

**COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS DE TELECOMUNICACIÓN**

# Elementos Técnicos para la Gestión de Frecuencias en Espacios Complejos: Entornos Ferroviarios

**Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación**

**Grupo de Nuevas Actividades Profesionales**



Edita: COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS DE TELECOMUNICACIÓN

C/ Almagro, 2. 28010 Madrid

<http://www.coit.es>

Depósito legal:

ISBN:

Fotocomposición: Inforama, S.A.

C/ Príncipe de Vergara, 210. 28002 Madrid

Impresión: Ibergraphi 2002, S.L.L

C/ Mar Tirreno, 7bis. 28830 San Fernando de Henares (Madrid)

### **Grupo de Nuevas Actividades Profesionales del COIT (Grupo NAP):**

La razón primera de existencia de un Colegio Profesional es el interés social de la actividad que le caracteriza y a la que se debe. Para ordenar la profesión dispone de las competencias legales necesarias y para defender ese interés público cuenta con el inmejorable activo de unos profesionales formados específicamente para ello, a los que el Colegio agrupa y representa.

Pero es tal el dinamismo de nuestro sector que los campos de actividad que constituyen nuestro ejercicio profesional se incrementan o se modifican cada día; de ahí que en el año 2003, de acuerdo con los fines colegiales, considerásemos conveniente crear un grupo de trabajo que se ocupase de detectar las nuevas actividades que van surgiendo, de analizarlas, de evaluar su impacto y, en su caso, de promoverlas. Así nació el Grupo de Nuevas Actividades Profesionales (NAP). Una resultante de esa misión del Grupo es analizar y proponer, en su caso, la conveniencia o la obligatoriedad de contar con la redacción de un proyecto técnico de telecomunicaciones en estas nuevas áreas, ya sea por su grado de complejidad, porque soporten servicios de telecomunicación de uso público, porque deban quedar garantizados unos requisitos mínimos de calidad y de seguridad, o bien porque se deba hacer un uso eficaz y eficiente de ciertos recursos públicos limitados en un régimen de mercado plenamente liberalizado.

El Grupo NAP aborda ahora su cuarto trabajo, que forma parte de una trilogía alrededor de la gestión del espectro radioeléctrico en entornos complejos. Tras abordar el entorno sanitario, esta segunda entrega de la citada trilogía se centra en otro entorno particularmente complejo como es el entorno ferroviario.

Estoy convencido de que la línea de trabajo que desarrolla este Grupo NAP del COIT mantendrá al mismo en un foco de atención preferente para nuestros ingenieros y para el sector de las telecomunicaciones.

Francisco Mellado García

Vicedecano del Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación

Fundador del Grupo NAP



**NAP**

**Grupo de Nuevas Actividades Profesionales**  
**Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación**

**Autor: Grupo NAP**

Miembros

José Ignacio Alonso Montes  
Carlos Franco Beltrán (Coordinador)  
Francisco Mellado García  
Miguel Pérez Subías  
José Fabián Plaza Fernández  
Victoria Ramos González



**COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS DE TELECOMUNICACIÓN**

**Elementos Técnicos para la  
Gestión de Frecuencias en  
Espacios Complejos: Entornos  
Ferroviarios**

**Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación  
Grupo de Nuevas Actividades Profesionales**

**Editor:** José Fabián Plaza Fernández





## PRESENTACIÓN

*Los entornos ferroviarios, tanto en lo referente a líneas de Alta Velocidad como a trenes de cercanías o suburbanos, son clave para el sector de las Telecomunicaciones, pues constituyen el segundo consumidor de las tecnologías asociadas a las comunicaciones.*

*La proliferación en estos entornos de servicios que utilizan las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, tanto destinados a los usuarios como básicos para la explotación o la seguridad, hace que sea necesario un estudio exhaustivo del despliegue de los sistemas de radiocomunicación utilizados, teniendo en cuenta tanto las prestaciones como la naturaleza de las bandas de frecuencias utilizadas.*

*Las distintas características técnicas de los servicios involucrados en el funcionamiento de estos entornos y la problemática de la compatibilidad electromagnética, hace que para el despliegue de los mismos sea necesaria la realización de proyectos técnicos que aseguren que estos despliegues se realicen de forma satisfactoria.*

*Esto hace necesaria una gestión de frecuencias en estos entornos que contribuya a establecer los parámetros técnicos para el despliegue de las diversas redes de comunicaciones y el equipamiento ferroviario, y que permita el funcionamiento de éstas con los niveles de calidad adecuados y sin interferencias con el equipamiento.*

*Por todo ello, el Grupo NAP del COIT pretende, con esta serie de estudios, proporcionar los elementos técnicos necesarios para una gestión del espectro radioeléctrico en determinados sistemas que utilizan bandas de uso común y de uso privativo, evitando así problemas de inoperancia o interferencia en servicios críticos sobre todo teniendo en cuenta el crecimiento esperable de este tipo de redes.*

*Bajo el rótulo genérico de "Elementos Técnicos para la Gestión de Frecuencias en Espacios Complejos", continua esta serie de estudios con el análisis de la situación existente en uno de esos espacios complejos como es el entorno ferroviario.*

*Carlos Franco Beltrán (Coordinador)*

*José Fabián Plaza Fernández (Editor)*



# ÍNDICE

<b>CAPÍTULO 1. UTILIZACIÓN DE LAS TIC EN LOS ENTORNOS FERROVIARIOS .....</b>	<b>5</b>
<b>CAPÍTULO 2. NORMATIVA APLICABLE A SISTEMAS DE COMUNICACIONES UTILIZADOS EN ENTORNOS FERROVIARIOS .....</b>	<b>11</b>
2.1. SISTEMAS EN BANDAS DE FRECUENCIA DEDICADAS ESPECÍFICAMENTE A ENTORNOS FERROVIARIOS .....	11
2.2. SISTEMAS USADOS EN ENTORNOS FERROVIARIOS EN BANDAS DE FRECUENCIA NO DEDICADAS ESPECÍFICAMENTE A ÉSTOS ENTORNOS .....	12
2.3. CUADRO RESUMEN DE SERVICIOS EN ENTORNOS FERROVIARIOS.....	20
<b>CAPÍTULO 3. DESCRIPCIÓN DE SISTEMAS DE SEÑALIZACIÓN Y CONTROL EN ENTORNOS FERROVIARIOS .....</b>	<b>23</b>
3.1. SISTEMAS DE SEÑALIZACIÓN Y SISTEMAS RADIO PREVIOS A ERTMS/GSM-R EN LA UNIÓN EUROPEA.....	23
3.2. SISTEMA ERTMS .....	43
3.3. SISTEMA GSM-R .....	54
3.4. SISTEMA CBTC .....	62
<b>CAPÍTULO 4. COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA.....</b>	<b>73</b>
4.1. INTRODUCCIÓN A LA COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA EN ENTORNOS FERROVIARIOS ...	74
4.2. FUENTES DE INTERFERENCIA.....	75
4.3. ESTÁNDARES DE COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA EN ENTORNOS FERROVIARIOS .....	77
4.4. INTERFERENCIAS PRODUCIDAS POR FERROCARRILES EN SERVICIOS RADIO.....	80
<b>CAPÍTULO 5. RESUMEN.....</b>	<b>87</b>
<b>CAPÍTULO 6. ACTUACIONES Y PROPUESTAS .....</b>	<b>89</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>91</b>
<b>ACRÓNIMOS .....</b>	<b>93</b>
<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>101</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>103</b>
ANEXO A: INTRODUCCIÓN A LA LEY 39/2003, DE 17 DE NOVIEMBRE, DEL SECTOR FERROVIARIO .....	103



## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. ARQUITECTURA DEL SISTEMA ERTMS .....	45
FIGURA 2. EQUIPAMIENTO EN ERTMS NIVEL 1 .....	49
FIGURA 3. EQUIPAMIENTO EN ERTMS NIVEL 2 .....	50
FIGURA 4. EQUIPAMIENTO EN ERTMS NIVEL 3 .....	51
FIGURA 5. ARQUITECTURA DE RED GSM-R.....	57
FIGURA 6. ARQUITECTURA TÍPICA DEL SISTEMA CBTC EN LA VÍA.....	69
FIGURA 7. ARQUITECTURA TÍPICA DEL SISTEMA CBTC A BORDO DEL TREN .....	69
FIGURA 8. EN50121:2000 NIVELES DE INTERFERENCIA DEL FERROCARRIL.....	80

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: REDES INALÁMBRICAS USADAS EN ENTORNOS FERROVIARIOS ...	8
TABLA 2: FRECUENCIAS TREN-TIERRA NOTA UN-78 .....	12
TABLA 3: CANALES SATÉLITE UN-63 (1).....	18
TABLA 4: CANALES SATÉLITE UN-63 (2).....	19
TABLA 5: SERVICIOS EN ENTORNOS FERROVIARIOS.....	20
TABLA 6: SISTEMAS DE SEÑALIZACIÓN EN LA UNIÓN EUROPEA.....	41
TABLA 7: SISTEMAS DE COMUNICACIÓN RADIO EN LA UNIÓN EUROPEA...	42
TABLA 8: PARÁMETROS TÉCNICOS GSM-R.....	59
TABLA 9: REQUISITOS DE COBERTURAS GSM-R .....	61
TABLA 10: REQUISITOS DE CALIDAD GSM-R .....	61
TABLA 11: PRINCIPALES SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA.....	76
TABLA 12: ESTÁNDARES DE COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA.....	78
TABLA 13: PRINCIPALES SERVICIOS RADIO .....	81
TABLA 14: SERVICIOS RADIO CON ALTA PROBABILIDAD DE INTERFERENCIA POR SERVICIOS FERROVIARIOS.....	85

## INTRODUCCIÓN

El presente informe, relativo a la gestión de frecuencias en entornos ferroviarios, se enmarca dentro de la trilogía que se inició con el libro titulado "*Elementos técnicos para la gestión de frecuencias en espacios complejos: Entornos Sanitarios*", y que surgió con la intención de analizar la influencia de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en espacios complejos, y poner sobre la mesa la necesidad de realizar una adecuada planificación y gestión de frecuencias ante el despliegue de gran cantidad de sistemas de radiocomunicación en los mismos.

El objetivo fundamental del presente informe "*Elementos técnicos para la gestión de frecuencias en espacios complejos: Entornos Ferroviarios*" no será analizar en profundidad aspectos técnicos de las tecnologías radio desplegadas en entornos ferroviarios, sino poner de manifiesto la problemática del despliegue y la compatibilidad de estos sistemas en unos entornos complejos donde conviven múltiples sistemas de comunicaciones, unos propios del entorno, y otros utilizados para la provisión de servicios a los usuarios.

En primer lugar se presenta una panorámica de la utilización de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en los entornos ferroviarios, mostrando los diversos servicios que pueden suministrarse en los mismos y presentando una clasificación de éstos según su función, el papel específico que cada uno de ellos desempeña y las tecnologías utilizadas para suministrarlos.

Para la prestación de estos servicios se utilizarán tanto redes de comunicaciones cableadas como sistemas de radiocomunicaciones. De entre los sistemas basados en tecnologías radio, habrá algunos que son específicos de los entornos ferroviarios, que se utilizan en labores de señalización y control y para las comunicaciones entre los distintos agentes participantes en éstas tareas. Estos son imprescindibles para el buen funcionamiento y la seguridad de las redes de ferrocarril. Existen, sin embargo, otros que, sin estar específicamente relacionados con las redes ferroviarias, son usados para suministrar otro tipo de servicios, de los que pueden beneficiarse tanto las propias redes, llevando a cabo tareas auxiliares que ayudan a la gestión, como los usuarios del transporte, accediendo mediante ellos a redes de voz y datos. El documento también abordará las pautas fijadas por el CNAF para el despliegue de los distintos sistemas y las bandas de uso, tanto de los sistemas ferroviarios como de los sistemas que se despliegan en estos entornos para aplicaciones no específicamente ferroviarias, especialmente los que prestan servicios en bandas de uso común. Relacionado con este punto, se analiza la problemática de la utilización de las bandas de uso común, especialmente para el soporte de usos críticos; la proliferación de equipos en estas bandas y su uso indiscriminado va ser problemático en un futuro próximo, si no lo es ya, en el presente, en algunos casos.

En los siguientes capítulos del documento se analizan los servicios específicos de entornos ferroviarios implementados actualmente en Europa para señalización y comunicaciones radio. Del análisis de los mismos, se pone de manifiesto la gran complejidad que entraña homogeneizar a nivel europeo señalización, control y comunicación ferroviarios, objetivo que se persigue con el sistema ERTMS (Sistema de Gestión de Tráfico Ferroviario Europeo o *European Rail Traffic Management System*, a través del uso de ETCS (Sistema Europeo de Control de Trenes o *European Train Control System*) y de GSM-R (Sistema Global para Comunicaciones Móviles en trenes o *Global System for Mobile Communications-Railway*). En el documento se realiza una descripción del sistema ERTMS, presentando su arquitectura, el equipamiento, los diferentes niveles de implementación posibles y algunos detalles técnicos. Seguidamente se presenta el sistema GSM-R, mostrando los requisitos necesarios para su utilización en entornos ferroviarios, la arquitectura de la red GSM-R, sus parámetros técnicos y algunas características adicionales, y por último el sistema CBTC (Control del Tren Basado en Comunicaciones o *Communication Based Train Control*), sistema de control automático continuo de trenes usado en transporte ferroviario metropolitano, que utiliza una localización de la ubicación del tren de alta resolución e independiente de los circuitos de vía, comunicaciones bidireccionales de datos tren-tierra de alta capacidad y procesadores a bordo del tren y en la vía con la capacidad de implementar funciones vitales.

Finalmente se aborda el tema de la compatibilidad electromagnética en los entornos ferroviarios, haciendo un recorrido por las principales fuentes de interferencia y los principales estándares de compatibilidad electromagnética a cumplir en estos entornos. Se hace referencia a las interferencias que afectan a los diferentes servicios radio que, pese a no ser de naturaleza ferroviaria, son utilizados en estos entornos.

Con este recorrido por un espacio tan complejo como es el de los entornos ferroviarios, se trata de dar una visión global de la problemática asociada al despliegue y coexistencia de múltiples sistemas de comunicaciones vía radio, presentando algunas actuaciones y propuestas a realizar con el fin de establecer los parámetros técnicos para el despliegue y realizar una gestión eficaz en la implantación de los sistemas de radiocomunicación y su coexistencia.

## **CAPÍTULO 1. UTILIZACIÓN DE LAS TIC EN LOS ENTORNOS FERROVIARIOS**

Las Tecnologías de la Información y de las Comunicaciones (TIC) se han relacionado habitualmente y de manera directa con los sectores tradicionales de la electrónica, la informática, las telecomunicaciones, el entorno audiovisual y los servicios asociados a éstos.

En los últimos tiempos las TIC están marcadas por la velocidad de cambio que está experimentando el ámbito científico-tecnológico y empresarial. Este ambiente ha potenciado que hayan trascendido los entornos puramente informáticos y de comunicaciones para adquirir cada vez mayor importancia en múltiples entornos de aplicaciones, contribuyendo así de manera decisiva a resolver problemas y mejorar situaciones en la mayoría de los sectores, con necesidades y aplicaciones tecnológicas particulares.

En este sentido, la investigación, el desarrollo tecnológico y la utilización de las TIC ha calado de una manera notable en el sector del transporte, y, con ello, en los entornos ferroviarios, tanto los de larga distancia, como cercanías o suburbano, configurándose como tecnología horizontal con un valor estratégico fundamental.

En estos entornos, las TIC están siendo soporte básico para la mejora del funcionamiento de los servicios ferroviarios en términos de control, seguridad, gestión de tráfico y servicios de calidad a los usuarios. El uso de éstas está llamado a jugar un papel clave en el objetivo de conseguir que el tráfico ferroviario sea una alternativa real al resto de medios de transporte.

Diversos son los servicios que pueden ser suministrados en estos entornos. Basándose en los diferentes escenarios, podrían clasificarse estos servicios en los siguientes tipos:

- ❑ Servicios ofrecidos a los usuarios de estos medios de transporte con el fin de posibilitar a éstos el uso y el acceso a los servicios de comunicaciones tradicionales, como la telefonía móvil o el acceso a Internet. El acceso o uso de estos servicios de telecomunicaciones pueden realizarse desde las estaciones o desde el interior de los propios trenes.
- ❑ Servicios complementarios, propios de los operadores ferroviarios y utilizados por los mismos como ayuda a otros servicios ligados al funcionamiento básico de los mismos. Entre ellos podrán distinguirse dos tipos, servicios complementarios relativos a viajeros, y servicios complementarios orientados a la explotación que ayudan en el funcionamiento y explotación del tráfico ferroviario, pero que no juegan un papel crítico en lo referente al control del tráfico y a la seguridad e integridad de trenes y usuarios de los mismos.

- Servicios críticos de explotación, propios de los operadores y sin los cuales no es posible el funcionamiento del servicio, ya que juegan un papel vital en la seguridad.

Un usuario de cualquier tipo de servicio ferroviario desearía poder contar, mientras espera para realizar el desplazamiento o durante éste, con la capacidad de acceso a la información, disfrutando así de la posibilidad de realizar comunicaciones de voz, intercambiar datos con otros usuarios, acceder a redes de datos o disfrutar de servicios de entretenimiento tanto de audio como de video que amenicen la espera o el trayecto. Además, el usuario del transporte ferroviario también deseará que el operador ferroviario ponga a su disposición la posibilidad de tener acceso a información sobre el estado del servicio ferroviario mediante teleindicadores, paneles o dispositivos personales en un instante determinado.

Junto a éstos servicios antes descritos, orientados a satisfacer necesidades de los usuarios, existen otros cuyo beneficiario es el propio operador de transporte, y que tienen como objetivo facilitar la gestión y el procesado de información relativa al entorno, aumentar el control y la seguridad tanto en estaciones como en el interior de los vehículos y acrecentar la capacidad de las redes ferroviarias, maximizando su uso sin que esto suponga un perjuicio para la seguridad de viajeros y trenes.

Entre éstos, ciertos servicios pueden ser de utilidad para el operador en trabajos de gestión, sin ser imprescindible su funcionamiento en un momento dado para asegurar el servicio de transporte. Así, por ejemplo, el acceso desde cualquier punto de la red a sistemas de información, servicios de consulta o monitorización de estados de la red, generación de contenidos y presentación de éstos en paneles de información son servicios, que siendo útiles, pueden dejar de suministrarse sin afectar gravemente a la buena marcha del servicio.

Otros servicios tienen una mayor importancia, ya que si bien el servicio de transporte en sí no tiene porque verse afectado, si influyen en la eficiencia de éste, al disminuir las capacidades de comunicación entre el personal de operación y los sistemas de ayuda al control y a la seguridad. Entre estos servicios se encontrarían la telefonía ordinaria, la interfonía y megafonía en estaciones y trenes, los servicios de detección e identificación para gestión de movilidad, los servicios de telemando de energía, de instalaciones fijas, de transporte vertical, de sistemas tarifarios de control de accesos y de puertas de los andenes, el control de retrasos y adelantos, la monitorización de infraestructuras y los servicios de videovigilancia.



Por último, existen servicios críticos para el funcionamiento de la red de transporte sin los cuales no podría prestarse el servicio, puesto que de continuarse con éste se pondría en grave peligro la integridad de trenes y pasajeros. Entre ellos, destacarían las comunicaciones de voz entre tierra y tren para situaciones de emergencia, o la transmisión de datos vitales para la seguridad, para completar tareas de localización y seguimiento permanente de los trenes, para señalización y balizamiento, o para el control del tren en sistemas de protección o conducción automática.

Con el fin de suministrar los servicios señalados anteriormente, los operadores de telecomunicaciones y los operadores ferroviarios pueden optar por usar diferentes tipos de redes de comunicaciones, tanto cableadas como en bandas de radio.

Las redes cableadas utilizan como medios de transmisión fibra óptica o cable de cobre, y tienen como función básica constituir sistemas troncales o de transporte de alta capacidad, la interconexión de los distintos sistemas y las comunicaciones con puestos de control centralizados. También se utilizan redes cableadas para posibilitar la extensión de cobertura de los servicios de radiocomunicaciones en túneles y estaciones, usándose para ello cable radiante.

En cuanto a las redes inalámbricas, en la **Tabla 1** presentamos un resumen de las distintas tecnologías utilizadas en entornos ferroviarios y de los usos principales que de ellas se realizan.

TIPO DE SISTEMA	TECNOLOGÍA	USOS Y SERVICIOS QUE SOPORTAN	TIPO DE SERVICIOS	
Radiotelefonía	TETRA	Comunicaciones de voz individuales y de grupo	Servicio complementario de explotación	
		Comunicaciones de datos (mensajes precodificados, mensajes cortos)	Servicio complementario de explotación	
Telefonía Móvil Digital	PMR	Comunicaciones de voz individuales y de grupo	Servicio complementario de explotación	
	GSM	Comunicaciones de usuario de voz y de datos	Servicio a usuarios	
	UMTS		Servicio crítico de explotación	
	GSM-R		Comunicaciones de voz (Llamadas punto a punto tren-controlador, llamadas punto a punto de difusión y de grupo)	Servicio complementario de explotación
			Comunicaciones de voz (Llamadas de emergencia)	Servicio crítico de explotación
			Comunicaciones de datos (Transmisión de mensajes, transmisión de datos de usuario)	Servicio complementario de explotación
Redes inalámbricas de Área Local	WiFi	Sistemas de control, acceso a sistemas de información, consulta y gestión en estaciones.	Servicio complementario de explotación	
		Telefonía, megafonía, interfonía	Servicio complementario de explotación	
		Sistemas de protección y control automático del tren (ATP y ATC)	Servicio crítico de explotación	
		Comunicaciones de voz y datos tren-tierra	Servicio complementario de explotación	
		Transmisión de video embarcado, teleindicadores, videovigilancia y telecontrol	Servicio complementario de explotación	
		Acceso a redes de datos en el interior del tren	Servicio a usuario Servicio complementario de explotación	
Satélite		Localización y posicionamiento	Servicio crítico de explotación	
		Conexión del tren a redes de datos	Servicio a usuario Servicio complementario de explotación	

Tabla 1: Redes inalámbricas usadas en entornos ferroviarios

Tras esta breve exposición de las tecnologías, y una vez realizado un recorrido por los distintos servicios de los que se hace uso en entornos ferroviarios y por las tecnologías utilizadas para suministrarlos, queda de manifiesto el papel crucial que están jugando las Tecnologías de la Información y la Comunicaciones en el funcionamiento y la seguridad de este tipo de entornos, así como la cada vez más necesaria planificación y adecuación de las redes de comunicaciones usadas a las necesidades demandadas por el transporte en términos de seguridad, fiabilidad y calidad de servicio.



## **CAPÍTULO 2. NORMATIVA APLICABLE A SISTEMAS DE COMUNICACIONES UTILIZADOS EN ENTORNOS FERROVIARIOS**

El mundo de los entornos ferroviarios es un mundo complejo donde coexisten diferentes tipos de sistemas de comunicaciones, que son utilizados para diversos fines.

Dentro de éstos sistemas pueden distinguirse dos grandes grupos. Por un lado, tendremos los sistemas específicos para comunicaciones ferroviarias, utilizados para la señalización, el control y las comunicaciones entre los distintos agentes participantes en éstas tareas, y que son imprescindibles para el buen funcionamiento de las redes de ferrocarril.

Junto a éstos, en los entornos ferroviarios existirán otros sistemas que, sin ser específicos de los mismos, son usados para suministrar otro tipo de servicios, de los que pueden ser beneficiarias, tanto las propias redes ferroviarias, llevando a cabo tareas auxiliares que ayuden a la gestión, como los usuarios del transporte, accediendo mediante ellos a redes de voz y datos.

En este capítulo se abordará el estudio de éstos servicios desde el punto de vista de la normativa aplicable tanto para sistemas propiamente ferroviarios como para sistemas usados en éstos entornos que no son específicos de los mismos.

### **2.1. Sistemas en bandas de frecuencia dedicadas específicamente a entornos ferroviarios**

El Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF), en tres de sus notas de utilización, fija ciertas bandas de frecuencias cuyo uso se restringe exclusivamente a transporte ferroviario.

#### **GSM-R**

La nota de utilización UN-40, que hace referencia a las bandas de frecuencia de 870-880 MHz y 915-925 MHz, señala que las bandas 876-880 MHz y 921-925 MHz se destinarán exclusivamente para el sistema europeo de comunicaciones en ferrocarriles GSM-R, de acuerdo a la Recomendación T/R 25- 09 de la CEPT y la Decisión ECC/DEC/(02)05. Asimismo, fija que los equipos terminales móviles del GSM-R gozarán de libre circulación y uso conforme a los términos de la Decisión de la CEPT ECC/DEC/(02)09.

## ➔ Comunicaciones tren-tierra

En la nota de utilización UN-78, los canales cuyas frecuencias se indican en la **Tabla 2** se destinan en el territorio peninsular exclusivamente para servicios asociados al control de tráfico ferroviario en el sistema de comunicaciones tren - tierra. La potencia radiada aparente (PRA) máxima será de 20 W y la anchura de banda de emisión máxima la correspondiente a una canalización máxima de 25 KHz

Frecuencia RX p.fijo (MHz)	Frecuencia TX p.fijo (MHz)
457,600	447,550; 447,600; 447,650
457,700	447,650; 447,700; 447,750
457,900	447,850; 447,900; 447,950
458,800	448,450; 448,500; 448,550
458,375	448,325; 448,375; 448,425
458,325	448,275; 448,325; 448,375
458,600	448,550; 448,600; 448,650

Tabla 2: Frecuencias Tren-Tierra Nota UN-78

## ➔ Eurobalizas

Por último, la norma UN-120 fija las frecuencias a usar en el sistema de eurobalizas para ferrocarriles. En ella se señala que la frecuencia 27,095 MHz se destinará en todo el territorio nacional para eurobalizas en ferrocarriles de acuerdo con las características técnicas indicadas en la Recomendación de la CEPT ERC/REC 70-03.

## 2.2. Sistemas usados en entornos ferroviarios en bandas de frecuencia no dedicadas específicamente a éstos entornos

En el ámbito de los entornos ferroviarios se ofrecen un gran número de servicios, tanto de explotación por el operador ferroviario como por agentes externos que utilizan diferentes bandas de frecuencias:

## GSM 900 - DCS 1800

La nota de utilización UN-43 hace referencia a las bandas de 890-915 MHz y 935-960 MHz. En ella se indica que las subbandas 890-915 MHz y 935-960 MHz se destinan exclusivamente al sistema de telefonía móvil automática. Los terminales del sistema GSM están excluidos de la necesidad de licencia individual conforme a los términos de la Decisión de la CEPT ERC/DEC/(98)20.

En la nota UN-41 también se alude a la tecnología GSM, en este caso a las bandas 880-890 MHz y 925-935 MHz (E-GSM). Aquí se pone de manifiesto que las bandas de frecuencias 880-890 MHz y 925-935 MHz serán destinadas exclusivamente al sistema de telefonía móvil automática GSM de conformidad con la Decisión de la CEPT ERC/DEC/(97)02.

Por último, la UN-48 que hace referencia a la banda de 2000 MHz, reserva para el sistema DCS-1800 las bandas de frecuencias 1710-1785 MHz y 1805 - 1880 MHz de acuerdo con la Decisión de la CEPT ERC/DEC/(95)03 . Los terminales del sistema DCS-1800 estarán también excluidos de la necesidad de licencia individual conforme a los términos de la Decisión ERC/DEC/(98)21 y gozarán de libre circulación y uso según los términos indicados en la Decisión ERC/DEC/(97)11.

## UMTS

La nota de utilización UN-48, referente a la banda de 2000 MHz, señala que las bandas de frecuencias 1900-1980 MHz, 2010-2025 MHz y 2110-2170 MHz se destinan para la componente terrenal de los sistemas móviles de tercera generación (UMTS/IMT-2000) de acuerdo con las Decisiones ERC/DEC/97(07), ERC/DEC/(99)25 y ECC/DEC(00)01 de la CEPT. Asimismo, de conformidad con los términos establecidos en la Decisión ERC/DEC/97(04), las bandas 1980-2010 MHz y 2170-2200 MHz, se destinarán para la componente espacial de dichos sistemas. Esta misma nota adjudica la banda de frecuencias 1710-1885 MHz para futuras ampliaciones de los sistemas de tercera generación IMT-2000/UMTS.

Junto a la UN-48, la nota UN-52 se ocupa también de UMTS, en este caso en frecuencias de la banda de 2500 a 2700 MHz. En ella se alude a la banda de frecuencias 2500-2690 MHz para futuras ampliaciones de los sistemas de tercera generación IMT-2000/UMTS. La Decisión de la CEPT ECC/DEC/(02)06 ha designado dicha banda de frecuencias para ser utilizada por los sistemas UMTS/IMT-2000, debiendo estar disponible para ello a partir del 1 de enero de 2008 según las necesidades del mercado. La banda 2520-2670 MHz se destinará a la componente terrenal del sistema UMTS/IMT-2000.

## TETRA

El CNAF utiliza su nota de utilización UN-31 para tratar aspectos correspondientes a las redes TETRA (Radio Troncalizada Terrestre o *Terrestrial Trunked Radio*). En ella se muestra el plan de utilización de las bandas 406,1-430 MHz y 440-470 MHz para los servicios fijo y móvil.

La nota distingue distintas subbandas. Para la subbanda 406,1-410 MHz, se destinará un ancho de banda de 1 MHz a comunicaciones simplex de voz y datos siendo la anchura de emisión máxima la correspondiente a una canalización de 12,5 KHz, de acuerdo con la Decisión de la CEPT ECC/DEC/(02)03. En el resto de esta banda podrán autorizarse con carácter excepcional emisiones correspondientes a una canalización de 25 KHz.

En la banda de frecuencias 410-430 MHz se analizan distintos casos. Las bandas de frecuencias 410 a 415,300 MHz y 420 a 425,300 MHz, sin perjuicio de lo especificado en la nota UN-77, se destinan a sistemas digitales de acceso aleatorio de canales con anchura de banda de emisión correspondiente a una canalización de 25 KHz. Las bandas de frecuencias 418 a 420 MHz y 428 a 430 MHz se destinan exclusivamente para redes de transmisión de datos con anchos de banda de emisión máximos correspondientes a una canalización de 12,5 KHz, y excepcionalmente de 25 KHz por causas suficientemente justificadas. Por último, el resto de la banda 410 a 430 MHz se destina a comunicaciones de voz y datos con anchos de banda de emisión máximos correspondientes a una canalización de 12,5 KHz.

La subbanda 440-450 MHz se destina a comunicaciones de voz y datos en modo de explotación simplex con anchos de banda de emisión máximos correspondientes a una canalización de 25 KHz.

En cuanto a la banda de frecuencias de 450-470 MHz, la subbandas 454,350 a 456,200 MHz y 464,350 a 466,200 MHz se destinan a sistemas de comunicaciones móviles en grupos cerrados de usuarios, incluyendo sistemas digitales de banda ancha, en especial de las tecnologías previstas en la Decisión de la CEPT ECC/DEC/(04)06. Las condiciones técnicas de uso de estas bandas de frecuencia se establecerán conforme a criterios de compatibilidad radioeléctrica armonizados y a las previsiones de desarrollo de los servicios de comunicaciones móviles a nivel nacional. Las bandas de frecuencias 456,200 a 458,000 MHz y 466,200 a 468,000 MHz se destinan a redes radioeléctricas de especial complejidad, tanto por la extensión de su cobertura como por el número de canales radioeléctricos a emplear. Las anchuras de banda máximas de emisión en estas bandas se corresponderán con una canalización de 25 KHz.



El resto de la banda que va de 450 a 470 MHz se destina a comunicaciones dúplex de voz y datos con anchuras de bandas de emisión máximas correspondientes a una canalización de 12,5 KHz y, excepcionalmente, por razones de congestión de las bandas indicadas en el párrafo anterior, de 25 KHz.

A los terminales y equipos TETRA que, en su caso, funcionen en estas bandas de frecuencia, les será de aplicación lo dispuesto en las Decisiones de la CEPT ERC/DEC/(99)02, ERC/DEC/(99)03 y ERC/DEC/(99)04 sobre exención de licencia individual, libre circulación de equipos y requisitos de homologación respectivamente. Las redes e instalaciones actuales cuyas frecuencias no se ajusten al plan indicado, deberán adaptarse al mismo a la renovación de su título habilitante.

## Radiotelefonía

La nota de utilización UN-27, referente a la banda de frecuencias 223-235 MHz, muestra como deben utilizarse las distintas subbandas, poniendo de manifiesto como las bandas de frecuencias 224,5-225 MHz y 230,5-231 MHz están destinadas para uso exclusivo del Estado según el ANAF, y las bandas de frecuencias 223-224,5 MHz, 229-230,5 MHz, 225-229 MHz y 231- 235 MHz serán usadas en redes del servicio móvil terrestre para autoprestación del servicio o prestación del mismo a terceros con percepción de tarifas.

Las redes a las que sea aplicable esta nota de utilización nacional utilizarán sistemas multicanal de acceso aleatorio de frecuencias con concentración de enlaces ("*trunking*") y emisiones de anchura de banda adaptada a una canalización de 12,5 KHz.

Por otro lado la nota UN-110 también hace referencia a redes de radiotelefonía. En ella se habla de la banda de 446-446,1 MHz, fijando que en esta banda, de conformidad con la Decisión de la CEPT ERC/DEC/(98)25, se reservan canales de 12,5 KHz para su utilización exclusiva en todo el territorio nacional por el sistema de radio móvil conocido como PMR-446 (Radio Móvil Privada o *Private Mobile Radio*), siendo las frecuencias centrales de los distintos canales 446,00625, 446,01875, 446,03125, 446,04375, 446,05625, 446,06875, 446,08125 y 446,09375 MHz.

La potencia radiada aparente (PRA) máxima autorizada será de 500 mW. Los equipos, que llevan antena incorporada, han de cumplir con las características técnicas del estándar ETSI EN 300 296, y las condiciones de utilización de estos equipos han de ajustarse a las limitaciones propias del sistema en cuanto a capacidad de tráfico y operación simultánea de varios equipos en una misma zona de cobertura.

Junto a todo esto, los terminales de este sistema se encontrarán exentos de licencia individual, conforme a los términos de la Decisión de la CEPT ERC/DEC(98)26, y gozarán de libre circulación y uso según los términos de la Decisión de la CEPT ERC/DEC(98)27.

## WiFi - WiMAX

El CNAF aborda las condiciones del despliegue trata bandas de frecuencias usadas por las tecnologías WiFi (Fidelidad Inalámbrica o *WiReless Fidelity*) y WiMAX (Acceso de Microondas Mundial Interoperable o *Worldwide Interoperable for Microwave Access*) en tres notas de utilización nacional.

La UN-51 que hace referencia a aplicaciones ICM (Industriales, Científicas y Médicas) por encima de 2,4 GHz, fija como bandas de frecuencia a usar para estos servicios las bandas 2400 a 2500 MHz (con frecuencia central 2450 MHz), 5725 a 5875 MHz (con frecuencia central 5800 MHz), 24,00 a 24,25 GHz (con frecuencia central 24,125 GHz) y 61,00 a 61,50 GHz (con frecuencia central 61,250 GHz)

Los servicios de radiocomunicaciones que funcionen en las citadas bandas deberán aceptar la interferencia perjudicial resultante de estas aplicaciones, al ser consideradas bandas de uso común.

La UN-85 recoge que la banda de frecuencias 2400 - 2483,5 MHz, designada en el Reglamento de Radiocomunicaciones para aplicaciones ICM, podrá ser utilizada también para los siguientes usos:

- ❑ Acceso inalámbrico a redes de comunicaciones electrónicas, y redes de área local para la interconexión sin hilos entre ordenadores y/o terminales y dispositivos periféricos, en aplicaciones en el interior de recintos. Las condiciones técnicas de uso han de ser conforme a la Decisión ERC/DEC/(01)07 y la Recomendación CEPT ERC/REC 70-03, Anexo 3, y la potencia isotrópica radiada equivalente (PIRE) total será inferior a 100 mW. Las características radioeléctricas de estos equipos se ajustarán a las especificaciones ETSI EN 300 328, o bien al estándar específico. Esta utilización se considera de uso común.
- ❑ Dispositivos de comunicaciones de corto alcance y gran capacidad para transmisión de voz y datos con muy baja potencia, permitiendo conectar diversos dispositivos en un radio de escasos metros. La potencia isotrópica radiada equivalente (PIRE) máxima autorizada es de 100 mW, y la utilización se considera de uso común.

- Aplicaciones para dispositivos genéricos de baja potencia en recintos cerrados y exteriores de corto alcance. La potencia radiada máxima será inferior a 10 mW y la normativa técnica aplicable es la ETSI EN 300 440. Esta utilización se considera de uso común.

La UN-107, referente a la banda de 3400-3600 MHz, señala que la banda de frecuencias de 3.400 a 3.600 MHz, (con excepción de las subbandas 3485-3495 MHz y 3585-3595 MHz que se destinan para uso prioritario por el Estado para el servicio de radiolocalización en determinadas localizaciones), está destinada para el establecimiento de sistemas de acceso radioeléctrico mediante enlaces punto a multipunto en todo el territorio nacional.

Por último, la UN-128 hace referencia a las redes de acceso de área local en 5 GHz. La banda de 5150-5350 MHz es usada por el servicio móvil en sistemas de acceso inalámbrico incluyendo comunicaciones electrónicas y redes de área local, y se restringe para su utilización únicamente en el interior de recintos, ajustándose las características técnicas a las indicadas en la Decisión de la CEPT ECC/DEC/(04)08. La potencia isotrópica radiada equivalente máxima será de 200 mW. Este valor se refiere a la potencia promediada sobre una ráfaga de transmisión ajustada a la máxima potencia. Adicionalmente, en la banda 5250-5350 MHz el transmisor deberá emplear técnicas de control de potencia (TPC) que permitan como mínimo un factor de reducción de 3 dB de la potencia de salida. En caso de no usar estas técnicas, la potencia isotrópica radiada equivalente máxima deberá ser de 100 mW.

La banda 5470-5725 MHz puede ser utilizada para sistemas de acceso inalámbrico a redes de comunicaciones electrónicas, así como para redes de área local en el interior o exterior de recintos, y las características técnicas deben ajustarse a las indicadas en la Decisión de la CEPT ECC/DEC/(04)08. La potencia isotrópica radiada equivalente será inferior o igual a 1 W. Este valor se refiere a la potencia promediada sobre una ráfaga de transmisión ajustada a la máxima potencia. Adicionalmente, en esta banda de frecuencias el transmisor deberá emplear técnicas de control de potencia (TPC) que permitan como mínimo un factor de reducción de 3 dB de la potencia de salida. En caso de no usar estas técnicas, la potencia isotrópica radiada equivalente máxima (PIRE) deberá ser de 500 mW.

Estas instalaciones de redes de área local tienen la consideración de uso común. El uso común no garantiza la protección frente a otros servicios legalmente autorizados ni pueden causar perturbaciones a los mismos.

## Satélite

La nota de utilización UN-62, que define el uso de la banda 10,7-11,7 GHz, fija que esta banda está atribuida al servicio fijo por satélite (SFS), enlace descendente.

Al igual que la nota anterior, la UN-63, que se ocupa de la banda 11,7-12,5 GHz, pone de manifiesto que se debe reservar para ser usada preferentemente por el servicio de radiodifusión por satélite. La CMR-2000 revisó el Plan para el Servicio de Radiodifusión por Satélite para la Región 1 en la banda 11,7-12,5 GHz, establecido originalmente por la CAMR-1977, aumentando el número equivalente de canales analógicos de 5 (CAMR-1977) a 10 (CMR-2000). Esta nueva planificación está basada exclusivamente en modulación digital. Corresponde a España la posición orbital 30°W de la órbita geoestacionaria, un solo haz que cubre tanto el territorio peninsular como las Islas Canarias, y los siguientes canales en la banda 11,7-12,5 GHz, tal como muestra la **Tabla 3**:

Num. Canal	Frecuencia (MHz)
21	12111,08
23	12149,44
25	12187,80
27	12226,16
29	12264,52
31	12302,88
33	12341,24
35	12379,60
37	12417,96
39	12456,32

*Tabla 3: Canales satélite UN-63 (1)*

Asimismo, en la CMR-2000 se asignaron a España los 40 canales disponibles en la posición orbital 30°W, que aparecen recogidos en la **Tabla 4**:

Num. de canal	Frecuencia (MHz)	Num. de canal	Frecuencia (MHz)
1	11.727,48	21	12.111,08
2	11.746,66	22	12.130,26
3	11.765,84	23	12.149,44
4	11.785,02	24	12.168,62
5	11.804,20	25	12.187,80
6	11.823,38	26	12.206,98
7	11.842,56	27	12.226,16
8	11.861,74	28	12.245,34
9	11.880,92	29	12.264,52
10	11.900,10	30	12.283,70
11	11.919,28	31	12.302,88
12	11.938,46	32	12.322,06
13	11.957,64	33	12.341,24
14	11.976,82	34	12.360,42
15	11.996,00	35	12.379,60
16	12.015,18	36	12.398,78
17	12.034,36	37	12.417,96
18	12.053,54	38	12.437,14
19	12.072,72	39	12.456,32
20	12.091,90	40	12.475,50

Tabla 4: Canales satélite UN-63 (2)

Por último, la UN-122 también hace referencia a servicios por satélite susceptibles de ser utilizados en ámbitos ferroviarios. Esta nota trata sobre el sistema GALILEO, iniciativa europea para desarrollar un sistema mundial de navegación por satélite (GNSS), que será independiente de los sistemas de navegación por satélite existentes, pero compatible e interoperable con éstos.

Las bandas atribuidas por la CMR-2000 para el Servicio de Radionavegación por Satélite son 1164-1215 MHz (espacio-Tierra) (espacio-espacio), 1215-1300 MHz (compartida con otros servicios) (espacio-Tierra) (espacio-espacio), 1300-1350 MHz (Tierra-espacio), 1559-1610 MHz (espacio-Tierra) (espacio-espacio), 5000-5010 MHz (Tierra-espacio) y 5010-5030 MHz (espacio-Tierra) (espacio-espacio).

### 2.3. Cuadro resumen de servicios en entornos ferroviarios

En la **Tabla 5** se presenta un resumen de los principales servicios en los entornos ferroviarios:

Servicios	Nota Utilización	Frecuencias	Parámetros Técnicos	Ferroviano
Comunicaciones Tren-Tierra	UN-78	447.55-447.95 MHz 448.275-448.65 MHz 457.6-457.9 MHz 458.325-458.8 MHz	$PRA_{m\acute{a}xima}=20\text{ W}$ Canalización=25KHz	Si
DCS1800	UN-48	1710-1785 MHz 1805-1880 MHz		No
E-GSM	UN-41	880-890 MHz 925-935 MHz		No
Eurobalizas	UN-120	27.095 MHz 4.234 MHz	Frecuencia de activación Frecuencia de transmisión de datos	Si
Eurolazo		13.54 MHz		Si
GSM900	UN-43	890-915 MHz 935-960 MHz		No
GSM-R	UN-40	876-880 MHz 921-925 MHz		Si
Radiotelefonía	UN-27	223-224.5 MHz(1) 224.5-225 MHz(1) 225-229 MHz(1) 229-230.5 MHz(1) 230.5-231 MHz(1) 231-235 MHz(1)	Canalización=12.5KHz	No
	UN-110	446-446.1 MHz(2)	Canalización=12.5 KHz $PRA_{m\acute{a}xima}=500mW$	
		163-173 MHz	3 canales abiertos sin señalización Canalización=25KHz	Si

Servicios	Nota Utilización	Frecuencias	Parámetros Técnicos	Ferrovionario
Satélite	UN-62	10.7-11.7 GHz		No
	UN-63	11.7-12.5 GHz		
	UN-122	1164-1215 MHz 1215-1300 MHz 1300-1350 MHz 1559-1610 MHz 5000-5010 MHz 5010-5030 MHz		
TETRA	UN-31	406.1-410 MHz (1) 410-415.3 MHz (2) 415.3-418 MHz (4) 418-420 MHz(3) 420-425.3 MHz (2) 425.3-428 MHz(4) 428-430 MHz(3)	En (1) BW=1 MHz para voz y datos simples y Canalización = 12.5-25KHz En (2) Canalización=12.5 KHz En (3) transmisión de datos con Canalización=12.5-25KHz En (4) voz y datos con Canalización=12.5KHz	No
UMTS	UN-48	1710-1885 MHz 1900-1980 MHz 1980-2010 MHz 2010-2025 MHz 2110-2170 MHz 2170-2200 MHz		No
	UN-52	2500-2690 MHz		
WiFi	UN-51	2400-2500 MHz	En (1) PIRE <sub>máxima</sub> =100mW En (2) PIRE <sub>máxima</sub> =200mW con técnicas de control de pot y PIRE <sub>máxima</sub> =100mW sin ellas En (3) PIRE <sub>máxima</sub> =1W con técnicas de control de pot y 500mW sin ellas	No
	UN-85	2400-2483.5 MHz(1)		
	UN-128	5150-5350 MHz(2) 5470-5725 MHz(3)		
WiMAX	UN-51	5725-5875 MHz		No
	UN-107	3400-3600 MHz		

Tabla 5: Servicios en entornos ferroviarios





## **CAPÍTULO 3. DESCRIPCIÓN DE SISTEMAS DE SEÑALIZACIÓN Y CONTROL EN ENTORNOS FERROVIARIOS**

En este capítulo se realiza una descripción de algunos de los principales sistemas que pueden ser utilizados en los entornos ferroviarios para desarrollar funciones de señalización y control de trenes.

En primer lugar se describen algunos de los sistemas para la realización de las funciones específicas de señalización y comunicaciones radioimplementadas actualmente en Europa.

Posteriormente se presenta y analiza el sistema ERTMS, sistema que busca la homogeneización a nivel europeo de la señalización, el control y las comunicaciones ferroviarias, a través del uso del ETCS (Sistema Europeo de Control de Trenes o *European Train Control System*) y GSM-R (Sistema Global para Comunicaciones Móviles en trenes o *Global System for Mobile Communications-Railway*).

Por último, y para finalizar el capítulo, se describe el sistema CBTC, sistema de control automático continuo de trenes usado en transporte ferroviario metropolitano que persigue acabar con las limitaciones que presentaban los sistemas de protección de trenes tradicionalmente usados en los entornos metropolitanos.

Con ello, se completa un recorrido general por los distintos sistemas usados en entornos ferroviarios tanto de larga distancia, como de cercanías y transporte suburbano, proporcionando una visión global de los sistemas y servicios que están actualmente presentes, y que formarán parte en un futuro de los entornos ferroviarios.

### **3.1. Sistemas de señalización y sistemas radio previos a ERTMS/GSM-R en la Unión Europea**

En los siguientes apartados se realiza un recorrido por los sistemas de protección, control y aviso del tren y los sistemas de radio previos a la introducción de los sistemas de control de tren y sistemas de radio ERTMS-ETCS.

Estos sistemas no se han desarrollado con arreglo a especificaciones europeas unificadas y, por consiguiente, son sistemas propietarios y sus proveedores pueden tener derechos de patente sobre sus especificaciones. El suministro y mantenimiento de estas especificaciones no entrará en conflicto con las normativas nacionales, sobre todo con las relativas a patentes.

Durante la fase de transición, en la que estos sistemas se irán reemplazando de forma gradual por el sistema unificado, será necesario gestionar las especificaciones técnicas de manera que se logre la interoperabilidad entre los distintos sistemas. Esto es responsabilidad del Estado miembro correspondiente o de su mandatario, en cooperación con el proveedor del sistema respectivo.

Las empresas de transporte ferroviario que necesiten instalar uno o más de estos sistemas en sus trenes se remitirán al Estado miembro correspondiente. El Estado miembro prestará a la empresa de transporte ferroviario el asesoramiento necesario para lograr una instalación segura y compatible.

## **Sistemas de señalización ferroviarios utilizados en España**

### ASFA

El sistema ASFA (Anuncio de Señales y Frenado Automático) es un sistema de señalización en cabina y ATP (Protección Automática del Tren o *Automatic Train Protection System*) cuyo estado miembro responsable es España, y que se encuentra instalado en la mayoría de las líneas de RENFE (1668 mm), en las líneas de vía métrica de FEVE y en la nueva línea NAFA de ancho europeo.

ASFA se encuentra en todas las líneas consideradas a efectos de interoperabilidad. La comunicación entre la vía y el tren se basa en circuitos resonantes con acoplamiento magnético, de modo que pueden transmitirse nueve datos diferentes. Un circuito resonante en vía se ajusta a una frecuencia representativa del aspecto de la señal. El PLL acoplado magnéticamente instalado a bordo está bloqueado en la frecuencia de tierra.

El sistema está relacionado con la seguridad, no es a prueba de fallos, pero es lo suficientemente seguro para supervisar al conductor. A éste le sirve como recordatorio de las condiciones de señalización y le obliga a responder a los aspectos restrictivos. Las unidades de tierra y de a bordo son de diseño convencional.

ASFA tiene como parámetros de funcionamiento:

- Uso de 9 frecuencias (Gama: 55 KHz a 115 KHz)
- Selección a bordo de tres categorías de trenes diferentes

- Supervisión:
  - Respuesta del conductor a una señal restrictiva en 3 segundos
  - Supervisión continua de la velocidad (160 Km/h o 180 Km/h) tras pasar por la señal restrictiva.
  - Control de velocidad (60 Km/h, 50 Km/h o 35 Km/h según el tipo de tren) tras pasar por un transpondedor 300 metros por detrás de la señal.
  - Paso del tren por una señal con indicación de peligro.
  - Velocidad de línea.
- Reacción:
  - Se aplica el freno de emergencia si se infringe algún punto de supervisión. El freno de emergencia puede liberarse en parada.

### **EBICAB 900**

El sistema EBICAB 900 se encuentra también bajo responsabilidad española, y está formado por balizas en tierra con codificadores de señal o comunicaciones en serie con enclavamiento electrónico, y por equipos informáticos a bordo del tren. La transmisión de datos se realiza entre las balizas pasivas en tierra (entre 2 y 4 por señal) y la antena instalada en los bajos del tren, que también suministra energía a la baliza al pasar. El acoplamiento entre la baliza y el equipo de a bordo es inductivo.

Sus características principales son:

- Balizas de excitación a 27 MHz con modulación de amplitud para los impulsos de reloj y frecuencia de impulsos de 50 KHz.
- Transmisión de datos a los trenes en 4,5 MHz a 50 Kbps con paquetes de 255 bits.
- Las señales están concatenadas, pero los tableros, por ejemplo, de avisos y velocidades, no están necesariamente concatenados; siendo aceptable un 50 % de balizas concatenadas para la seguridad contra fallos.
- El conductor puede introducir características como identificación del tren, longitud, tipo de velocidad, velocidad máxima, características de frenado y presurización del tren.

- El conductor recibe indicaciones visuales como el límite de velocidad, velocidad objetivo, exceso de velocidad, alarma ASFA, rearme de los frenos, permiso de paso, aviso acústico, preaviso de frenado, indicador rojo o indicación alfanumérica.
- Supervisión:
  - ⇒ Velocidad de línea, en función de la capacidad de la vía y del rendimiento del vehículo en la situación de exceso de velocidad o de la imposición de la baja velocidad para determinados trenes.
  - ⇒ Múltiples objetivos, incluida la información de señalización sin señales ópticas.
  - ⇒ Pueden implantarse restricciones de velocidad permanentes, temporales y de emergencia con balizas no concatenadas.
  - ⇒ Punto de detención.
  - ⇒ Perfil de frenado dinámico.
  - ⇒ Estado del detector de cruces a nivel y corrimientos de tierras.
  - ⇒ Maniobras.
  - ⇒ Protección contra rodadura.
  - ⇒ Compensación de deslizamiento.
  - ⇒ Señal de paso autorizado en parada.
- Reacción:
  - ⇒ Aviso acústico con más de 3 Km/h y freno de servicio con más de 5 Km/h de exceso de velocidad. El conductor puede levantar el freno de servicio cuando la velocidad está dentro de unos límites.

## LZB

Este sistema ATC (Control Automático del Tren o *Automatic Train Control System*) tiene como estados miembros responsables a Austria, Alemania y España, y está instalado en todas las líneas de Alemania que superan los 160 Km/h, que constituyen buena parte de las líneas consideradas a efectos de interoperabilidad, así como en líneas de Austria y España.

Consta de una parte en tierra, con adaptación a los sistemas de enclavamiento y transmisiones de datos respectivos, proceso de datos en el centro LZB, transmisión de datos en comunicaciones con otros centros LZB y sistemas de transmisión de datos en comunicaciones con trenes. La transmisión de datos entre tierra y el tren se realiza por medio de un lazo de cable inductivo en tierra y antenas de ferrita a bordo.

Tiene como características principales:

- ❑ Transmisión de datos a los trenes con modulación FSK en  $36 \pm 0,4$  KHz a 1200 bps.
- ❑ Transmisión de datos desde los trenes con modulación FSK en  $56 \pm 0,2$  KHz a 600 bps.
- ❑ El conductor puede introducir características como la longitud del tren, la velocidad máxima, o parámetros de frenado del tren (porcentaje y régimen de frenado del mismo).
- ❑ El conductor recibe indicaciones visuales como modo de operación válido, estado de la transmisión de datos, velocidad máxima permitida/velocidad real en un velocímetro de dos punteros, velocidad objetivo y distancia hasta el objetivo.
- ❑ Supervisión:
  - Velocidad de línea (velocidad máxima, limitaciones de velocidad temporales y permanentes).
  - Velocidad máxima del tren.
  - Punto de detención.
  - Dirección de movimiento.
  - Perfil de velocidad dinámico.
- ❑ Reacción:
  - Se aplica el freno de emergencia si se infringe la supervisión del movimiento. En caso de exceso de velocidad, el freno de emergencia puede levantarse cuando la velocidad está dentro de unos límites.

## SELCAB

EL SELCAB es un sistema ATC responsabilidad de España y el Reino Unido, y que está instalado en la línea de alta velocidad Madrid-Sevilla como extensión del sistema LZB en las áreas próximas a la estación. El equipo de a bordo LZB 80 (España) también puede procesar la información del SELCAB.

La transmisión de datos entre tierra y el tren se realiza por medio de un lazo inductivo semicontinuo en tierra y antenas de ferrita a bordo.

Sus características principales son:

- ❑ Transmisión de datos a los trenes con modulación FSK en  $36 \pm 0,4$  KHz a 1200 bps.
- ❑ El conductor puede introducir características como longitud del tren, velocidad máxima y parámetros de frenado del mismo.
- ❑ El conductor recibe indicaciones visuales sobre velocidad máxima permitida y velocidad real en un velocímetro de dos punteros, velocidad objetivo y distancia hasta el objetivo.
- ❑ Supervisa velocidad de línea, punto de detención, dirección de movimiento, perfil de frenado dinámico y restricciones de velocidad.
- ❑ En cuanto a mecanismos de reacción, se aplica el freno de emergencia si se infringe la supervisión del movimiento. En caso de exceso de velocidad, el freno de emergencia puede levantarse cuando la velocidad está dentro de unos límites.

## **Principales sistemas de señalización ferroviarios utilizados en el resto de la Unión Europea**

### ATB

El sistema ATB tiene como estados responsables a Bélgica y Holanda, y existe en dos versiones básicas, el ATB de primera generación y ATB de nueva generación.

### **ATB de primera generación**

La inmensa mayoría de líneas llevan instalado el ATB de primera generación. El sistema consta de circuitos de vía codificados de diseño convencional y de un equipo electrónico de a bordo convencional (GRS) o informatizado. La transmisión de datos entre los circuitos de vía codificados y el equipo de a bordo se realiza a través de antenas de cuadro acopladas por inducción e instaladas por encima de los carriles.

Sus principales características son:

- ❑ Transmisión de datos a los trenes: Frecuencia de portadora de 75 Hz con 6 códigos de velocidad (40, 60, 80, 130, 140) en Km/h, modulados en AM.
- ❑ El conductor recibe indicaciones sobre la velocidad correspondiente al código de velocidad, y avisadores acústicos si se produce un cambio de código y si el sistema solicita la aplicación del freno.
- ❑ Supervisión de velocidad continua.
- ❑ Reacción
  - ▢ Se aplica el freno de emergencia si se produce un exceso de velocidad y el conductor no reacciona ante el aviso acústico.

### **ATB de nueva generación**

Sistema ATC (control automático del tren) parcialmente instalado en las líneas de NS. El sistema consta de balizas en tierra y equipos a bordo. También existe una función de relleno basada en un lazo de cable. La transmisión de datos se realiza entre la baliza activa y una antena instalada en el tren. El sistema es sensible a la dirección, y las balizas van montadas entre los carriles ligeramente descentradas. Los equipos ATBNG de a bordo son plenamente interoperables con los equipos ATB de primera generación instalados en tierra.

Cuenta con las siguientes funcionalidades:

- ❑ Transmisión de datos a los trenes con modulación FSK a  $100 \pm 10$  KHz a 25 Kbps.
- ❑ El conductor puede introducir características como longitud del tren, velocidad máxima del tren o características de frenado del tren.
- ❑ El conductor puede recibir indicaciones visuales sobre la velocidad máxima de línea, la velocidad objetivo, la distancia objetivo, o la curva de frenado.

- ❑ La supervisión que se lleva a cabo hace referencia a la velocidad de línea, las restricciones de velocidad, el punto de detención y el perfil de frenado dinámico.
- ❑ En cuanto a los sistemas de reacción cuenta con preaviso óptico y aviso acústico. Se aplica el freno de emergencia si se infringe la supervisión del movimiento o si el conductor no reacciona ante un aviso acústico.

### BACC

BACC es un sistema de responsabilidad italiana que está instalado en todas las líneas que superan los 200 Km/h, que son la mayoría de las líneas consideradas a efectos de interoperabilidad.

El sistema consta de circuitos de vía codificados convencionales que trabajan a dos frecuencias de portadora para manejar dos clases de trenes. El equipo de a bordo está informatizado, y la transmisión de datos entre los circuitos de vía codificados y el equipo de a bordo se realiza a través de antenas de cuadro acopladas por inducción e instaladas por encima de los carriles.

Sus principales características son

- ❑ Transmisión de datos a los trenes con frecuencia de portadora de 50 Hz y 5 códigos de velocidad modulados en AM, o con frecuencia de portadora de 178 Hz y 4 códigos de velocidad modulados en AM.
- ❑ El conductor recibe indicaciones visuales como la velocidad correspondiente al código de velocidad y el aspecto de la señal.
- ❑ Son supervisadas la velocidad de forma continua y el punto de detención.
- ❑ Como sistemas de reacción cuenta con freno de emergencia en caso de exceso de velocidad.



## CROCODILE

CROCODILE es un sistema bajo responsabilidad belga, francesa y luxemburguesa que se encuentra instalado en las principales líneas ferroviarias de estos países (RFF, SNCB y CFL).

Este sistema se basa en una barra de hierro instalada en la vía que entra en contacto físico con una escobilla instalada a bordo del tren. La barra transporta una tensión de batería de  $\pm 20$  V, en función del aspecto de la señal. El conductor recibe una indicación de aviso a la que ha de responder, y caso de no hacerlo, se activa el freno automático.

CROCODILE no supervisa velocidad o distancia. Sólo actúa como sistema de vigilancia, y las unidades de tierra y de a bordo son de diseño convencional.

Tiene como características a reseñar:

- ❑ Barra alimentada por corriente continua ( $\pm 20$  V).
- ❑ La única supervisión es la respuesta del conductor.
- ❑ Como mecanismo de reacción se aplica el freno de emergencia si no se responde al aviso. El freno de emergencia puede levantarse una vez en reposo.

## EBICAB 700

Sistema ATP estándar a prueba de fallos, responsabilidad de Suecia y Portugal, y que está implantado en las líneas ferroviarias de Suecia, Noruega y Portugal. En Suecia y Noruega se utiliza idéntico software, lo que permite que los trenes crucen la frontera sin cambiar de conductor o de locomotora a pesar de las diferencias entre los sistemas y normas de señalización de ambos países, mientras que en Portugal el software de control empleado es diferente.

El sistema está formado por balizas en tierra con codificadores de señales o comunicaciones en serie con enclavamiento electrónico, y por equipos informáticos a bordo del tren. La transmisión de datos se realiza entre las balizas pasivas en tierra (entre 2 y 5 por señal) y la antena instalada en los bajos del tren, que también suministra energía a la baliza al pasar. El acoplamiento entre la baliza y el equipo de a bordo es inductivo.

Las características principales de este sistema son:

- ❑ Balizas de excitación funcionando a 27,115 MHz, con una modulación de amplitud para los impulsos de reloj y una frecuencia de impulsos de 50 KHz.
- ❑ La transmisión de datos a los trenes se realiza en 4,5 MHz, a 50 Kbps, con paquetes con 12 bits útiles de un total de 32 bits.
- ❑ Las señales están concatenadas, pero los tableros, por ejemplo, de avisos y velocidades, no están necesariamente concatenados; siendo aceptable un 50 % de balizas concatenadas para la seguridad contra fallos.
- ❑ El conductor puede introducir características como longitud del tren, velocidad máxima, características de frenado, propiedades específicas del tren para admitir el exceso de velocidad, o imponer la conducción lenta en determinados tramos y condiciones de superficie.
- ❑ El conductor recibe indicaciones visuales sobre la velocidad máxima de línea, la velocidad objetivo, información anticipada sobre objetivos secundarios para la señalización de distancia por recorrer o de fases de velocidad, restricciones de velocidad pasada la primera señal, tiempo para la intervención del freno de servicio, averías en los equipos de tierra o del vehículo, valor del último retardo, presión de la tubería de freno y velocidad actual, e información en la última baliza pasada.
- ❑ Se supervisan la velocidad de línea (en función de la capacidad de la vía y del rendimiento del vehículo en la situación de exceso de velocidad, o de la imposición de la baja velocidad para determinados trenes), la información de señalización sin señales ópticas, el punto de detención, el perfil de frenado dinámico, el estado del detector de cruces a nivel y corrimientos de tierras, maniobras o la protección contra rodadura.
- ❑ Como mecanismos de reacción, cuenta con aviso acústico con más de 3 Km/h, y freno de servicio con más de 5 Km/h de exceso de velocidad. El conductor puede levantar el freno de servicio cuando la velocidad está dentro de unos límites.

## **INDUSI / PZB**

Sistema ATP con responsabilidad de Austria y Alemania. Los circuitos resonantes acoplados magnéticamente instalados en tierra y en el tren transmiten a éste informaciones. El sistema no se considera a prueba de fallos, pero es lo suficientemente seguro para supervisar al conductor.

Actúa totalmente en segundo plano, lo que significa que no ofrece al conductor ninguna indicación relativa al aspecto de las señales, sino que se limita a indicar que el tren está supervisado.

Sus características principales son:

- ❑ Uso de 3 frecuencias: 500, 1000 y 2000 Hz.
- ❑ El conductor puede introducir determinados parámetros del tren, como características de frenado.
- ❑ En cuanto a la supervisión, a 500 Hz se realiza supervisión de velocidad inmediata, a 1000 Hz la supervisión de la velocidad depende del tipo de tren, y a 2000 Hz parada inmediata.
- ❑ En cuanto a sistemas de reacción, se aplica el freno de emergencia si se infringe la supervisión. El freno de emergencia puede levantarse en condiciones especiales.

## KVB

Sistema ATP técnicamente similar al EBICAB, que tiene a Francia como estado miembro responsable. Está parcialmente instalado en las líneas de alta velocidad para algunas transmisiones puntuales y para la supervisión de restricciones de velocidad temporales. El sistema está formado por balizas en tierra que incorporan codificadores de señales y por equipos informatizados a bordo.

Se trata de un sistema superpuesto a los equipos de señalización convencionales. La transmisión de datos se realiza entre las balizas pasivas en tierra (entre 2 y 9 por señal) y la antena instalada en los bajos del tren, que también suministra energía a la baliza al pasar. El acoplamiento entre la baliza y el equipo de a bordo es inductivo. Esta transmisión de datos también se utiliza para información puntual no relacionada con la ATP (puertas, canales de radio, etc.).

El sistema KVB tiene como características principales:

- ❑ Balizas de excitación funcionando a 27,115 MHz, con modulación de amplitud para los impulsos de reloj y frecuencia de impulsos de 50 KHz.
- ❑ Transmisión de datos a los trenes a 50 Kbps en 4,5 MHz.
- ❑ El conductor debe introducir características del tren como su categoría, velocidad máxima, longitud, o parámetros de frenado del tren.

- ❑ El conductor recibe indicaciones visuales sobre el estado de la supervisión de velocidad y la velocidad de frenado.
- ❑ Se lleva a cabo supervisión de la velocidad de línea, el punto de detención, el perfil de frenado dinámico y las restricciones de velocidad.
- ❑ En cuanto a sistemas de reacción, cuenta con aviso del conductor. Se aplica el freno de emergencia si se infringe la supervisión del movimiento, y éste sólo puede levantarse cuando el tren está parado.

### RSDD

El RSDD es un sistema ATP de responsabilidad italiana que puede utilizarse por sí solo o superpuesto sobre la infraestructura BACC. El equipo de a bordo es capaz de gestionar la información procedente de distintas fuentes de manera coordinada.

Este sistema está formado por balizas y codificadores en tierra y una antena a bordo que también suministra energía a la baliza al pasar. El acoplamiento es inductivo. Desde el punto de vista lógico, existen dos clases de balizas: Las «balizas del sistema», que contienen información sobre la línea que se tiene por delante, y las «balizas de señalización», que contienen información sobre el aspecto de las señales.

RSDD se caracteriza por:

- ❑ Tres tipos de balizas, todas ellas con las mismas frecuencias para enlaces ascendentes y descendentes, pero de distinta capacidad. La frecuencia de excitación es 27,115 MHz.
- ❑ Transmisión de datos a los trenes en 4,5 MHz, con modulación ASK de 12/180 bits o modulación FSK de 1023 bits.
- ❑ Las características fijas del tren se cargan en las instalaciones de mantenimiento, mientras que los datos que dependen de la composición del tren son insertados por el conductor.
- ❑ Se utilizan balizas especiales para calibrar el sistema odométrico de a bordo, antes de que pueda utilizarse para la supervisión del tren.
- ❑ El conductor recibe indicaciones visuales sobre velocidad máxima permitida, velocidad objetivo, velocidad real del tren, información anticipada sobre objetivos secundarios y avisos previos a la intervención del freno de emergencia.

- En condiciones de plena supervisión, el tren supervisa la velocidad de línea en función de la capacidad de la vía y del rendimiento del vehículo, en las situaciones de: exceso de velocidad, restricción de velocidad permanente y temporal, cruce a nivel, punto de detención, perfil de frenado dinámico y maniobras. Si no es posible enviar una o más características de la línea al sistema de a bordo, se puede utilizar el sistema en supervisión parcial. En este caso, se desconecta el interfaz hombre-máquina y el conductor ha de llevar el tren con arreglo a las señales de las estructuras próximas a la vía.
- Como mecanismos de reacción, cuenta con freno de servicio y freno de emergencia.

### TBL 1 / 2 / 3

Es un sistema ATC de responsabilidad belga y británica parcialmente instalado en las líneas de NMBS/SNCB (actualmente 1200 balizas y 120 equipos de a bordo TBL1, 200 balizas y 300 equipos de a bordo TBL2). Todas las líneas para velocidades superiores a 160 Km/h están equipadas con TBL2.

El sistema consta de una baliza en tierra en cada señal y del equipo de a bordo, siendo TBL1 un sistema de aviso y TBL2/3 sistemas de señalización en cabina. Para estos últimos existen balizas de relleno, y se dispone de un lazo de cable con la misma función. La parte en tierra se denomina TBL2 si tiene interfaz con relés de enclavamiento mecánico y TBL3 si tiene interfaz serie con enclavamientos electrónicos. Los equipos instalados a bordo del tren se denominan TBL2.

La transmisión de datos se realiza entre la baliza activa y una serie de antenas de cuadro instaladas en el tren. El sistema es sensible a la dirección, las balizas van montadas entre los carriles ligeramente descentradas.

Tiene como principales características las siguientes:

- Transmisión de datos a los trenes con modulación FSK en  $100 \pm 10$  KHz a 25 Kbps.
- El conductor introduce características como la longitud del tren, la velocidad máxima, las características de frenado (peso de frenado, tipo de tren, aislamientos y otros parámetros específicos), selección de idioma y parámetros de identificación.

- ❑ El conductor recibe indicaciones visuales como velocidad máxima, velocidad objetivo, distancia objetivo, velocidad del tren y modo de funcionamiento.
- ❑ Se supervisan velocidad de línea, restricciones de velocidad (permanentes y temporales), restricciones específicas para trenes de mercancías y de otro tipo, punto de detención, perfil de frenado dinámico, dirección de movimiento y vigilancia del conductor.
- ❑ Como mecanismos de reacción tiene disponibles avisos acústicos y ópticos. Se aplica el freno de emergencia si se infringe la supervisión del movimiento o si el conductor no responde al aviso.

## TPWS

El TPWS (Sistema de Aviso y Protección del Tren o *Train Protection & Warning System*) es un sistema bajo responsabilidad británica que tiene por objeto mejorar la seguridad, principalmente en las bifurcaciones, y que se aplica a todas las líneas consideradas interoperables. Este sistema incluye la funcionalidad del sistema AWS (Sistema de Aviso Automático ó *Automatic Warning System*), y está basado en imanes permanentes y bobinas que generan campos magnéticos en la vía. No se considera a prueba de fallos, pero incorpora medidas y principios que reducen la probabilidad de confundir al conductor.

TPWS asegura las funciones siguientes:

- ❑ Aviso al conductor de condiciones restrictivas a la distancia estándar de frenado, como el hecho de que las señales no indiquen paso libre, y restricciones de velocidad permanentes o temporales.
- ❑ Protección del tren en distintas circunstancias, como que el tren supere la velocidad de línea permitida con las restricciones de velocidad especificadas, que el tren se aproxime a una señal de parada con exceso de velocidad o que el tren pase por una señal con indicación de peligro.
- ❑ El conductor recibe indicaciones visuales sobre el estado del último imán, libre o restrictivo, o las causas de la aplicación del freno. El estado de avería/aislamiento TPWS ofrece distintos controles, como un botón de respuesta para el aviso de una condición restrictiva, un botón para pasar una señal con indicación de peligro válido exclusivamente durante un intervalo de tiempo limitado tras su accionamiento y controles de aislamiento.

- ❑ Ofrece indicaciones acústicas, como un tono de campana, señal de paso libre o un tono de bocina, condición restrictiva a la que se ha de responder.
- ❑ El sistema está interconectado con el sistema de frenado del tren, y realiza una aplicación plena del freno de emergencia si no se responde al tono de bocina en 2.5 segundos, o inmediatamente si el tren pasa por la trampa de velocidad con exceso de velocidad o pasa por una señal con indicación de peligro.
- ❑ Uso de una secuencia de campos magnéticos para proporcionar detalles de la señal de paso libre o no libre, y de un campo electromagnético sinusoidal en la región de 60 KHz para las funciones de trampa de velocidad y parada del tren, utilizándose hasta 8 frecuencias.
- ❑ Establecimiento de las características del tren en términos de capacidad de frenado, obteniéndose velocidades máximas en las trampas de velocidad.
- ❑ El conductor debe responder a una condición restrictiva en 2.5 segundos, aplicándose los frenos de emergencia. El freno de emergencia puede levantarse un minuto después de ser aplicado, a condición de que también se haya respondido a la demanda de freno.

## TVM

El sistema TVM tiene como estados miembros responsables a Bélgica y Francia, y se encuentra instalado en las líneas de alta velocidad de los ferrocarriles franceses. La versión antigua TVM 300 está instalada en las líneas de París-Lyon (LGV SE) y París-Tours/Le Mans (LGV A), y la última versión TVM 430 en la línea París-Lille-Calais (LGV N), en la línea de SNCF de interconexión con Bruselas, en la línea Lyon-Marsella/Nîmes (LGV Mediterránea) y a través del Eurotúnel. El sistema TVM 430 es compatible con el TVM 300.

Ambos sistemas utilizan circuitos de vía codificados como medios de transmisión continua, y lazos inductivos o balizas (tipo KVB o TBL) como medios de transmisión puntual. La transmisión de datos entre los circuitos de vía codificados y el equipo de a bordo se realiza a través de antenas de cuadro acopladas por inducción e instaladas por encima de los carriles.

Sus características principales son:

- ❑ Transmisión de datos a los trenes a través de circuitos de vía usando varias frecuencias de portadora (1.7, 2.0, 2.3, 2.6 KHz), con códigos de velocidad modulados en FSK.
- ❑ Transmisión de datos a los trenes a través de lazos inductivos, usando TVM 300 (14 frecuencias entre 1,3 a 3,8 KHz), y TVM 430 (señal modulada en PSK a 125 KHz).
- ❑ Se introducen características del tren a bordo en locomotoras para ramas transportadas en el Eurotúnel.
- ❑ El conductor recibe indicaciones visuales relativas a órdenes de velocidad asociadas con aspectos semafóricos.
- ❑ Se supervisa la velocidad de manera continua, el punto de detención y la activación del freno (basada en una curva escalonada para TVM 300 y en una parabólica para TVM 430).
- ❑ Como mecanismos de reacción se aplica el freno de emergencia en caso de exceso de velocidad.

### ZUB 123

El ZUB 123 es un sistema ATC responsabilidad de Dinamarca instalado de forma generalizada en las líneas danesas consideradas a efectos de interoperabilidad.

El sistema consta de equipos en tierra, como una bobina de acoplamiento en la vía que va montada fuera de los carriles y una tarjeta interfaz de señalización que analiza y deriva la información por transmitir, y de equipos de a bordo, como una unidad con los componentes lógicos de proceso y el equipo receptor/transmisor, una bobina de acoplamiento en el vehículo que recibe los datos de la línea, un generador de impulsos del odómetro montado sobre el eje que suministra la información de la distancia recorrida y la velocidad real, una pantalla y un cuadro de mandos en cabina. Los equipos de a bordo ZUB 123 se consideran a prueba de fallos.

Sus características básicas son:

- ❑ Uso de 3 frecuencias: canal de control de 50 KHz, canal de energía de 100 KHz y canal de datos de 850 KHz.



- ❑ Modo de transmisión de datos multiplexado por división en el tiempo para la transmisión en serie de telegramas de hasta 96 bits útiles.
- ❑ Proceso de datos informático a bordo.
- ❑ El conductor recibe indicaciones visuales que hacen referencia a la máxima velocidad autorizada, la velocidad real, la objetivo y la distancia objetivo.
- ❑ Se introducen datos del tren en el panel del codificador, o directamente en la unidad de a bordo.
- ❑ Son supervisadas velocidad de línea, punto de detención, restricciones de velocidad y perfil de frenado dinámico.
- ❑ Como mecanismos de reacción, se aplica el freno de emergencia si se infringe la supervisión del movimiento. En caso de exceso de velocidad, el freno de emergencia puede levantarse cuando la velocidad alcanza un valor límite definido.

## EVM

El sistema EVM está instalado en todas las líneas principales de la red ferroviaria estatal de Hungría (MÁV). Estas líneas se toman en consideración a efectos de interoperabilidad. La mayor parte de la flota de locomotoras está equipada con este sistema.

La parte de tierra del sistema consta de circuitos de vía codificados que trabajan a una frecuencia de portadora para la transmisión de información. La frecuencia se codifica por modulación de amplitud 100% con un codificador electrónico.

La transmisión de datos entre los circuitos de vía codificados y el equipo de a bordo se realiza a través de antenas de cuadro acopladas por inducción e instaladas por encima de los carriles.

Se caracteriza por:

- ❑ Transmisión de datos a los trenes a una frecuencia de portadora de 75 Hz, con 7 códigos (6 códigos de velocidad) modulados en amplitud.
- ❑ El conductor cuenta con indicaciones visuales, como señalización en cabina, y aspectos de señal, como pueden ser parada, velocidad permitida en la próxima señal y modo de maniobra.

- ❑ Se supervisan límite de velocidad, control de vigilancia cada 1550 m si la velocidad real es menor que la velocidad objetivo y cada 200 m en caso contrario, aspectos de parada y limitación de velocidad en modo de maniobra.
- ❑ Cuenta con mecanismos de reacción, como el accionamiento del freno de emergencia si no hay reacción del conductor, si se sigue rebasando el límite de velocidad tras la señal de vigilancia o si se pasa una señal de parada a más de 15 Km/h, así como si se está en modo de maniobra y se rebasan los 40 Km/h.

## LS

El sistema LS es responsabilidad de la Republica Checa y Eslovaquia, y está instalado en todas las líneas principales de los ferrocarriles checos (CD) y eslovacos (ZSR), y en otras líneas de velocidad superior a 100 Km/h. Estas líneas se toman en consideración a efectos de interoperabilidad.

La parte de tierra del sistema consta de circuitos de vía codificados que trabajan una frecuencia de portadora. La frecuencia se codifica por modulación de amplitud al 100%. Casi toda la flota de locomotoras está provista del equipo de a bordo, que está parcialmente informatizado. En cuanto a la transmisión de datos entre los circuitos de vía codificados y el equipo de a bordo, ésta se realiza a través de antenas de cuadro acopladas por inducción e instaladas por encima de los carriles.

Sus características principales son:

- ❑ Transmisión de datos a los trenes en una frecuencia de portadora de 75 Hz, usando 4 códigos de velocidad modulados en AM.
- ❑ El conductor cuenta con señalización en cabina y con indicaciones visuales, sobre aspectos de señal, como parada, velocidad limitada, velocidad máxima y precaución.
- ❑ Supervisión del límite de velocidad, pero no la distancia.
- ❑ Como mecanismos de reacción, se aplica el freno de emergencia si el conductor no reacciona cuando se recibe el límite de velocidad.

## Cuadro resumen de los principales sistemas de señalización en la Unión Europea

En la **Tabla 6** se presenta un cuadro resumen de los principales sistemas de señalización utilizados en la Unión Europea:

País	Sistema	Funcionalidad
Austria	PZB	Supervisión discreta de velocidad
	PZB + LZB	Señalización en cabina
Bélgica	Crocodile	Aviso
	TBL1 + Crocodile	Aviso / parada
	TBL2	Señalización en cabina
	TVM	Señalización en cabina
República Checa	LS	Supervisión discreta de velocidad
Dinamarca	ZUB 123	Señalización en cabina
Francia	Crocodile	Aviso
	KVM + Crocodile	Supervisión continua de velocidad
	TVM	Señalización en cabina
Alemania	PZB	Supervisión discreta de velocidad
	LZB + PZB	Señalización en cabina
Gran Bretaña	AWS/TPWS	Supervisión discreta de velocidad
	TVM	Señalización en cabina
	TBL	Señalización en cabina
	Selcab	Señalización en cabina
Hungría	EVM	Supervisión discreta de velocidad
Italia	BACC	Supervisión discreta de velocidad
	RSDD	Supervisión continua de velocidad
Luxemburgo	Crocodile	Aviso / parada
Países Bajos	ATB EG	Supervisión discreta de velocidad
	ATB EG + NG	Supervisión continua de velocidad
Eslovaquia	LS	Supervisión discreta de velocidad
Eslovenia	PZB	Supervisión discreta de velocidad
Suecia	Ebicab	Supervisión continua de velocidad
España	ASFA	Supervisión discreta de velocidad
	Ebicab + ASFA	Supervisión continua de velocidad
	LZB + ASFA	Señalización en cabina

Tabla 6: Sistemas de señalización en la Unión Europea

## Principales sistemas de comunicación radio ferroviarios utilizados en la Unión Europea

En la **Tabla 7** se presenta un resumen de los principales sistemas de comunicación radio ferroviarios utilizados en la Unión Europea:

		UIC 1-4	UIC 1-4+6	UIC 1-4+6+7	BR 1845	BR 1609	TTT CP_N
Frecuencias (MHz)	Tren-Tierra	457.7-457.8	457.45-458.45	457.45-458.45	448.34375-448.48125	196.85-198.3	457.7-457.8
	Tierra-Tren	467.625-467.875	467.4-468.45 447.4-448.45	467.4-468.45 447.4-448.45	454.84375-454.98125	204.85-206.3	467.625-467.875
Separación frecuencias (KHz)		25	25	25	12.5	12.5	12.5
Separación frecuencias Duplex (MHz)		10	10	10	6.5	8	10
Desviación frecuencias (KHz)		<1.75 tono operación <2.25 voz	<1.75 tono operación <2.25 voz	<1.75 tono operación <2.25 voz	0.3 CTCSS 1.5 TX datos 1.75 tono emergencia <2.5 voz	<2.5	1.75 FFSK 0.3 FSK <2.3 voz
Sensibilidad (microV)	Tren	>1 SNR>20dB	>1 SNR>20dB	>1 SNR>20dB	>1 SNR>20dB	<0.6 SNR=12dB	1000 SNR>20dB
	Tierra	>2	>2	>2	<2	<0.3 SNR=12dB	2000
Radiación potencia (W)	Tren	6	6	6	10	>25	6
	Tierra	6	6	6	10	>25	6
Modos		Duplex Semiduplex	Duplex Semiduplex	Duplex Semiduplex	Duplex	Duplex Simples	Semiduplex Simplex
Estados Miembros Encargados		Francia, Alemania y Luxemburgo	Austria, Bélgica, Dinamarca, Noruega, Países Bajos, Alemania y España	Francia	Reino Unido	Reino Unido	Portugal

Tabla 7: Sistemas de comunicación radio en la Unión Europea

Además de los presentes en la tabla, existen los sistemas ETACS (Sistema de Comunicaciones de Acceso Total Extendido o *Extended Total Access Communications System*) y GSM, que se usan como solución para las radiocomunicaciones tren-tierra, siendo servicios suministrados por la operadora pública en las redes de telefonía móvil analógica y digital en la banda de 900 MHz.

### 3.2. Sistema ERTMS

Actualmente en las redes ferroviarias existen gran cantidad de sistemas de control de trenes. Estos sistemas están principalmente basados en información puntual transmitida al tren por balizas instaladas en la vía, y resultan insuficientes para los actuales requerimientos en el funcionamiento de los trenes.

Las actuales demandas para el tráfico ferroviario son las siguientes:

- ❑ El transporte por tren debe tratar de ser una alternativa al transporte por carretera o aéreo.
- ❑ La seguridad es un aspecto clave en los sistemas ferroviarios, y con los actuales sistemas de control de los trenes es muy limitada, puesto que casi toda la responsabilidad de la conducción recae sobre el conductor, y la supervisión llevada a cabo por el tren, caso de existir, es solamente puntual.
- ❑ Los sistemas actuales no están preparados para soportar trenes de alta velocidad y una alta densidad de tráfico necesaria para cubrir toda la demanda.
- ❑ Para reducir costes, se debe crear una economía de escala para el ferrocarril. Especialmente con las tendencias actuales de privatización las compañías ferroviarias deben ser competitivas.
- ❑ La necesidad de un sistema interoperable para todos los ferrocarriles, con el fin de evitar paradas en las fronteras. Hoy en día cada país cuenta con su propio sistema de señalización, con lo que si un tren quiere viajar a través de varios países debe de ir equipado con diferentes sistemas de señalización, y su conductor esta obligado a conocer el funcionamiento de todos ellos.

Con todo esto, parece necesaria la implantación de un nuevo sistema de control de trenes para solventar todos estos problemas. Y este sistema es el ERTMS (Sistema de Gestión de Tráfico Ferroviario Europeo o *European Rail Traffic Management System*).

## Antecedentes

Siguiendo la decisión tomada por el Ministro Europeo de Transportes en diciembre de 1989, la comisión europea se embarcó en un proyecto para analizar los problemas relativos a la señalización y el control de los trenes. A finales de 1990, el ERRI (Instituto para la Investigación de Ferrocarriles Europeos o *European Railway Research Institute*) creó un grupo de expertos en ferrocarriles (A200) para desarrollar los requerimientos de ERTMS. En junio de 1991, la industria (EUROSIG) y la administración (UIC (Unión Internacional de Ferrocarriles o *Union International des Chemins de Fer*) y el grupo A200 del ERRI) acordaron los principios de una estrecha cooperación con el propósito de fijar las especificaciones y requerimientos como base para el desarrollo industrial. El marco del proyecto incluía un nuevo equipamiento a bordo basado en una arquitectura abierta de ordenadores (EUROKAB), un nuevo sistema discontinuo para la transmisión de datos (EUROBALIZA) y un nuevo sistema de transmisión continua (EURORADIO). A finales de 1993, el consejo de la Unión Europea publicó una directiva de interoperabilidad, y se adoptó la decisión de crear un organismo para definir las especificaciones técnicas para la interoperabilidad.

A comienzos del IV Programa Marco, en 1995, la comisión europea fijó una estrategia global para el posterior desarrollo de ERTMS con el objetivo de preparar su futura implementación en la red de ferrocarriles europeos. La estrategia global descrita en el "Plan Maestro de Actividades" incluía la fase de desarrollo y validación. El objetivo de la fase de validación era realizar pruebas a gran escala en diferentes países.

En el verano de 1998 se formó UNISIG por las compañías europeas de señalización (Alstom, Bombardier, Siemens, Alcatel, Ansaldo Signal e Invensys) para finalizar las especificaciones. Las especificaciones fueron entregadas el 23 de abril de 1999. Con la firma final de las especificaciones ERTMS de clase 1 el 25 de abril del 2000, había llegado finalmente ERTMS, dotando de niveles substancialmente superiores de funcionamiento a los ferrocarriles.

Se han obtenido grandes éxitos en las pruebas de interoperabilidad en los diferentes países, existiendo un buen número de proyectos comerciales en diferentes etapas, como la línea HLS-Zuid, Roma-Nápoles, Berlin-Halle - Leipzig, Madrid-Lleida, Plovdiv-Burgas en Bulgaria (ETCS Nivel 1, 2001), Viena-Budapest (2006, Nivel 1) y Luxemburgo-Ettelberk (2006 Nivel 1), proyectos que han sido parcialmente financiados por la comisión europea.

Como resultado del trabajo se han elaborado dos documentos, las especificaciones FRS (Especificaciones de Requerimientos Funcionales o *Functional Requirements Specifications*) y las SRS (Especificaciones de Requerimientos del Sistema o *System Requirements Specifications*) de ERTMS.

## Arquitectura del sistema

La arquitectura del sistema ERTMS, es bastante novedosa y específica. El sistema está formado por dos componentes, integrados como podemos observar en la **Figura 1**:

- ETCS (Sistema Europeo de Control de Trenes o *European Train Control System*): Un ordenador a bordo compara la velocidad del tren transmitida desde la vía con la velocidad máxima permitida, y reduce la marcha si ésta es excedida.
- GSM-R (Sistema Global para Comunicaciones Móviles en trenes o *Global System for Mobile Communications-Railway*): basado en el estándar GSM, funcionando en otras frecuencias y con funciones avanzadas. Se usa para el intercambio de información entre tierra y tren.

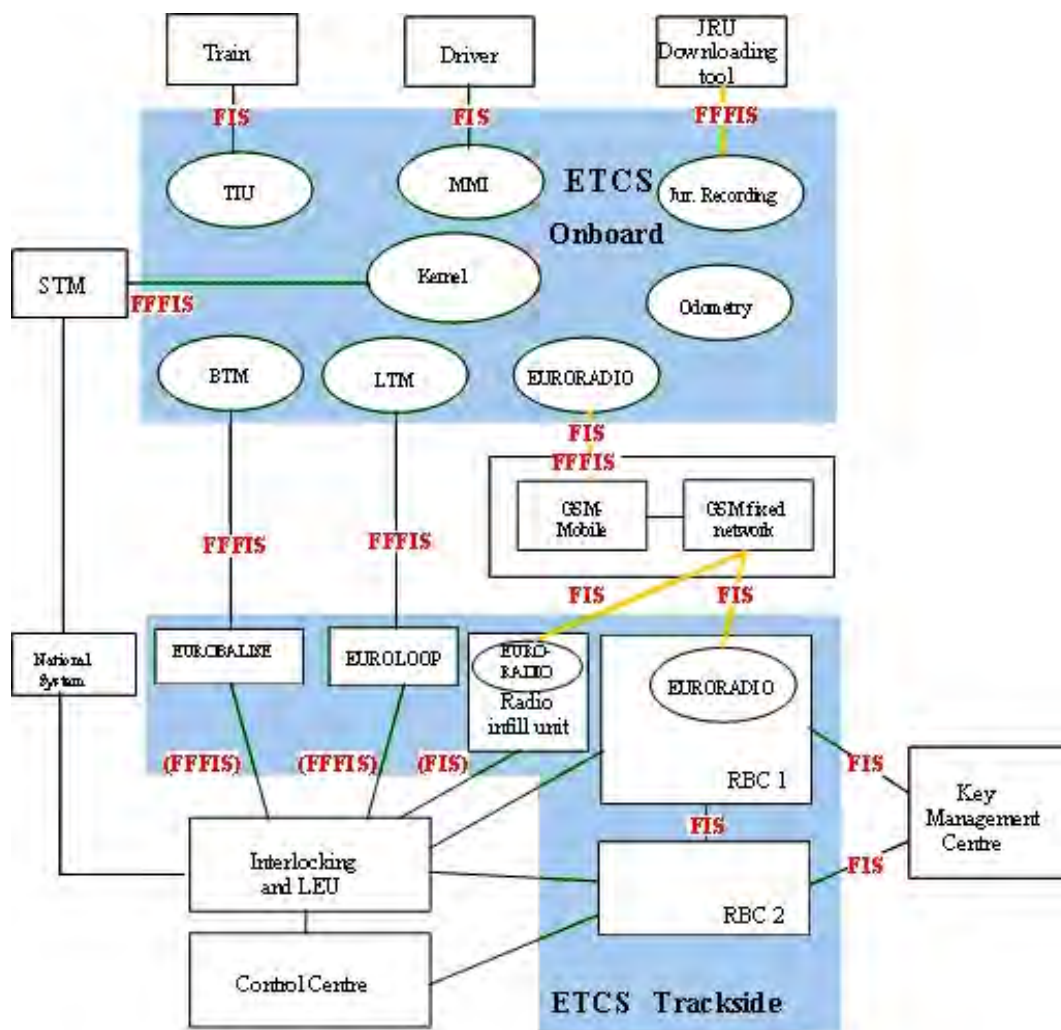


Figura 1. Arquitectura del sistema ERTMS

El equipamiento responsable de la operación del sistema se divide en dos partes, por un lado está el equipamiento de a bordo y por otro el equipamiento externo.

### **Equipamiento de a bordo**

Se compone de:

- ❑ Una antena instalada en el suelo del tren y que es responsable de la comunicación entre tren y tierra.
- ❑ Una antena instalada en el techo del tren (opcional, solo si se usa la comunicación radio) para las comunicaciones de voz y de datos entre tren y tierra.
- ❑ EURORADIO, que recibe los datos y la voz ERTMS de la antena.
- ❑ BTM (Módulo de Transmisión de Baliza o *Balise Transmission Module*), que es el dispositivo que permite leer las balizas instaladas en la vía. Su función es la de recibir los mensajes de la antena instalada en el suelo del tren y convertirlos a un formato manejable para EUROKAB.
- ❑ EUROKAB, es el núcleo del sistema. Procesa toda la información procedente de las antenas, supervisa el movimiento del tren y controla la información mostrada al conductor en el DMI (Interfaz Máquina Conductor o *Driver Machine Interface*) y la enviada al JRU (Unidad de Grabación Jurídica o *Juridical Recording Unit*), actuando también sobre los frenos caso de ser necesario. EUROKAB calcula constantemente la posición del tren a través de su propio odómetro basado en sensores de radar Doppler y sensores en las ruedas.
- ❑ DMI, que presenta todos los datos relevantes para el conductor, como la velocidad actual, la permitida, las restricciones de velocidad, distancia de frenado o mensajes de texto.

### **Equipamiento externo**

Se compone de:

- ❑ Elementos de bloqueo: dispositivos electrónicos que controlan cada estación. Se usan para establecer rutas, aspectos de señal o posición de los conmutadores.
- ❑ Circuitos de vía, que detectan la posición del tren, enviando ésta a los elementos de bloqueo.



- ❑ LEU (Unidad Electrónica de Línea o *Lineside Electronic Unit*), unidades comunicadas entre sí que convierten la información que recibe del bloqueo de la estación en telegramas ERTMS que envían a las balizas.
- ❑ EUROBALIZAS, que transmiten los telegramas con información relativa al control del tren y la operación del tráfico que reciben de las LEU al tren. Existen varios tipos de balizas:
  - EUROBALIZAS controladas o programables, conectadas a las LEU que dan información sobre variables como rutas de trenes, estado de las señales, posiciones de los conmutadores y autoridad de movimientos. Fijan las restricciones de velocidad y proporcionan las autorizaciones de movimiento.
  - EUROBALIZAS fijas, que contienen un telegrama fijo que suele ser referente a una información precisa de ubicación.
- ❑ RBC (Centro de Bloque Radio o *Radio Block Center*), que se encuentra conectado al bloqueo cuando se usan comunicaciones de datos vía radio para transmitir telegramas ERTMS al tren.
- ❑ GSM-R, que es el sistema de transmisión de voz y datos vía radio usado por ERTMS.

## Niveles de ERTMS

El nivel en que opera ERTMS depende del equipamiento instalado. ERTMS puede operar en diferentes niveles:

### Nivel 0

Un tren equipado corre sobre una línea no equipada. El sistema ETCS de protección embarcado limita sus funciones a la vigilancia de la velocidad máxima. La parte embarcada debe estar dotada de lector de Eurobalizas para detectar transiciones a otros niveles.

## Nivel de aplicación STM

El nivel STM (Modulo de Transmisión Específico o *Specific Transmission Module*) de aplicación se define para la operación de trenes equipados con ERTMS / ETCS sobre líneas equipadas con sistemas de supervisión nacionales. Las autorizaciones de movimiento son generadas en la parte de la infraestructura y son transmitidas al tren a través de los canales de comunicación propios del sistema nacional subyacente. Una vez a bordo, las informaciones recibidas son transformadas al lenguaje ERTMS / ETCS en el correspondiente módulo STM. La señalización óptica lateral puede o no ser necesaria, dependiendo de la funcionalidad brindada por el sistema nacional.

Un módulo STM puede o no utilizar los recursos brindados por el sistema ERTMS / ETCS embarcado, dependiendo de la funcionalidad y la tecnología empleada por el sistema nacional en cuestión.

El nivel de supervisión es equivalente al brindado por el sistema nacional subyacente.

Las funciones de localización del tren y de detección de su integridad son llevadas a cabo por equipo externo al sistema ERTMS / ETCS.

El nivel STM no utiliza ningún canal ERTMS / ETCS de transmisión excepto para anunciar transiciones de nivel. Las EUROBALIZAS presentes en la vía deben en consecuencia ser leídas, pero la única información admitida es la que corresponde a un anuncio de cambio de nivel.

La información mostrada al conductor en el interfaz hombre-máquina depende del sistema nacional subyacente. Los datos del tren deben ser introducidos para evitar una parada en la transición de nivel y permitir una supervisión a la máxima velocidad autorizada.

## Nivel 1

En este nivel el control del tren se realiza a partir de información que de forma puntual el tren recibe procedente de las balizas, que están agrupadas en conjuntos de al menos dos para poder determinar la dirección del movimiento. Dado que las balizas están interconectadas entre si, el conductor tiene en su DMI con antelación la velocidad permitida y todos los datos necesarios para la conducción.

Para cada señal se instalan cuatro balizas, dos de control muy cercanas a la señal y dos fijas a una distancia en torno a los 500 metros.

El proceso en este nivel es el siguiente: El tren cuando inicia su movimiento no cuenta con ningún tipo de información, estando el control del tren en manos del conductor exclusivamente. Cuando llegamos a una señal las balizas envían a EUROKAB información que han recibido de la LEU en forma de telegramas ERTMS sobre las limitaciones de velocidad y autoridad de movimiento. Por último la información recibida por el EUROKAB pasa a ser mostrada en el DMI. En este momento el tren ha pasado por la primera señal, con lo que la seguridad del tren recae ya sobre el sistema ERTMS.

Entre una señal y otra puede haber balizas de ubicación para determinar exactamente la posición del tren y controlar la velocidad. En lo referente a la velocidad habrá que tener en cuenta dos perfiles:

- ❑ Perfil estático: indica la máxima velocidad debida a las condiciones de la vía.
- ❑ Perfil dinámico: indica la máxima velocidad a la que puede transitar el tren para ser capaz de parar ante una señal en rojo.

En la **Figura 2** podemos observar el equipamiento necesario para el funcionamiento de ERTMS de *Nivel 1*:

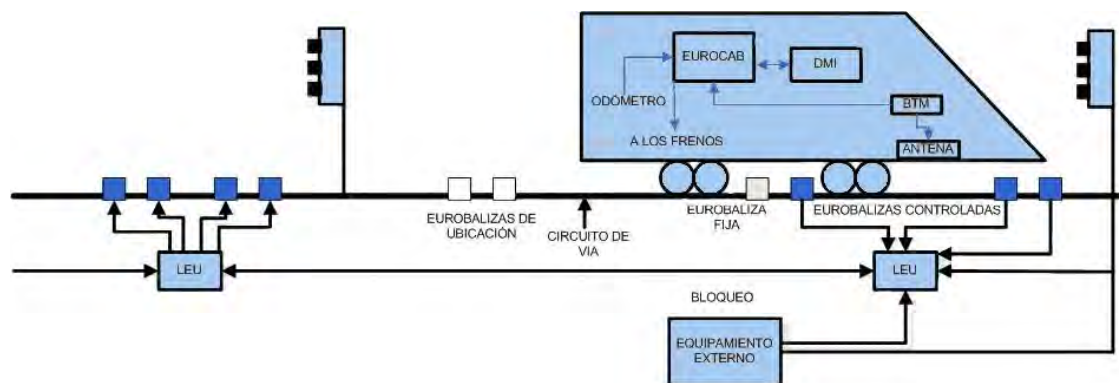


Figura 2. Equipamiento en ERTMS. Nivel 1

Una segunda versión del *Nivel 1* es la que cuenta con avance de información. En caso de utilizarse un avance de información con EUROLAZO o radio, el sistema embarcado puede facilitar información al conductor sobre los cambios en la señal principal tan pronto como estos se produzcan, incluso estando el tren parado. En este caso la velocidad de rebase frente a una señal cerrada o en rojo puede ser nula, pues el tren no necesita pasar sobre la baliza asociada para conocer la apertura de la misma. Las prestaciones de una línea equipada con EUROLAZO para avanzar la información de las señales principales dependen de las prestaciones del sistema de señalización subyacente.

## ➔ Nivel 2

En este nivel la filosofía de comunicación es distinta a la de *Nivel 1*, ya que el intercambio de datos entre tren y tierra se hace a través de interfaz radio, como se puede observar en la **Figura 3**. Aquí todos los dispositivos de la estación están conectados al RBC, que traduce la información de señalización recibida del equipamiento externo a telegramas ERTMS. Estos telegramas se envían usando GSM-R, que es la plataforma radio para comunicación de datos usada por este nivel. Los datos enviados serán recibidos por EURORADIO, que dará a EUROCB toda la información.

Debido al uso de GSM-R ya no son necesarias balizas controladas, ya que toda la información que suministraban se transmite ahora vía radio. Solo se usarán balizas fijas con dos propósitos: determinar la posición del tren e informar del perfil estático de velocidad. La integridad del tren se sigue determinando por los circuitos de vía.

La mejora principal de este nivel respecto al anterior es el hecho de que el control del tren se haga de manera continua, ya que en todo momento hay comunicación radio con el tren. Cada cambio en las condiciones de la vía será enviado al tren inmediatamente, con lo que se podrán incrementar la velocidad y la seguridad. No obstante, al controlarse la posición de los trenes mediante los circuitos de vía, las distancias entre trenes no podrán disminuirse sensiblemente.

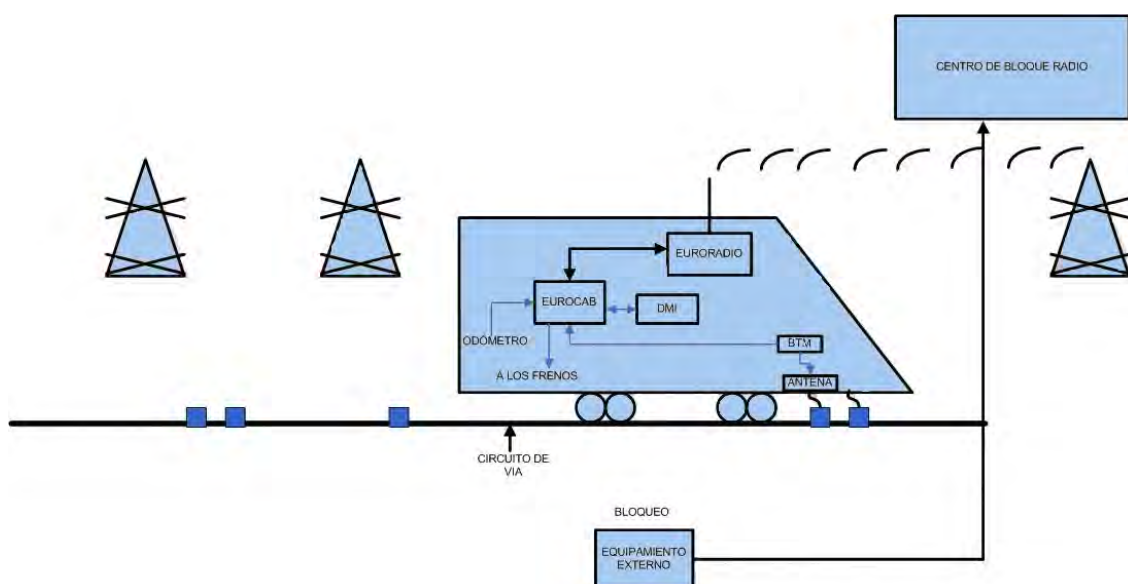


Figura 3. Equipamiento en ERTMS. Nivel 2

### Nivel 3

Este es el nivel más sofisticado del sistema. En este nivel no solo se realiza el control vía radio, sino que este medio se usa también para detectar la integridad del tren, como se muestra en la **Figura 4**. Por ello no son necesarios circuitos de vía, y las balizas se utilizarán únicamente para reposicionar o transmitir información fija al tren. El perfil dinámico de velocidad se trazará con el siguiente tren, con lo que el RBC sabe exactamente donde se encuentran en cada momento todos los trenes, y puede autorizar así movimientos hasta la cola del tren precedente.

Este nivel aún no está desarrollado debido a que no existe en la actualidad un método totalmente fiable para detectar la posición y la integridad del tren. No obstante cuando se solventen estas dificultades, este nivel ofrecerá grandes mejoras, como el hecho de que los trenes puedan transitar a grandes velocidades solo limitadas por la infraestructura. Se obtendrá también un gran incremento de la capacidad de tráfico, ya que podrán circular más cantidad de trenes a la vez, limitando exclusivamente el tiempo que necesite el sistema de frenado para detenerse antes del tren que lo preceda.

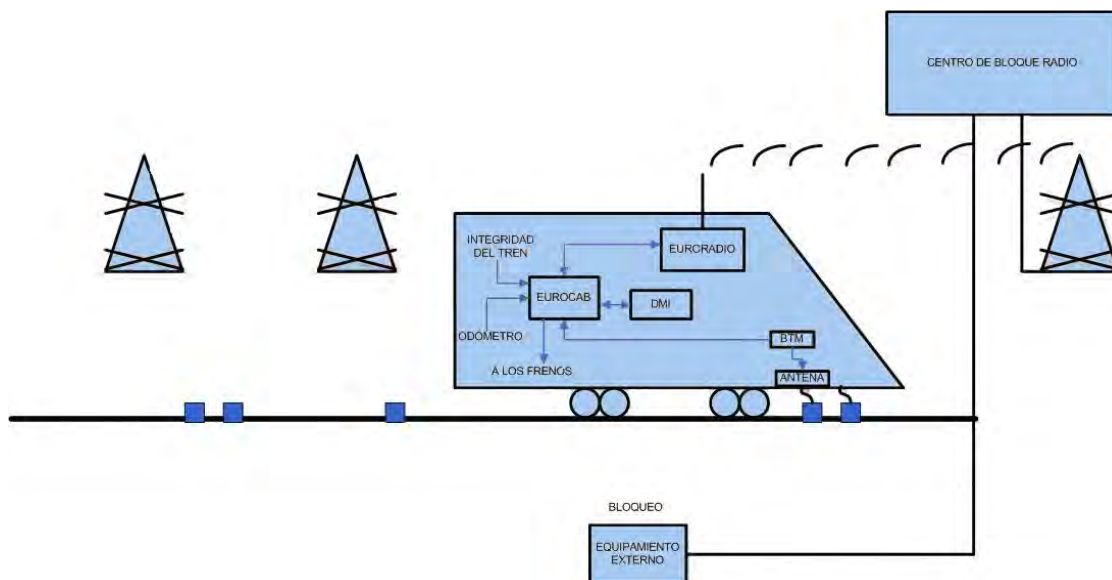


Figura 4. Equipamiento en ERTMS. Nivel 3

## **Detalles técnicos de ERTMS**

### **Comunicación tren-baliza**

Este interfaz se usa para la comunicación de prácticamente todos los datos relevantes de ERTMS en su primer nivel de aplicación. La transmisión de datos entre el tren y la vía se realiza mediante acoplamiento magnético del interfaz aire, produciendo la antena un campo magnético a una frecuencia de 27,095 MHz con una tolerancia de 5 KHz para la activación y la estimulación de las balizas. Esta misma señal se usa para el enlace descendente tren-vía. Cuando la baliza se activa genera un campo magnético, usando el enlace ascendente de vía a tren una señal modulada a la frecuencia 4,234 MHz + 200 KHz. La señal se modula en amplitud con una máxima profundidad de modulación del 12% y una tasa binaria de 568,64 Kbps.

### **Comunicación vía-radio**

Es el interfaz usado en los niveles dos y tres para la comunicación de voz y datos ERTMS. Esta comunicación se hace vía GSM-R, que es un sistema basado en GSM pero con algunas funcionalidades específicas que son necesarias en los entornos ferroviarios, como numeración funcional, llamadas de grupo o de difusión, direccionamiento dependiente de la ubicación y modo de maniobras para comunicar con el personal de mantenimiento.

La banda de frecuencias usada en el enlace ascendente tren-BTS está comprendida entre 876 a 880 MHz y la usada en el descendente de 921 a 925 MHz.

## **Resumen de mejoras provistas por ERTMS**

Las principales mejoras que ofrece el sistema ERTMS respecto a los sistemas actuales son las siguientes:

- ❑ Interoperabilidad para todos los ferrocarriles, evitando así paradas en las fronteras y posibilitando la creación de economías de escala.
- ❑ Notable incremento de la seguridad, lo que constituye un tema clave tanto para trenes de carga como para trenes de pasajeros.

- ❑ Aumento de la velocidad de los trenes y de la capacidad de tráfico que el sistema ferroviario es capaz de cursar.
- ❑ Decremento del equipamiento necesario para control de tráfico, mayor cuanto más alto es el nivel de aplicación de ERTMS.

## **Conclusiones**

Parece clara la necesidad de un nuevo sistema de control de tráfico para entornos ferroviarios. La existencia de trenes de alta velocidad y la voluntad de los gobiernos de crear corredores internacionales y potenciar el tren como alternativa real al tráfico rodado de pasajeros y mercancías confirman esta afirmación.

El sistema ERTMS combinado con los nuevos trenes y la mejora de las infraestructuras ferroviarias está llamado a acabar con las actuales carencias del transporte por tren. Con estas mejoras, un tren podrá transitar sin realizar paradas, con lo que se conseguirán grandes ahorros de tiempo y una mayor capacidad de las redes, al poder desplazarse por las mismas una mayor cantidad de trenes.

La introducción del nuevo sistema en las actuales redes ferroviarias deberá ser gradual en las líneas ya existentes, siendo estas líneas compatibles con los nuevos sistemas. Con el objeto de que exista compatibilidad entre el sistema ETCS y los sistemas de señalización nacionales se definen los denominados módulos STM, que permiten la operación con ambos sistemas, y cuyo papel será fundamental en la introducción del sistema ERTMS. En las nuevas líneas será instalado directamente con el consiguiente ahorro de costes.

Por último no se debe olvidar un aspecto vital, la seguridad. El sistema ERTMS está catalogado con un sistema de seguridad SIL 4, con lo que un fallo crítico del sistema es prácticamente imposible.

Por lo anteriormente expuesto, el sistema ERTMS ha sido creado y diseñado para cubrir todas las necesidades tanto de gestión como de seguridad del tráfico ferroviario.

### 3.3. Sistema GSM-R

Desde la implantación de las primeras redes ferroviarias, cada operador nacional de ferrocarriles ha tenido al menos un sistema de comunicaciones de radio propietario, principalmente en las bandas de frecuencia de 440 a 470 MHz, pero con multitud de tipos diferentes de modulaciones, códigos y señalizaciones. Debido al hecho de que con el tiempo se fueron agregando mayor número de líneas de ferrocarril de alta velocidad en toda Europa y de que los trenes cruzaban muchas fronteras durante sus trayectos, fue apareciendo la necesidad de poseer un único sistema europeo de radiocomunicaciones para las compañías de ferrocarriles.

En 1993, la UIC (Unión Internacional de Ferrocarriles o *Union Internationale des Chemins de Fer*) acordó desarrollar un nuevo sistema de comunicaciones para ferrocarriles. Las tecnologías candidatas para la implementación de este sistema fueron GSM (Sistema Global para Comunicaciones Móviles o *Global System for Mobile Communications*) y TETRA (Radio Terrestre Troncalizada o *TErrestrial Trunked Radio*), ambos estándares móviles digitales definidos por el ETSI (Instituto Europeo de Estandarización de las Telecomunicaciones o *European Telecommunications Standards Institute*).

Ambas tecnologías tenían ventajas e inconvenientes. GSM estaba bien establecido y había probado su viabilidad económica y técnica sobradamente, mientras TETRA se encontraba aun en fase de estandarización pero dotaba de funcionalidad PMR, esencial en entornos ferroviarios.

La decisión que se tomó no utilizaba TETRA para esta tarea, sino la tecnología GSM 900 ligeramente modificada. Treinta y dos operadores de ferrocarriles, pertenecientes a 24 países Europeos, acordaron en el proyecto EIRENE (Red Radio Mejorada para Ferrocarriles Europeos Integrados o *European Integrated Railway radio Enhanced Network*) desarrollar la tecnología de red GSM-R (-R proviene de "Railway"). GSM-R acabó de ser especificada en 1999 por la ETSI y en 2000 por EIRENE.



## Requisitos en entornos ferroviarios

Un requisito general para el nuevo estándar radio era la capacidad de integrar todas o la mayoría de las aplicaciones móviles radio necesarias en el ámbito del ferrocarril. Estas pueden dividirse en tres grupos de aplicaciones con características y requerimientos diferentes:

- ❑ **Aplicaciones vitales para el tren:** Entre ellas destacarían el sistema ATP (Protección Automática del Tren o *Automatic Train Protection*) y el sistema ATC (Control Automático del Tren o *Automatic Train Control*). Los requisitos para este tipo de aplicaciones consisten en el suministro de enlaces de datos punto a punto entre un centro de control externo y trenes en movimiento a velocidades de hasta 500 Km/h, de tal forma que la disponibilidad y la calidad del enlace fueran suficientes para evitar que los trenes realizaran paradas indeseadas.
- ❑ **Aplicaciones no vitales para el tren:** Un gran número de aplicaciones entrarían dentro de esta categoría, como comunicaciones radio en el tren, maniobras, mantenimiento, sistemas de posicionamiento, información a los pasajeros o sistemas de reservas. Estas aplicaciones requerirán enlaces punto a punto de voz y datos entre el tren y controladores externos, así como la posibilidad de llamadas a grupos y difusión de mensajes de emergencia, para lo que serán necesarios tiempos de establecimiento cortos y reasignación de canales en caso de no haber canales libres en un determinado momento. Otro requisito será un sistema de direccionamiento específico basado en los datos del servicio que se está realizando en cada momento y dependiente de la ubicación.
- ❑ **Aplicaciones para las comunicaciones entre pasajeros:** Necesitarán la extensión de la cobertura de las redes públicas de GSM a los trenes, para dar servicios de datos y voz a los usuarios.

## Proyectos EIRENE Y MORANE

El proyecto EIRENE se desarrolló con el objetivo de conseguir unas especificaciones para un estándar de radio digital basado en la tecnología GSM y que sería usado por todos los sistemas de comunicación de ferrocarriles europeos.

EIRENE define los requisitos del sistema radio que satisfacen las necesidades de comunicaciones móviles en los entornos ferroviarios, y que deben de ser cumplidos por todos los sistemas radio de ferrocarriles para facilitar la interoperabilidad de redes internacionales y permitir a los fabricantes economías de escala. Esta definición abarca comunicaciones de voz y datos tierra-tren, y comunicaciones de tierra necesarias para personal de estación, mantenimiento, administrativo y de gestión, y distingue entre las exigencias que afectan a la infraestructura de red de ferrocarriles y las que influyen en los terminales móviles que serán usados en éstas redes.

Las especificaciones constan de dos documentos. Por un lado, las especificaciones FRS (Especificaciones de Requisitos Funcionales o *Functional Requirements Specifications*), donde se definen las funcionalidades que deberían tener los componentes de una red usada para comunicaciones en ferrocarriles que pretendiese cumplir con las premisas EIRENE. Por otro lado, las SRS (Especificaciones de Requisitos del Sistema o *System Requirements Specifications*), las cuales, centrándose en la tecnología GSM, estudian las características de ésta y fijan los requisitos de funcionamiento y las funcionalidades adicionales que deben soportarse para adaptarla a las necesidades existentes en entornos ferroviarios.

Las especificaciones de las funciones EIRENE fueron completadas a finales del año 2000. Tras esto, las características de la red GSM-R sugeridas fueron probadas mediante las experiencias configuradas en el proyecto MORANE (Radio Móvil para la Red de Ferrocarriles Europeos o *MOBILE RADIO for railway Networks in Europe*), con excelentes resultados.

El proyecto MORANE tenía como objetivo principal el desarrollo del sistema GSM-R, un sistema radio integrado basado en el sistema GSM estándar de 900 MHz para la aplicación en ferrocarriles. En él se desarrollaron demostraciones de GSM que cumpliesen con todo el conjunto de requisitos EIRENE, y especificaciones y herramientas de prueba con las que crear las bases para la certificación de instalaciones de GSM-R, que en el marco del proyecto han sido validadas en un buen número de escenarios de pruebas con diversas condiciones topográficas.

Con el proyecto MORANE se ha llevado también a cabo una importante contribución a las especificaciones técnicas de interoperabilidad, desarrolladas como consecuencia de las directivas de interoperabilidad aprobadas por la Unión Europea.

## Arquitectura de red GSM-R

En la **Figura 5** se muestra la arquitectura básica de una red GSM-R. Los elementos principales que integran esta red son:

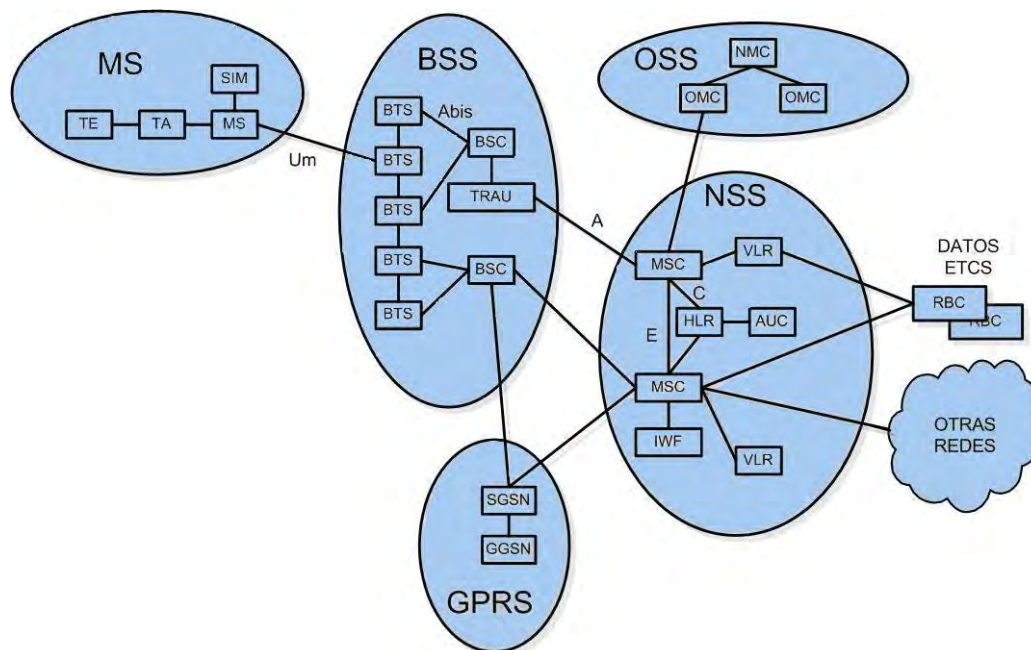


Figura 5. Arquitectura de red GSM-R

- **Estación móvil (MS):** se ocupa del acceso a la red a través del interfaz radio para transmisión de voz y datos. Está constituida por distintos elementos.
  - ⇒ **MT (Mobile Terminal):** equipo que constituye el interfaz radio con el exterior y que recibe los datos
  - ⇒ **TE (Terminal Equipment):** procesa toda la información recibida.
  - ⇒ **TA (Terminal Adapter):** usado para controlar las funciones de equipos móviles y servicios de la red GSM.
  - ⇒ **SIM (Subscriber Identity Modules):** contiene información relacionada por el abonado y utilizada por éste.

- **Subsistema Radio (BSS)**: conecta la estación móvil a la red. Sus principales componentes son:
  - ⇒ **BTS (Base Transceiver Station)**: lleva a cabo trabajo de transmisión, recepción, procesado de señal, cifrado y medidas de señal.
  - ⇒ **BSC (Base Station Controller)**: controla el interfaz radio, asegura un canal radio fiable, asigna y libera canales móviles, gestiona los trasposos y conecta con el MSC.
  - ⇒ **TRAU (TRanscoder Adapted Unit)**: equipo de transmisión que adapta velocidades de datos y codifica y decodifica voz.
- **Subsistema de Conmutación (NSS)**: este sistema esta compuesto por:
  - ⇒ **MSC (Mobile Switching Center)**: coordina el establecimiento de las comunicaciones GSM-R y actúa de interfaz con otros elementos.
  - ⇒ **VLR (Visitor Location Register)**: base de datos que cuenta con los usuarios bajo el control de un MSC en ese instante.
  - ⇒ **HLR (Home Location Register)**: base de datos con usuarios de MSC asociada, que puede integrar EIR (Equipment Identity Register) y AuC (Authentication Center).
  - ⇒ **IN (Red Inteligente)**: con equipos como SSP (Service Switching Point), SCP (Service Control Point), SMS (Service Management System), SCE (Service Creation Environment), SDP (Service Data Point) y funcionalidades específicas de sistemas ferroviarios, como el FA (Function Addressing) o el LDA (Location Depending Addressing).
  - ⇒ **Equipos opcionales**: SMS-C (Short Messages System Center), VMS (Voice mail System), SGSN (Serving GPRS Support Node) y GGSN (Gateway GPRS Support Node).
- **Subsistema de soporte y operación (OSS)**: provee de acceso a elementos de la red GSM-R para operación y gestión remoto. Se puede subdividir en tres partes:
  - ⇒ **OMC-S (Operation Management Centre–Switching)**: usado para el subsistema de conmutación, suministra acceso al MSC, procesa registros de alarma y gestiona estadísticas.
  - ⇒ **OMC-R (Operation Management Centre–Radio)**: usado para el subsistema radio, gestiona la configuración de equipos BSS, gestiona fallos, calidad de funcionamiento y seguridad
  - ⇒ **OMC-M (Operation Management Centre–Mobility)**: se ocupa de aplicaciones de movilidad en el HLR.

## Parámetros técnicos de GSM-R

El sistema GSM-R está basado en el estándar GSM 900 y utiliza diferentes frecuencias justo por debajo de la banda GSM 900 clásica. GSM-R también es un sistema TDMA con ocho ranuras de tiempo en cada portadora. Una llamada de voz normal utiliza una ranura de tiempo, transmitiéndose el audio normalmente sobre una ranura de tiempo por trama. Cada estación base proporciona un canal base con información acerca de la red y de la estación base, sobre la primera ranura de tiempos de la portadora.

Los móviles GSM-R pertenecientes a los trenes se denominan radios de cabina y poseen una interfaz especial de usuario diseñada para operadores profesionales de ferrocarriles. También poseen algunas interfaces de comunicación con la infraestructura del tren, tales como sistemas de información acerca de los pasajeros o unidades de diagnóstico.

Para los trabajadores en vía o para los responsables de las maniobras, existen terminales que son muy similares a los teléfonos móviles convencionales, pero mucho más robustos y con funcionalidades ampliadas.

En la **Tabla 8** se presenta a modo de resumen un cuadro con los parámetros técnicos más importantes utilizados en la implementación de la tecnología GSM-R:

<b>Bandas de frecuencia</b>	876.2 a 915 MHz (uplink), 921.2 a 960 MHz (downlink)
<b>Radiocanales</b>	19
<b>Celdas cobertura</b>	Compuesta (2 sectores)
<b>Espaciamiento de canal</b>	200 KHz
<b>Modulación</b>	GMSK ( <i>Gaussian Minimum Shift Keying</i> ), desplazamientos de fase $\pi/2$ (90°) en transiciones del símbolo
<b>Tasa del símbolo</b>	270.833 símbolos/s
<b>Bits por símbolo</b>	1
<b>Formato de acceso</b>	TDMA ( <i>time-division multiple access</i> ) TDD/FDD ( <i>time and frequency division duplex</i> )
<b>Número de canales por el portadora</b>	8 time slots por TDMA frame (4.615 ms) 148 bits por time slot, equivalente 577 $\mu$ s
<b>Voz</b>	Transmisión Digital con codec de voz de tasa completa (13 kbit/s) RPE-LTP (Código Excitado con Pulsos Regulares con Predicción a Largo Plazo o <i>Regular Pulse Excited Code with Long Term Prediction</i> )
<b>Control de potencia</b>	Sí, en 2-dB sobre una gama de 30 dB

Tabla 8: Parámetros técnicos GSM-R

## **Características adicionales**

GSM-R soporta comunicaciones de voz y de datos a través de circuitos conmutados de datos (hasta 14,4 kbit/s). Además de los escenarios de llamadas GSM, y debido a los elevados requisitos de seguridad de los operadores de ferrocarriles, en GSM-R se incrementaron los siguientes servicios específicos para ferrocarriles:

- ❑ Elementos avanzados en llamadas de voz (ASCI) que incluyen servicios de emergencia y de llamadas a grupos o en modo de difusión, como medida para distribuir la información sobre un número determinado de suscriptores de las redes GSM-R.
- ❑ Prioridad y apropiación multinivel mejoradas (eMLPP) de las llamadas, en función de la prioridad autorizada al abonado.
- ❑ Direccionamiento funcional, que permite que un abonado sea llamado con una "función", como por ejemplo, al conductor del tren. El iniciador de la llamada sólo tiene que conocer el número de tren, y el resto de los pasos serán realizados por la red inteligente integrada dentro de la propia red GSM-R. La red inteligente buscará entre los abonados registrados el correspondiente a la función a la que se ha llamado en ese momento.
- ❑ Direccionamiento dependiente de la posición, que ofrece al llamante un medio para localizar a un abonado en servicio. Por ejemplo, el responsable de la línea en una posición determinada, marcando siempre el mismo número (por ejemplo, un código abreviado almacenado en la cabina). Dependiendo de la célula de radio en la cual esté localizado el iniciador de la llamada, esta será enrutada a un número determinado de una línea fija.
- ❑ Matriz de acceso, que permite habilitar y también bloquear diferentes rutas de comunicación. Tan sólo el controlador de tráfico, por ejemplo, podrá conectar con el conductor del tren como abonado del teléfono móvil. La llamada a los números funcionales de los trenes estará prohibida para el resto de abonados.
- ❑ Llamadas de emergencia de ferrocarril: Comunicaciones con prioridad específica en caso de emergencia. Por ejemplo, seguimiento del tren o maniobras vía radio.
- ❑ Otras aplicaciones tales como diagnósticos vía radio y transmisión de datos para control y seguridad del tren (ETCS).

Los requisitos en cuanto a coberturas también difieren de los fijados para el sistema GSM. Estos requisitos se presentan en la **Tabla 9**:

Tipo de Comunicación	Potencia Recibida
Voz y datos no críticos	-98 dBm (95%)
Datos ETCS Nivel 2/3 (<220 Km/h)	-95 dBm (95%)
Datos ETCS Nivel 2/3 (220<v<280 Km/h)	-95 dBm<Pot< -92 dBm (95%)
Datos ETCS Nivel 2/3 (>280 Km/h)	-92 dBm
Trasposos entre Celdas	
Porcentaje éxito en traspaso	99.5%
Tiempo efectivo para Traspaso	< 300 mseg
Solape entre celdas	600 metros

Tabla 9: Requisitos de coberturas GSM-R

Otra de las principales diferencias con respecto al estándar GSM recae en los requisitos de calidad ETCS, que se presentan en la **Tabla 10**:

Parámetros de calidad de servicio	Valores
Retardo de establecimiento de conexión en llamadas originadas en el móvil	<5 seg (95%), 7.5 (100%)
Probabilidad de fallo en establecimiento de conexión	<10 <sup>-3</sup>
Tasa de error para canales TCH/F2.4 transparentes	<10 <sup>-4</sup> para 90% del tiempo
Máximo retardo	0.5 seg (95%), 1.2 seg (99%), 2.4 seg (99.99%)
Retardo medio (de trama de 30 octetos)	400 a 500 ms
Tasa de datos	> 2.4 Kbps
Probabilidad de pérdida de conexión	<10 <sup>-4</sup>
Máximo corte durante traspaso	300 ms
Tiempo de indicación de pérdida de conexión	<1 seg
Disponibilidad	99.95%

Tabla 10: Requisitos de calidad GSM-R

Es importante resaltar que los requisitos de calidad no dependerán de la carga de la red.

## Conclusiones

Las compañías de ferrocarriles buscan en la actualidad dar servicios más atractivos, innovadores y a menor coste. La privatización de todas las áreas exige una nueva gestión de los entornos ferroviarios, y la separación de servicios de carga y de pasajeros requiere una correcta gestión de la compañía en todos los segmentos.

Por ello, los ferrocarriles deben llevar a cabo una profunda reestructuración para mejorar su competitividad. Los procesos de armonización en Europa aumentan la necesidad de modernos ferrocarriles que incrementen la internacionalización de los transportes, con lo que la interoperabilidad del transporte por tren adquiere si cabe una mayor importancia. La clave de éstos ambiciosos objetivos pasa fundamentalmente por modernizar los sistemas de control y, por tanto, los sistemas de comunicaciones.

### 3.4. Sistema CBTC

El sistema CBTC (*Control del Tren Basado en Comunicaciones* o *Communications Based Train Control*) es un sistema de control automático continuo de trenes usado en transporte ferroviario metropolitano, que utiliza una localización de la ubicación del tren de alta resolución e independiente de los circuitos de vía, comunicaciones bidireccionales de datos tren-tierra de alta capacidad y procesadores a bordo del tren y en la vía con la capacidad de implementar funciones vitales.

Los sistemas de protección de trenes tradicionales presentaban ciertas limitaciones, como el hecho de que la ubicación de los trenes sólo fuera determinada por los circuitos de vía, lo que resultaba en una pobre resolución de la ubicación del tren o que los comandos de funcionamiento del tren se limitaran a indicaciones en el equipamiento junto a la vía o a una pequeña cantidad de comandos de velocidad en cabina, caso de existir señalización en cabina.

Varios estudios y experiencias de funcionamiento reales han demostrado que CBTC, comparado a estos sistemas tradicionales, ofrece como ventajas gastos iniciales y de explotación más bajos, capacidades más altas y avances más rápidos sin sacrificar para ello velocidad de funcionamiento, confiabilidad y seguridad, y aumentando la supervisión remota y el control de las operaciones de los trenes.

Seguidamente se describen las principales funciones de control automático suministradas por el sistema CBTC.



## **Funciones de control automático del tren**

### **ATP (Protección Automática del Tren o Automatic Train Protection)**

#### **Protecciones básicas**

- ❑ Ubicación del tren y determinación de la velocidad y la dirección: El sistema CBTC determinará la ubicación de la cabecera y la cola de cada tren equipado con este sistema con una precisión de 3 metros, no siendo necesario por tanto introducir de manera manual la ubicación del tren ni su longitud. Junto a esto, el sistema determinará la dirección de movimiento del tren y la velocidad de éste con una precisión de 3 Km/h.
- ❑ Separación segura entre trenes: Cada tren equipado con CBTC tendrá un límite autorizado de movimiento basado en cálculos en tiempo real de las diferentes condiciones. Este límite de movimiento vendrá determinado por la posición del tren precedente y la capacidad de frenado del tren, dependiente del modelo de tren, la velocidad y el tiempo de respuesta del equipamiento CBTC. En general, la velocidad permitida para un tren será aquella que garantice la parada antes de llegar al límite establecido de movimiento.
- ❑ Protección ante exceso de velocidad: La protección CBTC frente a un exceso de velocidad obligará al tren a respetar el límite de velocidad de la sección de vía, el límite que garantice cumplir con el límite de movimiento o cualquier tipo de restricción de velocidad temporal para el tramo de vía.
- ❑ Detección de velocidad cero: EL sistema CBTC podrá determinar cuando la velocidad del tren ha bajado de los 3 Km/h durante un periodo de 2 segundos. El principal propósito de esta función es validar que se ha forzado una parada dentro de unos límites fijados.
- ❑ Dispositivo de seguridad de control de apertura de puertas: El sistema CBTC prevendrá la apertura de puertas por parte de los pasajeros a menos que el tren se encuentre a velocidad cero, se haya aplicado el freno de servicio para apertura de puertas y que la puerta que se solicita abrir se encuentre en la zona de apertura de puertas.
- ❑ Dispositivo de seguridad de partida: El movimiento del tren está prohibido a menos que todas las puertas estén cerradas y bloqueadas.

- Frenado de emergencia: El sistema CBTC deberá aplicar los frenos de emergencia cuando sea requerido por las condiciones y deberá prevenirse la liberación de los frenos de emergencia hasta que ciertas condiciones se cumplan. EL frenado de emergencia se utiliza cuando la velocidad permitida se ha excedido y los controles humanos o automáticos no frenen el tren de forma suficiente.
- Dispositivo de seguridad de ruta: El sistema CBTC suministrará funciones de bloqueo para evitar colisiones de trenes y descarrilamientos.

### **Protecciones adicionales**

- Protección ante movimiento no autorizado en sentido contrario a la dirección de movimiento autorizada: Si el tren se mueve más de un metro en dirección opuesta a la autorizada se produce la aplicación de los frenos de emergencia.
- Protección de final de vía: Un límite de autorización de movimiento nunca se deberá extender más allá del final de vía, y este mecanismo permite frenar con total seguridad el tren antes de llegar al fin de vía.
- Protección de tren no acoplado: El sistema CBTC detectará un tren que se ha dividido por cualquier razón y aplicará el frenado de seguridad. Para operaciones que requieran el acoplamiento y desacoplamiento de trenes, CBTC soportará y protegerá esta operación, detectando automáticamente la ubicación y longitud de las partes, y controlando que la aproximación de las partes se realice a una velocidad óptima para el acoplamiento.
- Dispositivo de seguridad para movimiento en dirección contraria: CBTC ofrece la posibilidad de movimiento en dirección opuesta completamente automatizado con protección.
- Protección de zona de trabajo: El sistema CBTC permitirá a los supervisores del movimiento de trenes crear zonas de vía cerradas al tráfico, zonas de trabajo con velocidad reducida y zonas donde no se permita la operación automática del tren.
- Detección de vía deteriorada: El sistema CBTC podrá tener interfaces con sistemas auxiliares que detecten problemas en la vía, parando así todos los trenes que circulen por la sección de vía donde se encuentre el problema.

- Control de pasos a nivel: El sistema CBTC podrá tener un interfaz con cualquier dispositivo en pasos a nivel para dar tiempos de aviso constantes independientemente de la velocidad del tren, controlar la limitación de movimiento teniendo en cuenta los pasos a nivel, mantener señales activas cuando varios trenes se aproximen a cruces de múltiples vías o mejorar el control de las señales de tráfico cercanas.
- Protección de ruta restringida: CBTC habilitará funciones de protección de ruta permanentes, temporales o automáticas, con restricciones basadas en el tipo de tren o de peligros en la ruta.

### **ATO (Operación Automática del Tren o Automatic Train Operation)**

- Control de velocidad: El sistema CBTC será capaz de suministrar operación automática completa a todos los trenes, dentro de las restricciones de las funciones de protección y supervisión automática del tren y cuando sean activadas por el operador del tren o el conductor, caso de estar presentes. El sistema controlará velocidad, aceleración, deceleración y evitará cambios bruscos con el fin de asegurar la comodidad de los pasajeros.
- Posicionamiento en los andenes: CBTC soportará un cierto número de funciones de posicionamiento automático en los andenes. Los dispositivos de seguridad de apertura de puertas solo permitirán abrirse a aquellas puertas que se encuentren en los andenes. Normalmente, los trenes se pararán automáticamente centrados en la zona de apertura de puertas del andén. Si el andén es lo suficientemente largo se podrán definir distintas zonas de apertura de puertas, y si es lo bastante largo para permitir la parada simultánea de varios trenes, esa operación se realizará con operación y protección automática.
- Operación de las puertas: El sistema CBTC podrá abrir y cerrar automáticamente las puertas del tren. El tiempo de parada del tren podrá ser monitorizado por la función ATO, y modificado por la función ATS. El sistema ATO emitirá un sonido para notificar al conductor de que debe realizar el cerrado de puertas manualmente.

## **ATS (Supervisión Automática del Tren o Automatic Train Supervision)**

- **Interfaz de usuario:** La función de supervisión automática del tren es una combinación de funciones automáticas y manuales usadas para suministrar una monitorización mejorada y control de las operaciones de los trenes. Las funciones automáticas podrán modificar la operación de los trenes para mantener progresos, horarios, transferencias sincronizadas y otras funciones. El interfaz de usuario permitirá a los supervisores de operación de trenes monitorizar y controlar las operaciones de trenes usando toda la información disponible en el sistema CBTC.
- **Identificación y seguimiento del tren:** A cada tren equipado para funcionar bajo el sistema CBTC se le deberá asignar un único número de identificación que será utilizado para identificar el tren en todas las pantallas e interfaces del sistema CBTC. CBTC permitirá automáticamente seguir, mantener expediente y presentar la identificación, la ubicación de la parte delantera y trasera del tren, la ruta, el horario, el estado y otros datos relevantes.
- **Control de ruta:** Usando los datos de identificación del tren y cierta información definida por el usuario, como datos de servicio del tren, reglas de encaminamiento predefinidas o estrategias de servicio, el sistema CBTC podrá automáticamente fijar las rutas de los trenes. Con esto se realizarán funciones de control en los cruces, se podrá controlar el retroceso de los trenes al final de ruta y se dotará a los encargados de la supervisión de los trenes de la posibilidad de realizar reencaminamientos de los trenes como respuesta a fallos e interrupciones imprevistas o planificadas.
- **Regulación automática del tren:** El sistema CBTC tendrá la capacidad de monitorizar y regular los trenes para los que previamente se hayan fijado requisitos horarios y progresos, ajustando automáticamente tiempo de parada en la estación y tiempo entre estaciones. Junto a esto, CBTC contará también con gestión de cruces, monitorizando y controlando las uniones entre líneas para minimizar los retrasos globales del sistema, y con estrategias de optimización de energía.
- **Funciones de parada en la estación:** ATS incluirá funciones que permitan a un tren o un grupo de trenes ser parados en una determinada estación aunque el perfil de encaminamiento no fijara la parada, mantener a un tren en una estación inhibiendo su apertura de puertas o saltar cierta estación donde estaba previamente programada una parada.

- Operaciones de restricción a trenes: ATS contará con funciones que permitan fácilmente fijar restricciones de manera remota a ciertas operaciones de los trenes. El sistema podrá parar automáticamente un tren, fijar restricciones de velocidad, bloquear ciertos tramos de vía o asignar a una zona el estado de zona de trabajo.
- Sistemas de información al pasajero: Otra característica del sistema CBTC será la de poder implementar servicios de información al pasajero. En cada estación, para cada ruta, una pantalla informará a los pasajeros del estado de la ruta, los minutos que faltan para la llegada del siguiente tren y los retrasos esperados, y en cada tren se suministrará al usuario información en tiempo real como, por ejemplo, las paradas y las combinaciones posibles con otros trenes.
- Informe de fallos: Se presentarán automáticamente en el interfaz de usuario de ATS los distintos fallos y otras condiciones detectadas por el CBTC. Estas alarmas incluirán fallos del equipamiento de a bordo o de vía, entrada no autorizada de trenes no equipados en una zona con el sistema CBTC, violaciones del límite de movimiento autorizado, separaciones de trenes no esperadas o fallos en las comunicaciones. Además, se informará también de problemas ocurridos en los trenes, como aplicación del freno de emergencia, fallos de sistemas auxiliares, fallos de sistemas de propulsión, señales de emergencia de los pasajeros o retrasos no autorizados en las estaciones o en el cierre de puertas, y de problemas en el equipamiento de vía, como raíles deteriorados, fallos de conmutación, fallos en sistemas auxiliares, pérdidas de potencia o señales de emergencia emitidas por el equipo de estación.

## **Consideraciones sobre diseño e implementación del sistema CBTC**

### **Funcionamiento y operación**

- Ubicación del tren: La ubicación de los trenes se determinan a partir de una combinación de controles a lo largo de la vía, tacómetros en las ruedas, acelerómetros en los trenes y cálculos hechos por los controladores del tren. El sistema ATP fija que se deba conocer la posición del tren con una precisión de entre 3 y 5 metros. Este valor se envía a los controladores de vía usando un sistema de comunicaciones radio. Para la parada en la estación y en control de puertas en ATO, la ubicación del tren se deberá conocer con una precisión de entre 7 y 15 centímetros. Esta ubicación asegurará que el tren pare en el punto apropiado y que solo se abran las puertas en la zona de apertura de puertas. Hay puntos de referencia en la vía cada 100 o 300 metros, y también en los límites de las distintas secciones de vía, como entradas y

salidas de estaciones y cruces. Cada punto de referencia tiene un código único que envía al tren para que este sepa su posición exacta, transmitiendo esta posición el controlador de a bordo del tren al controlador de vía. Entre puntos de referencia la ubicación exacta del tren la determina el controlador de a bordo a partir de los tacómetros de las ruedas.

- Detección de velocidad: La detección de velocidad mediante cálculos realizados a partir de los impulsos de los tacómetros de las ruedas, con una precisión de 1.6 Km/h. Esta velocidad se transmite a los controladores de vía, y se compara con el comando de máxima velocidad recibido de ellos, forzándose una parada de penalización en caso de exceso de velocidad.
- Controlador de vía: El controlador de vía es el alma del sistema CBTC. Este controlador envía una señal a todos los trenes dentro de su área radio de influencia. Los trenes responden a esta señal en los canales apropiados a la vía en que están, suministrando su número de serie, la ubicación de la parte delantera y trasera del tren y la ruta deseada. Para cada tren en su sección, el controlador de vía calculará cada dos segundos el límite autorizado de movimiento y la máxima velocidad permitida, transmitiendo éstas a cada tren.
- Controlador a bordo del tren: El ordenador de cabina maneja la información a bordo, los cálculos para determinar la ubicación, la dirección y la velocidad, y los interfaces con los controles del tren, y se comunica con el controlador de vía y con los puntos de referencia de ubicación. El controlador del tren monitoriza el límite de movimiento y la posición actual del tren, y limita la velocidad del tren para garantizar que no se rebase el límite de movimiento. Si la velocidad requerida para una parada segura se excede, el controlador de a bordo forzará la reducción. Caso de que esto no se produzca en dos segundos se esperará una reducción de velocidad basada en el máximo esfuerzo del freno de servicio. Si el equipamiento de a bordo no detecta una reducción suficiente se producirá una parada de penalización.

En las **Figuras 6 y 7** se presenta la arquitectura del sistema CBTC tanto en la vía como a bordo de los trenes:

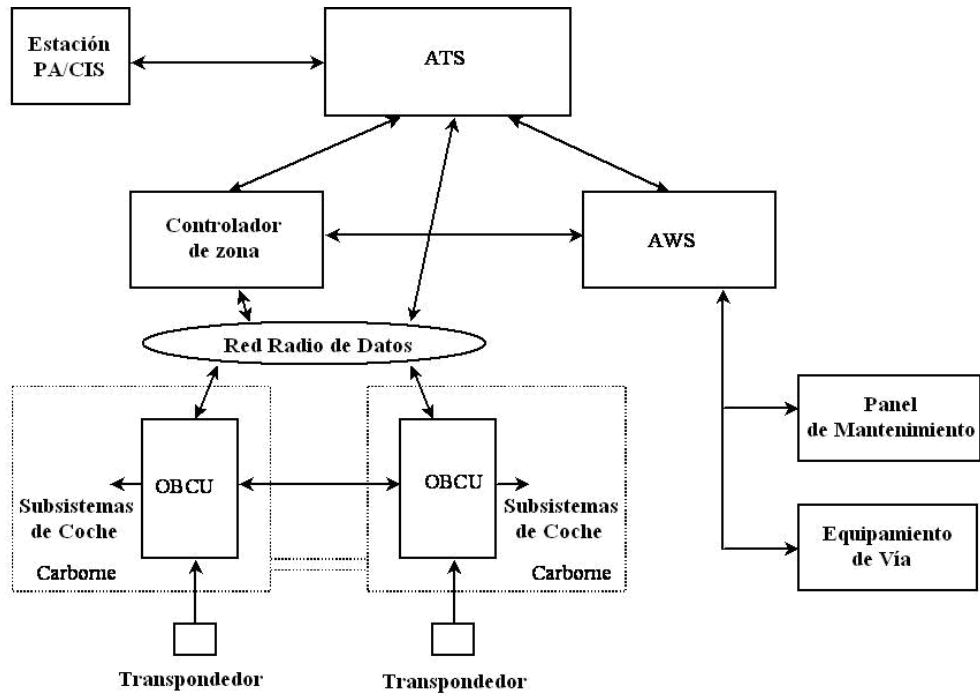


Figura 6. Arquitectura típica del sistema CBTC en la vía

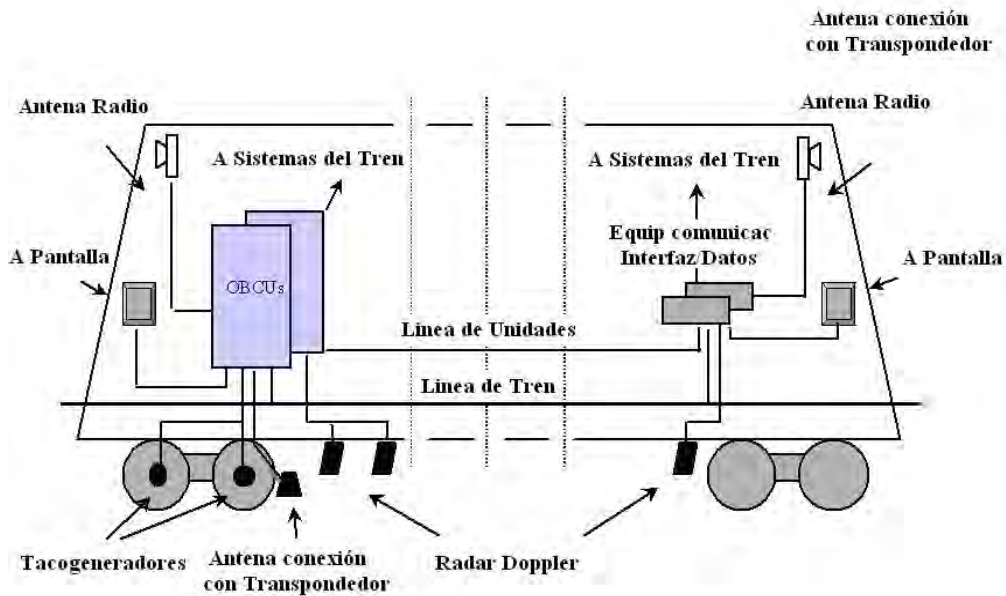


Figura 7. Arquitectura típica del sistema CBTC a bordo del tren

- Comunicaciones vía radio tren-tierra: Se usa un sistema radio de espectro ensanchado funcionando a 2.4 GHz para facilitar las comunicaciones entre los trenes y los controladores de vía. Los retardos de comunicación al actualizar los límites de autorización de movimiento y de velocidad máxima son inferiores a medio segundo en cada dirección.
- Detección de velocidad cero: Los tacómetros de las ruedas pueden alertar al controlador de a bordo de cualquier movimiento del tren simplemente mediante el envío de un pulso.
- Detección de movimiento hacia atrás: Puesto que la resolución de los tacómetros de las ruedas es de unos cuantos centímetros, detectarán e informarán de la existencia de movimiento en cualquier dirección al controlador de a bordo.

### **Sistema auxiliar de vía**

El sistema CBTC necesita un completo sistema de señales de bloqueo auxiliar, el AWS (Sistema Auxiliar de Vía o *Auxiliary Wayside System*), para dotarle de una necesaria interoperabilidad y flexibilidad.

Sus principales características son:

- Avances de diez minutos: El sistema auxiliar de vía ha sido diseñado para permitir avances de diez minutos para operaciones fuera de lo normal, en casos donde haya problemas con el sistema CBTC de vía. Esto es posible dado que las estaciones en sistemas de ferrocarril metropolitanos no distan más de diez minutos habitualmente. El sistema auxiliar de vía es un sistema a tradicional de bloques fijos, con bloques que se extienden de una estación a otra, no permitiéndose que un tren entre en un bloque hasta que no haya salido el tren anterior. Esto implica que no haya equipamientos de señalización entre estaciones, con el consiguiente ahorro de costes iniciales y de mantenimiento.
- Enclavamientos: La presencia de enclavamientos fuera de zonas con sistema CBTC tiene dos ventajas esenciales. En primer lugar, el hecho de poder usar dispositivos convencionales con interfaces con el sistema CBTC, y, en segundo lugar, ser usados como zonas de descanso para dejar trenes sin CTBC con el fin de mantener la flexibilidad operaciones.
- Estaciones: Usando el sistema auxiliar de vía, las estaciones pueden ser usadas para trenes sin sistemas CBTC, permitiendo flexibilidad operaciones durante operaciones fuera de lo normal.



- ❑ Fallos del sistema CBTC: Ante cualquier fallo del equipamiento de vía en una zona con sistema CBTC, el sistema AWS permitiría únicamente la presencia de un tren en cada zona CBTC, permitiendo avances de diez minutos.
- ❑ Trenes sin equipamiento CBTC: Solo se permitirá un tren sin equipamiento CBTC en una zona CBTC, evitando que trenes sin equipamiento CBTC entren en una zona CBTC cuando ya está ocupada.



## CAPÍTULO 4. COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA

El aumento del uso de equipamiento eléctrico y electrónico está provocando un aumento del número y la tipología de las fuentes de interferencia.

Las fuentes de EMI (Interferencia electromagnética o *Electromagnetic Interference*) pueden clasificarse en distintos grupos, según si se hace referencia a la naturaleza de las emisiones o a la procedencia de éstas respecto al sistema afectado.

En cuanto a la naturaleza de las emisiones, éstas pueden ser producidas por fuentes naturales, como rayos o efectos solares, o por fuentes obra del ser humano, como pueden ser sistemas eléctricos y electrónicos u otros sistemas usuarios del espectro electromagnético.

Por lo que respecta a la procedencia de éstas, debemos distinguir entre interferencias internas, procedentes de dispositivos y componentes internos del sistema, y que son origen de ruido térmico, ruido de "shot" y ruido "1/f", e interferencias externas, que tienen como origen a fuentes fuera del sistema en cuestión y que son las más significativas en el estudio de la compatibilidad electromagnética.

Estas emisiones interferentes procedentes de las fuentes pueden propagarse usando para ellos diversos mecanismos, que pueden darse de forma aislada o simultáneamente. Los principales modos de propagación son la propagación por conducción, por acoplamiento y por radiación. El mecanismo de conducción es el dominante por debajo de 30 MHz y se produce vía cables de potencia, conductores, cables de señal o alimentadores de antena. El de acoplamiento puede producirse dentro de un solo sistema o entre sistemas, y está asociado a situaciones de alta corriente y baja impedancia, o a situaciones de alto voltaje y alta impedancia. Para finalizar, la propagación de interferencias por radiación es el mecanismo dominante para frecuencias superiores a 30 MHz, pudiendo ser los emisores radiantes intencionados, como en casos de radares o emisores de radio, o no intencionados, que generan emisiones como consecuencia de su función primaria.

Los efectos de las interferencias electromagnéticas pueden tener especial relevancia cuando afectan a temas como la salud pública y la seguridad, así como al funcionamiento de sistemas eléctricos y electrónicos en la industria, las comunicaciones o la defensa. Por lo tanto, se deberá tener un especial cuidado en evitar que se excedan los límites de EMI, ya que ambientes de interferencia más severos que los contemplados en especificaciones y estándares pueden llevar a serios problemas en los diferentes ámbitos señalados anteriormente.

## 4.1. Introducción a la compatibilidad electromagnética en entornos ferroviarios

Se define EMC (Compatibilidad Electromagnética o *Electromagnetic Compatibility*) como la aptitud de un equipo o sistema para funcionar satisfactoriamente en un ambiente electromagnético.

Los objetivos que se pretenden conseguir al diseñar un equipo o sistema teniendo en cuenta la EMC son principalmente dos; por un lado que el sistema o equipo que se diseña no introduzca perturbaciones intolerables en el ambiente o en otros equipos y, por otro, que sea capaz de soportar las producidas por otros equipos del mismo ambiente de trabajo.

Estos objetivos ponen de manifiesto los dos aspectos fundamentales que se deben tener en cuenta a la hora de conseguir la compatibilidad electromagnética de un sistema o equipo con el entorno que le rodea: las emisiones del equipo y la inmunidad del equipo respecto al ambiente.

A través del estudio de las emisiones del equipo cuantificaremos el nivel al cual los sistemas eléctricos y electrónicos pueden funcionar sin producir interferencias que puedan generar el mal funcionamiento de otros equipos, y mediante el estudio de la inmunidad veremos el nivel de perturbación con el cual los equipos y sistemas pueden convivir manteniendo un funcionamiento correcto.

Los límites de emisión y los niveles de inmunidad son fijados mediante estándares. Para un determinado entorno, los estándares fijan un margen de compatibilidad entre el sistema y el entorno, teniendo en cuenta que, a pesar del deterioro del sistema, con los años éste se mantenga dentro de los límites y niveles fijados.

La compatibilidad electromagnética es un área que ha despertado gran interés en la industria del ferrocarril en los últimos tiempos. En épocas anteriores, la construcción de los sistemas ferroviarios perseguía únicamente satisfacer requerimientos funcionales, con lo que los temas de compatibilidad electromagnética no eran tenidos en cuenta a no ser que el ferrocarril fuera directamente afectado por un problema de esa naturaleza. Frente a esto, en la actualidad la compatibilidad es un tema de máximo interés, ya que interrupciones de servicio resultado de incompatibilidades electromagnéticas entre sistemas esenciales para la operación de los trenes, pueden provocar fallos en la fiabilidad que afecten directamente a la seguridad del propio tren.

Desde la perspectiva del transporte ferroviario existirán dos tipos de entorno, el entorno interno al ferrocarril y el externo. En cuanto al entorno interno, se buscará asegurar que el equipamiento ferroviario que genere interferencias electromagnéticas no interfiera en la operación de los equipamientos del tren más sensibles a éstas. Junto a esta premisa, también deberemos tratar de que el ferrocarril no interactúe e interfiera con sistemas eléctricos y sistemas radio, externos al tren, afectando al funcionamiento de éstos.

Los ambientes electromagnéticos en entornos ferroviarios son mucho más severos que los que podemos encontrar en la mayoría de los ámbitos comerciales y domésticos. Estos ambientes son producidos por los propios equipamientos ferroviarios, por la presencia de sistemas externos próximos al tren y por el creciente uso de sistemas radio dentro del propio ferrocarril, como pueden ser sistemas móviles como GSM y UMTS y otro tipos de sistemas inalámbricos de área local que suministran acceso a redes de voz y datos a los usuarios.

Por todo ello será necesaria la existencia de estándares que regulen y limiten las emisiones de los ferrocarriles al mundo exterior, y el estudio de los sistemas que, sin ser de naturaleza ferroviaria, son usados también en estos entornos y pueden influir en el funcionamiento de los sistemas ferroviarios.

## 4.2. Fuentes de interferencia

### **Material rodante**

En Europa existen diversos tipos de tracción para ferrocarriles que usan alguna forma de electrónica de potencia. Los trenes y las locomotoras impulsadas por diesel, aunque no están impulsadas directamente por subestaciones eléctricas remotas, contendrán circuitería para proveer de potencia eléctrica a la cabeza tractora y a varios sistemas típicos de los trenes. Esta potencia se derivará de un alternador funcionando a baja frecuencia (KHz), por lo que las emisiones del motor diesel son también a bajas frecuencias. Los rectificadores que convierten potencia alterna en continua pueden introducir armónicos de la frecuencia del alternador, aunque estos solo supondrán un problema por debajo de algunos MHz.

Más problemáticas desde el punto de vista de las emisiones son las locomotoras y los trenes eléctricos. Las unidades de tracción eléctrica reciben potencia de subestaciones remotas a través de conductores que recorren la vía.

La tracción eléctrica más común se alimenta a partir de catenarias o pantógrafos elevados de 25 KV de alterna a 50 Hz o de 15 KV a 16.6 Hz. En este caso se usa un rail como conductor de retorno de potencia, que forma una línea de transmisión con la línea de potencia de la catenaria. Para reducir las emisiones, cada 12 Km unos transformadores transfieren la corriente del rail a una segunda línea de corriente para retorno de potencia, reduciéndose el lazo que forman los conductores de las líneas de transmisión. Este rail se usa también para señalización, mediante la inyección en él de señales en frecuencias de audio de baja potencia.

También existe tracción eléctrica en continua. Esta puede trabajar generalmente en 600, 750, 1500 y 3000 V, y puede utilizar dos sistemas, el sistema de tercer rail y el de cuarto rail. El modelo de tercer rail se alimenta a través de un colector de potencia rail-corriente o de una catenaria y un pantógrafo elevados, y en ambos casos el rail de potencia o la catenaria siguen el camino de los raíles de acero utilizados para guiar mecánicamente, usando uno de estos como conductor de retorno de corriente. Junto a este sistema existe otro, el sistema de cuarto rail, donde los conductores de potencia y de retorno están físicamente separados por los raíles de guiado, los cuales no son usados para el retorno de corriente a la subestación.

En la **Tabla 11** se muestra un resumen de los sistemas de alimentación eléctrica junto con las áreas de aplicación de éstos:

Sistema	Principales Áreas de aplicación
600 Vcc	En ciudades para electrificar tranvías y trolebuses. Ampliación de líneas existentes. Más fácil ubicación y montaje
750 Vcc	En ciudades para electrificar tranvías y trolebuses. Ampliación de líneas existentes. Mas fácil ubicación y montaje
1500 Vcc	Líneas Largo Recorrido, Cercanías y Suburbanos. Ampliación de líneas existentes.
3000 Vcc	Líneas Largo Recorrido, Cercanías y Suburbanos. Se sigue construyendo para ampliación de líneas existentes
25/15 KVca	Líneas de Alta Velocidad o Velocidad Alta

*Tabla 11: Principales sistemas de alimentación eléctrica*

### **Suministro de alimentación**

Una segunda fuente de emisiones radiadas es el interfaz catenaria-pantógrafo y el contacto entre el rail de potencia y el colector de corriente. Estos interfaces se encuentran sujetos a arcos de corriente debido a la naturaleza transitoria del contacto deslizante. La fase de alto voltaje y baja corriente que se produce durante la formación del arco da como resultado la radiación de campo eléctrico, mientras que la fase de bajo voltaje y conducción de alta corriente produce la radiación de campo magnético. El resultado de todo esto es la generación de interferencias de radiofrecuencia que se pueden extender hasta la región de VHF.

### **Señalización y comunicaciones**

Además de las radiaciones no intencionadas debidas a la tracción diesel y eléctrica a las que hemos hecho referencia en los apartados anteriores, los ferrocarriles también hacen uso de transmisores para comunicaciones entre los distintos agentes de la red ferroviaria y para llevar a cabo labores de señalización. Estos transmisores radian intencionadamente, y también introducen interferencias en el entorno, por lo que se encontraran sujetos también a los estudios necesarios para asegurar la compatibilidad electromagnética.

## **4.3. Estándares de compatibilidad electromagnética en entornos ferroviarios**

Con el fin de permitir a los fabricantes cumplir con la directiva europea 2004/108/EC, relativa a la unificación de las legislaciones de los Estados miembros de la Unión Europea en materia de compatibilidad electromagnética, se han desarrollado diversos estándares que suministran una guía sobre las tareas relativas a la compatibilidad electromagnética que se deben realizar en entornos ferroviarios.

Estos estándares se pueden dividir en dos categorías. Por un lado, los estándares generados por las Administraciones nacionales e internacionales se centran en describir la compatibilidad electromagnética en aplicaciones ferroviarias, y, por otro lado, los estándares de la industria ferroviaria fijan pautas para estudiar la compatibilidad electromagnética entre los ferrocarriles y los sistemas de su entorno.

Los estándares más relevantes en el ámbito ferroviario se resumen en la **Tabla 12:**

Estándar	Descripción	Origen
50121:2000 Partes 1-5 62236:2003 Partes 1-5	Compatibilidad electromagnética en aplicaciones ferroviarias	Europeo (CENELEC) Internacional (IEC)
UNE EN 50155	Aplicaciones ferroviarias. Equipos electrónicos utilizados sobre material rodante	Europeo (CENELEC)
CISPR/C/116/CDV:1999	Interferencias procedentes de líneas de potencia, equipamiento de alto voltaje y sistemas de tracción eléctrica	Internacional
GM/RC 1500:1994	Código de prácticas relativas a la compatibilidad electromagnética entre el ferrocarril y su entorno cercano	Reino Unido
M 1027 A2:2000	Manual de buenas practicas relativas a compatibilidad electromagnética en el metro de Londres	Reino Unido
EN 55011:1998 (CISPR 11)	Equipamiento de radiofrecuencia en banda ISM. Características de las perturbaciones radio. Límites y métodos de medida	Internacional
EN 55022:1998 (CISPR 22)	Información sobre equipamiento tecnológico. Características de las perturbaciones radio. Límites y métodos de medida	Internacional
EN 50065:2001	Señalización en instalaciones eléctricas de bajo voltaje en el rango de frecuencias de 3 a 148.5 KHz. Parte 1: Requisitos generales, bandas de frecuencia y perturbaciones electromagnéticas	Europeo
EN 50199:1996	Estándar para equipamiento de soldadura de arco	Europeo
EN 55014-1:1997 (CISPR 14-1)	Requisitos para uso doméstico, herramientas eléctricas y aparatos similares	Internacional
EN 60945:1997	Navegación marítima u sistemas y equipamientos para comunicaciones radio. Requisitos generales. Métodos de testeo y resultados de pruebas necesarios.	Europeo
EN 50081-1:1992 EN 61000-6-3:2001	Estándar de emisiones genéricas para entornos residenciales, comerciales y de ligera industrialización.	Internacional y europeo
EN 50081-2:1994 EN 61000-6-4:2001	Estándar de emisiones genéricas para entornos industriales	Internacional y europeo
EN 50082-1:1992 EN 61000-6-1:2001	Estándar de inmunidad genérico para entornos residenciales, comerciales y de ligera industrialización	Internacional y europeo
EN 50082-2:1995 EN 61000-6-2:1999	Estándar de inmunidad genérico para entornos industriales	Internacional y europeo

Tabla 12: Estándares de compatibilidad electromagnética



## **Principales estándares: EN50121:2000 / IEC 62236:2003**

La directiva europea sobre compatibilidad electromagnética ha forzado a la industria del ferrocarril a tomar en consideración la compatibilidad electromagnética y a revisar los procedimientos usados, con el fin de asegurar la compatibilidad electromagnética entre los sistemas eléctricos y electrónicos.

Con este objetivo, el CENELEC publicó un conjunto de estándares referentes a la compatibilidad electromagnética en entornos ferroviarios, los estándares EN50121:2000, cuya versión internacional fue publicada en 2003 por el IEC, dando lugar a los estándares IEC62236:2003. En estos documentos se intentan fijar las bases para conseguir tanto la compatibilidad electromagnética dentro del ferrocarril como de éste con el entorno que le rodea.

El estándar IEC62236:2003 consta de cinco partes:

- ❑ **Parte 1:** Lleva a cabo una introducción general, describe los entornos ferroviarios y define la gestión de la compatibilidad electromagnéticas entre el material rodante y la infraestructura.
- ❑ **Parte 2:** Trata sobre el interfaz entre el sistema ferroviario y su entorno, fijando los límites de emisión y las técnicas de medida apropiadas.
- ❑ **Parte 3:** Se subdivide en dos partes. La primera se ocupa del tren como vehículo, definiendo límites de emisión y técnicas de medida, y la segunda se centra en el equipamiento de a bordo, tratando sobre los límites de de emisión, los niveles de inmunidad y los métodos de medida a usar. En esta segunda parte se define la ubicación de los aparatos dentro del vehículo, un criterio de inmunidad similar al de los estándares genéricos y los puertos de los aparatos para los principales tipos de circuitos de potencia de tracción.
- ❑ **Parte 4:** Cubre los aparatos de señalización y telecomunicaciones, especificando los límites de emisión, niveles de inmunidad y métodos de medida.
- ❑ **Parte 5:** Se ocupa de los aparatos para el suministro de potencia y de las instalaciones.

A pesar de ser los estándares más completos en lo que hace referencia a la compatibilidad electromagnética en entornos ferroviarios, éstos cuentan con dos limitaciones principales que impiden que mediante su cumplimiento se pueda certificar la compatibilidad.

Por un lado, aunque los estándares cubren un rango de frecuencia que va desde continua hasta 400 GHz, en la práctica este límite se reduce a 1 GHz, con lo que sistemas que se usan en entornos ferroviarios o que se espera sean usados próximamente, como sistemas móviles, redes inalámbricas de área local o sistemas por satélite, quedan fuera del análisis realizado. Junto a esto, la otra gran limitación con la que se encuentran es que, a pesar de haber sido realizados por el CENELEC, la Comisión Europea no ha decidido publicarlos en el OJEC (Diario Oficial de las Comunidades Europeas ú *Oficial Journal of the European Communities*), con lo que la conformidad de equipos y sistemas con la directiva europea sobre compatibilidad electromagnética no puede demostrarse mediante el cumplimiento de éstos estándares, sino que debe hacerse mediante el TCF (Archivo de Construcción Técnica o *Technical Construction File*), preparado entre el fabricante y el cuerpo competente en compatibilidad electromagnética.

#### 4.4. Interferencias producidas por ferrocarriles en servicios radio

Los entornos ferroviarios son una gran fuente de interferencia, como hemos constatado en los apartados anteriores. Estas interferencias afectan a diferentes servicios radio que, pese a no ser de naturaleza ferroviaria, son usados en entornos ferroviarios o en las proximidades de éstos.

Para el estudio de la influencia del ferrocarril en distintos servicios radio, se asumirán los niveles de interferencia del ferrocarril al exterior que el estándar EN50121:2000 – IEC 62236:2003 fija en su segunda parte como niveles representativos de emisión, que aparecen reflejados en la **Figura 8**.

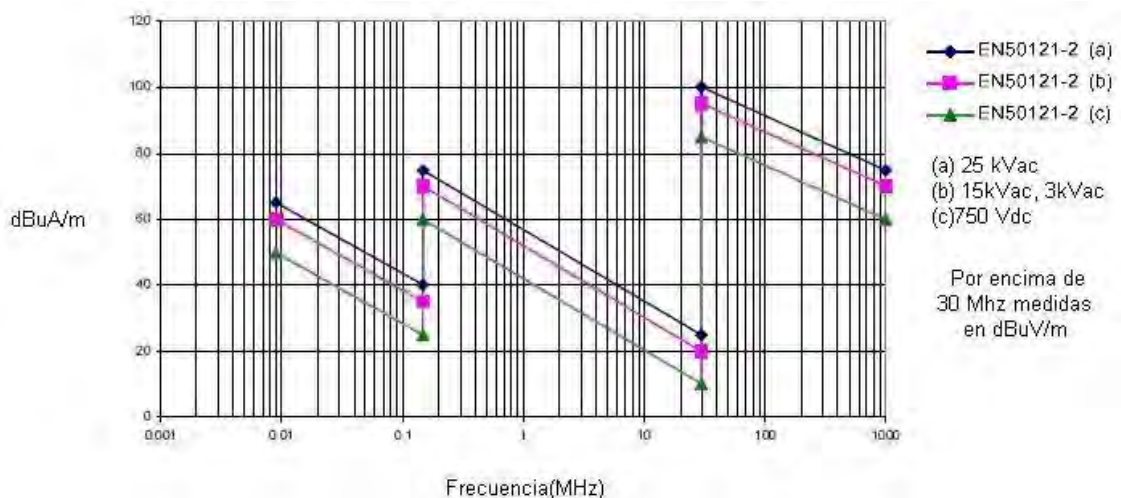


Figura 8. EN50121:2000 Niveles de interferencia del ferrocarril

Estos niveles emitidos en las zonas de influencia de los ferrocarriles influirán en los principales servicios radio. La **Tabla 13** muestra un resumen de éstos, donde se hace referencia a las bandas de frecuencia en que funcionan, algunas características relativas a niveles de señal, su uso en las proximidades de entornos ferroviarios y el nivel de interferencia producido por éstos.

Rango de Frecuencia	Servicios usados definidos por la ITU	Ejemplo de usuarios	Mínimo nivel de señal / Ratio de Protección / Ancho de Banda de ruido	Uso cercano a entornos ferroviarios	Interferencias producidas en el servicio por entornos ferroviarios
9 KHz-70 KHz	Fijo Móvil marítimo				
70 KHz-149 KHz	Radionavegación Fijo Móvil				
149 KHz-284 KHz	Difusión AM LW	Estaciones de difusión de LW comercial	$77dB(\mu Vm^{-1})/30dB/9KHz$	Media	Media
284 KHz-500 KHz	Radionavegación Aeronáutica Radionavegación marítima Móvil marítima	Balizas no direccionales de aeropuerto GPS diferencial	$37dB(\mu Vm^{-1})/15dB/2,5KHz$ $34dB(\mu Vm^{-1})/15dB/_$	Baja	Baja
500 KHz-1.6 MHz	Difusión AM MW	Estaciones de difusión de MW comercial	$77dB(\mu Vm^{-1})/30dB/9KHz$	Media	Media
1.6 MHz - 2.85 MHz	Fijo Móvil marítimo Radiolocalización				
2.85 MHz-4.85 MHz	Fijo Móvil marítimo Móvil aeronáutico Difusión SW Móvil y Móvil Terrestre	Estaciones de difusión de LW internacional	$37.5dB(\mu Vm^{-1})/34dB/10KHz$	Media	Media



Rango de Frecuencia	Servicios usados definidos por la ITU	Ejemplo de usuarios	Mínimo nivel de señal / Ratio de Protección / Ancho de Banda de ruido	Uso cercano a entornos ferroviarios	Interferencias producidas en el servicio por entornos ferroviarios
4.85 MHz- 10 MHz	Fijo Difusión SW Móvil marítimo Móvil aeronáutico	Estaciones de difusión de SW internacional	$37.5dB(\mu Vm^{-1})/34dB/10KHz$	Media	Media
10 MHz- 25 MHz	Fijo Difusión SW Móvil marítimo Móvil aeronáutico Aficionados / Aficionados por satélite	Estaciones de difusión de SW internacional	$37.5dB(\mu Vm^{-1})/34dB/10KHz$	Media	Media
25 MHz- 88 MHz	Fijo Móvil y Móvil terrestre Aficionados	Radio móvil privada Radio en banda ciudadana Teléfonos inalámbricos	- / $12dB/12.5KHz$	Media	Baja
88 MHz- 108 MHz	Difusión FM	Estaciones de difusión comercial FM	$60dB(\mu Vm^{-1})/45dB/100KHz$	Media	Media/Baja
108 MHz- 150 MHz	Radionavegación aeronáutica Móvil aeronáutica Móvil terrestre	Control aéreo Banda para aficionados Radio móvil privada	- / $12dB/12.5KHz$	Baja Media	Baja Baja
150 MHz- 217 MHz	Móvil terrestre Móvil marítimo	Radio móvil privada	- / $12dB/12.5KHz$	Media Media	Baja Baja
217 MHz-230 MHz	Difusión de audio digital (DAB)	Estaciones de difusión de DAB comercial	$35dB(\mu Vm^{-1})/6.5dB/1.5MHz$	Media	Media

Rango de Frecuencia	Servicios usados definidos por la ITU	Ejemplo de usuarios	Mínimo nivel de señal / Ratio de Protección / Ancho de Banda de ruido	Uso cercano a entornos ferroviarios	Interferencias producidas en el servicio por entornos ferroviarios
230 MHz-470 MHz	Fijo /Móvil	Radio móvil privada	- /12dB/12.5KHz	Media	Baja
	Radiolocalización	Alarmas remotas de coche	19dB	Media	Baja
		Servicios de emergencia			
		TETRA			
470 MHz-590 MHz	Difusión (TV)	Televisión Digital terrestre (TDT)	56dB( $\mu Vm^{-1}$ ) / 4dB / 8MHz		
590 MHz-598 MHz	Radionavegación aeronáutica			Medio	Bajo
598 MHz-854 MHz	Difusión (TV)	Televisión Digital terrestre (TDT)	60dB( $\mu Vm^{-1}$ ) / 4dB / 8MHz	Medio	Bajo
854 MHz-960 MHz	Fijo	Telefonía móvil digital (GSM, GSM-R)	38dB( $\mu Vm^{-1}$ ) / 9dB / 200KHz	Alto	Bajo
	Móvil	TETRA			
960 MHz-1.35 GHz	Radionavegación aeronáutica	Equipamiento para medición de distancias	63dB( $\mu Vm^{-1}$ )	Bajo	Bajo
	Radiolocalización	GPS militar		Bajo	Bajo
1.35 GHz-1.452 GHz	Fijo Móvil				
1.452 GHz-1.492 GHz	Fijo	Radio DAB comercial		Medio	Bajo
	Móvil				
	Difusión de audio digital (DAB) Difusión por satélite				
1.492 GHz-1.53 GHz	Fijo Móvil				
1.53 GHz-	Móvil por satélite	GPS civil	33dB( $\mu Vm^{-1}$ )	Medio	Bajo



Rango de Frecuencia	Servicios usados definidos por la ITU	Ejemplo de usuarios	Mínimo nivel de señal / Ratio de Protección/ Ancho de Banda de ruido	Uso cercano a entornos ferroviarios	Interferencias producidas en el servicio por entornos ferroviarios
1.66 GHz	Satélite Radionavegación Radionavegación aeronáutica				
1.66 GHz-1.71 GHz	Fijo Satélite meteorológico				
1.71 GHz-2.7 GHz	Fijo/Móvil Difusión por satélite	Teléfonos móviles digitales (GSM) UMTS	$38dB(\mu Vm^{-1})/9dB/200KHz$ $43dB(\mu Vm^{-1})/5dB/3.84MHz$	Alto	Bajo
2.7 GHz-8.4 GHz	Fijo/Móvil Radionavegación aeronáutica Radiolocalización Satélite móvil y fijo Satélite meteorológico	Sistemas de aterrizaje por microondas	$47.5dB(\mu Vm^{-1})$	Bajo	Bajo
8.4 GHz- 10 GHz	Navegación aeronáutica Navegación marítima Radiolocalización				
10 GHz-12.5 GHz	Fijo Móvil Radiolocalización Investigación espacial Difusión por satélite				

Rango de Frecuencia	Servicios usados definidos por la ITU	Ejemplo de usuarios	Mínimo nivel de señal / Ratio de Protección/ Ancho de Banda de ruido	Uso cercano a entornos ferroviarios	Interferencias producidas en el servicio por entornos ferroviarios
12.5 GHz-15.4 GHz	Radionavegación Móvil Investigación espacial Fijo por satélite				
15.4 GHz-23 GHz	Fijo Fijo por satélite Móvil por satélite				
23 GHz-42.5 GHz	Fijo Móvil Radiolocalización Radionavegación por satélite Satélite móvil y fijo Difusión por satélite				

Tabla 13: Principales servicios radio

De todos los servicios anteriores, los de mayor riesgo por su proximidad a las líneas de ferrocarril, y por su alta sensibilidad a la interferencia se presentan en la **Tabla 14**.

Frecuencia	Servicio radio
148.5 – 283.5 KHz	Difusión AM LW
500 KHz – 1.6 MHz	Difusión AM MW
2.85 – 4.85 MHz	Fijo Móvil marítimo Móvil aeronáutico Difusión SW
4.85 – 10 MHz	Fijo Difusión SW
10 - 25 MHz	Fijo Difusión SW fijo
88-108 MHz	Difusión FM
217 – 230 MHz	Difusión de audio digital

Tabla 14: Servicios radio con alta probabilidad de interferencia por servicios ferroviarios

Junto a estas consideraciones, también sería de utilidad tener en cuenta los efectos producidos por distintos sistemas de radiocomunicaciones empleados en los ferrocarriles, como GSM-R o TETRA, ya que estos pueden ser interferidos y producir interferencias con comunicaciones de ámbito ferroviario o con la propia infraestructura ferroviaria.



## **CAPÍTULO 5. RESUMEN**

En el presente informe se ha presentado una panorámica de la utilización de los distintos sistemas de radiocomunicación involucrados en el funcionamiento de los entornos ferroviarios de transporte, quedando patente tanto la diversidad de servicios para los que se utilizan como la complejidad que se deriva de la compatibilidad funcional de los mismos.

Ha quedado de manifiesto a lo largo del informe el papel que las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones juegan en estos entornos, al haberse convertido en una tecnología horizontal de alto valor estratégico.

En el informe, se ha realizado una clasificación de los servicios en servicios propios, usados para la explotación y operación del propio servicio de transporte, y servicios de telecomunicación, a disposición del público. En el primer grupo se han identificado, a su vez, los servicios críticos de la explotación, donde pondera el concepto de seguridad y fiabilidad en la circulación sobre cualquier otra consideración, y los servicios complementarios de ayuda a la explotación, que ayudan en el funcionamiento y explotación del tráfico ferroviario, pero que no juegan un papel crítico en lo referente al control del tráfico y a la seguridad e integridad de trenes y usuarios de los mismos.

Por otra parte, tras un análisis pormenorizado, se ha realizado una clasificación de estos servicios, en función de las bandas de frecuencias donde operan, el carácter privativo o de uso común de las mismas y las tecnologías involucradas.

Se ha realizado una descripción de los distintos sistemas de señalización y control utilizados hasta el momento en la Unión Europea, básicos para la seguridad en los entornos ferroviarios. Se pone de manifiesto la gran cantidad de sistemas propietarios existentes y las dificultades que entraña la estandarización de los mismos. Esta tarea ha sido acometida por ERTMS, que plantea la estandarización de la señalización ferroviaria y su implantación a nivel europeo, usando ETCS, y, en sus niveles más sofisticados el sistema GSM-R, del cual se presentan sus principales parámetros técnicos. En el ámbito de los entornos ferroviarios suburbanos se ha presentado el sistema CBTC y se han analizado sus principales funcionalidades y características técnicas.

Para finalizar se ha dedicado el último capítulo al análisis de la problemática de la compatibilidad electromagnética en los entornos ferroviarios, enumerando principales fuentes de interferencia, estándares e interferencias producidas en servicios radio.



## **CAPÍTULO 6. ACTUACIONES Y PROPUESTAS**

En primer lugar, se expone brevemente lo que se ha considerado como aspectos clave de los servicios de telecomunicación en entornos ferroviarios, así como las problemáticas actuales de algunos de dichos aspectos claves, para, seguidamente, proponer algunas actuaciones en línea con dicho análisis.

- ❑ Servicios críticos. Los servicios críticos de operación y explotación de los sistemas ferroviarios de transporte deben disponer de infraestructuras de comunicaciones acordes con dicha criticidad, esto es, redes de muy alta disponibilidad y fiabilidad. Por tanto, los sistemas basados en radiocomunicaciones deben ser acordes con dicho criterio en toda su naturaleza: bandas protegidas y sistemas robustos en diseño e implementación.
- ❑ Resulta evidente la falta de bandas protegidas específicas para este tipo de servicios críticos, que es coherente con la tradicional falta de estándares y sistemas interoperables entre sí.
- ❑ Resulta conveniente la separación de servicios propios (y más aún si éstos son críticos) de los servicios de telecomunicación disponibles por el público, asociados a operadores de telecomunicaciones, independientemente de la posible existencia de servicios de valor añadido proporcionados por los propios operadores ferroviarios.

Ante la problemática expuesta, para que el despliegue de los nuevos sistemas de comunicaciones y la convivencia con los sistemas ya implantados sea exitosa y contribuya a un mejor funcionamiento de estos entornos deberían adoptarse las siguientes actuaciones:

- ❑ Los servicios críticos para la seguridad y fiabilidad de la circulación deben suministrarse en bandas de uso privativo.
- ❑ Sería recomendable la definición de proyectos técnicos unificados para los despliegues realizados por parte de los operadores de comunicaciones que deseen ofrecer servicios de GSM y UMTS.
- ❑ Se debe tender a una uniformización de normativa y especificaciones técnicas, y a una compartición de infraestructuras que evite la proliferación de éstas en los entornos ferroviarios.
- ❑ Resulta necesario un aumento del ancho de banda asignado al sistema GSM-R, puesto que el ancho de banda asignado actualmente se muestra insuficiente, sobre todo para la utilización de ERTMS en entornos urbanos.

- Es básica una asignación y estandarización a nivel europeo de frecuencias para sistemas de conducción automática, especialmente cuando algunos fabricantes optan por bandas de uso común como punto de partida de dicha estandarización en lugar de estandarizar el sistema en sí mismo independientemente del servicio portador. Sería incluso conveniente la utilización de banda ancha reservada en exclusiva para la explotación ferroviaria, aspecto que es compatible con la naturaleza del servicio, por tratarse de coberturas geográficas muy específicas que podrían posibilitar el múltiple uso de dichas bandas en otros entornos no solapados geográficamente pero con necesidad de igual protección.
- Resulta imprescindible una sensibilización por parte de la Administración sobre la necesidad de aumentar el número de frecuencias y el ancho de banda asignado específicamente para la gestión del tráfico ferroviario, tanto de larga distancia como de cercanías o metropolitano, aspecto que provocaría la propia estandarización de los sistemas empezando por el servicio portador.
- Sería deseable la existencia de la figura de un Órgano Gestor que permita la coordinación de las frecuencias utilizadas en los sistemas de radiocomunicaciones usados por los distintos operadores ferroviarios y por el administrador de infraestructuras ferroviarias, cuando no coinciden dichos agentes en los modelos de explotación ferroviaria actuales.
- Sería recomendable un despliegue de los sistemas de comunicaciones móviles en estos entornos que posibilitase una mejor prestación de servicios tanto a los usuarios del transporte como a los operadores ferroviarios.

La puesta en marcha, en mayor o menor medida, de las actuaciones propuestas puede contribuir a un mejor funcionamiento de éstos entornos, provocando un avance significativo en el ámbito de la seguridad en circulación con todas las ventajas que esto conlleva: la propia seguridad, el incremento de frecuencia de trenes y un mejor control de la circulación en entornos "densos", lo que significa, en definitiva, una mejor calidad del servicio de transporte. La consideración de parte de las infraestructuras de comunicaciones de los operadores ferroviarios como redes de alta disponibilidad y fiabilidad, tanto o más que redes críticas de los operadores de telecomunicación convencionales, debe servir de reflexión a todos los agentes, tanto a nivel profesional como institucional.

## BIBLIOGRAFÍA

- "Ley 39/2003, de 17 de Noviembre, del Sector Ferroviario", Boletín Oficial del Estado, No.276, pp 40632-40562, Noviembre 2003.
- "Notas de Utilización Nacional", Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF), Junio 2005.
- Comisión de las Comunidades Europeas, "Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo y al Consejo relaciones sobre el despliegue del sistema europeo de señalización ferroviaria ERTMS/ETCS",[SEC(2005)903], DCOM 2005/298, Julio 2005.
- Comisión de las Comunidades Europeas, "Decisión de la Comisión Europea sobre la Especificación Técnica de Interoperabilidad relativa al Subsistema «Control y Mando y Señalización del Sistema Ferroviario Transeuropeo de Alta Velocidad", Diario Oficial de las Comunidades Europeas, No.L 245 pp. 0037 - 0142, Mayo 2002.
- J.Santiago, C.Briso and J.I.Alonso, "European Rail Traffic Management System (ERTMS)", Documento Interno, Diciembre 2002.
- R.Bowker and R Muttram, "ERTMS Towards a Better, Safer Rail System, Rail Safety and Standards Board", April 2002.
- UIC ERTMS Conference, "Implementing the European Train Control System ETCS: Opportunities for European Rail Corridors", Diciembre 2003.
- W. Hillenbrand, "The Railways Integrated Mobile Communication System", Technical report, Siemens, May 1999.
- H. Hofestadt, "GSM-R: Global System for Mobile Radio Communications for Railways", International Conference Electric Railways in a United Europe, Amsterdam, The Netherlands, pp. 111-115, March 1995.
- C.Briso, C.Cortés, F.Arqués and J.I.Alonso, "Requirements of the GSM Technology for the Control of High Speed Trains", PIMRC 2002, pp. 792-793, Septiembre 2002.
- P.Centolanzi, "Communication Based Trail Control: An Overview", Master of Science Transportation Management, Brooklyn Polytechnic University, April 2001.

- L.McCormack, D.Welsh and F.Silva, "Electromagnetic Compatibility (EMC) in Railways", York EMC Services Ltd, July 2004.
- T.Konefal, J.Pearce, A.Marshman and M.McCormack, "Potential Electromagnetic Interference to Radio Services from Railways", York EMC Services Ltd, March 2002.
- J.Rowell, D.Bozec and W.Welsh, "Improved Methods for the Measurements of Radiofrequency Emissions from Railways", York EMC Services Ltd, July 2004.
- Chris Grimes , "EMC Compliance for Today's Railways", CEG Consulting Ltd, EMCUK Seminar, October 2004.

## ACRÓNIMOS

<b>ADIF</b>	Administrador de Infraestructuras Ferroviarias
<b>AM</b>	Amplitude Modulation
<b>ANAF</b>	Acuerdo Nacional de Frecuencias
<b>ASCI</b>	Advanced Speech Call Item
<b>ASFA</b>	Anuncio de Señales y Frenado Automático
<b>ASK</b>	Amplitude Shift Keying
<b>ATB</b>	Automatische Trein Beïnvloeding
<b>ATBEG</b>	Dutch ATB eerste generatie – first generation
<b>ATBNG</b>	ATB New Generation
<b>ATC</b>	Automatic Train Control
<b>ATO</b>	Automatic Train Operation
<b>ATP</b>	Automatic Train Protection
<b>ATS</b>	Automatic Train Supervision
<b>AUC</b>	AUthentication Center
<b>AWS</b>	Automatic Warning System/ Auxiliary Wayside System
<b>BACC</b>	Blocco Automatico Correnti Codificate
<b>BSC</b>	Base Station Controller
<b>BSS</b>	Base Station System
<b>BTM</b>	Balise Transmission Module
<b>BTS</b>	Base Transceiver Station

<b>CBTC</b>	Communication Based Train Control
<b>CD</b>	Ceske Drahy
<b>CENELEC</b>	Comité Européen de Normalisation Electrotechnique
<b>CEPT</b>	European Conference of Postal and Telecommunications
<b>CFL</b>	Chemins de Fer Luxembourgeois
<b>CISPR</b>	International Special Committee on Radio Interference
<b>CMR/CAMR</b>	Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones
<b>CNAF</b>	Cuadro nacional de Atribución de Frecuencias
<b>CTCSS</b>	Continuous Tone Controlled Squelch System
<b>DAB</b>	Digital Audio Broadcasting
<b>DCS</b>	Digital Cellular System
<b>DEC</b>	Decision
<b>DMI</b>	Driver Machine Interface
<b>ECC</b>	Electronic Communications Committee
<b>E-GSM</b>	Enhanced - Global System for Mobile Communications
<b>EIR</b>	Equipment Identity Register
<b>EIRENE</b>	European Integrated Railway radio Enhanced NETWORK
<b>EMC</b>	ElectroMagnetic Compatibility
<b>EMI</b>	ElectroMagnetic Interference
<b>eMLPP</b>	Enhanced Multi-Level Precedence &. Pre-emption service
<b>ERC</b>	European Radiocommunications Committee
<b>ERRI</b>	European Railway Research Institute
<b>ERTMS</b>	European Rail Traffic Management System



<b>ETACS</b>	Extended Total Access Communications System
<b>ETCS</b>	European Train Control System
<b>ETSI</b>	European Telecommunications Standards Institute
<b>FA</b>	Function Addressing
<b>FDD</b>	Frequency Division Duplexing
<b>FEVE</b>	Ferrocarriles Españoles de Vía Estrecha
<b>FFSK</b>	Fast Frequency Shift Keying
<b>FRS</b>	Functional Requirements Specifications
<b>FSK</b>	Frequency Shift Keying
<b>GGSN</b>	Gateway GPRS Support Node
<b>GIF</b>	Gestor de Infraestructuras Ferroviarias
<b>GMSK</b>	Gaussian Maximum Shift Keying
<b>GNSS</b>	Global Navigation Satellite Systems
<b>GPS</b>	Global Positioning System
<b>GSM</b>	Global System for Mobile Communications
<b>GSM-R</b>	Global System for Mobile Communications - Railway
<b>HLR</b>	Home Location Register
<b>ICM</b>	Industrial, Científica y Médica
<b>IEC</b>	International Electrotechnical Commission
<b>IMT</b>	International Mobile Telecommunications
<b>IN</b>	Intelligent Network

<b>INDUSI</b>	Induktive Zugsicherung
<b>ITU</b>	International Telecommunications Union
<b>JRU</b>	Juridical Recording Unit
<b>KVB</b>	Controle de Vitesse par Balise
<b>LDA</b>	Location Dependent Addressing
<b>LEU</b>	Lineside Electronic Unit
<b>LGV</b>	Ligne à Grande Vitesse
<b>LS</b>	Limited Supervision
<b>LW</b>	Long Wave
<b>LZB</b>	Linienzugbeeinflussung
<b>MAV</b>	Magyar Allamvasutak
<b>MORANE</b>	MOBILE RAdio for railway Networks in Europe
<b>MS</b>	Mobile Station
<b>MSC</b>	Mobile Switching Center
<b>MT</b>	Mobile Terminal
<b>MW</b>	Medium Wave
<b>NAFA</b>	Nuevos Accesos Ferroviarios a Andalucía
<b>NMBS</b>	Nationale Maatschappij der Belgische Spoorwegen
<b>NSS</b>	Network and Switching Subsystem

<b>OJEC</b>	Oficial Journal of European Communities
<b>OMC-M</b>	Operation Management Center – Mobility
<b>OMC-R</b>	Operation Management Center - Radio
<b>OMC-S</b>	Operation Management Center - Switching
<b>OSS</b>	Operational Support Systems
<b>PIRE</b>	Potencia Isotrópica Radiada Equivalente
<b>PLL</b>	Power Local Loop
<b>PMR</b>	Private Mobile Radio
<b>PRA</b>	Potencia Radiada Aparente
<b>PZB</b>	Punktförmige Zugbeeinflussung
<b>RBC</b>	Radio Block Center
<b>REC</b>	Railway Emergency Calls
<b>RENFE</b>	Red Nacional de Ferrocarriles Españoles
<b>RFF</b>	Réseau Ferré de France
<b>RPE-LTP</b>	Regular Pulse Excited Code with Long Term Prediction
<b>RSDD</b>	Ripetizione Segnali Discontinua Digitale
<b>SCE</b>	Service Creation Environment
<b>SCP</b>	Service Control Point
<b>SDP</b>	Service Data Point
<b>SFS</b>	Servicio Fijo por Satélite
<b>SGSN</b>	Serving GPRS Support Node
<b>SIM</b>	Subscriber Identity Modules

<b>SMC</b>	Service Management System
<b>SMS-C</b>	Short Messages System – Center
<b>SNCB</b>	Société Nationale des Chemins de Fer Belge
<b>SNR</b>	Signal to Noise Rate
<b>SRS</b>	System Requirements Specifications
<b>SSP</b>	Service Switching Point
<b>STM</b>	Specific Transmission Module
<b>SW</b>	Short Wave
<b>TA</b>	Terminal Adapter
<b>TBL</b>	Transmission Balise Locomotive
<b>TCF</b>	Technical Construction File
<b>TDD</b>	Time Division Duplexing
<b>TDT</b>	Televisión Digital Terrestre
<b>TDMA</b>	Time Division Multiple Access
<b>TE</b>	Terminal Equipment
<b>TETRA</b>	TErrestrial Trunked RAdio
<b>TIC</b>	Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
<b>TPC</b>	Techniques of Power Control
<b>TPWS</b>	Train Protection & Warning System
<b>TRAU</b>	TRanscoder Adapter Unit
<b>TVM</b>	Transmission Voie Machine
<b>UIC</b>	Union Internationale des Chemins de fer

<b>UMTS</b>	Universal Mobile Telecommunications Standard
<b>UN</b>	Utilization Note
<b>UNISIG</b>	Union Industry of Signaling
<b>VHF</b>	Very High Frequency
<b>VLR</b>	Visitor Location Register
<b>VMS</b>	Voice Mail System
<b>WiFi</b>	Wireless Fidelity
<b>WiMAX</b>	Worldwide Interoperability for Microwave Access
<b>ZSR</b>	Železnice Slovenskej republiky
<b>ZUB</b>	Zugbeeinflussungssystem



## **AGRADECIMIENTOS**

La realización de este informe ha sido posible gracias al esfuerzo y las contribuciones desinteresadas de diferentes personas que han aportado al Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación su conocimiento y los trabajos realizados en esta materia.

Para la realización del presente informe se han llevado a cabo mesas redondas con operadores ferroviarios y fabricantes de equipamiento y otros profesionales del sector. Quisiéramos agradecer a las personas que han participado en las mismas su esfuerzo y colaboración:

- ❑ Jesús Agüero Ortega, Alcatel Transport Solutions.
- ❑ María Victoria Andrade Blanco, RENFE Operadora.
- ❑ Luis Francisco Fernández Simón, Siemens.
- ❑ Luis García Tassias, ADIF.
- ❑ José Fernando Gil Roderer, Indra.
- ❑ Nuria González Valero, Eliop.
- ❑ Juan Carlos de las Heras Díez, Alcatel Integración y Servicios.
- ❑ Victor Reviriego Hernández, Consultor Independiente.
- ❑ Jesús Riego Martínez, RENFE Operadora.
- ❑ José Luis Ruiz Martín, ADIF.
- ❑ Jesús Vadillo Vallejo, Metro de Madrid.

Por último, agradecer a todos los miembros del Grupo de Nuevas Actividades Profesionales (NAP), del Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación, por su tiempo y dedicación, y a nuestro colega y colaborador Mariano Molina García su contribución y dedicación en la redacción del informe. A todos ellos nuestro más sincero agradecimiento por su disponibilidad y generosidad para compartir este trabajo con el colectivo de Ingenieros de Telecomunicación y con la sociedad en general.





## **ANEXOS**

### **Anexo A: introducción a la ley 39/2003, de 17 de noviembre, del Sector Ferroviario**

#### **Situación previa a la ley 39/2003 del sector ferroviario**

Tradicionalmente, la explotación del ferrocarril ha abarcado de manera conjunta la gestión de la infraestructura y la prestación de los servicios de transporte ferroviario. La Ley 16/1987, de 30 de julio, de Ordenación de los Transportes Terrestres, consideró que, en los transportes por ferrocarril, el conjunto camino-vehículo constituía una unidad de explotación, atribuyendo la explotación unitaria de las líneas y de los servicios de la denominada Red Nacional Integrada a Red Nacional de los Ferrocarriles Españoles (RENFE).

La necesidad de convertir el ferrocarril en un medio de transporte competitivo y de abrir los mercados ferroviarios nacionales al transporte internacional de mercancías realizado por las empresas ferroviarias establecidas en cualquier Estado miembro de la Unión Europea, hizo preciso aprobar un conjunto de Directivas dirigidas a dinamizar el sector ferroviario europeo. Así, la Directiva 91/440/CEE del Consejo Europeo, de 29 de julio de 1991, sobre el desarrollo de los ferrocarriles comunitarios, modificada por la Directiva 2001/12/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de febrero de 2001, establece la necesidad de separar, al menos contablemente, la explotación de los servicios de transporte ferroviario y la administración de la infraestructura, exigiendo a los Estados miembros la apertura de sus redes ferroviarias a las empresas y a las agrupaciones empresariales internacionales que presten determinados servicios de transporte internacional, principalmente de mercancías.

Por su parte, la Directiva 95/18/CE del Consejo Europeo, de 19 de junio de 1995, sobre concesión de licencias a las empresas ferroviarias, estableció la necesidad de licencia para las empresas que prestasen los servicios a que se refiere la Directiva 91/440/CEE. Dado que determinados Estados miembros ampliaron los derechos de acceso más allá de lo previsto en la Directiva 91/440/CEE, la Directiva 2001/13/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de febrero de 2001 modificó la Directiva 95/18/CE en el sentido de generalizar los principios de concesión de licencias a todas las empresas activas en el sector con objeto de garantizar a éstas un trato justo, transparente y no discriminatorio.

Otra Directiva del Parlamento y del Consejo Europeo, la 2001/14/CE, de 26 de febrero de 2001, referente a la adjudicación de capacidad de infraestructuras ferroviarias, aplicación de cánones por su utilización y certificación de la seguridad perseguía garantizar a las empresas ferroviarias el acceso a la infraestructura en condiciones objetivas, transparentes y no discriminatorias y garantizar la seguridad en la prestación de los servicios de transporte ferroviario.

Por último, la Directiva 2001/16/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de marzo de 2001, relativa a la interoperabilidad del sistema ferroviario transeuropeo convencional, buscaba fijar las condiciones que deben cumplirse para lograr, en el territorio comunitario, la interoperabilidad del sistema ferroviario transeuropeo convencional. Dichas condiciones se refieren al proyecto, a la construcción, a la puesta en servicio, a la rehabilitación, a la renovación, a la explotación y al mantenimiento de los elementos de dicho sistema que entren en servicio después de la fecha de entrada en vigor de la referida Directiva, así como a las cualificaciones profesionales y a las condiciones de salud y de seguridad del personal que contribuye a su explotación.

### **Ley 39/2003 del sector ferroviario**

La ley 39/2003 del sector ferroviario persigue la separación de las actividades de administración de la infraestructura y de explotación de los servicios y la progresiva apertura del transporte ferroviario a la competencia. La consecución de estos objetivos requiere una profunda modificación de las estructuras y funciones de los actuales agentes del sector ferroviario, así como la creación de otros nuevos que velen por la debida aplicación de la nueva normativa.

La ley regula la administración de las infraestructuras ferroviarias y encomienda ésta a la entidad pública empresarial Red Nacional de los Ferrocarriles Españoles (RENFE) que pasa a denominarse Administrador de Infraestructuras Ferroviarias e integra, además, al anterior Gestor de Infraestructuras Ferroviarias (GIF). La entidad pública empresarial Administrador de Infraestructuras Ferroviarias (ADIF) podrá construir, de acuerdo con lo que determine el Ministerio de Fomento, las infraestructuras ferroviarias con cargo a sus propios recursos o a recursos ajenos. Asimismo, administrará las infraestructuras de su titularidad y aquellas cuya administración se le encomiende mediante el oportuno convenio.

Asimismo, nace una nueva entidad pública empresarial denominada RENFE-Operadora, como empresa prestadora del servicio de transporte ferroviario. Su función será la de ofrecer a los ciudadanos la prestación de todo tipo de servicios ferroviarios, y asumirá, en los plazos y en la forma que la ley prevé, los medios y activos que RENFE ha tenido afectos a la prestación de servicios ferroviarios.

Junto a esto, la próxima existencia de varios operadores en el mercado ferroviario hace necesaria la creación de un Comité de Regulación Ferroviaria que resuelva los conflictos que se planteen entre ellos y garantice un correcto funcionamiento del sistema. Desde la entrada en vigor de esta ley, se abre a la competencia la prestación del servicio de transporte de mercancías por ferrocarril en el ámbito nacional y se permite el acceso de todas las empresas ferroviarias que lleven a cabo transporte internacional de mercancías a las líneas de la Red Ferroviaria de Interés General que formen parte de la denominada Red Transeuropea de Transporte Ferroviario de Mercancías.

El texto de la ley consta de siete títulos, nueve disposiciones adicionales, seis transitorias, una derogatoria y tres finales. A continuación se comentaran los aspectos más relevantes de cada unos de ellos.

El Título I de la ley establece las disposiciones generales, determinando el objeto y los fines que se persiguen con la nueva regulación.

El Título II regula la infraestructura ferroviaria, establece la regulación en materia de establecimiento de zonas de servicio ferroviario, desarrolla la incidencia de su construcción sobre el planeamiento urbanístico y regula las limitaciones a la propiedad mediante la determinación de una zona de dominio público, otra de protección y de un límite de edificación respecto de la infraestructura ferroviaria. Por otra parte, el referido título diseña el régimen de administración de las infraestructuras ferroviarias. La nueva configuración del sector ferroviario estatal atribuye un papel esencial al Administrador de Infraestructuras Ferroviarias (ADIF), al que corresponden, entre otras funciones, la construcción y administración de líneas ferroviarias, de tramos de las mismas o de otros elementos de la infraestructura ferroviaria, que formen parte de la red de la que, con arreglo a esta ley, es titular y, previo el oportuno convenio, de la titularidad del Estado, la elaboración de las declaraciones sobre la red y la adjudicación de la capacidad de red necesaria para la prestación de los servicios de transporte ferroviario de viajeros y de mercancías. Finalmente y dentro de este mismo título, la nueva ley regula el régimen aplicable a las infraestructuras ferroviarias en los Puertos y Aeropuertos y a las infraestructuras ferroviarias de titularidad privada.

El Título III de la ley dedica su contenido a la regulación de los servicios adicionales, complementarios y auxiliares, determinando tanto el régimen que les resulta aplicable como los sujetos facultados para su prestación.

El Título IV considera el transporte ferroviario como servicio de interés general y esencial para la comunidad que se presta en régimen de libre competencia, en los términos previstos en la ley. El acceso por una empresa al mercado del transporte ferroviario, tanto de viajeros como de mercancías, debe hacerse mediante la obtención de la correspondiente licencia, acreditando, previamente, el cumplimiento de una serie de requisitos. Una vez obtenida por la empresa la correspondiente licencia, será preciso que el administrador de infraestructuras ferroviarias le adjudique la capacidad de red necesaria para que pueda prestar servicios. No obstante, el Consejo de Ministros, de oficio o a instancia de las comunidades autónomas o corporaciones locales correspondientes, podrá declarar de interés público la prestación de determinados servicios de transporte ferroviario sobre las líneas o los tramos que integran la Red Ferroviaria de Interés General cuando dicha prestación resulte deficitaria o no se produzca en las adecuadas condiciones de frecuencia y calidad, y sea necesaria para garantizar la comunicación entre distintas localidades del territorio español. Una vez declarada de interés público la prestación de un determinado servicio de transporte ferroviario, las empresas ferroviarias, únicamente, podrán prestarlo previa la obtención de la correspondiente autorización, que será otorgada por el Ministerio de Fomento. Igualmente, se prevé la posibilidad de que el Gobierno, con carácter excepcional y transitorio, pueda acordar la asunción, por la Administración General del Estado, de la gestión de determinados servicios de transporte por ferrocarril o la explotación de ciertas infraestructuras ferroviarias para garantizar la seguridad pública y la defensa nacional. Asimismo, se permite al Ministerio de Fomento la adopción de las medidas que resulten necesarias para la correcta prestación de los servicios de transporte de viajeros declarados de interés público o de los servicios adicionales, complementarios o auxiliares a los mismos. Finalmente, la ley pretende clarificar el régimen jurídico aplicable al transporte ferroviario con el fin de aportar seguridad jurídica a los usuarios. A estos efectos, se determina el derecho a acceder al servicio de transporte, en las adecuadas condiciones de calidad y de seguridad, sujetando a las empresas ferroviarias a la obtención del correspondiente certificado de seguridad que se otorgará por el Ministerio de Fomento o por el ente que éste determine. Particularmente, se prevé la posibilidad de crear, si así se estableciere en la normativa comunitaria, un órgano administrativo específico que tenga por finalidad el otorgamiento de los referidos certificados y, en su caso, otro que tenga por objeto la investigación de accidentes. Asimismo, se garantiza a los usuarios la oportuna indemnización en caso de que el servicio no llegare a prestarse o se prestare inadecuadamente. Para completar la regulación en materia de transporte ferroviario, el capítulo IV de dicho título IV recoge el régimen del Registro Especial de Empresas Ferroviarias y el correspondiente al personal ferroviario.

El Título V recoge el régimen económico y tributario de la ley, estableciendo las bases para que las entidades públicas empresariales y, en general, el sistema ferroviario español, sean viables económicamente. Además de las tasas por el otorgamiento de licencias y certificados de seguridad, por la seguridad del transporte ferroviario de viajeros, por la homologación de centros de formación de personal ferroviario y de certificación de material rodante y por el otorgamiento de títulos a dicho personal, la ley prevé la existencia de dos tasas adicionales. La primera por utilización de líneas ferroviarias integrantes de la Red Ferroviaria de Interés General que podrá exigirse con ocasión de la adjudicación de la capacidad de red necesaria para la prestación de los distintos servicios ferroviarios, y la segunda por la utilización de estaciones y otras instalaciones ferroviarias. Finalmente, la ley prevé un régimen de tarifas o precios privados por la prestación, por el administrador de infraestructuras ferroviarias o por terceros, de servicios adicionales, complementarios y auxiliares y por el uso comercial de sus instalaciones y espacios de los que aquél sea titular.

El Título VI regula la administración ferroviaria, racionalizando el sistema del que son piezas clave el Gobierno y el Ministerio de Fomento. Dentro de éste, se crea el Comité de Regulación Ferroviaria con competencias para salvaguardar la pluralidad de la oferta en la prestación de los servicios sobre la Red Ferroviaria de Interés General y para resolver los conflictos entre empresas ferroviarias, entre otras.

El Título VII se ocupa del régimen sancionador, supera el régimen de determinación de tipos infractores en blanco y especifica los incumplimientos normativos sancionables. Además, se actualiza y adapta a la nueva realidad nacida de la ley el régimen tradicional de infracciones y sanciones, y se regula detalladamente el procedimiento sancionador y la eventual adopción de medidas provisionales.

Cierran el texto de la ley nueve disposiciones adicionales, seis transitorias, una derogatoria y tres finales. A través de estas normas, se regulan los nuevos entes que actuarán en el sector ferroviario estatal y se establece un régimen escalonado y paulatino de apertura del mercado de transporte ferroviario. Además, se prevé un régimen transitorio para el transporte ferroviario de viajeros, reconociéndose a RENFE-Operadora el derecho a explotar los servicios que se presten, en la fecha de entrada en vigor de la ley, sobre la Red Ferroviaria de Interés General.