



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA ICAI

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

**PROPUESTA DE IMPLANTACIÓN DEL SISTEMA  
ERTMS REGIONAL EN LA LÍNEA DE ALTA  
VELOCIDAD VALLADOLID-BURGOS**



Autor:

ALBERTO GONZÁLEZ FERNÁNDEZ



Director:

JOSÉ MIGUEL SOLER RAMÍREZ

JULIO 2018



## Ficha Técnica

<b>Trabajo Fin de Máster</b>	<b>Curso 2017-2018</b>
<b>Máster en Sistemas Ferroviarios</b>	
<p><b>Título:</b></p> <p style="text-align: center;">Propuesta de implantación del sistema ERTMS Regional en la línea de alta velocidad Valladolid-Burgos</p>	
<p><b>Resumen:</b></p> <p>El presente Trabajo Fin de Máster tiene por finalidad explicar las funcionalidades y beneficios del sistema ERTMS Regional. Para ello se hace la propuesta de implantación de dicho sistema en la línea de alta velocidad Valladolid-Burgos.</p> <p>Primero se hará un resumen de los inicios de la señalización, describiendo el origen de las señales, las agujas, los enclavamientos y circuitos de vía.</p> <p>Seguidamente, se define el sistema ERTMS y sus diferentes niveles de operación, y se expone el estado actual del tramo a estudiar.</p> <p>Posteriormente, se detalla el sistema que se propone implantar, el ERTMS Regional, describiendo su arquitectura, funcionalidad, sus ventajas y sus desventajas.</p> <p>Por último, se establecen unos criterios para la implementación de los componentes en dicho tramo de vía. Con estos criterios se define una estructura para el nuevo sistema, llegando a exponer las conclusiones finales.</p>	
<p><b>Autor:</b></p>  <p style="text-align: center;">Alberto González Fernández</p>	<p><b>Director:</b></p>  <p style="text-align: center;">José Miguel Soler Ramírez</p>
Madrid, a 3 de Julio de 2018	Madrid, a 3 de Julio de 2018



# Índice General

<b>1. Introducción</b> .....	1
1.1. Motivación y Antecedentes .....	2
1.2. Objetivos del proyecto .....	6
1.3. Estructura de la memoria .....	7
<b>2. Señalización actual de la vía</b> .....	9
2.1. Introducción .....	10
2.2. ERTMS .....	10
2.3. Arquitectura ERTMS .....	11
2.4. Niveles del ERTMS .....	12
2.3.1. Nivel 1 .....	12
2.3.2. Nivel 2 .....	13
2.3.3. Nivel 3 .....	14
2.3.1. STM .....	15
2.5. Línea Valladolid-Burgos .....	16
<b>3. ERTMS Regional</b> .....	21
3.1. Introducción .....	22
3.2. Descripción del ERTMS Regional .....	22
3.3. Arquitectura ERTMS Regional .....	26
3.4. Ventajas del ERTMS Regional .....	26

---

3.5. Desventajas del ERTMS Regional .....	27
<b>4. Implantación del Sistema ERTMS Regional .....</b>	<b>29</b>
4.1. Introducción.....	30
4.2. Criterios de actuación .....	30
4.2. Arquitectura del sistema .....	31
<b>5. Conclusiones .....</b>	<b>35</b>
5.1. Análisis de objetivos .....	36
5.2. Conclusiones y aportaciones .....	36
<b>Referencias.....</b>	<b>39</b>

# Índice de figuras

Figura 1.1: Disc and Crossbard.....	2
Figura 1.2: Semáforo .....	3
Figura 1.3: Aguja .....	3
Figura 1.4: Enclavamiento .....	4
Figura 1.4a: Circuito de vía libre .....	5
Figura 1.4b: Circuito de vía ocupado.....	5
Figura 2.1: Arquitectura ERTMS .....	11
Figura 2.2: ERTMS Nivel 1.....	13
Figura 2.3: ERTMS Nivel 2.....	14
Figura 2.4: ERTMS Nivel 3.....	15
Figura 2.5: Línea Valladolid-Burgos .....	16
Figura 2.6: Arquitectura de PCA 240 .....	18
Figura 2.7: Arquitectura de Río Arlanzón .....	19
Figura 2.8: Arquitectura de PCA 273 .....	19
Figura 2.9: Arquitectura Buniel .....	20
Figura 3.1: ERTMS Regional .....	22
Figura 3.2: Capacidad en los distintos niveles ERTMS para líneas principales..... o de alta velocidad (Aachen, 2008-03-21 ).....	23
Figura 3.3: Capacidad en los distintos niveles ERTMS .....	24
para líneas regionales (Aachen, 2008-03-21 ) .....	24
Figura 3.4: Arquitectura de ERTMS Regional (UIC, 2006).....	26
Figura 4.1: Arquitectura del CRC.....	31

---

Figura 4.2: Arquitectura de la bifurcación Valladolid-Burgos .....	32
Figura 4.3: Arquitectura de Río Arlanzón .....	33
Figura 4.4: Arquitectura de Buniel .....	33
Figura 4.5: Arquitectura del sistema ERTMS Regional .....	34



# Capítulo 1

## Introducción

*En este capítulo se presentan los antecedentes y motivación. A continuación, se enumeran los objetivos marcados para la elaboración del Trabajo Fin de Máster y finalmente se estructura la memoria.*

## 1.1. Motivación y Antecedentes

Desde sus orígenes, el ferrocarril ha presentado como misión principal el transporte de viajeros y/o mercancías. Esta misión está influida por muchos factores, entre ellos, destacan los sistemas de señalización, es decir, los sistemas de mando y control que proporcionan el movimiento seguro de los trenes. (León, 2017)

Los primeros sistemas de señalización fueron las propias personas, representaban la función de “policías ferroviarios”. Conocían dónde estaban los trenes, autorizando de este modo su paso o denegándolo. Debido al aumento de la demanda del ferrocarril, estas personas debían atender a varios trenes a la vez, lo que hacía que el sistema tuviese vulnerabilidades causando incidentes.

Aparecen así las primeras señales a pie de vía. Se trataba de banderas rojas, cuyo color era indicativo de “parada”. La baja velocidad de los trenes y su peso reducido, hacían que la distancia de parada fuese corta.

Como consecuencia del desarrollo del ferrocarril se aumentó la velocidad, el peso y la longitud de los trenes, haciendo que los actuales sistemas de señalización fuesen insuficientes. (León, 2017)

Nacen así las primeras señales mecánicas. La primera de ellas fue el *Disc and Crossbar*, formada por un disco cuya posición frontal respecto a la marcha del tren era indicativa de parada. Disponía de un farol de aceite que permitía su visualización durante la noche. (Figura 1.1)



Figura 1.1: Disc and Crossbard

Posteriormente, nace el primer semáforo. Se trataba de un poste de aproximadamente cuatro metros de alto, con un brazo que indicaba el estado de la vía en función de su posición. En vertical, indicaba vía libre, en 45° indicada precaución y en horizontal indicaba parada. (Figura 1.2)



Figura 1.2: Semáforo

Estas señales disponían de contrapesos que forzaban su movimiento a la situación más restrictiva en caso de fallo, para obtener de este modo una situación segura. (Ramírez, 2018)

Simultáneamente, nacen los primeros accionamientos manuales de desvíos. A pie de aguja existía una palanca que permitía cambiar la posición del desvío. Había una persona encargada de su manipulación, ponían la señal en su aspecto correspondiente, parada o vía libre.



Figura 1.3: Aguja

Debido a la cantidad de desvíos y, en consecuencia, al número de agujas existentes, surgieron dificultades a la hora de poder actuar sobre dichas agujas para autorizar a los trenes al seguimiento de la marcha. Como solución, se toma la decisión de unir todas las palancas en un solo punto, pudiendo así una única persona maniobrar todas las palancas y señales de la estación.

Esta decisión dificultaba a los maquinistas, ya que no sabían a qué vía pertenecía cada señal. Las dificultades de la operación hicieron que surgiese un sistema que relacionase físicamente la posición del desvío con la señal que protege la ruta sobre el mismo. Surge así el enclavamiento.

El enclavamiento relaciona la posición del desvío con el estado de la señal, evitando que pueda abrirse una señal si existe otra ruta autorizada que implique un peligro de colisión de los trenes. (León, 2017)

A las palancas de maniobra anteriormente explicadas, se le añaden otras que indican los itinerarios, evitando poder establecer rutas incompatibles. Los primeros enclavamientos, fueron mecánicos. A través de unas barras se conseguía enclavar una ruta, haciéndola incompatible con otras que supusieran un peligro. (Figura 1.4)



Figura 1.4: Enclavamiento

Los enclavamientos estaban situados en lugares desde donde se observaban todas las agujas y señales que el sistema controlaba. El ejercicio de observar la posición de cada tren y establecer su ruta se hacía visualmente. En días con poca visibilidad era prácticamente imposible saber con exactitud donde se encontraba cada tren. Es aquí cuando aparecen los circuitos de vía, permitiendo obtener una localización precisa de la situación del tren.

Con los circuitos de vía, los carriles son parte de un circuito eléctrico que sirve para localizar al tren. (Figura 1.4a y Figura 1.4b)

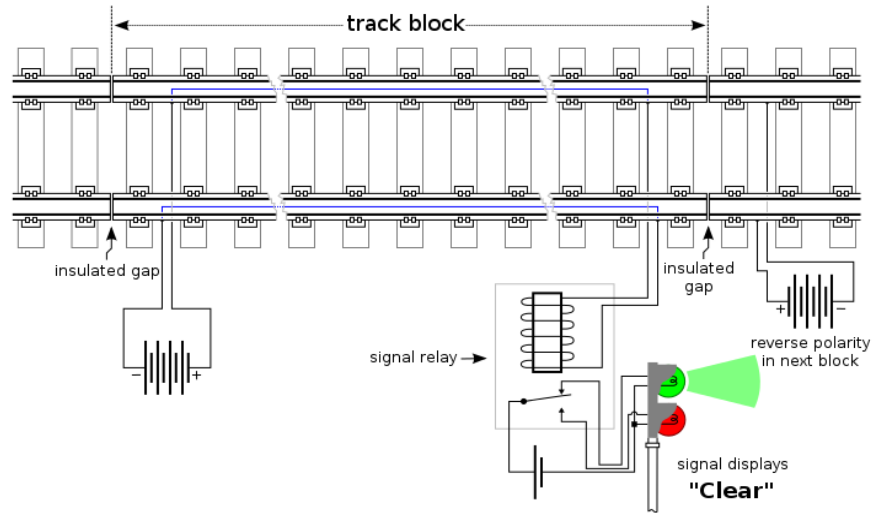


Figura 1.4a: Circuito de vía libre

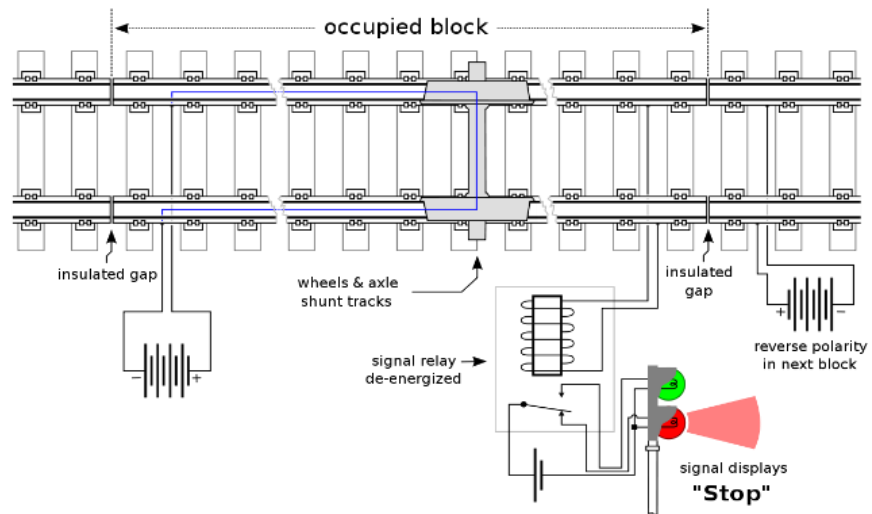


Figura 1.4b: Circuito de vía ocupado

A través de los ejes del tren, se cortocircuita la corriente que circula por el carril. Esta ausencia de corriente produce la caída de excitación de un relé en el otro extremo del circuito, ocasionando el cambio de estado de la señal, y por consiguiente la presencia de un tren en ese tramo de vía.

Este sistema fue diseñado de tal modo que, en caso de fallo, se estableciese la situación más segura. Es decir, si como consecuencia de una avería no le llega corriente al relé, éste cae, haciendo una ocupación en ese tramo de vía. Este principio se denominó *Fail-Safe*.

El circuito de vía fue una gran innovación para la señalización. Los enclavamientos conocían la posición segura de cada tren, y los bloqueos entre trayectos hicieron aumentar la frecuencia y seguridad.

Por todo lo anteriormente expuesto, la motivación del presente TFM nace del interés en profundizar el conocimiento de los actuales sistemas de señalización, concretamente en el sistema ERTMS y sus variantes.

## 1.2. Objetivos del proyecto

El objetivo principal del presente trabajo es la **propuesta de implantación de otro sistema de señalización para una vía de alta velocidad con bajo tráfico o líneas regionales.**

Para conseguir dicho objetivo, se irán desarrollando los siguientes objetivos secundarios:

- Estudio del sistema actual instalado en la vía.

Estudio de las características del tramo de la línea de alta velocidad Valladolid-Burgos.

- Estudio del Sistema a implantar.

Estudio del nuevo Sistema que se desea proponer: funcionalidad, componentes, integridad del tren, mejoras...etc.

- Implantación del Sistema ERTMS Regional.

Actuaciones necesarias para llevar a cabo la implantación del nuevo sistema, como repercuten, arquitectura...etc.

### 1.3. Estructura de la memoria

La memoria presenta la siguiente estructura:

**Capítulo 1. Introducción.** Se exponen los antecedentes, motivación y los objetivos del TFM. Se presenta la estructura de la memoria.

**Capítulo 2. Señalización Actual de la Vía.** Se describe de forma detallada el sistema de señalización actual que posee la línea Valladolid-Burgos.

**Capítulo 3. ERTMS Regional.** Se presenta el sistema a implantar, su funcionalidad, componentes, mejoras respecto a otros sistemas...etc.

**Capítulo 4. Implantación del Sistema ERTMS Regional.** Se llevan a cabo las actuaciones necesarias para poder implantar el sistema propuesto, presentando la arquitectura y las repercusiones que causa.

**Capítulo 5. Conclusiones.** Se describen las conclusiones y se analiza el cumplimiento de los objetivos.





## Capítulo 2

# Señalización actual de la vía

*En este capítulo se expone el sistema de señalización que posee la vía. Se presenta el tramo de vía con sus características.*

## 2.1. Introducción

Para comenzar a explicar el sistema implantado en el tramo de vía Valladolid-Brugos, es importante exponer el funcionamiento del mismo y sus diferentes niveles de seguridad. Igualmente, en este capítulo se detalla el estado actual del tramo de vía.

## 2.2 ERTMS

El principal problema que presenta Europa, es la gran variedad de sistemas de ATP (*Automatic Train Protection*) que se encuentran implantados en los diferentes países. Esto ocasiona incompatibilidades entre los países, no pudiendo un mismo tren atravesar varios.

Europa se plantea lanzar un proyecto de investigación para unificar todos los sistemas y crear un solo sistema que fuese compatible para toda la zona europea, así nace el sistema ERTMS.

El ERTMS (*European Railway Train Management System*), tiene como objetivo principal la interoperabilidad de los diferentes equipos que fabrican las empresas, a través de unas especificaciones que permiten el funcionamiento entre ellos. El ERTMS comprende varios proyectos: Eurocabina, Eurobaliza y Euroradio.

UNISIG es el nombre que ha recibido la agrupación de empresas encargadas de este proyecto que han realizado las SRS (*System Requirements Specification*) con los requerimientos funcionales, solicitado por la asociación de ferrocarriles europeos.

El sistema ERTMS/ECTS se puede resumir en:

- ERTMS/ECTS es un sistema de control de trenes automático. Formado por dos subsistemas: uno a bordo del tren (Eurocabina) y otro en la vía (Eurobaliza).
- Se comunican por medio de unos interfaces estándar, utilizando protocolos y funciones estándar.
- Existe un interface estándar con sistemas de ATP nacionales que permite la transición al ERTMS.

Estos interfaces permiten la circulación de los trenes con equipos de diferentes fabricantes por tramos de vía en los que hay instalados equipos de otros fabricantes diferentes a los que tiene a bordo el tren.

### 2.3 Arquitectura ERTMS

Existen dos grandes bloques: subsistema vía y subsistema tren. Las siglas FFFIS (*From Fit Funtional Interface Specification*) corresponde a interfaces estandarizados funcional y técnicamente, y que están abiertos a cualquier fabricante que cumpla las especificaciones. FIS (*Funtional Interface Specification*), son aquellos que requieren adaptación técnica.

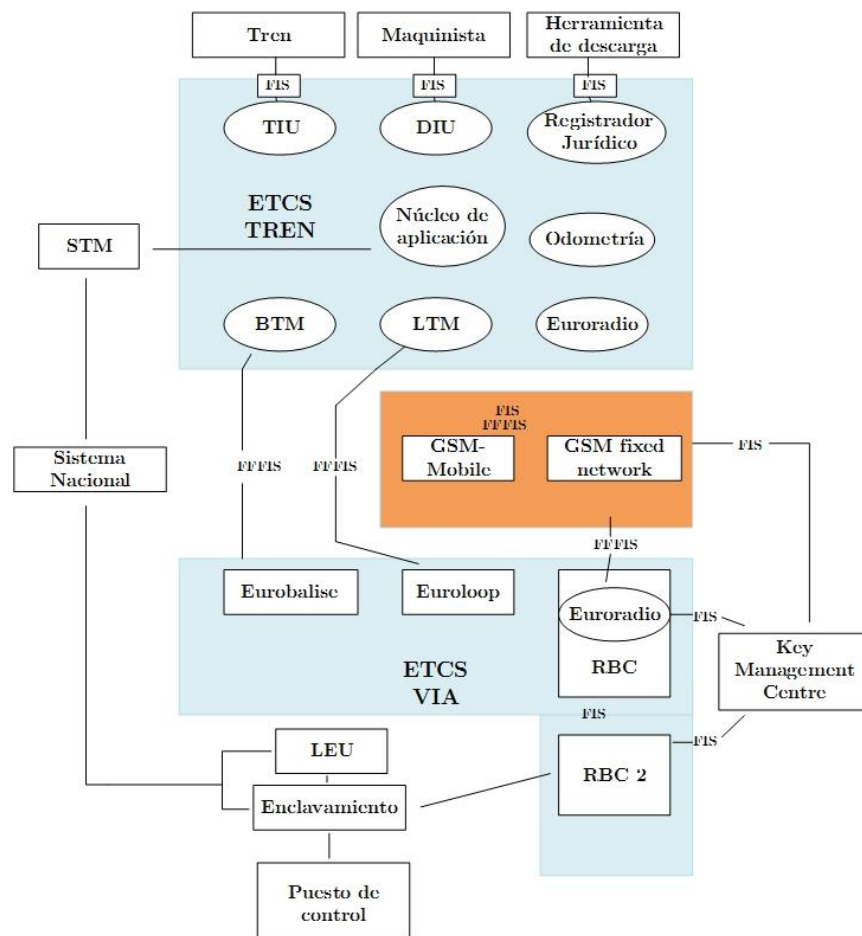


Figura 2.1: Arquitectura ERTMS

La Eurocabineta se conecta a los distintos subsistemas externos a través de la unidad TIU (*Train Interface Unit*), el maquinista se comunica a través del DIU (*Driver Interface Unit*). Todo lo que sucede a lo largo de la marcha del tren queda registrado con un interface normalizado para su posible descarga para el registrador jurídico. Los módulos BTM (*Balise Transmission Module*) y LTM (*Loop Transmission Module*), recogen información desde la vía que le mandan las Eurobalizas.

Las Eurobalizas se conectan gracias a los LEU (*Line Encoder Units*) al enclavamiento, del que reciben la información de la ruta establecida y estos a su vez envían un telegrama específico a la Baliza.

El RBC hace las funciones de manera semejante a los LEUs, recibe la información del enclavamiento (las rutas establecidas, la posición de cada tren, los circuitos de vía ocupados y libres) y envía la Autoridad de Movimiento a cada tren, por medio de la radio GSM-R. A su vez recibe la posición y velocidad del tren.

## 2.4 Niveles del ERTMS

El ETCS se compone de tres niveles de integración, desde el más sencillo, Nivel 1, al más complejo, Nivel 3.

### 2.3.1 Nivel 1

El Nivel 1 se trata de un sistema puntual de protección con supervisión continua de la velocidad. (Figura 2.1)

La información necesaria para la conducción del tren la transmiten las Eurobalizas que se encuentran en la vía a pie de señal. Las balizas reciben la información del enclavamiento a través de unos elementos llamados LEUs (*Line Encoder Unit*). La información que se envía depende del aspecto de la señal y de la ruta seleccionada.

El contenido de la información es utilizada por la Eurocabina para calcular la velocidad máxima del tren y el punto de frenado en función de las características del tren. En caso de fallo o distracción se aplica freno de servicio, y posteriormente freno de emergencia si fuese necesario.

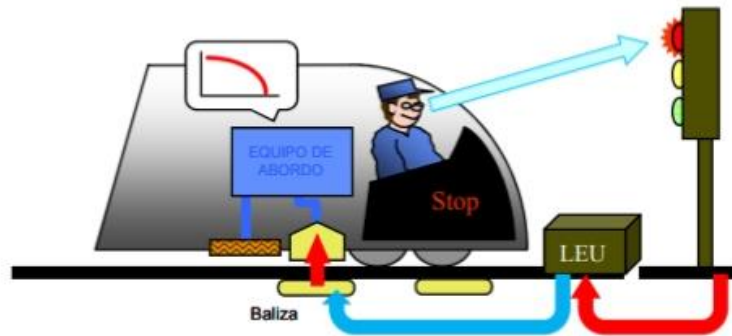


Figura 2.2: ERTMS Nivel 1

La posición del tren la muestran los circuitos de vía o los sistemas de detección que tenga la vía. Este nivel está protegido por señales laterales, por lo que el conductor no sólo tiene que estar atendiendo a la señalización en cabina, sino que deberá prestar atención a la señalización lateral. Indiscutiblemente, la señalización en cabina y la señalización lateral, deberán ser coherentes para evitar mal entendidos y posibles casos de accidente.

### 2.3.2 Nivel 2

En este nivel, la información que recibe el tren no es puntual como en Nivel 1, sino que es de forma continua. Esto es posible gracias al RBC (Radio Block Centre), ya que transmite vía radio toda la información necesaria al tren. (Figura 2.2)

El RBC está situado en vía y se comunica con el enclavamiento que establece las rutas de forma segura. El RBC envía los datos geográficos de la vía, la distancia al próximo tren o circuito de vía ocupado, es decir, envía la Autoridad de Movimiento (MA).

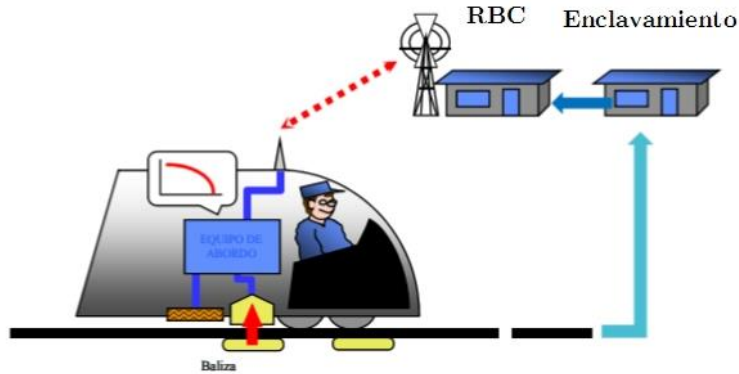


Figura 2.3: ERTMS Nivel 2

En este nivel, las señales no son necesarias. La información que recibe el equipo embarcado del tren, es decir, la Eurocabina, se presenta en el DMI (Driver Machine Interface), situado en el pupitre de conducción. Se debe conducir conforme a lo que se muestre en la pantalla. Si no se atiende a las indicaciones, la Eurocabina avisa, si se sigue sin reaccionar, se aplica automáticamente freno de servicio y posteriormente, el freno de emergencia para detener el tren antes de llegar al punto de peligro.

Para la detección del tren, se utilizan los circuitos de vía, pero la localización precisa del tren la realiza el propio equipo embarcado, a través de la odometría, que determina la posición en cada momento y supervisa la velocidad a la que se circula para poder parar en el punto exacto. Este método de localizar el tren tiene algunos errores, para corregir esos errores se utilizan unas balizas fijas puesta en la vía.

### 2.3.3 Nivel 3

Por último, existe el Nivel 3. Este nivel, al igual que el Nivel 2, sigue siendo un sistema de protección continuo. (Figura 2.3)

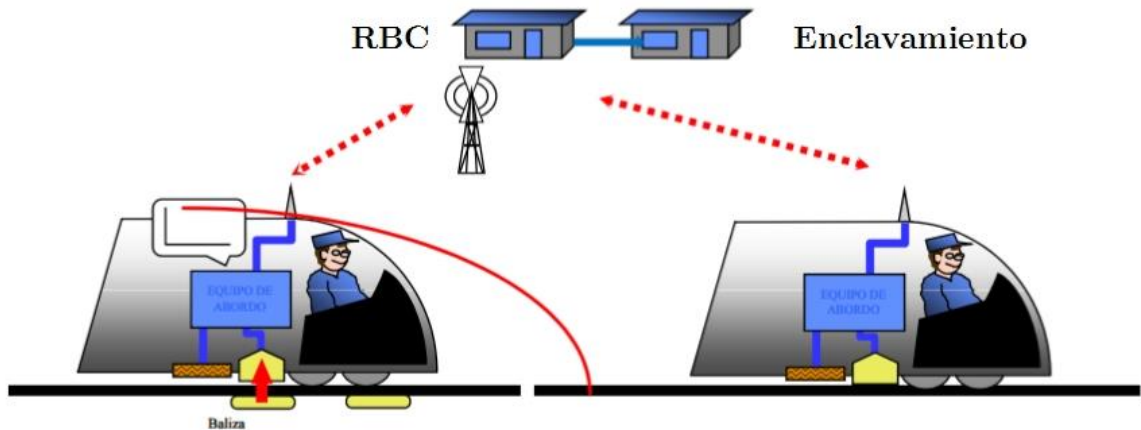


Figura 2.4: ERTMS Nivel 3

En el Nivel 3 no existen los circuitos de vía, el equipo embarcado del tren está en constante comunicación con el RBC, por lo que se sabe en cada instante la posición del tren y su velocidad. Al no existir circuitos de vía, la integridad del tren no es del todo fiable, es decir, no se sabe si en algún momento el tren ha perdido algún coche o vagón por el camino. Esto requiere de un equipo que asegure en todo momento la integridad del tren.

Al no tener circuitos de vía, este nivel tiene un funcionamiento llamado “*moving block*” o cantón móvil”. Consiste en mandar la Autoridad de Movimiento hasta la cola del siguiente tren.

### 2.3.1 STM

Este módulo permite la captación de señales provenientes de los sistemas de protección nacionales y a través de un interface estándar, pasarlas al equipo embarcado para realizar las funciones de protección del tren en zonas con sistemas nacionales. El equipo embarcado muestra la información para la conducción que recibe del STM.

## 2.5 Línea Valladolid-Burgos

El tramo de la línea de alta velocidad **Valladolid – Burgos** constituye parte del ramal norte/noroeste de la red de ferrocarril de alta velocidad de España. (Figura 2.5)

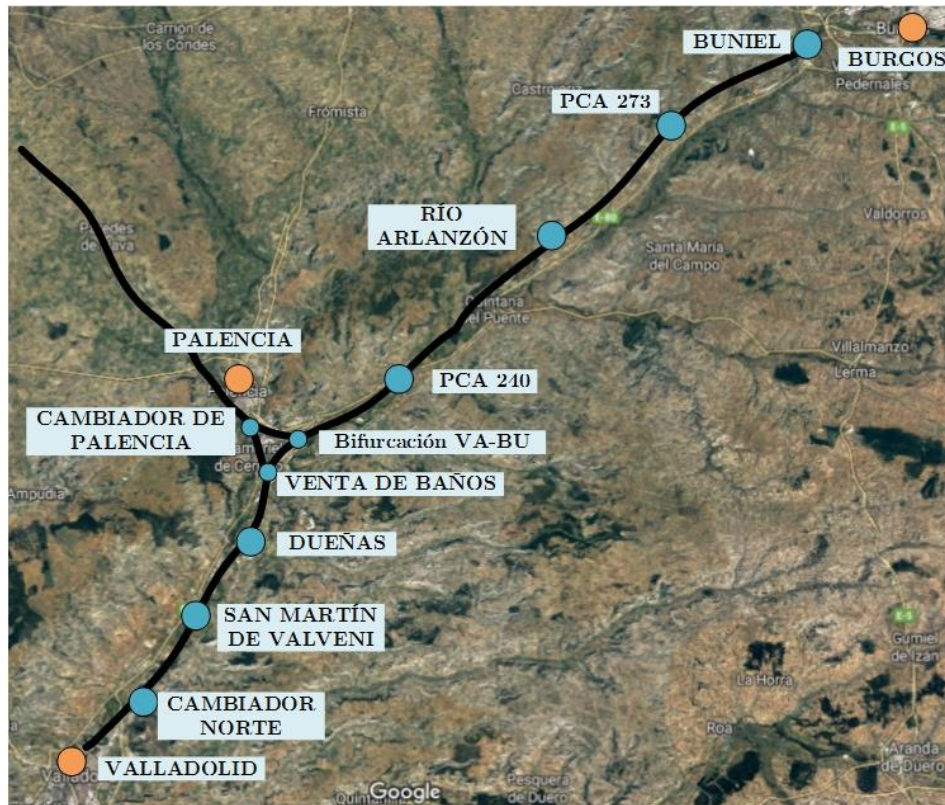


Figura 2.5: Línea Valladolid-Burgos

Está diseñado de acuerdo a las especificaciones técnicas de interoperabilidad de la Unión Europea para líneas de alta velocidad. La plataforma está diseñada para una velocidad máxima de 350 km/h, y se pondrá en servicio en vía única.

El sistema de seguridad será el ERTMS Nivel 2 y ASFA, teniendo como sistemas de comunicaciones el GSM-R. Como se dijo anteriormente, el Nivel 2 es un sistema el que cual el tren esta supervisado continuamente. Este nivel cuenta con dos equipamientos, uno en vía y otro a bordo. El equipamiento a bordo se encarga de la captación de datos procedentes de la vía, es decir, los datos que le transmiten las Eurobalizas. Igualmente, se encarga de establecer la comunicación a través de la radio GSM-R con el RBC para hacer posible el envío y recepción de información, para poder crear la curva de velocidad del tren. El equipamiento en vía está formado por los RBC



distribuidos a lo largo de la vía y por las Eurobalizas para la eliminación del error de posición de los trenes. El RBC es el encargado de enviar la autorización de movimiento a cada tren que controla, a través de la información recibida del enclavamiento, que es el que conoce como se encuentran todos los elementos de la vía.

Como sistema secundario de protección, está instalado el sistema ASFA (Anuncio de señal y frenado automático). Se trata de un sistema de transmisión puntual en vía. Está compuesto por equipos instalados en la vía (balizas ASFA) y por el equipo embarcado del tren (captador). Al paso por la baliza, el captador del tren recibe la información del estado de la señal y la restricción en el siguiente cantón. El sistema embarcado del tren transmite la información al maquinista en forma de advertencia sonora y luminosa. Dependiendo de la frecuencia emitida por la baliza, será una orden u otra, que el maquinista deberá reconocer siempre. Si el maquinista no reconoce las órdenes emitidas por la baliza, se procederá al frenado automático de emergencia para detener al tren de forma segura.

El tramo donde se va a proponer la implementación del ERTMS Regional, es el comprendido entre la bifurcación de Valladolid-Burgos y Buniel.

Este tramo está controlado por un solo enclavamiento instalado en Río Arlanzón, (INECO, 2013) con un RBC igualmente en esta estación. Cara enclavamiento electrónico dispone de un registrador jurídico, que permite la reconstrucción del estado del sistema en caso de que se produzca un accidente.

Los enclavamientos tienen la capacidad de ser telemandados desde varios puestos remotos. Estos puestos pueden ser: Puesto Local de Operación (PLO) y centro de Control de Tráfico Centralizado (CTC), ya sea desde el Centro de Regulación y Control (CRC) de Atocha o el de respaldo de Villaverde. Para que este control sea posible se dispone de un control de interfaces (PCI), para enlazar los diferentes sistemas de control.

A lo largo del tramo están instaladas las balizas que necesita el ERTMS Nivel 2, las BTS necesarias, los circuitos de vía, las balizas ASFA, y todos los elementos necesarios para la circulación de los trenes de forma segura.

La comunicación entre los diferentes enclavamientos, el RBC, los controladores de balizas (LEU) y los controladores de objetos, se hace a través de canales de comunicación Ethernet (IEEE 802.3) que se encuentran redundados y utilizan protocolos de seguridad.

La parte de interés de este tramo se centra en los elementos necesarios para poder operar de manera segura. Estos elementos están concentrados en determinadas instalaciones a lo largo del recorrido entre la bifurcación VA-Bu y Buniel.

El tramo contiene las siguientes instalaciones:

- PCA 240: en esta instalación existe un controlador de objetos (COBJ), el cual controla las señales de campo, la posición de cada aguja y estado de los circuitos de vía. (Figura 2.6)
- Río Arlanzón: en este punto se encuentra el enclavamiento (ENCE), junto con el RBC, el controlador de objetos para comandar y recibir el estado de los elementos de la vía, el evaluador, un puesto local de operación (PLO), un registrador jurídico (JRU), el sistema de ayuda al mantenimiento (SAM), un concentrador de detectores de seguridad (CDS), el PCI para comunicar con el CRC. (Figura 2.7)

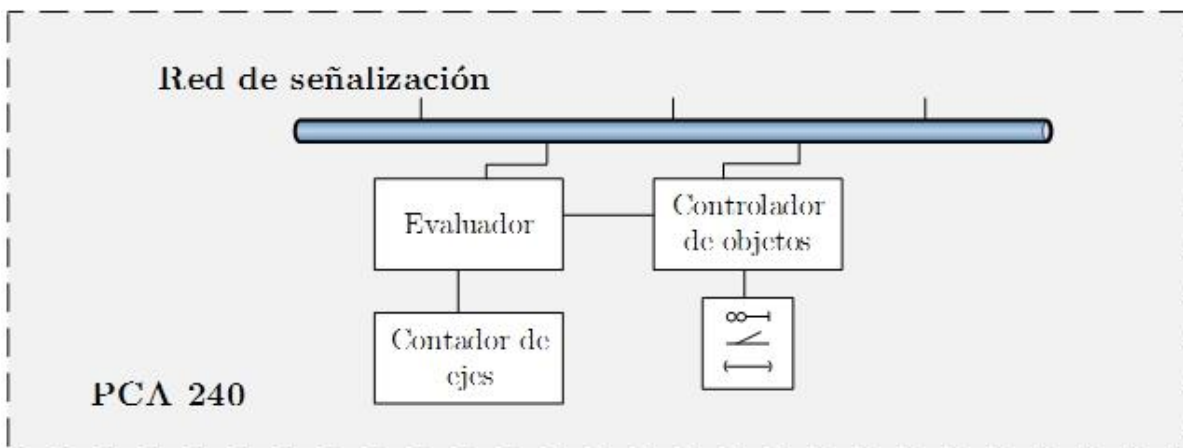


Figura 2.6: Arquitectura de PCA 240

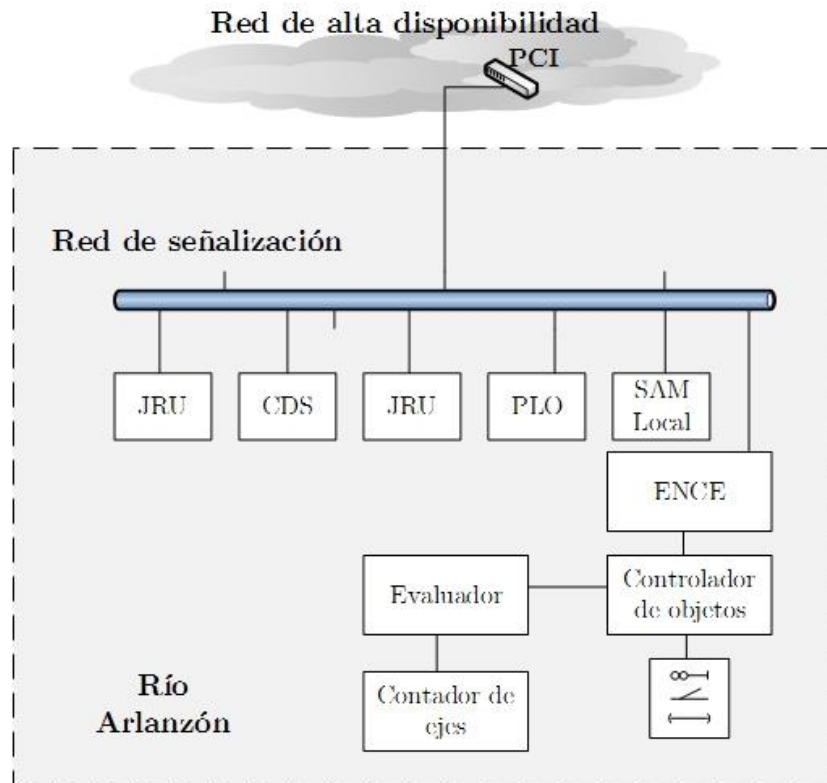


Figura 2.7: Arquitectura de Río Arlanzón

- PCA 273: este punto es exactamente igual al PCA 240, descrito anteriormente. Con su evaluador, contador de ejes, y controlador de objetos para conocer el estado de las señales, circuitos de vía y agujas. (Figura 2.8)

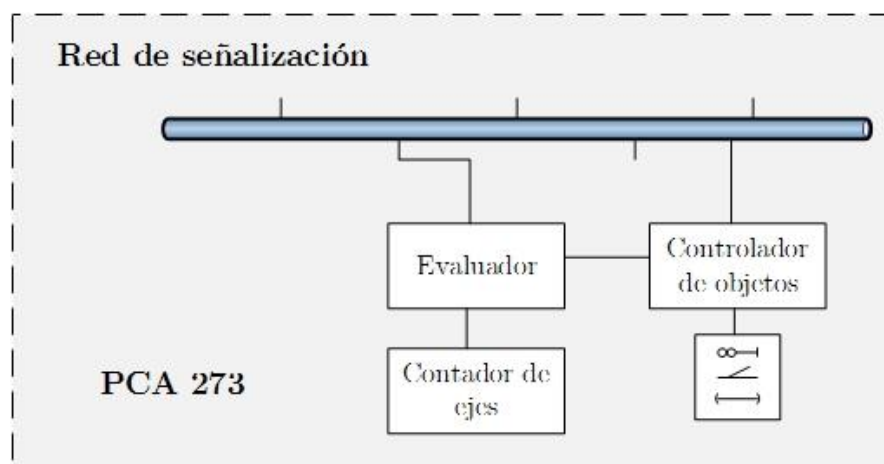


Figura 2.8: Arquitectura de PCA 273

- Buniel: al no existir un enclavamiento aquí, solo tenemos un evaluador y un controlador de objetos. (Figura 2.8)

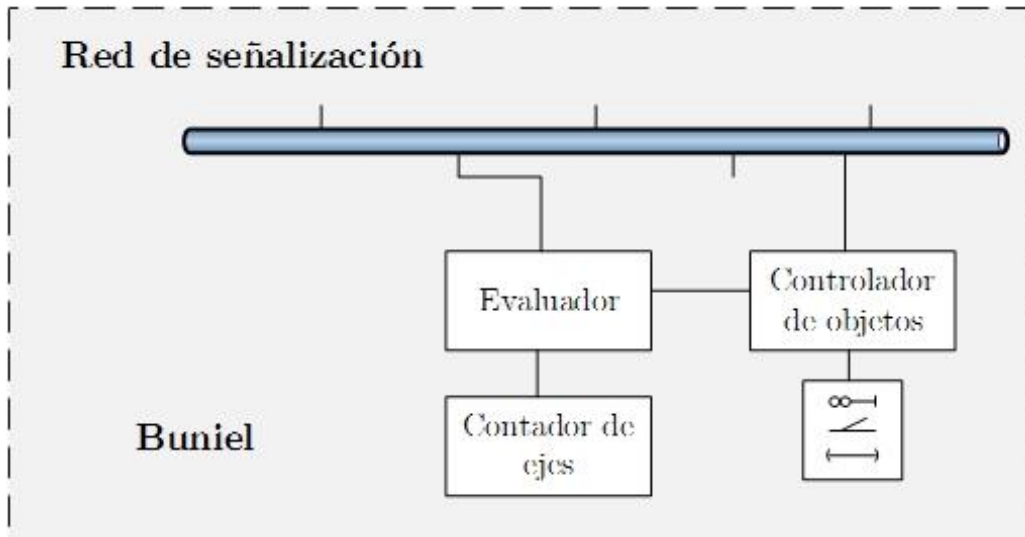


Figura 2.9: Arquitectura Buniel

En resumen, los elementos que se incluyen en la línea son:

- Enclavamiento electrónico instalado en Río Arlanzón, con su sistema videográfico de mando local, registrador jurídico y sistemas de ayuda al mantenimiento.
- Circuitos de vía de audiofrecuencia en las estaciones.
- Contadores de ejes.
- Señales luminosas laterales.

## Capítulo 3

# ERTMS Regional

*En este capítulo se expone el sistema de señalización que se propone instalar en la vía. Se presenta la funcionalidad, componentes y mejoras respecto a otros sistemas.*

### 3.1. Introducción

Como se ha mencionado anteriormente, en el ERTMS Nivel 3, no eran necesarios sistemas de detección de los trenes, ya que toda la información la obtenía el equipo embarcado del tren. Este nivel, es muy recomendable si la línea en la que está instalado tiene una alta densidad de tráfico, ya que con el sistema de “cantón móvil” pueden ir los trenes muy juntos, pero por el contrario, implantar este sistema en líneas de baja densidad de tráfico puede resultar caro e innecesario.

Es así como surge en Suecia una variante del ERTMS Nivel 3 para líneas de baja densidad de tráfico, llamado ERTMS REGIONAL.

### 3.2. Descripción del ERTMS Regional

El ERTMS Regional permite que un tren pueda circular tanto por líneas de alta velocidad, como por líneas regionales. Hay muchas líneas regionales que no disponen de los sistemas de seguridad que poseen las líneas de alta velocidad, incluso muchas de estas líneas siguen utilizando bloqueos telefónicos, gracias a este sistema se puede aumentar el nivel de seguridad y capacidad en las líneas regionales.

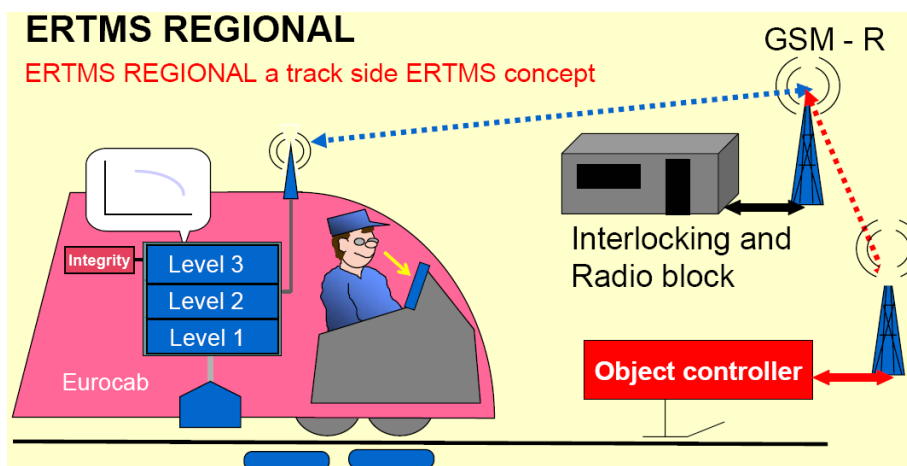


Figura 3.1: ERTMS Regional

Como podemos ver en la Figura 3.1, el ERTMS Regional es un sistema de protección continua, muy parecido al Nivel 3 de ERTMS, en que toda la información se transmite vía radio GSM-R, incluida la información de los elementos de la vía con el enclavamiento y RBC.

Al tratarse de un sistema equivalente al Nivel 3, se puede aumentar considerablemente la capacidad de la línea si se trata de una línea regional. En la Figura 3.2, podemos ver una gráfica de capacidad para una línea principal. Partiendo que el Nivel 1 es capacidad 100%, podemos ver como al subir al Nivel 2 no se aumenta significativamente la capacidad de dicha línea. Para notar un cambio relevante, habría que instalar el Nivel 2 y dotar al sistema de circuitos de vía cada 400 metros. Con esta modificación se obtiene un 137,7%. Pasar de esta configuración a la configuración de Nivel 3 no es significativo el aumento de capacidad.

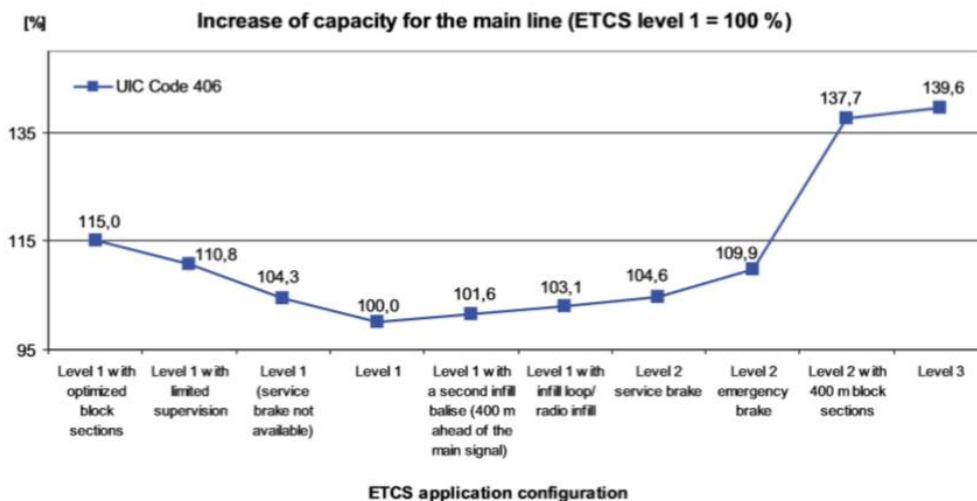


Figura 3.2: Capacidad en los distintos niveles ERTMS para líneas principales o de alta velocidad (Aachen, 2008-03-21 )

Sin embargo, en líneas regionales, el cambio de pasar de un Nivel 1 al Nivel 2 de ERTMS, no es significativo. Esto se debe a que la velocidad de los trenes relativamente baja. Donde se nota un cambio es al instalar el Nivel 3, ya que con el sistema de “cantón móvil”, se aumenta la capacidad considerablemente.

En la Figura 3.3 se puede ver la diferencia de capacidad entre un Nivel 1 a un Nivel 2 es practicamente nula, mientras que si se trata del Nivel 3 la capacidad aumenta hasta un 170.9 %.

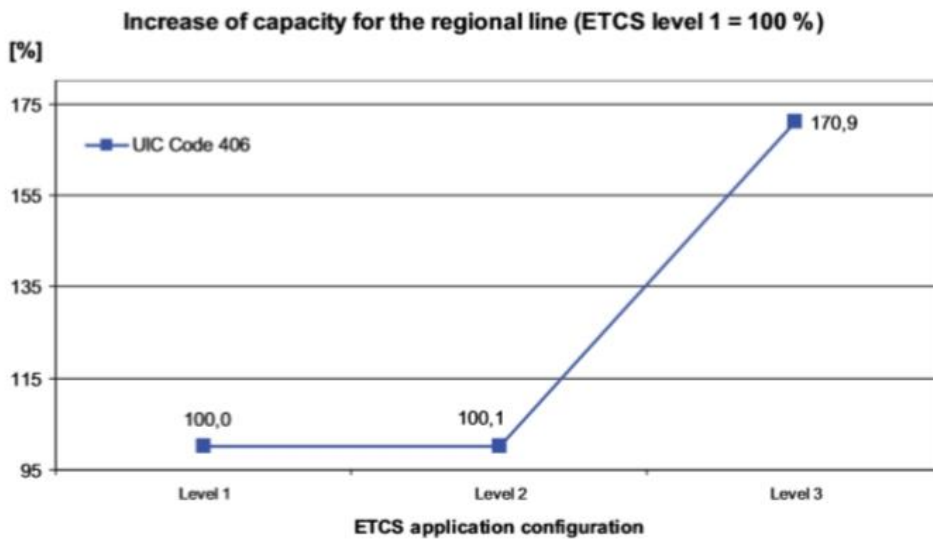


Figura 3.3: Capacidad en los distintos niveles ERTMS para líneas regionales (Aachen, 2008-03-21 )

La diferencia que existe entre el ERTMS Nivel 3 y el ERTMS Regional es la compactación de los elementos que tiene, es decir, los elementos por separado que existen en el Nivel 3, se unen en un solo componente, lo que supone un ahorro para la instalación del sistema.

En este sistema, el CTC, el enclavamiento y el RBC se integran en un único elemento de seguridad que no requiere de sistemas de detección de tren en vía, es decir, ni circuitos de vía y contadores de ejes. El nombre que recibe la unión de estos elementos es, TCC (Train Control Center). Además la reducción de objetos de vía es significativo ya que los circuitos de vía ni las señales son necesarias. Por otro lado los controladores de objetos pueden estar conectados al TCC vía radio en vez de usar los medios tradicionales, fibra o cobre lo que supone un ahorro en instalación y mantenimiento.

Esto supone un ahorro de elementos en vía que reducen mucho el coste de construcción y mantenimiento de la vía. Las únicas instalaciones en vía son balizas en puntos determinados que no requieren de un mantenimiento excesivo como las del Nivel 3.

En la actualidad, la integridad del tren la supervisa el maquinista, pero se está investigando un modelo único que permita la supervisión de la integridad de la composición el sistema embarcado. La autorización de movimiento al tren llega por radio GSM-R. Desde el Centro de Control de Tráfico (CTC) se solicita una ruta del tren desde un punto a otro. El TCC comprueba



que los apartaros de vía estén disponibles a través de la información que le envía el controlador de objetos vía radio. Si están disponibles para la ruta solicitada y no hay obstáculos, el TCC reserva la ruta requerida y se lo comunica al tren. Envía la Autoridad de Movimiento a través de la radio GSM-R al equipo embarcado del tren. Este envía un mensaje a la pantalla del maquinista con la información envía desde el TCC.

El ERTMS regional no requiere de cobertura radio completa en todo el recorrido, las zonas de trayecto pueden no tener cobertura y puede entrar y salir de las zonas con cobertura de forma controlada. Cuando vuelve a tener cobertura, renueva la autorización de movimiento y relocaliza el tren. El CTC sabe que hay un tren en ese trayecto sin cobertura y no permite movimientos hacia ese tramo, ni sobre las vías de recepción de ese trayecto, hasta que el tren vuelva a ser localizado. Debido a estos “tramos ciegos” y al cantonamiento fijo que presenta el sistema, la distancia entre trenes tiene que ser mayor a la del Nivel 3 y, por tanto, la capacidad es menor.

El ERTMS Regional está basado en el sistema CBTC (Communications-Based Train Control), que hace uso de las comunicaciones bidireccionales entre el equipo embarcado del tren y el equipo instalado en vía, para gestionar el tráfico. Con este sistema se consigue con mayor precisión la posición exacta del tren y, gracias a ello, se lleva una gestión de tráfico más segura y eficiente.

### 3.3. Arquitectura ERTMS Regional

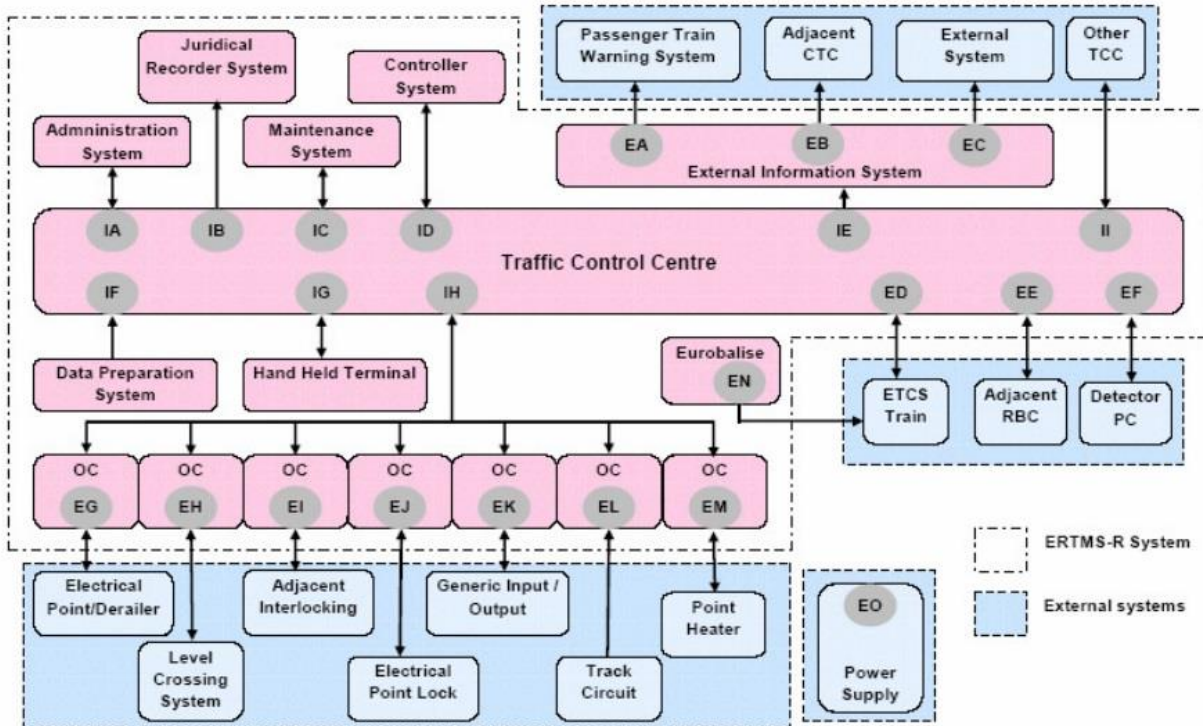


Figura 3.4: Arquitectura de ERTMS Regional (UIC, 2006)

### 3.4. Ventajas del ERTMS Regional

- Muchas líneas de tráfico débil o regional no están equipadas con CTC's o bien están operadas con sistemas de señalización antiguos difíciles de mantener.
- El ERTMS regional reduce el coste con respecto a las instalaciones convencionales.
- Los costes de operación también pueden ser reducidos minimizando el equipamiento de vía y centralizando la operación.
- La capacidad de transporte se incrementa, así como su seguridad.
- Posee una flexibilidad alta de operación, ya que puede circular cualquier tipo de tren por las líneas en las que está instalado.

La gran ventaja del ERTMS Regional es que se trata de un sistema que permite la circulación de los trenes con una alta seguridad, siendo barato y compatible con sistemas de mayor capacidad. Esta capacidad se ampliaría añadiendo elementos a los existentes, hasta conseguir dicha capacidad.

### **3.5. Desventajas del ERTMS Regional**

- Alta inversión inicial en el sistema de comunicaciones móviles para poder dar servicio a los trenes en caso de no estar disponible ningún sistema de comunicaciones móviles.
- El sistema de integridad del tren no está del todo resuelto, quedando un poco a libre elección por el fabricante de material rodante.
- La interoperabilidad puede ser un problema en el caso de no utilizar la red GSM-R como sistema de comunicaciones móviles.



## Capítulo 4

# Implantación del Sistema ERTMS Regional

*En este capítulo se llevan a cabo las actuaciones necesarias para poder implantar el sistema propuesto, presentando la arquitectura y las repercusiones que causa.*

## 4.1. Introducción

Se ha realizado el estudio del tramo entre la bifurcación de Valladolid-Burgos y Buniel, y se ha llegado a la conclusión de establecer una serie de criterios para el diseño de la futura arquitectura que va a presentar el nuevo sistema.

## 4.2. Criterios de actuación

Con los siguientes criterios, se ha diseñado la arquitectura del sistema ERTMS Regional para dar servicio al tramo que comprende entre la bifurcación Valladolid-Burgos y Buniel.

- En los tramos entre estaciones no se dispondrá de sistemas de detección de tren secundarios, es decir, no habrá ni circuitos de vía, ni contadores de ejes.
- En las estaciones que existen en el tramo, Río Arlanzón y Buniel, se dispondrá de circuitos de vía para la localización de los trenes.
- Señales laterales solo existirán en estaciones y en la entrada de la Bifurcación VA-BU. Se dispondrán como está planteado en el proyecto.
- Las BTS se dejarán como en el proyecto existente. (INECO, 2013)
- Las balizas fijas se colocan como en el proyecto existente. (INECO, 2013)

## 4.2. Arquitectura del sistema

El componente más importante del sistema es el TCC. El TCC se implanta en la estación de Río Arlanzón, ya que es la estación más grande existente en el tramo. Desde ese punto se controlarán los objetos de la vía del todo el tramo entre la bifurcación Valladolid-Burgos y Buniel. Igualmente, se conocerá el estado de los objetos de la vía de la bifurcación para más seguridad.

A continuación, se describe poco a poco la arquitectura del nuevo sistema a implantar: (Figura 4.1)

- CRC: es el Centro de Regulación y Control, es donde se encuentra el CTC. El sistema de CTC realiza la supervisión y control de los enclavamientos comandados dentro del ámbito de su área. Tiene las siguientes funcionalidades:
  - Monitoriza los elementos de campo y del propio TCC.
  - Envía ordenes al TCC.
  - Seguimiento de los trenes a través de la secuencia de ocupación y liberación de vía.
  - Numeración de trenes.
  - Detección y gestión de alarmas.

Estas órdenes se envían a través de los puestos de operador, que son los que gestionan el tráfico. La red a la que están conectados estos puestos está redundada, ya que se trata de el control de los trenes y es una actividad que requiere mucha seguridad. La visualización, que se trata de una actividad que requiere de menos seguridad, se puede obtener igual de los terminales o dispositivos móviles. (Figura 4.1)

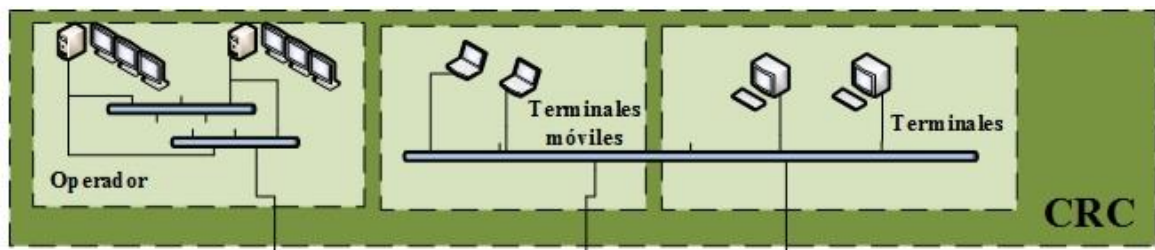


Figura 4.1: Arquitectura del CRC

- Bifurcación VA-BU: se instalará un controlador de objetos que mediante radio comunique a través de la BTS 226.23 ya instalada. El controlador de objetos es un sistema que está comunicado con las agujas, circuitos de vía y señales que están dentro de su zona de mando. En este caso, toda la información de los objetos de vía de la bifurcación. Esta información permitirá al sistema conocer si puede enviar o no trenes hacia ese tramo de forma segura. (Figura 4.2)



Figura 4.2: Arquitectura de la bifurcación Valladolid-Burgos

- Río Arlanzón: como se ha mencionado anteriormente, es en este punto donde se instalará en TCC. EL TCC está conectado directamente al Centro de Regulación y Control (CRC) mediante un PCI (Controlador de interfaces). Igualmente, está conectado al controlador de objetos que está instalado en la estación. En este caso no es necesario la comunicación vía radio entre el controlador de objetos y el TCC debido a que se encuentran en el mismo sitio. (Figura 4.3)

Para hacer posible la comunicación del TCC con el controlador de objetos y con el resto del sistema, es decir, enviar y recibir *información* al CRC, hay que disponer de ISDN (*Integated Services Digital Network* o Red Digital de Servicios Integrados). El ISDN es un conjunto de estándares de comunicación para la transmisión digital simultánea de voz, video, datos y otros servicios de red.



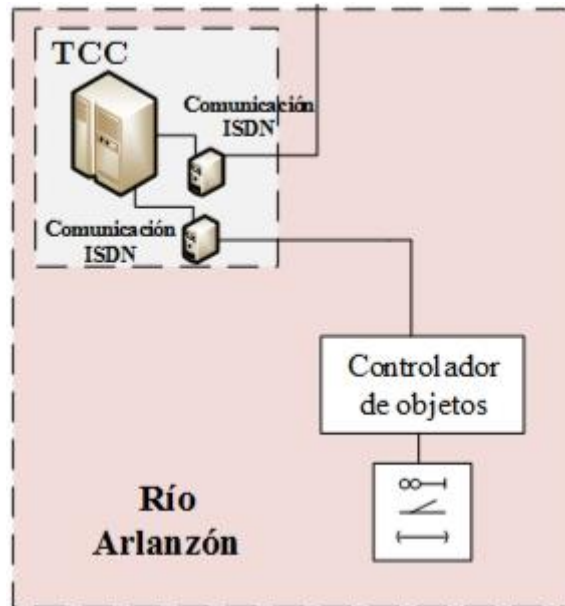


Figura 4.3: Arquitectura de Río Arlanzón

- Buniel: existe un controlador de objetos que comunica a través de la BTS 289.658 al TCC el estados de los objetos. Este controlador de objetos envía la información de las agujas, circuitos de vía y señales que se encuentran en su zona de mando. (Figura 4.4)

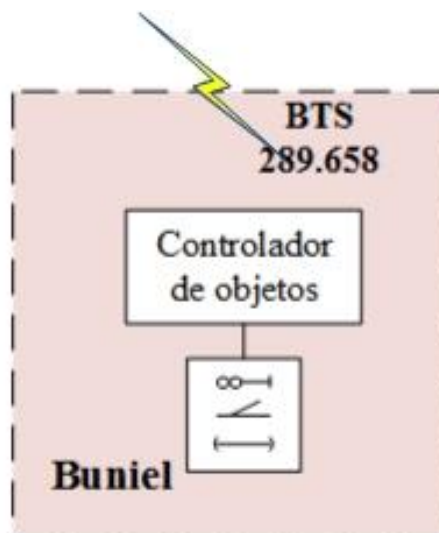


Figura 4.4: Arquitectura de Buniel

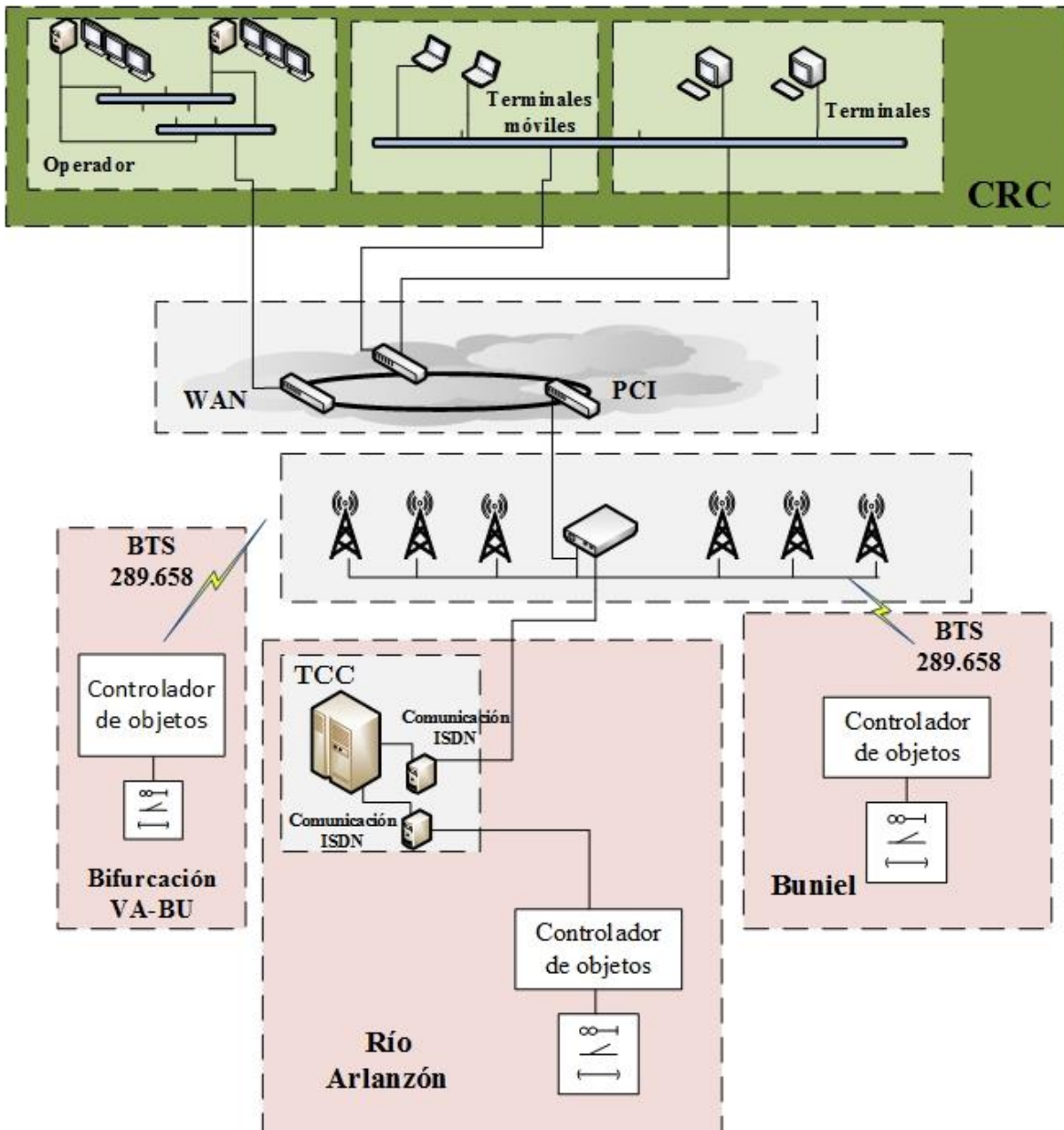


Figura 4.5: Arquitectura del sistema ERTMS Regional

Como se puede observar en la Figura 4.5 las instalaciones de PCA 240 y PCA 273 que presentaban la anterior arquitectura, han sido eliminados. Es posible prescindir de estos dos puntos y sus respectivos elementos, debido a que no disponemos de circuitos de vía, ni contadores de ejes en los tramos entre estaciones.

## Capítulo 5

# Conclusiones

*En este capítulo se exponen las conclusiones a las que se han llegado y se analiza el cumplimiento de los objetivos.*

## 5.1. Análisis de objetivos

Con la realización del presente Trabajo Fin de Máster se puede afirmar que se han cumplido los objetivos propuestos en el Capítulo 1.

- Se ha llevado a cabo el estudio del sistema actual de señalización que está instalado en el tramo de la línea de alta velocidad Valladolid-Burgos.
- Se ha realizado el estudio del sistema ERTMS Regional: su funcionalidad, arquitectura, sus ventajas frente al sistema implantado y sus desventajas.
- Se ha diseñado la nueva arquitectura y elección de los elementos para el tramo de estudio.

## 5.2. Conclusiones y aportaciones

Con la realización del presente Trabajo Fin de Máster se han llegado a las siguientes conclusiones:

- El ERTMS Regional es un sistema idóneo para instalar en líneas donde existen todavía bloques telefónicos o que no dispongan de CTC.
- Al unificar tres componentes del ERTMS normal, en solo componente, el TCC, se ahorra mucho cableado y sobretodo muchos elementos en vía, lo que supone un ahorro económico significativo.
- Aumenta de forma segura la capacidad de la línea, con la particularidad de poder llegar a la capacidad deseada incrementado el número de dispositivos en la vía.
- Compatible con otros sistemas existentes.

En cuanto a las aportaciones:

- Se ha definido una arquitectura para poder operar la línea de forma segura..
- Gracias a la nueva arquitectura y al nuevo sistema, se eliminan dos instalaciones que existían en el anterior modelo, el PCA 240 y el PCA 273. La eliminación de estas instalaciones supone un ahorro significativo, ya que se disminuye el cableado necesario para la operación de los trenes y se eliminan elementos como los controladores de agujas, el sistema de energía, los circuitos de vía y contadores de ejes.
- Este sistema hará más económico la explotación del tramo. Dada que su implementación contempla el uso de la red móvil GSM-R podemos decir que el sistema es interoperable, cualquier material rodante que lleve embarcado el Nivel 2 de ERTMS, podrá tener acceso a la vía y podrá operar de manera segura. Esto supone un ahorro tanto para el administrador de infraestructura, como para el operador que preste servicio.



## Referencias

- Aachen, V. I.-L.-W. (2008-03-21 ). *Infl uence of ETCS on the line capacity* . International Union of Railways (UIC) ERTMS Platform Infrastructure Department .
- INECO. (2013). *Proyecto Preliminar de las Instalaciones de Enclavamientos, Sistemas de protección del tren, Control de Tráfico Centralizado, Sistemas auxiliares de detección, Telecomunicaciones Fijas, GSM-R e Instalaciones de protección y seguridad de la Línea Alta Veloc.* Madrid.
- León, F. M. (2017). *Los Sistemas de Control de Tráfico y Señalización en el Ferrocarril* . Madrid : Universidad Pontificia de Comillas.
- Ramírez, J. M. (2018). *Señalización Ferroviaria.* Madrid : Universidad Pontificia Comillas.
- UIC. (2006). *ERTMS REGIONAL. General Technical Requirements Specificaion GRS.*

