando.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

ABSTRACT

This project has as purpose the design of control and traffic signposting system of a railway line for high-speed railroad circulations with the peculiarity of being built in single railroad.

This peculiarity is due to the approach of new possibilities in the design of high-speed railway lines in Spain, owing to the aspects explained below.

Therefore, this project represents a novelty of great interest as it proposes simple improvements which are applicable to the design of new high-speed railroads.

The signposting system which is set up in the high-speed railroad is the ERTMS Level 2 system and a comparison in terms of costs with ERTMS Level 3 is presented along this project.

The railroad exploitation is established and the transport capacity is analyzed.

Introduction

Railroads of high-speed trains has been designed in Spain as dual tracks so far, allowing for a great frequency of trains in both ways from a location to another. This fact is due to the possibility of crossover of vehicles along their haul, thanks to the configuration in dual tracks.

The building of these railroads, dual track, in Spain, as it is a mountainous country, a great amount of funds is required for the aforementioned investment in infrastructure.

With a service of 2,144 kilometers, Spain is the third country in the world and the first in Europe in terms of kilometers of high-speed railroads, only behind China and Japan.

On the other hand, the demand of passengers in Spain is generally low, with the exception of some corridors, such as Madrid-Barcelona, Madrid-Valencia or Madrid-Sevilla. Thus, in terms of transport efficiency, Spain holds a low position in a world-wide scale. [ECI_13]

In the current situation, the forecasts of future demand similar to the current one and the aforementioned facts have led to the implementation of new possibilities in the design of future high-speed railroads, which must provide passengers with an improved service between regions. However, they will not be able to maintain a heavy traffic, although this should not be a problem, as the demand does not require it.

The following graph shows a comparison between kilometers of high-speed railroads and the



coverage of the passenger demand in several countries around the world. Although data used in this graph correspond to the year 2011 and the passenger demand has increased in these last years by 15%, the difference between both variables continues being significant. Thus, the imbalance between both variables in our country can be observed and, therefore, the search for new possibilities in the design of high-speed railroads is justified.

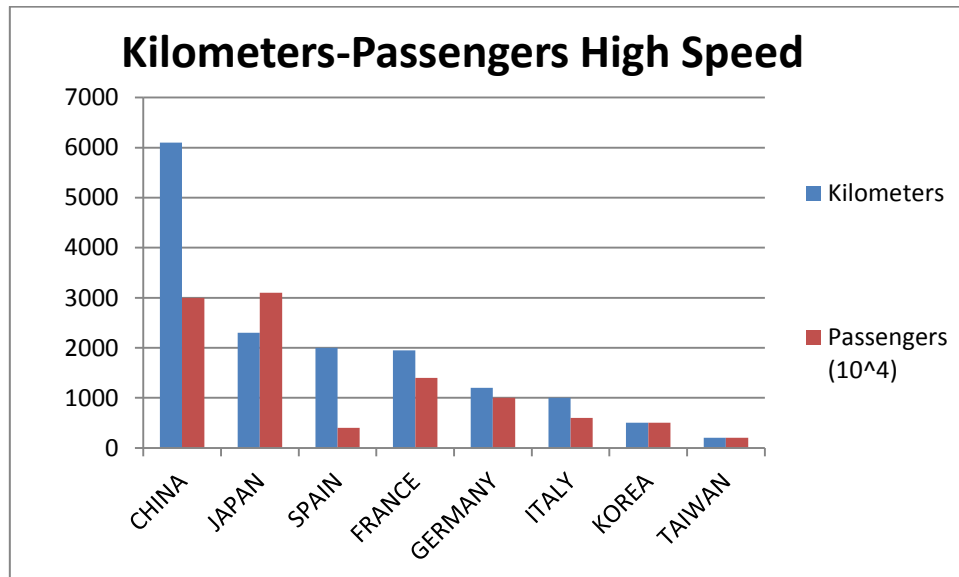


Figura 3. Comparison kilometers high speed and passengers [ECI_13]

The objective of this project is the study and design of procedures and equipment of traffic control system in railway, specifying in a high-speed single railroad as solution to the problem suggested above. The solution is particularized in ERTMS-ETCS systems (European Railway Train Management System-European Train Control System), which are systems of common protection for railway in Europe for a high-speed single railroad.

ERTMS System appeared as a consequence of a wide variety of ATP systems, *Automatic Train Protection*, existing in Europe and the search for interoperability among countries in order to ease rail traffic. [MONT11]

This system has as the ultimate aim the interoperability among equipment manufactured and set up by several companies according to some common specifications, allowing for the homogeneous functioning of protection systems of trains throughout Europe in order to improve the competitiveness of railway as a mean of transport.

In the design of a high-speed railroad, the traffic control and signposting systems require a detailed and thorough research, on account of its extreme importance in the security of railways. As a consequence of the stretch configuration in single track, the attention should be focus on the reliability and security of the equipment, in order to avoid the possibility of heads on collision.

Methodology

The methodology utilized for the consecution of the objectives of the project is based on the study of the traffic control and signposting systems in order to be able of applying them to the design of high-speed single track railroad.

Thus, firstly, a study of equipment and procedures of signposting system applied in the design



of high-speed railroads equipped with ERTMS level 2 is implemented. Immediately after, functional requirements are defined and specified.

Afterwards, the design and establishment of railway routes is implemented, simulating an approximate course in both directions of the railroad, considering the security distance and the brake capacity of the trains. As a result, the transport capacity of the high-speed single railroad is obtained.

Due to the design in single track, the capacity of the railroad is reduced, obtaining a frequency of trains which is not very high but enough to the expected demand.

A correct planning advises carrying out a series of works to have the track prepared in order to it could be expandable to dual track easily and inexpensively in the future. This is the reason why this project contemplates some improvements with the objective of making it possible the increase of capacity in the future.

The transport capacity study is implemented calculating the approximate course of vehicles along the railroad. Therefore, the validation of this approximate course is done simulating the movement of trains in their haul.

Afterwards, equipment of signposting are designed and specified. This equipment control the areas where it is important to carry out operations of composition of trains, place them in platforms and ease their arrival and departure, called interlocking, ENCE.

Likewise, the equipment of signposting which let rail circulation in stretches that connect stations, which are called block equipment, are designed and specified. This design meets Adif's specific requirements.

Finally, equipment and installation costs are analyzed and compared for a railroad with ERTMS system Level 2 and the same railroad equipped with ERTMS system Level 3.

Results

The results obtained in this project are the transport capacity study of the high-speed railroad with configuration in single track and the design of control and traffic signposting systems.

The transport capacity study shows, as a result, a frequency of 11 trains in each way of circulation per day. The frequency of trains obtained can be seen as suitable for the corridor where the building of the high-speed railroad is destined, as a great passenger demand is not forecasted.

In case of increase of passenger demand for this railroad, there is a possibility of expansion of the railroad to dual track in some places in which rail crossing is allowed, being able to achieve a capacity of 22 trains in each way of circulation per day.

The transport capacity of the railroad equipped with ERTMS Level 3 is not affected, due to the configuration in single track of the railroad.

The results in the design of signposting systems and traffic control are shown in the appendix (plans of the project) and in the comparison study of installation costs of the railroad designed according to ERTMS Level 2 system and the same railroad designed in Level 3.

The plans include the train detection equipment, the track devices, the lateral signposting and the connections/interfaces of the design of the high-speed railroad with configuration in single track equipped with ERTMS Level 2 system.

The following figure shows, as an example, the configuration of one of the interlocking designed in the railroad.

This design includes the lateral signposting applied to the interlocking, as well as the train

detection equipment, the track circuit and tire sensors, the axle counting magnet of ERTMS system and ASFA in order to allow the functioning in a downfallen mode, and the connections/interfaces between the tracks of the railroad and the interlocking.

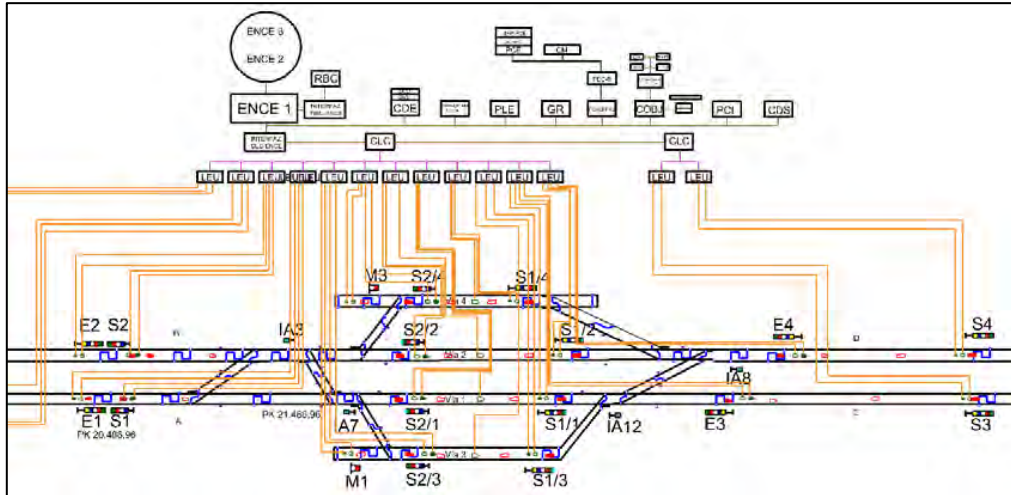


Figure 4. Design of interlocking of high-speed railroad

The comparison study in installation costs of the high-speed railroad with the ERTMS Level 2 system and Level 3 shows a saving of 7.74% in installation costs of Level 3 related to Level 2.

Conclusions

The conclusions obtained after the realization of this project shows a great amount of favorable aspects if the alternative chosen is the design of high-speed railroads with configuration in single track for some cases, as the one analyzed in this research.

The frequency of trains obtained in this study about the transport capacity shows a result, which is not very high, but enough; of 11 trains per day in both ways of circulation, for the destination of the design of the high-speed railroad. Some little improvements regarding the configuration of the railroad have been included, in order to make it possible to double the frequency of trains, in case of passenger demand for this railroad increased.

On the other hand, the design of control equipment and traffic signposting in the areas with configuration in single track allows decrease the number of equipment to set up, as well as simplify its installation and maintenance in comparison with the installation of the railroad in dual track.

The comparison study of installation and signposting costs of the high-speed railroad with the ERTMS Level 2 system and Level 3 does not show a great difference: a reduction of 7.74% in Level 3 in comparison with Level 2. Furthermore, the installation of ERTMS Level 3 system simplifies the maintenance of devices installed in the track.

In relative terms, the difference between the installations from one level to another is due to the fact that both systems have the installation of RBC equipment, which is the mean equipment of ERTMS system, and to the interlocking, which has the same configuration in both levels. This configuration could be reduced in the installation of equipment in Level 3.



References

The references used in this Project are shown below:

- [ECI_13] Enrique Castillo Instituto (e c [i]). “Una propuesta metodológica para racionalizar inversiones en infraestructuras de alta velocidad ferroviaria. Aplicación a la línea Palencia-Santander”. 2013.
- [MONT11] Montes Ponce de León, Fernando. “Los sistemas de control de tráfico y señalización en el ferrocarril”. Universidad Pontificia Comillas. 2011.
- [ALVA14] Álvarez Sanz, Ángel. “Transiciones de modos en el ERTMS/ETCS”. Madrid. 2014.
- [COIT05] Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicaciones. Grupo de Nuevas Actividades profesionales. “Elementos Técnicos para la Gestión de Frecuencias en Espacios Complejos: Entornos Ferroviarios”. Capítulo 3: Descripción de Sistemas de Señalización y Control en Entornos Ferroviarios. Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicaciones. Madrid. 2005.
- [ADIF05] ADIF. “Sistema Europeo de Circulación de Trenes (ERTMS/ETCS)”. Edición 01- de 2005 (Provisional).
- [CAMA10] Camargo Rodríguez, Marco Antonio. “Sistema Europeo de Gestión del Tráfico Ferroviario, ERTMS-N1, para líneas convencionales”. Proyecto Fin de Carrera. 2010.
- [LORE07] Lorenzo Villanueva, Juan Carlos., De Santiago Cid, José Ignacio. “El sistema ERTMS: el primer estándar paneuropeo para señalización ferroviaria orientado a la Interoperabilidad”. Anales de mecánica y electricidad. Enero-Febrero 2007.
- [SANZ14] Álvarez Sanz, Ángel. “Descripción básica del sistema ERTMS/ETCS”. Madrid. 2014.
- [GARC06] García Álvarez, Alberto. “Dinámica de los trenes en Alta Velocidad”. Fundación de los Ferrocarriles Españoles. Documentos de Explotación técnica y económica de ferrocarriles. 2006.



Índice general

RESUMEN DEL PROYECTO	9
ABSTRACT	14
Índice de figuras	20
Índice de tablas	22
Parte I Memoria	25
Capítulo 1 Introducción.	29
Capítulo 2 Sistema de señalización: Enclavamiento y bloqueo	35
Capítulo 3 Sistema ERTMS-ETCS	55
Capítulo 4 Requisitos funcionales	71
Capítulo 5 Capacidad de transporte	85
Capítulo 6 Diseño de la aplicación: Línea de Alta Velocidad en vía única.	105
Capítulo 7 Conclusiones	133
Capítulo 8 Futuros desarrollos	135
Bibliografía	137
Parte II Anexos	139
I. Estudio: diseño del tipo de configuración de la línea	141
II. Planos	147



Índice de figuras

Figura 1. Comparativa kilómetros Alta Velocidad y pasajeros [ECI_13]	10
Figura 2. Diseño de un enclavamiento de la línea de Alta Velocidad	12
Figura 3. Comparison kilometers high speed and passengers [ECI_13].....	15
Figure 4. Design of interlocking of high-speed railroad	17
Figura 5. Longitudes en el mundo de las líneas de Alta Velocidad [ECI_13].....	29
Figura 6. Cobertura de demanda en líneas de Alta Velocidad [ECI_13]	29
Figura 7. Comparativa kilómetros Alta Velocidad y pasajeros [ECI_13]	30
Figura 8. Metodología de trabajo	32
Figura 9. Configuración Bloqueo-Enclavamiento	35
Figura 10. Clasificación de los sistemas de detección de trenes.....	36
Figura 11. Funcionamiento CV libre [MONT11]	37
Figura 12. Funcionamiento CV ocupado [MONT11]	37
Figura 13. Esquema modelo eléctrico CV [MONT11].....	38
Figura 14. Señal tipo LED	44
Figura 15. Movimientos posibles dentro de desvío	46
Figura 16. Arquitectura sistema ERTMS [MONT11]	57
Figura 17. Autoridad de movimiento en el Nivel 1 [MONT11]	58
Figura 18. Esquema ETCS Nivel 1[LORE07].....	65
Figura 19. Esquema ETCS Nivel 2[LORE07].....	67
Figura 20. Esquema ETCS Nivel 3 [LORE07].....	68
Figura 21. Especificación de requisitos.....	71
Figura 22. Configuración línea de Alta Velocidad.....	86
Figura 23. Gráfico itinerarios según PK	89
Figura 24. Gráfico itinerarios según tramo.....	90
Figura 25. Gráfico capacidad máxima de la línea de AV	92
Figura 26. Gráfico itinerario de trenes en línea mejorada.....	94
Figura 27. Curvas típicas de esfuerzo de tracción	96
Figura 28. Configuración de los tramos seleccionados	100



Figura 29. Gráfico del perfil de velocidad: Velocidad (km/hora)-Tiempo (segundos) .	104
Figura 30 Esquema del diseño de la aplicación	106
Figura 31. Señalización lateral entrada/salida de estaciones	108
Figura 32. Señalización lateral salida de las vías	109
Figura 33. Señalización lateral de maniobra	109
Figura 34. Señalización lateral indicadora de posición de agujas	109
Figura 35. Diseño enclavamiento número 1	110
Figura 36. Diseño enclavamiento número 2	114
Figura 37. Diseño enclavamiento número 3	115
Figura 38. Accionamiento electrohidráulico L826H	119
Figura 39. Sensores de rueda	121
Figura 40. Circuito de vía	121
Figura 41. Conexiones-Interfaces del enclavamiento número 1.....	123
Figura 42. Detectores de velocidad del viento.....	125
Figura 43. Detectores de caída de objetos.....	125
Figura 44. Contadores de ejes	126
Figura 45. Balizas fijas y programables.....	128
Figura 46. Gráfico. Primer estudio del tipo de configuración de la línea.....	142
Figura 47. Gráfico detalle. Primer estudio del tipo de configuración de la línea.....	143
Figura 48. Gráfico detalle. Segundo estudio configuración de la línea.....	144
Figura 49. Gráfico detalle. Tercer estudio configuración de la línea	144



Índice de tablas

Tabla 1. REQ-1	73
Tabla 2. REQ-1.1	73
Tabla 3. REQ-1.2	73
Tabla 4. REQ-2	73
Tabla 5. REQ-2.1	74
Tabla 6. REQ-2.1.1	74
Tabla 7. REQ-2.1.2	74
Tabla 8. REQ-2.1.3	75
Tabla 9. REQ-2.1.3.1	75
Tabla 10. REQ-2.1.3.2	75
Tabla 11. REQ-2.1.3.3	75
Tabla 12. REQ-2.1.4	76
Tabla 13. REQ-2.2	76
Tabla 14. REQ-2.2.1	76
Tabla 15. REQ-2.2.1.1	77
Tabla 16. REQ-2.3	77
Tabla 17. REQ-2.3.1	77
Tabla 18. REQ-2.3.2	77
Tabla 19. REQ-2.4	78
Tabla 20. REQ-3	78
Tabla 21. REQ-3.1	78
Tabla 22. REQ-3.2	79
Tabla 23. REQ-3.3	79
Tabla 24. REQ-3.4	79
Tabla 25. REQ-3.4.1	80
Tabla 26. REQ-3.4.2	80
Tabla 27. REQ-3.5	80
Tabla 28. REQ-3.5.1	80



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA - ICAI
Grado en Ingeniería Electromecánica
Proyecto Fin de Grado.

Tabla 29. REQ-3.5.2	81
Tabla 30. REQ-3.6	81
Tabla 31. REQ-3.6.1	81
Tabla 32. REQ-3.6.2	81
Tabla 33- REQ-3.6.3	82
Tabla 34. REQ-3.7	82
Tabla 35. REQ-3.7.1	82
Tabla 36. REQ-3.7.2	82
Tabla 37. REQ-3.8	83
Tabla 38. REQ-4	83
Tabla 39. REQ-4.1	83
Tabla 40. REQ-4.2	83
Tabla 41. REQ-4.2.1	84
Tabla 42. REQ-4.3	84
Tabla 43. Configuración de la línea de AV	86
Tabla 44. Clasificación línea según tipo de configuración	86
Tabla 45. Zonas de cruzamiento permitido	87
Tabla 46. Cruzamiento de trenes	88
Tabla 47. Parámetros característicos de los trenes	97
Tabla 48. Radios mínimos de curva según normativa RENFE	100
Tabla 49. Cuadros de movimientos del enclavamiento número 1	112
Tabla 50. Cuadros de incompatibilidades del enclavamiento número 1	113
Tabla 51. Cuadros de movimientos del enclavamiento número 2	114
Tabla 52. Cuadro incompatibilidades enclavamiento número 2	115
Tabla 53. Cuadro de movimientos enclavamiento número 3	117
Tabla 54. Cuadro incompatibilidades enclavamiento número 3	118
Tabla 55. Descripción simbología de las Conexiones-Interfaces.....	122
Tabla 56. Estudio de los costes de instalación	132
Tabla 57. Tramos de la línea	141
Tabla 58. Configuración final de la línea	145



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA - ICAI
Grado en Ingeniería Electromecánica
Proyecto Fin de Grado.





Parte I

Memoria



Índice de la memoria

Capítulo 1 Introducción.....	29
1.1 Estado de la cuestión.....	30
1.2 Motivación.....	31
1.3 Objetivos del proyecto.	31
1.4 Metodología del trabajo.	32
1.5 Organización del documento	32
Capítulo 2 Sistema de señalización: Enclavamiento y bloqueo	35
2.1 Introducción.....	35
2.2 Detección de trenes.....	35
2.2.1 Circuitos de vía	36
2.2.2 Contadores de ejes.	40
2.3 Aparatos de vía.....	41
2.3.1 Desvíos.....	41
2.3.2 Accionamientos.	42
2.3.3 Travesías.	43
2.4 Señales en vía.	43
2.4.1 Tipos de señales.....	43
2.4.2 Posición de señales en estación	44
2.4.3 Posición de señales en el bloqueo.....	45
2.4.4 Señales en ADIF. Reglamento General de Circulación.....	45
2.5 Relés de seguridad.	45
2.6 Enclavamiento.	46
2.6.1 Principios de funcionamiento.....	46
2.6.2 Proyecto funcional.....	47
2.7 Bloqueo.....	49
2.7.1 Tipos de bloqueo.	49
2.7.2 Bloqueo en las líneas de alta velocidad en España.....	51
2.7.3 Gráfico de marchas.....	51
2.7.4 Capacidad de transporte.	52
Capítulo 3 Sistema ERTMS-ETCS.....	55
3.1 Introducción.....	55
3.2 Arquitectura del sistema y funciones básicas.....	56
3.3 Subsistema vía	60
3.3.1 Eurobalizas.....	60
3.3.2 LEU	61
3.3.3 RBC.....	61
3.4 Subsistema tren	62
3.4.1 EVC.....	62
3.4.2 DMI	62



3.4.3	JRU	63
3.4.4	Odometría	63
3.4.5	RBS.....	63
3.4.6	BTM/LTM	63
3.5	Principios y Niveles de funcionamiento	63
3.5.1	ETCS Nivel 1	64
3.5.2	ETCS Nivel 2	66
3.5.3	ETCS Nivel 3	67
3.5.4	ETCS STM	69
Capítulo 4	Requisitos funcionales.....	71
4.1	Índice de requisitos	72
4.2	Especificación de requisitos.	73
Capítulo 5	Capacidad de transporte	85
5.1	Análisis simplificado de la capacidad de transporte	85
5.1.1	Conclusiones y mejoras.	91
5.2	Dinámica del tren.	95
5.2.1	Tracción y frenado	95
5.2.2	Resistencias al avance	96
5.2.3	Adherencia.....	98
5.2.4	Síntesis del modelo y simplificaciones.....	99
5.2.5	Perfil de velocidad.	101
Capítulo 6	Diseño de la aplicación: Línea de Alta Velocidad en vía única.....	105
6.1	Enclavamientos.....	106
6.1.1	Proyecto funcional.....	106
6.1.2	Aparatos de vía	119
6.1.3	Detección de trenes.....	120
6.1.4	Conexiones-Interfaces	122
6.2	Bloqueo: Sistema ERTMS Nivel 2	123
6.2.1	Señales laterales	124
6.2.2	Planos	124
6.2.3	GSM-R.....	124
6.2.4	Detectores	124
6.2.5	Vía única	125
6.2.6	Vía doble.....	126
6.2.7	Sistema ERTMS N2.....	127
6.3	Sistema ERTMS Nivel 3.....	129
6.3.1	Funcionalidad	130
6.3.2	Equipamiento vía	130
6.4	Estudio costes.....	131
Capítulo 7	Conclusiones	133
7.1	Conclusiones del estudio de la capacidad de transporte	133
7.2	Conclusiones del diseño de los sistemas de señalización de la línea con configuración en vía única	134
Capítulo 8	Futuros desarrollos	135



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA - ICAI
Grado en Ingeniería Electromecánica
Proyecto Fin de Grado.

Bibliografía 137

Capítulo 1 Introducción.

En España, las líneas de circulación de los trenes en alta velocidad vienen siendo diseñadas en doble vía hasta el momento. Este diseño permite la circulación de un gran flujo de trenes en ambos sentidos desde una estación a otra sin ningún inconveniente en cuanto al cruce de los mismos.

Con 2.144 kilómetros en servicio, España es el tercer país mundial y el primero de Europa en cuanto a kilómetros de línea de alta velocidad, únicamente por detrás de China y Japón.

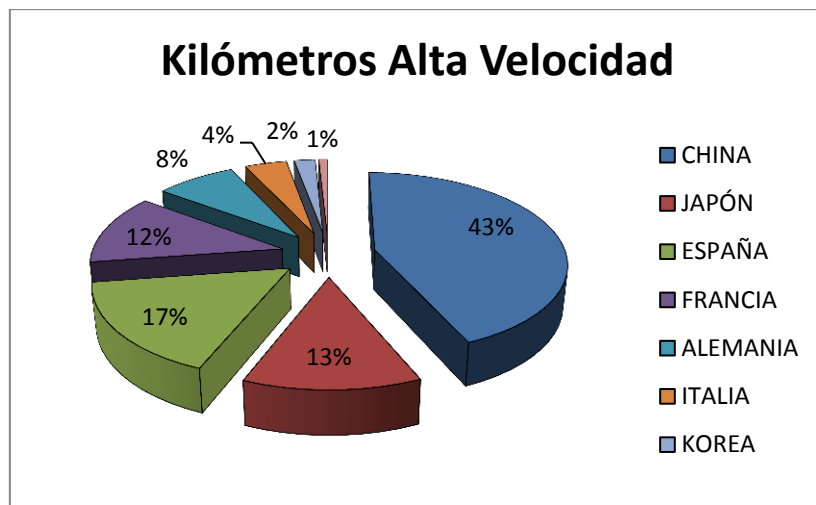


Figura 5. Longitudes en el mundo de las líneas de Alta Velocidad [ECI_13]

Por otro lado, la demanda de viajeros atendida en España es generalmente baja, a excepción de corredores como el de Madrid-Barcelona, Madrid-Valencia o Madrid-Sevilla, con lo que en términos de rendimiento de transporte ocupa una posición baja a nivel mundial, por detrás de Japón, Taiwán, Corea, Francia, Alemania, China e Italia. [ECI_13]

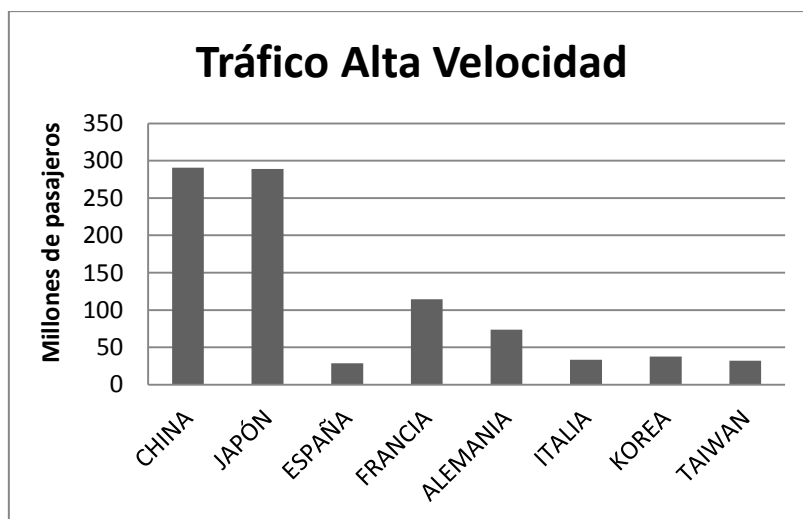


Figura 6. Cobertura de demanda en líneas de Alta Velocidad [ECI_13]



La construcción de estas vías, doble vía, en nuestro país, al contar con zonas de relieve pronunciado requiere de grandes inversiones para poder llevarlas a cabo (túneles, viaducto, etc.).

En un contexto como en el que nos encontramos actualmente y previsiones de demanda futura semejantes a la actual, han llevado a plantearse otras posibilidades en el diseño de líneas de alta velocidad futuras que deben proporcionar un mejor servicio entre regiones pero no serán capaces de mantener un tráfico elevado. Aunque, como se ha explicado anteriormente, la demanda de este servicio en casos particulares no lo requiere.

1.1 Estado de la cuestión

La tecnología de Alta Velocidad se implementa con el objetivo de conectar distintas poblaciones compitiendo con otras formas de transporte, como puede ser el transporte por carretera o el transporte aéreo, y ofrecer al usuario un servicio de calidad. Es por esto por lo que la conexión de dos o más poblaciones mediante líneas de alta velocidad no debe plantearse aplicando velocidades inferiores a 200 kilómetros a la hora.

Por otro lado, existen conexiones entre poblaciones que no demandan una alta frecuencia de trenes y no se prevé que aumente significativamente en un futuro próximo. Este hecho, junto con la necesidad de que la tecnología de alta velocidad sea competitiva, motiva la búsqueda de nuevas soluciones dentro del diseño de las líneas de alta velocidad.

A modo de síntesis, se muestra en la Figura 7 la comparativa entre los kilómetros de líneas de alta velocidad con la cobertura de demanda de pasajeros en distintos países del mundo. Así, se observa el desequilibrio en nuestro país entre estas dos variables y por lo tanto, se justifica la búsqueda de nuevas posibilidades en el diseño de las líneas de Alta Velocidad. [ECI_13]

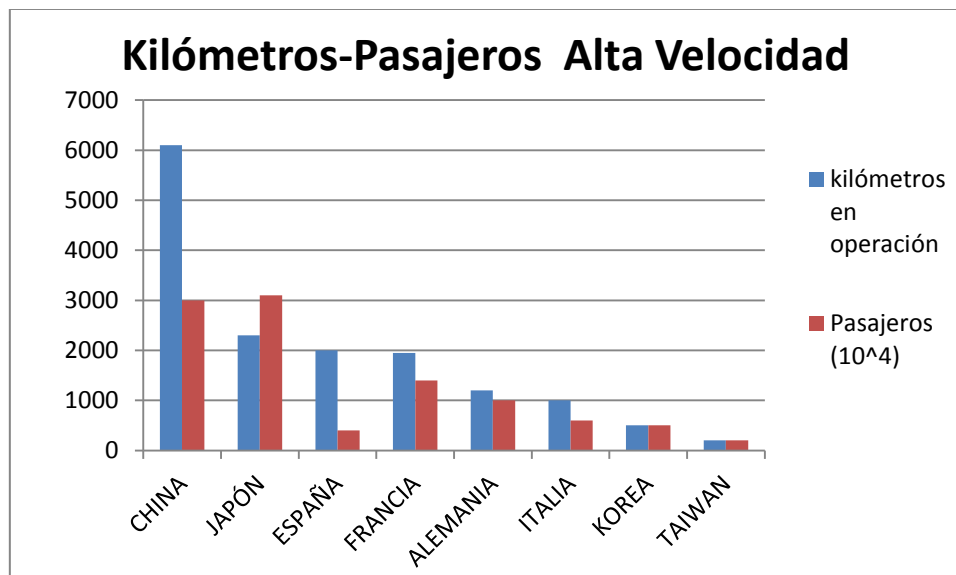


Figura 7. Comparativa kilómetros Alta Velocidad y pasajeros [ECI_13]

Dentro del estudio de las nuevas posibilidades en el diseño de las líneas de alta velocidad, la solución tecnológica que dispone de mayores garantías en cuanto al compromiso coste-calidad



de servicio, es la utilización de vías únicas, adaptando así su coste a la posible demanda actual y futura. Esto exige el estudio previo de las actuaciones necesarias para realizar inicialmente aquellas obras que permitan en el futuro una posible ampliación de la capacidad de transporte de acuerdo a la demanda, es decir, de un análisis de cuáles son los trayectos más convenientes de vía única y de vía doble desde el punto de vista de coste constructivo y de capacidad de tráfico. Este novedoso diseño exige un profundo y sofisticado estudio de los tramos que definirán la línea y de todos los elementos que la integran, en particular la señalización para garantizar la seguridad total del sistema.

1.2 Motivación.

La motivación de realizar este proyecto se basa en el interés en los sistemas ferroviarios como medio de transporte y en la novedad que supone este estudio de cara a futuras inversiones en este sector.

Las condiciones actuales del sector en cuanto a demanda prevista de usuarios así como la necesidad de un equilibrio entre prestaciones de la línea y costes de construcción y diseño de las mismas hacen que este estudio sirva como futura posible aplicación en el diseño de nuevas líneas de alta velocidad.

La idea de realizar este estudio nace de la necesidad de plantearse nuevas opciones dentro del diseño de las líneas de alta velocidad en nuestro país.

El sector ferroviario debe ser capaz de cubrir las necesidades demandadas por la población pero ajustándose a la realidad del servicio que se requiere en el momento en el que nos encontramos.

En particular, la señalización del mismo es de vital importancia para la seguridad de los viajeros, ya que su garantía es principal en el diseño de las líneas.

También se pretende llegar a un equilibrio entre costes y prestaciones de la línea.

1.3 Objetivos del proyecto.

Los objetivos que marcan las pautas en la realización de este proyecto se citan y describen a continuación:

- Conocimientos de los conceptos de señalización ferroviaria, de las normas generales de explotación de Adif y del Reglamento General de Circulación para posteriormente profundizar el sistema ERTMS.
- Se realizará un estudio de los conceptos y normas anteriormente descritos como base para la posterior realización del proyecto.
- Estudio del sistema de señalización aplicado a las zonas controladas por enclavamientos, así como de todos los elementos que lo integran para la posterior aplicación al diseño de la línea de Alta Velocidad.
- Estudio en profundidad del sistema ERTMS, tanto equipamiento como funcionalidad y niveles de aplicación para su posterior aplicación en el diseño de la línea de Alta Velocidad.
- Especificación de los requisitos en el diseño de la línea de Alta Velocidad.
- Diseño del equipamiento e instalación para los sistemas de señalización y ERTMS Nivel 2 y una posible solución de Nivel 3 de una línea con características de vía única circulando trenes de Alta Velocidad.
- Se estudiarán en profundidad los equipos eléctricos que definen la línea, principalmente la señalización de la misma.
- Análisis de la capacidad de transporte máxima de la línea de alta velocidad diseñada, así

como propuestas de mejora de la misma.

- Comparativa en costes del equipamiento de la línea de alta velocidad equipada con el sistema ERTMS Nivel 2 y Nivel 3.

1.4 Metodología del trabajo.

Este proyecto se basa en el estudio y diseño de los sistemas de señalización de una línea de Alta velocidad, por lo que previamente se han adquirido los conocimientos básicos relativos al campo de los sistemas de control y señalización y progresivamente se han ido implantando en el diseño de la vía.

La consecución de los objetivos del proyecto se ha realizado de la siguiente manera.

En un primer momento se adquieren los conocimientos necesarios para la posible realización del diseño de la línea de alta velocidad. A continuación se aplican estos conocimientos en el diseño de la línea y por último se proponen posibles mejoras.

La realización de este proyecto viene acompañada de la especificación de requisitos en el diseño de la línea. Éstos se fijan antes de la puesta en marcha del diseño para su posterior comprobación.

Así, se comprobará la coincidencia entre requisitos y diseño para la correcta realización del proyecto en cuanto al diseño del equipamiento de la línea.

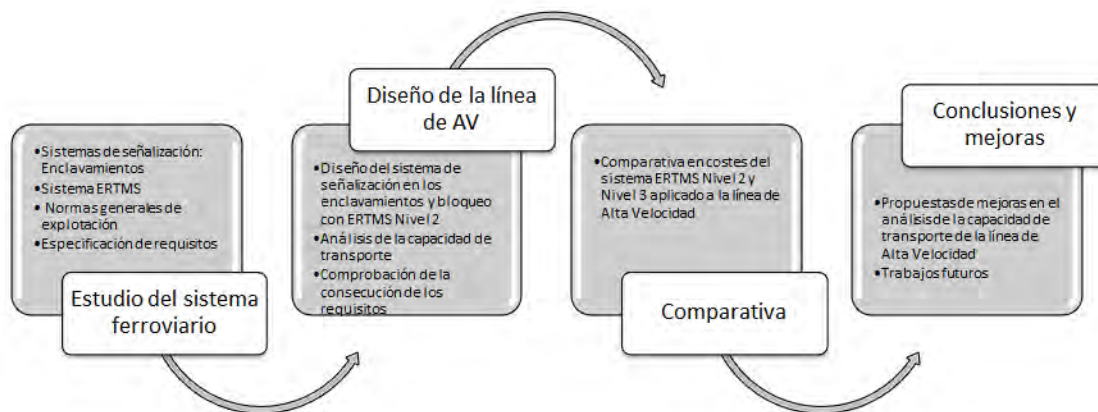


Figura 8. Metodología de trabajo

Por otro lado, se realizó la visita al enclavamiento que controla la estación de Segovia en la línea de Alta Velocidad Madrid-Segovia-Valladolid, gracias a los directores de este proyecto.

1.5 Organización del documento

El documento que recoge este proyecto de fin de grado se organiza de la siguiente manera:

- Parte I. Memoria
Este documento contiene la memoria del proyecto realizado, y se organiza según los siguientes capítulos:
 - Capítulo 1: Introducción
Recoge el estado de la cuestión, motivación, objetivos y metodología del proyecto.



- Capítulo 2: Sistema de señalización: Enclavamiento y bloqueo
Recoge la teoría del diseño de los sistemas de señalización de los enclavamientos y zonas controladas por el bloqueo de las líneas de Alta Velocidad.
- Capítulo 3: Sistema ERTMS-ETCS
Recoge los fundamentos, principios y niveles de funcionamientos del sistema ERTMS-ETCS.
- Capítulo 4: Requisitos funcionales
Incluye los requisitos del proyecto en cuestión.
- Capítulo 5: Capacidad de transporte
Recoge el estudio de la capacidad de transporte de la línea de Alta Velocidad diseñada en vía única.
- Capítulo 6: Diseño de la aplicación: Línea de Alta Velocidad en vía única
Incluye el diseño de los equipos del sistema de señalización de la línea de Alta Velocidad con configuración en vía única.
- Capítulo 7: Conclusiones
Recoge las conclusiones extraídas tras la realización del proyecto.
- Capítulo 8: Futuros desarrollos
Incluye propuestas para futuros desarrollos relacionados con el proyecto realizado.
- Bibliografía
- Parte II. Anexos
Este documento contiene los siguientes anexos del proyecto:
 - Estudio: Diseño del tipo de configuración de la línea
Contiene el estudio de la determinación del tipo de configuración en una línea de Alta Velocidad para minimizar costes de construcción.
 - Planos
Incluye los planos de los equipos del sistema de señalización diseñados para la línea de Alta Velocidad objeto del proyecto.



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA - ICAI

Grado en Ingeniería Electromecánica

Proyecto Fin de Grado.

Capítulo 1: Introducción

Capítulo 2 Sistema de señalización: Enclavamiento y bloqueo

Este capítulo tiene el propósito de analizar y especificar el funcionamiento y equipos necesarios en el sistema de señalización aplicado al diseño de las líneas de alta velocidad.

Su realización se basa en la necesidad de conocer y entender cada uno de los integrantes del sistema de señalización.

Por otro lado, este capítulo sirve de guía en el diseño de la línea de alta velocidad objeto de este proyecto.

2.1 Introducción

La configuración de una línea ferroviaria está determinada por dos zonas muy diferenciadas: el enclavamiento y el bloqueo. Estas áreas tienen distinta finalidad, funcionamiento y tipo de explotación con características propias.

[MONT11] Los equipos de señalización denominados enclavamientos operan en las zonas de estaciones de la línea, permitiendo el movimiento seguro y programado de los trenes de unas vías a otras según unos horarios determinados o movimientos específicos según la composición de trenes sobre la línea.

Por otro lado, los equipos de señalización denominados bloqueos permiten el movimiento seguro de trenes, de acuerdo a una frecuencia determinada, en las zonas comprendidas entre estaciones donde no existen desvíos. Sistemas como el ERTMS proporcionan el soporte necesario para facilitar y optimizar los movimientos de trenes en estas zonas.

En la Figura 9 se muestra un esquema de las dos zonas:

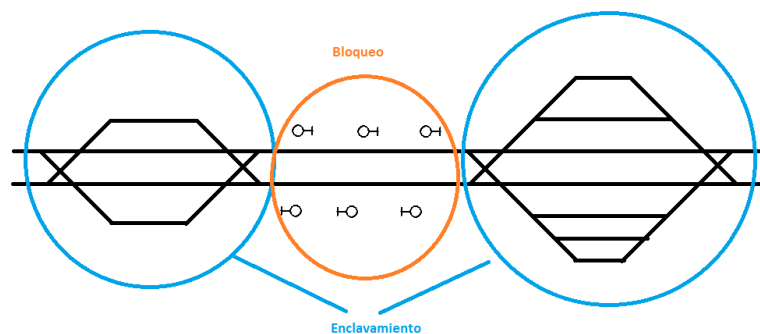


Figura 9. Configuración Bloqueo-Enclavamiento

La unión entre estas dos áreas debe estar coordinada de tal manera que el movimiento de los trenes no quede delimitado en el paso de una zona a otra y requiere de un estudio detallado.

2.2 Detección de trenes.

Los sistemas de control y señalización de los ferrocarriles requieren tener el conocimiento seguro de la posición de los trenes a lo largo de la línea por donde circulan.



El concepto “seguro” implica que si alguno de los equipos del sistema de detección de trenes falla, la condición resultado de este fallo debe ser la más restrictiva y considerar la sección de vía donde opera ese equipo ocupada. Las condiciones de diseño, fabricación y mantenimiento de estos equipos deben cumplir el nivel más exigente de seguridad, SIL 4.

SIL, Nivel de Integridad de Seguridad se define como un nivel relativo de reducción del riesgo que provee una función de seguridad y los equipos de detección de tren requieren el nivel más alto, 4.

Los sistemas de detección de trenes se pueden clasificar según exista o no contacto directo entre la rueda y el carril, y se muestra esa clasificación en la Figura 10.

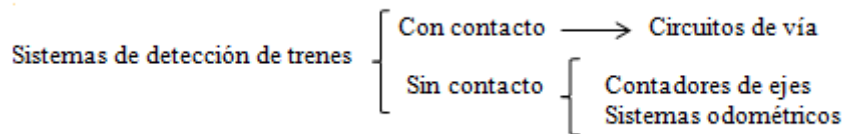


Figura 10. Clasificación de los sistemas de detección de trenes

Los primeros equipos de detección de trenes fueron los circuitos de vía, requiriendo del contacto directo rueda-carril. Con la incorporación de los nuevos sistemas de control y señalización como el ERTMS se integraron en las líneas equipos sin contacto como son los contadores de ejes y los sistemas odométricos.

Estos últimos detectan la presencia de los trenes con referencia a puntos fijos, balizas.

La posición y localización de los trenes requiere en el diseño evaluaciones periódicas plausibles y de consistencia para determinar con exactitud la posición de los vehículos así como la consideración de la magnitud del error en las medidas realizadas.

2.2.1 Circuitos de vía

Los circuitos de vía, CV, son los equipos instalados en la vía destinados a detectar la existencia de un tren en una sección.

Los carriles de la vía se comportan como un circuito eléctrico y el funcionamiento de los CV se basa en la inyección de una señal por parte de un generador en la vía y la recepción de la misma en un relé receptor.

Si existe presencia de un tren en alguna sección de la vía, éste cortocircuita el paso de la señal y el relé asociado a ese circuito de vía se desexcita, indicando la existencia de un tren en esa sección.

Los cuatro tipos de CV tienen el mismo funcionamiento, diferenciándose por el tipo de señal inyectada: CV de corriente continua, CV de 50 Hz, CV de audiofrecuencia y CV de impulsos.

Las secciones de la vía quedan delimitadas mediante juntas, que aíslan eléctricamente unas secciones de otras. Los circuitos de vía se delimitan con juntas aislantes, CV de corriente continua, de 50 Hz y de impulsos, o sin juntas aislantes, junta eléctrica resonante como son los CV de audiofrecuencia. Las secciones están formadas por carriles soldados, lo que proporciona mayor fiabilidad a los CV.

Los circuitos de vía pueden detectar la rotura de un carril. Esta localización depende del emplazamiento del circuito de vía. En trayectos no es complicado detectar la rotura de un carril pero, por otro lado, en estaciones no resulta sencillo debido a que las secciones en las estaciones

son de menor longitud.

Esta rotura no se produce de forma limpia, y junto con la puesta a tierra de los carriles la detección de rotura puede llegar a ser compleja.

Si el CV está constituido por juntas aislantes, éste tiene el requisito de detectar la junta aislante perforada, indicando ocupación de la sección.

Un problema asociado a los circuitos de vía es el retorno de la corriente de tracción del tren, ya que en líneas electrificadas ésta circula por los carriles hasta las subestaciones.

En vías con CV de corriente continua la corriente de tracción no puede retornar al estar instalados con juntas aislantes, por lo que se instala un carril para permitirlo. Esta solución puede dar lugar a interferencias y producir efectos en contra de la seguridad.

En vías no electrificadas o electrificadas en corriente alterna, se instalarán los CV de corriente continua, aunque en las instalaciones en c.a. es más habitual el uso de CV de audiofrecuencia.

2.2.1.1 Circuito de vía de corriente continua.

El esquema básico de funcionamiento de un circuito de vía de corriente continua libre, ya que la señal generada es recibida por el relé y éste permanece excitado, se puede observar en la Figura 11

El generador de la señal equivale a una batería de alimentación con una resistencia variable para el ajuste de la corriente y al final de la sección se sitúa el relé receptor:

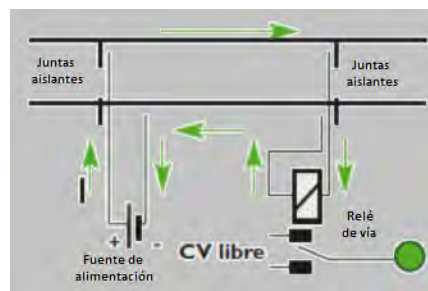


Figura 11. Funcionamiento CV libre [MONT11]

Por otro lado, la presencia de un tren a lo largo de la sección de la vía provoca el cortocircuito de la señal y la desexcitación del relé, indicando la ocupación de la sección, mostrado en la Figura 12:

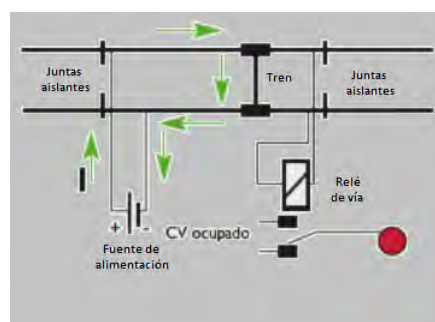


Figura 12. Funcionamiento CV ocupado [MONT11]

El funcionamiento de los CV depende de las características eléctricas del tren, tren *shunt*, las

condiciones de la vía y de los equipos propios del CV, generador y receptor de señal.

- **Parámetros del tren.**

Se designa tren shunt a la resistencia del tren cuando ocupa una sección de la vía. Esta resistencia está formada por una resistencia propiamente dicha, constituida por el conjunto rueda-eje del tren, y una resistencia de contacto con el carril, debida a la arena, óxido o grasa sobre los carriles.

Un tren shunt bajo permite CV más largos, necesitando menor número de CV a lo largo de la vía pero aumentando la probabilidad de ocurrencia de fallo en contra de la seguridad.

- **Parámetros de la vía.**

Las secciones de vía están formadas por una impedancia longitudinal y una conductancia transversal.

La impedancia longitudinal está constituida por un componente resistivo único que influye en los CV de corriente continua, y un componente inductivo, cuya influencia es mayor en los CV de corriente alterna. Esta impedancia longitudinal varía con la frecuencia, aumentando con ésta la resistencia a la vez que disminuye la inductancia.

La conductancia transversal se debe a las fugas de corriente entre los carriles y está formada por la conductancia entre los carriles de las vías y la capacitancia entre los carriles. La conductancia transversal depende de la geometría y mantenimiento de la vía, la frecuencia y las condiciones ambientales. Esto último influye en gran medida en el comportamiento de la vía.

En el caso de condiciones de vía seca, la conductancia transversal disminuye y el CV puede no ocuparse con el tren shunt nominal. Por otro lado, en condiciones de vía húmeda la conductancia tiene el comportamiento contrario, aumenta con esta condición y el CV necesita mejor tren shunt para caer.

El comportamiento de la conductancia transversal debido a la frecuencia provoca que cuando ésta aumenta, la conductancia entre carriles aumenta, al contrario que la capacidad entre carriles, que disminuye.

Debido a la atenuación que sufre la señal a lo largo de la vía, los CV de audiofrecuencia deben ser de menor longitud.

El modelo eléctrico simplificado del circuito de vía de corriente continua, donde sólo influyen las componentes resistivas de las impedancias, puede representarse según la Figura 13:

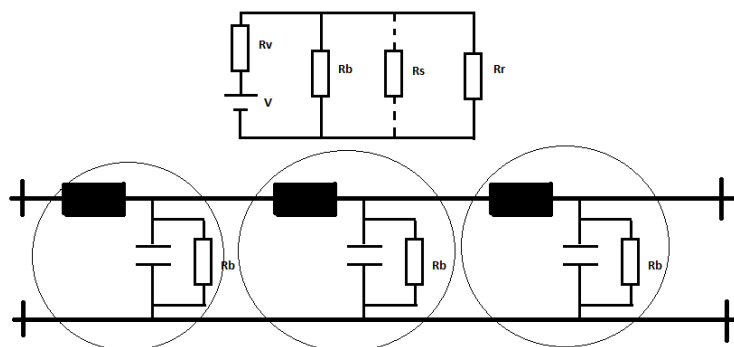


Figura 13. Esquema modelo eléctrico CV [MONT11]

Donde:



- V, fuente de alimentación
- Rv, resistencia variable + conexiones a los carriles
- Rb, 1/Gb, 1/Conductancia transversal
- Rs, tren shunt
- Rr, resistencia del relé de vía + conexiones a los carriles

2.2.1.2 *Circuito de vía de 50 Hz.*

Los circuitos de vía de 50 Hz surgen con la necesidad de solucionar el problema del retorno de la corriente de tracción en líneas electrificadas en corriente continua.

En función del tipo de retorno de la corriente, los CV de 50 Hz se clasifican en: circuitos de vía a dos carriles y circuitos de vía a un solo carril. Los CV bicarril son los más utilizados debido a su mejor comportamiento frente a las interferencias, mientras que las CV monocarril se utilizan con juntas aislantes.

Los circuitos de vía de 50 Hz bicarril utilizan para la separación de circuitos juntas aislantes y para permitir la circulación de la corriente de tracción de un circuito de vía al siguiente disponen de juntas inductivas. Estas juntas permiten obtener la diferencia de potencial necesaria para el accionamiento de los relés.

Las juntas inductivas están constituidas por dos bobinas enrolladas sobre el mismo núcleo magnético, por lo que siempre que las corrientes de retorno sean iguales, los flujos sobre el núcleo magnético se anulan. Por otro lado, actúan de filtros para todos los armónicos cuando se anulan los flujos.

Las juntas inductivas van acompañadas de un circuito resonante para permitir desequilibrios moderados, valor máximo de impedancia a 50 Hz y corriente mínima.

En los circuitos de vía de 50 Hz un componente fundamental es el receptor, que está constituido por un relé de disco. Este relé se basa en el funcionamiento de los motores bifásicos y consiste en la actuación de dos campos magnéticos desfasados 90° sobre las corrientes inducidas en un disco.

2.2.1.3 *Circuito de vía de audiofrecuencia.*

Los circuitos de vía de audiofrecuencia se aplican en zonas no electrificadas o electrificadas en c.c. o c.a., siendo más habitual su instalación en zonas electrificadas en 25 KV, 50 Hz debido a los sistemas sofisticados de tracción de los trenes que incorporan inversores de tensión y frecuencia variables.

Los CV de audiofrecuencia se caracterizan por el uso de señales con frecuencias comprendidas entre 2 KHz y 12 KHz. Los CV de audio actuales incorporan un número de identificación para cada circuito de vía aumentando así la seguridad en el funcionamiento.

Este tipo de CV sustituyen las juntas aislantes por juntas de separación eléctrica por lo que se reduce la necesidad de mantenimiento de las vías y mejoran el comportamiento y retorno de la corriente de tracción de los trenes.

La separación de los CV se realiza electrónicamente creando zonas de sintonía utilizando condensadores acoplados a la inductancia propia de los carriles para crear zonas de resonancia a la frecuencia portadora del circuito. Esta peculiaridad requiere de la existencia de diferentes frecuencias portadoras entre circuitos contiguos, no siendo posible tampoco el uso de la frecuencia consecutiva.



Las zonas de terminación que separan circuitos de vía contiguos se realizan mediante distintas técnicas, cada una de ellas con características diferentes principalmente debidas al tren shunt en esa zona de sintonía:

- Lazos de cortocircuito + Unidades de sintonía, con longitud máxima entre 100 y 400 metros y longitud mínima de 40 a 100 metros. Este tipo de lazos se instalan en desvíos.
- Unidades de sintonía complementarias, con longitudes comprendidas entre 700 a 1.000 metros para CV de alimentación lateral y entre 1.400 y 2.000 metros para alimentación central.
- Lazo en “S” + Unidades de sintonía.
- Lazo en “Z” + Unidades de sintonía.

Estas dos últimas técnicas solapan la zona de terminación de circuitos contiguos y su longitud es menor que la de las otras técnicas.

Su diseño siempre es con requerimiento de SIL 4. El transmisor nunca puede generar señales de igual frecuencia para circuitos colaterales y el receptor debe garantizar el correcto análisis de la señal.

2.2.1.4 Circuitos de vía de impulsos.

Los circuitos de vía de impulsos se utilizan en vías en las que el contacto rueda-carril no es bueno, principalmente en vías secundarias susceptibles de la formación de óxido. Éstos pueden instalarse en vías no electrificadas y electrificadas, siendo necesario en las segundas el uso de juntas inductivas. Los CV de impulsos necesitan la instalación de juntas aislantes por lo que no es recomendable su uso en líneas de alta velocidad.

El funcionamiento de los CV de impulsos se basa en pulsos de corta duración, 10 milisegundos, formados por una onda positiva con un valor máximo de 80 voltios seguida de otra negativa de pocos voltios y balance energético nulo en cada uno de ellos. La tensión positiva provoca la rotura de las capas de óxido en el carril, favoreciendo la detección del tren.

2.2.2 Contadores de ejes.

Los contadores de ejes son los dispositivos que determinan la presencia o no de un tren en un tramo de la vía funcionando sin contacto rueda-carril.

Su funcionamiento se basa en contar los ejes que entran y salen de los trenes que circulan por la sección de la vía y determinar si la sección está ocupada o no.

Al contrario que los CV, las condiciones y características de la vía no influyen en el comportamiento de los contadores de ejes. Debido a esta peculiaridad, estos dispositivos pueden abarcar secciones más largas que los CV.

Los contadores de ejes están formados por sensores instalados en la propia vía detectando la presencia de una rueda. Estos sensores se instalan al principio y final de la sección a controlar y están formados por dos cabezas detectoras. A su vez, estas cabezas detectoras contienen una o dos cabezas transmisoras y dos cabezas receptoras. Su funcionamiento se basa en la supervisión continua del acoplamiento magnético entre la cabeza transmisora y la receptora. El paso de una rueda del tren deforma el campo magnético existente entre ambas cabezas.

Con las cabezas receptoras se determina el sentido de marcha del tren: si el eje “entra”, se incrementa una cuenta, mientras que si el eje “sale”, se decrementa una cuenta.



La sección de la vía se considera ocupada cuando el resultado de la cuenta es distinto de cero.

El fallo en la detección de un tren supone un fallo en la fiabilidad del sistema ya que, aunque no vaya en contra de la seguridad, conduce al sistema a una situación operacional extraordinaria. A su vez, estos equipos deben tener una alta robustez frente a interferencias eléctricas debidas a la circulación de corrientes de tracción y corrientes de Foucault.

Ante fallo el sistema informa de vía ocupada, siendo necesaria una orden de normalización por parte del maquinista o supervisor mediante reconocimiento visual, informando y garantizando la sección libre para poder cambiar la vía a libre.

Contando con condiciones de seguridad SIL 4 para todos los sistemas, los contadores de ejes deben proporcionar la capacidad de contar más de 500 ejes moviéndose a una velocidad de 300 km/h.

El sistema de contadores de ejes está constituido por los siguientes elementos:

- Unidad de vía, encargada de convertir la variación de flujo en impulsos digitales, contar el número de veces que se produce pérdida de acoplamiento, supervisar continuamente el equipo, realizar el interface con el equipo de transmisión y recoger toda la información necesaria de mantenimiento.
- Equipo de transmisión, cuya función es transmitir la información al evaluador, y en el caso particular de fallo de comunicación transmitir sección ocupada. La transmisión entre unidades de vía y evaluador debe permitir un alcance mínimo de 3 kilómetros.
- Evaluador, encargado de determinar el estado de la sección de la vía, recibir la orden de normalización, comunicarse con el enclavamiento, interface con el sistema de transmisión y recoger toda la información de mantenimiento.

2.3 Aparatos de vía.

Los aparatos de vía son los equipos que permiten la continuidad de la vía para una ruta establecida. Sus accionamientos son de vital importancia para la seguridad en la circulación de los vehículos a lo largo de la línea.

Las operaciones de mover, cambiar o cruzar los trenes por las vías para poder seguir la ruta establecida la realizan los aparatos de vía.

Estos dispositivos son los desvíos y las travesías y deben responder a las exigencias de explotación de la línea donde estén instalados.

Por otro lado, los accionamientos permiten los movimientos de los aparatos de vía para lograr su finalidad.

La autorización de un movimiento sobre un desvío debe estar precedida de la comprobación, enclavamiento y encerrojo de la aguja que lo forma.

2.3.1 Desvíos.

Los aparatos de vía destinados a posibilitar el movimiento de una vía a otra se denominan desvíos.

La posición normal, +, de un desvío corresponde con la dirección recta, mientras que la posición



invertida, -, permite el movimiento en la dirección desviada.

Los desvíos se dividen en:

- Cambios, donde se guía al vehículo a la dirección objetivo y está compuesto por las agujas o espadines, los cojines de cambio, las contraagujas y el talón.
- Carriles de unión, donde se unen entre sí un cambio con un cruzamiento o dos cruzamientos.
- Cruzamiento, donde se permite la intersección de los carriles que ofrecen la superficie de rodadura en el mismo plano para que la pestaña de la rueda pueda circular. Las partes más importantes de los cruzamientos son el corazón, la laguna, el contracarril y las patas de liebre.

Según su forma los desvíos se clasifican de la siguiente manera en ordinario, simétrico, divergente o convergente y todos ellos se pueden instalar en estaciones.

El parámetro fundamental de los desvíos es el radio mínimo de la vía desviada o radio de desvío R , para admitir el paso de los vehículos sobre el desvío. En las líneas de alta velocidad para velocidades de hasta 220 km/h el radio de desvío debe ser al menos de 6000 metros.

Por otro lado, desde el punto de vista del confort y para disminuir esfuerzos dinámicos sobre el carril, se limita la aceleración transversal a 0.65 m/s^2 . Esta aceleración surge del paso de los vehículos sobre la vía desviada.

Los escapes son la unión de dos desvíos simples, utilizados principalmente en vías que se disponen paralelamente. Los escapes normales permiten el paso de una vía a otra en el sentido de la marcha, mientras que los escapes cruzados se utilizan para el paso de una vía a otra en los dos sentidos por cada una de ellas.

2.3.2 Accionamientos.

Los accionamientos constituyen una parte esencial en los desvíos ya que provocan el movimiento de los mismos a la posición requerida para la ruta establecida.

Los accionamientos pueden ser eléctricos, hidráulicos o electro hidráulicos y están constituidos por:

- Motor, que aporta la potencia necesaria para mover los espadines.
- Embrague, para limitar el esfuerzo a transmitir.
- Sistema de engranajes, coronas y tornillos sin fin, para convertir el giro del motor en movimiento longitudinal de los espadines.
- Combinador o conjunto de contactos eléctricos.
- Manivela de actuación manual, para el caso en el se quedase sin alimentación el accionamiento.
- Barras de tracción y tirantería de comprobación y encerrojamiento mecánico para la operación del cambio.

Los requisitos que se deben seguir para poder mandar el accionamiento de un desvío son:



- No se podrá accionar un desvío cuando esté circulando o estacionado un tren por él. Esta condición se denomina efecto pedal.
- El desvío debe poder ser mandado por rutas definidas sobre él.
- El accionamiento de un desvío debe poderse mandar siempre que no se haya enclavado antes.
- Un desvío no podrá accionarse de forma involuntaria cuando exista pérdida de energía en el enclavamiento que lo controla.
- Si el accionamiento no llega a terminar su carrera debido a un obstáculo, el accionamiento no sufrirá ningún daño.
- Si el desvío no ha alcanzado la posición final, deberá ser posible mandarlo a su posición inicial.
- La actuación manual del accionamiento impedirá cualquier otra acción remota.

Por otro lado, debe comprobarse la posición del espadín acoplado. Se comprueba su posición en el momento en el que esté en la posición con una tolerancia especificada, 2.5 mm, mientras que la pérdida de comprobación de posición se da en el instante en el que el espadín acoplado presente una separación superior a la especificada, 5mm.

El mando debe coincidir con la comprobación en esa posición para poder enclavar el desvío.

2.3.3 Travesías.

Las travesías, son los aparatos de vía que permiten el paso de una vía a través de otra cuyos ejes se cruzan, sin que el vehículo cambie su dirección.

Las travesías se utilizan principalmente en las estaciones y pueden clasificarse en: travesías rectangulares, sin accionamientos ya que son cruzamientos puros de dos vías, o en travesías oblicuas, con finalidad de desvío/s con accionamientos.

Las travesías oblicuas de unión sencilla permiten circular únicamente en dos direcciones, mientras que las travesías oblicuas de unión doble admiten la circulación en cuatro direcciones

2.4 Señales en vía.

Las señales en vía forman parte de la señalización lateral de las líneas de ferrocarriles. Éstas proporcionan al maquinista de forma visual las autorizaciones de movimiento enclavadas, por lo que su importancia en la seguridad del ferrocarril es fundamental.

2.4.1 Tipos de señales

Las señales instaladas en las vías han ido evolucionando según la tecnología disponible del momento, desde las señales mecánicas accionadas por levas y palancas mecánicas hasta las señales de diodos LEDs que se utilizan en las nuevas instalaciones.

- Señales mecánicas.
Las primeras señales utilizadas en el ferrocarril eran básicamente banderas de color rojo, señal de parada, y de color verde, vía libre.
Otra de las señales que primero surgieron fueron las señales de bola, de características



“Fail Safe”, donde si la bola se caía el maquinista no la visualizaba y debía parar.

Las señales de panel permitían la circulación si éste no era visible, incorporando lámparas de aceite para su visibilidad por la noche. Estas señales son operadas por el agente de señales o factor a pie de vía.

Las señales mecánicas más típicas son las señales semafóricas, constituidas por un brazo que, extendido horizontalmente ordena parada, en posición vertical indica vía libre e inclinado 45° avisa marcha con precaución.

- Señales luminosas.

Con la irrupción de la corriente eléctrica y la invención de los circuitos de vía, se pasa de las señales semafóricas a las señales únicamente luminosas.

Se adoptó el color rojo para parada, verde para vía libre y amarillo para precaución.

Las señales altas de tres focos tipo RENFE incorporan un cuarto foco, piloto blanco, para que al lucir con el rojo se solicite una marcha con limitaciones y precaución.

RENFE (Adif), especifica una distancia de visibilidad con carácter general de 1000 metros para el aspecto verde y para las señales avanzadas en trayecto, una distancia de visibilidad en condiciones atmosféricas normales de 500 metros y de 300 metros para las señales de entrada.

- Señales de diodos LEDs.

El uso de los diodos LEDs en la señalización lateral incluye nuevas ventajas pero a la vez incorpora inconvenientes que deben tenerse muy en cuenta.

Por un lado, este tipo de señalización proporciona alta fiabilidad, larga vida útil y bajo mantenimiento, pero por otro aumenta la complejidad para verificar la pérdida de luminosidad. Admitiendo los valores de las señales luminosas, es necesario definir cuando una señal de diodos leds se puede considerar que está fundida.

En las líneas modernas de AV se están instalando este tipo de señales y son las elegidas en la realización de este proyecto.



Figura 14. Señal tipo LED

2.4.2 Posición de señales en estación

La entrada en las estaciones se protege mediante la señal de entrada con tres aspectos: rojo, amarillo y verde.

Para mejorar la visibilidad del maquinista, a esta señal le precede la señal avanzada únicamente



con dos aspectos: verde para señal de entrada verde o amarillo, y amarillo para señal de entrada roja. Esta señal debe situarse a una distancia tal que permita el frenado del tren y viene dada por la siguiente ecuación:

$$D_f = \frac{V_o^2 - V_f^2}{2d}$$

Donde,

d: deceleración

V_o : velocidad en el momento de aplicar el freno

V_f : velocidad en el momento de liberar el freno

La señal de salida permite la circulación de los vehículos al trayecto, bloqueo, entre estaciones.

2.4.3 Posición de señales en el bloqueo.

La distancia entre las señales en el bloqueo en líneas con señalización vertical es de 1.500 metros.

En España, para líneas de velocidad alta, 220 km/h, las señales disponen de cuatro aspectos: rojo, amarillo, verde y verde destellante. Este nuevo aspecto comunica al maquinista que puede circular a 220 km/h y que la siguiente señal se encuentra en amarillo y puede pasarla a una velocidad máxima de 160km/h.

2.4.4 Señales en ADIF. Reglamento General de Circulación.

En este epígrafe se incluyen algunos de los aspectos que figuran en el Reglamento General de Circulación.

- Verde: vía libre. Ordena al maquinista circular normalmente si nada se opone.
- Verde intermitente: vía libre condicional. Ordena al maquinista a no exceder de 160 km/h al pasar la siguiente señal.
- Verde + amarillos: Anuncio precaución. Ordena al maquinista a no exceder de 30 km/h al pasar por el siguiente desvío o señal.
- Amarillo fijo: anuncio de parada. Ordena al maquinista ponerse en condiciones de parar ante la siguiente señal.
- Amarillo intermitente: anuncio de parada inmediata. Ordena al maquinista ponerse en condiciones de parar ante la señal siguiente, situada a corta distancia.
- Rojo: parada. Ordena al maquinista a parar ante la señal sin rebasarla.
- Rojo con letra P: Parada permisiva. Ordena al maquinista parar ante la señal sin rebasarla, pudiendo reanudar la marcha circulando en régimen de marcha a la vista.

2.5 Relés de seguridad.

Un relé está formado principalmente por un electroimán que, al circular por él una corriente, se excita y cierra unos contactos. De la misma manera, los contactos pueden estar en primer lugar cerrados.

Los relés utilizados en la señalización de los ferrocarriles son dispositivos muy específicos cuyo

diseño cumple en condiciones determinadas de funcionamiento y fallo con características “*Fail Safe*”. *Fail Safe* se utiliza en la terminología ferroviaria indicando que un equipo sólo puede fallar hacia una condición al menos tan segura como la situación en la que se encontraba. Estos relés son parte vital del funcionamiento de los enclavamientos eléctricos.

Los relés de seguridad se clasifican en relés no controlados o tipo Q, tecnología anglosajona, y en relés controlados o tipo C, tecnología alemana.

Los relés tipo Q cumplen con su funcionamiento sin el auxilio de otros relés. En ausencia de corriente deben abrirse los contactos cuando en estado cerrado están atraídos.

Los relés tipo C necesitan apoyo y control para ser utilizados en instalaciones de señalización.

2.6 Enclavamiento.

El concepto de enclavamiento surge con el ferrocarril siendo parte esencial del funcionamiento del mismo. Los equipos que controlan la composición y movimiento de los trenes en las zonas de estaciones se denominan enclavamientos.

Los primeros equipos o enclavamientos surgen para evitar la posibilidad de accidentes debidos a circulaciones de trenes sobre desvíos no situados en la posición adecuada; relacionando la posición de la aguja del desvío con el aspecto de señal adecuado.

Los cuatro posibles movimientos sobre un desvío, correspondientes a las autorizaciones de las rutas, se muestran en la Figura 15, así como la relación aguja-aspecto de señal.

La posición invertida indica el paso sobre la vía desviada del desvío, mientras que la posición normal muestra el paso sobre la vía directa del desvío.

Cada movimiento es autorizado por una señal, señal en verde, ya sea de salida o de entrada al desvío, mientras que el resto de señales prohíben el movimiento en la zona controlada por el desvío, señal en rojo.

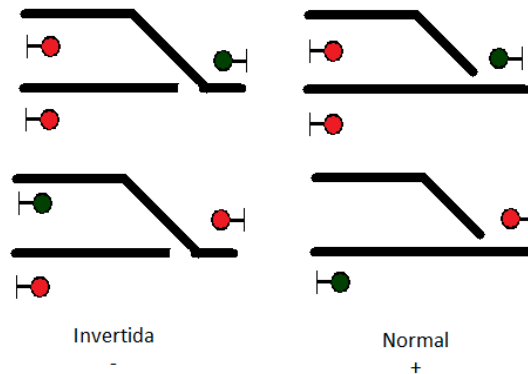


Figura 15. Movimientos posibles dentro de desvío

En los primeros enclavamientos mecánicos se relacionaban mecánicamente las palancas para la actuación de señales y cambios a través de barras, es decir, quedaban elementos enclavados a otros.

2.6.1 Principios de funcionamiento.

El principal objetivo del enclavamiento es garantizar la seguridad de los movimientos de los trenes a lo largo de la zona de influencia, por lo que se establecen unos principios generales para



todo enclavamiento; ya sea mecánico, eléctrico o electrónico. Estos principios siguen una serie de criterios que definen la relación entre los aparatos de vía y el aspecto de las señales y se citan a continuación:

- La apertura de una señal para permitir el paso de un tren sólo se podrá efectuar después de la correcta colocación de todos los aparatos de vía en los que influya la señal.
- No se podrá modificar la posición de ningún aparato de vía si una señal está en posición abierta e influyendo en los mismos, ya que implicaría que está ya enclavada para el paso de un tren.
- Una vez autorizado un movimiento no se podrá abrir ninguna señal que permita un movimiento incompatible con el anterior.

El diseño de un enclavamiento requiere del seguimiento de una serie de pasos o requisitos. En primer lugar, se debe definir la zona de actuación del enclavamiento: fijar sobre el plano de vías el área de responsabilidad del enclavamiento. Seguidamente, es necesario establecer el cuadro de movimientos a implantar incluyendo el principio y final de movimiento. Por último, es imprescindible analizar las incompatibilidades entre las rutas que puedan suponer un riesgo en contra de la seguridad.

Por lo tanto, el diseño de un enclavamiento obliga a la realización de un estudio de seguridad enfocado desde dos puntos de vista: un análisis funcional de seguridad incluyendo movimientos e incompatibilidades de las rutas establecidas y un análisis técnico de seguridad con el diseño e implantación del equipo hardware y software.

2.6.2 Proyecto funcional.

El proyecto funcional de un enclavamiento establece la base para el correcto funcionamiento del mismo. El análisis del proyecto funcional sigue la siguiente estructura, con el objetivo de proporcionar la seguridad necesaria en el funcionamiento del enclavamiento:

- Planos de vía y aparatos.
- Rutas o itinerarios.
- Deslizamiento.
- Protección de flacos.
- Cuadro de movimientos e incompatibilidades.

2.6.2.1 Planos de vías y aparatos.

Constituye el primer documento a definir en el diseño de un enclavamiento y debe incluir la zona de influencia del enclavamiento así como la posición de las señales a lo largo del mismo.

La zona de influencia y control está determinada por las señales de entrada y el final de las rutas de salida o primera señal de bloqueo.

La zona de entrada del enclavamiento está definida por las señales de entrada con sus avanzadas y la distancia para líneas de alta velocidad se ha fijado en 2.000 metros. La posición de la señal de entrada con respecto a las agujas de entrada está delimitada en los ferrocarriles europeos entre 200 y 50 metros debido a la posibilidad de que se produzca deslizamiento, u overlap.

Al igual que la posición de las señales de entrada, la disposición de las señales de salida incluye la posibilidad de overlap.



2.6.2.2 *Rutas o itinerarios.*

El itinerario de un tren es la ruta o recorrido que recorre al entrar, salir o circular por una estación o bifurcación hasta la siguiente señal. Estos itinerarios se pueden clasificar de la siguiente manera:

- a) Itinerario de entrada, recorrido desde la señal de entrada hasta el estacionamiento en una vía, limitado por la señal de salida.
- b) Itinerario de salida, ruta desde la señal de salida hasta la señal de entrada en el bloqueo.
- c) Itinerario de paso directo, circulación desde una señal de entrada hasta la señal de salida de la estación o bifurcación.

Una clasificación alternativa es itinerarios de tren o itinerarios de maniobra.

Los primeros corresponden con las circulaciones reguladas por horario entre estaciones, mientras que los segundos son los seleccionados para la ejecución de formación de trenes o movimiento de material en la estación.

Por su extensión, los itinerarios se organizan en rutas simples, agrupando las zonas desde la señal que permite el movimiento hasta la primera señal en sentido de marcha, y en rutas compuestas, sucesión de rutas simples.

La ruta asegurada engloba la ruta desde la señal que autoriza el movimiento hasta la señal que lo limita por delante, en la que todos sus elementos han sido correctamente enclavados.

Las condiciones necesarias para el establecimiento de un itinerario son:

- Que no exista otro itinerario establecido que afecte al que se va a fijar.
- Que no esté ocupado el circuito por ningún tren.
- Que las agujas, travesías, calces o pasos a nivel estén debidamente dispuestos para la circulación del vehículo.
- Y por último, que la señalización autorice los movimientos necesarios para el seguimiento del itinerario.

En el caso particular que se establezca un itinerario de salida, el bloqueo de la vía debe estar correctamente fijado.

2.6.2.3 *Deslizamiento.*

Cabe destacar que al analizar los itinerarios en cualquier enclavamiento hay que tener en cuenta la posibilidad de que un tren rebase una señal indebidamente mientras otro vehículo está circulando por la estación. A este hecho se le denomina deslizamiento, *overlap*, y la compatibilidad o no de dos itinerarios también es función de esta posibilidad. Normalmente, se suele poner como afectado por deslizamiento el circuito de vía siguiente al punto donde termina el itinerario.

La ruta que seguiría un tren al rebasar indebidamente una señal límite se denomina ruta de deslizamiento, diferenciándose entre ruta libre, si las agujas pueden encontrarse en cualquier posición, o ruta orientada, si la dirección es única.

La distancia asociada al deslizamiento es complicada de cuantificar debido a que su comienzo



es completamente aleatorio, definidas desde 200 a 0 metros. Esta distancia debe incluirse en la lógica de funcionamiento del enclavamiento.

2.6.2.4 Protección de flancos.

La seguridad en la circulación de los trenes a lo largo de los enclavamientos también es función del establecimiento de otras rutas. Esto es, el movimiento de un tren en una estación puede influir sobre un itinerario ya enclavado. La protección de flancos se basa en la orientación de los elementos de la vía de rutas que puedan incidir sobre la ruta establecida a una posición tal que no interfiera en la misma.

2.6.2.5 Cuadro de movimientos e incompatibilidades.

El cuadro de movimientos de un enclavamiento recoge todos los posibles itinerarios a lo largo del mismo.

Suele incluirse el estado de las señales de inicio y final del itinerario así como la posición de los aparatos de vía y la ocupación o no de los circuitos de vía del enclavamiento en la ruta seleccionada.

En el diseño de un enclavamiento se debe asegurar la seguridad del movimiento de los trenes a lo largo del mismo sin que se aproximen más de lo necesario ni se crucen. Por ello, se establecen los cuadros de incompatibilidades donde se reflejan los distintos itinerarios y sus incompatibilidades entre ellos.

2.7 Bloqueo.

Dentro de la configuración de una línea de ferrocarril, existen tramos que permiten el movimiento entre estaciones de forma segura. Los equipos de señalización, elementos y procedimientos destinados a estas zonas se denominan equipos de bloqueo, y su objetivo principal reside en optimizar y facilitar el movimiento seguro de los trenes a lo largo de las vías. Estos equipos presentan la doble función de proteger y permitir el movimiento de los trenes cumpliendo con las necesidades de transporte, en número de trenes por hora. Una vez garantizada la seguridad de la línea, la capacidad de transporte medida en número de trenes por hora determina el tipo de diseño de la línea.

2.7.1 Tipos de bloqueo.

Los distintos tipos de bloqueo se clasifican en: manuales o automáticos.

- Los bloqueos manuales otorgan la responsabilidad del funcionamiento correcto al maquinista.
- Los bloqueos automáticos ceden la responsabilidad del correcto funcionamiento a los equipos de bloqueo. Estos equipos permiten realizar una serie de funciones que proporcionan seguridad añadida, como es la maniobra por la banda de una estación con la llegada de otro tren por esa banda procedente de la estación colateral. La realización de maniobras lleva implícito que un tren pueda rebasar el punto límite de la maniobra, lo que se conoce como escape de material.



La aplicación de ambos bloqueos no es excluyente. Si se diera el caso de fallo del bloqueo automático, el bloqueo manual debería respaldarlo.

A continuación se explican los distintos tipos de bloqueos utilizados en el ferrocarril: Bloqueo telefónico, Bloqueo eléctrico-manual, Bloqueo automático en vía única, bloqueo automático en vía doble y Bloqueo automático en vía doble banalizada.

2.7.1.1 *Bloqueo telefónico.*

El bloqueo telefónico constituye el último recurso de aplicación debido a su sencillez en funcionamiento, basado en el seguimiento estricto de los procedimientos establecidos.

La secuencia que se debe realizar en el bloqueo telefónico es la siguiente:

- El jefe de la estación pide autorización para enviar un tren al jefe de la estación receptora.
- El jefe de la estación receptora debe conceder la autorización una vez esté el bloqueo libre y preparada la entrada a la estación, dando orden de marcha.
- El jefe de la estación receptora verifica la integridad del tren y deja el bloqueo libre. La verificación de la llegada del tren completo es un requerimiento muy importante ya que no existe en este tipo de bloqueo sistemas de detección de tren.

2.7.1.2 *Bloqueo eléctrico-manual, BEM.*

Este tipo de bloqueo surge como evolución del bloqueo telefónico, incorporando las funciones de petición y concesión de vía a los equipos de seguridad automáticamente.

Debido a la no aplicación de sistemas de detección de tren, los jefes de estación deben verificar la integridad de los vehículos a las llegadas de las estaciones.

2.7.1.3 *Bloqueo automático en vía única, BAU.*

Este tipo de bloqueo se diferencia con los dos anteriores en que incorpora equipos de detección de trenes, como son los circuitos de vía o los contadores de ejes. Así, no son necesarios los jefes de estaciones y el control y operación de las líneas es llevado a cabo por los Centros de Control de Tráfico, CTC.

El bloqueo automático en vía única requiere partir de una situación de desbloqueo, ya que existe una relación de dependencia total entre las dos estaciones colaterales por tenerse que circular en ambos sentidos.

El establecimiento del bloqueo en una dirección obliga a enclavar la posible salida de otro tren desde la estación colateral y prohíbe establecerse bloqueo en sentido contrario.

2.7.1.4 *Bloqueo automático en vía doble, BAD.*

Este tipo de bloqueo añade una vía al bloqueo anterior para aumentar la capacidad de transporte. Las señales instaladas corresponden con las de tres o cuatro aspectos, funcionando en régimen de sucesión automática del tren, cerrándolas a su paso y se abren en función de los cantones que deja libres.



2.7.1.5 Bloqueo automático en vía doble banalizada, BAB.

El bloqueo automático en vía doble banalizada aumenta la flexibilidad del bloqueo BAD al permitir la circulación en ambos sentidos por ambas vías.

Este bloqueo no aumenta la capacidad de transporte en condiciones normales comparado con el bloqueo anterior, pero sí proporciona mayor capacidad cuando se dan condiciones degradadas.

Cada vía se equipa con dispositivos funcionando en ambos sentidos y tiene los mismos requisitos de funcionamiento que los BAU.

2.7.2 Bloqueo en las líneas de alta velocidad en España.

Las líneas de alta velocidad discurren por trayectos entre grandes poblaciones y se les solicita una gran capacidad de transporte, debida a la demanda de viajeros y al alto coste de construcción y equipamiento.

La alta velocidad dificulta la visualización por parte del maquinista de la señalización lateral por lo que son necesarios equipos que proporcionen esa información de forma fiable. Es por esto que la información del bloqueo en la vía pasa a la cabina.

Las líneas de alta velocidad españolas, AVE, equipadas con sistema ERTMS tienen definidos los intervalos mínimos para el sistema de señalización en el bloqueo.

- Nivel 2: 2.5 minutos. La sucesión de trenes está determinada por la distancia de frenado de un tren al cv ocupado por el tren que le precede.
- Nivel 1: 5.5 minutos. La distancia en un cantón de bloqueo en este nivel corresponde, aproximadamente, con 13 kilómetros.

La señalización convencional y la señalización del sistema ERTMS están relacionadas según una serie de aspectos de las señales para permitir la circulación de trenes equipados con ERTMS y se deba efectuar parada/anuncio de parada en el sistema convencional. Estos aspectos son:

- Azul fijo + Rojo: autorización de movimiento para trenes Nivel 2.
- Azul destellante + Rojo: autorización de movimiento para trenes Nivel 1/2.
- Verde: autorización de movimiento para trenes ASFA/Nivel 1/ Nivel 2.

2.7.3 Gráfico de marchas.

El gráfico de marchas es la representación del movimiento del tren en el tiempo en función del espacio recorrido, mostrando su posición en la línea en cada momento.

Esta herramienta se utiliza para el estudio del movimiento de los trenes a lo largo de una vía así como la influencia de la posición de las señales en el tráfico de la misma.

2.7.3.1 Intervalo entre trenes.

Este tipo de gráfico es una simplificación del gráfico de marchas y se utiliza en la planificación del transporte para un periodo de tiempo, considerando la velocidad del tren constante.

Se define como margen de reserva el máximo tiempo que podría reducirse el intervalo entre dos



trenes.

El intervalo de un tren es la secuencia de paso por tres aspectos de señal, verde-amarillo-rojo y está constituido por los siguientes tiempos:

- Tiempo de liberación del circuito de vía.
- Tiempo marcado por la longitud del tren para liberar el cv último.
- Tiempo de liberación de cantón.
- Tiempo de liberación de cantón de aproximación.
- Tiempo de reacción del maquinista.
- Tiempo del cambio de señal.

2.7.3.2 Mallas.

Los gráficos de mallas representan el movimiento real del tren a lo largo de su circulación por la vía. Se destinan tanto al estudio previo de la circulación de los trenes, como al análisis del comportamiento de los trenes y los posibles conflictos.

2.7.4 Capacidad de transporte.

La capacidad de transporte se define como el número de trenes por hora circulando a la máxima velocidad que permite la línea por sus características constructivas sin que se vean afectados por las condiciones de limitación de velocidad impuestas por el funcionamiento de la señalización.

El coste de una instalación de bloqueo que permite una mayor capacidad de transporte es más elevado que otra que permita una menor capacidad, por lo que la solución óptima de diseño no reside únicamente en la máxima capacidad de transporte, sino también en las necesidades reales de transporte de la línea a proyectar.

Dos factores que determinan la capacidad de transporte de una línea, así como la posición de las señales en el bloqueo, son el proceso de conducción y el proceso de frenado del tren.

- Proceso de conducción.
Ante una señal amarilla de anuncio de parada, el maquinista aplica el freno del vehículo antes de llegar a la señal, por lo que el conductor no sólo dispone de la distancia entre señales para frenar, sino también de la distancia desde la propia señal hasta el punto donde el maquinista es capaz de visualizarla. Esta distancia se denomina distancia de visibilidad y comienza cuando el maquinista procesa la información de la señal y, según sea el estado de la señal, aplica o no el freno.
Por esta misma razón y para dotar a los equipos de protección de visión electrónica, las balizas previas se disponen a una distancia de 300 metros en horizontal de la señal.
- Proceso de frenado.
La capacidad de freno utilizada en la conducción determina la posición de la señalización a lo largo del bloqueo.
Los frenos equipados son el freno de emergencia, FE, y el freno de servicio, FS. El primero tiene un valor de 1.1 o 1.2 m/s² y características de seguridad Fail-Safe, SIL 4, mientras que el segundo puede variar desde 0.2 a 1 m/s² siendo eléctrico y/o neumático.
La distancia de frenado necesaria depende del tiempo de reacción del maquinista, del



tiempo de respuesta de los propios equipos del tren y de la deceleración aplicada. Los trenes de alta velocidad suelen tener deceleraciones de 0.7 a 0.85 m/s^2 y se aplica un factor de seguridad, 1.3 , al cálculo, debido a las altas velocidades de circulación de los trenes.

El concepto de intervalo es la inversa de la capacidad de transporte y se define por el tiempo entre dos trenes consecutivos. Éste es un concepto puntual y diferente en cada punto de la línea, circulando el tren a velocidad máxima. Por otro lado, la capacidad es un concepto que expresa valor medio. El punto de máximo intervalo es el que fija el intervalo de la línea, por lo que es necesario el estudio de los puntos críticos: entrada en estaciones o vuelta en terminales al final de la línea.

A la hora de estudiar y determinar la capacidad de la línea es necesario utilizar el concepto de capacidad comercial. Ésta está influida por la señalización instalada y el tipo de tren y diseño de las vías. La capacidad comercial disminuye en cuanto circulen distintos tipos de trenes por la misma línea.



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA - ICAI
Grado en Ingeniería Electromecánica
Proyecto Fin de Grado.

Capítulo 2. Sistema de señalización: Enclavamiento y bloqueo



Capítulo 3 Sistema ERTMS-ETCS

Este capítulo tiene como propósito la explicación del funcionamiento, arquitectura y principales equipos que integran el sistema de señalización ERTMS.

Por otro lado, este capítulo sirve como guía en el diseño del sistema de señalización en la línea objeto de este proyecto.

Se estudian los equipos que forman parte tanto del subsistema vía como del subsistema tren del sistema ERTMS, así como los distintos niveles de aplicación ETCS. [MONT11]

3.1 Introducción

Como consecuencia de la gran variedad de sistemas ATP, *Automatic Train Protection*, existentes en Europa y la búsqueda de la interoperabilidad entre países para facilitar el tráfico ferroviario, la Comisión Europea impulsó el desarrollo de un proyecto de investigación para la mejora del sistema europeo de señalización y control de trenes.

Así surgió el sistema ERTMS, *European Railway Train Management System*, que tuvo como objetivo básico y principal la interoperabilidad entre equipos fabricados e instalados de múltiples empresas de acuerdo a unas especificaciones comunes, permitiendo el funcionamiento homogéneo en toda Europa de los sistemas de protección de trenes para así mejorar la competitividad del ferrocarril como medio de transporte.

Las especificaciones de ERTMS están fijadas por la UNISIG, *Union Industry of Signalling*, y controladas por la ERA, *European Railway Agency*.

El desarrollo del sistema se lleva a cabo por seis compañías miembros de UNISIG: Alstom Transport, Ansaldo STS, Bombardier Transportation, Invensys Rail Group, Siemens TS y Thales y el desarrollo y pruebas en líneas piloto cuenta con subvenciones de la Comunidad Europea.

El sistema ERTMS está constituido por dos componentes técnicos: el sistema de comunicaciones GSM-R, *Global System for Mobile Communications – Rail (way)*, que proporciona el soporte de radio de datos y voz entre vehículo e instalaciones fijas, y el subset ETCS, *European Train Control System*, componente que realiza las funciones de señalización y control de tráfico

El sistema automático de control ERTMS/ETCS está formado por un subsistema a bordo del tren, Eurocabina, y otro instalado en la vía, Eurobaliza, comunicados a través de balizas y radio mediante interfaces estándar. Estos interfaces permiten la circulación de trenes con equipos de diversos fabricantes por líneas con equipos de diferentes empresas.

Los módulos STM, *Specific Transmission Module*, son el interfaz estándar que permite la transición del sistema ATP Nacional a ERTMS para complementar la interoperabilidad.

Actualmente, España es el país con mayor implantación del sistema común europeo de señalización, contando con 1.974 kilómetros instalados con el sistema ERTMS.

Algunos tramos que cuentan con este sistema son: Madrid-Valencia-Albacete con tecnología Dimetronic, Madrid-Zaragoza-Lleida con tecnología de Ansaldo y Madrid-Segovia-Valladolid con tecnología de Dimetronic y Eurobalizas de Siemens.

El sistema ERTMS cuenta con tres niveles principales de funcionamiento. EL Nivel 1, basado



en la transmisión puntual de información a través de balizas, el Nivel 2 basado en la transmisión de información mediante soporte radio y en Nivel 3 basado en el modo de funcionamiento *moving block*.

3.2 Arquitectura del sistema y funciones básicas

La arquitectura del sistema ERTMS, Figura 16, está constituida principalmente por dos bloques: el subsistema vía y el subsistema tren, comunicados mediante interfaces para permitir la interoperabilidad.

Estos interfaces se representan mediante las siglas FFFIS, *Form Fit Functional Interface Specification*, correspondientes a interfaces estándar abiertos a cualquier fabricante cumpliendo con especificaciones, y mediante las siglas FIS, *Functional Interface Specification*, interfaces que necesitan de una adaptación técnica específica.

La comunicación entre el subsistema vía y el subsistema tren, sea por radio, baliza o lazo, está completamente definida por ser un requisito esencial para la interoperabilidad. Los mensajes están formados por telegramas que a su vez están constituidos por paquetes predefinidos.

El subsistema vía está comprendido por:

- Eurobalizas y Eurolazos que se conectan con el enclavamiento a través del dispositivo LEU, *Line Encoder Unit*.
- RBC (*Radio Block Center*): elemento más importante y significativo del ETCS Nivel 2 cuya finalidad es equivalente a la del LEU, transmitiendo la información al subsistema tren a través de la radio GSM-R.

Dentro del subsistema tren se pueden diferenciar los siguientes módulos:

- BTM (*Balise Transmission Module*) y LTM (*Loop Transmission Module*), que captan la información transmitida desde la vía por medio de las Eurobalizas y los Eurolazos.
- JRU, registrador jurídico: almacena la información y datos descargados durante la marcha del tren.
- Odometría: procesa y capta la información proporcionada por las señales acerca de la posición y velocidad.
- TIU (*Train Interface Unit*): comunica el tren con la Eurocabina.
- DIU (*Driver Interface Unit*): comunica al maquinista con el subsistema tren.

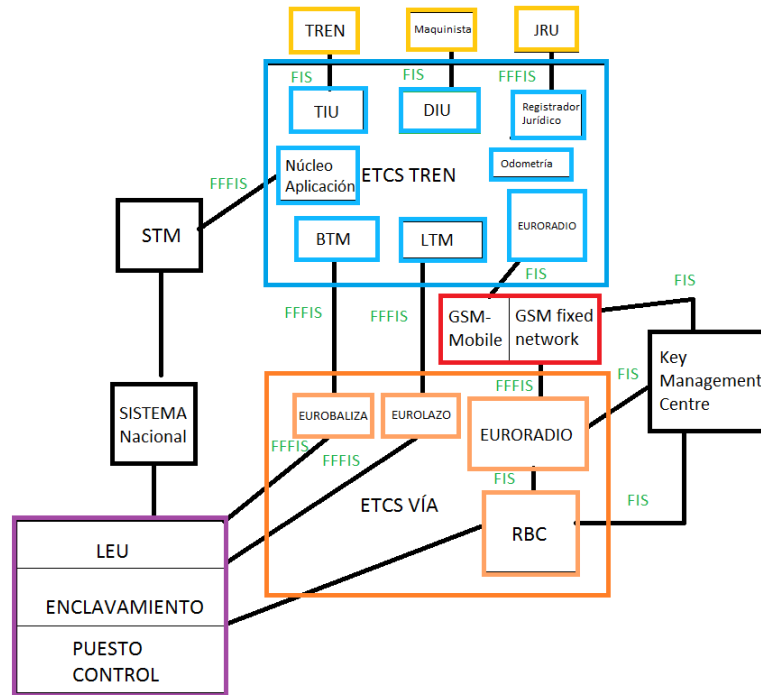


Figura 16. Arquitectura sistema ERTMS [MONT11]

Las funciones básicas incorporadas en el sistema ERTMS-ETCS son comunes a los tres niveles de aplicación, contando cada uno de ellos con sus especificaciones concretas:

➤ Comunicación desde balizas/radio.

La comunicación en el sistema ERTMS, en cualquier nivel de aplicación, se realiza desde la vía al tren mediante telegramas y mensajes estándar, cuya forma de aplicación es específica para cada nivel.

En el Nivel 1 la información se transmite al tren desde las eurobalizas colocadas en la propia vía en la proximidad de las señales, mientras que en los Niveles 2 y 3 la comunicación se realiza vía radio desde el RBC, pudiendo ser complementada por balizas para la ayuda al sistema de Odometría y re-localización del tren.

➤ Autoridad de movimiento, MA.

La autoridad de movimiento, MA correspondiente a *Movement Authority*, se basa en el movimiento del tren con plena garantía y bajo la supervisión del sistema ETCS asignado a un tramo concreto de la vía.

Este concepto es el más característico del sistema ERTMS y corresponde a la autorización de movimiento dado por el sistema de señalización lateral al mostrar un aspecto de señal diferente al rojo.

Junto con la MA se definen unos tiempos de validez, ya que pasado si no se ha alcanzado un determinado punto en ese tiempo, la información proporcionada por la autoridad de movimiento carece de valor o puede llegar a ser errónea. En caso general, la temporización será de 4 minutos.

Algunos conceptos asociados a MA son:

- *End Of Authority*, EOA, o punto de parada nominal que coincide con la posición de

la señal lateral.

- *Danger Point*, DP, punto de la vía que si fuese sobrepasado por el tren podría existir riesgo de accidente.
- Zona de protección u *overlap* por deslizamiento.

En el Nivel 1 de aplicación del sistema ERTMS la autoridad de movimiento es establecida por el enclavamiento, generada por el LEU y transmitida por la baliza, mientras que en el Nivel 2 y en el Nivel 3, al igual que el MA es establecido por el enclavamiento, la información se genera por el RBC y se comunica vía radio.

La Figura 17 muestra el MA para el Nivel 1 del sistema ERTMS, incluyendo los conceptos de EOA, DP, *overlap* y velocidades máximas tanto de la línea como la velocidad máxima impuesta por la señalización.

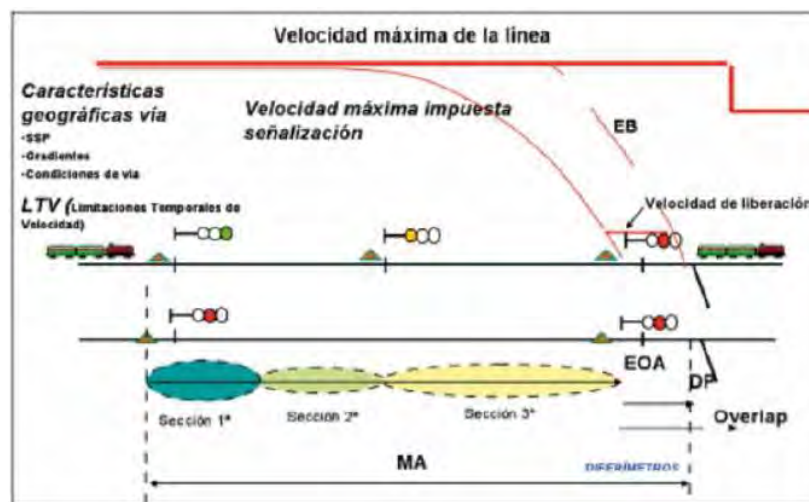


Figura 17. Autoridad de movimiento en el Nivel 1 [MONT11]

- Localización del tren.

La localización del tren como referencia de su posición se realiza en función del último punto de información. Este punto, PI, puede ser con relación a la última baliza recibida o grupo de balizas.

La localización del tren utiliza parámetros como son la distancia recorrida desde el último PI, el sentido de marcha y velocidad del tren e incertidumbre asociada a la medida. Como el error admitido de la medida puede llegar a ser del 5% es necesaria la instalación de balizas de relocalización para corregir la distancia.

- Conocimiento por el sistema de las características geográficas de la vía.

El sistema ERTMS lleva incorporado las características geográficas de la vía, como pueden ser las pendientes o rampas y trazado curvo, así como las limitaciones de velocidad y peso debido a la configuración de la vía en cada punto de la misma.

El sistema ERTMS define y especifica la forma de codificar de modo genérico estos parámetros para los tres niveles.

- Supervisión/control continuo de la velocidad.



En base a los datos geográficos mencionados anteriormente, el sistema ERTMS controla de forma continua y para cada punto la velocidad del tren en función de su deceleración y velocidad máxima.

➤ Modos de conducción y operaciones especiales.

El sistema ERTMS/ETCS define modos de conducción específicos para cada nivel. Algunos de éstos se definen a continuación: [ALVA14]

- No power (Sin Alimentación)
El equipo embarcado entra en este modo de funcionamiento cuando no existe alimentación al mismo.
En este modo el freno de emergencia debe estar activado, por lo que algunos componentes están alimentados desde una fuente auxiliar.
Se usa en los tres niveles de aplicación del sistema ERTMS/ETCS y tanto el sistema como el maquinista no tienen responsabilidad de funcionamiento.
- SYSTEM FAILURE (Fallo del sistema)
Cuando exista fallo que atañe a la seguridad del sistema, el equipo cambiará a este modo de funcionamiento activando el freno de emergencia.
Se usa en los tres niveles de aplicación del sistema ERTMS/ETCS pero a diferencia del modo anterior, el sistema sí tiene la responsabilidad de activar el freno de emergencia.
- SLEEPING (Dormido)
Este modo de funcionamiento se activa cuando se controla el sistema ERTMS/ETCS de una unidad en remoto.
Los tres niveles de aplicación contemplan este modo de funcionamiento y la responsabilidad reside en el puesto desde el que se ordenan los movimientos del tren.
- STAND BY
Modo de funcionamiento por defecto que cuando es activado lleva a cabo el autotest y test de los dispositivos externos, mostrándolo al conductor.
Se aplica en los Niveles 1, 2 y 3, siendo el sistema ERTMS responsable de conservar el estado de parada.
- SHUTING (Maniobra)
Este modo de funcionamiento permite los movimientos de maniobra de los vehículos.
El sistema ERTMS/ETCS controla los desplazamientos contra velocidad tope, máxima de maniobra, lista de balizas esperadas y parada en modo de maniobras.
La función de localización se realiza mediante el sistema a bordo del tren pero la supervisión del movimiento se lleva a cabo de forma parcial.
Se utiliza en los tres niveles de aplicación, siendo responsable el maquinista de los movimientos de maniobras y el sistema embarcado responsable de la supervisión de la velocidad.
- FULL SUPERVISION (Supervisión completa)
Modo de funcionamiento en el que todos los datos requeridos están disponibles para la supervisión completa del tren. Estos datos incluyen datos del tren y del recorrido,



no siendo necesarios el perfil estático de velocidad, SSP, ni el gradiente para toda la longitud del tren.

El equipo a bordo vigila los movimientos frente a perfiles dinámicos.

Es usado en los Niveles 1, 2 y 3, siendo el sistema ERTMS/ETCS responsable de la protección total del tren excepto en algunas situaciones especiales.

- STAFF RESPONSIBLE (Responsabilidad del maquinista)
Modo de funcionamiento en el que toda la responsabilidad reside en el maquinista, mientras que el sistema ERTMS/ETCS sólo supervisará los movimientos del tren en situaciones tales como: velocidad máxima bajo supervisión del maquinista, distancia dada, relación balizas esperadas o movimiento en sentido opuesto al impuesto por las balizas.
Se aplica en los Niveles 1, 2 y 3 vigilando el sistema embarcado la velocidad máxima.
- ON SIGHT (Marcha a la vista)
Modo de funcionamiento en el que está permitido el movimiento del tren en zonas que pueden estar ocupadas. Se activa de forma automática cuando se cumplen las especificaciones necesarias para este modo de funcionamiento.
Se utiliza en los niveles 1, 2 y 3, siendo el sistema a bordo responsable de la circulación del tren, supervisando la velocidad del perfil dinámico.

3.3 Subsistema vía

El subsistema vía está comprendido por distintos bloques/elementos según sea su Nivel de aplicación.

En el Nivel 1 el subsistema de vía está integrado por balizas situadas a pie de señal conectadas con el enclavamiento a través del LEU. Los LEUs tienen almacenados en memoria las características geográficas de las posibles rutas establecidas, así como los límites de las velocidades máximas de cada una de ellas (SSP). Según sea la ruta seleccionada y establecida desde el enclavamiento, el LEU aplica la información correspondiente, junto con el aspecto de las señales, y ésta es transmitida desde las balizas a la Eurocabina.

Tanto el Nivel 2 como el Nivel 3 incorporan el RBC, dispositivo que se analizará más adelante.

3.3.1 Eurobalizas

Las balizas o Eurobalizas son uno de los elementos principales del sistema ERTMS y deben cumplir con las especificaciones de UNISIG, Subset 036. Estos elementos pasivos, ya que transmiten la información a la Eurocabina únicamente en presencia del tren con velocidades de hasta 500km/h, pueden ser fijos o programables.

Las balizas controladas o programables están conectadas a los LEUs con información relativa al estado de la señalización, autoridad de movimiento y rutas establecidas. Estas balizas fijan restricciones de velocidad y proporcionan el MA.

Por otro lado, las Eurobalizas fijas contienen información precisa de ubicación. [COIT05]

La energía necesaria para la transmisión de información la reciben desde la propia antena del tren.

Cada señal lleva asociada un grupo de balizas de señal (fijas y controladas) y un grupo de



balizas previas (información infill).

La información de éstas últimas se agrupa en telegramas que contienen el MA y opcionalmente el perfil de gradiente y perfil estático de velocidad proporcionándola al tren sin necesidad de estar a pie de señal. [ADIF05].

3.3.2 LEU

El LEU, *Line Encoder Unit*, es el elemento encargado de transmitir la información, originada en el enclavamiento, a las balizas. Esta información está comprendida por la ruta seleccionada desde el ENCE, así como el aspecto de las señales, la posición de las agujas y los límites de velocidad de cada itinerario. Este dispositivo es el interface entre la baliza y la señalización de los equipos en la vía.

El LEU puede controlar hasta cuatro balizas, dependiendo del fabricante, y almacena todos los datos geográficos y características fijas de los posibles itinerarios que tienen por origen las señales asociadas a cada LEU.

Los LEUs se encuentran ubicados en armarios de campo o en el enclavamiento a una distancia máxima de cinco kilómetros de las balizas, conectados al primario o secundario del transformador de señal. [CAMA10]

La alimentación de este dispositivo se realiza con una fuente de alimentación separada con un valor recomendado de 24 VDC.

3.3.2.1 Transmisión de telegramas

Cada veinte minutos las entradas de las señales de vía son muestreadas y si se produce un cambio en alguna de ellas el LEU evalúa esta variación.

Si el cambio corresponde con una modificación en la señalización, el LEU seleccionará el telegrama correspondiente almacenado en su memoria y lo enviará a la baliza cuando finalice el telegrama anterior.

Por otro lado, si el aspecto de la señal detectado no corresponde con ninguno establecido previamente, el LEU transmitirá un telegrama de error a la baliza.

3.3.2.2 Interfaces externos

Los interfaces externos propios de la configuración del LEU son:

- Interface S entre LEU y señales.
- Interface C entre LEU y balizas.
- Interface P entre LEU y equipos de mantenimiento y pruebas.

3.3.3 RBC

En el ERTMS-ETCS Nivel 2 la transmisión de información desde el enclavamiento al tren se realiza mediante el dispositivo RBC, *Radio Block Centre*, por radio. Una vez establecidos y comprobados los itinerarios a seguir por los trenes, el RBC genera la autoridad de movimiento y monitoriza los movimientos del tren protegido en el área de línea abierta.



Por otro lado, el RBC recibe los datos de posicionamiento desde los vehículos, lo que le permite calcular la longitud de la MA en función del primer obstáculo: otro tren o una señal en rojo.

Este dispositivo puede estar conectado a más de un enclavamiento, siendo la longitud máxima que ha cubierto cincuenta kilómetros. Por otro lado, el RBC puede estar acoplado al puesto de mando para avisar al operador de situaciones concretas y orientar algunas órdenes.

El RBC es un dispositivo con características de seguridad SIL 4, que tiene en memoria toda la información geográfica de los posibles itinerarios establecidos y supervisados por el enclavamiento. La configuración de este equipo, debido a su alta gran importancia en seguridad y fiabilidad del sistema, es redundante, siendo la más habitual la configuración dos sobre tres, 2003. Esto es, se comprueba la coincidencia de información entre los tres dispositivos de la configuración, teniendo que coincidir dos de ellos. Si se produce el fallo en uno de los tres dispositivos, los dos restantes deberán coincidir siempre para poder transmitir la información.

En el Nivel 3 del sistema ERTMS/ETCS el subsistema vía está integrado fundamentalmente por el RBC y debido al sistema embarcado de Odometría únicamente son necesarias balizas fijas para la relocalización.

3.4 Subsistema tren

El subsistema tren está integrado por los equipos de a bordo del vehículo comunicados con la vía dependiendo del Nivel de aplicación, mediante interfaces estándar con especificaciones comunes para todos los fabricantes.

En el Nivel 1 la información se transmite mediante el conjunto baliza-antena mientras que en los Niveles 2 y 3 se realiza a través del RBC por radio.

3.4.1 EVC

El EVC, *European Vital Computer*, es el conjunto esencial en el sistema ERTMS a bordo a prueba de fallos, Nivel SIL 4, con arquitectura redundante dos sobre dos, 2002 o dos sobre tres, 2003. La configuración 2002 coincide con la configuración 2003 con fallo en uno de los tres dispositivos de la configuración.

La información recibida por el equipo a bordo contiene los datos geográficos de los tramos seleccionados, así como su velocidad máxima y el MA. Esta información es procesada para el control y supervisión continua del movimiento del vehículo.

El EVC se encarga del cálculo de la velocidad permitida en la supervisión de la marcha del tren incluyendo las curvas correspondientes a velocidad de aviso, a supervisión y a emergencia.

Este equipo se encarga de mostrar la información relevante en la pantalla del DMI para la posterior visualización por parte del maquinista. [LORE07].

3.4.2 DMI

El DMI, *Driver Manager Interface*, es el dispositivo encargado de transmitir y presentar, al conductor del vehículo, la información relevante de la marcha a seguir del tren.

Esta información incluye velocidad de marcha, mensajes del EVC y representación gráfica de los gradientes de vía y límites de velocidad.



3.4.3 JRU

El JRU, *Juridical Recorder Unit*, es un dispositivo del subsistema tren cuya función consiste en la recopilación de registros y medidas de los posibles accidentes o fallos que hayan tenido lugar durante la marcha del tren.

Los registros que proporciona este equipo contienen información acerca de datos aportados por las balizas y la conducción completa llevada a cabo por el maquinista. [CAMA10]

3.4.4 Odometría

El sistema de a bordo de Odometría procesa y almacena la información proporcionada por las señales acerca de la posición y velocidad del vehículo.

Este equipo está compuesto por dos dispositivos:

- 1) Odómetro Tacogenerador, que se encarga de contar los pulsos por vuelta al girar las ruedas del tren. Este dispositivo se instala en los propios ejes de tracción del vehículo. Datos como dirección de marcha, velocidad y distancia recorrida son enviados por este equipo al EVC.
- 2) Odómetro con sensor radar, dispositivo que permite mejorar las medidas realizadas por el odómetro tacogenerador ya que éste puede introducir errores debido al deslizamiento o patinaje de las ruedas sobre los carriles.

3.4.5 RBS

RBS, *Radio Base System*, es el equipo que procesa los datos recibidos mediante la comunicación vía radio.

El equipamiento de a bordo del Nivel 2 y del Nivel 3, al utilizar comunicación vía radio GSM-R, dispone de una antena instalada en el techo del tren para la transmisión de voz y datos entre tierra y tren. [COIT05]

3.4.6 BTM/LTM

BTM (*Balise Transmission Module*) y LTM (*Loop Transmission Module*), son los módulos que contienen la información de las eurobalizas y Eurolazos.

La antena de Eurobaliza/Eurolazo tiene la función de activar las balizas y recoger la información que éstos transmiten. La antena emite continuamente una señal de activación de 27 MHz con la finalidad de proporcionar la energía necesaria para el accionamiento de las balizas/lazos. [LORE07]

3.5 Principios y Niveles de funcionamiento



Basándose en la información que le proporcionan los sistemas de señalización, el sistema ERTMS proporciona para la protección del tren control de sobrevelocidad, control de rebase indebido frente a una señal en rojo, control frente a marcha atrás, control en pasos a nivel y control debido a paradas prolongadas de los vehículos, entre otros.

El sistema de control de tráfico y señalización funciona con cinco Niveles operativos dependiendo del equipamiento en vía y embarcado. [ADIF05].

- El sistema ERTMS/ETCS Nivel 1 dispone de Eurobalizas, medio puntual de transmisión de información vía-vehículo, y opera, opcionalmente, con anticipación de la información con Eurolazo (medio semicontinuo de transmisión de información).
- El tren equipado con el sistema ERTMS Nivel 2 opera en una línea controlada por un Centro de Control de Bloqueo por Radio, RBC, y está equipada con Eurobalizas y Euroradio.
- El Sistema ERTMS/ETCS Nivel 3 opera de forma similar al Nivel 2 pero la localización e integridad del tren se ejecuta desde dentro, con el sistema de localización embarcado.
- El Nivel 0 de este sistema corresponde con un tren operando en una línea equipada con sistema de señalización nacional.
- Por último, el sistema ERTMS/ETCS Nivel STM está instalado en vías con señalización nacional y el sistema embarcado incorpora el módulo STM para comunicar el vehículo con el sistema instalado en vía.

Los Niveles 1, 2 y 3, que se desarrollarán en profundidad más adelante, son compatibles de mayor a menor: un tren equipado para operar en Nivel 3 podrá también hacerlo en Nivel 2. Lo mismo sucede con un tren dotado con Nivel 2 que podrá también operar en Nivel 1.

3.5.1 ETCS Nivel 1

El ETCS Nivel 1, Figura 18, es un sistema de mando, control y señalización basado en la transmisión puntual de información para la protección del tren. Las funciones básicas de este nivel son la elaboración y presentación de señalización en cabina y la supervisión y control continuo de la velocidad del tren.

Las características principales integradas en este sistema son:

- a) Funcionamiento por cantones fijos.
- b) Sistema de Odometría para la localización del tren.
- c) Basado en señales, itinerarios y circuitos de vía.
- d) Balizas conmutables comunicadas con la señal y/o el enclavamiento.
- e) Sistema superpuesto a la señalización.



Figura 18. Esquema ETCS Nivel 1[LORE07]

La información necesaria para la conducción del tren es proporcionada a través de balizas situadas a pie de señal. Los datos recibidos por las balizas han sido procesados previamente por el enclavamiento y enviados a través de los dispositivos LEUs. El contenido de esta información incluye las características geográficas de la ruta establecida así como el aspecto de las señales. Esta información puede ser variable en cada momento dependiendo del itinerario establecido y permite a la Eurocabinas realizar los cálculos relativos a la conducción del tren en función del mismo.

La posición del vehículo es detectada por los circuitos de vía y su localización es realizada por el sistema de Odometría embarcado en el tren.

La información transmitida a la Eurocabinas debe ser coherente con el estado de las señales laterales, ya que el maquinista debe conducir el vehículo atendiendo tanto a la información recibida en cabina como a la mostrada por la señalización. Este hecho permite la superposición del ETCS Nivel 1 con la señalización lateral.

En el Nivel 1 la señal autoriza el movimiento del tren, y éste recibe la información de la autoridad de movimiento cuando atraviesa la baliza correspondiente a pie de señal. Para avanzar el estado de la señal se colocan eurobalizas adicionales antes de las señales y así el maquinista tiene el conocimiento del estado de la señalización antes de llegar a la señal lateral.

Estas señales fijas son necesarias a no ser que se disponga de Eurolazos para anticipar de forma continua la información acerca del estado de la señalización. Así el subsistema a bordo informa al conductor de los cambios en el estado de las señales tan pronto como éstos se produzcan. [ADIF05].

3.5.1.1 Autoridad de movimiento N1

Como se explicó anteriormente la MA se basa en el movimiento del tren con plena garantía y bajo la supervisión del sistema ETCS asignado a un tramo concreto de la vía.

Los parámetros que definen principalmente una MA son la limitación de velocidad relativa a la configuración de la vía y a la señalización pertinente y la longitud donde es aplicada esa MA, EOA.

La sección o secciones que comprende la MA contienen información relativa a la longitud, temporización o tiempos de validez, localización del punto donde finaliza la temporización, velocidad al final de la MA (nula, salvo en caso de transiciones de nivel o rebases autorizados), el DP y el *Overlap*.



3.5.1.2 Supervisiones del sistema

El sistema ERTMS/ETCS se encarga de la supervisión continua de diversos parámetros como son:

- La velocidad máxima del tren, siendo la velocidad del mismo superior al límite de intervención del freno de servicio y el modo de funcionamiento ES, FS, SR, OS, UN, SE o RV, el sistema aplica el freno de servicio.
- El perfil estático de velocidad, que contiene restricciones de velocidad exigidas por la configuración propia de la vía. Cada MA incorpora su perfil de velocidad para la ruta establecida.
- La velocidad según el modo de conducción.
- Restricciones temporales de la velocidad.
- La velocidad de liberación.
- El perfil de gradiente, actualizando las curvas de supervisión de velocidad.
- La intervención del sistema cuando se atraviesa un área de frenado.
- Las curvas de aviso y frenado de emergencia.
- Freno de servicio desactivado.
- El final de la MA.
- Movimientos en Reverse, cuando el tren se detiene y se activa el inversor en dirección opuesta.

3.5.1.3 Conexión y desconexión

La marcha del sistema se garantiza con la instalación del ETCS tanto en la línea, equipo en tierra, como en el vehículo que se disponga a circular, equipo embarcado.

La conexión de la Eurocabina se realiza con el vehículo parado en el momento que reciba la alimentación al conectar la tensión de la batería del tren. Una vez alimentado el sistema se verifica el correcto funcionamiento de todos los módulos que lo integran.

La fase de puesta en marcha goza de vital importancia ya que incluye la operación de selección de cabina con el sentido de marcha que se va a considerar. El cambio de cabina sólo se puede realizar con el vehículo parado.

Por otro lado, la desconexión del equipo se realiza en dos fases: primero se desconecta la cabina activa y a continuación se procede a la desconexión de la tensión de batería del tren.

3.5.2 ETCS Nivel 2

Este nivel del sistema ERTMS/ETCS se diferencia del Nivel 1 en que la comunicación se realiza continuamente vía radio, GSM-R, mediante el RBC. Éste se encuentra situado a nivel de vía y se comunica con el enclavamiento que establece de forma segura la ruta programada.

La información transmitida desde el RBC incluye tanto los datos geográficos de la ruta establecida como la distancia al próximo obstáculo en la ruta.

La Figura 19 muestra el esquema del sistema ERTMS Nivel 2.

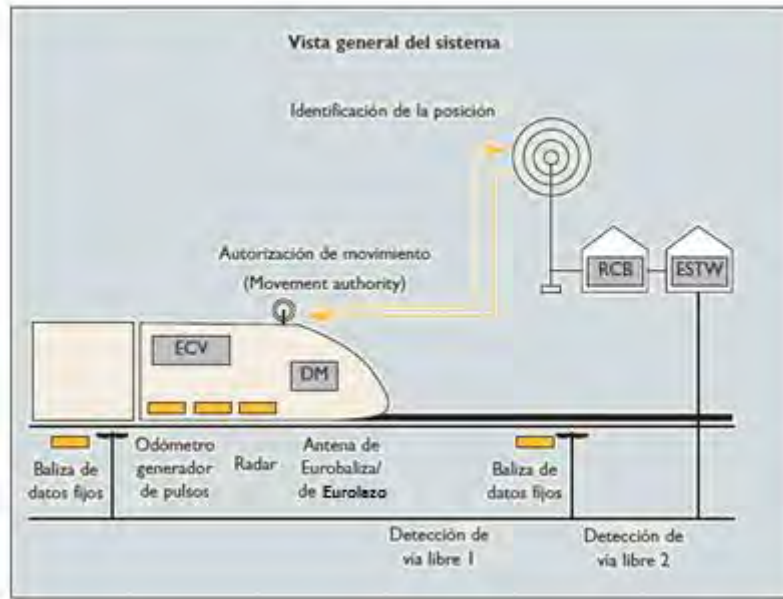


Figura 19. Esquema ETCS Nivel 2[LORE07]

Las características propias del Nivel 2 se presentan a continuación:

- Funcionamiento con cantones fijos.
- Circuitos de vía para detección y posicionamiento del tren.
- Sistema de Odometría para la relocalización de los vehículos.
- MA enviado por el RBC hasta el CV ocupado.
- Balizas fijas para relocalización.

Las balizas controladas en este nivel no son necesarias por la transmisión vía radio aunque por otro lado, las balizas fijas se utilizan para fijar la ubicación de los vehículos y proporcionar el perfil estático de velocidad.

La integridad y detección del tren se continúa garantizando por medio de los circuitos de vía. En este nivel de aplicación la señalización lateral puede ser suprimida debido a la comunicación vía radio: la información se presenta por medio del DMI al maquinista. Éste debe conducir atendiendo a esas indicaciones. En caso contrario, tras avisos, se aplicaría primero freno de servicio y si fuese necesario freno de emergencia.

3.5.3 ETCS Nivel 3

El nivel ERTMS/ETCS 3, Figura 20, al igual que el Nivel 2, es un sistema de control y protección de trenes continuo basado en la transmisión de información vía radio. EL RBC es el encargado de ello ya que, gracias a los equipos a bordo, conoce la situación de cada equipo ERTMS.

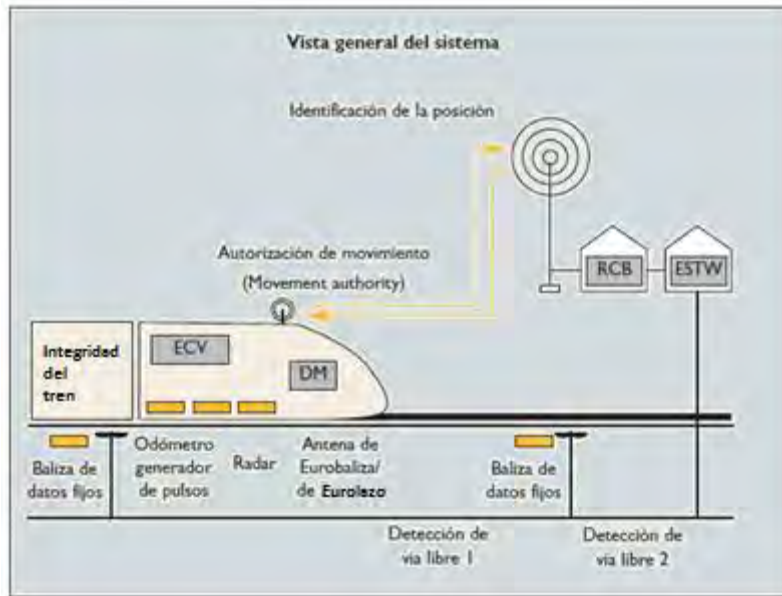


Figura 20. Esquema ETCS Nivel 3 [LORE07]

Las funciones principales de este nivel en el subsistema vía son: [SANZ14].

- Conocimiento de los datos del propio tren dentro de una zona RBC.
- Controlar la ubicación de cada vehículo dentro de una zona RBC.
- Establecer Ruta de bloqueo y liberación de ruta basado en la información proporcionada por los trenes.
- Determinar los MA para cada locomotora y transmitirlos a cada una..
- Entrega de control de trenes entre distintas celdas en las fronteras RBC-RBC.

Por otro lado, las funciones del subsistema tren son:

- El tren lee las Eurobalizas y envía su posición al RBC.
- Los equipos de monitorización de la integridad del tren envían esta información al RBC.
- El tren recibe la MA y la descripción de la configuración de la vía a través de la Euroradio.
- Selección de la velocidad más restrictiva.
- Cálculo del perfil dinámico.

Incorporando mejoras como la utilización del control vía radio para detectar la integridad y detección del tren al Nivel 2, el ETCS Nivel 3 es el sistema más sofisticado actualmente. Debido a la incorporación descrita anteriormente, el Nivel 3 no necesita de circuitos de vía y las balizas fijas sólo se utilizan para la transmisión de información fija al tren. [COIT05]. El ETCS Nivel 3 responde al modo de funcionamiento cantón móvil, *moving block*.

Este Nivel se encuentra en fase de prueba ya que no se ha desarrollado un método totalmente seguro y sencillo de instalar para la detección de la posición e integridad del tren. Sin embargo, cuando el Nivel 3 sea implementado, las únicas restricciones de velocidad para la circulación de los trenes serán las impuestas por la propia vía. Esto provocará un gran incremento de la capacidad de las vías al reducirse los intervalos mínimos entre trenes condicionados únicamente por la capacidad de frenado de los vehículos. [COIT05].



3.5.4 ETCS STM

El objetivo principal del sistema ERTMS es la interoperabilidad de los sistemas ferroviarios por lo que para ofrecer a este sistema la posibilidad de operar en líneas que no disponen de su tecnología se desarrolla el Nivel STM, *Specific Transmission Module*.

Con esta tecnología se permite al sistema ERTMS/ETCS captar la información originada por los sistemas de señalización disponibles en la vía y utilizarla para su operación.

Un tren que dispone de tecnología ERTMS puede estar equipado con más de un STM para distintos sistemas nacionales que puedan estar instalados en las líneas.

En España, uno de los módulos utilizados es STM-LZB en la línea Madrid-Sevilla, ya que ésta tiene instalado el sistema de señalización LZB. [LORE07].



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA - ICAI
Grado en Ingeniería Electromecánica
Proyecto Fin de Grado.

Capítulo 3: Sistema ERTMS-ETCS

Capítulo 4 Requisitos funcionales

Este capítulo recoge los requisitos funcionales que deben cumplirse en el diseño de la línea de alta velocidad objeto de este proyecto.
 Se muestra en la Figura 21 la organización de los requisitos.

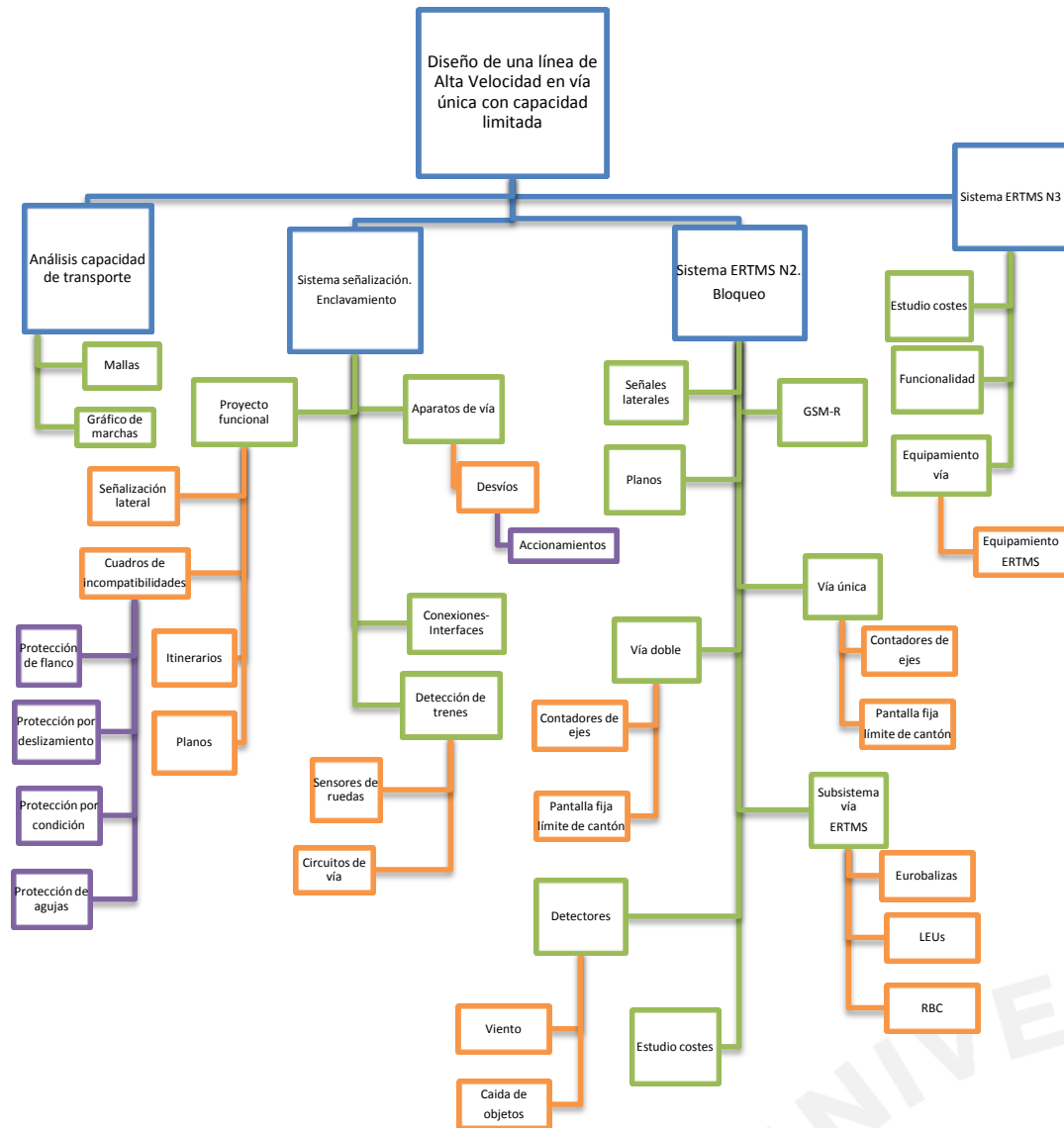


Figura 21. Especificación de requisitos



4.1 Índice de requisitos

Los requisitos correspondientes al diseño de la línea de alta velocidad objeto de este proyecto se muestran en el siguiente índice:

REQ-1 Análisis capacidad de transporte

REQ-1.1 Mallas posibles

REQ-1.2 Gráficos de marcha

REQ-2 Sistema de señalización. Enclavamiento

REQ-2.1 Proyecto funcional

REQ-2.1.1 Señalización lateral

REQ-2.1.2 Itinerarios

REQ-2.1.3 Cuadros incompatibilidades

REQ-2.1.3.1 Protección de flanco

REQ-2.1.3.2 Protección por deslizamiento

REQ-2.1.3.3 Protección por condición

REQ-2.1.3.4 Posición de agujas

REQ-2.1.1.4 Planos

REQ-2.2 Aparatos de vía

REQ-2.2.1 Desvíos

REQ-2.2.1.1 Accionamientos

REQ-2.3 Detección de trenes

REQ-2.3.1 Sensores de ruedas

REQ-2.3.2 Circuitos de vía

REQ-2.4 Conexiones-Interfaces

REQ-3 Sistema ERTMS Nivel 2. Bloqueo

REQ-3.1 Señales laterales

REQ-3.2 Planos

REQ-3.3 GSM-R

REQ-3.4 Vía única

REQ-3.4.1 Contadores de ejes

REQ-3.4.2 Pantalla fija límite de cantón

REQ-3.5 Vía doble

REQ-3.5.1 Circuitos de vía

REQ-3.5.2 Pantalla fija límite de cantón

REQ-3.6 Subsistema vía ERTMS

REQ-3.6.1 Eurobalizas

REQ-3.6.2 LEUS

REQ-3.6.3 RBC

REQ-3.7 Detectores

REQ-3.7.1 Viento

REQ-3.7.2 Caída de objetos

REQ-3.8 Estudio costes

REQ-4 Sistema ERTMS Nivel 3

REQ-4.1 Funcionalidad

REQ-4.2 Equipamiento vía

REQ-4.2.1 Equipamiento ERTMS

REQ-4.3 Estudio costes



4.2 Especificación de requisitos.

La descripción y especificación de los requisitos del diseño de la línea de alta velocidad objeto de este proyecto se presenta en las siguientes tablas.

Requisito REQ-1	Análisis de la capacidad de transporte
Descripción	Se analizará basándose en una marcha aproximada y se verificará los resultados con un gráfico real de marchas. Incluye: <ul style="list-style-type: none">• Gráficos de mallas• Gráficos de marchas
Observaciones	La capacidad de transporte queda limitada debido a la configuración de la línea en vía única. Se presentarán propuestas de mejora.
Requisitos relacionados	

Tabla 1. REQ-1

Requisito REQ-1.1	Gráficos de mallas
Descripción	Obtención de la capacidad máxima de la línea en función de los puntos de cruzamiento posibles para conseguir dicha capacidad máxima. Se realizará suponiendo una marcha aproximada.
Observaciones	Los trenes circularán a una velocidad máxima de 300 km/hora por las vías, mientras que en el paso por las vías desviadas de los desvíos circularán a una velocidad de 220km/hora.
Requisitos relacionados	

Tabla 2. REQ-1.1

Requisito REQ-1.2	Gráficos de marcha
Descripción	Se analiza la dinámica del tren una vez realizados los gráficos de mallas aproximados
Observaciones	Se aplican simplificaciones
Requisitos relacionados	Gráficos de mallas

Tabla 3. REQ-1.2

Requisito REQ-2	Sistema de señalización. Enclavamiento
Descripción	Estudio del sistema de señalización aplicado en el diseño de línea Incluye: <ul style="list-style-type: none">• Diseño de los sistemas de enclavamiento Se diseñarán los Enclavamientos necesarios en las estaciones para permitir el flujo y cruzamiento de trenes Incluye: <ul style="list-style-type: none">- Proyecto funcional- Aparatos de vía- Detección de trenes- Conexiones-Interfaces
Observaciones	Se seleccionan tramos concretos de la línea.
Requisitos relacionados	

Tabla 4. REQ-2



Requisito REQ-2.1	Proyecto funcional
Descripción	<p>Este proyecto establece la base para el correcto funcionamiento del enclavamiento.</p> <p>Se desarrollan las partes que integran el proyecto funcional de un enclavamiento</p> <p>Incluye:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Señalización lateral. Se especificará los aspectos de las señales compatibles con la marcha en ERTMS y en sistema degradado. • Itinerarios • Cuadros de incompatibilidades <p>Planos</p>
Observaciones	
Requisitos relacionados	

Tabla 5. REQ-2.1

Requisito REQ-2.1.1	Señalización lateral
Descripción	<p>Se especificará y diseñará el equipamiento de señalización lateral para funcionamiento degradado. Se determinará la capacidad máxima en estas condiciones.</p> <p>Diseño y descripción de la señalización lateral aplicada en las zonas de estaciones compatible con el sistema ERTMS.</p> <p>Incluye:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Señalización de entrada/salida de estaciones. • Señalización de salida de vía. • Señales de maniobra. • Señales indicadoras de agujas.
Observaciones	Las señales laterales serán de tipo LED
Requisitos relacionados	

Tabla 6. REQ-2.1.1

Requisito REQ-2.1.2	Itinerarios
Descripción	<p>Descripción de los movimientos posibles dentro de las zonas de estaciones y salidas al bloqueo. Se establecerán pasos directos.</p> <p>La ruta asegurada engloba la ruta desde la señal que autoriza el movimiento hasta la señal que lo limita por delante, en la que todos sus elementos han sido correctamente enclavados.</p>
Observaciones	Incluye cuadros de movimientos con la identificación de las señales de entrada y salida de cada itinerario
Requisitos relacionados	

Tabla 7. REQ-2.1.2

Requisito REQ-2.1.3	Cuadros de incompatibilidades
Descripción	<p>Incluye:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Protección de flanco. • Protección por deslizamiento. • Protección por condición. • Posición de agujas.



Observaciones	
Requisitos relacionados	Itinerarios

Tabla 8. REQ-2.1.3

Requisito REQ-2.1.3.1	Protección de flanco
Descripción	Se analizará y especificará la protección por flanco en las zonas de las estaciones. Esta protección está basada en la orientación de los elementos de la vía de rutas que puedan incidir sobre una ruta ya establecida, a una posición tal que no interfieran en la ruta establecida.
Observaciones	
Requisitos relacionados	Itinerarios

Tabla 9. REQ-2.1.3.1

Requisito REQ-2.1.3.2	Protección por deslizamiento
Descripción	Análisis y especificación de la protección por deslizamiento en las zonas de estaciones El deslizamiento es la posibilidad de rebase de una señal indebidamente mientras otro vehículo está circulando por la estación, y se indica como afectado por deslizamiento el circuito de vía siguiente al punto donde termina el itinerario.
Observaciones	No se añade finalmente a los cuadros de incompatibilidades, debido a la dificultad de implantar el concepto teórico de la protección de deslizamiento en la realización de los cuadros de incompatibilidades.
Requisitos relacionados	Itinerarios

Tabla 10. REQ-2.1.3.2

Requisito REQ-2.1.3.3	Protección por condición
Descripción	Análisis de la protección por posición de agujas en las zonas de estaciones
Observaciones	
Requisitos relacionados	Itinerarios

Tabla 11. REQ-2.1.3.3

Requisito REQ-2.1.4	Planos
Descripción	Se adjuntan los planos de los sistemas de señalización de los enclavamientos, indicando la zona de influencia del enclavamiento, así como, la posición de las señales y equipos a lo largo del mismo. Incluye: <ul style="list-style-type: none"> • Señalización lateral compatible con el sistema ERTMS. • Equipos para la detección de trenes. • Aparatos de vía • Conexiones de los equipos situados en la vía con el enclavamiento, conexiones entre los enclavamientos que forman las estaciones e interfaces con el sistema ERTMS.
Observaciones	
Requisitos relacionados	Señalización lateral



	Desvíos Detección de trenes Conexiones-Interfaces
--	---------------------------------------------------------

Tabla 12. REQ-2.1.4

Requisito REQ-2.2	Aparatos de vía
Descripción	Diseño y especificación de los aparatos de vía que forman los enclavamientos para permitir los movimientos seguros dentro de las estaciones y las salidas al bloqueo. La autorización del movimiento sobre el desvío está precedida por la comprobación, enclavamiento y encerrojo de la aguja que lo forma. Incluyen: <ul style="list-style-type: none"> • Desvíos, con la descripción y especificación de los accionamientos que permiten sus movimientos para formar los posibles itinerarios en los enclavamientos, así como las incompatibilidades provocadas por la posición de las agujas.
Observaciones	
Requisitos relacionados	Posición de agujas

Tabla 13. REQ-2.2

Requisito REQ-2.2.1	Desvíos
Descripción	Diseño y especificación de los desvíos incluidos en las zonas de estaciones que permiten: <ul style="list-style-type: none"> ○ Formación y maniobra de trenes. ○ Movimientos de trenes dentro de las estaciones. ○ Establecimiento de itinerarios. ○ Pasos directos por las estaciones. Se analizan los movimientos permitidos por los desvíos tanto en posición normal como en posición invertida. Estudio y diseño de los accionamientos que forman parte de los desvíos, permitiendo los posibles itinerarios.
Observaciones	Se analizará las incompatibilidades provocadas por las posiciones de las agujas de los desvíos en los itinerarios establecidos dentro de las estaciones.
Requisitos relacionados	Itinerarios Posición de agujas

Tabla 14. REQ-2.2.1

Requisito REQ-2.2.1.1	Accionamientos
Descripción	Estudio y especificación de los accionamientos de los desvíos dentro de las zonas de estaciones. Se especificará el tipo de accionamiento empleado. Incluye: <ul style="list-style-type: none"> • Funcionamiento. • Requisitos funcionales de mando y comprobación. • Especificaciones RENFE.
Observaciones	



Requisitos relacionados	Desvíos
-------------------------	---------

Tabla 15. REQ-2.2.1.1

Requisito REQ-2.3	Detección de trenes
Descripción	<p>Análisis y especificación de los dispositivos que forman el sistema de detección de trenes dentro de las zonas de enclavamiento, permitiendo tener conocimiento de la posición de los trenes en las zonas de estaciones.</p> <p>Incluye:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sensores de rueda, implantados en las zonas de desvíos dentro de las estaciones. • Circuitos de vía, implantados en las vías que forman las zonas de estaciones.
Observaciones	
Requisitos relacionados	

Tabla 16. REQ-2.3

Requisito REQ-2.3.1	Sensores de rueda
Descripción	<p>Diseño y especificación de los dispositivos de detección de trenes, sensores de ruedas, que permiten tener conocimiento de la posición de los trenes en el paso de éstos por los desvíos dentro de las zonas de estaciones.</p>
Observaciones	
Requisitos relacionados	

Tabla 17. REQ-2.3.1

Requisito REQ-2.3.2	Circuitos de vía
Descripción	<p>Diseño y especificación de los dispositivos de detección de trenes, circuitos de vía, en las zonas de enclavamiento.</p> <p>Se analiza el funcionamiento de los circuitos de vía, así como los parámetros que influyen en ello.</p> <p>Incluye:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lazos tipo 'S' y lazos de cortocircuitos en las vías que forman las zonas de estación. • Lazos de continuidad y juntas aislantes en los desvíos que forman las zonas de estación.
Observaciones	<p>Incluye estudio acerca de las ventajas e inconvenientes introducidos por el uso de los circuitos de vía de audiofrecuencia.</p>
Requisitos relacionados	

Tabla 18. REQ-2.3.2

Requisito REQ-2.4	Conexiones-Interfaces
Descripción	<p>Diseño y especificación de las conexiones entre los dispositivos del sistema de señalización y los enclavamientos</p> <p>Incluye:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Conexiones Eurobalizas- LEUs. • Conexiones LEU-CLC. • Conexiones ENCE-ENCE. • Interface CLC-ENCE. • Interface ENCE-RBC.



	<ul style="list-style-type: none"> • Interface ENCE-ERTMS.
Observaciones	
Requisitos relacionados	

Tabla 19. REQ-2.4

Requisito REQ-3	Sistema ERTMS Nivel 2. Bloqueo
Descripción	<p>Diseño y especificación del sistema de señalización ERTMS Nivel 2 en el bloqueo de la línea de Alta Velocidad, incluyendo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bloqueo automático en vía única banalizada. • Bloqueo automático en vía doble banalizada. • Señalización lateral compatible con el sistema ERTMS y análisis de los aspectos de las señales con funcionamiento degradado. • Comunicación vía radio con el sistema GSM-R. • Equipos que forman el subsistema vía ERTMS aplicado al Nivel 2. • Planos con los elementos que forman la instalación del bloqueo en la línea de Alta Velocidad. <p>Se analiza su aplicación en tramos de vía única y en tramos de vía doble.</p> <p>Se analiza el proceso de frenado ante la llegada a las estaciones, así como los aspectos de las señales compatibles con el sistema ERTMS Nivel 2 y funcionamiento degradado.</p> <p>Incluye el análisis en coste de su instalación.</p>
Observaciones	<p>Se seleccionan zonas de interés que forman parte de la línea de Alta Velocidad, incluyendo tramos en vía única y un tramo con disposición en vía doble que permite el cruzamiento de trenes en la entrada/salida de una estación.</p> <p>Se hace hincapié en la interoperabilidad introducida por la aplicación del sistema ERTMS</p>
Requisitos relacionados	

Tabla 20. REQ-3

Requisito REQ-3.1	Señales laterales
Descripción	<p>Diseño y especificación del sistema de señalización lateral instalado en las zonas de bloqueo de la línea de Alta Velocidad.</p> <p>Análisis de los aspectos compatibles del sistema ERTMS N2, así como, funcionamiento degradado.</p>
Observaciones	<p>Se propone como alternativa la no instalación de señalización lateral en las zonas de bloqueo en vía única debido a que únicamente circulará un tren en un sentido al establecerse el bloqueo.</p>
Requisitos relacionados	

Tabla 21. REQ-3.1

Requisito REQ-3.2	Planos
Descripción	Se adjuntan los planos del sistema de señalización



	de los tramos de bloqueo. Incluyen: <ul style="list-style-type: none"> • Detectores de viento. • Detectores de caída de objetos. • Señales laterales. • Equipos del sistema ERTMS Nivel 2 para la configuración en vía doble y en vía única. • Subsistema vía ERTMS.
Observaciones	
Requisitos relacionados	Detectores de viento. Detectores caída de objetos. Equipos ERTMS N2. Señales laterales. Subsistema vía ERTMS .

Tabla 22. REQ-3.2

Requisito REQ-3.3	GSM-R
Descripción	Diseño y especificación de la tecnología GSM-R instalada en la línea de Alta Velocidad para: <ul style="list-style-type: none"> ○ Transmisión de información vía radio del sistema ERTMS Nivel 2. ○ Estaciones repetidoras de la señal a lo largo de la línea de Alta Velocidad.
Observaciones	Únicamente se describirá su funcionalidad dentro del sistema de señalización y la disposición de las estaciones base en la línea, ya que no se contempla esta tecnología como parte fundamental de este proyecto.
Requisitos relacionados	

Tabla 23. REQ-3.3

Requisito REQ-3.4	Vía única
Descripción	Análisis del sistema de señalización ERTMS Nivel 2 aplicado a los tramos con configuración en vía única. El bloqueo aplicado será bloqueo automático en vía única banalizada, permitiendo la circulación en ambos sentidos de los vehículos. Incluye: <ul style="list-style-type: none"> • Equipos del sistema de señalización ERTMS Nivel 2. • Contadores de ejes. • Pantallas fijas de límite de cantón.
Observaciones	Se analiza la influencia de la configuración en vía única con la capacidad de transporte de la línea.
Requisitos relacionados	

Tabla 24. REQ-3.4

Requisito REQ-3.4.1	Contadores de ejes
Descripción	Análisis e implantación de contadores de ejes como equipos de detección de trenes en los tramos en vía única de la línea de Alta Velocidad. Se dispondrán a lo largo de los tramos abarcando una distancia aproximada de 10.000 metros.
Observaciones	Se discute la alternativa de instalar únicamente



	contadores de ejes a la entrada y salida del bloqueo en las zonas de vía única ya que, la circulación de los trenes a lo largo de estos tramos se puede producir en un único sentido al establecerse el bloqueo.
Requisitos relacionados	

Tabla 25. REQ-3.4.1

Requisito REQ-3.4.2	Pantalla fija límite de cantón
Descripción	Diseño e instalación de pantallas fijas de límite de cantón en los tramos en vía única de la línea de Alta Velocidad. Estos dispositivos tienen la finalidad de informar al maquinista de la ubicación del vehículo cuando se produce la parada del mismo en un tramo en vía única de la línea. El maquinista así, podrá advertir al puesto de mando de la ubicación del tren.
Observaciones	
Requisitos relacionados	

Tabla 26. REQ-3.4.2

Requisito REQ-3.5	Vía doble
Descripción	Análisis del sistema de señalización ERTMS Nivel 2 aplicado a los tramos con configuración en vía doble. El bloqueo aplicado será bloqueo automático en vía doble banalizada, permitiendo la circulación en ambos sentidos de los vehículos. Incluye: <ul style="list-style-type: none"> • Equipos del sistema de señalización ERTMS Nivel 2. • Circuitos de vía. • Pantallas fijas de límite de cantón.
Observaciones	El tramo seleccionado con configuración de vía doble corresponde con la entrada/salida de una estación, permitiendo el cruce de trenes.
Requisitos relacionados	

Tabla 27. REQ-3.5

Requisito REQ-3.5.1	Circuitos de vía
Descripción	Diseño y especificación de los dispositivos de detección de trenes, circuitos de vía, en las zonas de bloque con configuración en vía doble. Incluye: <ul style="list-style-type: none"> • Lazos tipo 'S'. • Lazos de equilibrado de potencial. • Lazos de final.
Observaciones	
Requisitos relacionados	

Tabla 28. REQ-3.5.1

Requisito REQ-3.5.2	Pantallas fijas de límite de cantón
Descripción	Diseño e instalación de pantallas fijas de límite de cantón en los tramos en vía doble de la línea de Alta Velocidad. Estos dispositivos tienen la finalidad de informar



	al maquinista de la ubicación del vehículo cuando se produce la parada del mismo en un tramo en vía doble de la línea. El maquinista así, podrá advertir al puesto de mando de la ubicación del tren.
Observaciones	
Requisitos relacionados	

Tabla 29. REQ-3.5.2

Requisito REQ-3.6	Subsistema vía ERTMS
Descripción	Análisis y especificación del subsistema vía que integra el sistema ERTMS Nivel 2 dentro del bloqueo de la línea de Alta Velocidad. Se describirán y analizarán los dispositivos que integran el subsistema vía ERTMS N2 Incluye: <ul style="list-style-type: none"> • Eurobalizas. • LEUs. • RBC.
Observaciones	Se prestará especial atención al dispositivo RBC ya que constituye uno de los elementos más característicos y principal del sistema de señalización ERTMS Nivel 2.
Requisitos relacionados	

Tabla 30. REQ-3.6

Requisito REQ-3.6.1	Eurobalizas
Descripción	Análisis y especificación de las Eurobalizas instaladas en los tramos de bloqueo de la línea de Alta Velocidad. Se implantarán balizas fijas, que transmiten información al sistema ERTMS de Odometría embarcado como ayuda para la relocalización del tren, y balizas programables.
Observaciones	Las balizas programables se instalan únicamente como mensaje de parada ante señal en rojo.
Requisitos relacionados	

Tabla 31. REQ-3.6.1

Requisito REQ-3.6.2	LEUs
Descripción	Análisis y especificación de los dispositivos <i>Line Encoder Unit</i> (LEUs) instalados en la línea de Alta Velocidad. Estos dispositivos albergarán típicamente la información del conjunto de 4 balizas instaladas en las vías de la línea. A su vez, se conectarán mediante los CLCs al Enclavamiento.
Observaciones	
Requisitos relacionados	

Tabla 32. REQ-3.6.2

Requisito REQ-3.6.3	RBC
Descripción	Análisis y especificación de los dispositivos <i>Radio Block Center</i> (RBC) instalados en la línea de Alta Velocidad. Este elemento propio del sistema de señalización



	ERTMS Nivel 2 proporciona el soporte radio para la comunicación entre el vehículo y los enclavamientos, generando la autoridad de movimiento y monitorizando los movimientos del tren. Incluye la disposición de este equipo en la línea de Alta Velocidad.
Observaciones	Se presta especial atención a la importancia y relevancia de este dispositivo dentro del sistema de señalización ERTMS Nivel 2.
Requisitos relacionados	

Tabla 33- REQ-3.6.3

Requisito REQ-3.7	Detectores
Descripción	Especificación y diseño de los dispositivos instalados en la línea de Alta Velocidad con finalidad de: <ul style="list-style-type: none"> ○ Medidores de la velocidad del viento. ○ Detectores de caída de objetos en las vías de la línea.
Observaciones	
Requisitos relacionados	

Tabla 34. REQ-3.7

Requisito REQ-3.7.1	Viento
Descripción	Diseño e implantación en la línea de Alta velocidad de detectores de velocidad del viento en zonas con viaductos y túneles instalados. Estas zonas provocan un comportamiento particular del viento que influye en la dinámica del tren a su paso por ellas. La información obtenida por los detectores de viento se manda al puesto de mando, y es el operador el que, en función del valor del viento, decide tomar medidas no se automatiza en el enclavamiento.
Observaciones	La disposición de los detectores de viento en la línea debe venir acompañado de un estudio meteorológico para definir el comportamiento del viento en la zona por donde discurre la línea. Este estudio no se contempla en este proyecto.
Requisitos relacionados	

Tabla 35. REQ-3.7.1

Requisito REQ-3.7.2	Caída de objetos
Descripción	Diseño e instalación en la línea de Alta Velocidad de detectores de caída de objetos. Se situarán, principalmente, en zonas donde existe un paso superior a la línea del tren para localizar la posible caída de objetos en las vías de la misma.
Observaciones	También, se han dispuesto estos detectores a lo largo de la línea debido a que ésta discurre por zonas montañosas y se quiere asegurar la localización de caída de material montañoso.
Requisitos relacionados	

Tabla 36. REQ-3.7.2



Requisito REQ-3.8	Estudio de costes
Descripción	Se realizará el estudio en costes de la instalación del sistema ERTMS Nivel 2 en la línea de Alta Velocidad. Este estudio en costes incluye todos los dispositivos instalados en los tramos seleccionados de la línea.
Observaciones	Este estudio se realiza para la posterior comparación con la instalación del sistema ERTMS Nivel 3 en la misma línea diseñada.
Requisitos relacionados	

Tabla 37. REQ-3.8

Requisito	REQ-4
Descripción	Diseño y especificación del sistema de señalización ERTMS Nivel 3 en el bloqueo de la línea de Alta Velocidad, incluyendo: <ul style="list-style-type: none"> • Funcionalidad del sistema. • Equipamiento en vía. • Equipamiento del sistema ERTMS Nivel 3. Se analiza su aplicación en tramos de vía única y en tramos en vía doble. Incluye el análisis en coste de su instalación.
Observaciones	
Requisitos relacionados	

Tabla 38. REQ-4

Requisito	REQ-4.1
Descripción	Análisis de la funcionalidad del sistema ERTMS Nivel 3 en la línea de Alta Velocidad diseñada. Descripción del modo de funcionamiento por cantón móvil, <i>moving block</i> , del sistema ERTMS Nivel 3
Observaciones	
Requisitos relacionados	

Tabla 39. REQ-4.1

Requisito	REQ-4.2
Descripción	Diseño y especificación del equipamiento en vía implantado en el diseño de la línea de Alta Velocidad.
Observaciones	Debido al control de la integridad del tren embarcado en el Nivel 3 para la detección del tren, no se realiza la instalación de circuitos de vía.
Requisitos relacionados	

Tabla 40. REQ-4.2

Requisito	REQ-4.2.1
Descripción	Diseño y especificación de los elementos del sistema ERTMS Nivel 3 implantados en el diseño de la línea de Alta Velocidad. Incluye: <ul style="list-style-type: none"> • Eurobalizas de datos fijos • RBC
Observaciones	



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA - ICAI
Grado en Ingeniería Electromecánica
Proyecto Fin de Grado.

Capítulo 4: Requisitos funcionales

Requisitos relacionados	
-------------------------	--

Tabla 41. REQ-4.2.1

Requisito	REQ-4.3
Descripción	Se realizará el estudio en costes de la instalación del sistema ERTMS Nivel 3 en la línea de Alta Velocidad. Este estudio en costes incluye todos los dispositivos instalados en los tramos seleccionados de la línea.
Observaciones	Este estudio se realiza para la posterior comparación con la instalación del sistema ERTMS Nivel 2 en la misma línea diseñada.
Requisitos relacionados	

Tabla 42. REQ-4.3



Capítulo 5 Capacidad de transporte

Este capítulo recoge el estudio de la capacidad de transporte de la línea de alta velocidad objeto de este proyecto, buscando un ahorro significativo en la construcción de la plataforma e infraestructura para responder a la demanda de un reducido tiempo de viaje que lo haga atractivo y coherente con lo esperado a un ferrocarril moderno y que en el futuro pueda requerir mayor capacidad de transporte y desdoblamiento a vía doble.

Debido a la configuración en vía única, la capacidad de transporte se ve limitada por lo que la realización de este estudio permite determinar si ésta será suficiente, proponiéndose pequeñas alternativas de mejora.

Se describen los puntos característicos de la línea, así como su configuración indicando los tramos donde es posible el cruzamiento de trenes.

El análisis de la capacidad de transporte se ha llevado a cabo mediante la simulación aproximada del movimiento de los trenes en sentido ida y sentido vuelta a lo largo de la línea completa.

Con objeto de validar los resultados obtenidos en el análisis simplificado que se muestra a continuación, se realizará la simulación del movimiento de los trenes a lo largo de unos tramos seleccionados de la línea aplicando las ecuaciones dinámicas que intervienen en él.

Para ello, se realiza el estudio y análisis de la dinámica del tren y se implementa un modelo simplificado para obtener el perfil de velocidad de los vehículos en su movimiento.

5.1 Análisis simplificado de la capacidad de transporte

Como se comentó anteriormente, se ha realizado la simulación aproximada del movimiento de los trenes en sentido ida y sentido vuelta a lo largo de la línea completa.

La velocidad de marcha de los trenes será de 300 km/hora. En el paso por la vía desviada de los desvíos se ha limitado a 220 km/hora, siendo la deceleración aplicada de 0.5 m/s^2 .

Se han señalado los distintos puntos de interés en el estudio de la capacidad de la línea, por puntos con sus puntos kilométricos correspondientes en la Tabla 43:

Punto	PK
0	0
1	23.26
3	69.09
4	69.20
5	69.92
6	69.93
7	89.35
8	90.08
9	115.00
10	115.30
11	165.63
12	166.20



13	209.50
14	209.91
15	247.98
16	248.06
17	249.26
18	249.91
19	295.06
20	295.20
21	331.00

Tabla 43. Configuración de la línea de AV

La Figura 22 representa el esquema de la línea completa objeto del estudio de la capacidad de transporte.

Los tramos señalados en azul comprenden las zonas en las que se permite la simultaneidad entre trenes en las zonas de vía doble. En éstas se tiene en cuenta la longitud del tren (S/130, TALGO-BOMBARDIER, en doble composición), 400 metros, y una distancia de frenado de los vehículos de 10 kilómetros.

Esta distancia tiene en cuenta:

- Velocidad máxima de 300 km/hora.
- Deceleración del tren de $0,5 \text{ m/s}^2$
- Tiempos de reacción del maquinista y de los equipos.
- Factor de seguridad (1.3 valor recomendado)

Por lo que se asegura la no colisión de los trenes a su marcha por la línea diseñada.

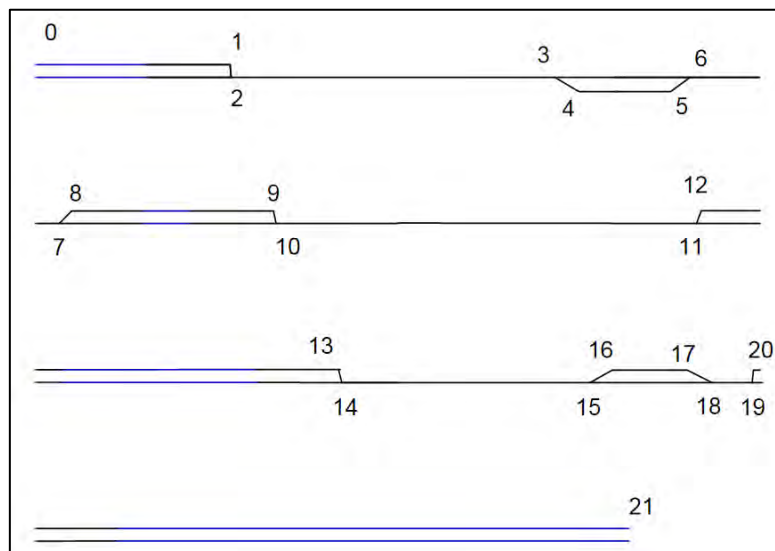


Figura 22. Configuración línea de Alta Velocidad

A continuación se muestra, Tabla 44, los tramos formados por los puntos señalados en el esquema de la vía, Figura 22, y el tipo de configuración de cada uno de ellos:

Vía única	2-3	6-7	10-11	14-15	18-19
Vía doble	0-1	4-5	12-13	16-17	20-21

Tabla 44. Clasificación línea según tipo de configuración



Las zonas en las que puede existir simultaneidad corresponden con los siguientes kilómetros, Tabla 45:

PK (desde/hasta),km	0/13.15	100.8/105.0	172.6/199.0	305.0/331.0
---------------------	---------	-------------	-------------	-------------

Tabla 45. Zonas de cruce permitido

- Cálculos de distancias de aceleración y frenado.

Para el cálculo estimado de las distancias de aceleración y frenado de los vehículos se va a suponer en una primera aproximación que los mismos circulan a una velocidad máxima de 300km/hora, y que la deceleración media equivalente es 0.5 m/seg^2 (6480 km/h^2).

En los puntos en los que los vehículos deben cambiar de vía doble a vía única, y viceversa (paso por la desviada de los desvíos), se va a suponer que la velocidad máxima permitida para ese cambio es de 220 km/hora.

El tiempo necesario para pasar de 330 km/hora a 220 km/hora será:

$$t = \frac{300 - 220}{6480} = 0,012345679 \text{ horas} = 44.44 \text{ segundos.}$$

Las distancias de aceleración y deceleración de los trenes se calculan como:

$$d_{frenado} = 300 * t + \frac{6480 * t^2}{2}, \text{ desde } 300 \text{ km/hora.}$$

$$d_{aceleración} = 220 * t + \frac{6480 * t^2}{2}, \text{ desde } 220 \text{ km/hora.}$$

Las distancias de frenado y la longitud equivalente del tren ya están incluidas en las zonas posibles de cruce de los trenes como se mencionó anteriormente.

Por lo tanto, los trenes seguirán el siguiente movimiento: circularán a 300 km/hora comenzando en el tramo 0. Al aproximarse al tramo 1, reducirán su velocidad desde 300 km/hora a 220 km/hora en un tiempo 't', requiriendo una distancia 'd_{frenado}'. El vehículo cambiará de vía doble a vía única entre el tramo 1 y 2 y una vez rebasado éste último acelerará durante un tiempo 't' en una distancia 'd_{aceleración}' hasta 300 km/hora continuando por el tramo a esta velocidad hasta el próximo cambio de configuración de vía.

La secuencia descrita anteriormente entre los tramos 0-1, 1-2, 2-3 se repite hasta que el vehículo finaliza su recorrido al llegar al tramo 21.

Debido a que las zonas comprendidas por los tramos 3-4, 4-5, 5-6 y 15-16, 16-17, 17-18 se corresponden con PAETs, se supone que los vehículos no realizarán cambio de vía en ellos; aunque sí se han tenido en cuenta en el estudio para poder realizar parada de los trenes. Esta parada se puede tener en cuenta a la hora de que exista retraso en los itinerarios y sea necesario realizar estacionamientos de los trenes.

Para obtener la capacidad de transporte de la línea se han llevado a cabo distintas combinaciones de horarios de salida desde cada extremo de la línea para que los vehículos se cruzaran en los tramos en los que éste está permitido y sea posible. La solución obtenida se



muestra en los siguientes gráficos.

Es importante destacar que para obtener los itinerarios que se describen a continuación, el tren correspondiente a 'ida' recorrerá la vía de forma que siga el camino por vía única y cuando se encuentre en zona de vía doble realizará siempre el desvío por la desviada.

Por otro lado, el tren de vuelta recorrerá la línea circulando siempre por la vía directa de los desvíos.

El siguiente gráfico, Figura 23, muestra los recorridos de los trenes en sentido de ida y sentido de vuelta según el kilómetro en el que se encuentra cada vehículo. La secuencia se repite hasta la hora en la que se desee que sea el último trayecto.

Ninguno de estos trenes requiere parar, pero el cambio en alguno de los horarios de los itinerarios sí lo implicaría, ya que en algunos puntos (que se describen más adelante) los cruces se producen justo a la distancia de seguridad de frenado. Es por esto por lo que si se produjese algún cambio o retraso en alguno de los itinerarios el resultado obtenido quedaría afectado.

El hecho de producirse retraso en alguno de los itinerarios a recorrer no se estudia dentro de este análisis ya que no es requisito de este proyecto.

Debido a la disposición de las zonas de vía doble y única, la solución óptima encontrada implica más trenes de ida que de vuelta. Este hecho resulta lógico aunque la solución no es aceptable, ya que debe existir el mismo número de trenes en sentido ida que en sentido vuelta.

Los puntos en los que se cruzan los trenes se muestran en la Tabla 46. La I corresponde a los trenes de ida y la V a los de vuelta. Los números representan el orden de salida desde cada lugar:

Trenes	I1-V1	I2-V1	I2-V2	I3-V2	I4-V2	I4-V3	I5-V3	I6-V3	I7-V4
Cruce (PK)	178	102	307	194	105	305	190	105	305

Tabla 46. Cruzamiento de trenes

Por último, el gráfico correspondiente a la Figura 24 es el mismo recorrido realizado por los trenes, pero en lugar de indicar el PK en el que se encuentran, se muestra el tramo por el que están circulando para su mejor visualización.

La representación del recorrido de los trenes en este gráfico difiere de la anterior debido a que el eje de los tramos no se encuentra a escala. Las partes del recorrido que se muestran prácticamente horizontal no representan la parada de los vehículos, sino que esas zonas atravesadas por la marcha del tren tienen distancias considerablemente menores que las de otras zonas.



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA - ICAI
 Grado en Ingeniería Electromecánica
 Proyecto Fin de Grado.

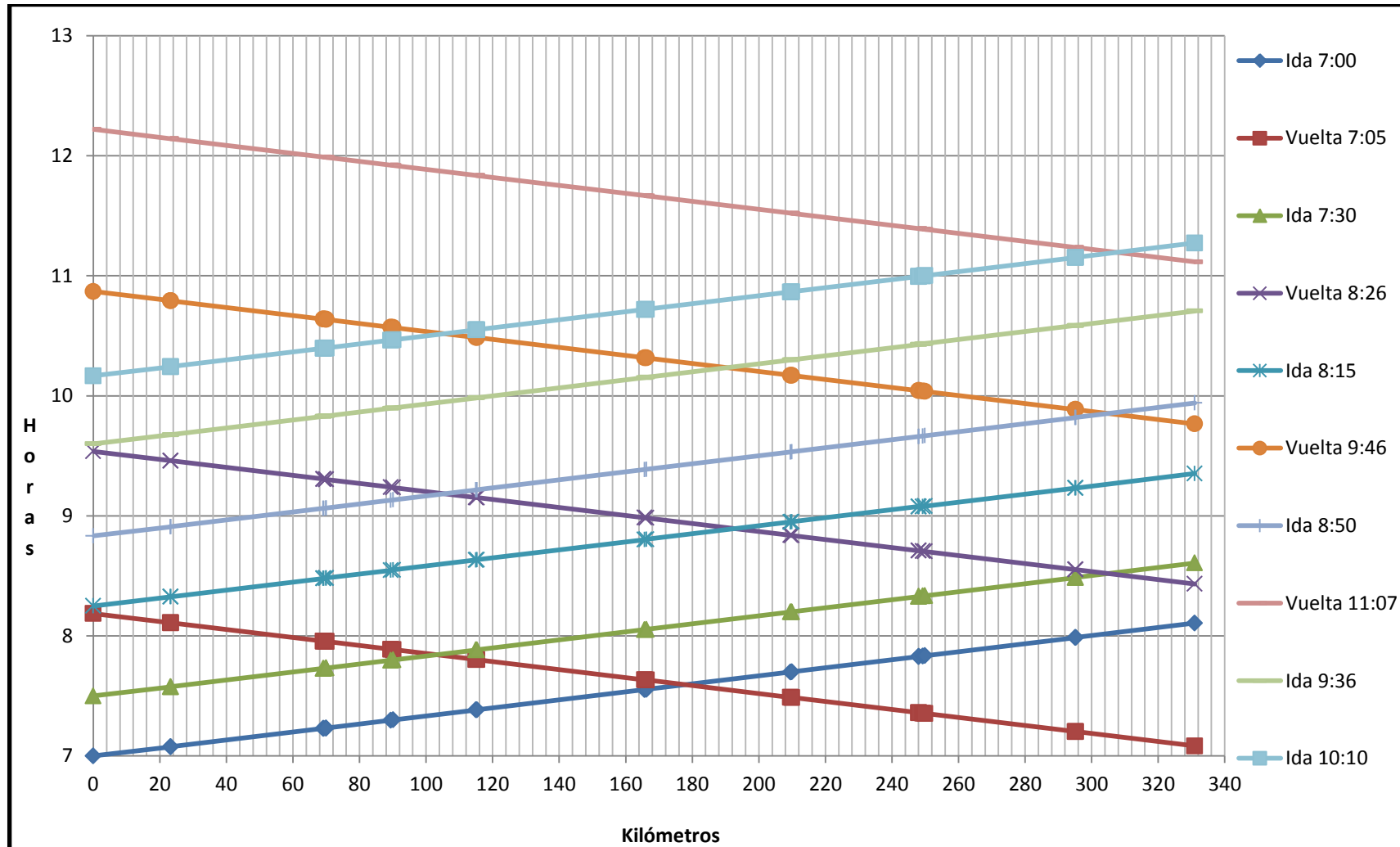


Figura 23. Gráfico itinerarios según PK



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA - ICAI
 Grado en Ingeniería Electromecánica
 Proyecto Fin de Grado.

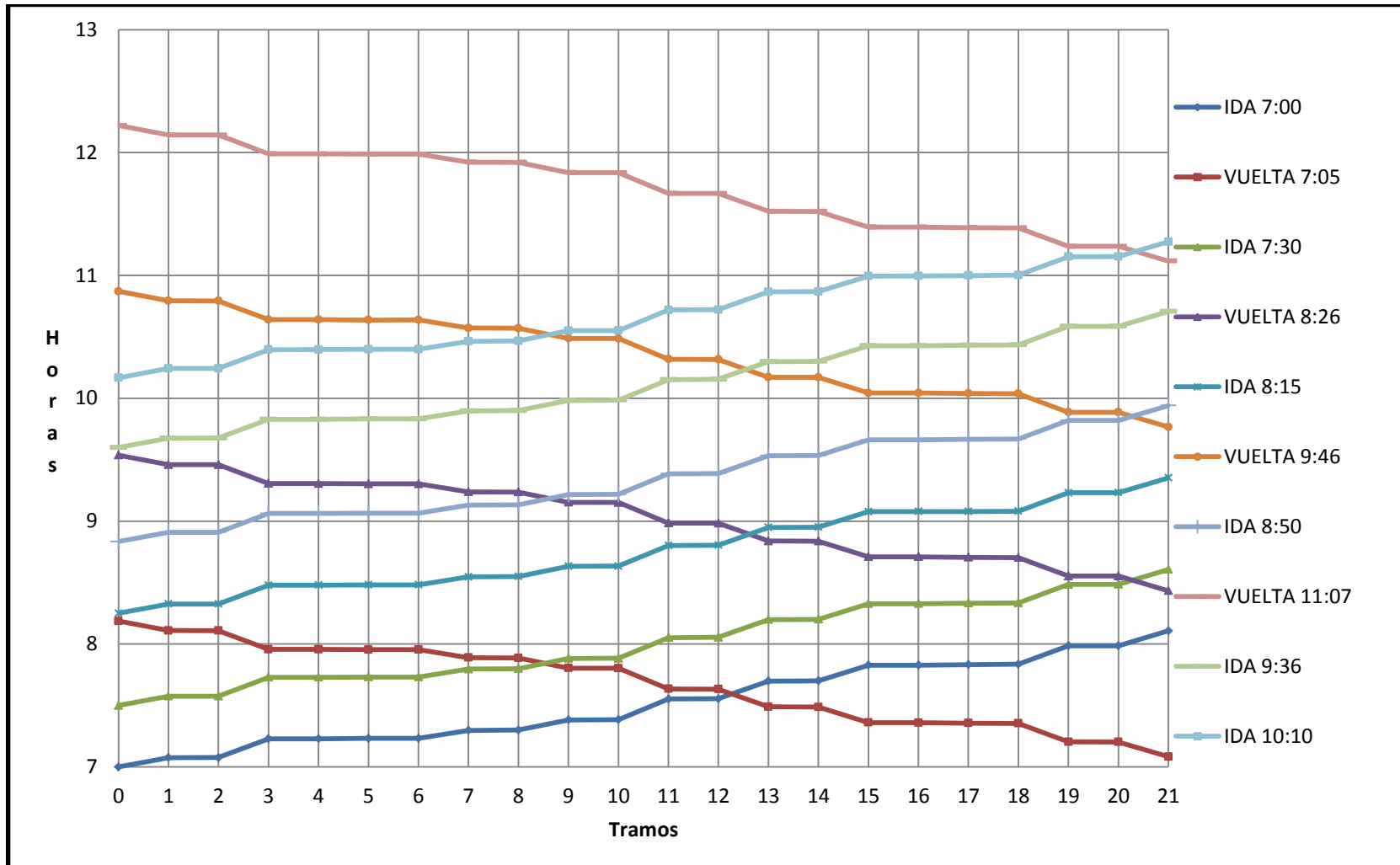


Figura 24. Gráfico itinerarios según tramo



5.1.1 Conclusiones y mejoras.

En base a los resultados obtenidos y teniendo en consideración que dentro de la planificación de los itinerarios en las circulaciones de trenes de AVE es recomendable que exista el mismo número de trenes de ida que de vuelta dentro de la línea, el resultado final que se obtiene se puede visualizar en el siguiente gráfico, Figura 25.

Finalmente, se concluye con que la capacidad de la línea descrita es de 11 trenes sentido ida y 11 trenes sentido vuelta desde las 7:05 hasta las 20:58 horas. Esto es, 0.78 trenes/hora en sentido ida, al igual que de vuelta, 1.57 trenes/hora considerando ambos sentidos.

Esta capacidad de transporte se considera adecuada para la zona donde se va a destinar el diseño de la línea, ya que la demanda esperada de viajeros no se corresponde con un número elevado de trayectos.

La capacidad de transporte en el caso de la instalación del sistema ERTMS Nivel 3 no se vería modificada debido a la configuración en vía única de la línea de alta velocidad, ya que este tipo de configuración imposibilita el cruzamiento de trenes en sentido de marcha opuesto y la distancia de separación entre trenes para impedir el choque frontal establecida ha sido la distancia de frenado de los trenes.



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA - ICAI
 Grado en Ingeniería Electromecánica
 Proyecto Fin de Grado.

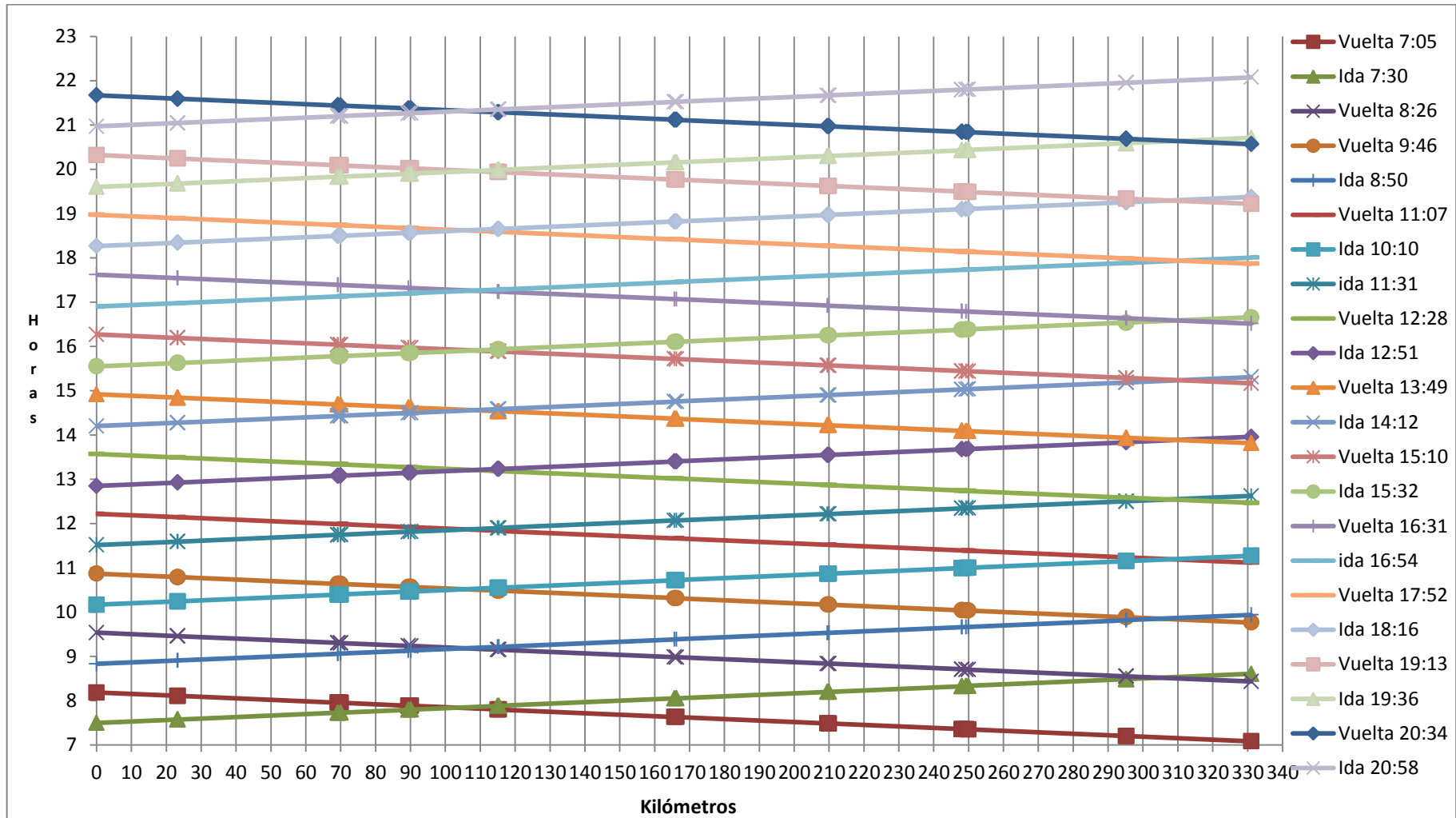


Figura 25. Gráfico capacidad máxima de la línea de AV



En vista a los resultados obtenidos, la secuencia en los itinerarios recorridos por los trenes se repite de forma indefinida hasta la hora en la que se desee establecer el último itinerario.

Este hecho posibilita introducir variantes dentro de la configuración de la línea para aumentar la capacidad o adecuarla a una capacidad menor en horas concretas del día.

Para aumentar la capacidad de la línea, introduciendo un tren más de ida y otro tren más de vuelta aproximadamente media hora más tarde después de las salidas establecidas en los itinerarios resultado del análisis anterior, bastaría con aumentar la longitud del PAET diseñado entre los puntos 15-16-17-18, aumentar la longitud del tramo 0-1 y aumentar la longitud del tramo 8-9. Esta modificación implicaría aumentar la capacidad de transporte de la línea al doble. Estas modificaciones se explican a continuación para su mejor comprensión y visualización.

Al introducir esta modificación en los itinerarios de salida desde ambos puntos de la línea, los nuevos puntos de cruzamiento introducidos por los nuevos itinerarios serían, denominando el itinerario nuevo de ida a las 8:00 como NI1, al itinerario nuevo de vuelta a las 7:40 como NV2, al itinerario nuevo de ida a las 9:21 NI2 y al itinerario nuevo de vuelta a las 9:10 NV2:

- Cruzamiento de los trenes NI1-V1: PK 30, razón por la cual debería aumentarse la longitud del tramo 0-1 hasta 30 kilómetros.
- Cruzamiento de los trenes NI1-V2: PK 23, razón por la cual debería aumentarse la longitud de los tramos descritos anteriormente, hasta 30 kilómetros.
- Cruzamiento de los trenes I1-NV2: PK 190, que no implica modificación de la vía.
- Cruzamiento de los trenes NI1-VI: PK 115, razón por la que debería aumentarse la longitud del punto 9 en 10 kilómetros.
- Cruzamiento de los trenes NI2-NV2: PK 110, posibilitando el cruzamiento con el aumento descrito en el punto anterior.
- Cruzamiento de los trenes NI2-V3: PK 230, que no implica modificación de la vía.
- Cruzamiento de los trenes NI1-NV2: PK 316, que no implica modificación de la vía.
- Cruzamiento de los trenes I2-NV2: PK 190, que no implica modificación de la vía.

Esta modificación puede observarse en el siguiente gráfico, Figura 26:

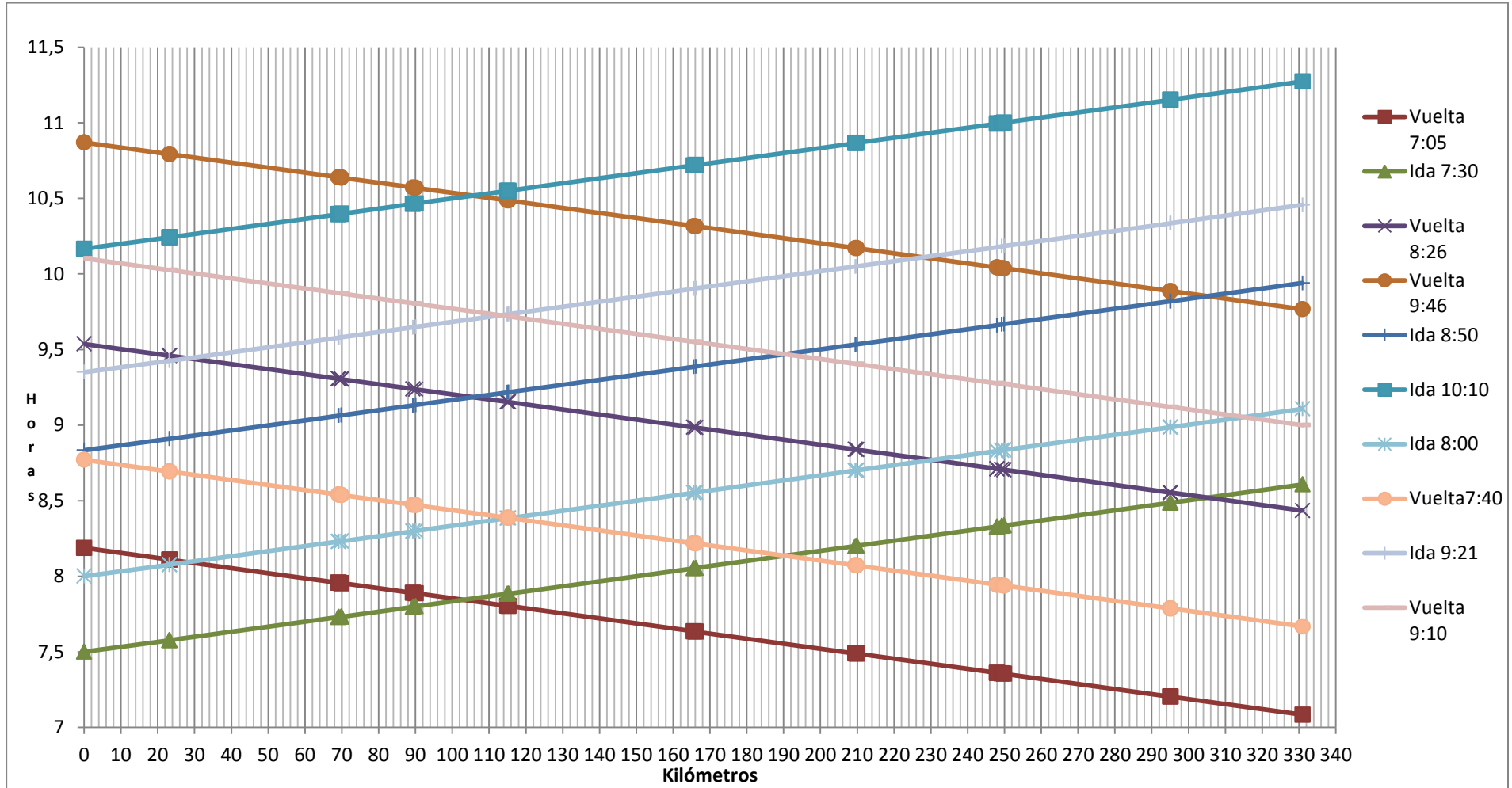


Figura 26. Gráfico itinerario de trenes en línea mejorada.



5.2 Dinámica del tren.

Con el objetivo de validar los resultados indicados en el punto anterior, se ha procedido a realizar un gráfico de marcha del tren elegido. Para ello se ha analizado el comportamiento dinámico del tren según se explica a continuación. [GARC06].

Al actuar sobre una masa, m del tren, una fuerza neta longitudinal, éste experimenta una aceleración, o variación de velocidad, según la segunda ley de Newton o principio fundamental de la dinámica.

El comportamiento dinámico del tren se basa en la siguiente ecuación:

$$F = m \cdot a$$

Las fuerzas que actúan en el movimiento de los trenes pueden ser positivas, si favorecen a su desplazamiento, o negativas, si se oponen al mismo. Por lo tanto, la ecuación anterior puede expresarse de la siguiente manera, siendo T el esfuerzo de tracción generado por el tren y R las fuerzas resistivas que impiden su movimiento:

$$T - R = m \cdot a$$

Estas fuerzas a su vez pueden ser provocadas por el propio tren, fuerzas activas, como son los esfuerzos de tracción o frenado, o independientes de la acción del vehículo, como son las resistencias al avance o las fuerzas longitudinales debidas a la gravedad, fuerzas pasivas.

Las fuerzas que se van a tener en cuenta en este estudio son las fuerzas proyectadas sobre el plano longitudinal definido por sentido del tren sobre el eje de la vía, pero no así las fuerzas transversales ya que son independientes al movimiento longitudinal del tren. Estas fuerzas sobre el eje transversal, perpendicular al eje longitudinal y normal a la vía, así como las fuerzas verticales perpendiculares al plano que forman los carriles se tienen en consideración en el cálculo de las infraestructuras que no es objeto de este estudio.

Si la resultante de las fuerzas de la ecuación anterior es nula, sistema en equilibrio, el tren se encontrará circulando a una velocidad constante.

Si por otro lado, las proyecciones de todas las fuerzas en el plano longitudinal dan como resultado una resultante positiva, el tren se encontrará acelerando.

Por último, el tren disminuirá su velocidad si la resultante de las fuerzas que actúan sobre él es negativa.

5.2.1 Tracción y frenado

Las fuerzas de tracción y frenado de tren son los esfuerzos que éste realiza para aumentar, en el primer caso, o disminuir, en el segundo, la velocidad de marcha.

En este estudio se va a considerar que cuando se produce un esfuerzo de tracción no podrá efectuarse fuerza de frenado. Este razonamiento se basa en el hecho de que la simultaneidad de ambos esfuerzos no es posible debido a las condiciones de diseño de los equipos de los trenes y no ocupa parte del análisis a realizar.

En el caso que la fuerza de actuación sea la tracción, se considera al tren en estado de tracción. Por el contrario, si el tren está frenado es debido a la aplicación del esfuerzo de frenado. Cuando



el tren no ejerce ninguna fuerza se encuentra en deriva.

La fuerza de tracción de los trenes viene definida por el fabricante en una serie de curvas para cada vehículo, que varían en función del régimen de trabajo del mismo (serie, paralelo. serie-paralelo).

Estas curvas, Figura 27, relacionan el esfuerzo máximo de tracción con la velocidad.



Figura 27. Curvas típicas de esfuerzo de tracción

La potencia del vehículo condiciona el esfuerzo de tracción que el tren va a aplicar según la siguiente fórmula:

$$F_t = \frac{P_t * 100 * 3.6}{V}$$

donde:

F_t : esfuerzo tracción en daN.

P_t : potencia motores tracción en kW

V: Velocidad en km/h

Por otro lado, la fuerza de frenado aplicada por el tren depende de los frenos empleados para esta acción: freno de emergencia, máximo y para condiciones extraordinarias, y freno de servicio, empleado en la marcha normal del tren.

Las curvas de frenado de los vehículos se fijan según la línea por la que éstos circulan para reducir la velocidad en coherencia con la señalización instalada en la vía.

5.2.2 Resistencias al avance

La resistencia al avance es la resultante de las fuerzas en contra del movimiento del tren en dirección longitudinal. Estas fuerzas son de distinta naturaleza, como pueden ser los rozamientos de los elementos del propio tren o los rozamientos entre los carriles y las ruedas, como la resistencia aerodinámica, de especial importancia en la alta velocidad, o como la fuerza necesaria para la refrigeración de los motores.

La resistencia al avance que experimenta un tren al desplazarse puede ser de dos tipos: resistencia al avance en recta, en función del tipo de vehículo, o resistencia al avance debida a la configuración de la vía curva.

La primera se define en vía horizontal y recta y es debida al rozamiento entre ruedas y cojinetes, a la fricción de los cojinetes, a movimientos anormales tales como sacudidas u oscilaciones, entre otros.

La segunda es debida al rozamiento de la rueda externa sobre el carril cuando el tren atraviesa



una curva.

- **Resistencia al avance en recta:** siempre de valor negativo al oponerse al sentido de marcha del tren está determinada por parámetros del tren y la velocidad del mismo como se expresa en la siguiente ecuación:

$$R_{ar} = -(A + B * V + C * V^2)$$

Donde:

R_{ar} : resistencia al avance en recta en daN

A, B y C son coeficientes que dependen del vehículo y se miden respectivamente en DaN, daN/(km/h) y daN/(km/h)², Tabla 47.

V: Velocidad en km/h

La resistencia al avance en recta incluye, en su expresión, la resistencia mecánica, derivada del rozamiento y pérdidas de energía, la resistencia al avance debida a la entrada de aire, para la refrigeración de motores y renovación de aire, y la resistencia aerodinámica, como resultado de la interacción entre el aire y el tren.

Tren	Masa t	Coeficientes absolutos			Coeficientes específicos		
		A daN	B daN/km/h	C daN/(km/h) ²	a daN/t	b daN/[km/h]	c daN/[km/h] ²
Trenes convencionales							
Locomotora tipo BB	80	100	0,8	0,0300	1,25	0,01000	3,75x10 ⁻⁴
Locomotora tipo CC	120	150	1,2	0,0300	1,20	0,01000	2,5x10 ⁻⁴
2 Loc+6 coches	400	462	3,90	0,0906	1,15	0,00975	2,875x10 ⁻⁴
Clásico viajeros	Variable	/	/	/	1,5 a 2	0	2,222x10 ⁻⁴
Mercancías bogies	Variable	/	/	/	1,5 a 2	0	2,500x10 ⁻⁴
Clásico mercancías	Variable	/	/	/	1,5 a 2	0	6,250x10 ⁻⁴
Trenes autopropulsados de viajeros							
TRD	99	157	0,26	0,035	1,59	0,00268	3,57x10 ⁻⁴
Alaria	177	355	3,19	6,63	2,50	0,9	3,75x10 ⁻⁴
Trenes de alta velocidad							
TGV Sud Est	418	235	3,09	0,0535	0,562	0,00739	1,280x10 ⁻⁴
TGV Réseau	416	270	3,30	0,0510	0,649	0,00793	1,226x10 ⁻⁴
TGV Atlantique	490	380	3,90	0,0565	0,776	0,00796	1,153x10 ⁻⁴
TGV Duplex	424	270	3,20	0,0535	0,637	0,00755	1,262x10 ⁻⁴
ICE 3 Regional (4c)	231	170	1,51	0,0341	0,735	0,00654	1,474x10 ⁻⁴
AVE	416	292	3,84	0,0498	0,702	0,00923	1,198x10 ⁻⁴
Talgo 350 (a 102)	357	282	2,22	0,0529	0,790	0,00622	1,482x10 ⁻⁴
ICE 3 (S 103)	426	312	2,24	0,0521	0,733	0,00525	1,223x10 ⁻⁴

Tabla 47. Parámetros característicos de los trenes

- **Resistencia al avance en curva:** debida principalmente a que, al despejarse por una curva, las ruedas del tren van a la misma velocidad, pero la externa recorre mayor distancia.

El valor de esta fuerza viene determinado por la siguiente expresión (siendo el ancho de vía 1.435 mm):

$$R_{ac} = -m * \frac{600}{R}$$

Donde:

R_{ac} : resistencia al avance en curva en daN



m: masa del tren en toneladas
R. radio de la curva en metros

- Resistencia al avance debido a la fuerza de la gravedad: si dentro de la configuración de la vía existen desniveles, se ejercerá sobre el tren una fuerza de sentido opuesto a su marcha, negativa, cuando exista rampa, o en sentido de marcha, positiva, si se da pendiente, según la siguiente expresión:

$$R_{ag} = \pm m * g * i$$

Donde:

R_{ag} : resistencia al avance debida a la gravedad en daN

m : masa del tren en toneladas

i . Inclinación de la rampa o pendiente, en mm/m

5.2.3 Adherencia

El concepto de adherencia en el ferrocarril goza de gran importancia debido a que condiciona el par motor, y por lo tanto el esfuerzo de tracción, del tren para que no exista deslizamiento entre las ruedas y el carril. Así pues, la adherencia marca el límite de la fuerza de tracción máxima que se puede transmitir.

Se define el coeficiente estático de adherencia para velocidad nula, μ_o , para cada locomotora, que oscila entre 0.22 para locomotoras de motor en corriente continua y sin equipo de patinaje y 0.4 para trenes con motor trifásico y equipos anti patinaje, y en base a éste se obtiene el coeficiente de adherencia a una velocidad determinada mediante la siguiente fórmula¹:

$$\mu_v = \mu_o \left(0.2115 + \frac{32}{V + 42} \right)$$

Donde $\mu_v < 1$ y se expresa en tanto por ciento o en forma de cociente en tanto por uno.

Para que las ruedas del tren no patinen sobre los carriles, la fuerza de tracción debe ser menor que el peso del vehículo multiplicado por el coeficiente de adherencia, por lo que a mayor masa apoyada sobre las ruedas, mayor será la adherencia entre rueda y carril. Este concepto se expresa:

$$\mu = \frac{E_t}{m * g}$$

Donde:

μ : coeficiente de adherencia

m : masa adherente del tren

E_t : esfuerzo de tracción máximo

De forma análoga, la adherencia puede expresarse como el cociente entre el esfuerzo de freno aplicado por el tren, en lugar del esfuerzo de tracción aplicado por el tren como se muestra en la fórmula anterior, y la fuerza debida a su propia masa.

¹ Función obtenida de la norma técnica de Renfe para la determinación de cargas máximas.



Es por esto por lo que la adherencia puede considerarse como la efectividad de un tren para utilizar su peso a la tracción o al freno sin que las ruedas patinen sobre los carriles.

Este coeficiente adimensional aumenta o disminuye según sean las condiciones de la propia locomotora, buena/mala suspensión o instalación de equipos electrónicos de tracción, según sean las condiciones de la vía por la que circula el tren, estado superficial del carril o carriles soldados, o según sean las condiciones climatológicas, carril limpio muy lavado.

5.2.4 Síntesis del modelo y simplificaciones

El comportamiento dinámico del tren se basa en fuerzas que favorecen el movimiento del mismo y resistencias que se oponen al desplazamiento en el sentido de marcha del vehículo como se ha descrito en los apartados anteriores.

Para poder implementar en un modelo este comportamiento ha sido necesario realizar algunas simplificaciones.

La fuerza neta que experimenta el tren se va a expresar como la suma de fuerzas positivas y negativas.

Las fuerzas positivas están determinadas por la fuerza de tracción que provoca el tren y la resistencia al avance debido a la gravedad cuando existe pendiente, que no rampa.

El resto de resistencias, resistencia al avance en recta, resistencia al avance en curva, resistencia al avance debido al efecto de la gravedad en rampa junto con el esfuerzo de frenado aplicado por el tren, constituyen las fuerzas negativas, opuestas al movimiento del tren.

A continuación se muestran las ecuaciones que intervienen en el comportamiento dinámico del tren.

$$F = F^+ - F^-$$

$$F^+ = E_t + R_{ag}^+$$

$$F^- = E_f + R_{ag}^- + R_{ac} + R_{ar}$$

Donde:

$$\text{Esfuerzo de tracción: } E_t = m * g * \mu_v$$

$$\text{Resistencia debida a gravedad por pendiente: } R_{ag}^+ = m * g * i_p$$

$$\text{Esfuerzo de frenado: } E_f = m * g * \mu_v$$

$$\text{Resistencia debida a gravedad por rampa: } R_{ag}^- = m * g * i_r$$

$$\text{Resistencia al avance en curva: } R_{ac} = m * \frac{600}{R}$$

$$\text{Resistencia al avance en recta: } R_{ar} = a + b * V + c * V^2$$

Para poder implantar el modelo dinámico del tren se han tomado simplificaciones a la hora de simular el mismo:

- Las resistencias debidas al efecto de la gravedad en rampa y en pendiente no se han

tenido en cuenta a la hora de implantar el modelo dinámico del tren ya que, al no disponerse de los datos necesarios de perfil de vía, se ha supuesto una marcha en horizontal.

- La resistencia debida al avance del tren sobre curva no presenta valores significativos que influyan en el comportamiento dinámico del tren, ya que las curvas diseñadas en las vías de alta velocidad presentan radios de curvatura muy elevados. Según las normativas de RENFE: NRV 02000, NRV 0201, los radios mínimos exigidos son, Tabla 48:

Radio mínimo a cumplir según normativa RENFE		
Velocidad (km/h)	Ancho de vía (mm)	Radio mínimo (m)
140	1668	1.000
160	1668	1.300
200	1668	2.000
200*	1435	2.100
250*	1435	3.300
300*	1435	4.700

Tabla 48. Radios mínimos de curva según normativa RENFE

, por lo que para la línea diseñada con velocidades de hasta 350 km/hora el radio mínimo sería de 4.700 metros.

Debido a la poca influencia de esta resistencia en el comportamiento dinámico del tren, se ha decidido simplificar el modelo no incluyendo la resistencia debida al avance en curva.

- En el análisis realizado en este proyecto, todas las unidades se expresan en sistema internacional, SI, y los coeficientes que intervienen en las ecuaciones: a, b, c y μ_v son adimensionales.
- La máxima velocidad a la que circulan los trenes a lo largo de la línea diseñada no excederá los 300km/hora.
- Los pasos de trenes sobre desvíos se realizarán a 300 km/hora, aunque el máximo permitido es 350 km/hora, por vía directa y a 220 km/hora por desviada.
- No se permite el estacionamiento prolongado de ningún tren a lo largo de las estaciones que forman parte de la línea diseñada; los trenes recorrerán la línea completa en ambos sentidos.
- El programa utilizado para implantar el modelo dinámico del tren y simular su comportamiento sobre la línea diseñada ha sido Matlab.
- Se introducen en el modelo restricciones de velocidad según se encuentre el tren en un tramo u otro de la línea: paso por vía directa o paso por desviada.
- Los tramos seleccionados para simular el comportamiento del tren son los mismos utilizados en el Capítulo 6. Diseño de la aplicación: Línea de Alta Velocidad en vía única.

Estos tramos incluyen el paso por dos estaciones, una al comienzo del trayecto y otra al final del mismo, siendo el bloqueo en configuración de vía única y con un PAET delimitado por ambas estaciones.

A continuación se muestra un esquema de los tramos descritos, Figura 28:

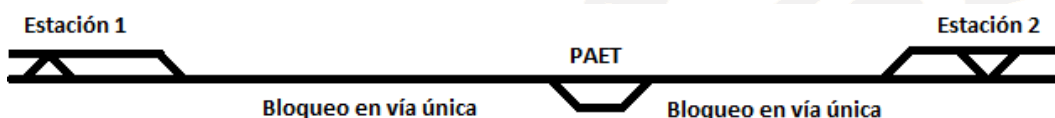


Figura 28. Configuración de los tramos seleccionados



El modelo utilizado para la simulación del comportamiento dinámico se recoge a continuación:

$$F = F^+ - F^-$$

$$F^+ = E_t, F^- = E_f + R_{ar},$$

Siendo:

$$\text{Esfuerzo de tracción: } E_t = m * g * \mu_v$$

Donde:

m: masa del tren en kilogramos

g: gravedad en m/s^2

μ_v : coeficiente de adherencia adimensional

$$\text{Esfuerzo de frenado: } E_f = m * g * \mu_v$$

Donde:

m: masa del tren en kilogramos

g: gravedad en m/s^2

μ_v = coeficiente de adherencia adimensional

$$\mu_v = \mu_o \left(0.2115 + \frac{32}{V * 3.6 + 42} \right)$$

Donde:

V: velocidad en m/s

$$\text{Resistencia al avance en recta: } R_{ar} = \frac{M}{100} * (a + b * V * 3.6 + c * V^2 * 3.6^2)$$

Donde:

a, b y c: coeficientes característico del tren adimensionales

V: velocidad del tren en m/s

5.2.5 Perfil de velocidad.

El resultado de la simulación incluye el perfil de velocidad descrito por la marcha del tren a lo largo de los tramos seleccionados.

Se simula la marcha del tren a lo largo de los tramos descritos en la Figura 28, por lo que el recorrido teórico sería:

- 1) Aceleración desde estacionamiento hasta velocidad máxima, 300 km/hora.



- 2) Movimiento a velocidad constante de 300 km/hora a lo largo de la estación 1.
- 3) Deceleración desde 300 km/hora hasta 220 km/hora debido al paso del tren por la vía desviada del desvío de la estación 1.
- 4) Movimiento a velocidad constante de 220 km/hora por la vía desviada.
- 5) Aceleración desde 220 km/hora a 300 km/hora en la incorporación al bloqueo en vía única.
- 6) Movimiento a velocidad constante de 300 km/hora por el bloqueo en vía única.
- 7) Deceleración desde 300 km/hora hasta 220 km/hora debido al paso del tren por la vía desviada del desvío que forma parte del PAET.
- 8) Movimiento a velocidad constante de 220 km/hora por la vía desviada del PAET.
- 9) Aceleración desde 220 km/hora a 300 km/hora.
- 10) Movimiento a velocidad constante de 300 km/hora en el paso del tren por la vía del PAET.
- 11) Deceleración desde 300 km/hora hasta 220 km/hora debido al paso del tren por la vía desviada del desvío que forma parte del PAET.
- 12) Movimiento a velocidad constante de 220 km/hora por la vía desviada del PAET.
- 13) Aceleración desde 220 km/hora a 300 km/hora en la incorporación al bloqueo en vía única.
- 14) Movimiento a velocidad constante de 300 km/hora en el paso del tren por el bloqueo en vía única.
- 15) Deceleración desde 300 km/hora hasta 220 km/hora debido al paso del tren por la vía desviada del desvío que forma parte de la estación 2.
- 16) Movimiento a velocidad constante de 220 km/hora por la vía desviada del desvío de la estación 2.
- 17) Aceleración desde 220 km/hora a 300 km/hora.
- 18) Movimiento a velocidad constante de 300 km/hora en el paso del tren por la estación 2.

Este recorrido puede visualizarse en la Figura 29 con el perfil estático de velocidad incluido, que coincide con la marcha aproximada que se simuló en el estudio de la capacidad de transporte de la línea.

Comparando ambos perfiles, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- El perfil estático no muestra la primera aceleración del tren desde estacionamiento hasta 300 km/hora, pero en la simulación aproximada realizada sí se tuvo en cuenta el tiempo necesario para el cambio de velocidad en este punto.
El tiempo teórico para acelerar desde estacionamiento hasta 300 km/hora es de 166.67 segundos, que coincide con el tiempo mostrado en el perfil de velocidad del gráfico 32, aproximadamente de 160 segundos.
- El tiempo teórico para producirse la deceleración desde 300 km/hora a 220 km/hora, calculado en el apartado anterior, es de 44.44 segundos. Éste coincide con el tiempo teórico para acelerar desde 220 km/hora hasta 300 km/hora.
El gráfico muestra un tiempo aproximado de 25 segundos como tiempo real en la deceleración y de 40 segundos en la aceleración real.
El primero de los tiempos dista más del tiempo teórico, 44.44 segundos, debido a la ayuda que ofrecen las fuerzas resistivas al frenado del tren en su comportamiento dinámico y que no se tuvo en cuenta en la simulación aproximada del estudio de la capacidad de la línea.
Pero, por otro lado, el tiempo real necesario para acelerar desde 220 km/hora hasta 300 km/hora sí coincide con el tiempo teórico de 44.44 segundos.



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA - ICAI
Grado en Ingeniería Electromecánica
Proyecto Fin de Grado.

Capítulo 5: Capacidad de transporte

- El recorrido teórico descrito anteriormente coincide con el movimiento del tren mostrado en el gráfico del perfil de velocidad.
El movimiento descrito en puntos 1) al 6) no queda reflejado en el perfil real de velocidad debido a que la distancia de la que dispone el tren para efectuar los cambio de velocidad no es suficiente para llegar a los 300 km/hora antes del primer desvío.
El resto de movimientos descritos en los puntos del 6) al 18) quedan relegados en el perfil real de velocidad coincidiendo con la marcha aproximada del estudio de la capacidad de transporte de la línea.

Por lo tanto, según las conclusiones extraídas, se comprueba y valida el análisis simplificado realizado anteriormente ya que ambos perfiles coinciden, Figura 29.

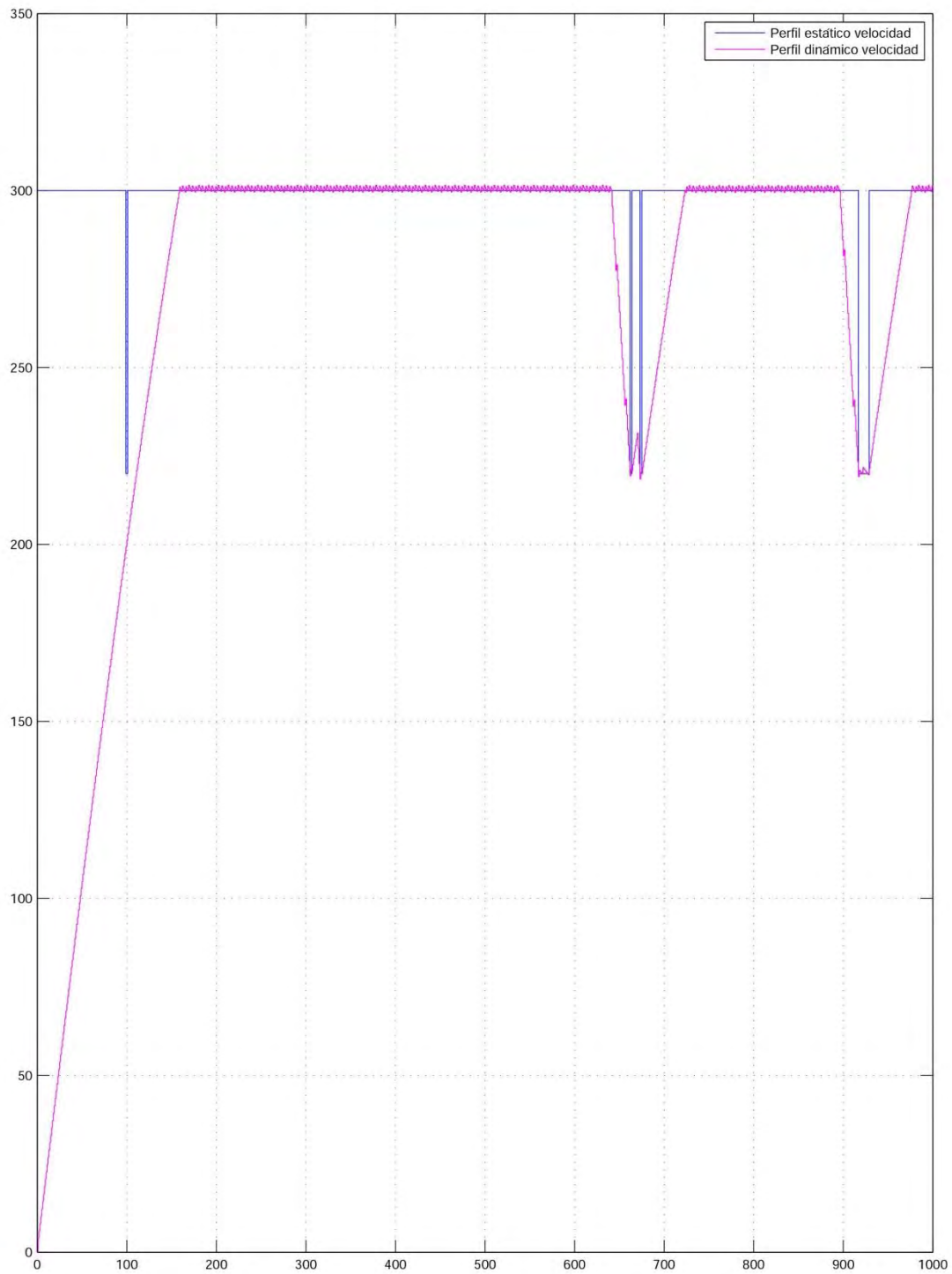


Figura 29. Gráfico del perfil de velocidad: Velocidad (km/hora)-Tiempo (segundos)



Capítulo 6 *Diseño de la aplicación: Línea de Alta Velocidad en vía única.*

Este capítulo recoge el estudio y diseño del sistema de señalización aplicado en el diseño de la línea de alta velocidad con configuración en vía única objeto de este proyecto. Incluye el diseño de los sistemas de enclavamiento y bloqueo de unos tramos concretos de la línea.

La realización de este capítulo se apoya en la teoría descrita en los capítulos Capítulo 2. Sistema de señalización: Enclavamiento y bloqueo y Capítulo 3. Sistema ERTMS-ETCS. Así, se recurrirá a estos capítulos para apoyar las decisiones de diseño llevadas a cabo en la realización de este capítulo.

La estructura de este capítulo se apoya en dos grandes bloques:

- Diseño de los sistemas de señalización en las zonas controladas por enclavamientos.

Se describe y especifica el proyecto funcional del enclavamiento, incluyendo la señalización lateral aplicada a los enclavamientos, los itinerarios posibles dentro de las zonas de estaciones junto con los cuadros de movimientos, el estudio e implantación de los cuadros de incompatibilidades propios de cada enclavamiento y los planos con todos los equipos de señalización y conexiones dentro de los enclavamientos.

Por otro lado, se realiza el estudio de los aparatos de vía implantados en estas zonas, principalmente constituidos por desvíos, así como la descripción y especificación de los accionamientos que permiten los movimientos de los desvíos aplicados a los enclavamientos.

Se diseñan y especifican los equipos destinados a la detección de trenes en las zonas de estaciones. Éstos están compuestos por sensores de ruedas, aplicados en las zonas de desvíos y por circuitos de vía, implantados en las vías que forman las zonas de estaciones.

Por último se describen y diseñan las conexiones propias de cada enclavamiento, así como las conexiones entre balizas y el enclavamiento y los interfaces del sistema ERTMS.

- Diseño de los sistemas de bloqueo con la aplicación del sistema ERTMS Nivel 2.

La línea de alta velocidad diseñada en este proyecto está equipada con el sistema de señalización y control de tráfico ERTMS Nivel 2.

Se estudian los equipos del Nivel 2 instalados en las zonas de bloqueo de vía única y en los de vía doble, aportando los planos completos de ambas zonas, así como los equipos necesarios en el diseño de la línea con Nivel 3, aunque el diseño final de la línea se realiza con el sistema ERTMS Nivel 2.

Se realiza un estudio en costes de la línea equipada con el sistema ETCS Nivel 2 y por último, se comparará en costes la misma línea equipada con el sistema ETCS Nivel 3.

Los tramos seleccionados para este estudio contienen tres enclavamientos: dos estaciones al

principio y fin de la selección y un PAET delimitado por ambas estaciones.
A continuación, Figura 30, se muestra un esquema de la situación de estos tres enclavamientos a lo largo de los tramos seleccionados:

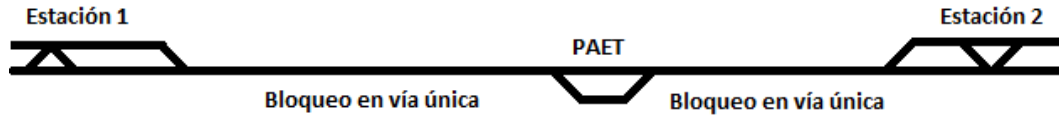


Figura 30 Esquema del diseño de la aplicación

6.1 Enclavamientos

El principal objetivo del enclavamiento es garantizar la seguridad de los movimientos de los trenes a lo largo de su zona de influencia.

El diseño de los enclavamientos seleccionados en este capítulo sigue la siguiente secuencia:

- 1) Diseño del proyecto funcional del enclavamiento.
El proyecto funcional del enclavamiento es parte esencial de su diseño, ya que establece, entre otros, los movimientos posibles dentro de las zonas controladas, así como los cuadros de incompatibilidades. Éstos últimos deben estudiarse en profundidad y de forma exhaustiva, ya que permiten el funcionamiento seguro del enclavamiento.
- 2) Diseño y especificación de los aparatos de vía.
Los movimientos posibles dentro de las zonas controladas por el enclavamiento son realizados mediante los aparatos de vía.
Se ha decidido aplicar desvíos como aparatos de vía para permitir seleccionar rutas concretas dentro del enclavamiento, y éstos irán acompañados de accionamientos.
- 3) Diseño y especificación de los equipos de detección de trenes.
Se diseñan los equipos destinados a ofrecer la información acerca de la localización de los trenes dentro de las zonas controladas por el enclavamiento.
Éstos estarán definidos por circuitos de vía y sensores de rueda.
- 4) Diseño de las conexiones-interfaces.
Por último, se diseñan las conexiones existentes dentro de las zonas controladas por los enclavamientos.
Se debe mencionar que este diseño únicamente define los tipos de conexiones existentes, sin entrar en el diseño interno de cada una de ellas ya que no es objeto de este proyecto.

6.1.1 Proyecto funcional

El proyecto funcional de un enclavamiento establece la base para el correcto funcionamiento del mismo. El análisis del proyecto funcional sigue la siguiente estructura:

- ❖ Planos de vía y aparatos: Señalización lateral.
- ❖ Rutas o itinerarios.
- ❖ Deslizamiento.



- ❖ Protección de flacos.
- ❖ Cuadro de movimientos e incompatibilidades.

En los siguientes apartados se desarrolla cada una de las partes que integran el proyecto funcional de cada enclavamiento.

6.1.1.1 Señalización lateral

La señalización lateral aplicada en los enclavamientos se ha diseñado con señales laterales tipo leds.

Las ventajas del uso de esta tecnología son:

- Alta fiabilidad.
- Larga vida útil.
- Bajo mantenimiento.

Pero, por otro lado, la utilización de los diodos leds para la señalización introduce el inconveniente de aumentar la complejidad para verificar la pérdida de luminosidad. Estos es, definir el número de diodos fundidos límite que hacen considerar a la señal como fundida.

El diseño y especificación del equipamiento de señalización lateral incluye funcionamiento degradado en caso de que los equipos del sistema ERTMS estén averiados, pudiendo producir situaciones características de conducción manual como pueden ser actuaciones manuales en las estaciones o el rebase de señales.

Los sistemas de señalización lateral deben seguir permitiendo la circulación en condiciones plenamente seguras de los trenes autorizados a circular en situaciones degradadas definidas.

6.1.1.1.1 Señalización entrada/salida estaciones

Las señales que controlan la entrada a las estaciones son del tipo alta de 5 focos con azul. Esto es, incorporan los aspectos:

- Azul fijo + Rojo: autorización de movimiento para trenes Nivel 2.
- Azul destellante + Rojo: autorización de movimiento para trenes Nivel 1/2.
- Verde: autorización de movimiento para trenes ASFA/Nivel 1/Nivel 2.
- Verde intermitente: vía libre condicional. Ordena al maquinista a no exceder de 160 km/h al pasar la siguiente señal.
- Verde + amarillos: Anuncio precaución. Ordena al maquinista a no exceder de 30 km/h al pasar por el siguiente desvío o señal.
- Amarillo fijo: anuncio de parada. Ordena al maquinista ponerse en condiciones de parar ante la siguiente señal.
- Amarillo intermitente: anuncio de parada inmediata. Ordena al maquinista ponerse en condiciones de parar ante la señal siguiente, situada a corta distancia.
- Rojo: parada. Ordena al maquinista para ante la señal sin rebasarla.
- Rojo + blanco: rebase autorizado. Ordena circular en marcha de maniobras hasta el punto de estacionamiento o final de vía o hasta la señal siguiente de la propia estación sin rebasar el límite de maniobras.

Para mejorar la visibilidad del maquinista, a esta señal le precede la señal avanzada únicamente

con dos aspectos: verde para señal de entrada verde o amarillo, y amarillo para señal de entrada roja. Esta señal debe situarse a una distancia tal que permita el frenado del tren y viene dada por la siguiente ecuación:

$$D_f = \frac{V_o^2 - V_f^2}{2d}$$

Donde,

d: deceleración

V_o : velocidad en el momento de aplicar el freno

V_f : velocidad en el momento de liberar el freno

Así, si los trenes circulan a 300 km/h, aplicando una deceleración de 0.8 m/s², se determina que la distancia de frenado necesaria para parar el vehículo ante la señal, y por lo tanto la distancia a la que ubicar las señales es 4.340,28 metros.

La señalización utilizada para la salida de las estaciones es señal alta de 4 focos, no incluyendo el aspecto amarillo.

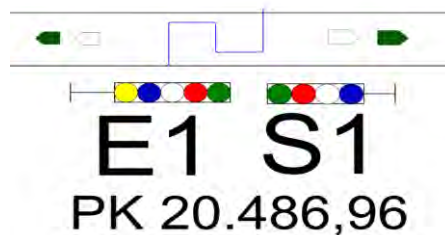


Figura 31. Señalización lateral entrada/salida de estaciones

6.1.1.1.2 Señales salida vías

Las señales utilizadas en la salida de las vías de las estaciones son señales altas de 4 focos o tipo alta de 5 focos.

Las señales tipo alta de 5 focos, incluyendo el foco amarillo, están ubicadas en las vías que permiten el paso automático del tren. Esto es, los trenes tienen la posibilidad de continuar la marcha sin necesidad de parar en la estación.

La secuencia de aspectos seguida por la señalización de salida de vía es la misma que la descrita en las señales de entrada/salida de las estaciones en el caso de señales altas de 5 focos.

Por otro lado, la señalización alta de 4 focos no incluye el aspecto amarillo, por lo que su secuencia de aspectos no dispone de los aspectos que incluyen este color descritos en el epígrafe anterior.

A continuación, Figura 32, se representa este tipo de señales utilizadas en la salida de vía:



Figura 32. Señalización lateral salida de las vías

6.1.1.1.3 Señales maniobra

Las zonas destinadas a maniobra dentro de las estaciones llevan incorporadas señales bajas de dos focos, rojo y blanco. Estas son, Figura 33:

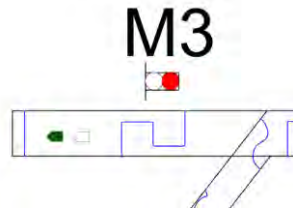


Figura 33. Señalización lateral de maniobra

6.1.1.1.4 Señales indicadoras de agujas.

Las zonas de desvíos dentro de las estaciones llevan incorporadas pantallas alfanuméricas indicadoras de la posición de las agujas. La simbología utilizada para la representación de este tipo de señal se muestra en la Figura 34:

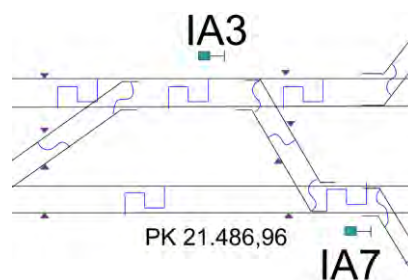


Figura 34. Señalización lateral indicadora de posición de agujas

6.1.1.2 Itinerarios

El itinerario de un tren es la ruta o recorrido que recorre al entrar, salir o circular por una estación o bifurcación. Estos itinerarios se han calificado en este estudio de la siguiente manera:

- Itinerario de entrada, recorrido desde la señal de entrada hasta el estacionamiento en una vía, limitado por la señal de salida.

- Itinerario de salida, ruta desde la señal de salida hasta la entrada en el bloqueo.
- Itinerario de paso directo, circulación desde una señal de entrada hasta la señal de salida de la estación o bifurcación.

La ruta asegurada engloba la ruta desde la señal que autoriza el movimiento hasta la señal que lo limita por delante, en la que todos sus elementos han sido correctamente enclavados. Cabe destacar, que los itinerarios establecidos en un primer momento de aplicación de la línea serán pasos directos, aunque en los cuadros de movimientos se analizan todos los posibles movimientos dentro de cada uno de los enclavamientos que forman parte de la línea diseñada.

A continuación se muestran los cuadros de posibles movimientos de cada uno de los enclavamientos diseñados en la línea, incluyendo la descripción del movimiento así como las señales que lo delimitan, y los cuadros de incompatibilidades de cada uno de los enclavamientos.

Se incluye el plano de cada uno de los enclavamientos para su mejor visualización.

Por otro lado, se incluyen los cuadros de incompatibilidades de cada enclavamiento.

Las incompatibilidades reflejadas en estos cuadros incluyen:

- Protección de flanco
- Protección por condición
- Protección por posición de agujas

La protección por deslizamiento no se incluye finalmente en los cuadros de incompatibilidades de este proyecto por su dificultad a la hora de aplicar el concepto teórico a la práctica del enclavamiento.

En el diseño de un enclavamiento se debe asegurar la seguridad del movimiento de los trenes a lo largo del mismo sin que se aproximen más de lo necesario ni se crucen. Por ello, se establecen los cuadros de incompatibilidades donde se reflejan los distintos itinerarios y sus incompatibilidades entre ellos.

Las incompatibilidades debidas a la posición de las agujas o a protección de flanco se representan con una X, mientras que las debidas a alguna condición, como puede ser la circulación en sentido contrario, se simbolizan con una O.

6.1.1.2.1 Enclavamiento número 1.

Se especifican y diseñan los cuadros de movimientos e incompatibilidades del enclavamiento número 1.

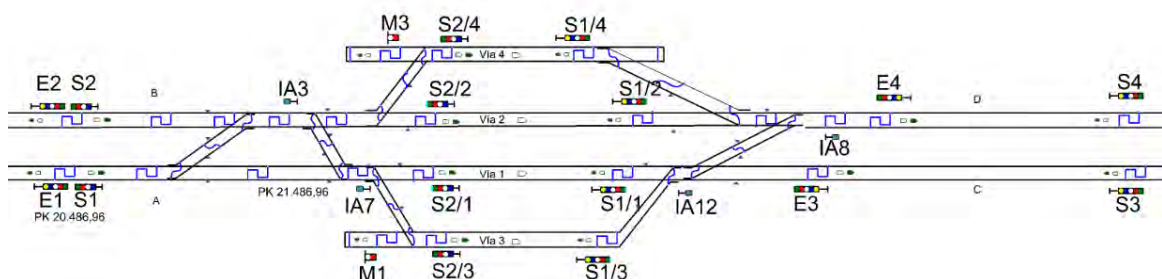


Figura 35. Diseño enclavamiento número 1



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA - ICAI

Grado en Ingeniería Electromecánica

Proyecto Fin de Grado.

Capítulo 6: Diseño de la aplicación: Línea de Alta Velocidad en vía única

Este enclavamiento cuenta con cuatro zonas de entrada/salida como son A, B, C y D y cuatro vías en su diseño: vía 1, vía 2, vía 3 y vía 4, por lo que permite una gran cantidad de movimientos posibles.

Éstos se muestran en la Tabla 49.

Cuadros de movimientos. Enclavamiento número 1			
Identificación	Descripción	Señal de entrada	Señal de salida
1	Entrada desde 'A' a vía 1.	E1	S1/1
2	Entrada desde 'A' a vía 2.	E1	S1/2
3	Entrada desde 'A' a vía 3.	E1	S1/3
4	Entrada desde 'A' a vía 4.	E1	S1/4
5	Entrada desde 'B' a vía 1.	E2	S1/1
6	Entrada desde 'B' a vía 2.	E2	S1/2
7	Entrada desde 'B' a vía 3.	E2	S1/3
8	Entrada desde 'B' a vía 4.	E2	S1/4
9	Entrada desde 'C' a vía 1.	E3	S2/1
10	Entrada desde 'C' a vía 3.	E3	S2/2
11	Entrada desde 'D' a vía 1.	E4	S2/1
12	Entrada desde 'D' a vía 2.	E4	S2/2
13	Entrada desde 'D' a vía 3.	E4	S2/3
14	Entrada desde 'D' a vía 4.	E4	S2/4
15	Salida de vía 1 hacia 'A'.	S2/1	S1
16	Salida de vía 2 hacia 'A'.	S2/2	S1
17	Salida de vía 3 hacia 'A'.	S2/3	S1
18	Salida de vía 4 hacia 'A'.	S2/4	S1
19	Salida de vía 1 hacia 'B'.	S2/1	S2
20	Salida de vía 2 hacia 'B'.	S2/2	S2
21	Salida de vía 3 hacia 'B'.	S2/3	S2
22	Salida de vía 4 hacia 'B'.	S2/4	S2
23	Salida de vía 1 hacia 'C'.	S1/1	S3
24	Salida de vía 3 hacia 'C'.	S1/2	S3
25	Salida de vía 1 hacia 'D'.	S1/1	S4
26	Salida de vía 2 hacia 'D'.	S1/2	S4
27	Salida de vía 3 hacia 'D'.	S1/3	S4
28	Salida de vía 4 hacia 'D'.	S1/4	S4
29	Paso de 'A' a 'C' por vía 1.	E1	S3
30	Paso de 'A' a 'C' por vía 3.	E1	S3
31	Paso de 'A' a 'D' por vía 1.	E1	S4
32	Paso de 'A' a 'D' por vía 2.	E1	S4
33	Paso de 'A' a 'D' por vía 3.	E1	S4
34	Paso de 'A' a 'D' por vía 4.	E1	S4
35	Paso de 'B' a 'C' por vía 1.	E2	S3
36	Paso de 'B' a 'C' por vía 3.	E2	S3
37	Paso de 'B' a 'D' por vía 1.	E2	S4
38	Paso de 'B' a 'D' por vía 2.	E2	S4



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA - ICAI
Grado en Ingeniería Electromecánica
Proyecto Fin de Grado.

Capítulo 6: Diseño de la aplicación: Línea de Alta Velocidad en vía única

39	Paso de 'B' a 'D' por vía 3.	E2	S4
40	Paso de 'B' a 'D' por vía 4.	E2	S4
41	Paso de 'C' a 'A' por vía 1.	E3	S1
42	Paso de 'C' a 'A' por vía 3.	E3	S1
43	Paso de 'C' a 'B' por vía 1.	E3	S2
44	Paso de 'C' a 'B' por vía 3.	E3	S2
45	Paso de 'D' a 'A' por vía 1.	E4	S1
46	Paso de 'D' a 'A' por vía 2.	E4	S1
47	Paso de 'D' a 'A' por vía 3.	E4	S1
48	Paso de 'D' a 'A' por vía 4.	E4	S1
49	Paso de 'D' a 'B' por vía 1.	E4	S2
50	Paso de 'D' a 'B' por vía 2.	E4	S2
51	Paso de 'D' a 'B' por vía 3.	E4	S2
52	Paso de 'D' a 'B' por vía 4.	E4	S2

Tabla 49. Cuadros de movimientos del enclavamiento número 1

Por otro lado, el enclavamiento número 1 cuenta con 7 zonas donde está permitido el desvío de trenes, por lo que al enclavar una ruta dentro del enclavamiento, muchos de los movimientos posibles descritos en su cuadro de movimiento serán incompatibles con esa ruta. Los cuadros de incompatibilidades se muestran en la Tabla 50.

6.1.1.2.2 Enclavamiento número 2.

La configuración del enclavamiento número 2 es más sencilla que la del resto de enclavamientos, ya que corresponde con un PAET.

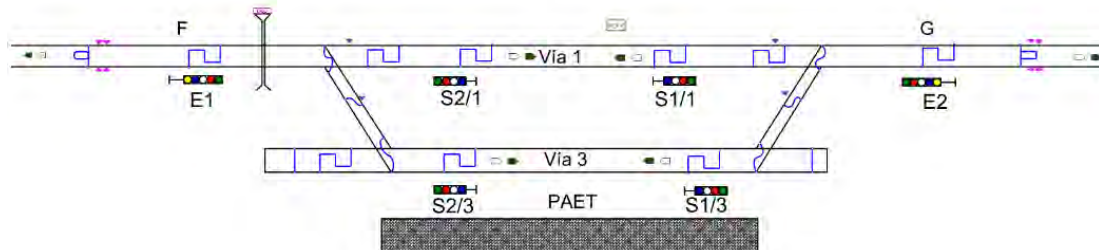


Figura 36. Diseño enclavamiento número 2

Este enclavamiento cuenta con dos zonas de entrada/salida del PAET: F y G y con dos vías en su configuración: vía 1 y vía 3.

Debido a la configuración en vía única de la línea, si se enclava una ruta de paso directo en el PAET no existe señal de salida, ya que no estará permitida la circulación de otro tren en marcha contraria.

En la Tabla 51 se muestran los cuadros de movimientos del enclavamiento número 2.

Cuadros de movimientos. Enclavamiento número 2			
Identificación	Descripción	Señal de entrada	Señal de salida
1	Entrada desde 'F' a vía 1.	E1	S1/1
2	Entrada desde 'F' a vía 3.	E1	S1/3
3	Entrada desde 'G' a vía 1.	E2	S2/1
4	Entrada desde 'G' a vía 3.	E2	S2/3
5	Salida de vía 1 hacia 'F'.	S2/1	-
6	Salida de vía 1 hacia 'G'.	S1/1	-
7	Salida de vía 3 hacia 'F'.	S2/3	-
8	Salida de vía 3 hacia 'G'.	S1/3	-
9	Paso de 'F' a 'G' por vía 1.	E1	-
10	Paso de 'F' a 'G' por vía 3.	E1	-
11	Paso de 'G' a 'F' por vía 1.	E2	-
12	Paso de 'G' a 'F' por vía 3.	E2	-

Tabla 51. Cuadros de movimientos del enclavamiento número 2

Los cuadros de incompatibilidades de este enclavamiento se realizan de forma sencilla debido a su simple configuración y a la disposición en vía única y se muestran en la Tabla 52.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1		X	X		O		X			X	O	X
2	X			X	X		O		X		X	O
3	X			X	X		O		X		X	O
4		X	X			X		O	X	O	X	
5	O	X	X				X		O	X		X
6				X				X		X	O	X
7	X	O	O		X				X	O	X	
8				O		X			X		X	O
9		X	X	X	O		X	X		X	O	X
10	X			O	X	X	O		X		X	O
11	O	X	X	X		O	X	X	O	X		X
12	X	O	O		X	X		O	X	O	X	

Tabla 52. Cuadro incompatibilidades enclavamiento número 2

6.1.1.2.3 Enclavamiento número 3.

La configuración del enclavamiento número 3 es similar a la del enclavamiento número 1, por lo que su cuadro de movimientos e incompatibilidades diseñados contienen gran cantidad de movimientos.

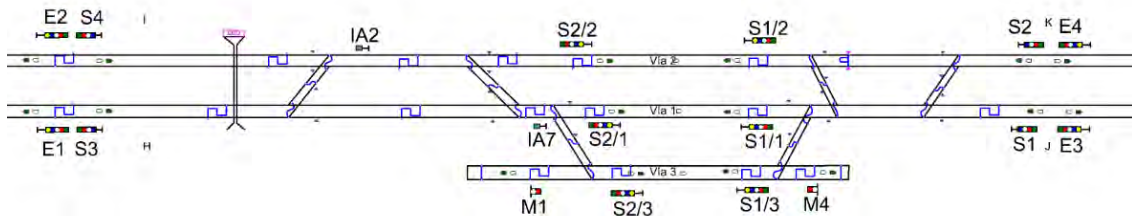


Figura 37. Diseño enclavamiento número 3

Este enclavamiento contiene cuatro zonas de entrada/salida como son: H, I, J y K y configuración con tres vías: vía 1, vía 2 y vía 3.

La Tabla 53 muestra el cuadro de movimientos del enclavamiento número 3 y la Tabla 54 muestra las incompatibilidades definidas en este enclavamiento.

Cuadros de movimientos. Enclavamiento número 3			
Identificación	Descripción	Señal de entrada	Señal de salida
1	Entrada desde 'H' a vía 1.	E1	S1/1
2	Entrada desde 'H' a vía 2.	E1	S1/2
3	Entrada desde 'H' a vía 3.	E1	S1/3
4	Entrada desde 'I' a vía 1.	E2	S1/1
5	Entrada desde 'I' a vía 2.	E2	S1/2
6	Entrada desde 'I' a vía 3.	E2	S1/3



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA - ICAI

Grado en Ingeniería Electromecánica

Proyecto Fin de Grado.

Capítulo 6: Diseño de la aplicación: Línea de Alta Velocidad en vía única

7	Entrada desde 'J' a vía 1.	E3	S2/1
8	Entrada desde 'J' a vía 2.	E3	S2/2
9	Entrada desde 'J' a vía 3.	E3	S2/3
10	Entrada desde 'K' a vía 1.	E4	S2/1
11	Entrada desde 'K' a vía 2.	E4	S2/2
12	Entrada desde 'K' a vía 3.	E4	S2/3
13	Salida de vía 1 hacia 'H'.	S2/1	S3
14	Salida de vía 1 hacia 'I'.	S2/1	S4
15	Salida de vía 1 hacia 'J'.	S2/2	S1
16	Salida de vía 1 hacia 'K'.	S2/2	S2
17	Salida de vía 2 hacia 'H'.	S2/2	S3
18	Salida de vía 2 hacia 'I'.	S2/2	S4
19	Salida de vía 2 hacia 'J'.	S1/2	S1
20	Salida de vía 2 hacia 'K'.	S1/2	S2
21	Salida de vía 3 hacia 'H'.	S2/3	S3
22	Salida de vía 3 hacia 'I'.	S2/3	S4
23	Salida de vía 3 hacia 'J'.	S1/3	S1
24	Salida de vía 3 hacia 'K'.	S1/3	S2
25	Paso de 'H' a 'J' por vía 1.	E1	S1
26	Paso de 'H' a 'J' por vía 2.	E1	S1
27	Paso de 'H' a 'J' por vía 3.	E1	S1
28	Paso de 'H' a 'K' por vía 1.	E1	S2
29	Paso de 'H' a 'K' por vía 2.	E1	S2
30	Paso de 'H' a 'K' por vía 3.	E1	S2
31	Paso de 'I' a 'J' por vía 1.	E2	S1
32	Paso de 'I' a 'J' por vía 2.	E2	S1
33	Paso de 'I' a 'J' por vía 3.	E2	S1
34	Paso de 'I' a 'K' por vía 1.	E2	S2
35	Paso de 'I' a 'K' por vía 2.	E2	S2
36	Paso de 'I' a 'K' por vía 3.	E2	S2
37	Paso de 'J' a 'H' por vía 1.	E3	S3
38	Paso de 'J' a 'H' por vía 2.	E3	S3
39	Paso de 'J' a 'H' por vía 3.	E3	S3
40	Paso de 'J' a 'I' por vía 1.	E3	S4
41	Paso de 'J' a 'I' por vía 2.	E3	S4
42	Paso de 'J' a 'I' por vía 3.	E3	S4
43	Paso de 'K' a 'H' por vía 1.	E4	S3
44	Paso de 'K' a 'H' por vía 2.	E4	S3
45	Paso de 'K' a 'H' por vía 3.	E4	S3
46	Paso de 'K' a 'I' por vía 1.	E4	S4



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA - ICAI
Grado en Ingeniería Electromecánica
Proyecto Fin de Grado.

Capítulo 6: Diseño de la aplicación: Línea de Alta Velocidad en vía única

47	Paso de 'K' a 'I' por vía 2.	E4	S4
48	Paso de 'K' a 'I' por vía 3.	E4	S4

Tabla 53. Cuadro de movimientos enclavamiento número 3



6.1.1.3 Planos

La selección de tramos escogidos para el análisis en este capítulo incluye tres enclavamientos. Los planos de vías, incluyendo los equipos del sistema de señalización, así como las conexiones e interfaces propias de cada enclavamiento se muestran en el anexo II. Planos.

6.1.2 Aparatos de vía

Los aparatos de vía son los equipos que permiten la continuidad de la vía para una ruta establecida. Sus accionamientos son de vital importancia para la seguridad en la circulación de los vehículos a lo largo de la línea.

Las operaciones de mover, cambiar o cruzar los trenes por las vías para poder seguir la ruta establecida la realizan los aparatos de vía.

Estos dispositivos diseñados en la línea de alta velocidad de este proyecto son los desvíos y éstos deben responder a las exigencias de explotación de la línea donde estén instalados.

Por otro lado, los accionamientos permiten los movimientos de los aparatos de vía para lograr su finalidad.

La autorización de un movimiento sobre un desvío debe estar precedida de la comprobación, enclavamiento y encerrojo de la aguja que lo forma.

6.1.2.1 Desvíos

Los desvíos diseñados en la línea de Alta Velocidad objeto de este proyecto permiten el paso por la vía desviada a una velocidad de 220 km/hora.

En el diseño de los desvíos de la línea de alta velocidad de este proyecto, la mayoría de escapes son del tipo cruzado, para permitir la marcha de los trenes en ambos sentidos y la explotación de la línea de forma totalmente banalizada para ambas vías.

6.1.2.1.1 Accionamientos

Los accionamientos constituyen una parte esencial en los desvíos ya que permiten el movimiento de los mismos a la posición requerida para la ruta establecida.

Debido a la velocidad permitida de 220km/hora en el paso por la desviada de los desvíos se ha decidido para ello que el cambio esté mandado por 8 accionamientos de tipos electrohidráulico, L826H suministrado por Thales, Figura 38.



Figura 38. Accionamiento electrohidráulico L826H



Las características técnicas de este accionamiento son:

- Fuente de alimentación: 400 V, 3 fases, 50 Hz.
- Entrada de energía: 700 W
- Lanzamiento de carrera: entre 80 mm y 260 mm ajustable
- Punto de apertura: entre 45 mm y 170 mm ajustable
- Fuerza de lanzamiento: entre 2000 N y 7000 N ajustable dependiendo del lanzamiento de carrera.
- Fuerza de retención:
 - Versión talonable: entre 7000 N y 9000 N ajustable
 - Versión no talonable: aprox 30 kN
- Tiempo de funcionamiento: aprox 5 segundos.

Las mejoras introducidas por este accionamiento son:

- Carrera de tipo variable.
- Fuerza de lanzamiento ajustable.
- Tiempo de lanzamiento de carrera independiente del tipo de carrera.
- Fuerza de retención ajustable
- Alta disponibilidad
- Apto para diseños a izquierdas o derechas
- Prácticamente libre de mantenimiento

Este accionamiento cumple con los requisitos que se deben seguir para mandar el movimiento del desvío. Estos requisitos se establecen en el Sistema de señalización: Enclavamiento y bloqueo.

6.1.3 Detección de trenes

Los equipos de detección de trenes diseñados en las zonas de enclavamiento de la línea de alta velocidad objeto de este proyecto son los sensores de ruedas y los circuitos de vía.

Los sensores de rueda se han destinado a los desvíos de las zonas de estaciones, mientras que los circuitos de vía se han instalado en las vías que forman las zonas controladas por el enclavamiento.

6.1.3.1 Sensores de ruedas

En las zonas con desvíos se instalan sensores de rueda, Figura 39, para detectar la presencia de los trenes según sea la ruta establecida desde el enclavamiento.

Estos dispositivos se basan en la detección del cambio que sufre el flujo magnético existente en la vía al paso de las ruedas de los trenes sobre ella.

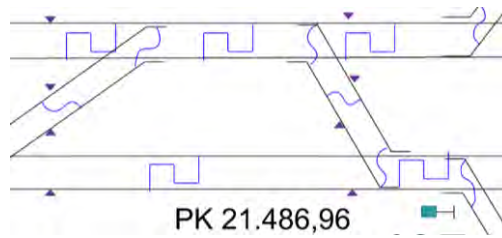


Figura 39. Sensores de rueda

6.1.3.2 Circuitos de vía

Los circuitos de vía, Figura 40, diseñados en la línea objeto de este proyecto son del tipo audiofrecuencia, ya que en instalaciones electrificadas en 25 kV, 50 Hz. en corriente alterna su instalación es la más habitual.

Los CV de audiofrecuencia se caracterizan por el uso de señales con frecuencias comprendidas entre 2 KHz y 12 KHz. Los CV de audio actuales incorporan un número de identificación para cada circuito de vía aumentando así la seguridad en el funcionamiento.

Este tipo de CV sustituyen las juntas aislantes por juntas de separación eléctrica por lo que se reduce la necesidad de mantenimiento de las vías y mejoran el comportamiento y retorno de la corriente de tracción de los trenes.

La separación de los CV se realiza electrónicamente creando zonas de sintonía utilizando condensadores acoplados a la inductancia propia de los carriles para crear zonas de resonancia a la frecuencia portadora del circuito. Esta peculiaridad requiere de la existencia de diferentes frecuencias portadoras entre circuitos contiguos, no siendo posible tampoco el uso de la frecuencia consecutiva.

Los lazos diseñados en la línea de Alta Velocidad son:

- Lazos de cortocircuito, con longitud máxima entre 100 y 400 metros y longitud mínima de 40 a 100 metros. Este tipo de lazos se han instalado en el final de las vías destinadas a maniobras.
- Lazo en "S" + Unidades de sintonía, instalados como equipos principales de detección de trenes en las vías que forman las zonas de estaciones. Solapan la zona de terminación de circuitos contiguos.
- Cables de continuidad, instalados en las zonas de desvíos para dar continuidad a la señal y detectar la presencia o no del tren dentro del desvío.

Su diseño siempre es con requerimiento de SIL 4. El trasmisor nunca puede generar señales de igual frecuencia para circuitos colaterales y el receptor debe garantizar el correcto análisis de la señal.

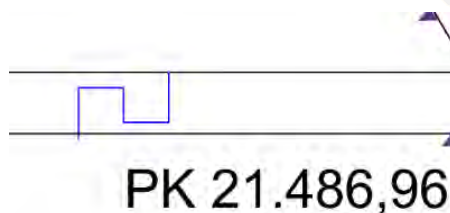


Figura 40. Circuito de vía



6.1.4 Conexiones-Interfaces

La zona controlada por cada enclavamiento consta de conexiones para la transmisión a la vía de información necesaria garantizando la seguridad del movimiento del tren.

Se utiliza la siguiente nomenclatura para las Conexiones-Interfaces, Tabla 55:

Denominación	Descripción
ENCE	Enclavamiento
CLC	Contadores de LEUs Centralizados
LEU	<i>Line Encoder Unit</i>
CDE	Concentrador de Detectores de Explotación
DVL	Detector de Viento Lateral
DCO	Detector de Caída de Objetos
SAM	Sistema de Ayuda al Mantenimiento
PLE	Puesto Local de Operación de ERTMS
GR	Gestor de ERTMS
PCI	Eq. Controlador de Interfaces
FEC	Front End Comunicaciones
CM	Central de Mantenimiento de ERTMS
PCE	Puesto Central de ERTMS
JRU	Registrador Jurídico
COBJ	Controlador de Objetos
CDS	Concentrador de Detectores de Seguridad

Tabla 55. Descripción simbología de las Conexiones-Interfaces

Estas conexiones se clasifican de la siguiente manera:

- Conexión baliza- LEU. Cada LEU controla y manda la información a un grupo de 4 balizas.
- Conexión LEU-CLC. Cada CLC controla y organiza la información transmitida a un grupo máximo de 12 LEUs.

Por otro lado, se analizan y especifican los interfaces necesarios dentro de la lógica del enclavamiento.

Estos interfaces están constituidos por:

- Interfaz CLC-ENCE. Este interfaz se encarga de la transmisión de información mandada desde el enclavamiento a los CLC para poder transmitirla posteriormente a las balizas situadas en las vías.
- Interfaz RBC-ENCE. Este interfaz transmite la autoridad de movimiento, así como información requerida por el sistema ERTMS Nivel 2 y Nivel 3, mandada desde el enclavamiento al RBC, que será recibida por el sistema embarcado a través de comunicación vía radio.
- Interfaz CDE-ENCE. Interfaz Enclavamiento-concentrador de Detectores de Explotación, Detectores de Caída de Objetos y Detectores de viento lateral.
- Interfaz SAM-ERTMS Local. Interfaz de Sistema de Ayuda al Mantenimiento.
- Interfaz PLE-ENCE. Interfaz Enclavamiento- Puesto Local de Operación de ERTMS.



6.2.1 Señales laterales

Las zonas de bloqueo con configuración en vía única diseñadas para la línea de Alta Velocidad objeto de este proyecto están equipadas con señalización lateral.

Esta señalización incluye señales avanzadas altas de dos focos con los aspectos verde y amarillo y señales de entrada a las zonas controladas por los enclavamientos.

Es importante destacar que esta señalización intermedia entre estaciones no es estrictamente necesaria ya que los trenes únicamente circularán en un sentido por la vía única. Por otro lado, el estudio de la capacidad de transporte muestra una frecuencia de trenes posiblemente aceptable para la demanda previsible por lo que no será necesaria la circulación de trenes en secuencia. Esto es, la circulación de trenes uno detrás de otro.

Este hecho hace que la señalización lateral de bloqueo en esta zona del bloqueo, no sea necesaria.

6.2.2 Planos

En el anexo II. Planos se recogen los equipos instalados en las zonas de bloqueo con configuración en vía única, incluyendo todos los dispositivos que se describen en los siguientes apartados.

6.2.3 GSM-R

El sistema ERTMS Nivel 2 instalado en el diseño de la línea de Alta Velocidad requiere de la comunicación vía radio para la transmisión de información entre el subsistema vía y los equipos embarcados.

Las estaciones base de radio se han emplazado a lo largo del trayecto para garantizar una cobertura de radio completa en toda la línea.

El diseño y localización de estas zonas en la línea se debe realizar mediante un estudio de la cobertura existente en la zona para mantener un nivel alto de señal. Este estudio no es objeto del presente proyecto por lo que únicamente se instalarán estaciones base de radio de forma que se mantenga un nivel elevado de señal, siendo una zona de tipo montañoso por donde discurre la línea.

6.2.4 Detectores

A lo largo de los tramos seleccionados se han dispuesto equipos de detección de caída de objetos y equipos para el control de viento.

6.2.4.1 Viento

La simbología utilizada para los equipos de control de viento se muestra en la Figura 42, SCLV:



Figura 42. Detectores de velocidad del viento

Estos sistemas se han ubicado en las vías al discurrir éstas por zonas donde existen viaductos y túneles para el control de la velocidad del viento, ya que influye en el comportamiento dinámico del tren y el sistema ERTMS debe tener conocimiento sobre ella.

Estas zonas son críticas ya que al abandonar el tren un túnel viene circulando sin efecto del viento y puede encontrarse con él a la salida.

El diseño y localización de estos equipos requiere de un estudio meteorológico para conocer las zonas que más afectadas por flujos de aire.

La información obtenida por los detectores de velocidad lateral es transmitida al puesto de mando y es el operador, en función del valor del viento, es el que decide actuar al respecto o no. Esta decisión no debe ser enviada automáticamente desde el enclavamiento.

6.2.4.2 Caída de objetos

Los dispositivos destinados a la detección de caída de objetos se han dispuesto a lo largo de las vías de la línea, fundamentalmente en las zonas de paso de los trenes por debajo de puentes para tener conocimiento de la caída de objetos a las vías.

Por otro lado, al discurrir la línea por zonas montañosas donde puede darse desprendimiento, estos equipos pueden informar de la caída de materiales a las vías.

La representación de estos dispositivos se muestra en la Figura 43:

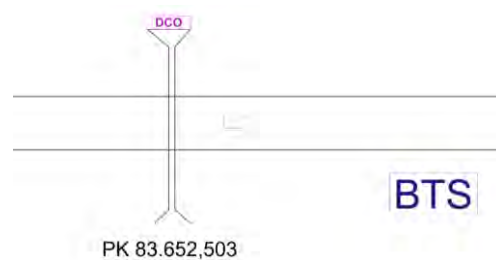


Figura 43. Detectores de caída de objetos

6.2.5 Vía única

El bloqueo utilizado en estas zonas es el Bloqueo Automático en vía Única banalizada, BAU, donde el control y operación de la línea es llevado a cabo por los Centros de Control de Tráfico,

CTC.

Se han incorporado contadores de ejes como equipos de detección de trenes a lo largo de estos tramos y pantallas fijas para los límites de cantón.

6.2.5.1 Contadores de ejes

Las condiciones y características de la vía no influyen en el comportamiento de los contadores de ejes, por lo que estos dispositivos pueden abarcar secciones más largas que los circuitos de vía.

Debido a esta peculiaridad y a la disposición de la línea en las zonas de vía única, donde únicamente puede circular un solo tren en un sentido o en el otro pero nunca simultáneamente, se ha decidido instalar en estas zonas contadores de ejes.

Estos dispositivos se han ubicado al principio y fin de las zonas controladas por el bloqueo, separados a una distancia de entre 9.000 y 12.000 metros

Esta distancia de separación podría limitarse a la distancia del bloqueo completo, ya que sólo circulará un tren al mismo tiempo por estas zonas y podría ser suficiente tener información de si existe circulación por esas zonas o no, pero se ha decidido ubicar más dispositivos para conocer con mayor precisión la zona donde se encuentran los vehículos.

A continuación, Figura 44, se muestra en detalle la instalación de los contadores de ejes en las zonas en vía única, acompañados de pantallas fijas de límite de cantón:

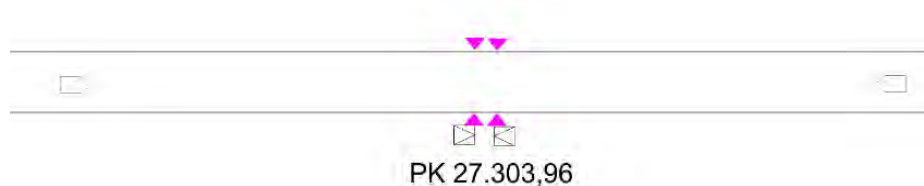


Figura 44. Contadores de ejes

6.2.5.2 Pantalla fija límite de cantón

Se ha decidido instalar pantallas fijas de límite de cantón junto con los dispositivos contadores de ejes en las zonas de bloqueo con configuración en vía única.

Estas pantallas tienen la función de informar al maquinista del punto en el que se encuentra si ha tenido que proceder a la parada del tren en alguna de estas zonas.

Será el maquinista quien informa de su posición al puesto central de mando.

La representación gráfica de estos elementos se puede observar en el apartado de contadores de ejes junto a estos dispositivos, Figura 44.

6.2.6 Vía doble

El tramo de la línea con configuración en vía doble se corresponde con la entrada al enclavamiento número 3, zona donde las condiciones topográficas permiten sin un coste excesivo disponer de vía doble.

Este tramo se destina únicamente para posibilitar el cruzamiento de trenes.



El bloqueo utilizado en estas zonas es el Bloqueo Automático en vía doble Banalizada, BAB, donde el control y operación de la línea es llevado a cabo por los Centros de Control de Tráfico, CTC.

Se han incorporado circuitos de vía como equipos de detección de trenes a lo largo de estos tramos y pantallas fijas para los límites de cantón.

6.2.6.1 Circuitos de vía

Se ha decidido equipar las zonas de bloqueo con configuración en vía doble con circuitos de vía como equipos de detección del tren, ya que estas zonas se destinan a cruzamientos y no sólo es necesario conocer si la vía está ocupada, sino conocer con más exactitud la posición de los trenes.

Al igual que en las zonas controladas por enclavamiento, se ha decidido equipar las zonas de bloqueo en vía doble con circuitos de vía de tipo audiofrecuencia.

No se instalan juntas aislantes, sino juntas de separación eléctrica.

Los lazos diseñados en la línea de Alta Velocidad son:

- Lazos de equilibrado de potencial, que como su propio nombre indican tienen la función de equilibrar el potencial en la zona de la vía donde están instalados.
- Lazo en “S” + Unidades de sintonía, instalados como equipos principales de detección de trenes en las vías que forman las zonas de estaciones. Solapan la zona de terminación de circuitos contiguos.
- Lazos de final, en las terminaciones de las zonas controladas por el bloqueo.

6.2.6.2 Pantalla fija límite de cantón

Se ha decidido instalar pantallas fijas de límite de cantón junto con los circuitos de vía en las zonas de bloqueo con configuración en vía doble.

Su función es la misma descrita en el apartado de vía única, informar al maquinista del punto en el que se encuentra si ha tenido que proceder a la parada del tren en alguna de estas zonas.

6.2.7 Sistema ERTMS N2

El sistema ERTMS ETCS Nivel 2 está constituido principalmente por dos bloques: el subsistema vía y el subsistema tren. Este proyecto se centra en el diseño del subsistema vía de los tramos seleccionados de la línea de alta velocidad, así como, los dispositivos de detección de trenes en los enclavamientos y en las zonas de bloqueo.

El subsistema vía tiene integrado las eurobalizas del sistema ERTMS, el RBC y los LEUs.

Por otro lado, se utilizarán, en función de la zona a controlar, equipos de detección de trenes tales como los circuitos de vía, contadores de ejes y sensores de rueda.

El funcionamiento del sistema ETCS Nivel 2 se realiza mediante cantones fijos. Este sistema requiere de circuitos de vía para la detección y posicionamiento de los trenes, así como, balizas fijas para la relocalización.

Este nivel de aplicación no requiere el uso de balizas programables, ya que la información y la



autoridad de movimiento es enviada vía radio mediante el RBC. Aunque no se requiera el uso de balizas programables, se ha decidido equipar las vías que comprenden el diseño de la línea con estos dispositivos para asegurar el funcionamiento en modo degradado. Su función principal es dar mensaje de parada cuando la señalización lateral muestre el aspecto rojo.

6.2.7.1 Subsistema vía ERTMS

El subsistema vía está comprendido por distintos bloques/elementos según sea su Nivel de aplicación.

En el Nivel 1 el subsistema de vía está integrado por balizas situadas a pie de señal conectadas con el enclavamiento a través del LEU. Los LEUs tienen almacenados en memoria las características geográficas de las posibles rutas establecidas, así como los límites de las velocidades máximas de cada una de ellas (SSP). Según sea la ruta seleccionada y establecida desde el enclavamiento, el LEU aplica la información correspondiente, junto con el aspecto de las señales, y ésta es transmitida desde las balizas a la Eurocabina.

Tanto el Nivel 2 como el Nivel 3 incorporan el RBC, dispositivo que se analizará más adelante.

Para garantizar el funcionamiento en modo degradado se ha decidido incluir las conexiones de los LEUs con las balizas para el Nivel 1.

6.2.7.1.1 Eurobalizas

Las balizas o Eurobalizas son uno de los elementos principales del sistema ERTMS y deben cumplir con las especificaciones de UNISIG, Subset 036. Estos elementos pasivos, ya que transmiten la información a la Eurocabina únicamente en presencia del tren con velocidades de hasta 500km/h, pueden ser fijos o programables.

Se han instalado tanto balizas fijas como programables. Las balizas controladas o programables están conectadas a los LEUs con información relativa al estado de la señalización y dan orden de parada al mostrar aspecto en rojo, según las especificaciones publicadas por ADIF.

Por otro lado, las Eurobalizas fijas contienen información precisa de ubicación.

Se han instalado balizas fijas a lo largo de la línea, separadas una distancia de 1500 metros aproximadamente en las zonas controladas por el bloqueo y balizas programables a pie de señal.

A continuación se muestra la representación de estos dispositivos en el diseño de la línea, Figura 45:

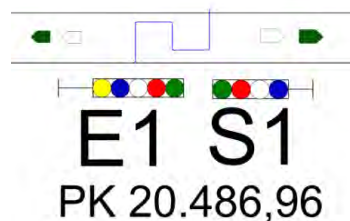


Figura 45. Balizas fijas y programables

Cabe destacar que, para garantizar el modo de funcionamiento degradado, se ha decidido instalar balizas del sistema ASFA en el caso de existir algún fallo en el sistema ERTMS.



6.2.7.1.2 LEUS

El LEU, *Line Encoder Unit*, es el elemento encargado de transmitir la información, originada en el enclavamiento, a las balizas. Esta información está comprendida por la ruta seleccionada desde el ENCE, así como el aspecto de las señales, la posición de las agujas y los límites de velocidad de cada itinerario. Este dispositivo es el interface entre la baliza y la señalización de los equipos en la vía.

El LEU puede controlar hasta cuatro balizas, dependiendo del fabricante, y almacena todos los datos geográficos y características fijas de los posibles itinerarios que tienen por origen las señales asociadas a cada LEU.

6.2.7.1.3 RBC

En el sistema ERTMS-ETCS Nivel 2 la transmisión de información desde el enclavamiento al tren se realiza mediante el dispositivo RBC, *Radio Block Centre*, por radio. Una vez establecidos y comprobados los itinerarios a seguir por los trenes, el RBC genera la autoridad de movimiento y monitoriza los movimientos del tren protegido en el área de línea abierta.

Por otro lado, el RBC recibe los datos de posicionamiento desde los vehículos, lo que le permite calcular la longitud de la MA en función del primer obstáculo: otro tren o una señal en rojo.

Este dispositivo puede estar conectado a más de un enclavamiento, siendo la longitud típica que ha cubierto cincuenta kilómetros, dependiendo del tráfico destinado a la línea. Por otro lado, el RBC puede estar acoplado al puesto de mando para avisar al operador de situaciones concretas y orientar algunas órdenes.

Es por esto por lo que se ha decidido instalar un único RBC para el control de los tramos seleccionados, ya que su precio de instalación ronda el millón de euros.

El RBC es un dispositivo con características de seguridad SIL 4, que tiene en memoria toda la información geográfica de los posibles itinerarios establecidos y supervisados por el enclavamiento. La configuración de este equipo, debido a su alta gran importancia en seguridad y fiabilidad del sistema, es redundante, siendo la más habitual la configuración dos sobre tres.

En el Nivel 3 del sistema ERTMS/ETCS el subsistema vía está integrado fundamentalmente por el RBC y debido al sistema embarcado de Odometría únicamente son necesarias balizas fijas para la relocalización.

6.3 Sistema ERTMS Nivel 3

El nivel ERTMS/ETCS 3, al igual que el Nivel 2, es un sistema de control y protección de trenes continuo basado en la transmisión de información vía radio. EL RBC es el encargado de ello ya que, gracias a los equipos a bordo, conoce la situación de cada equipo ERTMS. El RBC del Nivel 3 tiene una configuración distinta a la del Nivel 2 ya que el del Nivel 3 debe estar coordinado con el sistema embarcado de integridad del tren.

El Nivel 3 no necesita de la instalación de circuitos de vía, señales laterales ni balizas programables, por lo que se ha decidido prescindir de su instalación, aunque para garantizar el funcionamiento en modo degradado sí son necesarias en zonas concretas como pueden ser las estaciones.



6.3.1 Funcionalidad

El funcionamiento del Nivel 3 del sistema ERTMS se incluye en el Capítulo 3. Sistema ERTMS-ETCS

Las funciones principales de este nivel en el subsistema vía son:

- Conocimiento de los datos del propio tren dentro de una zona RBC
- Controlar la ubicación de cada vehículo dentro de una zona RBC
- Establecer Ruta de bloqueo y liberación de ruta basado en la información proporcionada por los trenes
- Determinar los MA para cada locomotora y transmitirlos a cada una.
- Entrega de control de trenes entre distintas celdas en las fronteras RBC-RBC

6.3.2 Equipamiento vía

El equipamiento de las vías para el Nivel 3 que forma parte de la línea de Alta Velocidad objeto de este proyecto corresponde con detectores de caída de objetos y de velocidad de viento lateral y pantallas fijas de límite de cantón. Su diseño y localización coincide con la descrita en el Nivel 2.

EL Nivel 3 de aplicación del sistema ERTMS no requiere de la instalación y diseño de muchos de los dispositivos que forman el equipamiento de la vía. Esto provoca la reducción en costes de instalación, al reducirse el número de dispositivos necesarios en el diseño de la línea, así como reducción en costes de mantenimiento.

Como se comentaba anteriormente, los circuitos de vía no son necesarios en este nivel de aplicación debido al sistema de integridad del tren embarcado en el Nivel 3 y al modo de funcionamiento *moving block*, así como los contadores de ejes.

La señalización lateral se simplifica en este nivel de aplicación debido a que ésta no es necesaria para informar al maquinista y la localización se hace por medio odométricos, ya que el maquinista recibe la autoridad de movimiento y la información necesaria para la conducción desde el RBC.

A continuación se enumera el conjunto de equipos y dispositivos que integran el equipamiento vía del Nivel 3:

- Detectores de caída de objetos.
- Detectores de velocidad de viento lateral
- Pantallas fijas de límite de cantón
- Equipamiento ERTMS.

1.2.1.1. Equipamiento ERTMS

El equipamiento del Nivel 3 del sistema ERTMS se reduce fundamentalmente al RBC específico para este nivel.

Debido a la instalación del sistema de Odometría embarcado, únicamente se requiere de la instalación de balizas fijas para su relocalización, reduciendo el riesgo en la medida que



introduce el sistema de integridad del tren embarcado.

6.4 Estudio costes

Se realiza el estudio de los costes de instalación de los diferentes equipos que forman parte del diseño de la línea de alta velocidad con configuración en vía única objeto de este proyecto. Se compara la instalación aplicando ERTMS Nivel 2 y Nivel 3.

Los equipos instalados independientemente del nivel de aplicación del sistema ERTMS son:

- Accionamientos para el movimiento de los desvíos.
Se realiza la distinción entre accionamientos aislados o accionamientos instalados en desvíos, agrupados en 12 accionamientos.
- Enclavamientos.
Se presupuesta el diseño e instalación de enclavamientos destinados al control de estaciones y enclavamientos para el control del PAET diseñado.
- RBC propio de cada nivel.
Al contar el diseño con sistema Nivel 2 o Nivel 3 ambos niveles requieren de la instalación de RBC.

Los equipos instalados en el Nivel de aplicación 2 son:

- Contadores de ejes.
Contadores de ejes de dos cabezas con evaluadores de hasta 32 cabezas.
- Señalización lateral.
Señales de tipo alto y bajo.
- Circuitos de vía.

El Nivel 3 no requiere de la instalación de señalización lateral, circuitos de vía ni contadores de ejes en las zonas de bloqueo, aunque la instalación de los enclavamientos es la misma que para Nivel 2, ya que se han seguido los criterios de ADIF en la dotación de los enclavamientos y por lo tanto el coste se ha reducido únicamente en los equipos de detección de trenes.

El resultado obtenido se muestra en la Tabla 56 y se determina un ahorro del 7.74% de costes de instalación del Nivel 3 con respecto al Nivel 2.



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA - ICAI

Grado en Ingeniería Electromecánica

Proyecto Fin de Grado.

Capítulo 6: Diseño de la aplicación: Línea de Alta Velocidad en vía única

CONCEPTO	Precio estimado unitario instalado	ETCS Nivel 2			ETCS Nivel 3		
		Unidades	Precio Total equipo	Total	Unidades	Precio Total equipo	Total
				5.527.000			5.099.000
SEÑALES							
Alta	5.000	51	255.000		0	0	
Baja	3.000	11	33.000		0	0	
Accionamientos							
Accionamiento aislado	6.000	2	12.000		2	12.000	
Accionamiento Desvío (12 acc)	72.000	29	2.088.000		29	2.088.000	
Circuitos de vía							
	9.000	91	819.000		91	819.000	
Contadores de ejes							
Dos cabezas	4.000	10	40.000		0	0	
Evaluador (hasta 32 cabezas)	100.000	1	100.000		0	0	
RBC propio del Nivel							
	1.000.000	1	1.000.000		1	1.000.000	
Enclavamiento							
I/L pequeño PAET	180.000	1	180.000		1	180.000	
I/L grande	500.000	2	1.000.000		2	1.000.000	

Tabla 56. Estudio de los costes de instalación



Capítulo 7 Conclusiones

El estudio y diseño llevado a cabo en este proyecto alberga diversas conclusiones. Éstas se van a clasificar en dos bloques.

El primero de ellos se centra en las conclusiones extraídas del estudio de la capacidad de transporte de la línea con configuración en vía única y el segundo del diseño del sistema de señalización aplicado a la línea objeto de este proyecto.

Los objetivos marcados para la realización del proyecto se han conseguido implantar en el mismo.

La solución propuesta en este proyecto, el diseño en vía única de la línea con el sistema ERTMS Nivel 2, proporciona diversos beneficios en comparación con el diseño de otras líneas con configuración en vía doble o el diseño de otras líneas sin el sistema ERTMS:

- Por un lado, la configuración en vía única proporciona un ahorro en costes tanto de instalación como de construcción de la línea como se explica en los siguientes apartados.
- En el caso de que el destino de la línea a diseñar no sea un corredor de alta demanda de viajeros, la configuración en vía única puede proporcionar una solución equilibrada entre prestaciones de la línea y costes.
- El sistema de señalización ERTMS instalado en la línea proporciona tanto alta seguridad de funcionamiento como fiabilidad.
El funcionamiento en modo degradado ha sido considerado, por lo que en el caso de existir algún fallo en el sistema ERTMS se llevaría al sistema a una situación al menos tan segura como la anterior.
- La interoperabilidad proporcionada por el sistema ERTMS implica la posibilidad de mejora en la conexión del sector ferroviario entre distintos países, lo que aumenta la competitividad de este medio de transporte.

7.1 Conclusiones del estudio de la capacidad de transporte

La capacidad de transporte de la línea en vía única en cuestión queda totalmente ligada a la configuración en vía única. Estos es, la circulación de trenes únicamente es permitida en uno de los sentidos de la línea en vía única una vez establecida la ruta a seguir por los trenes.

Este hecho implica necesariamente dos aspectos:

- Los trenes podrán ser enviados en secuencia, uno detrás de otro, en el mismo sentido de marcha únicamente cuando se establezca, como mínimo, entre ellos una separación igual a la distancia necesaria por los vehículos para efectuar parada.
- El cruzamiento de trenes sólo será permitido en las zonas habilitadas para ello, estos es, las zonas de estaciones controladas por los enclavamientos.

La frecuencia de trenes sobre la línea viene limitada por la configuración en vía única de la línea. La instalación de este tipo de configuración de línea en corredores con frecuencias de trenes demandadas elevadas podría suponer una limitación importante. En este caso, la línea diseñada se instala como conexión entre dos poblaciones cuya demanda de viajeros no es demasiado elevada por lo que este hecho no supone un problema en cuanto a frecuencia de trenes.



Es más, al no estimarse, en un principio, una elevada demanda de viajeros, la configuración en vía única de la línea permite un ahorro considerable en costes tanto de construcción como de instalación de equipos.

En todo caso se habilita el diseño de la línea para una posible ampliación a configuración en vía doble.

La frecuencia de trenes obtenida en el estudio de la capacidad de la línea tuvo como resultado 11 trenes en cada sentido de marcha al día. Este resultado muestra una capacidad de transporte aceptable para el destino de uso que podría tener la línea diseñada al no establecerse en un corredor con alta demanda de viajeros.

Por último, incorporando modificaciones en algunos tramos de la línea, como es la ampliación a configuración en vía doble en zonas concretas, posibilitarían doblar la frecuencia de trenes obtenida como resultado en el estudio de la capacidad de transporte. Este hecho podría considerarse en el caso de aumentar la demanda de viajeros para esta línea.

7.2 Conclusiones del diseño de los sistemas de señalización de la línea con configuración en vía única

La configuración en vía única de la línea establece los sistemas de señalización a emplear en su diseño.

Esto es, las zonas controladas por el bloqueo en vía única no requieren instalar circuitos de vía, ya que únicamente circulará un tren en un sentido de marcha por la línea en vía única. Este hecho provoca una reducción en costes comparando la instalación de la señalización en una línea con configuración en vía doble.

La solución propuesta a este hecho ha sido instalar en las zonas de la línea con configuración en vía única contadores de ejes. Su instalación podría ser únicamente necesaria al principio y fin del bloqueo.

El sistema ERTMS Nivel 2 instalado en la línea no requiere necesariamente la instalación de señalización lateral, por lo que se reducirían costes de instalación. Pero, por otro lado, el Nivel 2 se caracteriza por el equipo RBC cuyo coste, como pudo observarse en el estudio de costes, es actualmente muy elevado.

Las balizas programables tampoco son estrictamente necesarias en este nivel de aplicación, por lo que también reduciría costes su no instalación.

El estudio de costes de instalación de equipos en Nivel 2 y Nivel 3 muestra un ahorro del 7.74% al disponerse la instalación con el Nivel 3.

El Nivel 3 se encuentra en fase de pruebas, por lo que su instalación podría resultar favorable en cuanto a reducción de costes si resultase posible su implantación.

La dotación de los enclavamientos ha sido la misma para ambos niveles de funcionamiento, siguiendo los criterios establecidos por y por lo tanto el coste se ha reducido únicamente en los equipos de detección de trenes. Un estudio importante en el futuro sería simplificar la complejidad de los enclavamientos dado el nivel de tráfico esperado en la línea



Capítulo 8 Futuros desarrollos

Como posibles desarrollos futuros se propone:

- Debido al estudio aproximado, aunque validado, de la capacidad de transporte de la línea, se propone el diseño de una herramienta más completa para llevarlo a cabo, incluyendo el comportamiento dinámico del tren en su recorrido por la línea.
- Se propone también la comparación en costes de la misma línea diseñada tanto en vía única como en vía doble, para poder determinar el ahorro total de la configuración en vía única respecto a vía doble.
- Como alternativa a este tipo de configuración, se propone el estudio de la línea siendo diseñada ésta de forma ramificada en su recorrido. Esto es, una única línea con configuración en vía única para enlazar los puntos extremos de la línea aprovechando las zonas óptimas por donde puede construirse la misma, y conforme la línea discorra cerca de alguna población, construir una ramificación para comunicar la línea principal con esa población.
- Realizar un estudio de la instalación de equipos de señalización en los enclavamientos con el sistema ERTMS Nivel 3, buscando el compromiso costes-prestaciones de la línea para una línea de Alta Velocidad con demanda de viajeros reducida.



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA - ICAI
Grado en Ingeniería Electromecánica
Proyecto Fin de Grado.

Capítulo 8: Futuros desarrollos





Bibliografía

- [ECI_13] Enrique Castillo Instituto (e c [i]). “Una propuesta metodológica para racionalizar inversiones en infraestructuras de alta velocidad ferroviaria. Aplicación a la línea Palencia-Santander”. 2013.
- [MONT11] Montes Ponce de León, Fernando. “Los sistemas de control de tráfico y señalización en el ferrocarril”. Universidad Pontificia Comillas. 2011.
- [ALVA14] Álvarez Sanz, Ángel. “Transiciones de modos en el ERTMS/ETCS”. Madrid. 2014.
- [COIT05] Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicaciones. Grupo de Nuevas Actividades profesionales. “Elementos Técnicos para la Gestión de Frecuencias en Espacios Complejos: Entornos Ferroviarios”. Capítulo 3: Descripción de Sistemas de Señalización y Control en Entornos Ferroviarios. Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicaciones. Madrid. 2005.
- [ADIF05] ADIF. “Sistema Europeo de Circulación de Trenes (ERTMS/ETCS)”. Edición 01- de 2005 (Provisional).
- [CAMA10] Camargo Rodríguez, Marco Antonio. “Sistema Europeo de Gestión del Tráfico Ferroviario, ERTMS-N1, para líneas convencionales”. Proyecto Fin de Carrera. 2010.
- [LORE07] Lorenzo Villanueva, Juan Carlos., De Santiago Cid, José Ignacio. “El sistema ERTMS: el primer estándar paneuropeo para señalización ferroviaria orientado a la Interoperabilidad”. Anales de mecánica y electricidad. Enero-Febrero 2007.
- [SANZ14] Álvarez Sanz, Ángel. “Descripción básica del sistema ERTMS/ETCS”. Madrid. 2014.
- [GARC06] García Álvarez, Alberto. “Dinámica de los tres en Alta Velocidad”. Fundación de los Ferrocarriles Españoles. Documentos de Explotación técnica y económica de ferrocarriles. 2006.

Páginas web utilizadas

<https://trenesinside.wordpress.com>

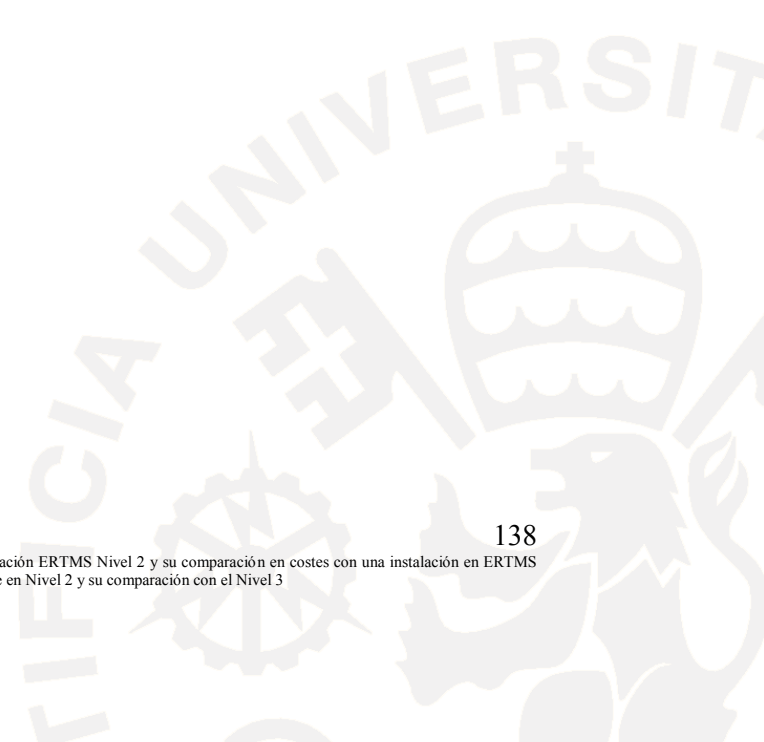
<http://www.ferropedia.es>

<http://www.adif.es>



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA - ICAI
Grado en Ingeniería Electromecánica
Proyecto Fin de Grado.

Bibliografía





Parte II

Anexos



Índice de los Anexos

I. Estudio: diseño del tipo de configuración de la línea _____	141
Conclusiones. _____	145
II. Planos _____	147



I. Estudio: diseño del tipo de configuración de la línea

Este estudio se basa en comprender e implantar los tramos de vía doble y vía única en el trazado de una línea con el objetivo de obtener un equilibrio entre capacidad y prestaciones y costes de la misma.

En particular, se decide recoger los datos correspondientes a las zonas donde se construirán túneles y viaductos, zonas con mayor dificultad y mayores costes si se realizase únicamente en vía doble. La implantación de tramos en vía única pero con vistas a futuro de posibles ampliaciones hacen más interesante y singular el estudio que se recoge a continuación.

Como guía principal a la hora de obtener los itinerarios de los trenes en sentido ida y sentido vuelta, se ha procurado evitar, en primer lugar, un elevado número de cruces entre vehículos. También, se ha querido que si se produce alguno de estos cruces éste sea en las zonas donde no existan túneles o viaductos para que los costes de implantación de la línea no fuesen más elevados.

Estos tramos se corresponden con los puntos kilométricos, la implantación o no de túneles o viaductos y las estaciones construidas que se recogen en la Tabla 57. Los tramos 9 y 10 ya disponen de túnel en un lado de la vía.

Punto	Km	Túnel	Estación
1	3.2	Sí	No
2	7.3	Sí	No
3	3.8	Sí	No
4	5.6	Sí	No
5	8.5	Sí	Sí
6	6.7	No	No
7	4.2	No	No
8	2.3	No	No
9	8.5	Sí	No
10	7.5	Sí	No
11	6.5	No	No
12	6.7	No	No
13	9.0	No	No
14	9.5	No	No
15	7.7	No	Sí

Tabla 57. Tramos de la línea

Debido a que este primer estudio se corresponde con una aproximación de la línea y las distancias obtenidas permiten holgura en los puntos donde se producen los cruces, no se ha aplicado al cálculo ninguna distancia de seguridad en el establecimiento de los itinerarios.

Se van a suponer tiempos de frenado, estacionamiento y salida en las estaciones que se encuentran ubicadas en los tramos definidos anteriormente.

Cabe destacar que las distancias correspondientes a frenado o a posible deslizamiento son de vital importancia en el cálculo de la capacidad de la línea por lo que en el estudio donde se tiene la vía completa sí se tendrá en consideración y será uno de los aspectos más importantes en el cálculo de la capacidad máxima.

La nueva línea se diseña para velocidades máximas de 350km/h, aunque se va a suponer una



velocidad constante en los tramos seleccionados de 300 km/hora.

Se va a aplicar un incremento de tiempo de 3 minutos en la zona próxima al final del tramo 15, debido a la reducción de velocidad y tiempo de estacionamiento en la estación que se sitúa en este tramo.

En las zonas próximas al tramo 5, donde existe otra estación, se va a añadir un tiempo de 3 minutos por reducción de velocidad y estacionamiento y 1 minuto en la salida de la estación, al no ser ésta de fin de trayecto.

Estos tiempos se han tomado como aproximación en este estudio, ya que el objetivo no es determinar con exactitud la posición de los trenes, sino según un programa de itinerarios ya establecidos buscar una solución que permita una capacidad de transporte coherente con los costes de construcción e instalación de la línea de alta velocidad.

La longitud total de estos tramos de la línea es de 90 km, por lo que el tiempo estimado será de 19.4 minutos más el tiempo de entrada/salida de estaciones y estacionamiento 26.4 minutos.

A continuación se recogen las distintas posibilidades que se han tratado para diseñar la línea.

Once trenes diarios con primera salida a las 7:00 desde ambos extremos, cada hora y media.

El siguiente gráfico, Figura 46, muestra el movimiento del tren en ambos sentidos a las horas (eje de abscisas) a lo largo del día y su paso por cada tramo del recorrido (eje de ordenadas).

Como en ambos sentidos los trenes salen a la misma hora en el mismo intervalo de tiempo en esta suposición siempre se cruzarán en los mismos tramos y al ser la distancia recorrida pequeña, sólo será en uno de ellos. Este punto de cruce de los vehículos es el que implica la implantación de la vía doble para la no colisión de los trenes.

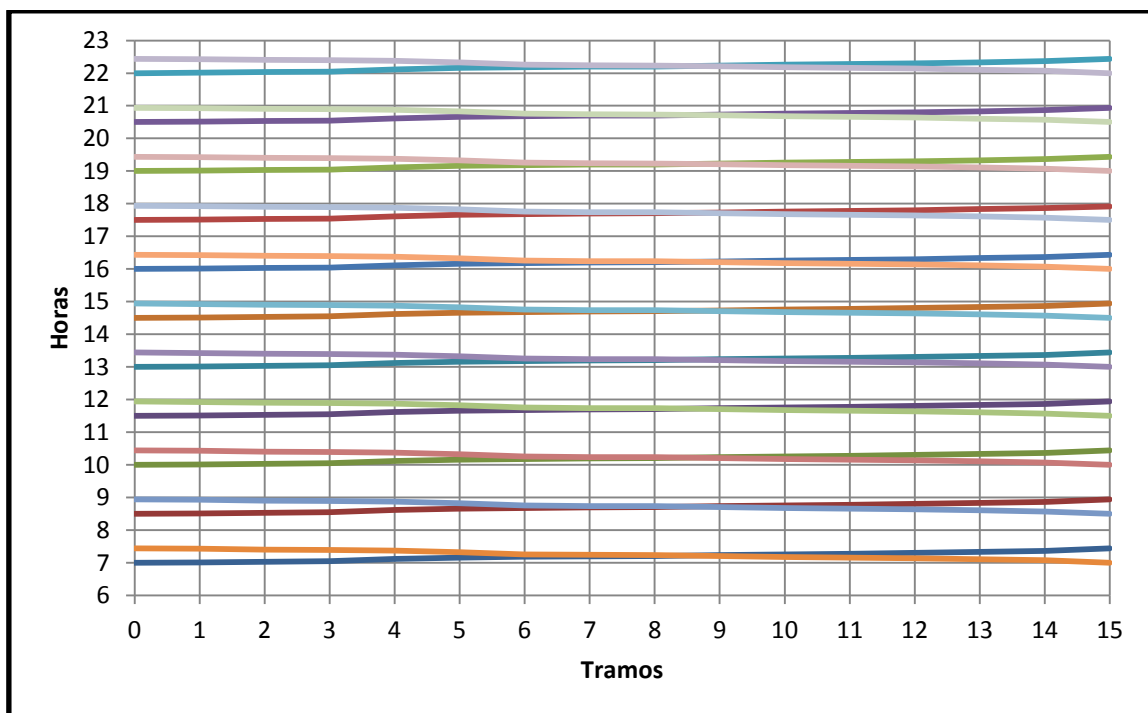


Figura 46. Gráfico. Primer estudio del tipo de configuración de la línea

El gráfico anterior muestra los itinerarios que seguirían los vehículos a lo largo de la vía. Como puede observarse, los trenes se cruzan siempre en el mismo punto como se explicó anteriormente. Para poder visualizar de forma más clara este punto, se muestra a continuación



un gráfico del mismo, Figura 47:

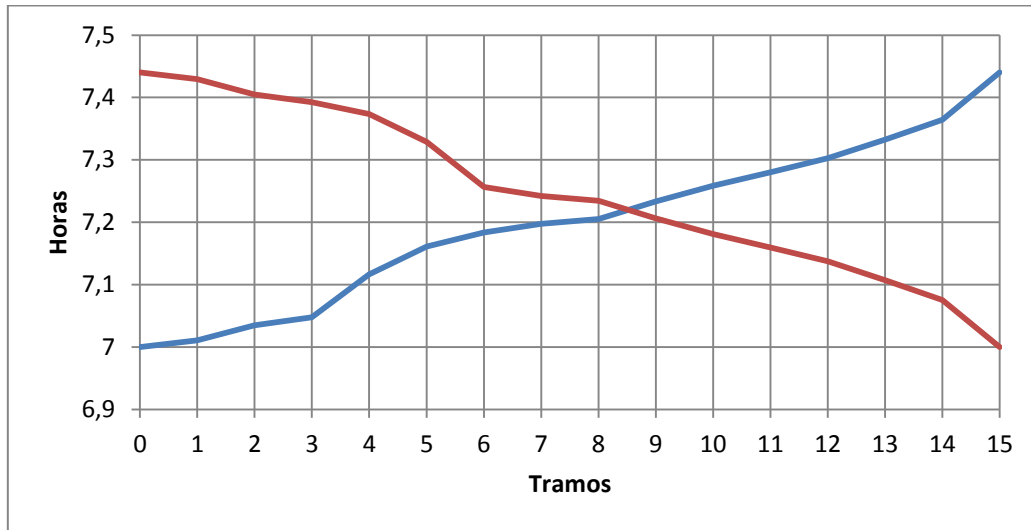


Figura 47. Gráfico detalle. Primer estudio del tipo de configuración de la línea

En el gráfico anterior se observa que los trenes en este caso particular se cruzarán en el tramo 9, por lo que esta zona será obligatoria construirla en vía doble si se quiere conseguir los itinerarios descritos anteriormente. Este tramo necesita túnel por lo que no es recomendable construir otro.

Si se implanta vía doble en el tramo 9 la frecuencia de trenes deseada se ha conseguido por lo que el resto de tramos que requieren túneles se construirán en vía única ya que son menos costosos y no se producirán en ellos cruces de trenes.

Once trenes diarios con primera salida a las 7:00 desde el tramo 15 cada hora y media, y salida desde el tramo 1 a las 7:30 cada hora y media.

Por otro lado, si se modifican los itinerarios de los trenes, se podría evitar que se cruzaran en el tramo 9, que ya dispone de túnel y requeriría construir otro para el paso para el tren que circula en sentido contrario.

Si se retrasa la salida de los trenes desde el tramo 1 media hora, el resultado que se obtiene es el siguiente, Figura 48:

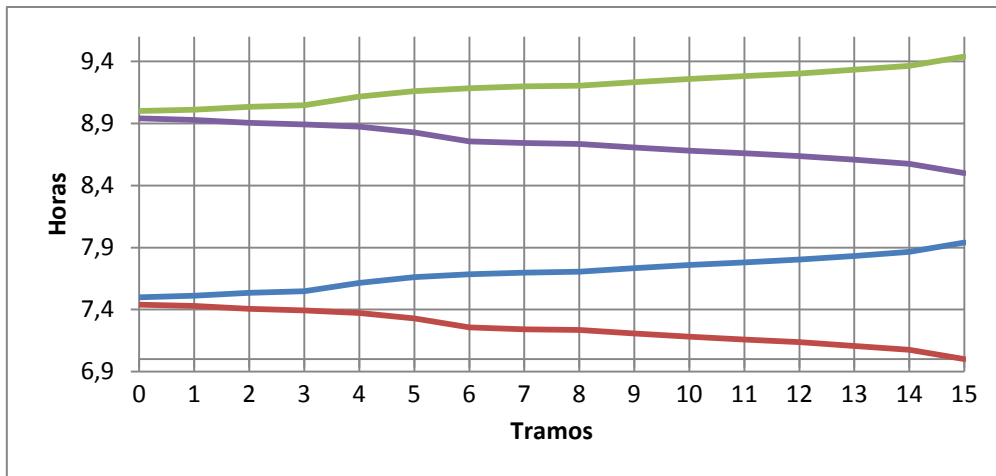


Figura 48. Gráfico detalle. Segundo estudio configuración de la línea

En el gráfico anterior sólo se han representado dos itinerarios de ida y otros dos de vuelta ya que la secuencia se repetiría de la misma manera hasta el final del día.

Como se observa en el gráfico los trenes en este caso no se van a cruzar en ningún punto, pero el tiempo entre que el tren ha llegado al final de tramo 1 y el siguiente que tiene que salir en sentido opuesto es sólo de 3,6 minutos. Este tiempo podría ser suficiente si en el cálculo de la capacidad de la línea se hubiese tenido en cuenta las distancias de seguridad y frenado de los trenes, así como la propia longitud de los vehículos, pero como únicamente este estudio es una aproximación no se considera tiempo suficiente para que no exista alta probabilidad de accidente dentro de la estación.

Once trenes diarios con primera salida a las 7:00 desde el tramo 15, cada hora y media, y salida desde el tramo 1 a las 7:05 cada hora y media.

Si se retrasa únicamente la salida de los trenes desde el tramo 1 cinco minutos, el resultado que se obtiene es el siguiente, Figura 49:

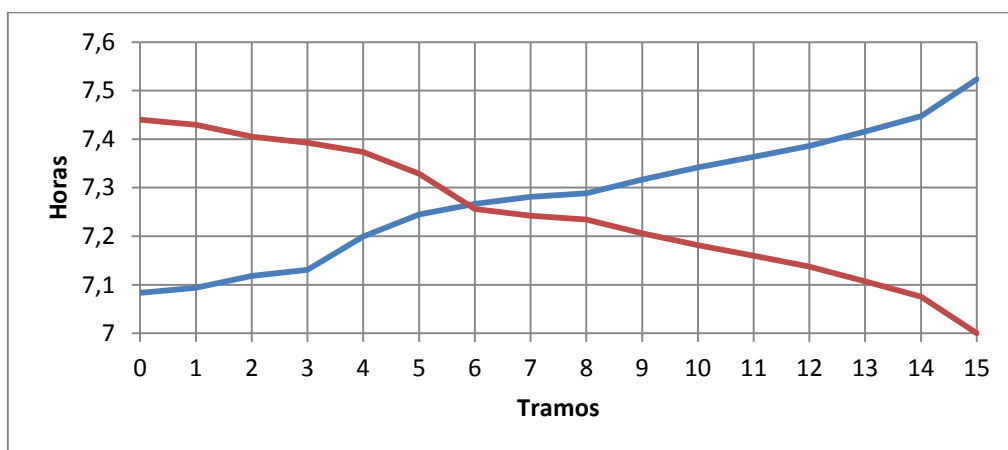


Figura 49. Gráfico detalle. Tercer estudio configuración de la línea

De esta forma, como se puede comprobar con el gráfico anterior, los trenes se cruzarán en el tramo 6, donde no existe túnel y se podría construir sin grandes complicaciones ni altos costes doble vía en este tramo.



Como conclusión se elegirá esta última opción que permite la máxima capacidad de los tramos seleccionados, equilibrándola con los costes y facilidades en la construcción de la misma. Se muestra a continuación la Tabla 58, que recoge los datos descriptivos de los tramos seleccionados:

Tramo	Km	Túnel	Tipo de vía
1	3.2	Sí	Única
2	7.3	Sí	Única
3	3.8	Sí	Única
4	5.6	Sí	Única
5	8.5	Sí	Única
6	6.7	No	Doble
7	4.2	No	Única
8	2.3	No	Única
9	8.5	Sí	Única
10	7.5	Sí	Única
11	6.5	No	Única
12	6.7	No	Doble
13	9.0	No	Única
14	9.5	No	Única
15	7.7	No	Única

Tabla 58. Configuración final de la línea

Conclusiones.

Los puntos más destacados de estudio de la línea son los siguientes:

- Los tramos que cuentan con túnel se disponen en vía única ya que los costes de construcción y equipos de control y señalización son mucho más elevados.
- El tramo 6 se dispone en vía doble para poder cumplir los itinerarios descritos anteriormente.
- El tramo 12 se construye en vía doble por si en un futuro incrementara la demanda de la línea.
- El resto de tramos, 1,2,3,4,5,7,8,9,10,11,13,12 y 15 se disponen en vía única.



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA - ICAI
Grado en Ingeniería Electromecánica
Proyecto Fin de Grado.






Anexos







II. Planos





El anexo II. Planos incluye los planos realizados del sistema de señalización implantado en los tramos seleccionados en el Capítulo 6. Diseño de la aplicación: Línea de Alta Velocidad en vía única. Éstos, incluyen tanto los aparatos de vía como los equipos de detección de trenes diseñados y especificados en el capítulo 6, así como la señalización lateral aplicada en el diseño de la línea con configuración en vía única, tanto las zonas controladas por los enclavamientos como las zonas controladas por el bloqueo en vía única.

Las conexiones-interfaces de cada uno de los enclavamientos diseñados quedan implantados en estos planos.

Detección de trenes	
	Lazo de continuidad
	Circuito de vía
	Lazo de cortocircuito
	Contadores de ejes
	Sensor de rueda

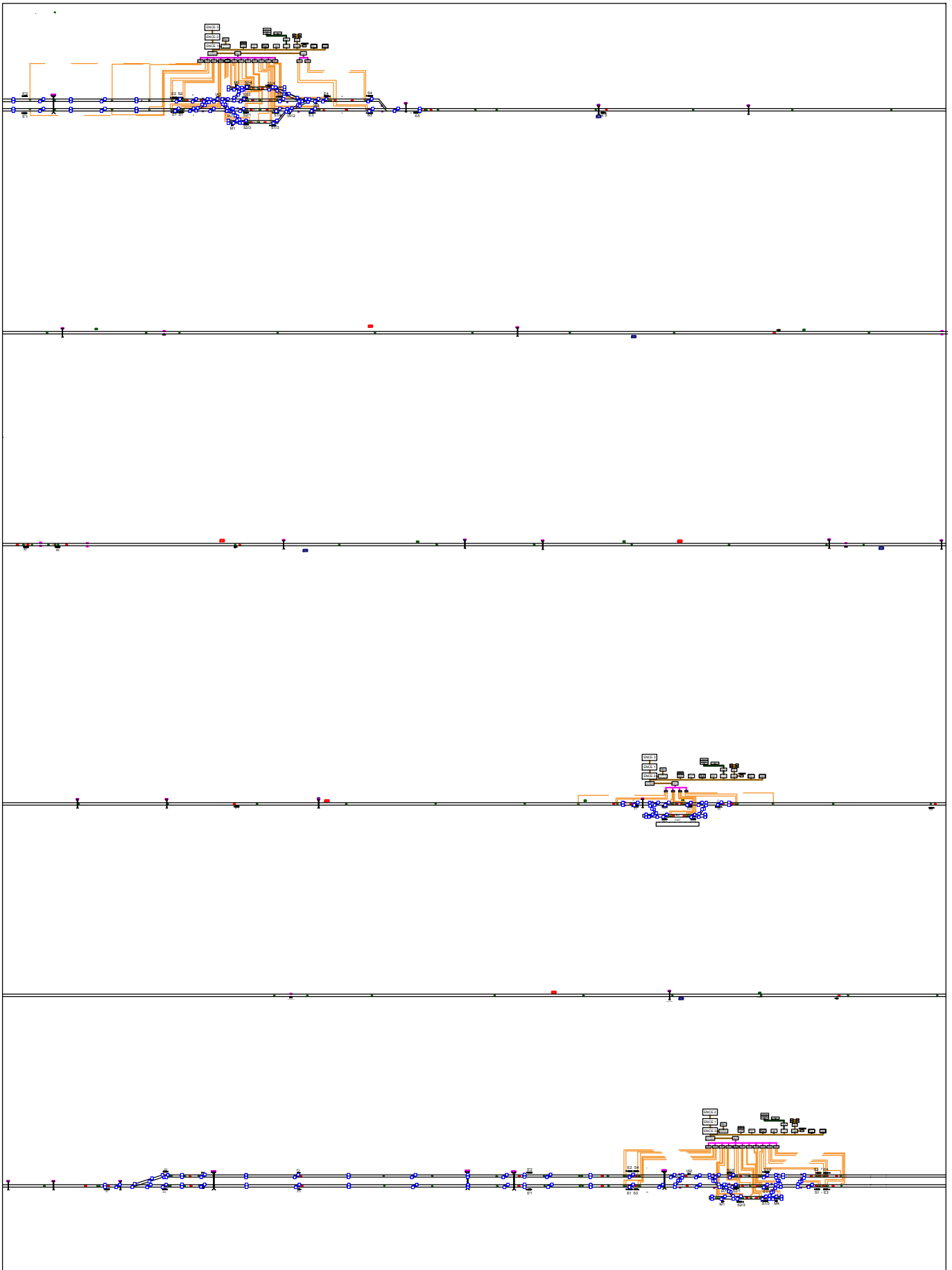
Conexiones-Interfaces	
ENCE	Enclavamiento
CLC	Contadores de LEUs Centralizados
LEU	Line Encoder Unit
CDE	Concentrador de Detectores de Explotación
DVL	Detector de Viento Lateral
DCO	Detector de Caída de Objetos
SAM	Sistema de Ayuda al Mantenimiento
PLE	Puesto Local de Operación de ERTMS
GR	Gestor de ERTMS
PCI	Eq. Controlador de Interface
FEC	Front End Comunicaciones
CM	Central de Mantenimiento de ERTMS
PCE	Puesto Central de ERTMS
JRU	Registrador jurídico
COBJ	Controlador de Objetos
CDS	Concentrador de detectores de Seguridad

Detectores y estaciones	
	Estación GSM-R
	Detector caída de objetos
	Detector velocidad del viento
	Pantallas límite de cantón

Balizas	
	Baliza fija ERTMS
	Baliza programable ERTMS
	Baliza previa ASFA
	Baliza ASFA

Señalización lateral	
	Señal alta 5 focos
	Señal alta 4 focos
	Señal alta de maniobra
	Señal baja de maniobra
	Señal baja de maniobra
	Señal de posición de agujas

Firma	Fecha	Nombre	Universidad Pontificia Comillas ICAI Grado Ingeniería Electromecánica
	15/06/2015	Ana Rodríguez Beltrán	
Escala	Proyecto Fin de Grado Diseño de una línea en vía única para circulaciones en Alta Velocidad equipada con señalización ERTMS Nivel 2 y su comparación en costes con una instalación en ERTMS Nivel 3. Establecimiento del programa de explotación y análisis de la capacidad de transporte en Nivel 2 y su comparación con el Nivel 3		Nombre Leyenda
			Plano N° 1/2



Nombre
Ana Rodríguez Beltrán

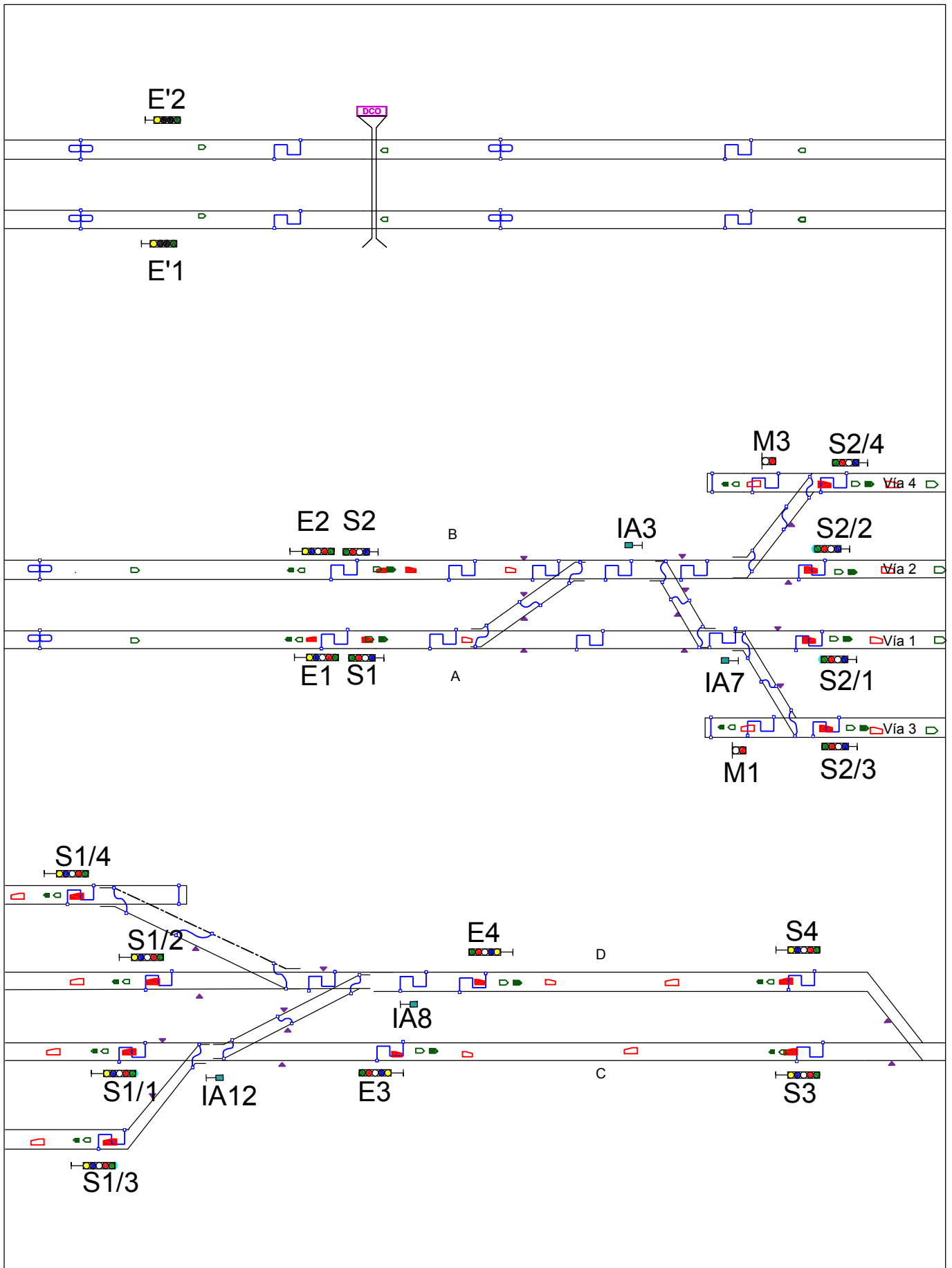
Universidad Pontificia Comillas ICAI
Grado Ingeniería Electromecánica

Proyecto Fin de Grado

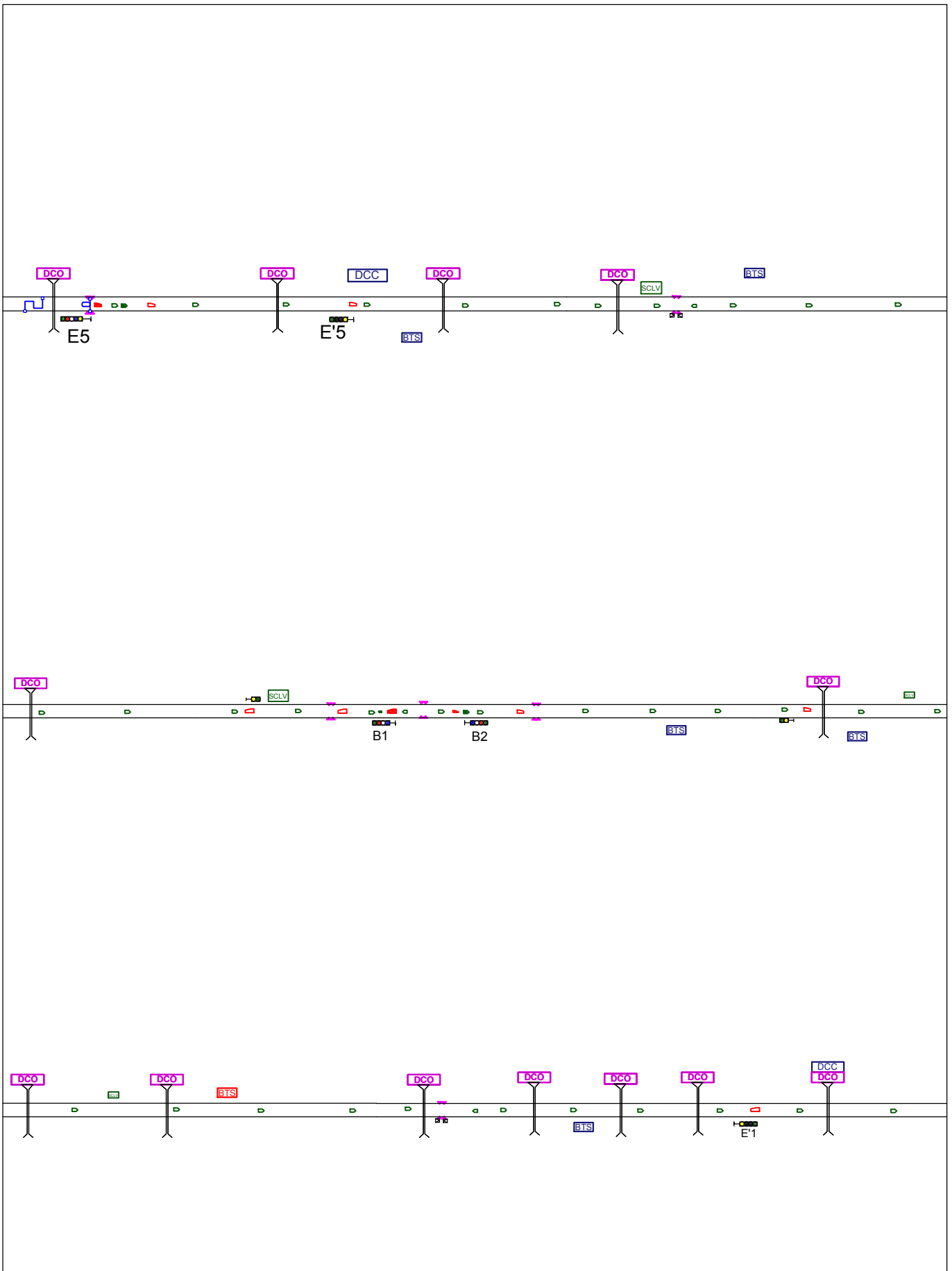
Diseño de una línea en vía única para circulaciones en Alta Velocidad equipada con señalización ERTMS Nivel 2 y su comparación en costes con una instalación en ERTMS Nivel 3.
Establecimiento del programa de explotación y análisis de la capacidad de transporte en Nivel 2 y su comparación con el Nivel 3

Nombre
PLANO GENERAL

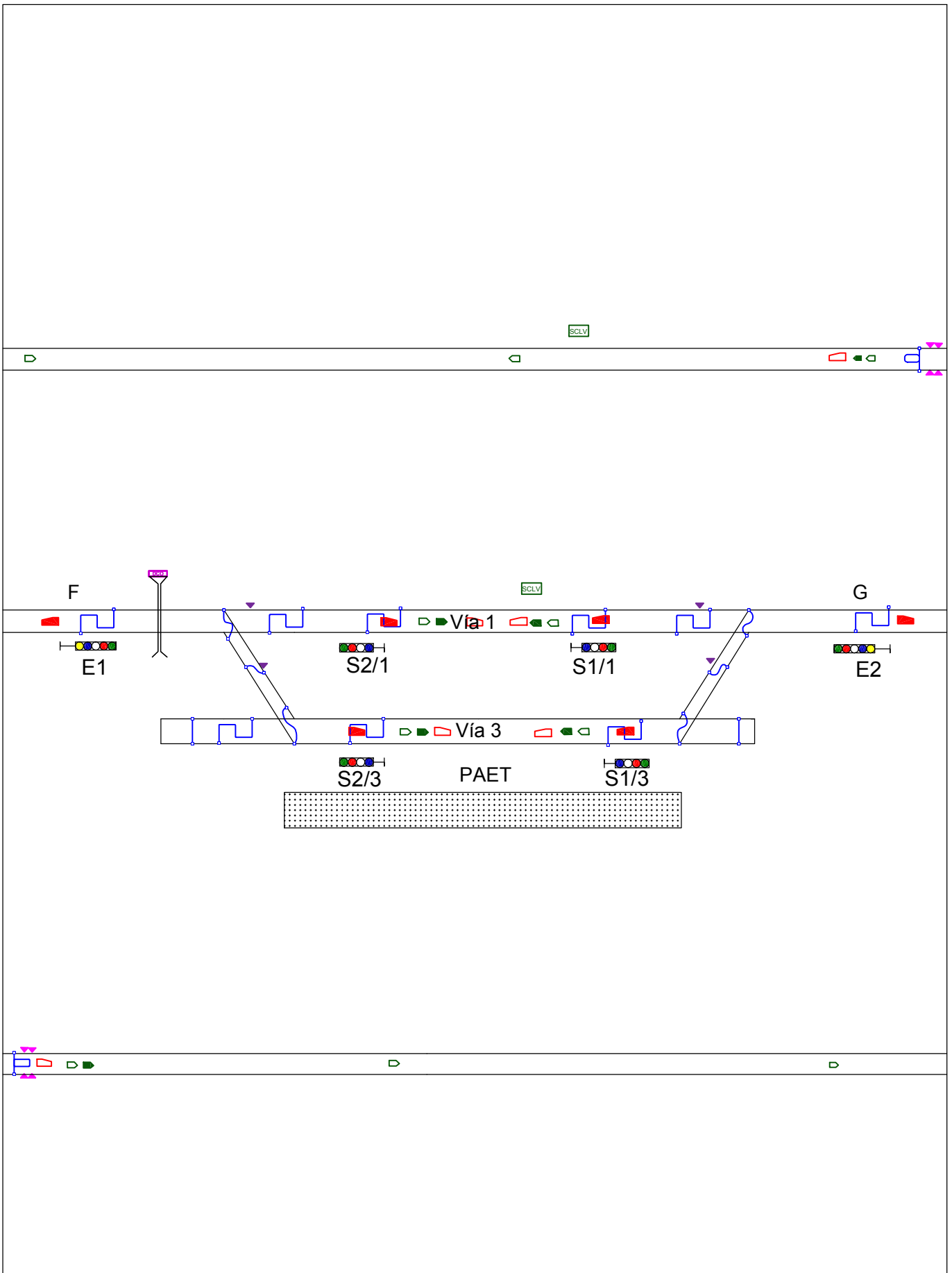
Plano Nº 2/2



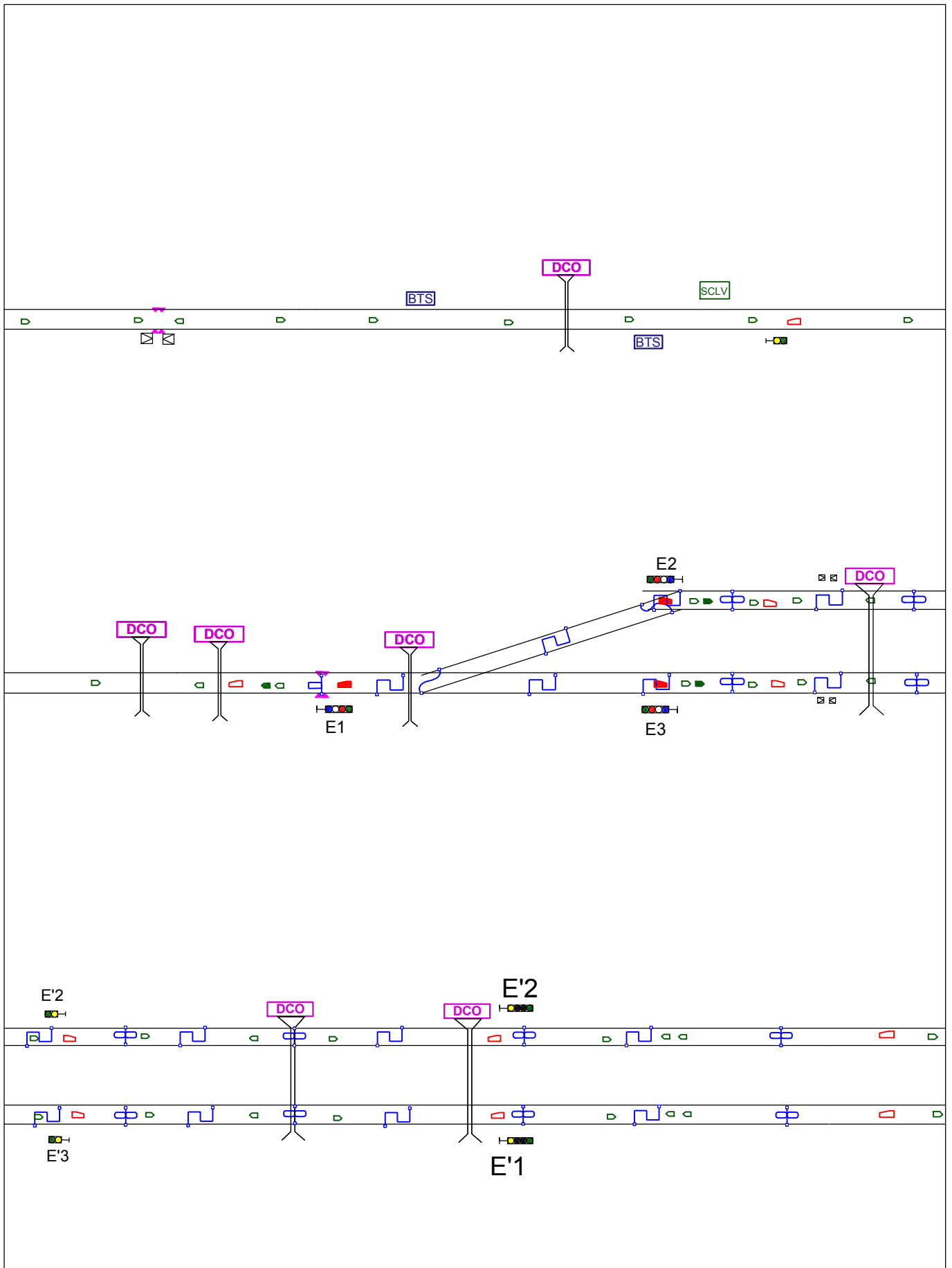
Firma	Fecha	Nombre	Universidad Pontificia Comillas ICAI Grado Ingeniería Electromecánica
	15/06/2015	Ana Rodríguez Beltrán	
Escala 1:10000	Proyecto Fin de Grado Diseño de una línea en vía única para circulaciones en Alta Velocidad equipada con señalización ERTMS Nivel 2 y su comparación en costes con una instalación en ERTMS Nivel 3. Establecimiento del programa de explotación y análisis de la capacidad de transporte en Nivel 2 y su comparación con el Nivel 3		Nombre PLANO A Plano N° 1/5



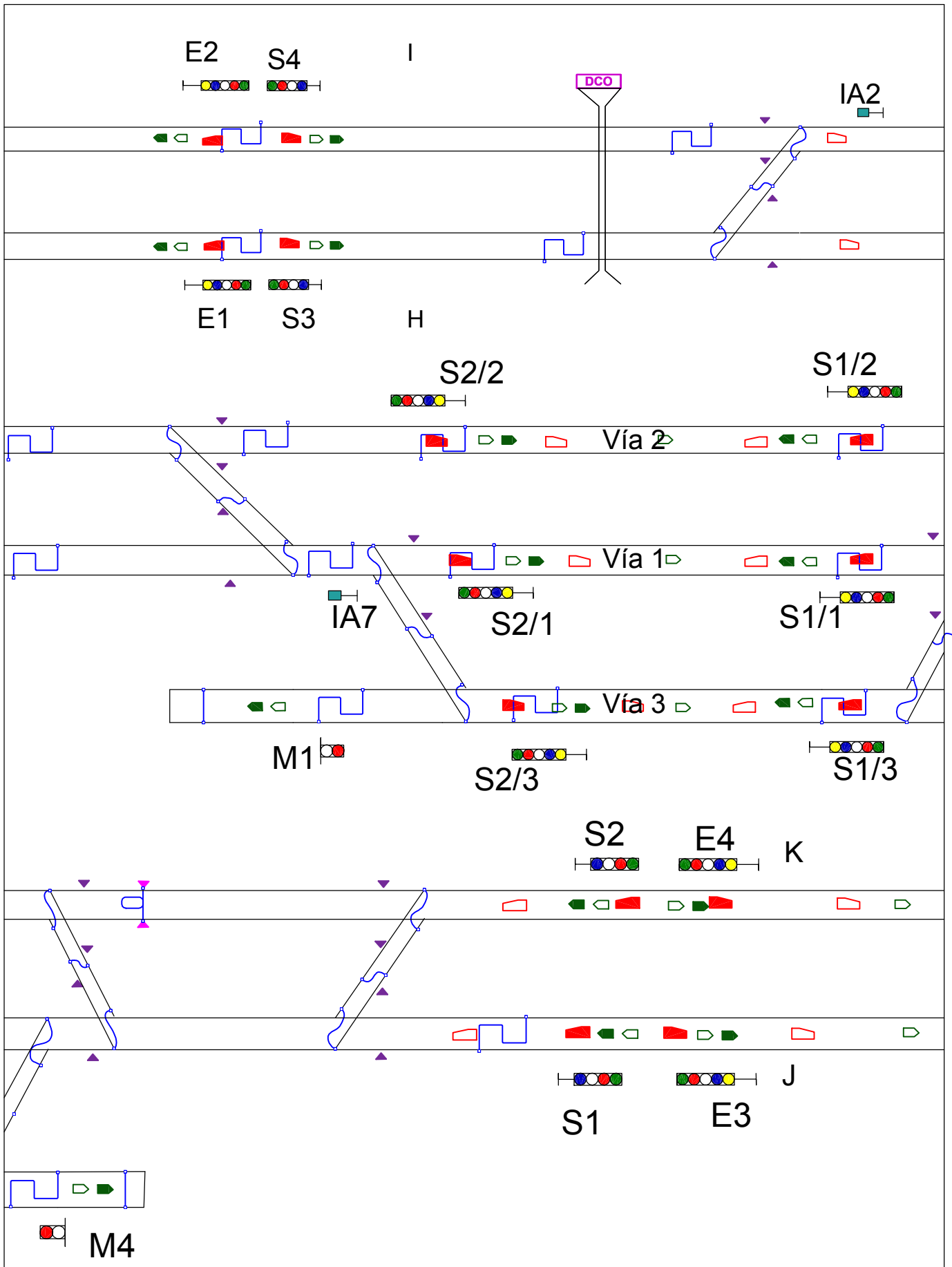
Firma	Fecha	Nombre	Universidad Pontificia Comillas ICAI Grado Ingeniería Electromecánica
	15/06/2015	Ana Rodríguez Beltrán	
Escala 1:100000	Proyecto Fin de Grado Diseño de una línea en vía única para circulaciones en Alta Velocidad equipada con señalización ERTMS Nivel 2 y su comparación en costes con una instalación en ERTMS Nivel 3. Establecimiento del programa de explotación y análisis de la capacidad de transporte en Nivel 2 y su comparación con el Nivel 3		Nombre PLANO B Plano N° 2/5



Firma	Fecha	Nombre	Universidad Pontificia Comillas ICAI Grado Ingeniería Electromecánica
	15/06/2015	Ana Rodríguez Beltrán	
Escala	Proyecto Fin de Grado Diseño de una línea en vía única para circulaciones en Alta Velocidad equipada con señalización ERTMS Nivel 2 y su comparación en costes con una instalación en ERTMS Nivel 3. Establecimiento del programa de explotación y análisis de la capacidad de transporte en Nivel 2 y su comparación con el Nivel 3		Nombre
1:10000			PLANO C
			Plano N° 3/5

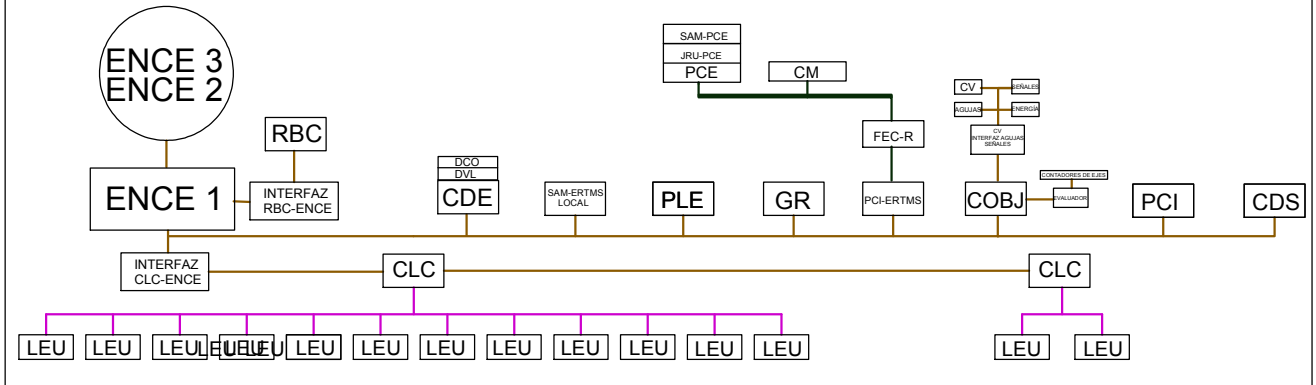


Firma	Fecha	Nombre	Universidad Pontificia Comillas ICAI Grado Ingeniería Electromecánica
	15/06/2015	Ana Rodríguez Beltrán	
Escala	Proyecto Fin de Grado		Nombre
1:25000	Diseño de una línea en vía única para circulaciones en Alta Velocidad equipada con señalización ERTMS Nivel 2 y su comparación en costes con una instalación en ERTMS Nivel 3. Establecimiento del programa de explotación y análisis de la capacidad de transporte en Nivel 2 y su comparación con el Nivel 3		PLANO D
			Plano N° 4/5

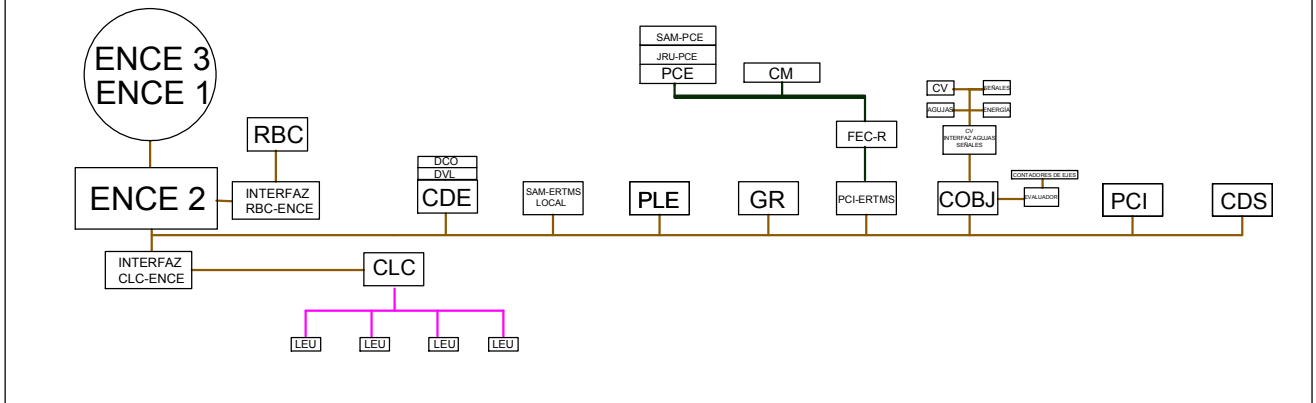


Firma	Fecha	Nombre	Universidad Pontificia Comillas ICAI Grado Ingeniería Electromecánica
	15/06/2015	Ana Rodríguez Beltrán	
Escala	Proyecto Fin de Grado		Nombre
1:10000	Diseño de una línea en vía única para circulaciones en Alta Velocidad equipada con señalización ERTMS Nivel 2 y su comparación en costes con una instalación en ERTMS Nivel 3. Establecimiento del programa de explotación y análisis de la capacidad de transporte en Nivel 2 y su comparación con el Nivel 3		PLANO E
			Plano N° 5/5

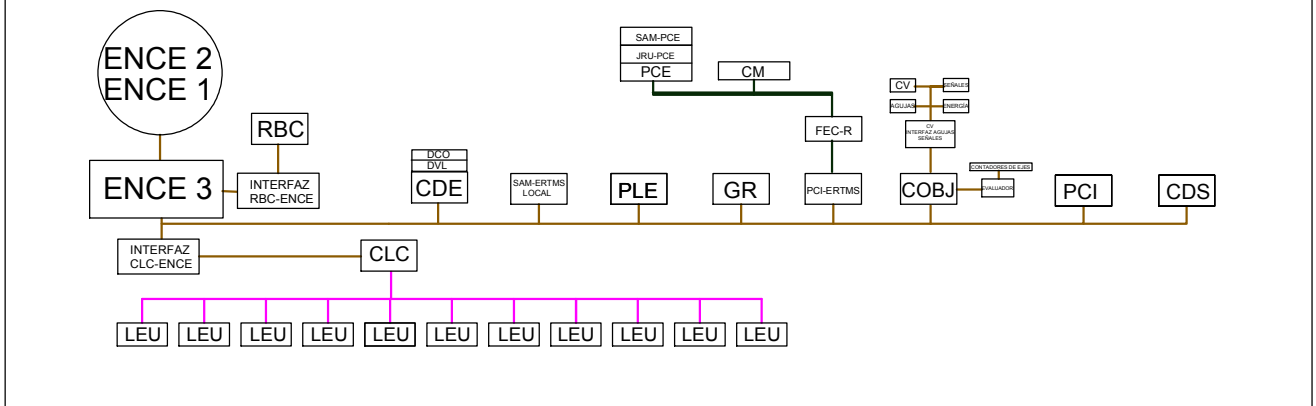
ENCLAVAMIENTO Nº1



ENCLAVAMIENTO Nº2



ENCLAVAMIENTO Nº3



Firma	Fecha	Nombre	Universidad Pontificia Comillas ICAI Grado Ingeniería Electromecánica
	15/06/2015	Ana Rodríguez Beltrán	
Escala	<h3>Proyecto Fin de Grado</h3> Diseño de una línea en vía única para circulaciones en Alta Velocidad equipada con señalización ERTMS Nivel 2 y su comparación en costes con una instalación en ERTMS Nivel 3. Establecimiento del programa de explotación y análisis de la capacidad de transporte en Nivel 2 y su comparación con el Nivel 3		Nombre Conexiones-Interfaces Enclavamientos
			Plano Nº 1/1