



**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**

**ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES**

**Grado en Ingeniería Eléctrica**

# **Sistemas de señalización y control ferroviario en alta velocidad**

**Autor:**

**Rodríguez Cea, Ángel Iván**

**Tutor:**

**Alonso Ripoll, Francisco Javier  
Departamento de Ingeniería  
Eléctrica**

**Valladolid, Julio de 2015.**



## **Resumen**

Actualmente existen más de veinte sistemas de señalización y control ferroviario en Europa. Esta diversidad de sistemas dificulta considerablemente el tráfico transeuropeo, haciendo que en la frontera se tengan que cambiar locomotoras, maquinistas o, incluso, el tren completo. Para superar este obstáculo, la Unión Europea ha investigado y desarrollado el sistema europeo de señalización y control ferroviario ERTMS. En este trabajo se realiza un estudio de dicho sistema, analizando sus aspectos normativos, operativos y técnicos procurando que pueda ser una referencia útil para profesores y alumnos en la docencia universitaria.

## **Palabras clave**

Ferrocarril, señalización, alta, velocidad, seguridad.



# Índice

1. Introducción.....	9
1.1. Objetivos del trabajo.....	9
1.2. Estructura del trabajo.....	10
2. La seguridad en el ferrocarril.....	11
2.1. Definición de seguridad en el ferrocarril.....	11
2.2. Fail Safe.....	12
2.3. Normativa y organismos relativos a la seguridad.....	13
2.3.1. Normativa CENELEC.....	13
2.3.2. Agencia Estatal de Seguridad Ferroviaria.....	14
2.4. Sistemas de señalización en cabina para el FF.CC.....	15
2.4.1. Problemática de la señalización lateral.....	16
2.4.2. Los sistemas de señalización en cabina.....	17
2.4.3. Algunos sistemas de ATP.....	17
3. Sistemas de señalización y supervisión.....	19
3.1. Sistemas de señalización en Europa.....	19
3.1.1. INDUSI.....	19
3.1.2. AWS.....	22
3.1.3. Crocodile.....	24
3.1.4. TVM.....	25
3.1.5. Cuadro resumen de los principales sistemas de señalización en Europa.....	26
3.2. Sistemas de señalización en España.....	28
3.2.1. ASFA.....	28
3.2.2. LZB.....	31
3.2.3. EBICAB900.....	34
4. ERTMS: Un sistema común para Europa.....	37
4.1. Antecedentes.....	40

4.2. Prescripciones normativas.....	41
4.2.1. Conceptos básicos.....	41
4.2.2. Organismos oficiales.....	42
4.3. Aspectos operativos.....	46
4.3.1. Niveles de operación.....	46
4.3.1.1. ERTMS/ETCS Nivel 0.....	48
4.3.1.2. ERTMS/ETCS Nivel 1.....	49
4.3.1.3. ERTMS/ETCS Nivel 2.....	51
4.3.1.4. ERTMS/ETCS Nivel 3.....	53
4.3.1.5. ERTMS/ETCS Nivel STM.....	55
4.3.2. Transición entre niveles.....	56
4.3.3. Funcionalidad general.....	58
4.3.4. Explotación.....	62
4.3.4.1. Nivel 1.....	62
4.3.4.2. Nivel 2.....	63
4.3.4.3. Nivel 3.....	64
4.3.4.4. Sistema de gestión <i>DaVinci</i> .....	65
4.3.5. Modos de operación.....	68
4.3.5.1. Descripción de los diferentes modos.....	70
4.3.5.2. Transición entre modos de operación.....	79
4.4. Especificaciones técnicas.....	81
4.4.1. Arquitectura.....	83
4.4.2. Subsistema de vía.....	85
4.4.2.1. Elementos del subsistema de vía.....	86
4.4.3. Subsistema de tren.....	91
4.4.3.1. Elementos del subsistema de tren.....	91
4.4.4. Interfaz Humana (DMI).....	97
4.4.4.1. Descripción.....	100
4.4.4.2. DMI en nivel STM.....	108
5. Comunicación.....	111
5.1. GSM-R.....	111
5.1.1. Antecedentes.....	111

5.1.2. Implementación.....	112
5.1.3. Espectro de frecuencias.....	116
5.1.4. Proveedores.....	117
5.2. Lenguaje de comunicación.....	118
5.2.1. Variables.....	119
5.2.2. Paquetes.....	127
5.2.3. Mensajes.....	130
5.2.3.1. Mensajes por eurobaliza.....	130
5.2.3.2. Mensajes por radio.....	132
6. Líneas equipadas con ERTMS.....	135
6.1. Proyecto EMSET.....	135
6.2. Proyectos piloto.....	136
6.3. Líneas comerciales.....	138
6.3.1. Líneas comerciales en Europa.....	138
6.3.2. Corredores ERTMS europeos.....	141
6.3.3. Líneas comerciales en el mundo.....	143
6.3.4. Líneas comerciales en España.....	143
7. Futuro del sistema ERTMS.....	147
8. Conclusiones.....	149
9. Bibliografía.....	151
ANEXO I: Declaración de red de ADIF.....	155
ANEXO II: Declaración de red de TP Ferro.....	157
ANEXO III: Símbolos de anuncio en DMI.....	159





## 1. Introducción

Desde 1830, fecha en la que se inauguró la primera línea de ferrocarril entre Liverpool y Mánchester, el ferrocarril ha sido el principal medio de transporte de larga distancia, tanto de pasajeros como de mercancías, hasta prácticamente nuestros días.

La llegada de la aviación y el abaratamiento de este medio de transporte debido a la fuerte competencia del sector han propiciado que el avión se convierta en el medio de transporte favorito, sobre todo a la hora de los desplazamientos dentro de Europa. Esto ha repercutido en el ferrocarril dejándolo relegado a un segundo plano.

El principal problema del ferrocarril a nivel europeo es la existencia de más de veinte sistemas de señalización y control diferentes. Esto dificulta el transporte ferroviario entre los distintos países del continente, haciendo que en la frontera se tengan que cambiar locomotoras, maquinistas o, incluso, el tren completo.

Para superar este obstáculo, en 1989 se crea el proyecto ERTMS (*European Rail Traffic Management System*) para desarrollar un Sistema de Gestión de Tráfico Ferroviario Europeo, y en 1998 la agrupación de las industrias de señalización (UNISIG) para redactar las especificaciones del nuevo sistema.

El proyecto ERTMS tiene unos objetivos, que son los siguientes:

- Aumentar la competitividad del ferrocarril frente a otros medios de transporte.
- Mejorar la interoperabilidad del material rodante mediante la creación de una serie de estándares a nivel europeo.
- Aumentar los niveles de seguridad.
- Elevar la velocidad de circulación, consiguiendo así una reducción de los tiempos de viaje.
- Aumentar la capacidad de las líneas reduciendo el intervalo entre trenes.

Así se configura ERTMS como el sistema necesario e imprescindible para que el ferrocarril pueda competir con otros medios de transporte a nivel internacional gracias al aumento de la seguridad y reducción de tiempo que aporta.

### 1.1. Objetivos del trabajo

El objeto del presente trabajo es realizar un estudio del sistema de señalización y control ferroviario ERTMS (*European Rail Traffic Management System*), analizando sus aspectos normativos, operativos y técnicos.

## 1.2 Estructura del trabajo

El presente trabajo se divide en los siguientes capítulos:

**La seguridad en el ferrocarril:** Partiendo de los conceptos básicos en cuanto a seguridad en el mundo ferroviario se expone la problemática de la señalización lateral tradicional y se introduce la señalización en cabina como solución a los problemas anteriormente planteados.

**Sistemas de señalización y supervisión:** En este capítulo se hace un repaso por los diferentes sistemas de señalización que existen en Europa y en España como introducción y justificación de la necesidad de un sistema común de señalización ferroviaria.

**ERTMS: Un sistema común:** Es un amplio capítulo dedicado al estudio en profundidad del sistema ERTMS. En este capítulo se tratan los antecedentes, las prescripciones normativas, los aspectos y los diferentes niveles de operación y las especificaciones técnicas en cuanto a arquitectura y elementos que lo conforman.

**Comunicación:** Está dedicado a uno de los pilares básicos del sistema ERTMS, la comunicación entre el tren y las infraestructuras ferroviarias. En este capítulo se presenta el sistema GSM-R y se expone brevemente el lenguaje de comunicación del sistema ERTMS.

**Líneas equipadas con ERTMS:** En este capítulo se hace un repaso desde las primeras pruebas y líneas piloto hasta las líneas comerciales que tienen equipado ERTMS dentro y fuera de Europa.

**Futuro del sistema:** Se expone brevemente cuales son los futuros proyectos relacionados con el sistema ERTM.

El trabajo termina con las conclusiones y las principales referencias utilizadas.

## 2. La seguridad en el ferrocarril

La seguridad está presente en todos los elementos que componen un sistema ferroviario, desde las líneas a los trenes que circulan sobre ellas, al personal o las normas y procedimientos que regulan su explotación.

Desde el nacimiento del ferrocarril, la seguridad ha ido ligada a al mismo de forma inseparable ya que desde muy pronto se fue consciente de las fatales consecuencias que podían darse en el caso de la aceptación del riesgo en cualquier aspecto, desde la expedición y control de los trenes hasta un fallo en la señalización.

Por tanto, la evolución del ferrocarril ha traído consigo una evolución en seguridad de forma constante con la intención de reducir la peligrosidad de las amenazas o mitigar el riesgo de accidente inherente al movimiento de los trenes hasta puntos que sean tolerables.

Los primeros sistemas de seguridad que se desarrollan son los reglamentos de circulación y la señalización lateral en las vías. Con ambos se consiguió reducir bastante los riesgos y las situaciones de peligro que se daban en el ferrocarril, pero pronto se vio que había que eliminar el propio riesgo humano. Por ello, se desarrollaron diferentes sistemas como los enclavamientos, bloqueos y, por último, sistemas de señalización en cabina.

Con todos ellos se ha conseguido reducir considerablemente el riesgo y aumentar la seguridad en el ferrocarril, pero una mejora continua de la seguridad previene nuevos riesgos y reducir aún más aquellos existentes. Con ese objetivo se han establecido normativas y diferentes organismos que desarrollan, innovan y velan por el cumplimiento de unas condiciones mínimas de seguridad en cualquier elemento del ferrocarril.

### 2.1 Definición de seguridad en el ferrocarril

Cuando se habla de seguridad en el mundo ferroviario hay que distinguir dos tipos de seguridad, una relacionada con las funciones de los equipos y otra con el diseño de los mismos.

**Seguridad funcional:** es la seguridad en las circulaciones y movimientos de trenes de un sistema ferroviario. Las funciones relacionadas con las circulaciones y movimientos de trenes las realizan una serie de equipos que deberán tener suficiente solvencia en las operaciones que realizan.

**Seguridad técnica:** es la seguridad en el diseño técnico de los equipos que se encargan de la seguridad funcional de un sistema ferroviario. El diseño debe cumplir unos criterios mínimos en cuanto a seguridad según la normativa vigente para evitar que en caso de fallo se comprometa la seguridad funcional del sistema.

En relación con este último aspecto de la seguridad técnica existe el concepto “Fail Safe”, el cual se explica a continuación.

## 2.2 Fail Safe

“Fail Safe” es un concepto concreto de seguridad de obligado cumplimiento de facto en el sector ferroviario. Literalmente significa fallo seguro, es decir, que en condiciones de un fallo en un equipo se encuentre en la posición o situación que sea tan segura como la que tenía.

El concepto de “Fail Safe” se ha utilizado desde los comienzos de la seguridad ferroviaria. En un principio, el significado del término era absoluto, es decir, que el equipo nunca tenía un fallo. Actualmente este concepto ha variado un poco sus significados y va unido a la probabilidad de que no falle a una situación permisiva, y en caso de fallo, se vaya a una situación lo más restrictiva posible.

El concepto antiguo se basa en un diseño muy fiable en el campo electro-mecánico mediante disposiciones muy robustas y con alimentación redundante. La probabilidad de fallo en estos diseños es cero, lo cual ha hecho necesario una nueva definición al introducir la electrónica (donde no existe la probabilidad cero).

El nuevo concepto ya contempla la ocurrencia de un fallo, pero con una probabilidad muy baja. Los diseños modernos se basan en dos equipos iguales o diferentes, con configuraciones redundantes, que deben coincidir en su resultado o supervisión continua mediante diferentes procedimientos.

Hay que destacar que ambos conceptos no son excluyentes a la hora del diseño, solo dependerá aplicar uno u otro en función del tipo de equipo que se vaya a diseñar.

Algunos ejemplos de filosofía “Fail Safe” son el uso de doble filamento de diferente intensidad en las señales semafóricas luminosas o las arquitecturas de los nuevos sistemas de señalización ferroviaria.

## 2.3 Normativa y organismos relativos a la seguridad

En lo relativo a normativa sobre seguridad ferroviaria y organismos encargados de su cumplimiento, hasta hace relativamente poco tiempo cada país tenía la suya propia. Con la llegada de la Unión Europea, se buscó progresivamente la creación de una normativa relativa a seguridad y administración de las infraestructuras ferroviarias común para todo el continente. De esta manera nacen las normas europeas de seguridad y los organismos asociadas a su cumplimiento.

En concreto, en España hay que destacar la normativa de CENELEC y la Agencia Estatal de Seguridad Ferroviaria de la que se expone a continuación una breve descripción.

### 2.3.1 Normativa CENELEC

Con la fusión en 1973 de dos organizaciones europeas (CENELCOM y CENEL) se crea CENELEC, en francés *Comité Européen de Normalisation Electrotechnique*, que busca una estandarización a nivel europeo de las áreas de la ingeniería eléctrica. En una de estas áreas se encuentra la seguridad ferroviaria.

No se pretende hacer una descripción exhaustiva de todo el conjunto de normas, pero si se pretende exponer unos conceptos que posteriormente se utilizaran en el presente trabajo.

#### Niveles de riesgo

CENELEC ha establecido una clasificación de los niveles de riesgos introduciendo el producto de la probabilidad del suceso por la severidad de la amenaza como se puede ver en la tabla adjunta.

Frecuencia de ocurrencia	Niveles de riesgo			
	<i>Frecuente</i>	Indeseable	Intolerable	Intolerable
<i>Probable</i>	Tolerable	Indeseable	Intolerable	Intolerable
<i>Ocasional</i>	Tolerable	Indeseable	Indeseable	Intolerable
<i>Remoto</i>	Insignificante	Tolerable	Indeseable	Indeseable
<i>Improbable</i>	Insignificante	Insignificante	Tolerable	Tolerable
<i>Imposible</i>	Insignificante	Insignificante	Insignificante	Insignificante
	<i>Insignificante</i>	<i>Marginal</i>	<i>Crítico</i>	<i>Catastrófico</i>
	<b>Niveles de severidad</b>			

Tabla 2.1: Niveles de severidad según CENELEC

Ninguna situación debe llevar a un riesgo intolerable o indeseable, y en caso de que se encuentre en cualquiera de las dos categorías anteriores debe ser mitigado disponiendo de equipos o procedimientos que lo reduzcan como mínimo a tolerable.

Un ejemplo son los equipos de señalización, que mitigan los riesgos de los accidentes de ferrocarril llevándoles a una zona de riesgo tolerable.

### *Niveles de seguridad SIL*

En función del nivel de riesgo que es necesario mitigar, CENELEC establece cuatro niveles de seguridad en el diseño de los equipos. Estos niveles son SIL1, SIL2, SIL3 y SIL4.

Ejemplos de nivel SIL:

- SIL1: Unidades de mantenimiento y diagnóstico.
- SIL2: Cuadros de mando.
- SIL3: CTC.
- SIL4: Enclavamientos y circuitos de vía.

El orden de las categorías es tal que están ordenadas de menor a mayor requerimiento de seguridad, de tal forma, que un nivel SIL4 implica más seguridad que un nivel SIL1.

El nivel SIL se fija en función de del nivel de mitigación requerido para reducir el riesgo mediante la fórmula de *severidad x probabilidad*, de la amenaza detectada a valores despreciables o tolerables.

### **2.3.2 Agencia Estatal de Seguridad Ferroviaria**

La Agencia Estatal de Seguridad Ferroviaria (AESF) es un organismo público que se creó con la Ley 28/2006, de 18 de julio, de Agencias Estatales para la mejora de los servicios públicos, en concreto el servicio público ferroviario. Sin embargo, su estatuto fue aprobado en 2014 y fija como inicio de su actividad el 1 de abril de 2015 por lo que aun su futuro es un poco incierto.



Fig. 2.1: Logotipo de la AESF

La AESF ejercerá como autoridad responsable de la seguridad ferroviaria, tal y como se establece en la Ley 39/2003, de 17 de noviembre, del Sector Ferroviario,

realizando la ordenación y supervisión de la seguridad de todos los elementos del sistema ferroviario. En concreto, algunas de sus competencias son:

- Velar por el mantenimiento general de la seguridad en la circulación en la red ferroviaria española.
- Autorizar la entrada en servicio de los subsistemas estructurales que constituyen el sistema ferroviario y así como comprobar que mantienen sus requisitos.
- Supervisar el cumplimiento de los requisitos esenciales de interoperabilidad en el ferrocarril.
- Autorizar la puesta en servicio de vehículos.
- Ejercer la potestad sancionadora en materia de seguridad ferroviaria.
- Conceder la homologación y, en su caso, suspenderla y revocarla, de los centros de formación y centros de reconocimiento psicofísico del personal ferroviario.
- Conceder la homologación y, en su caso, suspenderla y revocarla, de los centros de mantenimiento, así como la certificación de las entidades encargadas de mantenimiento.

El conjunto de normativa y reglamentos de los que velará su cumplimiento abarca desde legislación europea y nacional, así como normativa propia, en cuanto seguridad ferroviaria, transporte de mercancías y pasajeros, mantenimiento de vehículos e interoperabilidad entre todos los sistemas existentes.

## **2.4 Sistemas de señalización en cabina para el FF.CC.**

Con el tiempo se vio que la señalización lateral que acompaña a las líneas del ferrocarril durante todo su recorrido tiene una serie de limitaciones, que se tratarán posteriormente, respecto al nivel de protección que proporcionaba.

La información que se presenta al maquinista a través de la señalización lateral no siempre era captada o procesada por el propio maquinista. Hay que tener en cuenta que la captación o no la información visual depende mucho de la climatología, velocidad o, incluso, factores humanos. En otros casos, simplemente depende del cumplimiento o no por parte del maquinista. Si a lo anterior se añade que la información proporcionada por la señalización puede ser incompleta por no ser posible una representación sencilla de las circunstancias que en cada caso se pueden dar.

Todo lo anterior obligó a la búsqueda de sistemas que aumentasen la seguridad obligando el cumplimiento de la señalización lateral. Es así como surge la señalización en cabina, la cual muestra de forma más precisa y detallada al

maquinista siguiendo los mismos principios de la señalización lateral. También se procesa esta información en los equipos de a bordo que realizan una supervisión de las funciones de seguridad y que actuarán en caso necesario.

Es así como aparecen los sistemas ATP (*Automatic Train Protection*, que en español significa Protección Automática de Trenes) encargados de supervisar la conducción de los trenes. En caso de incumplimiento de alguna condición de seguridad tomará medidas para evitar un posible accidente.

### **2.4.1 Problemática de la señalización lateral**

A continuación se pretende realizar un breve análisis de los problemas que presenta la señalización lateral y de las consecuencias acorde a las situaciones mencionadas.

- Mala visibilidad en caso de condiciones climáticas adversas.  
Ciertas condiciones climáticas como niebla, lluvia, etc. pueden suponer una mala visibilidad de la señalización que se traduce en la captación de una información errónea, o incluso, en la no captación de la información indicada. Por ello, que en este tipo de condiciones se aplica una limitación de velocidad que causa una disminución de tráfico y puede llegar a producir retrasos.
- Rebase de señales en rojo.  
Ya sea debido a la mala visibilidad, a una distracción o una pérdida de adherencia por parte del tren existe el riesgo de una colisión o descarrilamiento.
- Complejidad de la información.  
En ocasiones el maquinista no es capaz de interpretar correctamente toda la información que se le suministra a través de la señalización lateral.
- Velocidad excesiva.  
El paso por una señal a velocidad excesiva puede suponer la no visión de la misma debido al efecto túnel. También se pueden incurrir en peligros tales como el paso por una curva o desvíos a una velocidad excesiva que puede suponer un accidente grave.

Todos los posibles sucesos anteriormente señalados suponen cada vez un riesgo mayor debido al aumento del tráfico ferroviario y de la velocidad.



## 2.4.2 Los sistemas de señalización en cabina

Como consecuencia de las amenazas y peligros anteriormente reseñados se desarrollaron diferentes sistemas en función de las necesidades de cada momento y lugar de desarrollo. Estos sistemas se dividen en tres grandes grupos:

- **Sistemas puntuales:** la información sobre la señalización se transmite en puntos concretos del recorrido. Fueron los primeros en desarrollarse y protegen principalmente del rebase de las señales.
- **Sistemas puntuales de supervisión continua:** la evolución de los anteriores. En este tipo se transmite la información en puntos concretos pero supervisan el cumplimiento hasta el siguiente punto de recogida de información.
- **Sistemas continuos:** la información se transmite continuamente y tienen por tanto un seguimiento continuo de las condiciones de marcha del tren.

Los sistemas de ATP se desarrollan inicialmente para mitigar la amenaza del rebase de la señal en rojo. Para evitar ese rebase se actúa inicialmente en forma de aviso y en caso del no reconocimiento por parte del maquinista se aplica los frenos de emergencia.

Conforme aumenta la demanda y velocidad del tráfico ferroviario se hace necesario que los sistemas avisen y actúen respecto de otros posibles riesgos. Es así como se van haciendo cada vez más complejos y poco a poco van incorporando avisos de paso por señales de precaución y cambios de velocidad.

Es precisamente el control de la velocidad lo que lleva a sistemas continuos que monitoricen la velocidad del tren en cada momento o como el tren reduce paulatinamente su velocidad conforme se acerca a la señal de parada mediante sus curvas de frenado.

## 2.4.3 Algunos sistemas de ATP

Como antes se ha indicado, los primeros sistemas eran del tipo puntual. En este tipo de equipos se pretende evitar el rebase de señales en rojo ya sea avisando al maquinista o aplicando el freno si este hace caso omiso al aviso.

Los primeros sistemas que se desarrollan son mecánicos. Estos sistemas son sencillos y de funcionamiento simple.

Posteriormente, se desarrollan sistemas más sofisticados. Así nace en 1930 de la mano de Siemens el sistema INDUSI que está instalado en líneas alemanas y de países de influencia germánica, o el sistema AWS en Reino Unido. En España en la

década de 1970 se desarrolla el sistema ASFA, que se pone en funcionamiento en 1978.

De los sistemas de supervisión continua se puede señalar entre todos el sistema ATP-CM en España, instalado en el Corredor Mediterráneo. Este sistema es una muestra de un sistema pre-ERTMS de primer nivel formado por el sistema de captación EBICAB y el equipo de abordaje TBS-900 de Bombardier y Dimetronic respectivamente.

Para líneas de alta velocidad se utilizan sistemas continuos como el sistema TVM de la alta velocidad francesa o el LZB de las líneas de alta velocidad alemana y de la línea de AVE Madrid-Sevilla.

### 3. Sistemas de señalización y supervisión

En este capítulo se hará una breve descripción de cada uno puesto que algunos sientan las bases para los futuros sistemas de señalización en Europa y en España.

#### 3.1 Sistemas de señalización en Europa

Históricamente, los sistemas de señalización en el ferrocarril surgieron prácticamente al mismo tiempo en toda Europa, salvo alguna excepción. Esto ha llevado a un mapa de sistemas de señalización muy variado dentro del continente europeo, el cual se muestra en la siguiente imagen.

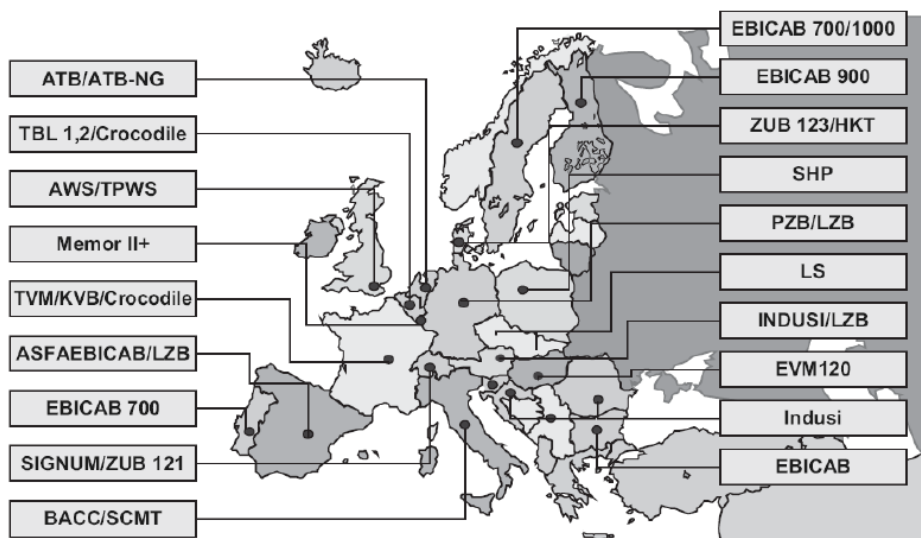


Fig. 3.1: Sistemas de señalización en Europa

Dentro del conglomerado europeo se pueden distinguir fácilmente tres grandes grupos, correspondientes a tres importantes países y su área de influencia. Se trata de Alemania, Francia y Reino Unido. Cada uno de ellos, desarrollaron su propio sistema que posteriormente ha servido de base para los sistemas o, incluso la aplicación de su sistema, en otros países de su área de influencia.

##### 3.1.1 INDUSI

Es un sistema de ATP desarrollado por Siemens e instalado en Alemania y su zona de influencia (Austria, etc.). El INDUSI es un sistema puntual y sus siglas significan INDUctive Signalsicherung.

### *Historia y desarrollo*

Los primeros pasos de este sistema se dan en 1908, donde se buscaba un sistema de protección del ferrocarril. Para ello se diseñan una serie de prototipos con balizas en vía que necesitaban alimentación de forma continua. Ese requerimiento era un inconveniente, ya que salvo en la cercanía de estaciones no había suministro de corriente.

Para solventar este problema se investigó paralelamente un sistema de comunicación entre baliza en vía y equipos de a bordo de forma óptica. Esta línea de investigación acabó abandonándose debido al mantenimiento que podía precisar en cuanto a limpieza las lentes de los equipos.

En 1931 se presentó el primer prototipo del INDUSI. Constaba de una baliza que no necesitaba electricidad para funcionar, lo que la hacía ideal para zonas sin abastecimiento eléctrico. En un principio se basaba en imanes permanentes.

No sería hasta 1933 cuando se presentó un sistema basado en frecuencias de resonancia entre distintas balizas. El uso de resonancias solventaba el problema de detección a determinadas velocidades del sistema basado en imanes.

Desde 1934 se instaló en todas las líneas alemanas y austriacas, así como en toda la zona de influencia germana.

Generaciones posteriores del sistema se han nombrado con las siglas PZB, aunque se utilizan ambos nombres para referirse a él.

### *Descripción del sistema*

Está compuesto por un equipo en vía, correspondiente con unas balizas pasivas. Pasivas porque no requieren alimentación para su funcionamiento. El resto del equipo es el de abordó.

El equipo de vía está compuesto por tres tipos de balizas. Cada tipo se distingue del otro por la frecuencia de resonancia. Cada frecuencia indica un aspecto de la señal que será reconocida por el equipo de abordó.

Las balizas se sitúan en plena vía de la siguiente forma:

- Baliza de 1000Hz en la señal de avanzada
- Baliza de 500Hz 450m antes del punto de peligro
- Baliza de 2000Hz 250m antes de la señal de entrada más 200m de overlap

Las balizas contienen en su interior un circuito resonante pasivo sintonizado a esas frecuencias dependiendo de la ubicación en vía que le corresponda. Estas balizas pueden estar en estado activo o pasivo dependiendo del estado de la señal. Para

activar o desactivar una señal bastara con utilizar un relé que cierre o abra el circuito en función del estado de la señal.

### Funcionamiento del sistema

Al pasar un tren por encima de las balizas, el campo eléctrico creado por los circuitos del tren se acopla con los de la baliza de vía de forma que se produce una disminución de la tensión en el sistema de captación del tren. Asociado a esa caída de tensión hay un aumento de la corriente en el circuito que es detectada por el equipo INDUSI del tren y procesada.

Si la señal de entrada está en rojo se activaran todas las balizas. Al paso del tren por la señal de avanzada se produce un aviso al maquinista, que debe reaccionar en 4 segundos. Si no actúa se activa el frenado de emergencia.

Tras la confirmación de la advertencia el tren tiene que quedarse por debajo de la curva de frenado. Para trenes rápidos de velocidad máxima 165 km/h se debe reducir la velocidad por debajo de 85 km/h después de 23 segundos.

El tren no puede liberarse de las restricciones de velocidad hasta 700 m después de la activación de la baliza de 1000Hz. Después de ese momento, el conductor del tren puede presionar un botón de liberación (en alemán *Freitaste*). En generaciones posteriores, el límite de velocidad impuesto se amplió a 1250 m.



Fig. 3.2: Pulsadores del sistema INDUSI

A continuación se muestra una tabla con los valores en función del tipo de tren según clasificación alemana:

Tipo de tren	Reducción de velocidad
<b>O – superior</b>	desde 165 km/h a 85 km/h en 23 segundos
<b>M – medio</b>	desde 125 km/h a 70 km/h en 29 segundos
<b>U – inferior</b>	desde 105 km/h a 55 km/h en 38 segundos

Al paso por la segunda baliza, el sistema comprueba que la velocidad es inferior a un cierto valor. Estos valores se corresponden con:

Tipo de tren	Reducción de velocidad
<b>O – superior</b>	desde 65 km/h a 45 km/h en 153 metros
<b>M – medio</b>	desde 50 km/h a 35 km/h en 153 metros
<b>U – inferior</b>	desde 40 km/h a 25 km/h en 153 metros

Por último, en caso de rebase de la señal de entrada se aplica el freno de emergencia. Si el conductor tiene autorizado el rebase de una señal en rojo, el conductor del tren tiene que mantener pulsado el botón de comando (en alemán *Befehlstaste*) mientras se mueve por encima de la baliza de 2,000 Hz. Mientras se pulsa el botón se emite una advertencia audible constante y el uso del botón se registra en un log del sistema. Durante el rebase de la señal la velocidad está limitada a 40 km/h.

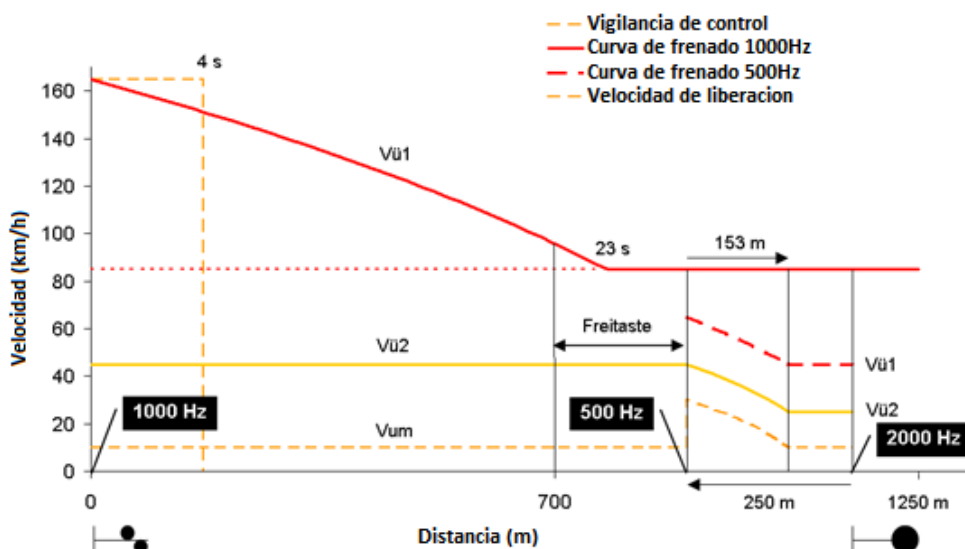


Fig. 3.3: Curvas de frenado en el sistema INDUSI

### 3.1.2 AWS

El sistema de ATP clásico en territorio anglosajón es el AWS, cuyas siglas significan *Automatic Warning System*.

#### *Breve introducción histórica*

En un principio se optó por sistemas mecánicos para prevenir el rebase de señales en rojo. Estos sistemas, sin embargo presentaban una serie de problemas que era

necesario solventar. Alguno de estos problemas era el desgaste de los elementos mecánicos debido al roce o el constante fallo debido a las inclemencias climáticas como nevadas o fuertes vientos que causaba la rotura de elementos de forma habitual.

Se buscan entonces distintas soluciones que aumenten la fiabilidad de los sistemas y la seguridad en la conducción del tren, algunos consistían en ingeniosos sistemas que no llegaron a materializarse, y si lo hicieron, no tuvieron éxito.

A raíz del accidente de Harrow y Wealdstone de 1952 en Reino Unido comienza una búsqueda urgente para evitar los accidentes debidos al rebase de señales en rojo. La respuesta fue la evolución del sistema mediante inducción magnética desarrollado por Alfred Ernest en 1930 y mejorado por Alfred Ernest Hudd.

En 1956, el sistema comienza a implantarse en todos los ferrocarriles de Gran Bretaña tras la evaluación de los diferentes sistemas propuestos y la elección del AWS por parte de las autoridades.

### *Descripción del sistema*

En la imagen se recoge de forma muy esquemática el funcionamiento de este sistema.

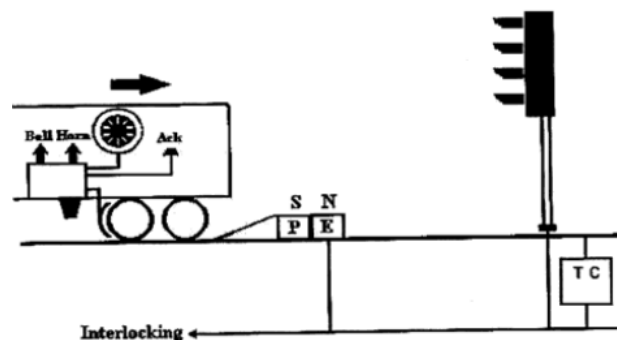


Fig. 3.4: Esquema del sistema AWS

Consiste en un imán permanente en la vía colocado junto a un electroimán que se alimenta cuando la señal presenta un aspecto de precaución (en UK amarillo o doble amarillo).

Cuando el tren pasa con una indicación de advertencia, el electroimán de la baliza no está alimentado y el imán permanente actúa sobre el equipo del tren. De esta forma se cumple la máxima del diseño "Fail Safe".

A bordo del tren, se sitúa el equipo que al paso por una baliza activa nos dará un tono acústico de aviso. El maquinista debe reconocer el aviso en un tiempo máximo de un segundo y realizar el control del tren mediante frenado de acuerdo con el aspecto de la siguiente señal.

### Funcionamiento del sistema

Cuando un tren con el sistema equipado pasa por encima de la baliza de vía y la señal muestra un aspecto rojo o de precaución el sistema emite en la cabina del maquinista un aviso sonoro y este debe reaccionar a la alarma presentada en un tiempo de 4 segundos como máximo. Si el maquinista no actuase, el sistema aplica el freno de emergencia.

Como recordatorio independientemente de la acción del maquinista se muestra un disco amarillo y negro en la cabina hasta que pase por la siguiente baliza. A este disco se le llama “sunflower” y se le puede considerar la primera indicación visual en cabina para sistemas de señalización.

En el caso de que el aspecto de la señal sea verde, el electroimán de la baliza de la vía se alimenta de tal forma que inhibe el imán permanente, así se consigue que al paso por la baliza el sistema del tren no la detecte y no avise al maquinista.

El principal problema de este sistema es la no distinción entre los aspectos rojo, amarillo y doble amarillo, y ello hace que sea considerado como un sistema de aviso más que de protección ante el rebase de señales en rojo.

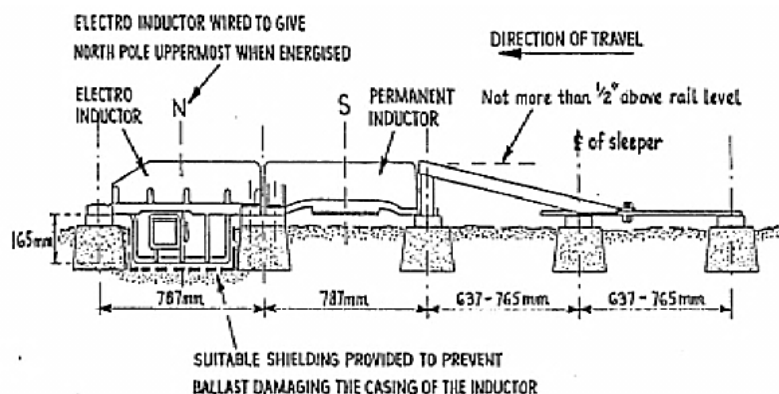


Fig. 3.5: Detalle de baliza en el sistema AWS

Posteriormente ha evolucionado hasta convertirse en el sistema TPWS (*Train Protection Warning System*), donde solo varía las configuraciones de las balizas para que puedan transmitir el aspecto de la señal asociada.

### 3.1.3 Crocodile

*Crocodile* es un sistema bajo responsabilidad belga, francesa y luxemburguesa que se encuentra instalado en las principales líneas ferroviarias de estos países.

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.



Fig 3.6: Barra en vía y frotador embarcado en el tren para *Crocodrile*

Este sistema 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.

### 3.1.4 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 SNCB 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).
- 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.

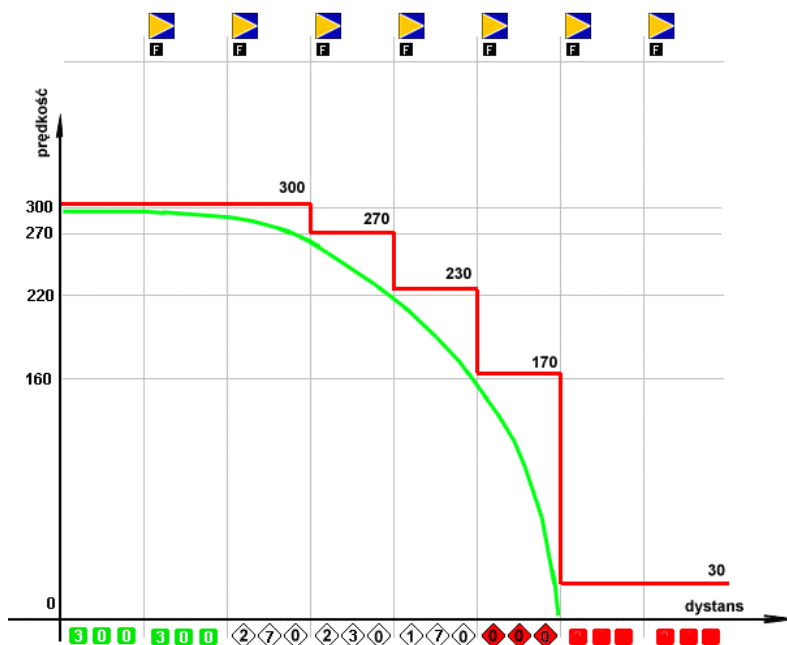


Fig. 3.7: Curva de detención del sistema TVM

### 3.1.5 Cuadro resumen de los principales sistemas de señalización en Europa

A continuación se presenta a modo de resumen una tabla con los diferentes sistemas de señalización ferroviaria instalados en los países europeos y la funcionalidad que presentan en cada caso.

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

Tabla 3.1: Resumen de los sistemas de señalización instalados en Europa

## 3.2 Sistemas de señalización en España

A día de hoy, en España se utilizan cuatro sistemas diferentes de señalización. Estos sistemas son ASFA, LZB, EBICAB900 y ERTMS/ETCS.

### 3.2.1 ASFA

El sistema ASFA (Anuncio de Señales y Frenado Automático) es un sistema de supervisión puntual.

La historia del ASFA comienza en el año 1972, cuando RENFE decide dotar a la red ferroviaria de una seguridad hasta entonces nunca vista. El sistema fue diseñado por Wabco Dimetal, filial española de la Westinghouse inglesa, que por diferentes motivos y fusiones después se pasó a llamar Dimetronic para acabar como una filial de Invensys Rail Systems. Desde 2013, esta última fue adquirida por Siemens.

Dentro de las limitaciones propias de un sistema puntual, el sistema ASFA se ha ido adaptando a la evolución tecnológica del ferrocarril en España marcada por RENFE. Así se han desarrollado las variantes ASFA200, para cubrir las necesidades de las líneas de 200km/h, ASFA AV, que es el sistema de respaldo en las líneas de Alta Velocidad, ASFA STM, como el módulo de adaptación al sistema ERTMS/ETCS, y ASFA Digital como última evolución para cubrir las necesidades de aquellas líneas donde no se instale ERTMS/ETCS o se encuentren en fase de cambio de sistema.

#### Descripción del sistema

El sistema ASFA en cualquiera de sus versiones consta de dos partes diferenciadas, el equipo en vía y el equipo de a bordo del tren.

El equipo en vía, compuesto por balizas, que teniendo en cuenta las condiciones impuestas por la señalización lateral y las condiciones de la vía, transmite la información necesaria para que esta pueda ser captada por el tren a su paso.

Las balizas están instaladas a pie de la señal (5 metros antes de la señal) y a una distancia de 300 metros antes de la señal. Al primer tipo de baliza se le denomina baliza de señal, y al segundo tipo, baliza previa.

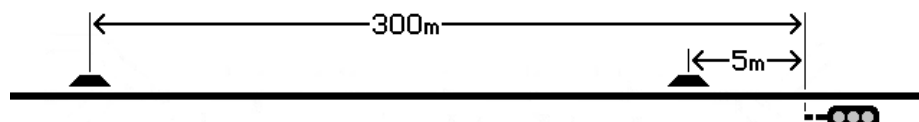


Fig 3.8: Esquema de instalación de balizas en ASFA

Las balizas están formadas por una inductancia sin núcleo y una capacitancia que oscilan a una frecuencia dada en función de la frecuencia de resonancia de sus componentes. Además, las balizas pueden ser fijas o variables mediante la entrada o la salida de capacitancias en serie, variando así la frecuencia de resonancia.

Mediante la variación de frecuencias, en ASFA las balizas emiten en 9 frecuencias diferentes, cada una de ellas con un significado distinto, aunque en un principio solo se utilizaban 4 frecuencias, con las distintas evoluciones del sistema se han asignado todas las frecuencias hasta quedar del siguiente modo:

<b>L1: 60,0kHz</b>	Anuncio de Parada y Anuncio de Parada Inmediata.
<b>L2: 64,0kHz</b>	Vía Libre Condicional y Preanuncio de Limitación Temporal de Velocidad.
<b>L3: 68,3kHz</b>	Vía Libre.
<b>L4: 72,8kHz</b>	Paso a Nivel Protegido, Fin de Paso a Nivel Protegido y Cambio de Ancho de Vía
<b>L5: 77,7kHz</b>	Preanuncio de Parada.
<b>L6: 82,9kHz</b>	Anuncio de Precaución.
<b>L7: 88,5kHz</b>	Baliza previa de Parada, Rebase Autorizado, Movimiento Autorizado y señal apagada.
<b>L8: 95,5kHz</b>	Baliza de pie de señal de Parada, Rebase Autorizado, Movimiento Autorizado y señal apagada.
<b>L9: 103,0kHz</b>	Paso a Nivel sin Protección y Anuncio de Limitación Temporal de Velocidad.

El equipo de a bordo del tren capta y procesa la información recibida para transformarla en indicaciones que deben ser atendidas por el maquinista. Está formado por el sistema de captación, el armario de proceso y control, la conexión al freno de emergencia y la interface del maquinista formada por pulsadores e indicaciones lumínicas y sonoras.

### *Funcionamiento del sistema*

#### ***ASFA convencional***

El sistema ASFA convencional informa al maquinista del aspecto de la señalización y realiza unas funciones de supervisión puntual en los siguientes tres casos, que son los únicos que contempla la versión inicial y más básica del sistema.

- Si el aspecto de la señal es verde fijo (Vía Libre) el sistema solo informará al maquinista y no requerirá de un reconocimiento de la señal por parte del maquinista.
- Si el aspecto de la señal es el correspondiente al anuncio de parada o anuncio de precaución, el sistema aparte de informar al maquinista requerirá a este el reconocimiento de la señal actuando sobre un pulsador instalado en la interfaz. El no reconocimiento en un determinado tiempo establecido produce el frenado de emergencia del tren.
- Si el aspecto de la señal es rojo (Parada), en el punto de transmisión previa (baliza a 300m) se comprueba que la velocidad del tren sea inferior a un determinado valor especificado. En el caso de que sea superior, el sistema aplica el frenado de emergencia, del mismo modo que si se rebasase la señal en rojo.
- En el caso de que la señalización permita un rebase de la señal en rojo, el maquinista deberá notificárselo al sistema mediante un pulsador de rebase autorizado.

### **ASFA200**

La primera evolución del ASFA fue el ASFA200. En un principio se planteó como una evolución simple para supervisar aquellos trenes que eran capaces de circular a 200km/h en vías convencionales, sin embargo luego se le añadió la funcionalidad de controlar la velocidad ante ciertas señales.

Para ello, mediante reglamento se creó un nuevo aspecto verde intermitente para indicar la reducción de velocidad de 200km/h a 160km/h y, además, se asignó la frecuencia L2 de ASFA para este aspecto.

En este caso, el sistema avisa al maquinista tanto al paso por la baliza previa como la de señal y le exige un reconocimiento en un tiempo de 3 segundos. Además se realiza un control de velocidad al paso por la baliza de señal, no debiendo exceder 160km/h bajo riesgo de sanción de freno de emergencia.

Como funcionalidades extra se añadió en los equipos de nueva fabricación en aquel entonces la supervisión puntual de la velocidad en las señales de precaución y anuncio de parada con sanción de freno si se superaban los límites marcados en cada caso.

Esta versión se considera sistema de respaldo en la línea de Alta Velocidad Madrid-Sevilla equipada con LZB y en la línea del Corredor Mediterráneo equipada con EBICAB 900.

### **ASFA Digital**

La evolución más reciente del sistema se denomina ASFA Digital, ya que está basada en una arquitectura electrónica e informática alejada de la arquitectura clásica de versiones anteriores.

La novedad de esta evolución es que ofrece una protección contra excesos de velocidad a lo largo de todo el recorrido recibiendo información de manera puntual mediante las balizas instaladas en la vía.

Además del anterior control sobre la velocidad, se incluyen algunas novedades más:

- Control y supervisión de la maniobra de parada ante una señal en rojo.
- Control y supervisión en los desvíos y pasos a nivel sin protección.
- Obligatoriedad de reconocimiento de todas las indicaciones por parte del maquinista.
- Creación de curvas de velocidad y de frenado.

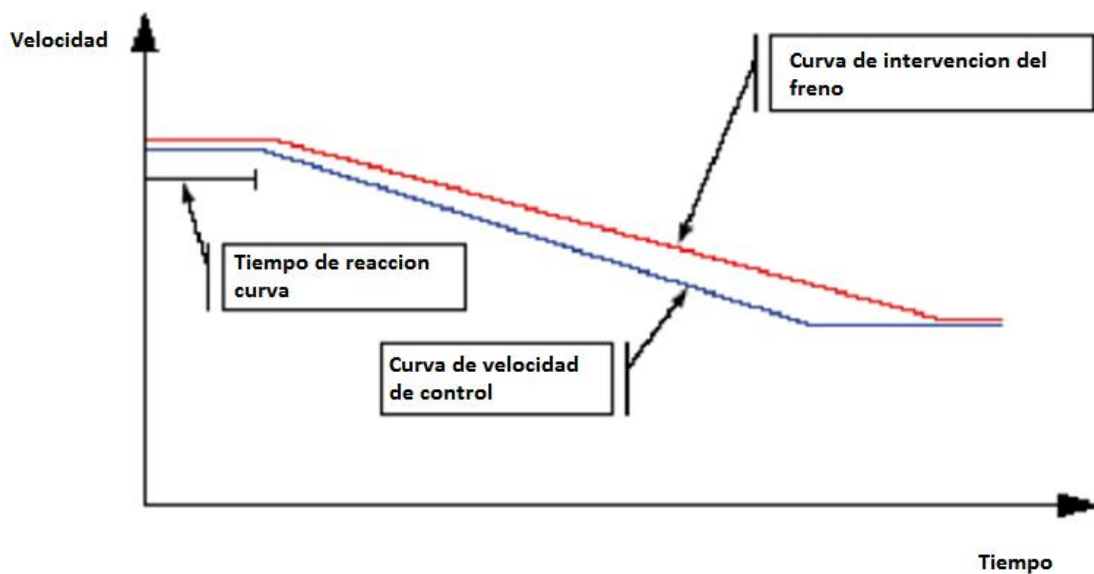


Fig. 3.9: Curvas de frenado y control tipo en ASFA Digital

### 3.2.2 LZB

El sistema LZB (Linienzugbeeinflussung) es el sistema alemán de transmisión continua de información y señalización al tren mediante lazos inductivos situados en la vía. El sistema está instalado principalmente en Alemania y sus zonas de influencia y, además, en la línea de Alta Velocidad Madrid-Sevilla.

La principal novedad y motivo por el que se eligió este sistema en 1992, cuando se inauguró la primera línea de Alta Velocidad en España, fue la comunicación y supervisión continua que ofrecía el sistema, además de introducir la conducción por objetivos. De la misma forma se le puede considerar la base del sistema de bloqueo de control automático (BCA).

### Descripción del sistema

De la misma manera que el sistema ASFA, el sistema LZB tiene un equipo en vía y un equipo a bordo.

El equipo en vía está formado fundamentalmente por un lazo inductivo. Este lazo permite una comunicación continua entre el tren y la vía con una velocidad de 1200 baudios y una frecuencia de 56kHz.

Cada lazo permite cubrir una distancia de 48km, aunque por cuestiones de seguridad y fiabilidad esta se reduce a 12,6km. Además, cada 100m se produce un cruzamiento del lazo que sirve como referencia para el sistema de odometría del tren.

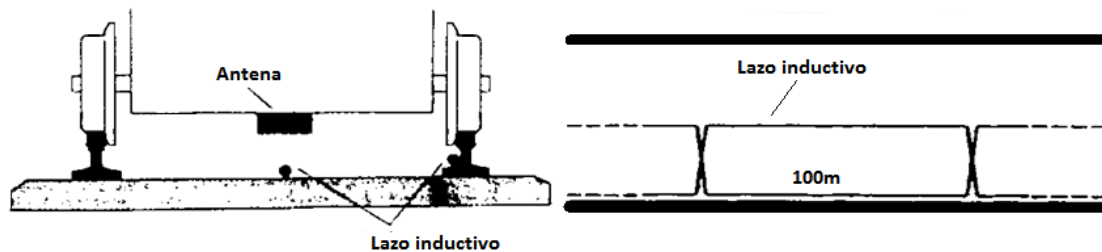


Fig. 3.10: Esquema del equipo en vía para LZB

El equipo de a bordo del tren está formado por la antena, la conexión al freno de emergencia, una interfaz humana y un núcleo central de procesamiento.

La antena tiene como función principal transmitir o recibir información a través del lazo inductivo, y como misión secundaria la sincronización del sistema de odometría del propio tren.

El núcleo del sistema a bordo del tren es un equipo basado en microprocesadores para la realización de las funciones de control y supervisión del tren. Además, se encarga de calcular las curvas de frenado y las velocidades y distancias objetivo que se mostrarán al maquinista en la interfaz.

La interfaz humana en este sistema muestra al maquinista tres indicaciones fundamentales:

- Velocidad límite: la máxima velocidad a la que el tren puede circular en ese instante.
- Distancia meta: la distancia a la que se produce un cambio de velocidad o esta es cero.
- Velocidad meta: la velocidad que debe tener el tren en ese punto.



En la parte inferior dispone de un panel luminoso y tres pulsadores, uno a la izquierda y dos a la derecha, que ejerce la función de sistema de señalización. De esa forma, mediante indicaciones luminosas, se le transmite la información al maquinista y este deberá responder mediante el reconocimiento y la actuación de la señalización.



Fig. 3.11: Interface humana (DMI) del sistema LZB

### Funcionamiento del sistema

El funcionamiento del sistema LZB es distinto al del sistema ASFA ya que el tren y su equipo no es un ente aislado que recibe información de manera puntual mediante balizas en vía. En LZB la comunicación es constante y bidireccional, lo cual hace necesario la existencia de un puesto de control central.

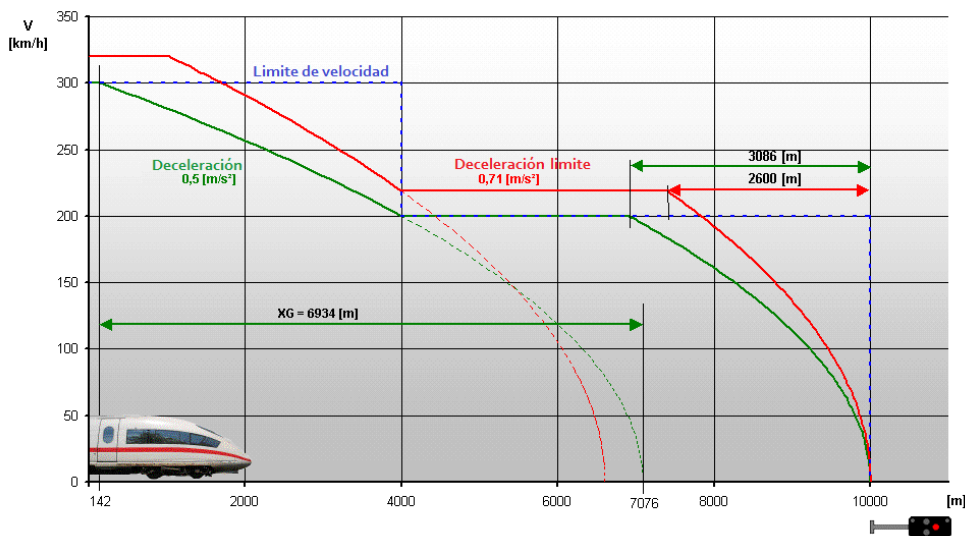


Fig. 3.12: Curvas de frenado y control tipo en LZB

El puesto de control central tiene todos los datos fijos geográficos de la zona que controla: puntos de entrada y de salida, circuitos de vía, posición de las agujas, gradientes y velocidades máximas en cada tramo. De esta manera, el tren le envía datos de su posición y el puesto de control le manda los datos que necesita para circular con seguridad. Con los datos recibidos, el equipo a bordo del tren calcula la velocidad a la que debe conducir de forma dinámica.

### 3.2.3 EBICAB 900

EBICAB es un sistema de señalización con supervisión semicontinua de la velocidad, por medio de la transmisión vía-tren de información puntual desde las balizas instaladas en vía. Deriva del sistema SLR de Ericsson y actualmente el propietario tecnológico es Bombardier.

Existen dos versiones del sistema. La primera, EBICAB 700, que está instalada en Suecia, Noruega, Portugal y Bulgaria, y una segunda, EBICAB 900, que es la instalada en la línea del corredor Mediterráneo en España.

Según RENFE/Adif se le considera un sistema de protección del tipo ATP y un sistema pre-ERTMS ya que comparte multitud de características con el sistema ERTMS/ETCS de nivel 1.

#### *Descripción del sistema*

El sistema está formado por un sistema de captación junto con un equipo de tipo ATP embarcado. El equipo embarcado pertenece a Dimetronic y utiliza un hardware de tipo TBS con arquitectura 2003. El software es un diseño específico de RENFE.

El equipo está diseñado para ofrecer una protección hasta la velocidad de 220km/h. además, el equipo tiene la particularidad de incorporar funcionalmente el sistema ASFA, de tal modo que cualquier equipo puede pasar del Corredor Mediterraneo a cualquier línea ferroviaria convencional equipada con ASFA. En caso de fallo del sistema se prevé el uso de ASFA200 como sistema en condiciones degradadas con limitación a 200km/h.

Los componentes situados en vía son una serie de balizas inductivas. Las balizas del sistema EBICAB900 son pasivas y utilizan la propia energía del captador para transmitir los datos a una frecuencia de 27MHz. Además, en contraste con el sistema ASFA, estas balizas son capaces de transmitir más de una información por frecuencia.

Estas balizas se encuentran a pie de señal y a 300m horizontales de la señal, a modo de baliza previa. Se suelen colocar entre dos y cuatro balizas por señal, a modo de garantizar la transmisión de información.

### Funcionamiento del sistema

El equipo de abordaje, utilizando la información proporcionada por las balizas de vía, calcula una serie de curvas de velocidad en toda la zona del MA para detener el tren ante una posible señal en rojo. Al paso por la siguiente baliza se actualiza la MA y se modifican las curvas para parar ante la próxima señal en rojo.

El sistema traza cuatro curvas de supervisión y control de velocidad: velocidad permitida (o límite), velocidad de aviso, velocidad de supervisión y velocidad máxima de seguridad o emergencia.

El maquinista deberá conducir el tren aproximándose lo más posible a la velocidad permitida. Si sobrepasa el valor indicado por la señalización, suena una alarma que el maquinista debe reconocer. Si la velocidad sigue aumentando y sobrepasa la velocidad de supervisión el sistema corta tracción y aplica el freno de servicio en su valor máximo hasta llegar a una velocidad por debajo de la permitida. Si la velocidad siguiese aumentando en vez de disminuir y supera la velocidad máxima de seguridad, el sistema aplica el freno de emergencia hasta detener totalmente el tren.

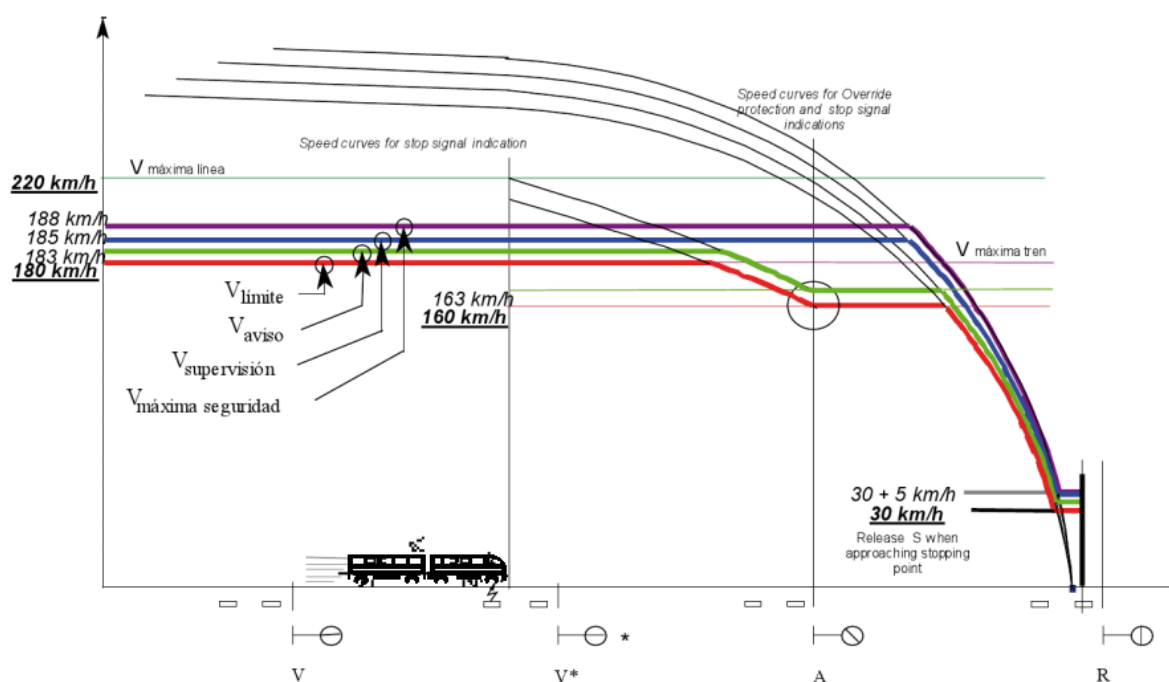


Fig. 3.13: Curvas de frenado, supervisión y control tipo en EBICAB900

En el caso de que el tren circule en condiciones degradadas el sistema de respaldo es ASFA200, y por tanto, el sistema se comportara como se ha descrito anteriormente en el apartado correspondiente a esta versión de ASFA.



## 4. ERTMS: Un sistema común para Europa

A nivel del conjunto europeo, cada país ha desarrollado su propio sistema de señalización y protección del ferrocarril. Esto hace que actualmente en las redes ferroviarias existan 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.

### Distribución ATC en Europa

- 1 ASFA/LZB 80
- 2 ATB/TBL
- 3 AWS/SELCAB/TBL
- 4 Crocodile
- 5 Crocodile/KVB/TVM
- 6 Crocodile/TBL
- 7 EBICAB/EBICAB (Fin)
- 8 INDUSI/(ZUB)/LZB 80
- 9 PZB 80/LZB 80
- 10 INTEGRA/ZUB 121
- 11 ZUB 123
- 12 BACC
- 13 INDUSI
- 14 AWS similar
- 15 BACC similar



Fig. 4.1: Distribución ATP en Europa

Por otro lado, no es posible una interoperabilidad entre los sistemas de cada país. Esto obliga a un tren transfronterizo a estar equipado con todos los sistemas de los países por donde vaya a circular o a un cambio de locomotora en la frontera.

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 sistemas de control existentes 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 o semicontinua.
- Los sistemas propios de cada país 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, estas deben ser lo más competitivas posible.
- 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 está obligado a conocer el funcionamiento de todos ellos.

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

La interoperabilidad es el principal caballo de batalla del ERTMS, sin embargo, no es la única ventaja del ERTMS. De hecho, ERTMS también ha sido diseñado para ser el sistema de control de los trenes más potentes del mundo. Por lo tanto, aporta considerables beneficios como:

- **Aumento de la capacidad en las líneas existentes:** como un sistema de señalización a base de una comunicación continua, ERTMS reduce el intervalo entre trenes que permite hasta un 40% más de capacidad de la infraestructura existente actualmente.
- **Mayor velocidad:** ERTMS permite una velocidad máxima de hasta 500 km/h.
- **Alta tasa de fiabilidad:** que se demuestra con la puntualidad, que es crucial tanto para transporte de pasajeros como de mercancías.
- **Menores costos de producción:** por ser un sistema armonizado más fácil de instalar, mantener y fabricar sistemas de toma de ferrocarril más competitivo.
- **Reducción de los costes de mantenimiento:** Con el nivel ERTMS 2, ya no se requiere la señalización en tierra, lo que reduce considerablemente los costes de mantenimiento.
- **Un gran mercado abierto de suministro:** los clientes podrán comprar equipo para la instalación en cualquier lugar de Europa y todos los proveedores serán capaces de hacer una oferta para cualquier lugar.
- **Mayor seguridad para los pasajeros:** por ser un sistema fiable y continuo.

El desarrollo del sistema ERTMS se enfocó inicialmente en conseguir un “subset”, el ECTS (Sistema de Control de Tren Europeo o *European Train Control System*) que comprendía los siguientes subproyectos: Euroradio, Eurocabin y Eurobaliza. Al mismo tiempo y dentro del paraguas del ERTMS, se desarrolla el sistema de comunicaciones GSM-R, basado en el GSM, que debía proporcionar el soporte de radio tanto vocal como de datos al sistema.

El desarrollo del proyecto ECTS se encarga a un grupo de empresas, todas ellas propietarias de los diferentes sistemas de señalización en cabina existentes y con amplia experiencia probada. Estas empresas debían poner en común todos sus conocimientos en los diferentes sistemas de ATP europeos para lograr la interoperabilidad, como objetivo primordial de la UE.

Después de largos años de trabajo, se desarrolla el sistema ERTMS/ETCS cuyas principales características se pueden resumir en:

- ERTMS/ETCS es un sistema automático de control (protección) de trenes formado por un subsistema a bordo del tren (Eurocabina) y otro en vía (Eurobaliza).
- Estos sistemas se comunican entre sí a través de balizas, lazos y radio por medio de unos interfaces estándar, utilizando protocolos estándar y realizando funciones estándar.
- Existe un interface estándar con los sistemas de señalización nacionales que permite la transición de un sistema nacional al sistema ERTMS.

ETCS es un sistema de control y protección de tren con tres niveles de aplicación pensados de tal forma para que progresivamente pueda accederse desde la aplicación más sencilla, Nivel 1, a la más compleja, Nivel 3.

Como uno de los objetivos prioritarios es la interoperabilidad entre equipos de diferentes fabricantes. Se establecen unos interfaces estándar que permiten circular trenes con equipos de diferentes fabricantes por líneas instaladas con equipos de también diferentes suministradores.

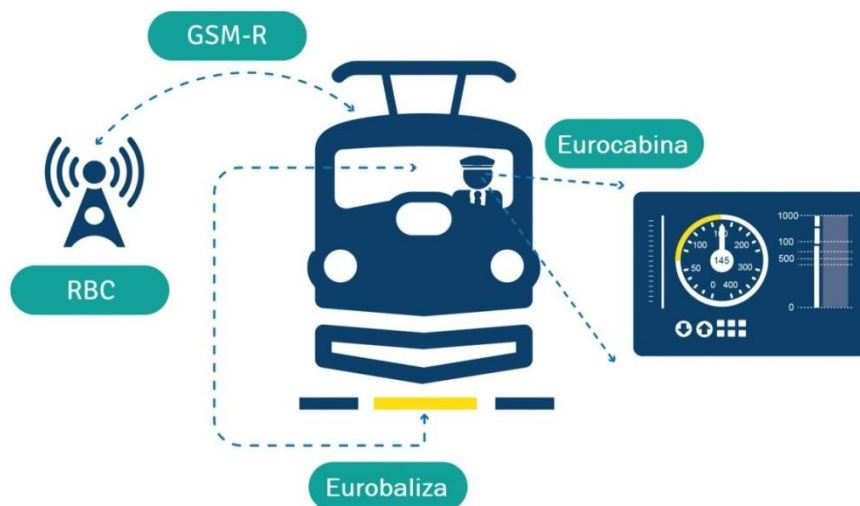


Fig. 4.2: Esquema del sistema ERTMS/ETCS

Para permitir el funcionamiento de los trenes equipados con ECTS en las zonas en las que ya existiera un equipo nacional de señalización, se definió otro interface



estándar entre la Eurocabina y los módulos específicos de los sistemas ya existentes en la UE.

Estos módulos se les conoce como STM (*Specific Transmission Module*) y que permiten la captación de las señales del sistema nacional de señalización, pasando esta información a la Eurocabina en donde es procesada de la forma más compatible posible para mantener una cierta normalización.

## 4.1 Antecedentes

Desde el año 1957 se comienza a hacer referencia a la necesidad de tener un sistema armonizado transeuropeo (tratado de Roma). Las enormes diferencias en las políticas de transporte de los distintos países lo hacen de momento imposible.

En el terreno político europeo y 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, 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 requisitos base para el desarrollo industrial. El marco del proyecto incluía un nuevo equipamiento a bordo basado en una arquitectura abierta de ordenadores (EUROCAB), 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 obtuvieron 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.

## 4.2 Prescripciones normativas

Como resultado 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. Estas especificaciones son actualmente libres y están bajo control de la ERA (*European Railway Agency*).

### 4.2.1 Conceptos básicos

Con el ERTMS se introducen dos nuevos conceptos dentro del ámbito de la señalización ferroviaria, que son las siguientes:

- Interoperabilidad
- Intercambiabilidad

#### Interoperabilidad

Se puede definir la interoperabilidad como la suma de dos conceptos complementarios que se definen a continuación:

- Capacidad de que un tren dotado con un equipo de a bordo ERTMS de cualquier fabricante, de ser capaz de recorrer tramos de vía equipados con equipos ERTMS de otros fabricantes distintos. Esta capacidad se refiere más bien a una característica física, por la cual dos equipos de diferentes compañías son capaces de comunicarse.

- Cualquier equipo de abordó en cualquier vía se comporte siempre igual bajo las mismas circunstancias.

Como ejemplo de sistemas interoperables destaca el GSM, donde es posible llamar desde el teléfono móvil de un fabricante al de otro, intercambiar entre dos terminales la tarjeta SIM incluyendo el directorio de teléfonos o llamar entre diferentes redes de compañías distintas.

Sin embargo, aunque los equipos sean interoperables no está garantizado el que se puedan compartir accesorios como cargadores de batería. Tampoco está garantizado el que se puedan usar las mismas teclas o menús para activar una función (menús y displays son diferentes).

Este comportamiento traducido al ERTMS se podría decir cómo, un equipo de abordó recibe información de rojo desde la vía, entiende que es el aspecto rojo y reacciona frenando como está especificado según el reglamento.

### **Intercambiabilidad**

La intercambiabilidad es la capacidad de cambiar entre sí componentes del ERTMS realizados por distintos fabricantes. Para que esta característica pueda realizarse hay que definir de forma completa los interfaces entre los distintos componentes que puedan llegar a ser intercambiables unos por otros aunque sean de diferentes fabricantes.

La intercambiabilidad tiene como ventajas la reducción del precio de los componentes del ERTMS, ya que se reduce el monopolio de las empresas en ciertas infraestructuras al aumentar la oferta y la competencia entre los suministradores. En este aspecto las grandes compañías del sector son reticentes a la intercambiabilidad, intentando por sus medios el retraso de la implantación de esta característica.

## **4.2.2 Organismos oficiales**

### ***UIC: Unión Internacional de Ferrocarriles***

La Unión Internacional de Ferrocarriles (conocida por la sigla UIC, del francés *Union Internationale des Chemins de Fer*) es la asociación mundial para la cooperación entre los principales actores del sector ferroviario internacional.

Fundada en 1922 con el objetivo de avanzar hacia la estandarización y la mejora de los sistemas de construcción y explotación de ferrocarriles interoperables, en la actualidad acoge en su seno a 171 miembros, entre ferrocarriles nacionales,

operadoras, administradores de infraestructura, compañías de transporte público y otras.

En los últimos años la organización ha rediseñado sus objetivos y ha puesto especial énfasis en cuestiones como la liberalización y globalización del sector ferroviario mundial, o los nuevos retos que le plantea al ferrocarril su papel clave en un escenario de desarrollo sostenible y lucha contra el cambio climático. Su sede se halla en la *rue Jean Rey* (75015), n.º 16 de París, Francia.

### **Objetivos**

Según consta en sus estatutos, la UIC tiene como objetivos:

1. Asegurar la cooperación ferroviaria internacional a nivel mundial.
2. Reforzar la competitividad y el desarrollo global del transporte ferroviario.
3. Representar y promover los intereses del transporte ferroviario a nivel mundial.
4. Fomentar las sinergias entre las distintas entidades globales para el desarrollo del transporte ferroviario.

### **Presencia española**

Entre sus miembros están las instituciones ferroviarias españolas. Como miembros activos se encuentra Adif y Renfe Operadora y como miembros asociados están *Eusko Trenbideak* - Ferrocarriles Vascos S.A., Renfe-Feve y Ferrocarriles de la Generalidad de Cataluña.

### **UNISG: Union Industry of Signalling**

UNISIG es un grupo de trabajo de la UNIFE (Asociación de la Industria Ferroviaria Europea). Fue fundado en 1998 con el objetivo de crear las especificaciones de ERTMS / ETCS. De 1999 a 2007, se emitieron las especificaciones ERTMS / ETCS de UNISIG, siendo la base especificación de requisitos del sistema creado, SRS, y la especificación de requisitos funcionales, FRS.

Los miembros titulares y fundadores son las siguientes empresas de seguridad ferroviaria y señalización: Alstom, Ansaldo STS, Bombardier, Invensys, Siemens, Thales. Desde 2014 también son AZD Praha (Miembro asociado desde 2009) y CAF (Construcciones y Auxiliar de Ferrocarriles) (Miembro asociado desde enero de 2012).

Dentro de UNISIG hay varios grupos, formados cada uno por miembros de las diferentes compañías. Cada uno de los grupos está a cargo de diferentes partes de la especificación, los requisitos funcionales, requisitos de seguridad, exigencias

técnicas a cumplir por cada uno de los equipos, pruebas de validación del sistema, etc.

Las especificaciones contienen requisitos para ambos módulos, el de abordó y el de vía. El trabajo del grupo está en constante evolución, intentando incluir los avances técnicos que puedan aplicarse en el sector e incluir soluciones a los errores o imprecisiones que aparezcan durante el desarrollo del trabajo en cada uno de los proyectos nacionales.



Fig. 4.3: Compañías que conforman UNISIG

#### *Comité Europeo para la Normalización Electrotécnica (CENELEC)*

CENELEC, como ya se ha mencionado en el apartado 2.3.1, se creó en 1973 como resultado de la fusión de dos organizaciones europeas: CENELCOM y CENEL. En la actualidad, CENELEC es una organización técnica sin ánimo de lucro, amparada por la legislación belga y compuesta por Comités Electrotécnicos Nacionales de 33 países europeos miembros y 12 países afiliados.

Su objetivo es preparar las Normas que ayuden a desarrollar un mercado único europeo en bienes y servicios eléctricos y electrónicos, eliminando barreras comerciales, reduciendo costes y creando nuevos mercados.

Para lograr su objetivo, CENELEC se ha comprometido a satisfacer las necesidades de la industria europea en las áreas de normalización y evaluación de productos. Otro compromiso de la organización es dirigir las mejoras de todos los aspectos de calidad y seguridad de productos y servicios, incluyendo la protección del medio ambiente.

### El grupo de Usuarios ERTMS

Constituido por las administraciones ferroviarias de Alemania, Francia e Italia a las que posteriormente se unieron en el año 1998 las de España, Holanda y Reino Unido. En 2006 se unieron Suiza y Suecia.

Tiene por objetivos:

1. Probar la viabilidad del uso de la telefonía móvil para cubrir los requisitos del ATP (protección automática de trenes en castellano), aligerando el peso de las instalaciones fijas. Esto se llevó a cabo con un subproyecto experimental con tres bases de ensayo en Alemania, Francia e Italia. Proyecto MORANE, que ya ha finalizado con éxito.
2. Definir los requisitos funcionales del sistema: Escritura y revisión de las FRS (*Functional Requirements Specification*).
3. Armonización de las reglas operacionales y estudio del impacto del factor humano en la seguridad: Aseguramiento de la interoperabilidad operacional.
4. Definición de la tasa de fallos admisible del sistema (THR).
5. Afianzamiento de la interoperabilidad operacional.
6. Comprobación experimental en líneas piloto en cada uno de los países del consorcio.
7. Enlace con los primeros proyectos comerciales, establecimiento de especificaciones interoperables en los mismos.

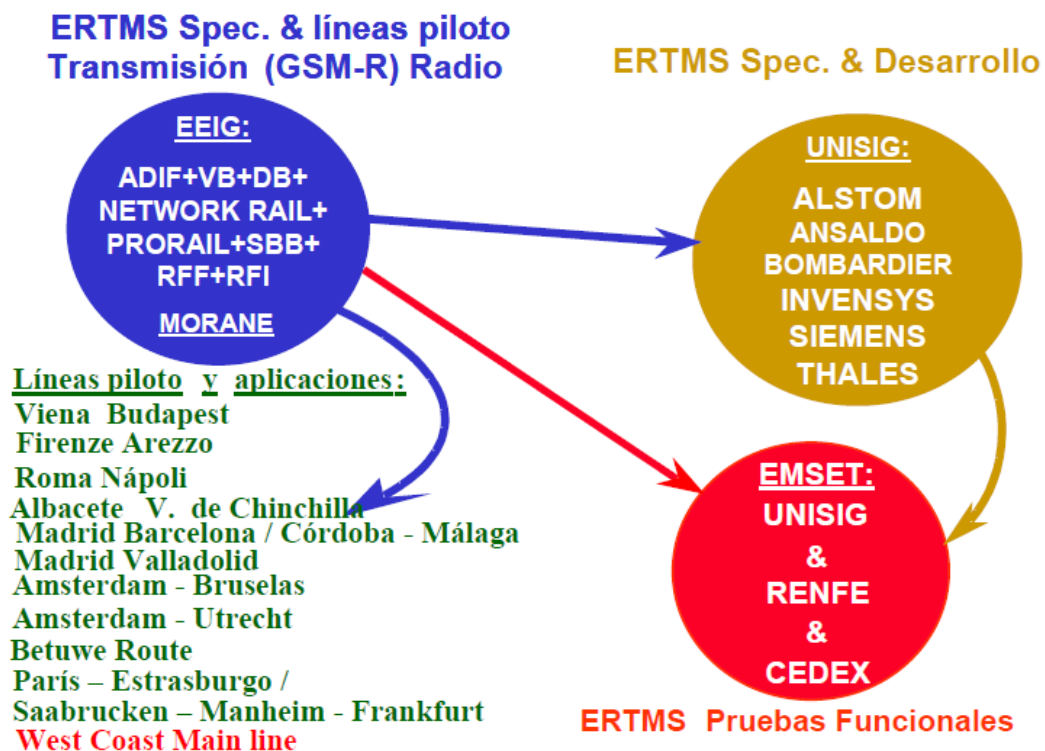


Fig. 4.4: Desarrollo e integrantes del ERTMS

### 4.3 Aspectos operativos

Partiendo de que el sistema ERTMS/ETCS se encuentra definido por UNISIG en el documento “Especificación Requisitos del Sistema” (SRS), donde se definen unas determinadas funciones llamadas de Clase 1. Estas son el mínimo de funciones necesarias y acordadas para garantizar la interoperabilidad del sistema ERTMS/ETCS. Aquellas funciones que no estén incluidas en la definición, se definen como funciones nacionales.

La función del sistema ERTMS/ETCS está basada en la información que le proporcionan los sistemas de señalización. La función del sistema es impedir que los trenes pasen con una velocidad inapropiada por ciertos puntos y rebases no autorizados de señales en rojo. Con este objetivo, el sistema ERTMS/ETCS proporciona las siguientes funciones de protección del tren:

- Contra excesos de velocidad.
- Contra rebase indebido de una señal de parada.
- Contra marcha atrás.
- De Pasos a Nivel.
- Cuando existan paradas prolongadas.

#### 4.3.1 Niveles de operación

El sistema ERTMS/ETCS se configura para operar en cinco niveles distintos. Se consideran tres niveles principales, correspondientes a los niveles 1, 2 y 3, y dos niveles complementarios llamados nivel 0 y nivel STM. Estos niveles dependen del equipamiento instalado.

El ERTMS/ETCS de nivel 1 está basado en la transmisión al tren desde balizas situadas en la propia vía con la información necesaria para la conducción. Este nivel es uno de los más sencillos en su implantación y se considera como un sistema puntual de supervisión continua. Además, este nivel es el más similar a un sistema tradicional de señalización.

El ERTMS/ETCS de nivel 2, aparte de utilizar las mismas balizas que el sistema de nivel 1, también recibe información de forma continua vía radio (GSM-R). La información que recibe es aquella que necesite para circular. La señalización lateral en este nivel es opcional.

El ERTMS/ETCS de nivel 3 aún está en fase inicial de aplicación. Este nivel se corresponde con un sistema de tipo *Moving Block* o de cantón móvil. Del mismo modo que en el nivel 2 existe una comunicación continua vía radio con el tren pero

ya no es necesaria una señalización lateral. Además, en este nivel el tren es capaz de auto-localizarse aunque utilice las eurobalizas para sincronizarse. Lo que se pretende en este nivel es optimizar la capacidad de las líneas y reducir todavía más la cantidad de equipo en la vía.

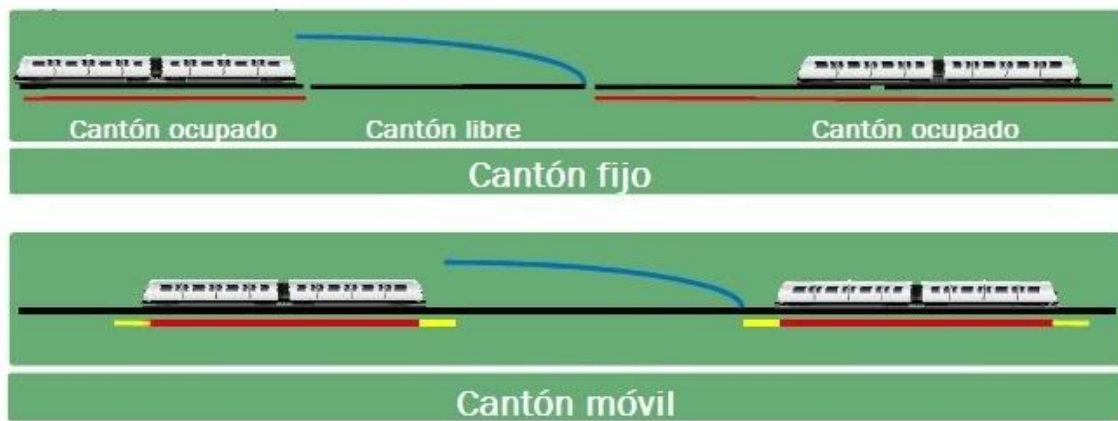


Fig. 4.5: Comparativa entre cantón fijo y móvil

Cada nivel del ERTMS mejoraría las funcionalidades del anterior permitiendo menores intervalos entre trenes, es decir aumentando la capacidad de la infraestructura, y reduciendo los equipamientos de campo. El ERTMS nivel 1 permite circulaciones hasta el entorno de los 300 km/h y el ERTMS nivel 2 de los 350 km/h.

El nivel 0 del sistema ERTMS/ETCS se corresponde con un tren equipado con el sistema europeo común que recorre una línea no equipada. Es el nivel más básico y el que ofrece menor supervisión.

El nivel STM se corresponde con un tren equipado que circula por una línea que está equipada con el sistema de señalización nacional que corresponda.

Cada administración ferroviaria, dependiendo de sus necesidades o de la inversión que desea hacer en ese momento puede optar por usar uno o varios niveles de operación en su red ferroviaria. Además, otro aspecto que influye en la implantación del sistema es la estrategia de la compañía explotadora o del estado de actualización de la instalación.

Las necesidades que puede tener un área donde se va a instalar ERTMS se podrían clasificar en:

- Líneas nuevas con trenes también nuevos, donde se puede instalar el nivel deseado de ERTMS directamente según las necesidades del sistema (frecuencia trenes, nivel de tráfico exigido, etc.). Este es el caso más sencillo, ya que ambos sistemas (vía y abordó) son totalmente compatibles y la instalación es partiendo de cero.



- Líneas que están siendo renovadas, donde hay un sistema tradicional ya instalado y tendrán que definirse las transiciones entre áreas con el sistema tradicional y áreas donde se haya instalado ya el sistema ERTMS.
- Líneas con tráfico mixto, donde habrá trenes con ERTMS instalado a bordo y trenes con el ATP tradicional. La vida media de un ATP es de 20 años, por lo tanto es muy probable que durante bastante tiempo va a haber una convivencia con trenes con ATP's antiguos, hasta que se actualicen a ERTMS o incluso puede que no se lleguen a actualizar nunca.
- Líneas con poca circulación o de poca rentabilidad donde no se quiere hacer una inversión en elementos de vía y ahorrar en instalación y mantenimiento.

La lista anterior puede ser muy grande y cada caso especial, por esa razón, a la hora de instalar el equipo de ERTMS ha de estudiarse cada caso en particular.

#### **4.3.1.1 ERTMS/ETCS Nivel 0**

El nivel 0 surge de la necesidad de ponerle un nombre a la ausencia de nivel de ERTMS. Se da en líneas donde no haya instalado ningún sistema de ATP nacional pero tenga circulación de trenes equipados con sistema ERTMS, como por ejemplo en líneas antiguas que unan líneas más modernas donde se haya instalado ERTMS.

También puede ocurrir que líneas donde se esté instalando el equipo de vía ERTMS de cualquier nivel, pero no esté todavía disponible o esté temporalmente fuera de servicio, ya sea por necesidades de la circulación o políticas.

El nivel 0 permite a un tren equipado con ERTMS continuar circulando a pesar de encontrarse en una zona sin equipamiento de vía ERTMS. Este caso se da sobre todo al principio de la implantación de ERTMS, cuando este sistema esté ya operativo en ciertas líneas y en otras no. Evita que se tenga que aislar el equipo para poder transitar por áreas fuera del control de ERTMS y además ofreciendo cierto grado de supervisión.

En el Nivel 0 el maquinista es el único responsable de la seguridad del tren. El equipo proporciona un cierto grado de mínimo control sobre las acciones del maquinista y de ayuda a la conducción, pero el mayor responsable sigue siendo el maquinista.

Originalmente en ERTMS nivel 0 no se hacía ninguna supervisión, pero se han ido añadiendo ciertas funciones de seguridad. Actualmente, el nivel 0 proporciona las siguientes funciones:

- Control de la velocidad del tren hasta un valor máximo definido por la autoridad ferroviaria nacional. Este valor depende totalmente del área de



explotación (o del país), de las reglas operacionales previamente existentes y de la circulación que vaya a tener el área. En España esta velocidad está fijada en 140 km/h, mientras que en otros países europeos es de 100km/h.

- Gestión de la entrada en zonas equipadas con otros niveles de manera interoperable.
- Gestión de las restricciones temporales de velocidad, donde el equipo es capaz de supervisar estas restricciones.

#### ERTMS/ETCS Nivel de aplicación 0

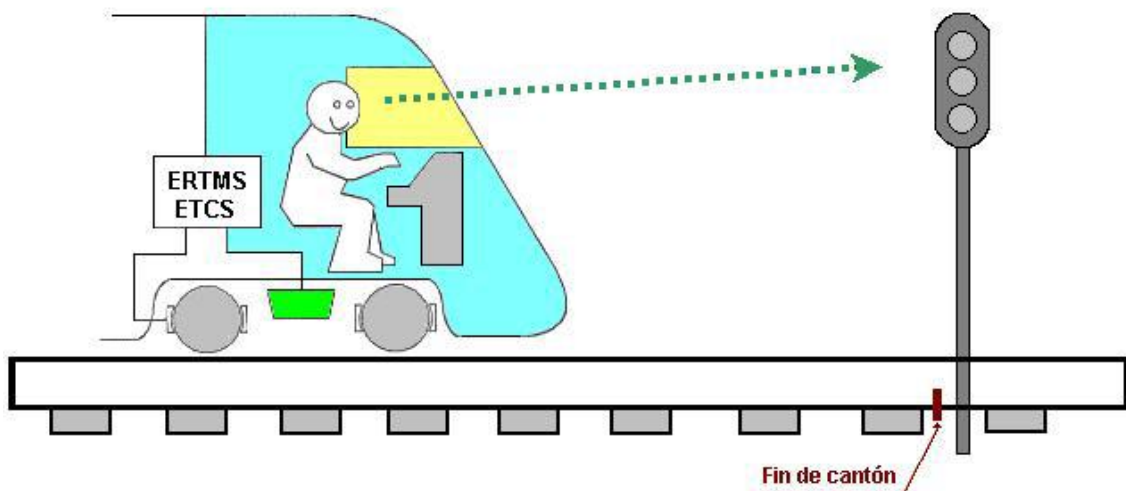


Fig. 4.6: ERTMS/ETCS Nivel 0

#### 4.3.1.2 ERTMS/ETCS Nivel 1

El nivel 1, como ya se ha indicado, es un sistema puntual de protección con supervisión continua. Esto es así porque la información la recibe de las balizas de vía y controla su cumplimiento hasta el siguiente punto de recogida de información.

La experiencia acumulada en estos sistemas durante años por las diferentes compañías ferroviarias ha permitido definir con garantías de éxito este nivel. Este nivel ha sido, relativamente, el más fácil de especificar, no a nivel funcional ya que ERTMS ha introducido algunos conceptos nuevos o a generalizado conceptos particulares, sino a nivel de interfaces entre el tren y la vía.

Consiste en la transmisión desde las eurobalizas situadas a pie de la señal de la información que necesita la eurocabina para proporcionar al maquinista toda la información necesaria para conducir el tren con seguridad. Por otra parte esta no es la única información que se le proporciona al maquinista, pues en este nivel todavía es necesaria la señalización lateral y el maquinista debe ser sensible a esta.

En el caso de que por distracción o equivocación del maquinista no cumpla la señalización o los límites de velocidad, el equipo de ETCS embarcado (eurocabina) aplica el freno de servicio y si es necesario el freno de emergencia, previos avisos correspondientes, para cumplir la señalización existente.

Las eurobalizas son balizas del sistema ERTMS/ETCS que son el medio puntual de comunicación entre la vía y el tren, y pueden ser fijas o conmutables. Las eurobalizas están ubicadas a pie de vía y agrupadas en conjuntos de al menos dos para poder determinar la dirección del tren. Para cada señal se instalan normalmente cuatro balizas, dos de control muy cercanas a la señal y dos fijas a una distancia en torno a los 500 metros.

Dado que las balizas están conectadas entre sí y con el enclavamiento, estas reciben la información de las características geográficas de la ruta establecida y el aspecto de la señal correspondiente. Esta información variable en cada momento se transmite a las balizas mediante los equipos específicos LEU (*Line Encoder Unit*).

**ERTMS / ETCS Nivel de aplicación 1 sin avance de la información**

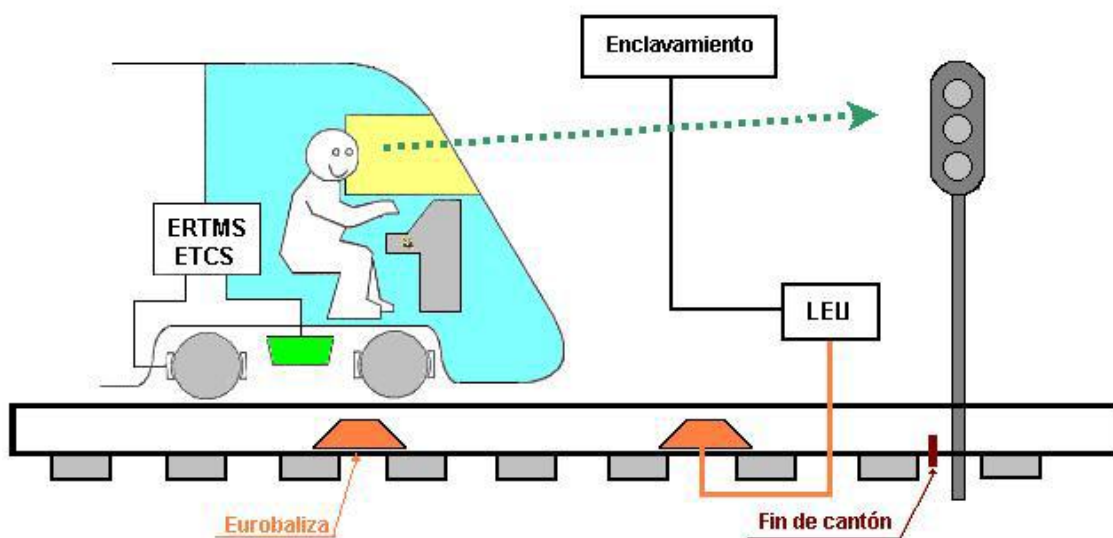


Fig. 4.7: ERTMS/ETCS Nivel 1 sin avance de información

La información transmitida por las eurobalizas es utilizada por la eurocabina para calcular la velocidad máxima permitida de conducción y el punto de aplicación del freno, todo esto en función de las características de deceleración propias de cada tren.

La posición del tren es detectada por los circuitos de vía, existentes todavía en este nivel, o por los sistemas propios del tren. Los sistemas propios instalados en el tren constan de un odómetro, que va contando distancia recorrida. Como estos sistemas de odometría tienen una tasa de error que a la larga puede ser

considerable, el sistema de abordaje se comunica en ciertos puntos con balizas de localización que sincronizan las distancias de ambos sistemas.

Una segunda versión del Nivel 1 es la que cuenta con avance de información. En caso de utilizarse un avance de información con eurolazo. El eurolazo es un medio semicontinuo de transmisión basado en un cable radiante tirado por el medio de la vía y que puede ser leído por la misma antena que la utilizada para las eurobalizas.

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, mediante la lectura del eurolazo. Así se anticipa al tren los cambios en una señal fija fundamental y evitar procesos de frenado innecesarios.

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.

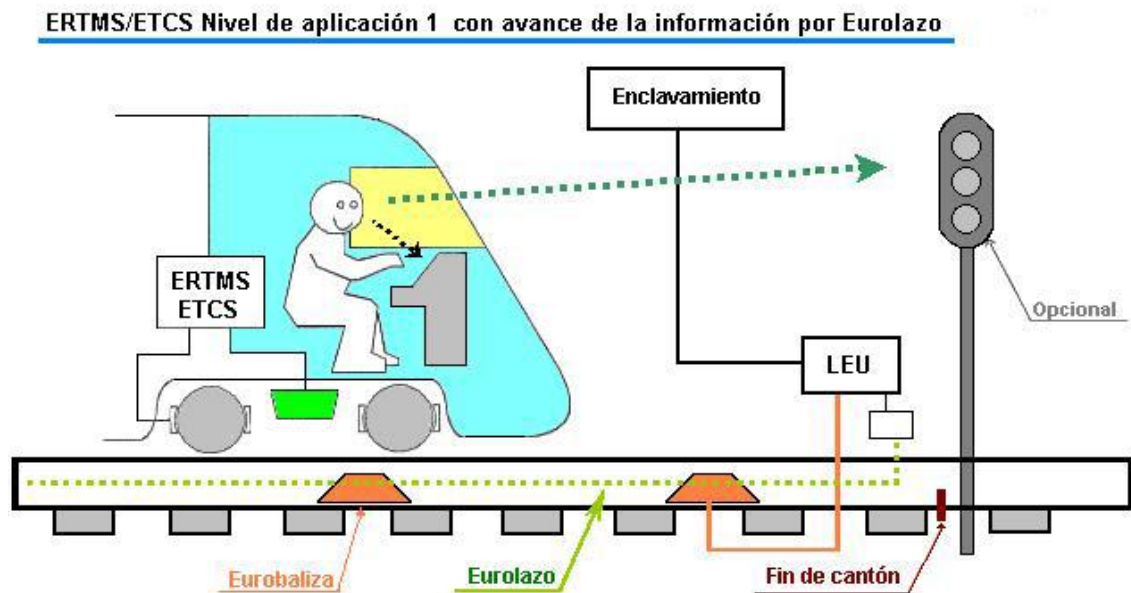


Fig. 4.8: ERTMS/ETCS Nivel 1 con avance de información

### 4.3.1.3 ERTMS/ETCS Nivel 2

La segunda opción de funcionamiento lo constituye el nivel 2 del sistema ERTMS/ETCS. El nivel está basado en el envío de información desde la vía al tren de forma continua, con lo cual el equipo de abordaje tiene información instantánea de cualquier cambio en el estado de la vía.

En este nivel, la información necesaria para la conducción del tren se recibe vía radio de forma continua desde el RBC (*Radio Block Centre*). El RBC está situado a

nivel de vía y se comunica con el enclavamiento que establece de forma segura la ruta del tren.

De la misma forma que el tren recibe información también se puede comunicar con el RBC, por lo tanto, es una comunicación bidireccional. Esta comunicación es posible gracias al sistema GSM-R.

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 información que envía el RBC al tren es, además de los datos geográficos de la ruta seleccionada por el enclavamiento, la distancia al próximo obstáculo en la ruta bien sea el circuito de vía o cantón ocupado por el tren que le precede u otro obstáculo que impida o limite su movimiento. A esto se le llama Autoridad de Movimiento o como se dice en inglés *Movement Authority* (MA).

Por otra parte, las señales laterales ya no son necesarias. La información de conducción que recibe el sistema embarcado del ETCS, eurocabina, desde el RBC es presentada al maquinista a través del DMI (*Driver Machine Interface*) situado en el pupitre de conducción.

El maquinista debe conducir en base a esta información y si no atendiera las indicaciones que recibe en el DMI, la eurocabina y el sistema le avisan en primer lugar, y si no reacciona, se aplica el freno de servicio. Si fuese necesario, el sistema aplica el freno de emergencia automáticamente para detener el tren ante el punto de peligro.

La detección de la posición del tren se sigue realizando por el mismo sistema que en el nivel 1. Se siguen utilizando los circuitos de vía y la ubicación precisa se sigue realizando mediante los equipos de odometría instalados junto con las balizas de posición.

El equipo de odometría se encarga además del control en cada momento de la velocidad del tren y supervisarla con la velocidad máxima de la vía. Además este control de la velocidad permite mejores curvas de frenado del tren.

La mejora principal de este nivel respecto al anterior es que el control del tren se hace 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.

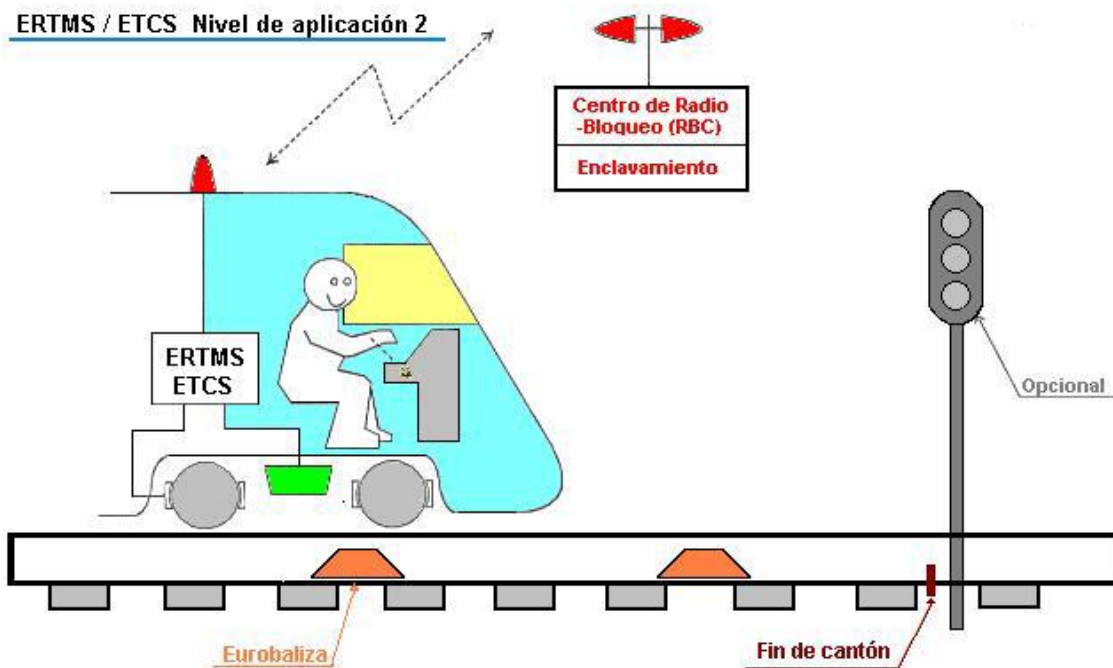


Fig. 4.9: ERTMS/ETCS Nivel 2

#### 4.3.1.4 ERTMS/ETCS Nivel 3

El tercer modo de funcionamiento lo constituye el nivel 3, siendo el nivel más sofisticado del sistema.

Este nivel es un sistema de protección continuo, en el que ya no se requieren circuitos de vía para determinar la posición del tren. La eurocabina se autolocaliza mediante los equipos de odometría y envía esta información al RBC que la utiliza como referencia para el resto de trenes. Se siguen utilizando las balizas de posición para corregir posibles variaciones en el sistema de odometría.

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. Así se introduce el sistema de cantón móvil del que antes se ha hablado.

Además, en este nivel es totalmente prescindible la señalización lateral debido en parte a las velocidades que se alcanzan. Estas altas velocidades hacen muy difícil la visualización de la señalización lateral por parte del maquinista debido al efecto túnel. Es por ello que es prescindible ese tipo de señalización y, además, esta ya se muestra en el DMI de la eurocabina.

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. Se está

investigando en ello para ofrecer la mejor solución. Varios grupos apuestan por el uso de GPS para reportar la posición de la cabeza y además de la cola del tren, aunque los errores de localización a altas velocidades del sistema GPS ha sido hasta ahora considerable, además de que la cobertura de los satélites es peor precisamente en las zonas donde los trenes necesitan mayor seguridad en la precisión de la localización, como vaguadas y túneles.

Actualmente mismo la única solución viable y funcional, pero cuya aplicación es local, son los contadores de ejes aunque solo se suelen instalar en áreas de riesgo y en aquellos lugares donde no es rentable o posible instalar circuitos de vía.

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. Además, se obtendrá también un gran incremento de la capacidad de tráfico (se calcula en torno a un 20% más), 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.

Otra ventaja del nivel 3 es el ahorro en infraestructura y mantenimiento. Se calcula que al prescindir de señalización lateral y de circuitos de vía, el ahorro es que se alcanza es de un 50%.

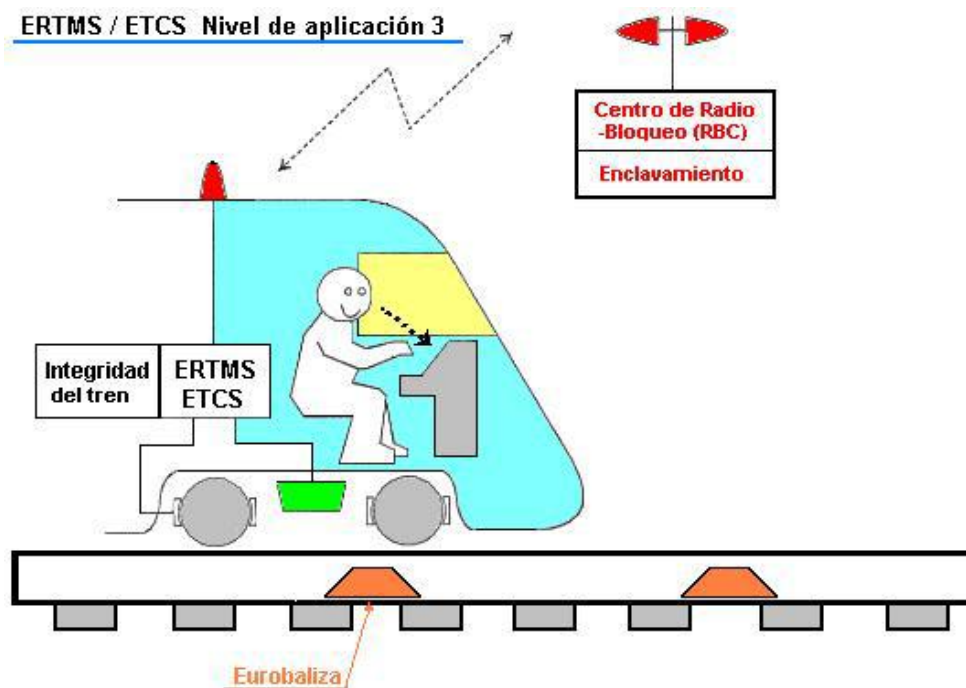


Fig. 4.10: ERTMS/ETCS Nivel 3

### 4.3.1.5 ERTMS/ETCS Nivel STM

Uno de los objetivos del sistema ERTMS/ETCS, como ya se ha dicho, es la interoperabilidad del sistema. Esta interoperabilidad requiere que se dote al ETCS de los medios necesarios para que los trenes equipados con ETCS puedan circular también por aquellas líneas no equipadas con el sistema común europeo y así permita una solución de continuidad operacional.

Para este propósito se diseñan los módulos STM (*Specific Transmission Module*) que permiten la captación de señales provenientes de los sistemas de protección nacionales y, a través de unos interfaces estándar, pasar la información a la eurocabina. Así se permite realizar las funciones de protección del tren en una zona de protección nacional.

Si no se dispusiese de este sistema, un tren transfronterizo estaría obligado a estar equipado con todos los medios de captación de los sistemas nacionales de cada zona.

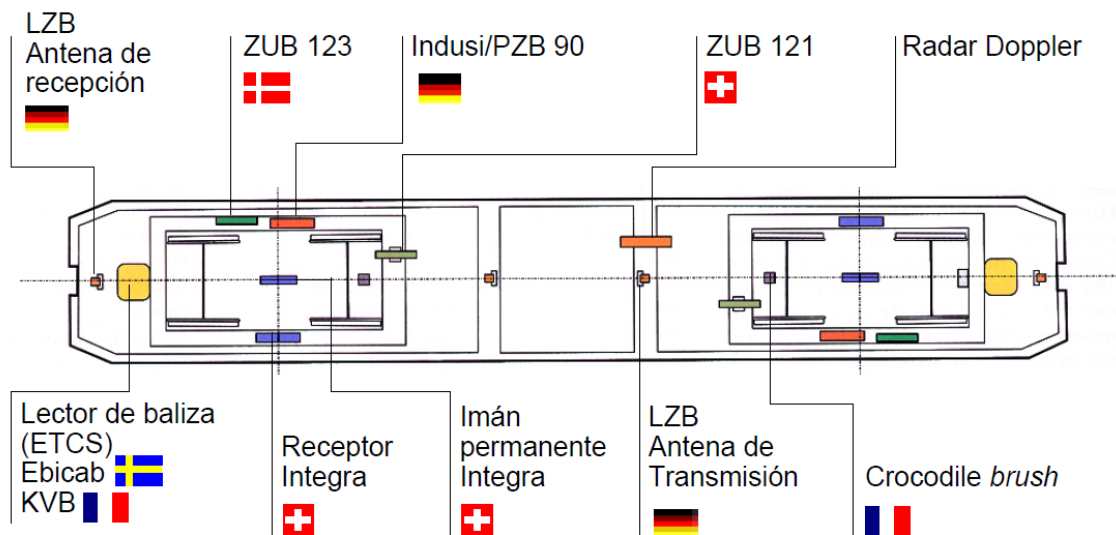


Fig. 4.11: Equipamiento de un tren transfronterizo sin ERTMS/ETCS

Con este sistema de nivel STM se permite el funcionamiento con el sistema nacional ya sea solo en un tramo isla o durante todo el recorrido. El cambio entre el sistema nacional o el ERTMS/ETCS es automático cuando la eurobaliza del tramo sea captada.

La señalización óptica lateral puede o no ser necesaria, dependiendo de la funcionalidad brindada por el sistema nacional. De la misma forma, 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 y tipo de supervisión es equivalente al brindado por el sistema nacional subyacente, y nunca podrá ser superior a este.

Las funciones de localización del tren y de detección de su integridad son llevadas a cabo por equipo externo al sistema ERTMS / ETCS. Normalmente suelen estar llevadas a cabo por los circuitos de vía o tramos de contadores del sistema nacional.

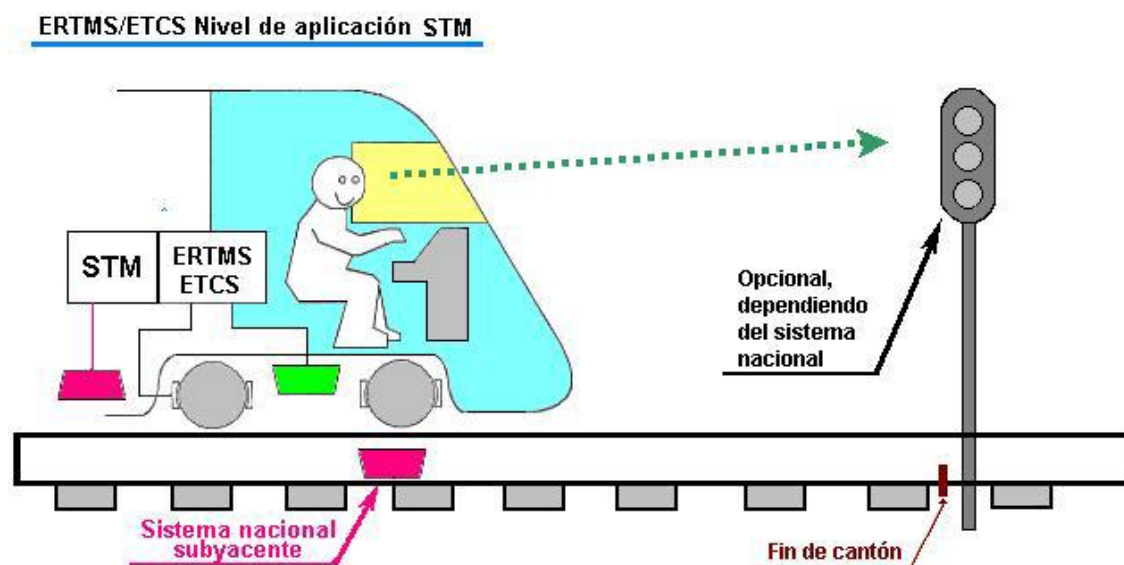


Fig. 4.12: ERTMS/ETCS Nivel STM

### 4.3.2 Transición entre niveles

Como una línea puede estar equipada con diferentes niveles de ERTMS, se hace necesario definir de qué manera se da el paso de un nivel de operación a otro.

Todo esto es responsabilidad de la vía, ya que es la encargada de informar al equipo de a bordo de que está entrando en una nueva área y proporcionarle la información necesaria para entrar en el nuevo nivel y conociendo el nivel al que va a entrar.

Debido a los diferentes estados de implantación del sistema ERTMS que un tren puede encontrarse en la vía se ha visto en la necesidad de definir una serie de normas para que las transiciones de nivel se lleven a cabo de manera correcta para el tren o la circulación asegurando que el tren que entra en el nuevo área tiene toda la información necesaria para realizar la transición.



Toda transición está compuesta por un anuncio y una orden de transición. El anuncio debe de ser anterior al punto de entrada en la nueva área y este permite al equipo de ERTMS prepararse para entrar en la nueva zona de distinto nivel. La distancia a la cual hay que anunciar el nivel depende del nivel en cuestión al que se va a entrar, ya que dependiendo del nivel hay que hacer más o menos acciones:

- Nivel 2/3: conectar con el RBC y recibir información necesaria para entrar en el nuevo área.
- Nivel 1: la información se recoge simplemente por la baliza del nuevo área.
- Nivel STM: activar el módulo STM solicitado por la vía y permitir al STM recibir información necesaria para entrar en el nuevo área.
- Nivel 0: no se requiere ninguna acción.

En el borde del área de la transición es obligatorio colocar un grupo de balizas para corregir errores de localización y asegurar que se ejecuta la transición en el punto que se debe (normalmente significa un cambio de responsabilidad), por si acaso se hubiera perdido el anuncio o borrado.

Dependiendo del tipo de transición será necesario o no el reconocimiento de dicha transición por parte del maquinista. Las transiciones de nivel se reconocen cuando supone un aumento del grado de responsabilidad del maquinista y disminuye la del equipo. Es decir, no son solamente para informarle sino para que el maquinista tome conciencia de su nueva responsabilidad:

- Nivel 2 a nivel 1, se reconoce
- Nivel 1 a nivel 0, se reconoce

En cambio, para un aumento de nivel donde el equipo adquiere mayores responsabilidades no es necesario un reconocimiento por parte del maquinista. Por ejemplo, el paso de nivel 0 a nivel 1 es sin reconocimiento.

### *Anuncio de cambio de nivel*

El anuncio de transición está compuesto por la siguiente información:

- Nivel al que se transita (o lista de niveles). Normalmente la lista de niveles disponibles en la vía por lo menos tendrá nivel 0. La vía envía al tren la lista de niveles que hay disponibles en la vía indicando el orden de prioridad y el EVC tiene que transitar obligatoriamente al nivel de supervisión mayor que coincide con algún nivel disponible en el tren.
- Distancia al punto de transición.
- Área de reconocimiento. Desde que el tren entra en el área de reconocimiento (localizada siempre por delante de la entrada al área del

nuevo nivel) puede reconocer la entrada en el nuevo nivel, aunque la transición de nivel no se ejecutará hasta que no llegue a la frontera con la nueva área. En caso de que el maquinista no hubiera reconocido la transición de nivel antes de entrar en la nueva área, dispondrá únicamente de 5 segundos para reconocer antes de que el EVC le aplique el freno de servicio. El freno se liberará una vez que el maquinista haya reconocido.

En el anuncio se puede dar una lista de niveles a transitar con un orden de prioridad. El equipo de a bordo ERTMS elegirá el nivel de operación más prioritario que pueda cumplir.

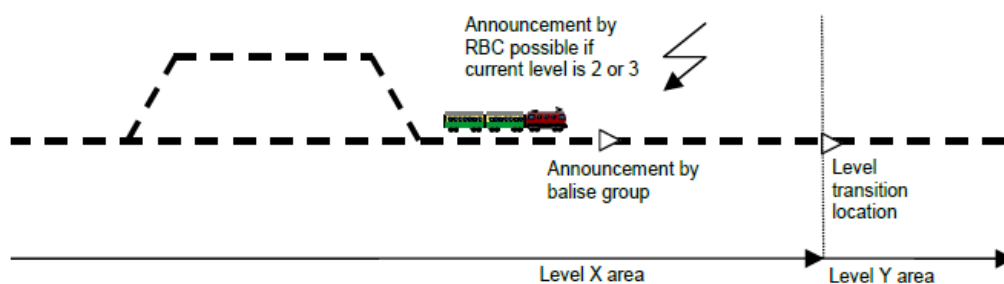


Fig. 4.13: Transición de nivel en ERTMS/ETCS

### 4.3.3 Funcionalidad general

ERTMS/ETCS incorpora una serie de funciones y características básicas que se utilizan en cualquiera de sus tres niveles operacionales. De esta forma, los tres niveles tienen en común una serie de características comunes y, después, cada nivel las suyas propias.

A continuación se pretende realizar una descripción sencilla de cada una de las funciones básicas del sistema.

#### Comunicaciones desde balizas o radio

En el ETCS la información para el control y supervisión de la marcha del tren se transmite en cualquiera de sus niveles desde la vía al tren en base a unos telegramas y mensajes estándar prefijados, los mismos para los tres niveles aunque su forma de aplicación sea específica de cada nivel.

En el nivel 1 la comunicación se realiza fundamentalmente por medio de balizas situadas en la vía, próximas a las señales, de las que reciben la información que se va a transmitir al tren. En este nivel, la comunicación se puede completar por una comunicación mediante lazos o por radio (radio *Infill*).

En el nivel 2 y 3, la comunicación se hace por radio, aunque también se emplea una comunicación mediante baliza como ayuda del sistema de odometría para una correcta y precisa localización del tren.

### **Autoridad de movimiento (MA)**

La Autoridad de Movimiento constituye el concepto más característico del ERTMS, igual para los tres niveles y corresponde al tramo o trayecto de vía asignado por el sistema a un tren para su movimiento con plena garantía de seguridad y bajo la supervisión continua del ETCS. Corresponde a la autorización de movimiento dado por el sistema de señalización lateral al mostrar un aspecto diferente al rojo.

### **Localización del tren**

La localización del tren es otro de los conceptos genéricos y fundamentales para el proceso de funcionamiento del ERTMS. El tren está localizado continuamente con relación a la última baliza recibida (LRBG) y que se toma de referencia.

### **Supervisión y control continuo de la velocidad**

El ERTMS realiza una supervisión continua de la velocidad del tren en base a los datos que se le proporcionan desde la MA sobre el itinerario y en función de la deceleración y velocidad máxima del tren de forma que elimina la posibilidad de un rebase no autorizado o la circulación a una velocidad superior a la permitida por la limitación de la vía, condiciones de seguridad de la ruta o del propio tren.

### **Modos de conducción y operaciones especiales**

En el ETCS se han definido modos de conducción funcional y conceptualmente iguales para los tres niveles de conducción como pueden ser aquellos que ofrecen una completa supervisión gracias a la información que se presenta en la cabina. También se han definido modos para maniobras, marcha a la vista o condiciones especiales del tráfico. Cada modo está definido para cada nivel.

### **Funciones auxiliares**

El sistema ERTMS incorpora una serie de funciones auxiliares para cada nivel que permiten una serie de funcionalidades que no están directamente relacionadas con la supervisión y control de la conducción. Algunas de ellas son las comunicaciones con el RBC, el control de versiones o el control de cambios.

### **Funcionalidad Infill**

Esta funcionalidad extra del sistema ERTMS proporciona información *Infill* con el objetivo de mejorar la comunicación que tiene un tren que transita en nivel 1 y que en principio solo recibe información desde la vía de manera puntual a través de las eurobalizas.

La información *Infill* es una información previa a la señal, de forma que adelanta el estado de la señalización antes de llegar al grupo de balizas situado al pie de la señal. Esta información se tiene que dar una distancia antes de llegar a la señal para que el equipo de abordaje ERTMS tenga tiempo suficiente para tomar las acciones necesarias para cumplir con lo indicado por el estado de la señalización.

La información *Infill* es realmente útil en dos casos concretos:

- Cuando es necesario adelantar información de señalización menos restrictiva de la enviada con anterioridad para evitar la parada innecesaria del tren.
- Cuando es necesario adelantar información de señalización más restrictiva para, en la medida de lo posible, detener el tren en el menor tiempo y espacio posible, como cuando una señal cambia intempestivamente de verde a rojo.

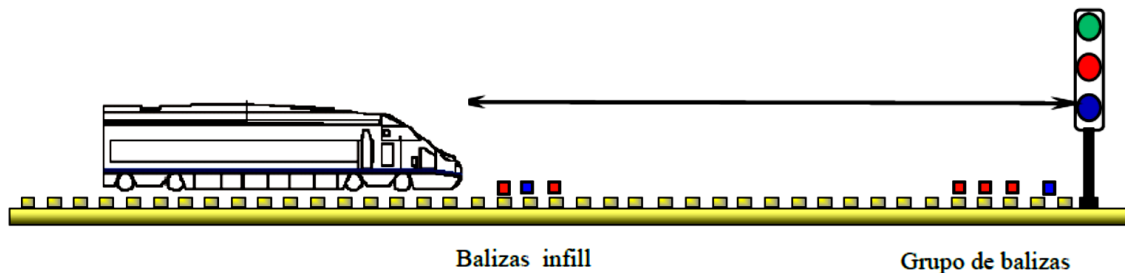


Fig. 4.14: Funcionalidad *Infill*

La información *Infill* se puede enviar al tren mediante los siguientes medios de transmisión:

- Balizas *Infill*: Grupo de balizas colocado a una cierta distancia del grupo de señal.
- Eurolazo: Equipo basado en un cable radiante que se coloca cerca de la señal y que transmite continuamente el estado de la señal.
- Radio *Infill*: Basándose en la misma forma de comunicación que en el nivel 2/3, la señal en cuestión emite en una cierta frecuencia y cuando el tren entra en su rango recibe continuamente el estado de la misma.

### Funcionalidad RBC

En los niveles 2 y 3 cada RBC controla un área concreta de la vía siendo, generalmente, necesarios varios RBC's para controlar una línea completa.

Las limitaciones que definen el área que puede controlar un RBC dependen de:

- A cantidad de elementos a controlar en un área.
- La cantidad de trenes.

- La separación entre los trenes.
- El estado en el que estén los trenes.
- Complejidad del área.

De las limitaciones anteriores se deduce que cada segmento o zona de aplicación para un RBC será diferente de la de otro RBC. De este modo, será diferente el área cubierta por un RBC en un tramo medianamente recto, sin muchas estaciones o desvíos y poca circulación de trenes del área cubierta por un RBC en una estación grande y con mucho tránsito.

A continuación se muestra a modo de ejemplo una posible disposición de RBC's en un tramo de línea con estación en medio.

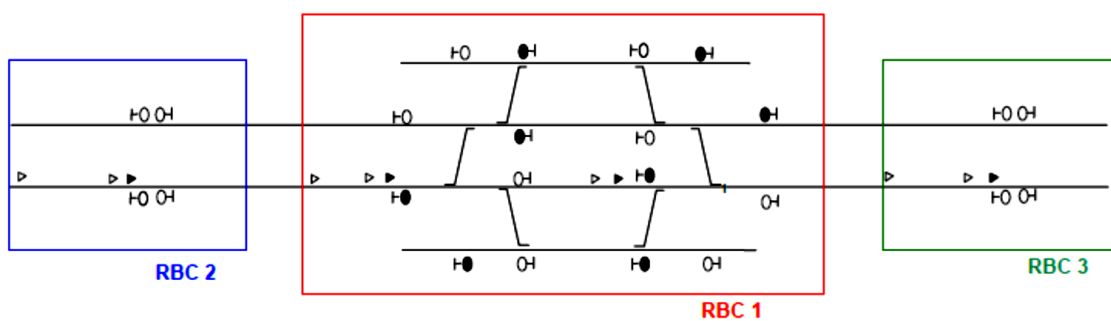


Fig. 4.15: Diferentes áreas que controlan distintos RBC

Que un único RBC no pueda encargarse de una línea completa implica que debe existir una comunicación entre los RBC de esa línea para poder transferirse trenes en la frontera del área entre los RBC's e informar del estado de la vía más allá de la frontera para poder transferírsela al tren que va a entrar en el área del nuevo RBC.

Además, el RBC de un área no solo debe controlar y planificar rutas para los trenes equipados con RTMS en ese área, si no, deberá tener en cuenta todos los trenes (incluso aquellos sin tener equipado ERTMS) para poder dirigir y supervisar el tráfico en su área.

### Funcionalidad de localización

Una funcionalidad con la que no se contaba a la hora de desarrollar e implementar el nivel 3 del sistema ERTMS es la localización de los trenes de forma alternativa a los circuitos de vía para la implementación del cantón móvil.

Una posible solución es la localización del tren mediante balizas pero cuenta con el inconveniente de ser una información puntual y no continuada, lo cual es un requisito fundamental para la implantación de los cantones móviles. Debido a esto, se ha buscado la solución de la localización en las distintas tecnologías de localización por satélite.

A continuación se muestra una lista y un pequeño comentario para cada tecnología que todavía están en fase de estudio para el desarrollo del nivel 3 de ERTMS.

- **GALILEO:** ofrecerá numerosas aplicaciones para el sector ferroviario, control de tráfico, control de cargas y vagones, monitorización de la señalización ferroviaria, información pasajeros. Reduce la distancia entre trenes y por lo tanto aumenta la frecuencia. Útil sobre todo para líneas de alta densidad de tráfico donde incrementa las performances o para líneas de baja densidad donde disminuye el coste.
- **GNSS:** es similar a GPS pero con más funciones y posición más exacta. Utiliza GALILEO para proveer de información de odometría al EVC.
- **GRAIL:** proyecto Europeo para introducir GNSS en el mercado ferroviario (sobre todo para ERTMS). Se caracteriza por:
  - ✓ odometría más exacta
  - ✓ servicio de *train awakening* (asegurar la localización del tren)
  - ✓ servicio de *train integrity* (integridad del tren)
- **EGNOS:** similar a GALILEO, la plataforma de satélites que usa son los de la red GPS americana y GLONASS rusa, añadiéndole ciertos servicios para mejorar la calidad del servicio de localización. Añade una red de infraestructura redundante en tierra.

Actualmente en general, la precisión que cualquiera de estos servicios proporciona solo serviría para líneas con baja densidad de tráfico. Esto obliga a buscar nuevas tecnologías que permitan la implantación del nivel 3 en líneas con una alta densidad de tráfico.

### 4.3.4 Explotación

En este apartado se pretende exponer de forma sencilla la explotación ferroviaria con el sistema ERTMS. Este sistema tiene la particularidad de que para cada nivel del mismo la explotación es diferente.

#### 4.3.4.1 Explotación en Nivel 1

En Nivel 1 toda la información que el maquinista necesita conocer se le muestra a través del DMI (interfaz hombre-máquina) con lo cual no necesitaría mirar el estado de las señales. Es decir, es un nivel basado en señalización en cabina.

La realidad es algo distinta, ya que en este nivel es necesaria una señalización lateral debido a la ausencia de aporte de información continua vía GSM-R o Eurolazo.

Un ejemplo de la utilidad de la señalización en cabina es el caso de aproximarse a una señal en rojo, donde el maquinista necesita observar la señalización lateral para saber cuándo cambia de aspecto la señal.

En cambio, si hay instalado un Eurolazo o Radio *Infill* no necesita observar la señalización lateral, ya que en cuanto cambie la señal la información se actualizará en el equipo de abordó.

En principio la información dada por el equipo ERTMS de abordó será normalmente menos restrictiva que la asignada de forma genérica a la señalización tradicional. Por ejemplo, en España hasta ahora una señal en ámbar significaba que la velocidad de paso era de 160 km/h, pero con ERTMS dependiendo de la longitud del cantonamiento la velocidad a la cual el tren podrá pasar la señal será mayor que la dada por la señalización tradicional.

Lo anterior supone un problema de concepto muchas veces para los explotadores de la línea, que prefieren que se mantengan las reglas operacionales para no confundir a los maquinistas. En el caso de desear que se mantuvieran estas reglas, el sistema ERTMS también lo permite.

Las autoridades de movimiento en nivel 1 normalmente se generan de acuerdo a la señalización existente, es decir, el final de la autoridad de movimiento es una señal.

### **4.3.4.2 Explotación en Nivel 2**

Cuando un tren opera en Nivel 2 el tipo de explotación es mediante señalización en cabina, es decir, el maquinista no necesita para nada la señalización lateral. Es incluso posible que estas estén apagadas o que no existan en caso de ser una línea puramente de Nivel 2.

La información *Infill* en Nivel 2 no existe ni es necesaria, ya que las comunicaciones entre la vía y el tren son continuas mediante GSM-R.

En nivel 2 las autoridades de movimiento pueden ser hasta el último circuito de vía ocupado por el tren que va por delante. El Nivel 2 permite aproximar dos trenes de tal manera que el punto de parada del segundo tren sea el comienzo del último circuito de vía ocupado por el primer tren.

En las áreas donde se mantiene la señalización lateral al instalar el nivel 2 cuando antes había nivel 1 (en España en concreto en todas las líneas donde se ha instalado nivel 2) se ha definido un nuevo aspecto para las señales.

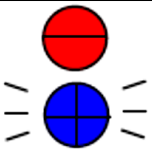
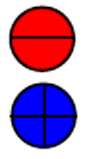

	<b>Focos rojo fijo y azul destellante</b>	<b>Ruta autorizada para N1 y N2</b>
	<b>Focos rojo y azul fijo</b>	<b>Ruta autorizada para N2</b>
	<b>Foco rojo fijo</b>	<b>Orden de parada para todos los niveles</b>

Fig. 4.16: Nuevos aspectos de las señales de Alta Velocidad en España

Esta nueva información es únicamente para el maquinista y pretende mantener cierta coherencia con la señalización tradicional y no confundir al maquinista acostumbrado a respetar la señalización lateral. Es decir, no se quiere de ninguna de las maneras que los maquinistas se acostumbren a saltarse un rojo, aunque sea en nivel 2, ya que puede llevar a confusiones o situaciones inseguras en otros niveles o sistemas.

#### 4.3.4.3 Explotación en Nivel 3

La principal novedad del nivel 3 del ERTMS/ETCS es que se basa en el principio de cantón móvil. Prescindiendo del uso de cantones fijos marcados por los circuitos de vía se puede aumentar la capacidad de la línea. Precisamente el prescindir de este método de localización es la principal dificultad tecnológica de implantación de este nivel.

El nivel 3 permite aproximar dos trenes a la distancia de frenado entre ellos. La autoridad de movimiento de un tren se puede alargar hasta la posición de la cola del tren que está por delante. Para calcular la posición de la cola del tren anterior se tiene en cuenta el error de localización del tren anterior (peor de los casos) para realizar una supervisión segura.

En el nivel 3 el punto de parada del segundo tren es la parte trasera del tren que lo precede, sin importar la ocupación de los circuitos de vía (suponiendo que hubiera circuitos de vía, en caso de que no sea un nivel 3 puro). Esto permite la explotación tipo Cantón Móvil (*Moving Block*).



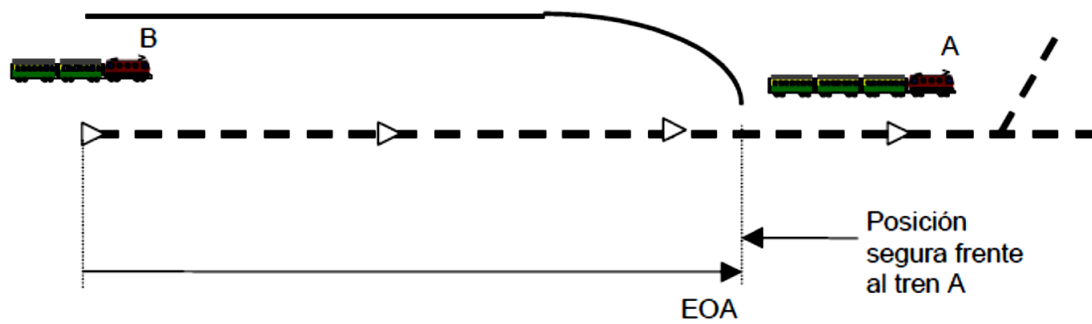


Fig. 4.17: Explotación en ERTMS/ETCS Nivel 3

#### 4.3.4.4 Sistema de gestión Da Vinci

El sistema de gestión del tráfico en las líneas españolas de Alta Velocidad es el sistema *Da Vinci*. Este novedoso sistema desarrollado por Adif e Indra es una plataforma que agrupa e integra la gestión del tráfico ferroviario de Alta Velocidad desde un único lugar. Se trata de uno de los sistemas más avanzados de regulación del tráfico ferroviario que existe en el mundo.

Aunque *Da Vinci* está pensado para líneas ferroviarias de Alta Velocidad equipadas con ERTMS también es adaptable a otros tipos de tráfico ferroviario como redes convencionales, de vía estrecha, métrica, etc.

Desde un punto de vista funcional, este sistema integra entre otros los subsistemas de telemando (señalización, enclavamientos, energía, ERTMS, detectores, comunicaciones), la planificación de la explotación, seguimiento de la circulación en tiempo real, enrutamiento automático de trenes, ayuda a la regulación del tráfico, estadísticas, energía; que comparten e intercambian información y pueden ser controlados desde un Centro de Regulación y Control (CRC).

Adif es el propietario industrial e intelectual del sistema *Da Vinci*, mientras que la empresa Indra se encarga del desarrollo y mantenimiento de la plataforma.

##### Arquitectura

Este novedoso sistema permite integrar los sistemas de operación y explotación ferroviaria de diferentes tecnologías y proveedores, gracias a una arquitectura modular basada en la interoperabilidad al igual que ERTMS.

Se trata además de un sistema abierto, y modular, en constante evolución lo que le permite incorporar mejoras e integrar nuevos sistemas. Diferentes pruebas en diferentes plataformas de hardware con excelentes resultados avalan el sistema.

Desde un punto de vista global, se divide en diferentes bloques que abarcan el ciclo de vida completo del negocio ferroviario. Dentro de cada bloque se pueden encontrar varios módulos:

- Entorno Operativo de Planificación de Capacidad.
- Entorno Operativo de Tiempo Real.
- Entorno Operativo de Reconstrucción de Secuencias y Análisis histórico.
- Entorno de Simulación.
- Entorno Corporativo.
- Entorno de Monitorización Remota.
- Entorno de Servicios Frontales

Gracias a su diseño y su arquitectura, *Da Vinci* cumple las siguientes características:

- **Interoperabilidad:** Permite el intercambio de información de modo estandarizado entre diferentes sistemas.
- **Portabilidad:** Permite trasladar, instalar y operar el sistema en diferentes entornos.
- **Escalabilidad:** Permite ampliar el número de usuarios, ámbito geográfico de gestión y realizar cambios funcionales del sistema sin cambios en los conceptos de diseño del sistema. Así se consigue seguir el ciclo de vida completo del negocio ferroviario, desde la planificación, la creación de un tren en el entorno de operación, su regulación y seguimiento automático y la monitorización con desviaciones y predicciones.

### **Sistemas integrados**

*Gestión de material rodante (SGMR).* El sistema de gestión de material rodante permite mantener una biblioteca de tipos de material rodante que pueden circular por las líneas ferroviarias en explotación con *Da Vinci*.

*Gestión de marchas (SGM).* A través de este sistema el usuario de planificación calcula y genera, mediante simulaciones, todas las rutas comerciales que más tarde usará en el establecimiento de la planificación de nuevos trenes.

*Gestión de trenes (SGT).* El sistema de gestión de trenes es la herramienta principal del proceso planificación, pues a través de ella el usuario planifica los trenes que circularán en el futuro, y que por lo tanto deberán estar disponibles en las herramientas de regulación.

*Gestión de la topología.* Toda la operación de planificación descrita anteriormente, así como gran parte de la operativa de regulación de otros sistemas, descansa sobre un modelado detallado y complejo de la topología de la red ferroviaria, preparado para introducir todas las modificaciones que se produzcan a lo largo de

la vida útil del sistema. También permite simulaciones y las evaluaciones de las mismas.

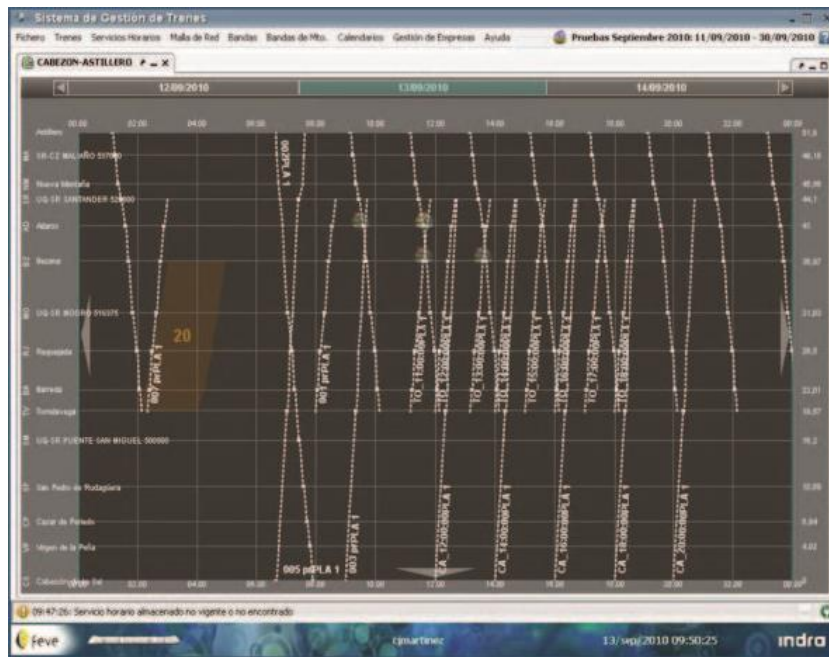


Fig. 4.18: Entorno operativo de planificación de capacidad

*Gestión de la regulación (SGR).* Permite realizar a los operadores de regulación del centro de control a través del sistema SGR. Este es un servidor de interfaces de usuario, que se alimenta del resto de sistemas, y que obtiene y suministra al operador toda la información de monitorización disponible en formato gráfico, así como suministra la capacidad de operación para solicitar y ejecutar las operaciones de regulación, todo en tiempo real. Aquí se suministran: Mallas de seguimiento y planificación, visor de circulaciones, vista de detalle de circulación, visor de ocupación de vía, y visor de replanificación.

*Enrutador (ART).* El Enrutador Automático de Trenes (ART) basa su funcionamiento en el envío automático de órdenes de enrutamiento de trenes al control de tráfico centralizado (CTC) en función del estado del tráfico y de las infraestructuras evaluando en todo momento el estado real de las mismas.

*Gestión de usuarios (SGU).* La plataforma suministra una herramienta centralizada de gestión de usuarios, que es la que permite al administrador del sistema actualizar el contenido del repositorio de usuarios.

*Despacho integrado de comunicaciones (DICOM).* DICOM es un sistema integrado con el resto de las aplicaciones del centro de regulación y control (CRC), cuya funcionalidad permite el uso y operación de los servicios suministrados por la red de telecomunicaciones fija y móvil basada en el sistema GSM-R.

### *El sistema Da Vinci fuera de nuestras fronteras*

En febrero de 2011, la plataforma *Da Vinci* de gestión y control del tráfico ferroviario recibió el premio *Beacon 2011* como la mejor solución del mercado de tráfico y transporte.

Entre los productos españoles de mayor repercusión a nivel internacional, se encuentra el sistema *Da Vinci*. Esta innovadora plataforma tecnológica gestiona la red de Alta Velocidad Española y Feve y ha sido implantada en otras administraciones ferroviarias como el metro de Medellín o el metro de Londres (*Metronet*).

Además ha sido la solución elegida por Marruecos y Lituania para gestionar sus respectivas redes de ferrocarril. Asimismo, esta tecnología forma parte del Proyecto de la línea de Alta Velocidad Medina-La Meca en Arabia Saudí.



Fig. 4.19: CRC central de Puerta de Atocha

### **4.3.5 Modos de operación**

Dependiendo de las distintas circunstancias operacionales que se pueden encontrar en la vía, se han definido una serie de modos de operación para el sistema de ERTMS embarcado en los trenes. La principal diferencia con los niveles ya definidos es que no dependen del equipo instalado en la vía, si no que van a

indicar las circunstancias operacionales y el estado del equipo de abordó. El cambio entre modos puede ser debido a la recepción de una orden en vía o por selección del maquinista.

Los modos se diferencian entre sí por la cantidad de información de vía que requieren para realizar las tareas de supervisión de cada modo y en la protección que se ofrece al tren. Es decir, hay modos que supervisan en general todas las funciones del tren y hay modos en los que la responsabilidad es casi totalmente del maquinista y el equipo solamente supervisa la velocidad máxima general.

Los modos de operación son propios del subsistema de a bordo aunque para el nivel 2, el subsistema de vía puede necesitar conocer el modo de funcionamiento actual. Es de esperar que para un nivel 3 también se necesiten saber los modos de operación del tren. Parece lógico, pues si se quiere gestionar la información que maneja el tren o controlar la circulación de los trenes en ese área es necesario enviarlo al RBC.

Actualmente hay definidos 16 modos de operación definidos en la SRS y un modo especial que aún no está completamente definido. Los modos cubren desde situaciones totalmente cotidianas a ciertas circunstancias operacionales muy concretas y excepcionales.

Los 16 modos definidos en los estándares son los siguientes:

- **Isolation:** aísla en determinadas circunstancias el equipo de a bordo del interfaz con el tren.
- **No Power:** modo en el que entra el sistema cuando se apaga el equipo.
- **System Failure:** este modo envía al ordenador central (EVC) a un estado seguro cuando ocurre un fallo crítico de seguridad que no le permite seguir con sus funciones de supervisión.
- **Sleeping:** modo se utiliza para maniobras con varias locomotoras o trenes eléctricamente conectadas y donde la locomotora máster dirige el movimiento.
- **Stand By:** modo de espera tras el arranque o fin de una misión. Es un modo dedicado al proceso de adquisición de los datos del tren.
- **Shunting:** modo para hacer maniobras locales (permite movimientos hacia adelante y hacia atrás).
- **Full Supervision:** modo de máxima supervisión de vía.
- **Unffited:** modo en un área de nivel 0 sin ningún tipo de protección ATP instalada en vía.
- **Staff Responsible:** modo utilizado para mover el tren en una zona hasta que se consigue información suficiente para pasar a un modo de mayor supervisión.

- **On Sight:** reemplaza al modo tradicionalmente denominado como Marcha a la Vista.
- **Trip:** modo utilizado para llevar al equipo ERTMS a un estado seguro después de haber detectado un error en el sistema.
- **Post Trip:** modo dedicado a la recuperación del sistema tras un fallo que provoca la entrada en modo *Trip*.
- **Non Leading:** este modo se utiliza para maniobras con varias locomotoras o trenes que no están eléctricamente conectadas (se necesita dos maquinistas comunicados mediante radio).
- **STM Europeo:** modo especial en el que la información de vía es captada por un equipo nacional y traducido a lenguaje ERTMS y el EVC supervisa el movimiento del tren.
- **STM Nacional:** modo en el que la supervisión es realizada por el equipo STM y el EVC únicamente se ocupa de las transiciones de nivel y de reaccionar en caso de fallo del STM.
- **Reversing:** este modo se utiliza para circular a una cierta velocidad en dirección contraria a la normal de movimiento, es decir, marcha atrás.

El modo 17 aún no está aprobado completamente por UNISIG pero se espera que se incluya en la próxima versión de las especificaciones del ERTMS. Es el siguiente:

- **Limited Supervision:** modo en el que la información proporcionada por la vía no tiene la suficiente precisión (sobre todo perfiles de velocidad, gradientes,...) pero si se conoce en principio el estado de la señalización. El EVC supervisa parcialmente pero el maquinista es el responsable del movimiento del tren.

#### 4.3.5.1 Descripción de los modos de operación

A continuación se incluye una descripción de las características principales de cada modo de operación del sistema de abordó.

##### **Isolation**

El modo *Isolation* surge de la necesidad de poder seguir circulando un tren sin que el equipo ERTMS intervenga (sin ninguna supervisión). Normalmente este modo solamente se utiliza cuando ha habido un fallo grave en contra de la seguridad que impide que el equipo de abordó pueda circular.

Como los diseños en el mundo ferroviario se rigen por la máxima del “*Fail-Safe*”, fallo seguro en castellano, en el caso del equipo de ERTMS cualquier fallo conlleva la aplicación automática y continua del freno de emergencia. Este diseño se hace de tal forma que aun apagado el equipo el freno sigue accionado.



Cuando ocurre un error grave se aplica el freno de emergencia, pero si se desea continuar moviendo el tren la única forma es aislar al equipo EVC del interfaz con el tren. Apagando el EVC, este seguirá aplicando el freno, para poder mover el tren solo se podría hacer seleccionando el modo *Isolation*.

Al entrar en este modo, se cortan las comunicaciones con todos los interfaces y se liberan los frenos. El corte de comunicaciones aísla al maquinista, con lo que no tendrá información de variables ERTMS. Además, en este modo el equipo EVC no puede realizar ningún tipo de supervisión en este modo y la responsabilidad recae completamente en el maquinista.

La entrada en este modo no es automática, lo selecciona el maquinista de forma consciente. Para evitar activaciones erróneas de este modo se protege la entrada a este mediante combinaciones de teclas o contraseñas que varían de un equipo a otro según el fabricante del mismo.

La salida del modo es posible únicamente apagando todo el sistema y tras la verificación del mismo por un equipo de mantenimiento. De todos modos, el registrador de abordo guarda en un registro el momento y duración de la activación de este modo.

### **No Power**

Se define este modo ficticio para indicar la no alimentación del ordenador central del sistema (EVC). Este modo también se define para mantener una consistencia entre las transiciones de modo: desde apagado al modo de inicio de misión o desde cualquier otro modo a apagado.

En este modo el equipo EVC únicamente es responsable de la aplicación continua del freno de emergencia.

La entrada en este modo se realiza cuando se retira la alimentación al equipo EVC.

### **System Failure**

Es un modo seguro donde el equipo de ERTMS entra cuando detecta que se ha producido un fallo grave que impide que el equipo pueda continuar realizando su función de supervisión del sistema con seguridad y solvencia. Como consecuencia de ser un modo seguro el equipo de a bordo aplica continuamente el freno de emergencia deteniendo el movimiento del tren en cualquier caso.

La entrada en este modo se realiza de forma automática (controlada por el EVC) gracias a la detección de un fallo que imposibilita el poder seguir operando con seguridad. Normalmente es un error interno que imposibilita al EVC continuar realizando su función con el nivel de seguridad requerido.

No existe una forma estándar de salir del modo de *System Failure* y la forma de manejar esta situación dependerá de la administración y de las acciones del

maquinista. Una vez que el equipo entra en *System Failure* no se puede recuperar aunque el fallo que ha desencadenado la entrada en el modo seguro desaparezca. Las posibles salidas de *System Failure* son:

- Apagar el equipo, pasar a *No Power* y volver a iniciar la misión. Esta solución solo es posible si el error ha desaparecido al reiniciar el equipo.
- Aislar el equipo si el error no ha desaparecido mediante el modo *Isolation*.

### **Sleeping**

Cuando las unidades tractoras se conectan eléctricamente entre si se utiliza este modo para poder mover ambas a la vez.

Siguiendo la analogía informática se puede decir que la locomotora principal actúa como master y de la que se tira como esclavo. En este caso la unidad que esté en el modo *Sleeping* será el equipo esclavo, siendo controlado remotamente por el master. El equipo del master irá en el modo ERTMS correspondiente para supervisar el movimiento del tren.

Este modo solo se puede utilizar cuando las unidades del conjunto están conectadas eléctricamente entre sí. La unidad master tiene que poder enviar a la unidad esclava órdenes remotas, sobre todo en el equipo de tracción y de freno para que ambas unidades traccionen o frenen coordinadamente.

La unidad en modo *Sleeping* no realiza ningún tipo de supervisión ni acepta ninguna información de vía salvo las transiciones entre niveles.

La entrada en *Sleeping* se ordena a través de una acción del maquinista que opera desde el equipo master. Es condición fundamental que el equipo esclavo tenga el pupitre cerrado para poder entrar en el modo *Sleeping*

### **StandBy**

Es el modo en el que arranca por defecto el equipo de a bordo del ERTMS. Este modo se utiliza para comenzar un viaje tras encender el equipo o después de haber cerrado el pupitre.

Este modo se utiliza también para que el equipo adquiera a través del maquinista o de un equipo externo conectable todos los datos necesarios para poder operar. Los datos que se deben introducir son:

- Velocidad máxima del tren.
- Longitud del tren.
- Categoría del tren.
- Capacidad de frenado (servicio y emergencia).
- Perfil de carga por eje.
- Presurización tren.



- Identificador del RBC y número de teléfono.
- Número de circulación del tren.
- Factor de adhesión.

Para este modo solo se realiza la supervisión de tren parado al que se le permite moverse hacia adelante y hacia atrás únicamente una distancia configurable.

La salida de *StandBy* se realiza cuando el equipo ha adquirido todos los datos que el maquinista puede proporcionar y que necesita sobre el tren y la misión a realizar.

### Shunting

Este modo permite al tren movimientos de maniobras bajo una cierta supervisión del equipo instalado. Como las maniobras suelen estar fuera de la señalización, este modo permite movimientos hacia adelante y hacia atrás sin ningún tipo de restricción.

La entrada al modo de maniobras puede ocurrir porque lo solicite el maquinista en el DMI (nivel 0, 1 y STM), porque lo haya solicitado el maquinista y el RBC se lo autorice (nivel 2 y 3) o por una orden de vía y posterior reconocimiento del maquinista.

Si la entrada en el modo ha sido mediante información en la vía se controlará una lista de balizas de paso que definen el área de maniobras. En caso que el tren pase una baliza que no esté en la lista, entrará inmediatamente en modo *Trip*.

La supervisión que realiza el equipo de abordaje controla la velocidad máxima en maniobras, que depende de la normativa nacional y que se comunicara por la vía. Si no se recibe el valor de la velocidad, el sistema utilizara el fijado en el documento de la SRS correspondiente.

La entrada en el modo *Shunting* se considera un final de misión, lo cual significa que para salir de este modo hay que pasar por *StandBy* y hay que volver a introducir todos los datos para continuar o iniciar una misión.

### Full Supervision

Como su nombre en inglés indica el modo de supervisión completa. En este nivel se proporciona la mayor cantidad de protección dentro del ERTMS, siendo el modo más deseable dentro de una explotación ferroviaria.

En este modo como se tiene la mayor cantidad de información posible de la vía es posible una supervisión completa evitando que el tren entre en posibles situaciones peligrosas a través de un control de los datos en tiempo real. Por tanto, no solamente evita que se sobrepase la velocidad máxima permitida sino que además dirige al maquinista para alcanzar las velocidades objetivo con total seguridad.

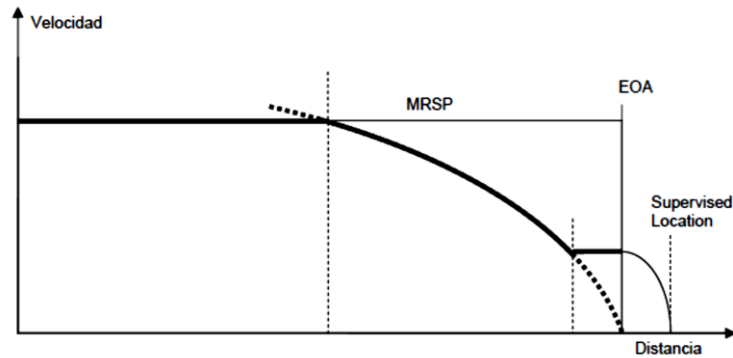


Fig. 4.20: Perfil de velocidad en *Full Supervision*

El equipo central indica a través del DMI la velocidad que tiene que llevar el tren en cada momento y los límites que tiene para evitar actuaciones innecesarias de los frenos automáticos. En caso de que la velocidad que lleva el tren sea excesiva se aplicarán medidas correctivas en función de la curva que sobre pase. Son:

- Si sobrepasa la velocidad permitida del tren no se realiza ninguna acción si no llega a la de *warning*.
- Si sobrepasa la velocidad *warning*, se le indica al maquinista visual y sonoramente que el sistema va a intervenir, y se le avisa de cuánto tiempo resta para la intervención del sistema.
- Si sobrepasa la velocidad de intervención de servicio, el sistema aplicará freno de servicio hasta que la velocidad baje por debajo de la velocidad permitida.
- Si sobrepasa la velocidad de intervención de emergencia, el sistema aplicará freno de emergencia hasta que el tren llegue a pararse.

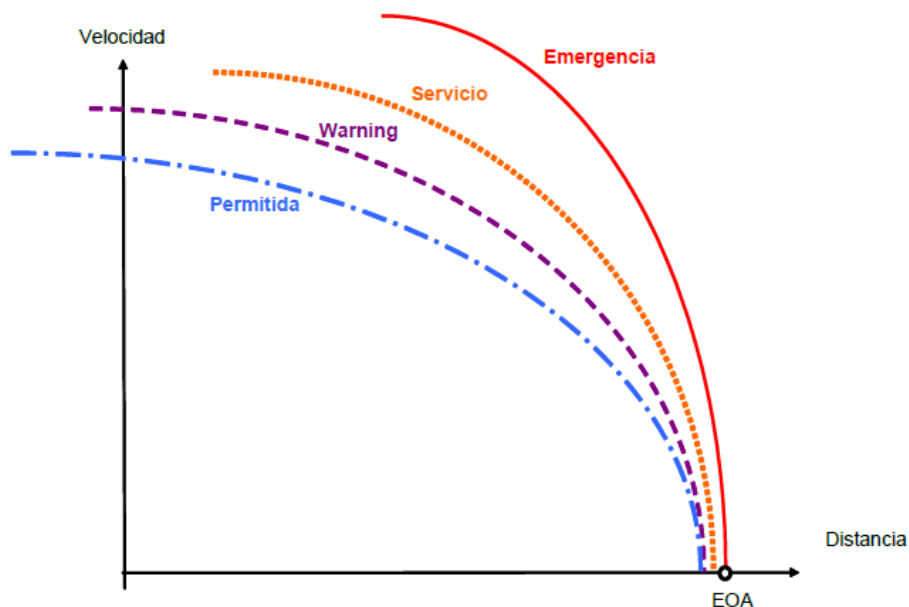


Fig. 4.21: Curvas de velocidad permitida, aviso, freno de servicio y de emergencia

La entrada en el modo *Full Supervision* se hace efectiva cuando estando en nivel 1 o 2 se dispone de todos los datos del tren disponible y se recibe desde la vía (a través de baliza o desde el RBC) la autoridad de movimiento (MA), perfiles de gradientes y SSP para toda la longitud del MA.

En el caso que haya una transición de nivel programada desde nivel 0 o STM, se debe de recibir la información completa para la transición a *Full Supervision* antes o justo cuando se recibe la transición de nivel, o el sistema entrará en modo *Trip*.

### Unfitted

Este modo se utiliza para situaciones de nivel 0 como:

- Áreas donde no haya ningún tipo de señalización instalada en la vía.
- Áreas donde se esté parcialmente instalando el sistema de protección en vía y ante el riesgo de leer información incorrecta es preferible circular en este nivel.
- Áreas donde haya instalado un sistema nacional y no se disponga de un equipo STM para ese sistema.

En este modo la supervisión realizada es muy limitada y se reduce a la velocidad máxima indicada en el sistema nacional o restricciones temporales de velocidad. Además, en este modo toda la responsabilidad recae sobre el maquinista ya que el sistema solo muestra en el DMI la velocidad del tren en ese momento.

Para entrar a este modo es obligatorio el reconocimiento por parte del maquinista debido a, como se ha dicho antes, la responsabilidad que conlleva. La salida del modo se realizara cuando se salga de nivel 0 a otro nivel.

### Staff Responsible

Se define como un modo de transición que se utiliza mientras el sistema de abordaje obtiene la información suficiente de la vía para poder transitar a un modo de supervisión superior. No se debe confundir con el modo *StandBy* donde se adquirirían datos propios del tren, si no que ahora son datos de la vía y de la ruta a seguir.

Excepcionalmente, para el nivel 2 de ERTMS y si la posición es conocida, las funciones de adquisición de datos de vía de este modo se realizan en el modo *StandBy* al mismo tiempo que las adquisiciones del tren para pasar posteriormente a modo de *Full Supervision*. De hecho, la entrada a este modo desde nivel 2 requiere autorización del RBC.

Las circunstancias operacionales en las que se utiliza este modo son las siguientes:

- Equipo recién arrancado como paso intermedio entre *StandBy* y otro modo de circulación

- Rebase de alguna señal en rojo de forma consciente mediante los botones *Override* o *Rebase* entrando automáticamente el sistema en *Staff Responsable* y permaneciendo en este modo hasta que recibe nueva información de vía. De la misma forma también se utiliza esta circunstancia ante un posible fallo del RBC.
- Tras un fallo que provoque el borrado de la información de vía o una transición al modo *Trip*.

En este modo recae en el maquinista la responsabilidad hasta que se adquieren los datos necesarios para transitar a un modo de mayor supervisión. De hecho, el equipo solo supervisa la velocidad máxima, las distancias enviadas por el RBC y la lista de balizas de este modo (últimas dos solo para nivel 2 y 3).

### OnSight

Es de los modos de supervisión total que existe en ERTMS. Permite la entrada de un tren en una zona donde que tiene ocupado un circuito de vía y puede o no haber otro tren. En realidad es similar a la “Marcha a la Vista” en los sistemas tradicionales. Generalmente se usa para la entrada de trenes en estaciones.

En este modo se entra únicamente por orden explícita de la vía, el maquinista no tiene la posibilidad de seleccionarlo aunque si obligación de reconocerlo. La información que tiene que recibir el equipo desde la vía es la misma que la necesaria para pasar a *Full Supervision* más una orden especial para transitar a *OnSight*.

La supervisión que realiza el equipo es la misma que la que realizaría en *Full Supervision*, pero añadiendo supervisión de la velocidad máxima. Normalmente esta velocidad suele ser de 40 km/h pero su valor depende del país donde transite el tren.

La salida del modo ocurre cuando se recibe una nueva autoridad de movimiento (MA) desde la vía. Esto ocurrirá en cuanto el tren abandona el área donde estaba el circuito de vía ocupado o en cuanto el RBC recibe del maquinista la confirmación de que la vía está realmente libre.

### Trip y Post-Trip

La transición a este modo se produce cuando el equipo de abordaje detecta una situación potencialmente peligrosa debido a pérdidas o errores en la información recibida desde la vía o a acciones incorrectas del maquinista. Es por tanto un modo degradado donde se pretende remarcar la importancia del error del sistema o del maquinista.

Los motivos de una entrada a modo *Trip* suelen ser muy concretos. Los casos más habituales pueden ser:

- Pérdida de un grupo de balizas enlazado que había sido anunciado por la vía. Puede ser un error del sistema (información de odometría incorrecta por ejemplo) o que el tren se mueve por otra vía distinta a la marcada.
- Pérdida de comunicaciones con el RBC en los niveles 2 y 3. La información de la que se dispone en el momento de la pérdida de comunicaciones puede estar obsoleta o incorrecta.
- Haber sobrepasado la Autoridad de Movimiento por error del maquinista.
- Recepción de una orden de parada de emergencia desde el RBC (solo en nivel 2).

La entrada en el modo *Trip* conlleva la aplicación inmediata del freno de emergencia hasta detener completamente el tren y el borrado de los datos de la misión que tuviese el sistema en ese momento. Posteriormente se notifica al maquinista la entrada en este modo con obligación de reconocimiento.

Una vez se ha reconocido y borrado la información el sistema entra en el modo *Post-Trip*, donde se libera el freno de emergencia y se permite el movimiento hacia atrás una cierta distancia definida por el reglamento nacional. La intención de esto último es sacar al tren de una situación peligrosa o retroceder hasta la señal donde se había producido el deslizamiento para esperar el cambio de aspecto.

Desde el modo *Post-Trip*, se puede pasar a otros modos para poder volver a mover el tren siguiendo el procedimiento asociado para la marcha del tren. En el caso del nivel 2 es necesaria una autorización del RBC para salir de este modo.

### **Non Leading**

El modo *Non Leading* se ha definido para poder operar trenes con varias unidades tractoras no conectadas eléctricamente entre sí, lo que se conoce como “tándem”. Este modo solo se activara en las locomotoras que sirvan como ayuda motriz mediante el DMI de cada una de ellas.

La diferencia con el modo *Sleeping* es que no están eléctricamente conectadas entre sí, lo cual obliga a tener varios maquinistas, pero ambos modos comparten muchas similitudes entre ellos como la disposición de una locomotora máster y otra esclava.

El equipo de abordaje ERTMS en este modo no hace ningún tipo de supervisión sobre el movimiento del tren y solo acepta las transiciones de nivel desde vía (al igual que en *Sleeping*).

Se muestra en el DMI al maquinista de la locomotora esclava la velocidad actual del tren e información adicional como mensajes de texto o los datos del tren, pero no de supervisión. El maquinista conduce mediante información recibida telefónicamente desde la unidad master.

Para salir de *Non Leading* el maquinista debe de seleccionar la salida del modo en el interfaz (suponiendo que se dan las condiciones necesarias para abandonar el modo). El sistema pasa a *StandBy* para que introduzca los datos del tren, salvo en nivel 2 ya que las unidades están conectadas al RBC.

### **STM Europeo**

Modo exclusivo del nivel STM y disponible solamente si el equipo está catalogado como STM de tipo europeo.

En este modo destaca el reparto mixto de responsabilidades de tal forma que se puede decir que es una mezcla entre un modo ERTMS y un modo STM donde la responsabilidad es compartida entre los dos equipos. La supervisión provista en este modo nunca será comparable a la de ERTMS y dependerá de la cantidad de información que el sistema STM genere en cada caso.

En concreto, las funciones responsabilidad del equipo STM son captar la información desde el equipo de vía STM, traducir la información al lenguaje de ERTMS y enviársela al equipo central (EVC). El resto del tratamiento de la información y actuación es responsabilidad del equipo de ERTMS.

No todos los STM pueden ser europeos, ya que debe ser un STM que reciba de la infraestructura de vía una cantidad de información similar a la que se usa en ERTMS.

Por el momento no hay ningún STM de tipo europeo definido debido a que los sistemas nacionales no son capaces de emitir toda la información necesaria. Es por ello, que se está estudiando la supresión de este modo para el sistema ERTMS en futuras versiones.

### **STM Nacional**

Este modo de operación también existe solamente en nivel STM y si es un STM nacional. Un equipo STM nacional debe realizar todas las funciones que haría normalmente el equipo ATP tradicional al cual emula: recibir información de vía, procesarla y supervisar los movimientos del tren de acuerdo a las características de ese sistema nacional.

En modo STM Nacional el equipo de a bordo ERTMS no realiza ninguna supervisión del tren. La responsabilidad del EVC se reduce a supervisar el estado del STM para tomar una acción segura en caso de fallo del STM.

La entrada en el modo STM Nacional se produce al recibir desde la vía una orden de transitar a Nivel STM. Las transiciones a Nivel STM tienen que ser anunciadas por la vía, ya que al recibir el anuncio el EVC informa al STM de que tiene que comenzar a captar información del estado de la vía ya que va a pasar a activarse.

Una vez que se llega al punto de entrada del área STM, el EVC informa al STM de que él es el responsable de la supervisión, y el STM se activa completamente.

La salida del modo STM Nacional se realizara automáticamente al abandonar la zona del nivel STM.

### Reversing

Este modo permite al tren ir marcha atrás desde un modo de supervisión total a una cierta velocidad para escapar de situaciones peligrosas.

Este modo solo se permite en determinadas zonas indicadas por la vía y solamente se informará al maquinista de que se encuentra dentro de una de estas zonas cuando el tren este completamente parado, momento en el que se le permitirá seleccionar el paso al modo *Reversing*.

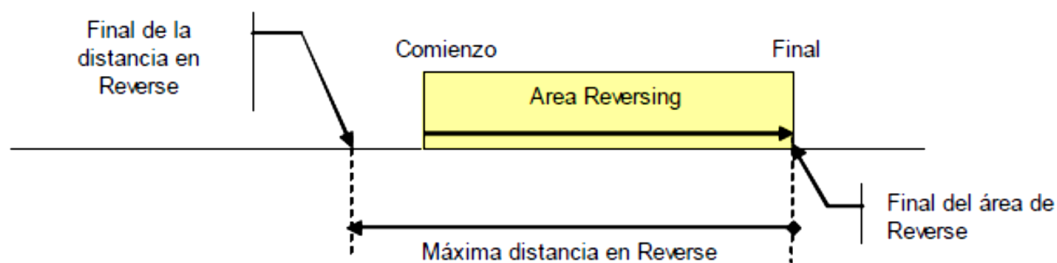


Fig. 4.22: Áreas del modo *Reversing*

En este modo se supervisan los movimientos del tren frente a:

- Velocidad máxima, que dependerá las características del área de *reversing*.
- Distancia máxima, que también dependerá del área de *reversing* y que se tiene en cuenta desde el punto donde termina el área de *reversing* hacia atrás.

En caso de pasar la distancia máxima el equipo de a bordo aplicará el freno de emergencia.

Para salir del modo *Reversing* hay que pasar por el modo *StandBy* y todos los datos de la vía serán borrados. Los datos del tren siguen siendo válidos y se mantienen.

### 4.3.5.2 Transición entre modos de operación

En el sistema ERTMS hay un total de 16 modos de operación como hemos visto. Esto supone que, hipotéticamente, hay 240 transiciones de un modo de operación a otro aplicando las leyes de la combinatoria. Pero realmente no hay tantas transiciones debido a varios motivos.

El primero de ellos es que hay modos de los cuales es imposible salir, como en el caso del modo *Isolation*. El segundo motivo es la incompatibilidad entre modos y por ello se definen una serie de reglas en la programación para evitar esas transiciones incompatibles. Y, finalmente, el tercer motivo es la imposibilidad entre condiciones reales y determinadas acciones en contra de la seguridad, bloqueando también las transiciones que ponen en riesgo la seguridad del tren.

Si se trasladan todas las condiciones y las posibles transiciones a una tabla podemos ver que transiciones son posibles y cuáles no. A continuación se ha representado en un cuadro y se han marcado en color rojo las transiciones no compatibles y en verde las posibles realmente.

Fig. 4.23: Tabla de transiciones entre modos en ERTMS

*NP: No Power*

*SR: Staff*

*UN: Unfitted*

*IS: Isolation*

*SB: StanBy*

*Responsable*

*TR: Trip*

*SE: STM*

*SH: Shunting*

*OS: On Sight*

*PT: Post Trip*

*Europeo*

*FS: Full*

*SL: Sleeping*

*SF: System*

*SN: STM*

*Supervision*

*NL: Non*

*Failure*

*Nacional*

*Leading*

*RV: Reversing*



## 4.4 Especificaciones técnicas

Hasta ahora se ha hablado del sistema ERTMS/ETCS como un único sistema y no se ha especificado que elementos lo integran y como estos se reparten entre la vía o infraestructura y el tren.

El sistema ERTMS está compuesto principalmente por dos subsistemas:

- Subsistema de a bordo: parte que va embarcada en el tren y está compuesta de diferentes elementos (interfaces y equipos informáticos y electrónicos de control).
- Subsistema de vía: parte instalada a lo largo de la vía o centralizada en puntos cercanos al control del tráfico

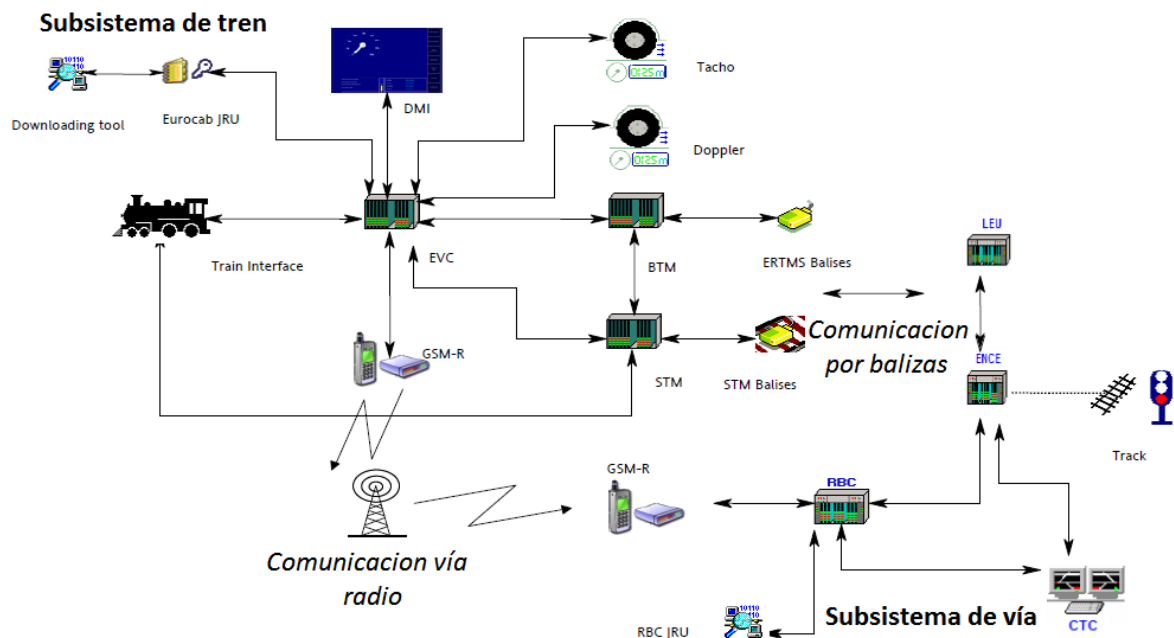


Fig. 4.24: Esquema y componentes del sistema ERTMS

Entre el subsistema de abordaje y el subsistema de vía tienen que estar claramente definidos todos los interfaces de comunicación, ya que es necesario para cumplirse la característica de interoperabilidad.

En la imagen se definen de forma sencilla todos los elementos de ambos subsistemas de ERTMS. En la parte superior izquierda se enciende el sistema de tren, que va equipado en cada tren que vaya a circular en un tramo ERTMS. En la parte inferior derecha se encuentra el subsistema de vía.

Cada subsistema de ERTMS está formado a su vez por varios equipos. La representación anterior es un ejemplo de arquitectura, ya que el número de

elementos necesarios para cumplir la funcionalidad ERTMS no está definido, aunque es una arquitectura bastante típica. Es común encontrarse entre niveles de implantación, normalmente en el sistema de vía, la inexistencia de equipos concretos, como por ejemplo GSM-R en nivel 1.

La comunicación entre los equipos de un mismo sistema depende también del fabricante y de modelos. Ocurre esto debido a que no está especificada en los documentos de ERTMS el tipo de bus de comunicaciones, solo esta especificada la obligatoriedad de la interoperabilidad. Por ello, es posible que cada tren disponga de unos buses de comunicación propietarios de cada fabricante, aunque en su mayoría se suele instalar *Profibus* como bus de comunicaciones entre los equipos de cada subsistema.

A continuación se hace una enumeración de los elementos tanto del subsistema de a bordo como del de vía. Los elementos aquí señalados pueden no ser independientes en el equipo que esté instalado tanto en el tren como en vía:

### **Subsistema de a bordo:**

- EVC (*European Vital Computer*): núcleo central del ERTMS, realiza las funciones propias de ERTMS y controla al resto de los elementos.
- STM (*Specific Transmission Module*): ejecuta funcionalidad equipo nacional de vía.
- DMI (*Driver Machine Interface*): realiza las funciones de interfaz humana con el maquinista en el pupitre de conducción.
- JRU (*Juridical Recorder Unit*): realiza función de almacenamiento y registro de datos relevantes de la misión. Su uso principal es el esclarecimiento de responsabilidades en caso de accidente y para mantenimiento.
- TIU (*Train Interface Unit*): depende del tren, controla funciones específicas del tren.
- BTM (*Balise Transmission Module*): se ocupa de la recepción de información a través de eurobalizas.
- Euroradio: se ocupa de gestionar las comunicaciones radio GSM-R.
- Odometría: realiza la función de obtención de localización.

### **Subsistema de vía:**

- Eurobalizas: elemento de transmisión de información puntual.
- Eurolazo: elemento de transmisión de información *Infill* de manera continua.
- RBC (*Radio Block Centre*): elemento de gestión de tráfico y generación de información de manera continua.

- Enclavamiento: elemento de gestión de tráfico ferroviario.
- LEU (*Line Encoder Unit*): elemento gestor de los telegramas de balizas.

#### 4.4.1 Arquitectura

La arquitectura del sistema ERTMS, es bastante novedosa y específica. El sistema está formado por dos componentes integrados entre sí. El siguiente esquema es típico en todas las unidades del sistema y se encuentra en las especificaciones de UNISIG.

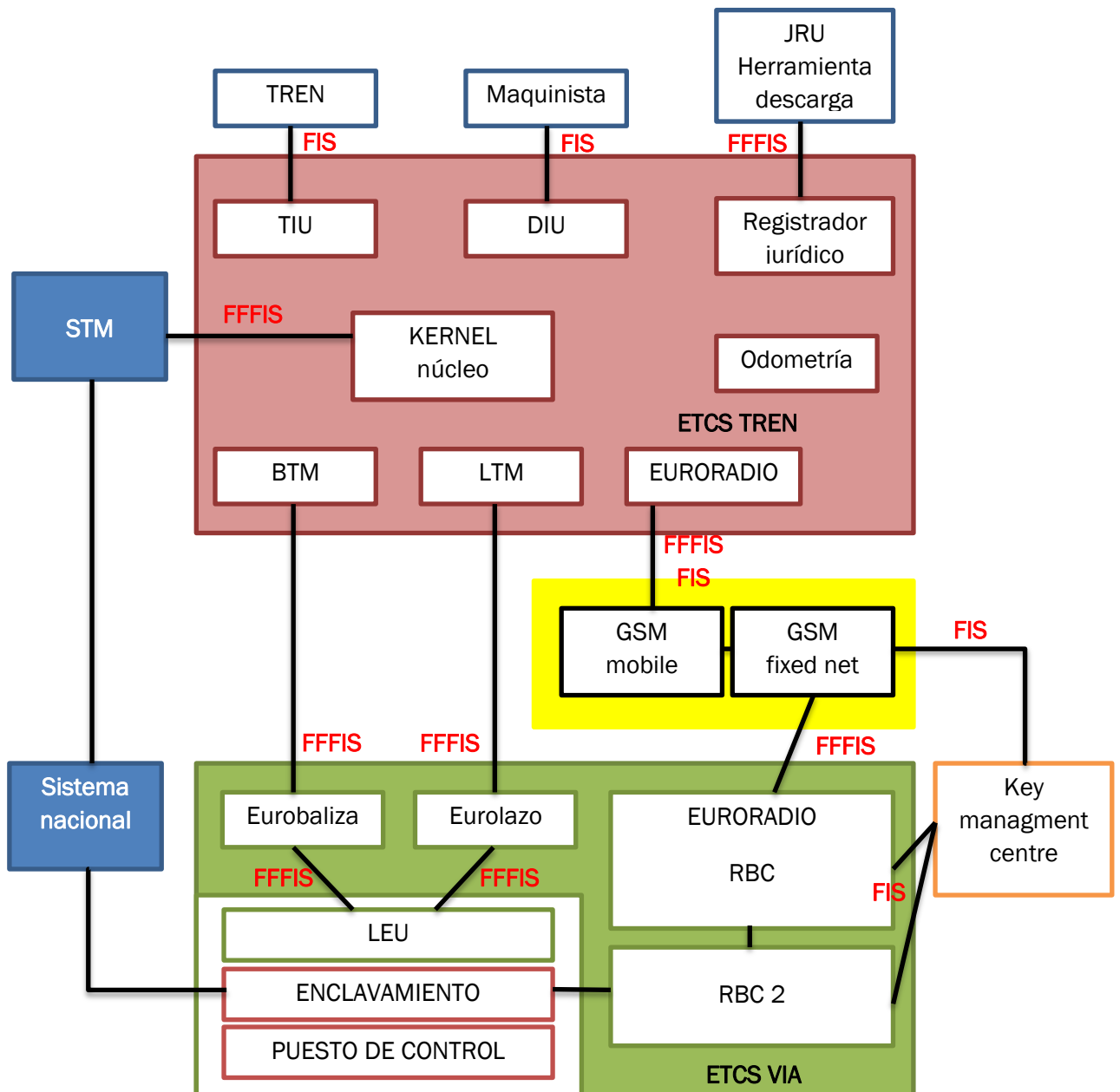


Fig. 4.24: Arquitectura, componentes e interfaces que conforman ERTMS

Dos grandes bloques constituyen el ETCS, uno es sistema de vía (en color verde) y otro es el sistema a bordo del tren (color rojo). Además, en el esquema anterior también se muestran los interfaces entre diferentes módulos que han sido definidos como estándares y que constituyen la base de la interoperabilidad.

Las siglas FFFIS (*Form Fit Functional Interface Specification*) se corresponden a interfaces estandarizados funcional y técnicamente abiertos a cualquier fabricante que cumpla las especificaciones del sistema.

Con las siglas FIS (*Functional Interface Specification*) se identifican aquellos interfaces que, aunque funcionalmente son iguales para todos los suministradores, pero que requieren una adaptación técnica específica.

Por otra parte están los módulos de comunicación por radio GSM-R con los interfaces que corresponden con cada elemento del sistema.

La eurocabina se conecta con el tren a través de la unidad TIU (*Train Interface Unit*). El maquinista se comunica con todo el sistema a través de la DIU o *Driver Interface Unit*, conocido en lenguaje vulgar como el pupitre de conducción.

Por otra parte es necesario registrar todos los datos del tren y para ello se dispone de un registrador jurídico con un interface normalizado para la descarga de información y datos que se registran durante la marcha del tren. Estos datos registrados están producidos por unas especificaciones propias del sistema.

El módulo de odometría capta y procesa las señales que proporcionan los datos de velocidad y localización. Estos también se registran en el registrador jurídico.

Toda esta serie de módulos de software se reúnen bajo un núcleo común que sirve para funcionar cada programa y el sistema operativo de todo el conjunto. A esto se le llama *kernel* y se considera el núcleo principal.

Los módulos BTM (*Balise Transmission Module*) y LTM (*Loop Transmission Module*), recogen la información que desde la vía les proporciona las eurobalizas y los eurolazos.

Las eurobalizas y eurolazos se conectan por medio de los LEU (*Line Encoder Units*) con el enclavamiento, del que reciben la información de la ruta establecida y su autorización a circular. Esta información la transmiten al tren a través de los interfaces estándar por medio de mensajes definidos en los documentos de las especificaciones generales (SRS).

El RBC (*Radio Block Centre*) constituye uno de los elementos más importantes del sistema, sobre todo a partir del nivel 2. El RBC recibe información del enclavamiento, de forma semejante a la del LEU, la información de las rutas seleccionadas y autorizadas, así como la posición de los trenes detectada por los

circuitos de vía o cantones ocupados y envía a los trenes la MA (autoridad de movimiento) que corresponda. Toda esta información se envía a través de GSM-R protegida con una capa de seguridad específica del ERTMS.

#### 4.4.2 Subsistema de vía

El subsistema de vía dependiendo del nivel de ERTMS/ETCS que se considere tiene distintas configuraciones.

##### Subsistema de vía para nivel 1

El subsistema de vía en el nivel 1 está integrado por balizas situadas a pie de vía principalmente a los pies de las señales. Estas balizas pueden estar conectadas entre sí o con el enclavamiento a través de los LEU's.

Los LEU's tienen en memoria las características geográficas de todas las rutas posibles desde la señal asociada, así como las máximas velocidades permitidas para cada itinerario. Dependiendo de la ruta establecida desde el enclavamiento, el LEU selecciona los datos geográficos y las velocidades correspondientes a ese itinerario. Esta información, junto con la correspondiente al aspecto de las señales en cada momento, se transmite desde las balizas en forma de telegrama a la eurocabina del tren.

La eurocabina, que recibe esos telegramas a través de la antena y el BTM, los procesa para informar al maquinista las acciones a tomar a la vez que supervisa el cumplimiento de las restricciones a la marcha del tren.



Fig. 4.25: Subsistema de vía en líneas equipadas con ERTMS/ETCS Nivel 1 y con ASFA como sistema de respaldo

### Subsistema de vía para nivel 2 y 3

El subsistema de vía en nivel 2 y 3 está integrado también por balizas, pero el elemento principal es la radio mediante la cual existe una comunicación bidireccional y continua entre el tren y el RBC.

En este nivel, las eurobalizas tienen un papel secundario. Las balizas pueden servir también como fuente de información o de contrastación de la información del RBC, aunque su principal funcionalidad en este sistema es la sincronización de la posición del tren.

#### 4.4.2.1 Elementos del subsistema de vía:

##### Eurobaliza

La Eurobaliza es el constituyente de vía clave en el Nivel 1 de ERTMS. Se encarga de enviar al equipo de a bordo, y mediante un protocolo especificado en la FFFIS, informaciones de seguridad sobre señalización. Su información se usa en todos los niveles aunque con distinto nivel de importancia u prioridad.

Pueden ser de dos tipos, fijas o configurables.

- Fijas: Tienen grabado un telegrama que envían siempre que pasa un tren. Se utilizan en nivel 1 para transmitir información invariante y en nivel 2 y 3 como identificadores de posición relativa.
- Configurables: Están conectadas al LEU el que, dependiendo de las condiciones de vía, le envía a la baliza información diferente. Sólo se utilizan en nivel 1. En caso de pérdida de conexión envían un mensaje de error predefinido al paso del tren.



Fig. 4.26: Eurobaliza fija (izq.) y eurobaliza configurable (der.) modelo S21 de Siemens

Independientemente del tipo que sean y del mensaje que envíen siempre enviarán junto con la información datos sobre ellas mismas como: número de identificación, orden de baliza en grupo, país o versión.

Además, son equipos pasivos, es decir, que la energía que requieren para funcionar la reciben del recepto a bordo del tren. De esta forma, solo emiten ante la presencia de un tren.

Las eurobalizas tienen una señal de 27,095 MHz con una tolerancia de 5 KHz para la activación y la estimulación de las balizas. Ante la emisión de la señal de activación, la baliza responde con una señal de 4,234 MHz  $\pm$  200 KHz para transmitir los telegramas e información que tiene almacenada.

La información se transmite a una velocidad de 564 kbits/s y una modulación del 12% de amplitud. Esta velocidad de envío de información es suficiente para velocidades de hasta 500 km/h según sus notas de diseño.

Una eurobaliza suele tener una capacidad de almacenamiento de 341 a 1023 bits dependiendo del tipo de baliza.

Los telegramas se almacenan en forma digital, es decir, en forma de bits. Estos telegramas pueden tener una parte fija y otra variable. Normalmente, la parte variable la proporciona el LEU correspondiente a la baliza en función del aspecto de la señal, autoridad de movimiento o itinerario enclavado.



Fig. 4.27: Conjunto eurobaliza (inf.) y captador (sup.)

## **Eurolazo**

El Eurolazo (Euroloop) es el constituyente que permite proporcionar información previa (*Infill*), de manera continua. Esto facilita la operación del tren y reduce los intervalos entre trenes por la misma vía.

El Eurolazo es un cable radiante instalado a lo largo de los carriles en la zona de interés (entre 300m y 500m). Su tecnología es muy similar a la del sistema alemán LZB.



El Eurolazo transmite una señal modulada con la técnica de “espectro ensanchado”. Esta técnica se basa en que el equipo manda información en todas las frecuencias e indicar en cuál de ellas está la información para que receptor únicamente utilice esa frecuencia. Esta técnica tiene una respuesta muy buena ante el ruido, es decir, minimizando los efectos del ruido en el sistema.

El Eurolazo transmite información variable continuamente, por lo tanto necesita estar conectado a un LEU. Como ya se detalló anteriormente, el LEU únicamente transmite información *Infill*, por lo tanto solo tiene información adelantada del aspecto de la señal.



Fig. 4.28: Eurolazo modelo Trainguard Euroloop S21 F de Siemens

### Line Encoder Unit

El LEU (*Line Encoder Unit*) es el elemento de interface entre el enclavamiento y la eurobaliza. El LEU es un equipo diseñado con la tecnología correspondiente a un nivel SIL 4 de seguridad. En él se almacenan todos los datos geográficos y características fijas correspondientes a todos los posibles itinerarios que tienen por origen la señal asociada al LEU.

También recibe del enclavamiento las indicaciones de que itinerario ha sido enclavado y autorizado, información que convenientemente codificada y unida a los datos fijos previamente grabados, se envían a la baliza.

El LEU obtiene, a través de entradas discretas, información sobre el estado de los elementos del enclavamiento (circuitos de vía, agujas, señales, detectores de caída de objetos, pasos a nivel,...) y la transforma en un telegrama interoperable que envía a las balizas. Dependiendo del número de entradas (discretas o serie) disponibles en el equipo, es capaz de dar más cantidad de información.

Los LEU's se agrupan en forma de racks, ya que cada módulo de LEU puede controlar hasta 4 balizas conmutables. Además, en cada rack, independientemente del número de módulos LEU, hay un módulo de alimentación (PSU) y un módulo de salidas a balizas (BOC).



Necesita conexión con otros LEU's o señales más allá de su control para dar Autoridades de Movimiento más largas, porque si no es imposible conseguir una velocidad de línea de 300Km/h.



Fig. 4.29: Line Encoder Unit

Un LEU, dependiendo del fabricante, es capaz de manejar varias balizas. El número de balizas que es capaz de manejar depende de la combinación de entradas y también de la distancia a la cual se encuentran. La distancia típica entre LEU y baliza es de 1500 m, aunque puede aumentarse hasta 5000 m con amplificadores de señal.

Otras funcionalidades del LEU tienen que ver con la seguridad, como un alto grado de fiabilidad y robustez de los equipos. Además permite realizar una diagnosis del sistema de forma local o remota a través de los centros de control.

### Radio Block Centre

El RBC (Radio Block Centre) es el constituyente de vía clave en los Niveles 2 y 3 de ERTMS. Es responsable de control del tráfico ferroviario en las vías de Niveles 2 y 3.

El RBC es el interface entre el enclavamiento y el tren. El RBC se encarga de generar las MA (autoridad de movimiento) para mover los trenes una vez que el itinerario o los itinerarios han sido establecidos y comprobadas las condiciones de seguridad por el enclavamiento.

El RBC calcula la longitud de la MA en función de donde está el primer obstáculo, que puede ser otro tren (detección por circuito de vía) o una señal en rojo.

Al igual que el LEU, el RBC está limitado por el número de elementos que puede controlar. Las áreas de los RBC no coinciden con las áreas de cobertura de comunicaciones. Normalmente su área de cobertura es mucho mayor y por lo tanto

se superponen las áreas de unos RBC con las de otros (a nivel de cobertura de radio).

Un RBC, dependiendo del fabricante, es capaz de manejar un número apreciable de trenes. Se puede hablar de una media de 15 trenes pero depende de la situación de los trenes en los cuales se encuentren.



Fig. 4.30: Radio Block Centre

Además de su conexión con el enclavamiento, el RBC puede estar conectado con el puesto de mando para informar al operador de situaciones específicas y encaminar ciertas órdenes como puede ser la parada incondicional de un tren o limitaciones temporales de velocidad de acuerdo con las causas de cada momento.

El RBC es un equipo con características de seguridad SIL 4, que tiene en memoria la información geográfica de todos los itinerarios posibles en su zona de influencia o control. Además, tiene que estar conectado con los bloqueos de los que recibe las MA una vez ya están supervisadas desde un punto de vista de seguridad.

Por su importante papel y su importancia a nivel de seguridad, el sistema debe tener un funcionamiento de alta fiabilidad lo que requiere una configuración redundante. Esta configuración redundante en estos sistemas suele ser la de *dos sobre tres* o 2oo3.

### Radio Infill

El constituyente Radio *In-Fill* en vía permite proporcionar información previa (In-Fill), de manera continua en una zona elegida.

Tiene las mismas ventajas del Eurolozo y a mayores, que no hace falta instalación física en la vía (sólo en las cabinas de vía). La instalación es más costosa, porque al final requiere tanta infraestructura como el nivel 2, por eso en principio todavía no se está utilizando. Aunque podría utilizarse en líneas donde posteriormente se tenga intención de aumentar al nivel 2.

Radio *In-Fill* es similar al RBC pero su área de supervisión es limitada. Puede controlar varios grupos de balizas asociados a señales, no solamente a un grupo como los otros elementos capaces de transmitir información *Infill*.

### 4.4.3 Subsistema de tren

El equipo embarcado en un tren equipado con ERTMS no hace distinciones entre unos niveles y otros ya que está pensado para transitar por diferentes niveles a lo largo de su ruta.

#### 4.4.3.1 Elementos del subsistema de tren

##### European Vital Computer

El principal componente embarcado a bordo del tren y que constituye el verdadero cerebro de todo el sistema ERTMS es el EVC (*European Vital Computer*).

Como su nombre indica, es un constituyente basado en tecnología de procesadores, que ha de cumplir los siguientes requisitos:

- Proporcionar la funcionalidad descrita en las especificaciones de UNISIG para el sistema Europeo ERTMS.
- Hacer lo anterior de manera segura, dado que un error puede llegar a ser catastrófico. El EVC debe de cumplir unos requisitos de seguridad SIL 4. La probabilidad de error que debe de tener es de  $10^{-9}$ .
- El equipo EVC debe de cumplir además requisitos de fiabilidad y de disponibilidad de un 99.998%.

Básicamente es un potente ordenador formado por tarjetas de microprocesadores y canales de comunicación para comunicarse con el resto de elementos del tren. La arquitectura del ECV puede variar entre fabricantes, pero siempre se aplican los principios de redundancia y/o diversidad.

Con la redundancia de componentes se logra dotar al equipo del nivel de fiabilidad y disponibilidad requerido para SIL 4. Normalmente esta redundancia se hace a nivel de *hardware* mediante arquitecturas 2oo3 (dos sobre tres), donde 3 equipos

realizan la misma función comparándose continuamente la salida de los equipos para asegurarse de que es igual en cada instante, o con arquitecturas *HotStandby*, donde en caso de fallo del componente entra instantáneamente un segundo a cubrir sus funciones.

Mediante la diversidad también se consigue alcanzar esos niveles de seguridad requeridos. La diversidad consiste en realizar el mismo proceso por dos caminos diferentes. La diversidad en general se consigue a través de *software*, aunque este software puede estar contenido en el propio equipo o en equipos diferentes.



Fig. 4.31: European Vital Computer

Las funciones de esta unidad de control central son las siguientes:

- Calcular las curvas de frenado y los perfiles de velocidad.
- Controlar la velocidad permitida.
- Recibir telegramas de datos desde las Eurobalizas o Eurolazos.
- Conocer las características de frenado del tren.
- Controlar las actividades de frenado, acciona el freno de servicio y el freno de emergencia.

Para poder llevar a cabo estas tareas es necesaria una comunicación entre todos los elementos que intervienen. Esta comunicación se suele realizar por buses de control propios de cada fabricante pero con una interoperabilidad entre equipos garantizada. De hecho, la comunicación está pensada de forma radial, de tal forma que toda la información ya sea de entrada o de salida tenga que pasar por el EVC.

### **Antena de Eurobaliza / Eurolazo**

Es un receptor y emisor de señales en altas frecuencias instalado en los bajos del tren. Sirve para recibir tanto de las balizas fijas y conmutables, así como del eurolazo.

La antena emite continuamente una señal de activación a 27.095 MHz. Cuando esta señal es captada por alguna baliza, esta se acopla a la antena transmitiendo la información que sea necesaria a una frecuencia menor de 4,23 MHz.

La máxima velocidad del tren para la transmisión de información de forma segura entre ambas partes es de 500 Km/h.



Fig. 4.32: Antena captadora

### Equipo de odometría

Instalado sobre los ejes de tracción del tren, es el equipo encargado de medir la velocidad y enviarla a la unidad central, el EVC.

El sistema va en el interior de una caja como la de la imagen. El equipo es un odómetro que en función de los pulsos recibidos es capaz de saber la velocidad del tren.

Estos equipos son capaces de medir y detectar:

- Distancia
- Rotación y dirección de marcha
- Velocidad
- Aceleración



Fig. 4.33: Sensor odométrico

Este tipo de equipos suelen tener tasas considerables de error que aumentan con el desgaste de ciertos elementos externos a él tomados de referencia. Es por ello necesario sincronizar las distancias mediante balizas en ciertos puntos del trayecto

como medida para aumentar la seguridad. En concreto, el equipo de odometría debe cumplir:

- La localización debe de tener un error menor que  $\pm (5m + 5\%)$ .
- La velocidad debe de tener un error menor de  $\pm 2\text{Km/h}$  para velocidades menores de  $30\text{Km/h}$  y  $\pm 12\text{km/h}$  para velocidades hasta  $300 \text{ km/h}$  (según función lineal).

### Sensor Doppler

Otra forma de medir la velocidad y las distancias es mediante el empleo de sensores tipo *Doppler*. Estos, al igual que los sensores odométricos van en los bajos del tren pero no necesariamente sobre los ejes motrices.



Fig. 4.34: Sensor radar tipo Doppler

La principal ventaja que presentan frente a los tacómetros anteriores es que no se ven afectados por una alta tasa de error. Esto se debe a que no les influye el deslizamiento sobre el carril, también llamado patinaje.

### JRU (Registrador Jurídico)

La JRU (*Juridical Recorder Unit*) es el equipo empleado para registrar todo lo acaecido durante un viaje operando con ERTMS. Registra los datos relevantes ocurridos durante el viaje ERTMS (datos procedentes del EVC, STM, GSM-R, etc.) posiblemente necesarios para el esclarecimiento de un accidente o, simplemente, para tareas de mantenimiento.

El planteamiento del JRU es similar al de las “cajas negras” de los aviones, por lo tanto, se diseñan de forma que sean equipos muy robustos y fiables. Además, se diseña para que los datos almacenados no puedan ser borrados ni manipulados sin la herramienta necesaria para ello en condiciones normales.



Fig. 4.35: Registrador jurídico

La capacidad de almacenamiento de la JRU debe de ser de 8 días para un determinado número de eventos importantes. El resto de los eventos, que se pueden clasificar como comunes, solo es obligatorio almacenarlos durante 24 horas. Almacena eventos continuos, como la velocidad del tren, y otros discretos como pueden ser las actuaciones del maquinista. Alguna información registrada es:

- Información que entra y sale del sistema (Mensajes radio, mensajes baliza, etc.).
- Acciones del sistema (actuación frenos, etc.).
- Acciones del maquinista.
- Información mostrada al maquinista.
- Velocidad supervisada en cada momento.

### Train Interface Unit (TIU)

El TIU (*Train Interface Unit*) es el constituyente que permite que el EVC envíe y reciba información del interfaz de tren independientemente de su implementación o fabricante. El TIU es dependiente de la aplicación específica del tren y por lo tanto está definido de una manera mucho más genérica que el resto de los interfaces por UNISIG.

El equipo de ERTMS es intercambiable entre trenes y tiene una serie de funciones y controles sobre sistemas muy amplio y variado. En cambio, el TIU es propio de cada tren y es la interfaz que va a indicar al EVC sus límites de control. Por ejemplo, puede haber trenes que no dispongan de interfaz con el pantógrafo y, por lo tanto, el EVC será incapaz de controlarlo.

Dado que para cada tren es distinto, sí que se definen una serie de acciones y prestaciones que debe ser capaz el TIU de permitir gobernar al EVC por considerarse imprescindibles para la seguridad, una de ellas es el freno de emergencia. En cambio, se definen otras opcionales que pueden no estar disponibles en todos los trenes.



A modo de ejemplo, forma parte del TIU:

- Interfaz con frenos (obligatoria).
- Tracción del tren.
- Control de pantógrafo.
- Control de puertas.
- Disyuntor.
- Estado equipos externos.
- Integridad del tren.

### Specific Transmission Module

El STM (*Specific Transmission Module*) es un constituyente que ejecuta las funciones realizadas hasta ahora por el sistema ATP al que emula (ASFA, EBICAB, LZB en España).



Fig. 4.36: Modulo STM para ASFA

El STM, cuando está operando, ha de emplear los constituyentes ERTMS (DMI, TIU, JRU, Odometría). Por ello se ha especificado una FFFIS entre el EVC y el STM que garantiza:

- Un protocolo seguro. Dado que a través de dicho enlace se envía información que es vital para la seguridad.
- Un medio de transmisión con poco retardo. Se ha especificado el bus *Profibus*. Debe proveer información segura y acceso rápido al STM de manera que no se aprecie la pérdida de tiempo al tener que pasar a través del EVC.

El STM puede tener acceso libre al DMI, TIU y JRU pero el EVC tiene que estar informado.



## Driver Machine Interface

El DMI (Driver Machine Interface) es la interfaz entre el maquinista y el sistema ERTMS del tren.

El DMI muestra al maquinista la información necesaria para poder conducir el tren. En concreto, el DMI en cualquiera de los tres niveles principales de ERTMS muestra la velocidad actual y objetivo, distancia objetivo, recordatorio de señalización y mensajes de aviso.



Fig. 4.37: Pantalla y módulo que conforman el DMI

El DMI está diseñado con una metodología orientada a objetos y desarrollado mediante lenguaje (C++) permitiendo que sea configurable y modular. Existe en dos versiones (pantalla táctil y teclas de función), dependiendo de la versión del sistema.

Debido a que este elemento de a bordo abarca muchos aspectos distintos, su estudio se tratará a continuación en un apartado diferente.

### 4.4.4 Interfaz humana (DMI)

Antes se ha explicado que el equipo recibe a través de la antena y del BTM los telegramas desde la vía, bien sea desde las balizas o desde el RBC, con todos los datos correspondientes a ese itinerario de ruta. Estos telegramas son procesados y junto con la información de localización generada en el propio equipo, establece los controles para realizar una supervisión continua de la marcha del tren.

El resultado de esta supervisión es presentado al maquinista, que conduce el tren en base a la información que se le muestra en pantalla en cada momento. De esta forma, el maquinista ha recibido en la DMI la información de la velocidad permitida a la que debe conducir.

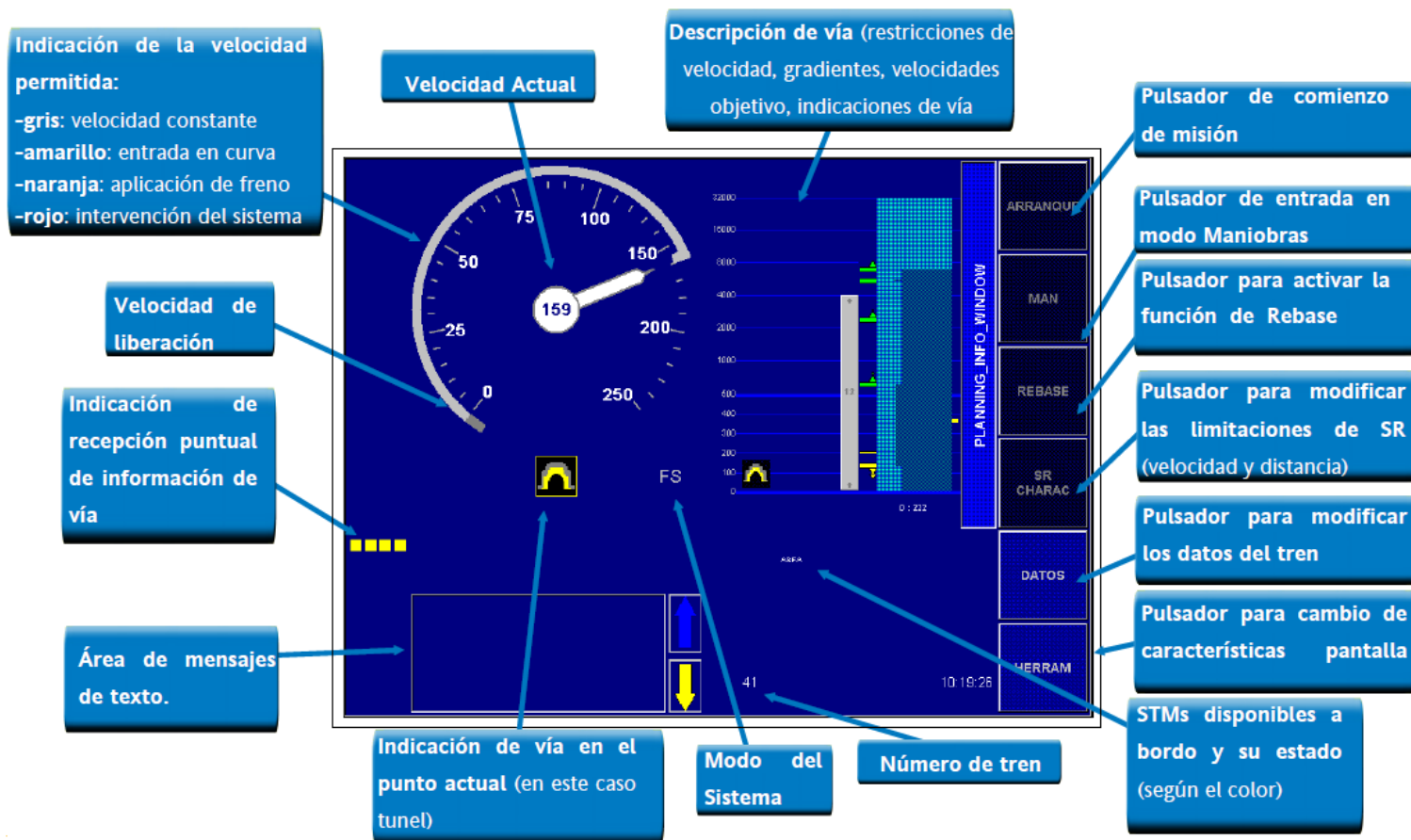


Fig. 4.38: Componentes del DMI (versión táctil)

En la figura 4.38 se muestra una pantalla genérica de la interfaz de maquinista en su versión táctil. En ella se pueden apreciar un velocímetro en la parte superior izquierda, un esquema de recorrido en la parte central superior y una serie de controles en la parte derecha. En la parte inferior, el sistema ofrece información sobre las indicaciones de vía, modo del sistema, mensajes, numero de tren y equipo STM disponible a bordo entre otras.

El Maquinista recibirá información en cabina de las indicaciones de las señales y deberá cumplir las órdenes correspondientes:

- La señalización en cabina prevalecerá sobre la señalización lateral luminosa mientras el sistema ETCS Nivel 1 o 2 esté en modo FS, excepto en la aproximación a una EOA con velocidad de liberación.
- Las MA se generan hasta la siguiente señal de parada renovando su información en los puntos intermedios.
- El sistema ETCS calcula puntos meta intermedios (distancia meta y velocidad meta) y un punto meta que no deberá sobrepasar (distancia meta con velocidad 0).
- A partir de estos puntos meta, el sistema ETCS elabora las curvas de control de velocidad:

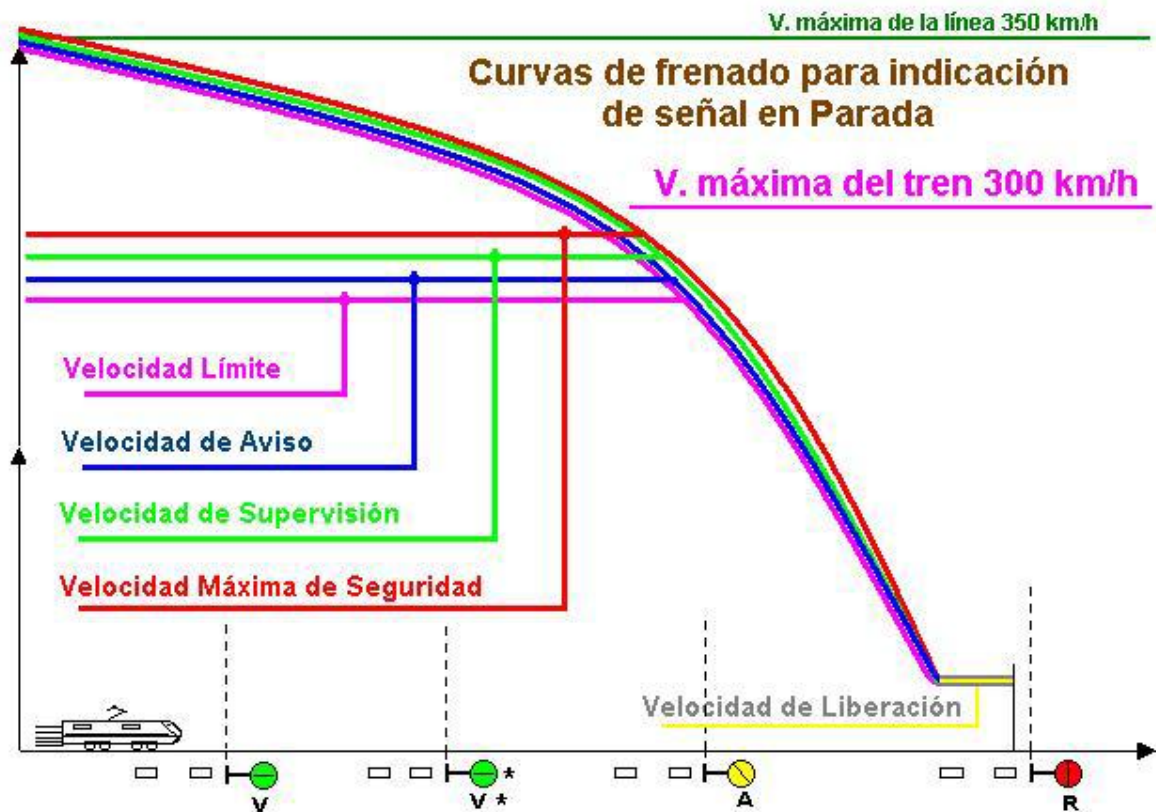


Fig. 4.39: Curvas de velocidad para el sistema ERTMS/ETCS

Dónde:

*Valor mínimo, para la diferencia de velocidades, entre el valor del límite de velocidad permitido y el valor del límite de velocidad de intervención del freno de emergencia es de 5 km/h.*

*Valor máximo, para la diferencia de velocidades, entre el valor del límite de velocidad permitido y el valor del límite de velocidad de intervención del freno de emergencia es de 15 km/h.*

- Curva de velocidad permitida: es la velocidad que puede alcanzar el Maquinista de forma segura y la que se le muestra en el DMI.
- Curva de aviso (situada por encima de la curva de velocidad permitida) de tal forma que, si la velocidad real del tren sobrepasa la velocidad prescrita para esta curva, se envía una indicación (sonora y visual) al Maquinista para que disminuya la velocidad con el fin de evitar la puesta en acción del freno de servicio.
- Curva de supervisión, esta se sitúa por encima de la curva de aviso tal que, si la velocidad real del tren sobrepasa la velocidad prescrita por esta curva, se

activa el freno de servicio de forma automática. El freno se desactivara cuando la velocidad del tren este por debajo de la velocidad limite.

- Curva de velocidad máxima de velocidad, en caso de alcanzar o superar esta curva de velocidad, el sistema aplica el frenado de emergencia de forma automática hasta detener el tren.

Como curiosidad, el nombre de DMI ha pasado por diferentes significados. Originalmente, tal como se puede ver en las primeras versiones de la documentación de ERTMS, este equipo se denominaba MMI (Man Machine Interface). Sin embargo se le cambio el nombre ya que se consideró que era machista, y se cambió por HMI (Human Machine Interface). Este último nombre también se cambió al poco tiempo porque el conductor de un tren no tenía por qué ser necesariamente humano.

#### 4.4.4.1 Descripción de la interfaz

A continuación se pretende hacer una descripción pormenorizada de la interfaz en cabina del sistema ERTMS/ETCS en su última versión (3.3.0) según las especificaciones de ERA en su documento 15560.

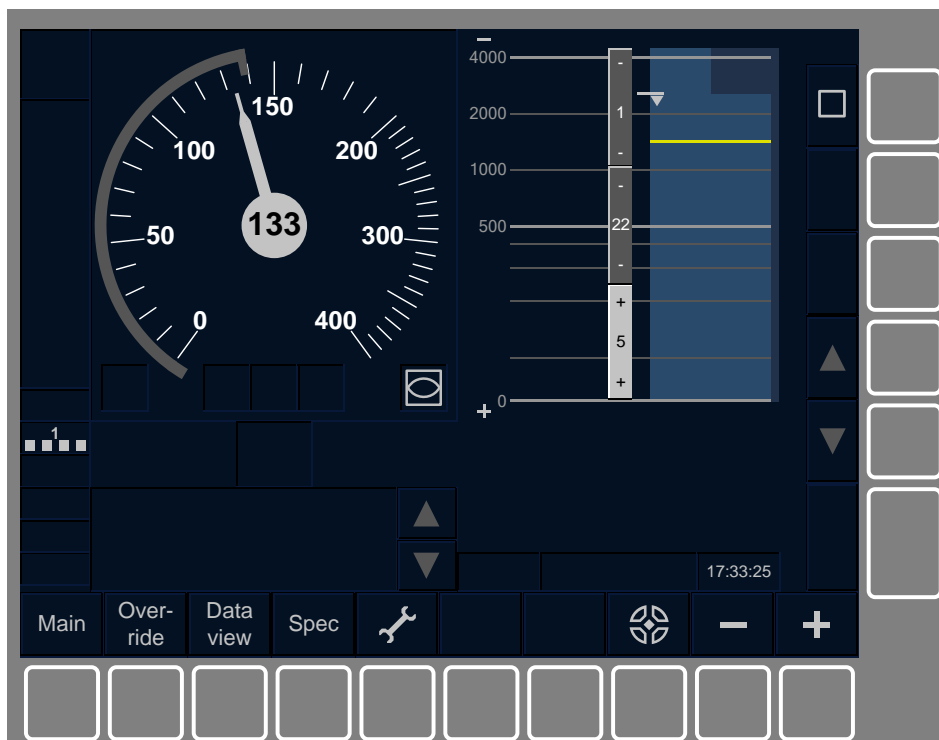


Fig. 4.40: DMI para versión de teclas de función

## Velocímetro

El velocímetro dentro de la interfaz DMI del ERTMS es aquel encargado de mostrar toda la información relativa a la velocidad actual y futura del tren de forma clara y concisa en sus diferentes modos.

Se puede identificar al velocímetro en la zona sombreada (B0) de la imagen 4.41. La imagen no es más que un esquema de la interfaz.

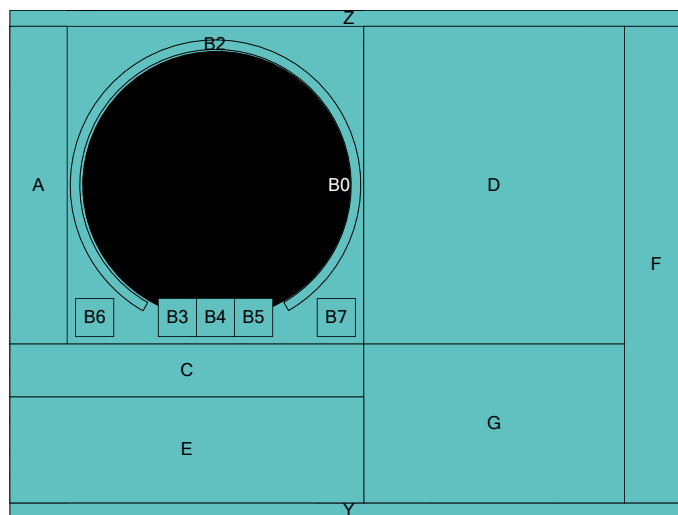


Fig. 4.41: Localización del velocímetro en el DMI



Fig. 4.42: Componentes del velocímetro

El velocímetro es circular y su rango de velocidades comprende desde 0 km/h hasta la máxima velocidad seleccionada en función del tren en el que este equipado el sistema.

El abanico de rangos de velocidades posibles es el siguiente:

- 0 km/h a 400 km/h
- 0 km/h a 250 km/h
- 0 km/h a 180 km/h
- 0 km/h a 140 km/h

Dependiendo del rango de velocidades escogido, la escala de marcación será diferente en cada caso.

La marcación de velocidades del velocímetro se realiza de dos formas, una analógica y otra digital. La analógica se realiza mediante un puntero en forma de aguja que va variando su posición angular en todo el dial de velocidades en función de la velocidad del tren. Para la marcación digital de la velocidad se introduce en el propio puntero de marcación una numeración que indica en cada momento el valor de la velocidad.

Otra novedad del sistema de marcación de velocidad es el cambio de color del velocímetro y el puntero en función de los límites de supervisión marcados. Estos límites y códigos de colores vienen marcados por las curvas de frenado y la velocidad del tren en cada momento.

A continuación se muestra un gráfico que aporta una idea de la sucesión de colores en función del punto de la curva donde se encuentre la velocidad del tren.

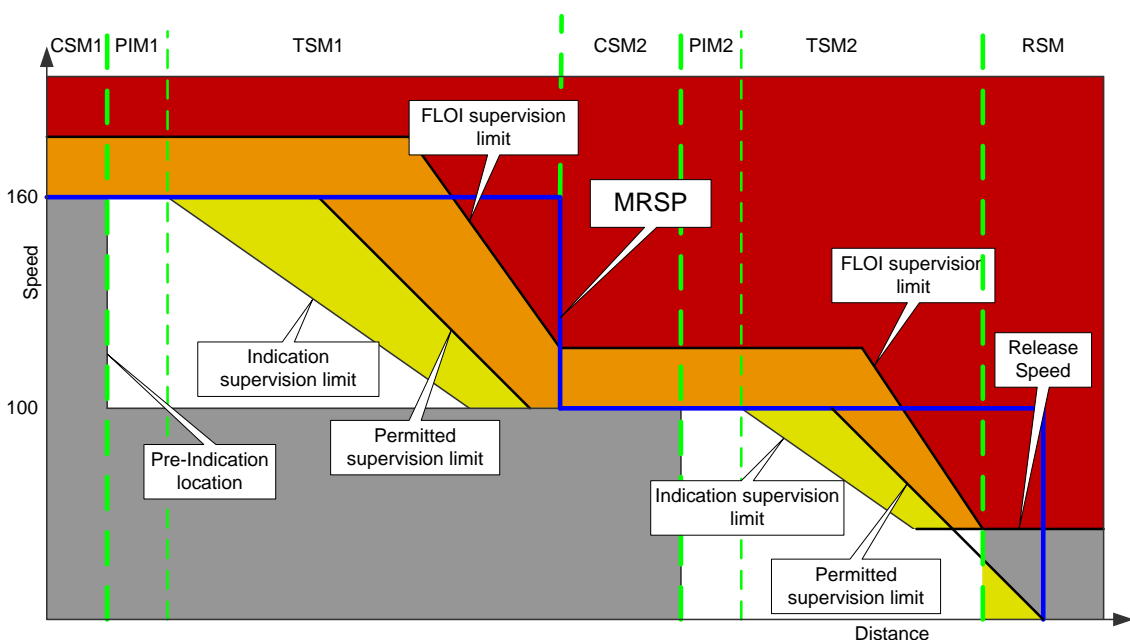


Fig. 4.43: Gráfico del código de colores en función de la curva de frenado

El grafico anterior se divide en varias secciones:

- Dos secciones de monitoreo velocidad de techo (CSM)
- Dos secciones monitoreo de pre-indicación (PIM)
- Dos secciones de vigilancia de velocidad de destino (TSM), uno de ellos un EOA con la velocidad de liberación
- Una sección de monitoreo con velocidad de liberación (RSM)

A continuación se detallan cada una de las secciones del grafico anterior.

#### ***Ceiling Speed Monitoring (CSM)***

En las secciones de monitorización de la velocidad de techo, los colores mostrados serán de color gris siempre y cuando no se supere el límite de velocidad permitida. Si se supera, el color cambiara a naranja o rojo en función de la velocidad.

#### ***Target Speed Monitoring (TSM)***

En la sección de monitoreo de pre-indicación el código de colores cambia a blanco para indicar la existencia de una zona de cambio de velocidad próximamente.

Se pueden dar dos situaciones. Si se está por encima de la velocidad del siguiente tramo el indicador y el rango de velocidad que excede se colorea de color blanco, permaneciendo en color gris el resto. Si por el contrario no se supera la siguiente velocidad máxima permitida el indicador estará de color gris, permaneciendo el rango de velocidades en blanco igualmente.

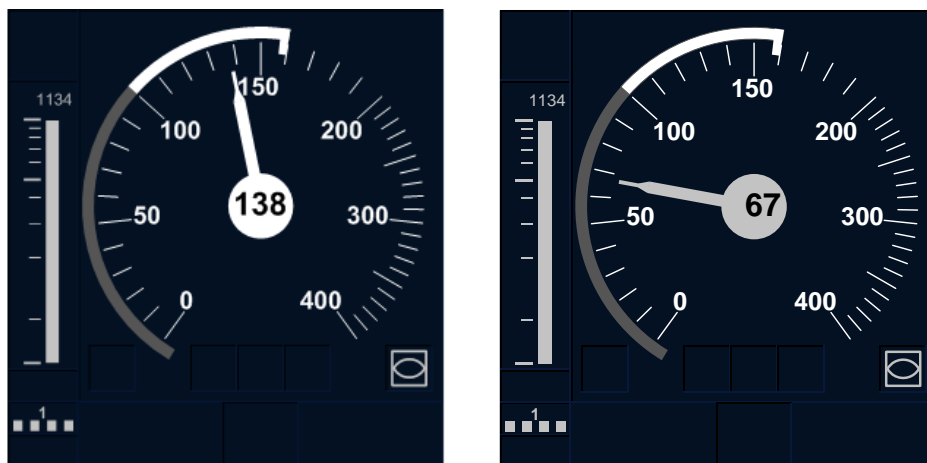


Fig. 4.44: Estados del velocímetro en monitoreo de velocidad objetivo

### **Indication Status information (IndS)**

El indicador de este estado se activa tan pronto como el tren de alta velocidad supera el límite de indicación. De la misma forma, el indicador se desactiva tan pronto como la velocidad del tren actual es inferior a la velocidad objetivo.

El código de colores correspondiente a esta situación es el amarillo.



Fig. 4.45: Estado del velocímetro en caso de superar la velocidad límite

### **Warning Status information (WaS)**

El código de colores del estado de alerta se activa tan pronto como el tren de alta velocidad supera el límite de supervisión de advertencia. Esta alerta se desactiva tan pronto como el tren de alta velocidad no supera el límite de supervisión permitido. Además, junto con esta alerta visual se emite un sonido de aviso. Además, en este estado se aplica el freno de servicio.

El código de colores de esta alerta es el naranja.



Fig. 4.46: Estado del velocímetro en caso de superar la velocidad de supervisión



### Intervention Status (IntS)

En el caso de que el tren supere las velocidades máximas de seguridad se entra en modo de intervención, cambiando todos los colores a rojo y emitiendo avisos sonoros. Además, en este estado se aplica el freno de emergencia.



Fig. 4.47: Estado del velocímetro si se supera la velocidad máxima de seguridad

### Velocidad de liberación

La velocidad de liberación se muestra en cifra en la casilla sombreada del DMI, correspondiente a B6. También se muestra en la zona B2, como límite de velocidad sobre el velocímetro.

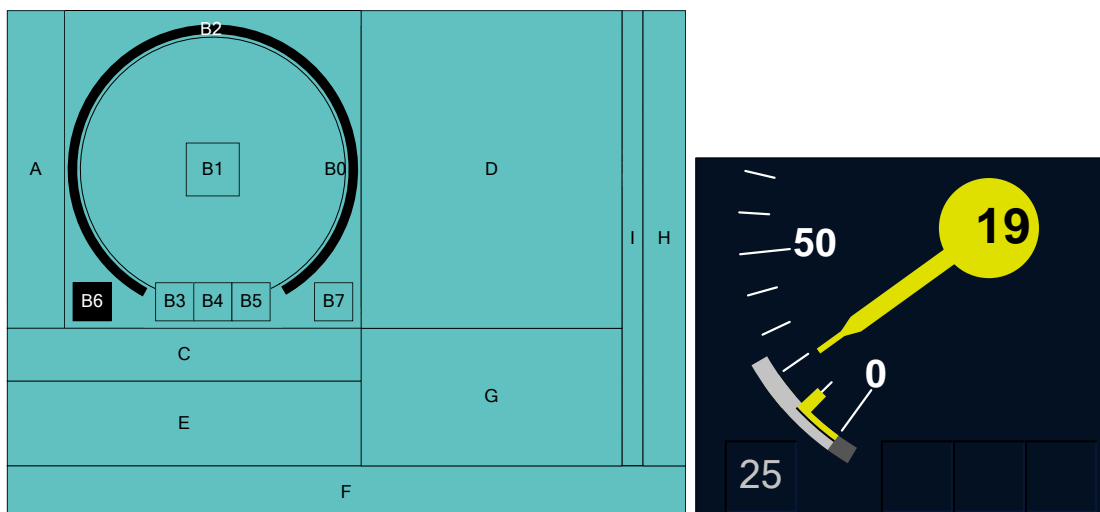


Fig. 4.48: Localización y ejemplo de velocidad de liberación en el DMI

### Mensajes sobre la conducción

Debajo del velocímetro, en el área denominada E, se le presenta al maquinista determinador mensajes sobre la conducción.

El área consiste en 5 líneas, donde se ordenan las informaciones de forma ascendente según orden de llegada. Para desplazarse hay dos botones E10 y E11.

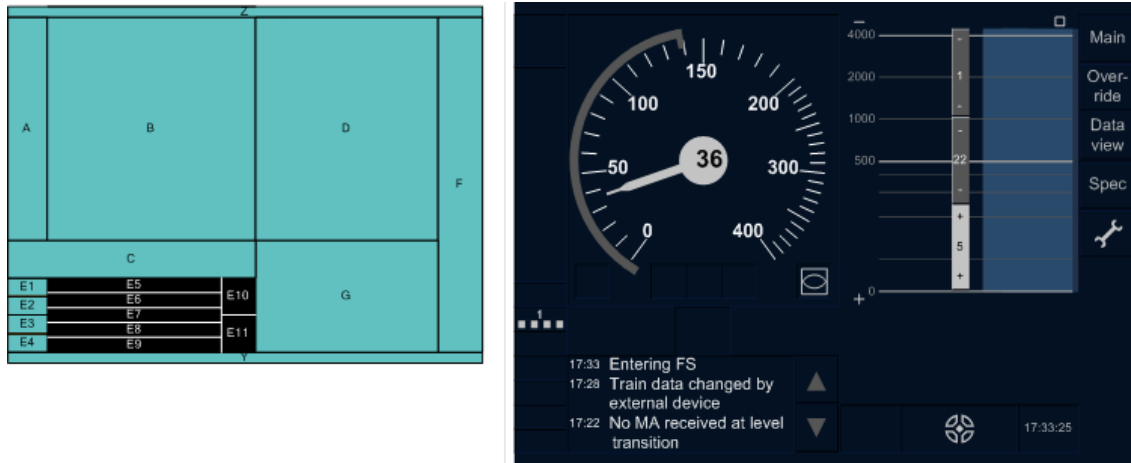


Fig. 4.49: Localización y ejemplo de mensajes en el DMI

### Órdenes y anuncios

Las ordenes y anuncios propios de la vía como pueden ser “bajada de pantógrafos” se muestran debajo del velocímetro mediante iconos en las casillas B3, B4 y B5 que serán ocupadas por orden de llegada.

El aviso de túnel es la única excepción, ya que no se avisará de el en este espacio, si no junto al modo de operación donde transite el tren.

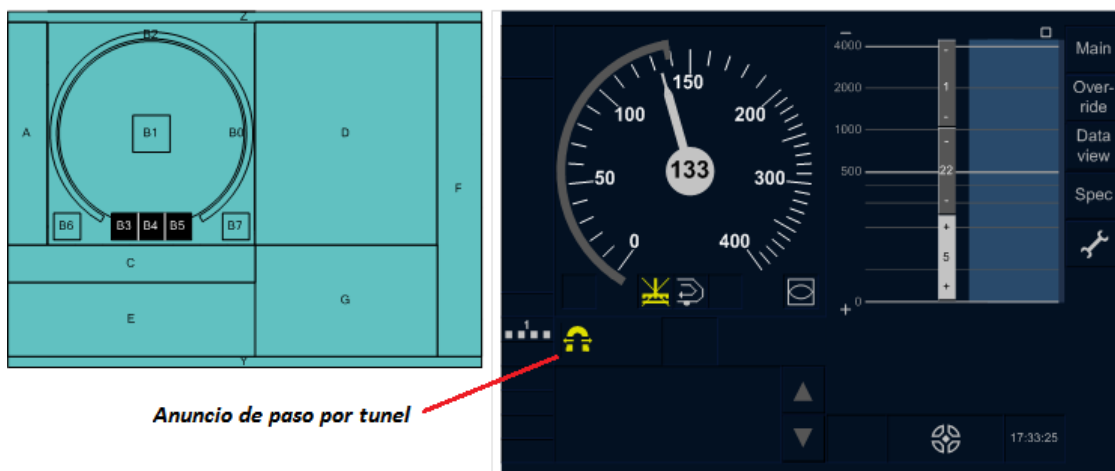


Fig. 4.50: Localización y ejemplo de órdenes y anuncios en el DMI

### Planificación de eventos

En la zona D de la pantalla del DMI se encuentra el planificador o *planning* de eventos. En esta zona se pretende mostrar al maquinista información de:

- Escala de distancias
- Órdenes y anuncios de condiciones de la pista (con exclusión de las zonas de túnel de frenado)
- Perfil del gradiente
- Perfil de velocidad de discontinuidades
- Área de Planificación velocidad Perfil (PSAP)
- Indicación del marcador de posición

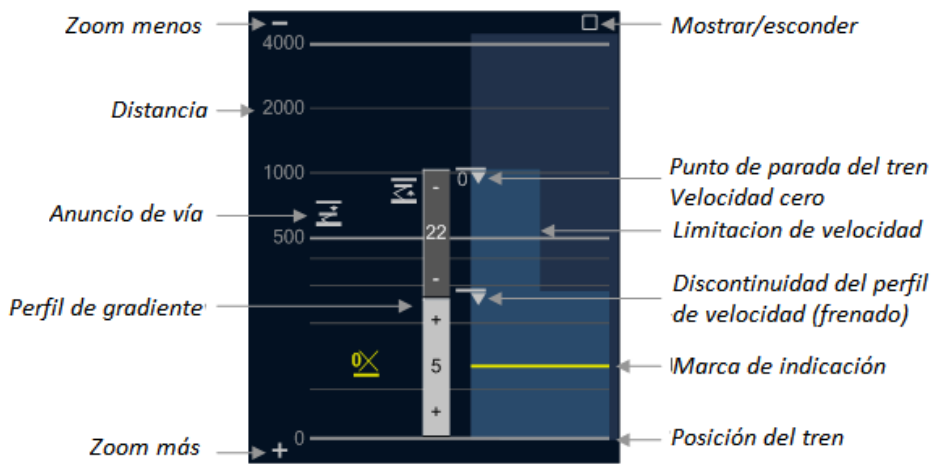


Fig. 4.51: Descripción del planificador de eventos del DMI

Aparte de lo anteriormente mencionado, esta área muestra también información sobre el perfil de velocidad que debe tener. Existe una correspondencia entre las curvas de velocidad y las áreas de velocidad mostradas en el planificador.

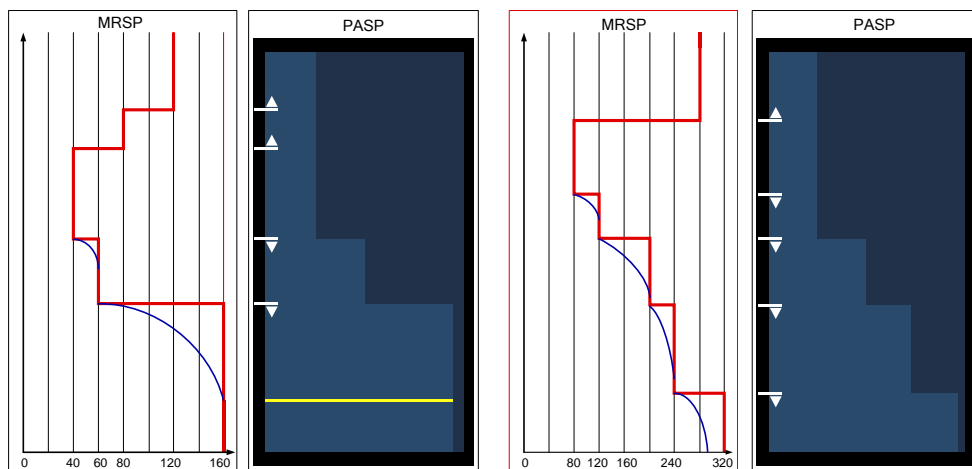


Fig. 4.52: Correspondencia entre curvas de velocidad y las áreas del planificador

Además, el planificador trae una función de zoom ajustable de forma manual para áreas con gran densidad de información a mostrar, así como la opción de discriminar cierta información menos relevante y que no pone en riesgo la seguridad del tren. Todo ello ajustable desde el menú de opciones del DMI.

### Entrada de datos

Como se detalla más adelante, antes de comenzar con una misión hay un proceso de introducción de datos mediante baliza y mediante maquinista. Los correspondientes al maquinista se introducen a través del DMI.

La pantalla contiene una serie de campos de formulario a cumplimentar por parte del maquinista. La entrada de datos puede ser a través de un teclado físico o de una botonera táctil en pantalla.

Train data (1/2)		Train category	PASS 1	
Length (m)	200	Brake percentage	135	
Max speed (km/h)	160			
Train category PASS 1 Length (m) 200 Brake percentage 135 Max speed (km/h) 160 Axle load category A Airtight no Loading gauge Out of GC		PASS 1	PASS 2	PASS 3
		FP 2	FP 3	FP 4
		FG 2	FG 3	FG 4
Train data entry complete?				
Yes		X	◀	▶

Fig. 4.53: Ejemplo de pantalla de introducción de datos (versión táctil)

#### 4.4.4.2 DMI en Nivel STM

El DMI del sistema ERTMS es el mismo cuando se circula fuera de los niveles 1, 2 y 3. Lo único que varía es la información que se proporciona al maquinista, de tal forma que para el nivel 0 solo se representara el velocímetro sin ninguna indicación a mayores.

En el caso del nivel STM, la información que se muestra dependerá de las características del sistema de protección nacional, de forma que el DMI simulará la interfaz que pudiese ofrecer ese sistema nacional pero nunca ampliando sus funciones.

Debido a la variedad de sistemas nacionales que existen en toda Europa, aquí solo se tratarán los 2 sistemas propios existentes en España. Estos sistemas son el ASFA y el EBICAB 900.

### Nivel STM ASFA

Cuando el tren con ERTMS circule por una vía en nivel STM ASFA, el sistema representará las funciones del sistema nacional ASFA.

Para ello se habilita una zona de la pantalla táctil que representa la botonera de este sistema y una zona de indicaciones variables propias del ASFA. El velocímetro mantiene una uniformidad respecto de la velocidad que tenga el tren en cada momento, pero respetando el diseño del ERTMS.

En la siguiente imagen se representa el DMI para nivel STM ASFA.

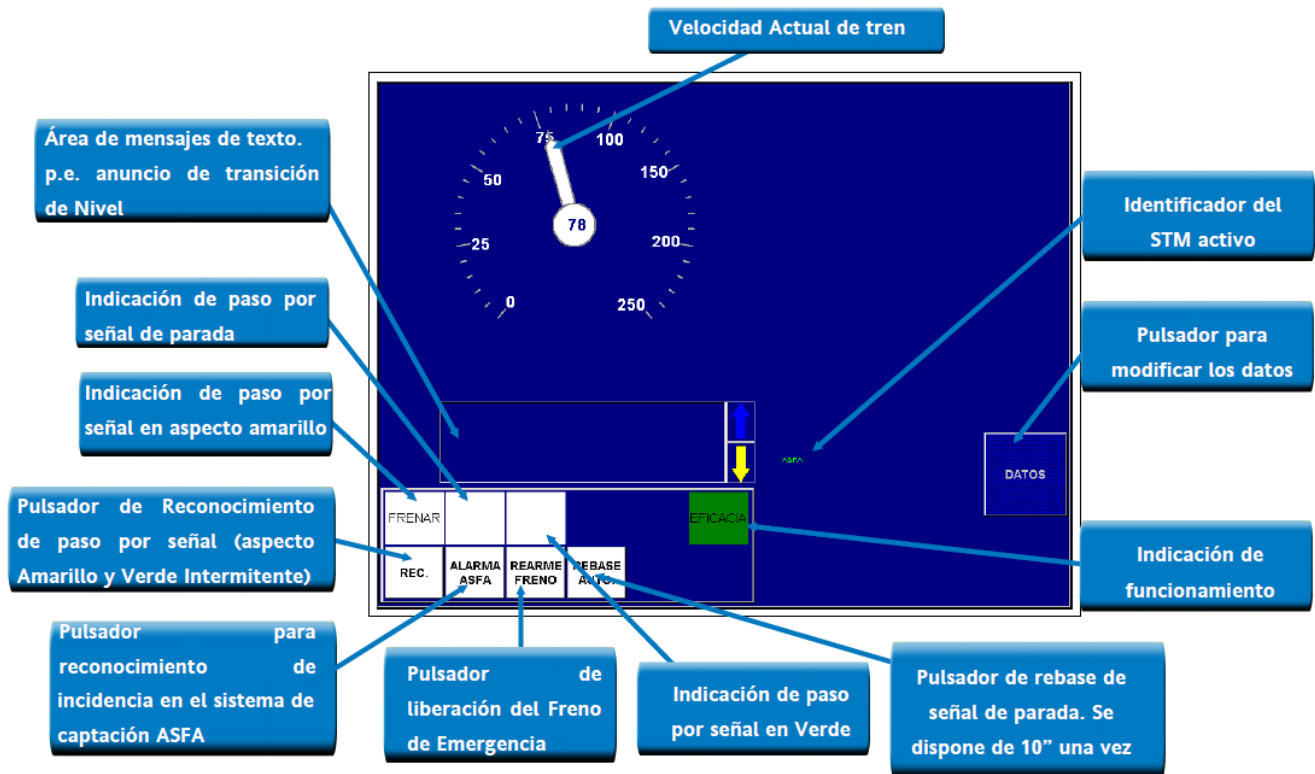


Fig. 4.54: Descripción del DMI para el nivel STM ASFA

### DMI en EBICAB 900

Cuando el tren con ERTMS circule por una vía en nivel STM EBICAB, el sistema representara las funciones del sistema nacional EBICAB900.

En el caso de este sistema las funciones que muestra y se pueden realizar desde el DMI se ven ampliadas respecto a las del sistema ASFA. Ahora, aparte de la botonera virtual se han añadido a la interfaz datos sobre la velocidad máxima y objetivo, aparte de la distancia meta.

El DMI en este caso es del siguiente modo.

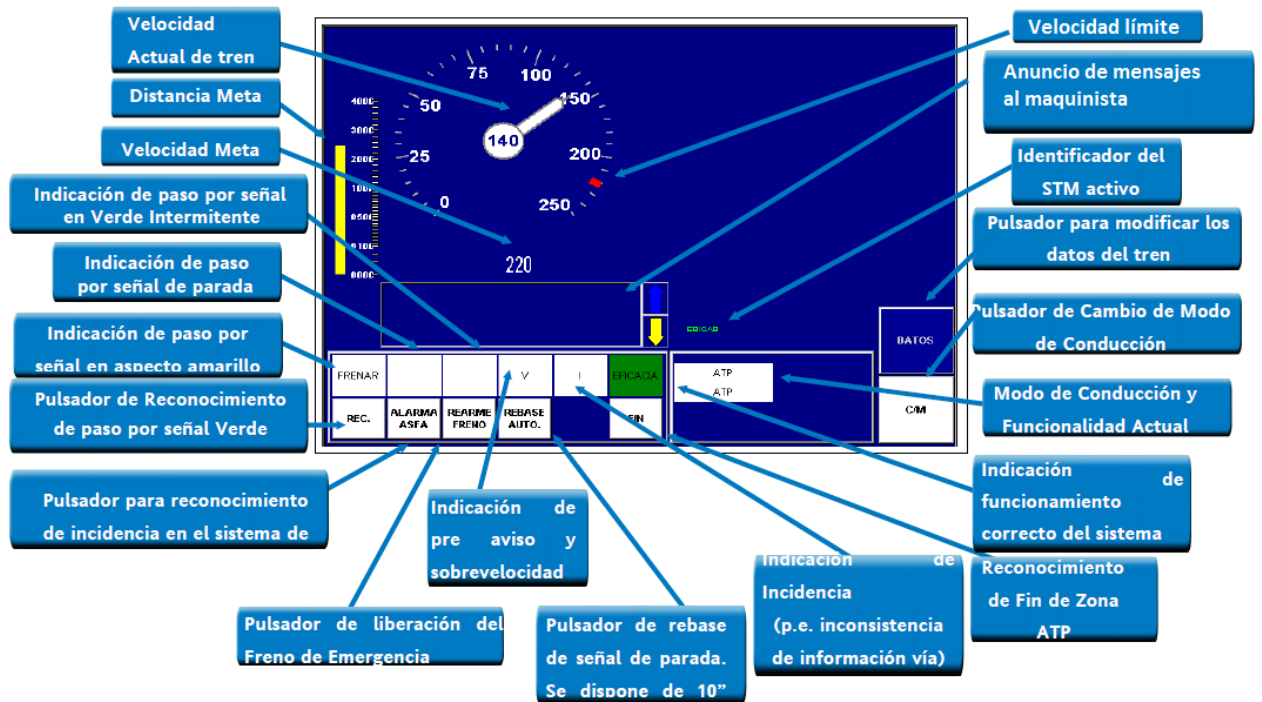


Fig. 4.55: Descripción del DMI para el nivel STM EBICAB900

## 5. Comunicación

La comunicación constituye junto con la interoperabilidad y la intercambiabilidad uno de los pilares básicos del sistema ERTMS.

En este capítulo se va a tratar por un lado la comunicación vía radio (GSM-R), como principal novedad que aporta ERTMS, y por otro lado el lenguaje de comunicación usado tanto en eurobalizas, eurolazos y radio.

### 5.1 GSM-R

La comunicación vía radio es el interfaz usado en los niveles 2 y 3 para la comunicación de voz y datos en 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. Esto permite evitar cualquier tipo de interferencia intrabanda con las redes GSM públicas.

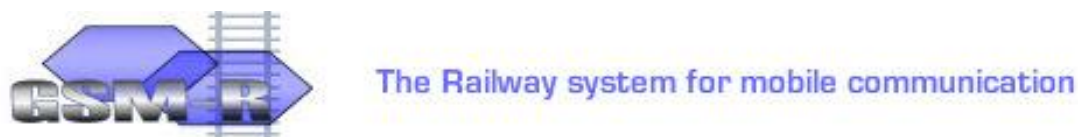


Fig. 5.1: Logotipo del sistema GSM-R

#### 5.1.1 Antecedentes del 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, normalmente en las bandas de frecuencia de 440 a 470 MHz, pero con multitud de tipos diferentes de modulaciones, códigos y señalizaciones.

Debido a 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) 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 aún en fase de estandarización pero dotaba de funcionalidad PMR (*Private Mobile Radio*), la cual es esencial en el entorno ferroviario.

Finalmente se eligió 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*) para desarrollar la tecnología de red GSM-R (-R proviene de *Railway*). GSM-R acabó de ser especificada en 1999 por la ETSI y en el 2000 por EIRENE.

En 2007, GSM-R estaba en pleno funcionamiento en varios ferrocarriles. Países como Noruega y Países Bajos estaban muy por delante, proporcionando una cobertura completa GSM-R en todas las líneas. Otro ejemplo es Italia con casi 10,000 kilómetros de cobertura GSM-R.

Cada año hay más rutas disponibles con GSM-R en el interior de Europa, pero también cada vez más fuera de la UE. Por ejemplo, actualmente se está implantando en el norte de África, mientras que se están ultimando los estudios de factibilidad GSM-R en Rusia, Argentina, Brasil y los EE.UU.

### 5.1.2 Implementación del GSM-R

Como GSM-R ofrece una transmisión segura de voz, datos y aplicaciones se utiliza como la principal capa en la que se ejecutan aplicaciones de seguimiento de la seguridad y de tren.

El subsistema de radio de la red GSM-R se implementa normalmente utilizando estaciones transceptoras base y torres de comunicación. Las antenas de estas bases se colocan al lado de la vía del ferrocarril en intervalos de ocho a veinte kilómetros aproximadamente.

A través de GSM-R, los trenes tienen una comunicación constante mediante la conexión con conmutación de módem digital a sus respectivos centros de control.



El sistema está diseñado de tal forma que si se pierde la conexión con el centro, el tren se detiene automáticamente.



Fig. 5.2: Repetidor GSM-R

Este sistema funciona con mayor o menor prioridad en función del tipo de uso. A esto, se le llama *Multinivel de precedencia y Servicio Prepreferente* (eMLPP), donde se proporcionan diferentes niveles de prioridad para el establecimiento de llamada y la continuidad en el caso de traspaso.

Los diferentes niveles de prioridad son:

- Los niveles más altos de prioridad (no utilizadas por las redes GSM-R): A y B
- 0: nivel de mayor prioridad ASCI y llamadas (utilizado principalmente para llamadas tipo REC)
- 1: prioridad más baja que el nivel 0
- 2: prioridad más baja que el nivel 1
- 3: prioridad más baja que el nivel 2
- 4: nivel de prioridad más baja (prioridad predeterminado, asignado a Punto-a-Punto de llamadas)

Dentro de cada nivel de prioridad se definen las actividades de comunicación que se pueden realizar. A continuación se expone brevemente cada una de ellas.

### **VGCS (*Voice Group Call Service*)**

El VGCS o Grupo de llamada de servicio de voz en castellano, permite a un gran número de usuarios a participar en la misma llamada. Esta función imita la analógica llamada PMR (*Private Mobile Radio*) de grupo con la tecla PTT (*Push-to-Talk*) al estilo de las emisoras.

En este tipo de llamada se definen tres tipos de usuarios diferentes: el transmisor, el oyente y el responsable o centro de control. El orador puede convertirse en un oyente por la liberación de la tecla PTT y un oyente puede convertirse en un interlocutor pulsando la tecla PTT.

Una de las ventajas del VGCS en comparación con llamadas múltiples (la función de llamada de conferencia en GSM-R) es la eficiencia del espectro. Con este sistema se utiliza una frecuencia para todos los oyentes y dos frecuencias para la persona que habla.

La segunda ventaja en comparación con llamadas múltiples es que no es necesario saber el número de los móviles para participar en la llamada. Las llamadas en VGCS se establecen sobre una base puramente geográfica, sujeto a un móvil que tiene la recepción previamente habilitado del grupo en cuestión.

### **VBS (*Voice Broadcasting Service*)**

Una llamada tipo VBS es una llamada de grupo para la difusión de un mensaje, de esta forma solo el iniciador de la llamada puede hablar si lo comparamos con VGCS. El resto de participantes solo son oyentes. Este tipo de llamada se utiliza principalmente para transmitir mensajes grabados o para hacer anuncios a los maquinistas de una zona.

### **REC (*Railway Emergency Call*)**

REC es una llamada de grupo, o VGCS, dedicada a la urgencia. Es una llamada que tiene el mayor nivel de prioridad (nivel 0).

### **SEC (*Shunting Emergency Call*)**

La *Estación de clasificación de llamadas de emergencia* es una llamada de grupo dedicada con el número 599. La llamada se establece con un nivel de prioridad de emergencia, donde el mayor nivel de prioridad puede ser 0.

La SEC es activado y utilizado por los dispositivos registrados para operaciones de maniobras. El establecimiento de dicha convocatoria conduce a aceptación automática de la llamada en todos los dispositivos habilitados dentro del área actual o célula-grupo configurado en un mínimo margen de tiempo.

Además de todos los usos anteriores, GSM-R también se utiliza para aplicaciones como video vigilancia, sistemas de información de pasajeros y seguimiento de la carga.



Fig. 5.3: Equipo de comunicación GSM-R



Fig. 5.4: Consola de mensajes para GSM-R



Fig. 5.5: Tabla de iconos y su significado utilizados en la consola de mensajes

### 5.1.3 Espectro de frecuencias GSM-R

El rango de frecuencias utilizado en las redes GSM-R puede diferir ligeramente de un país a otro. Según las especificaciones, GSM-R utiliza una extensión inferior de la frecuencia de 900 MHz: 876 MHz - 915 MHz para el enlace de subida de datos y 921 MHz - 960 para el enlace descendente o de descarga.

En Europa, los 876 MHz a 880 MHz y los 921 MHz a 925 MHz se utilizan para la transmisión de datos y la recepción de datos, respectivamente. La separación entre canales es de 200 kHz. En China, GSM-R ocupa una amplia gama de frecuencias a 4 MHz de la banda de E-GSM (900 MHz-GSM).

La modulación utilizada en GSM-R es GMSK. GSM-R es un TDMA del sistema, lo que significa que la transmisión de datos consta de tramas periódicas con períodos de 4.615 ms para cada canal físico. Cada trama TDMA consta de 8 canales lógicos (intervalos de tiempo) que transportan 148 bits de información.

Cada usuario GSM-R requiere conexión constante, un servicio ininterrumpido y de alta disponibilidad, especialmente cuando se mueve a gran velocidad. El estándar GSM-R ofrece una entrega perfecta y un rendimiento garantizado a velocidades de

hasta 500 km/h. Como la información de señalización GSM-R se lleva directamente al propio tren, GSM-R hace posible velocidades más altas en los trenes y una mayor densidad de tráfico a la vez que aumenta el nivel de seguridad.

En Suecia hay un conflicto que se ha dado frecuencias para 4G / LTE, ya que están muy cerca de las frecuencias GSM-R. Es imposible evitar totalmente las frecuencias cercanas, pero la seguridad del sistema GSM-R no debe ser perturbada por ondas cercanas que causen interferencia.

La solución a corto plazo es evitar el uso de las frecuencias 4G cerca de los ferrocarriles, lo que da menos capacidad de datos móviles para los pasajeros. La solución a largo plazo es cambiar las frecuencias de GSM-R o de 4G en Suecia.

### 5.1.4 Proveedores

Actualmente hay tres principales proveedores de equipos de red GSM-R a los operadores ferroviarios: Huawei, Nokia Siemens Networks y Nortel. Estas empresas trabajan a menudo junto con consultores de telecomunicaciones para la planificación, validación y optimización de redes GSM-R.

El equipo de transmisión del tren es fabricado por Alstom, Center Systems, Hoermann Funkwerk Kolleda, Huawei, NEC Portugal, Nortel, Sagem (el principal proveedor de teléfonos móviles GSM-R), Siemens Transportation Systems y Triorail.

Se ha recogido en la tabla 5.1 los fabricantes y proveedores de los equipos de red y de abordado para diferentes países que utilizan GSM-R.

País	Operador de red	Operador ferroviario	Equipo
<b>Alemania</b>	DB Netz	DBAG	Kapsch CarrierCom AG / SED
<b>Austria</b>	ÖBB -IKT GmbH	ÖBB	Kapsch CarrierCom AG / SED
<b>Australia</b>	UGL Limited	RailCorp	Huawei
<b>Bélgica</b>	Infrabel	NMBS / SNCB	Nokia Siemens
<b>China</b>	China Ministerio de Ferrocarril	China Ministerio de Ferrocarril	Huawei / ZTE / SED
<b>República Checa</b>	Správa Železniční dopravní cesty	ČD	Kapsch CarrierCom AG / SED
<b>Dinamarca</b>	Banedanmark	OSD	Nokia Siemens
<b>Finlandia</b>	Liikennevirasto	VR	Nokia Siemens
<b>Francia</b>	RFF	SNCF	Kapsch CarrierCom

País	Operador de red	Operador ferroviario	Equipo
<b>Reino Unido</b>	Network Rail Limited	Varios	Siemens Mobility
<b>Hungría</b>	VPE	MÁV	Kapsch CarrierCom
<b>India</b>	Nokia Siemens Networks	IR	Nokia Siemens + Kapsch CarrierCom
<b>Italia</b>	RFI	TI	Nokia Siemens + Kapsch CarrierCom
<b>Lituania</b>	Ferrocarriles de Lituania	Ferrocarriles de Lituania	Kapsch CarrierCom
<b>Noruega</b>	Jernbaneverket	NSB	Nokia
<b>Arabia Saudí</b>	Alshoula junto con ADIF	Organización de Arabia Saudita	Kapsch CarrierCom
<b>España</b>	ADIF	RENFE	Nokia Siemens + Kapsch CarrierCom
<b>Suecia</b>	Trafikverket	SJ , Héctor Carril , Cargo Verde	Nokia Siemens

Tabla 5.1: Fabricantes y operadores de GSM-R por países

## 5.2 Lenguaje de comunicación

Para el sistema de comunicación del sistema ERTMS se ha desarrollado un lenguaje propio entre el tren y las infraestructuras ferroviarias. Este lenguaje se llama lenguaje ERTMS, por ser propio y único para el sistema, y es capaz de transmitir información al tren de forma segura y extremadamente detallada.

La estructura del sistema de comunicación está basada en estructuras de complejidad creciente mediante el empleo de variables, paquetes, mensajes y telegramas. Estas estructuras se definen con detalle en los capítulos 7 y 8 de la versión actual de las especificaciones técnicas (SRS v3.4.0 5/14 Subset-026 SRS).

El software de comunicaciones se desarrolla siguiendo la estrictas normas de diseño que se describen en la normativa Europea, concretamente en las especificaciones EN 50126 y 50129.

Las interfaces definidas por las especificaciones técnicas como interfaces Europeas de comunicación son las siguientes:

1. Eurobaliza: sistema puntual de comunicación a 4,2 MHz

2. Euroradio: protocolo de la capa de seguridad de la comunicación radio GSM-R para la comunicación tren – tierra (921 – 925 MHz) y tierra – tren (876 – 880 MHz).
3. Eurolazo: sistema semi-contínuo de comunicación para la transmisión de información avanzada. Basado en cable radiante a 13,5475 MHz captado por la antena de Eurobaliza.
4. STM: Interfaz de adaptación con los sistemas de señalización existentes en la infraestructura.
5. Descarga de la Unidad Jurídica de Registro, que actúa como “caja negra”.
6. DMI: interfaz Hombre-Máquina. Comunicación mediante mensajes y símbolos.

Entre todas interfaces y los sistemas propios de control y supervisión se realizan una serie de comunicaciones en lenguaje ERTMS. Este lenguaje consta de una serie de variables, paquetes, mensajes y telegramas que a continuación se exponen.

### 5.2.1 Variables

El control y protección de un tren se lleva a cabo mediante un intercambio de mensajes en tiempo real entre subsistemas. Los mensajes intercambiados entre la infraestructura y el tren son una parte esencial de las especificaciones de interoperabilidad.

Las variables se utilizan en los mensajes para la codificación de datos correspondientes a magnitudes físicas predefinidas. Según la magnitud física representada, las variables toman un prefijo simbólico:

<b>Prefijo</b>	<b>Variable</b>
A_	Aceleración
D_	Distancia
G_	Gradiente
L_	Longitud
M_	Misceláneo
N_	Número
NC_	Número de Clase
NID_	Número de identidad
Q_	Calificador
T_	Tiempo / Fecha
V_	Velocidad
X_	Texto

El total de variables posibles en el conjunto de la comunicación es de 174. Como es imposible dentro de este TFG exponer todas, a continuación se exponen algunas de

las variables más significativas por su papel clave en la proceso de protección de los movimientos del tren.

### Variables de distancia:

Estas variables están afectadas por un factor de escala (Q\_SCALE) que permite definir las distancias en centímetros o en metros en múltiplos de 10 comenzando en una unidad de 10cm.

#### D\_DP:

Especifica la distancia desde el fin de la autorización de movimiento hasta el punto protegido.

<i>Name</i>	Distance from the End Authority to danger point		
<i>Description</i>			
<i>Length of variable</i>	<i>Minimum Value</i>	<i>Maximum Value</i>	<i>Resolution/formula</i>
15 bits	0 cm	327.670 km	10 cm, 1m or 10 m depends on Q_SCALE.

#### D\_REF:

Especifica la distancia desde el último grupo de balizas hasta la posición actual del tren.

<i>Name</i>	Reference distance		
<i>Description</i>	Distance between the LRBG and the new shifted location reference. The positive values are in the nominal direction of the LRBG		
<i>Length of variable</i>	<i>Minimum Value</i>	<i>Maximum Value</i>	<i>Resolution/formula</i>
16 bits	327.680 km	327.670 km	10 cm, 1m or 10 m depends on Q_SCALE.
<i>Special/Reserved Values</i>	The negative value are coded in 2's complement		

#### D\_TRACKCOND:

Distancia a la que comienza un cambio en las condiciones de la vía.

<i>Name</i>	Track condition distance		
<i>Description</i>	The incremental distance to where the track conditions change.		
<i>Length of variable</i>	<i>Minimum Value</i>	<i>Maximum Value</i>	<i>Resolution/formula</i>
15 bits	0 m	327.670 km	10 cm, 1m or 10 m depending on Q_SCALE



### D\_TSR:

Distancia a la que comienza una restricción de velocidad.

<i>Name</i>	Distance to beginning temporary speed restriction		
<i>Description</i>			
<i>Length of variable</i>	<i>Minimum Value</i>	<i>Maximum Value</i>	<i>Resolution/formula</i>
15 bits	0 cm	327.670 km	10 cm, 1m or 10 m depends on Q_SCALE

### Variables de longitud:

Estas variables contienen también el factor de escala (Q\_SCALE) que permite definir las distancias en centímetros o en metros.

### L\_ACKLEVELTR:

Longitud de vía disponible para que el maquinista reconozca una transición.

<i>Name</i>	Length of the acknowledgement area in rear of the required level		
<i>Description</i>			
<i>Length of variable</i>	<i>Minimum Value</i>	<i>Maximum Value</i>	<i>Resolution/formula</i>
15 bits	0 cm	327.670 km	10 cm, 1m or 10 m depends on Q_SCALE

### L\_ENDSECTION:

Longitud de la sección final de una autorización de movimiento.

<i>Name</i>	Length of the End section in the MA		
<i>Description</i>			
<i>Length of variable</i>	<i>Minimum Value</i>	<i>Maximum Value</i>	<i>Resolution/formula</i>
15 bits	0 cm	327.670 km	10 cm, 1m or 10 m depends on Q_SCALE.

### L\_MAMODE:

Longitud del área definida para el modo requerido.

<i>Name</i>	Length of the area of the required mode		
<i>Description</i>			
<i>Length of variable</i>	<i>Minimum Value</i>	<i>Maximum Value</i>	<i>Resolution/formula</i>
15 bits	0 m	327.660 km	10 cm, 1m or 10 m depending on Q_SCALE
<i>Special/Reserved Values</i>	1111...111	Infinite length	

**L\_TSR:**

Longitud del área afectada por una restricción temporal de velocidad.

<i>Name</i>	Length of the temporary speed restriction		
<i>Description</i>			
<i>Length of variable</i>	<i>Minimum Value</i>	<i>Maximum Value</i>	<i>Resolution/formula</i>
15 bits	0 cm	327.670 km	10 cm, 1m or 10 m depends on Q_SCALE

**Variables miscelánea:**

Esta categoría de variables agrupa a todas aquellas que no se pueden clasificar en un propio grupo.

**M\_MODE :**

Modo técnico de operación del equipo embarcado.

<i>Name</i>	Onboard operating mode		
<i>Description</i>			
<i>Length of variable</i>	<i>Minimum Value</i>	<i>Maximum Value</i>	<i>Resolution/formula</i>
4 bits	0	Full Supervision	
	1	On Sight	
	2	Staff Responsible	
	3	Shunting	
	4	Unfitted	
	5	Sleeping	
	6	Stand By	
	7	Trip	
	8	Post Trip	
	9	System Failure	
	10	Isolation	
	11	Non Leading	
	12	STM European	
	13	STM National	
	14	Reversing	
15	Spare		

**M\_LEVEL:**

Nivel de operación actual del tren.

<i>Name</i>	Current Operating Level		
<i>Description</i>			
<i>Length of variable</i> 3 bits	<i>Minimum Value</i>	<i>Maximum Value</i>	<i>Resolution/formula</i>
<i>Special/Reserved Values</i>	0		Level 0
	1		Level STM
	2		Level 1
	3		Level 2
	4		Level 3
	5-7		Spare

**Variables de número:**

Este tipo de variables indican un valor numérico referido siempre a un objeto o dato concreto.

**N\_TOTAL:**

Número de balizas dentro de un grupo.

<i>Name</i>	Total number of balise(s) in the group		
<i>Description</i>			
<i>Length of variable</i> 3 bits	<i>Minimum Value</i>	<i>Maximum Value</i>	<i>Resolution/formula</i>
<i>Special/Reserved Values</i>	0	1	balise in the group
	...		
	7	8	balises in the group

**N\_PIG:**

Posición relativa de una baliza dentro de un grupo de balizas.

<i>Name</i>	Position in Group		
<i>Description</i>	Defines the relative position in a balise group		
<i>Length of variable</i> 3 bits	<i>Minimum Value</i>	<i>Maximum Value</i>	<i>Resolution/formula</i>
<i>Special/Reserved Values</i>	0		I am the 1 <sup>st</sup>
	...		...
	7		I am the 8 <sup>th</sup>

### Variables de identificación:

Sirven para identificar al objeto que nombran. Generalmente contendrán números de serie o referencia, motivo por el que se les dota de un tamaño más grande que al resto de variables.

#### NID\_BG:

Número de identidad del grupo de balizas

<i>Name</i>	Identity number of the balise group		
<i>Description</i>	Identity number of a balise group or loop within the country or region defined by NID_C.		
<i>Length of variable</i>	<i>Minimum Value</i>	<i>Maximum Value</i>	<i>Resolution/formula</i>
14 bits	0	16382	Numbers
<i>Special/Reserved Values</i>	16383	Identity is unknown (only to be used for Linking information)	

#### NID\_RBC:

Número de Identidad de un RBC

<i>Name</i>	RBC ETCS identity number		
<i>Description</i>	This variable provides the identity of the RBC belonging to NID_C.  The RBC ETCS identity is given by NID_C + NID_RBC.		
<i>Length of variable</i>	<i>Minimum Value</i>	<i>Maximum Value</i>	<i>Resolution/formula</i>
14 bits	0	16 382	Number
<i>Special/Reserved Values</i>	16 383	Contact last known RBC	

#### NID\_PACKET:

Identificador de paquetes de comunicación

<i>Name</i>	Packet identifier		
<i>Description</i>	This is used in the header for each packet, allowing the receiving equipment to identify the data which follows.		
<i>Length of variable</i>	<i>Minimum Value</i>	<i>Maximum Value</i>	<i>Resolution/formula</i>
8 bits	0	255	Numbers

### Variables calificadoras:

Tienen como misión dar las características del objeto al que van referidas. Normalmente no se les asigna mucha memoria.

#### Q\_DIR:

Dirección del movimiento para la que es válida la información transmitida

<b>Name</b>	Validity direction of transmitted data		
<b>Description</b>	Qualifier to indicate the relevant validity direction of transmitted data, with reference to directionality of the balise group sending the information or to directionality of the LRBG, in case of information sent via radio.		
<b>Length of variable</b>	<b>Minimum Value</b>	<b>Maximum Value</b>	<b>Resolution/formula</b>
2 bits			
<b>Special/Reserved Values</b>	00	Reverse	
	1	Nominal	
	10	Both directions	
	11	Spare	

#### Q\_GDIR:

Calificador de gradiente

<b>Name</b>	Qualifier for gradient slope.		
<b>Description</b>			
<b>Length of variable</b>	<b>Minimum Value</b>	<b>Maximum Value</b>	<b>Resolution/formula</b>
1 bit			
<b>Special/Reserved Values</b>	0	downhill	
	1	uphill	

### Variables de tiempo:

Referidas siempre en segundos, estas variables almacenan datos temporales.

#### T\_NVCONTACT:

Tiempo máximo sin contacto por radio.

<b>Name</b>	Maximal time without new “safe” message.		
<b>Description</b>	If no “safe” message has been received from the track for more than T_NVCONTACT seconds, an appropriate action according to M_NVCONTACT must be triggered.  This variable is part of the National Values		
<b>Length of variable</b>	<b>Minimum Value</b>	<b>Maximum Value</b>	<b>Resolution/formula</b>
8 bits	0s	254s	1s
<b>Special/Reserved Values</b>	1111 1111	T_NVCONTACT = ∞	

### T\_SECTIONTIMER:

Tiempo de validez de una sección en una autorización de movimiento

<i>Name</i>	Validity time of a section in the MA		
<i>Description</i>	Time for which the section is valid.		
<i>Length of variable</i>	<i>Minimum Value</i>	<i>Maximum Value</i>	<i>Resolution/formula</i>
10 bits	0	1022	1 s
<i>Special/Reserved Values</i>	1023	∞	

### Variables de velocidad:

Almacenan cantidades referidas en km/h e inferiores a 600km/h en todos los casos.

### V\_LOA:

Velocidad permitida en el límite de la autorización de movimiento.

<i>Name</i>	Permitted speed at the limit of authority		
<i>Description</i>			
<i>Length of variable</i>	<i>Minimum Value</i>	<i>Maximum Value</i>	<i>Resolution/formula</i>
7 bits	0 km/h	600 km/h	5 km/h
<i>Special/Reserved Values</i>	121-127	Spare	

### V\_RELEASEDP:

Velocidad de liberación referente al punto de peligro.

<i>Name</i>	Release speed associated with the danger point		
<i>Description</i>			
<i>Length of variable</i>	<i>Minimum Value</i>	<i>Maximum Value</i>	<i>Resolution/formula</i>
7 bits	0 km/h	600 km/h	5 km/h
<i>Special/Reserved Values</i>	121-125	Spare	
	126	Use onboard calculated release speed	
	127	Use national value	

### V\_NVONSIGHT:

Velocidad permitida en marcha a la vista (modo *OnSight*)

<i>Name</i>	On Sight mode speed limit		
<i>Description</i>	This variable is part of the National Values		
<i>Length of variable</i>	<i>Minimum Value</i>	<i>Maximum Value</i>	<i>Resolution/formula</i>
7 bits	0 km/h	600 km/h	5 km/h
<i>Special/Reserved Values</i>	121-127	Spare	

### V\_STATIC:

Velocidad para un perfil estático.

<i>Name</i>	Static speed profile		
<i>Description</i>	Static speed profile speed after discontinuity (k).		
<i>Length of variable</i>	<i>Minimum Value</i>	<i>Maximum Value</i>	<i>Resolution/formula</i>
7 bits	0	600 km/h	5 km/h
<i>Special/Reserved Values</i>	121-126	Spare	
	127	Non numerical value telling that the static speed profile description ends at D_STATIC(n)	

## 5.2.2 Paquetes

Los paquetes son un conjunto de variables agrupadas en una unidad con una estructura interna definida.

### Tierra a tren

Un único paquete, con la longitud del paquete en bits, la información de orientación, y opcionalmente la escala de distancia y una sección de información que contiene un conjunto definido de variables. La estructura de este tipo de paquete es la siguiente:

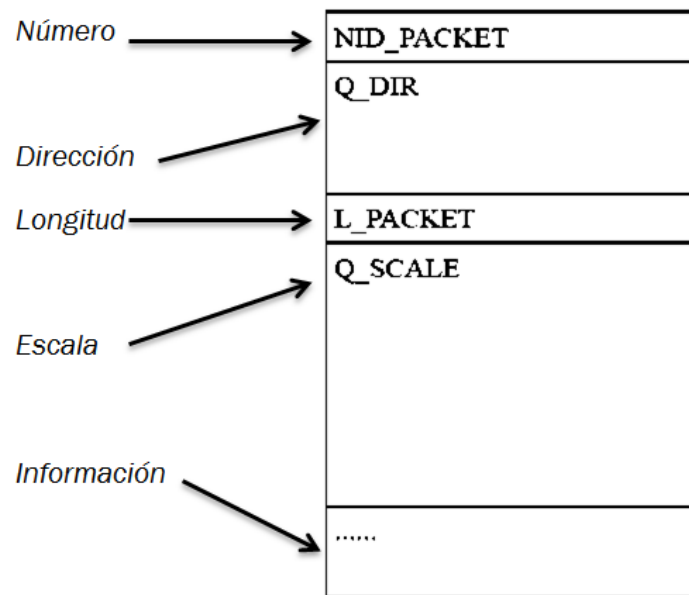


Fig. 5.6: Composición de un paquete de Tierra a Tren

### Tren a tierra

Un único paquete, con la longitud del paquete en bits, y opcionalmente, la escala de distancia y la sección de información que contiene un conjunto definido de variables. Este tipo de paquetes solo está disponible en el nivel 2 y 3. La estructura de paquete es la siguiente:

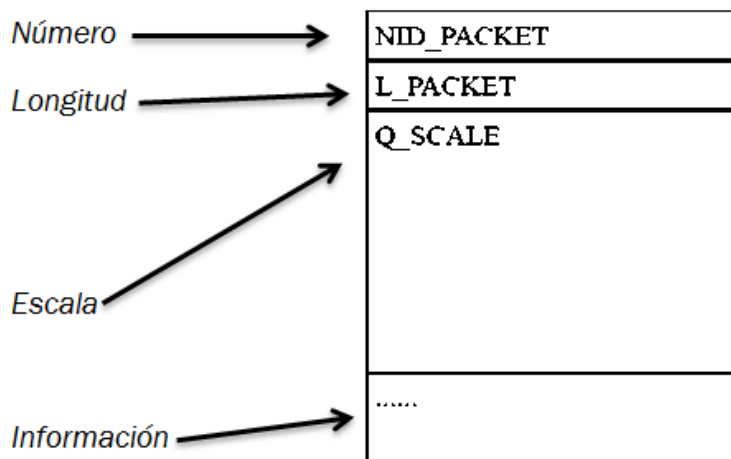


Fig. 5.7: Composición de un paquete de Tren a Tierra



## Paquetes de datos

A continuación se muestra una lista con todos los posibles paquetes de datos posibles dentro del sistema de comunicación ERTMS. Es una mera transcripción de la norma UNISIG 026-7.

### Paquetes de información: Tierra - tren

Los paquetes que se envían desde la infraestructura ferroviaria al tren son:

Nº	Nombre del paquete	Nº	Nombre del paquete
3	Valores Nacionales	67	Condiciones de vía: Grandes masas metálicas
5	Enlace (Linking)	68	Condiciones de vía
12	Autorización de movimiento en nivel 1	70	Datos de Vía adecuada
15	Autorización de movimiento en nivel 2/3	71	Factor de adhesión
16	Información de reposicionamiento	72	Paquete para el envío de mensajes de texto
21	Perfil de Gradiente	76	Paquete para el envío de mensajes de texto fijos
27	Perfil Estático de velocidad Internacional	79	Información sobre la posición geográfica
39	Condiciones de vía /Cambio de potencia de tracción.	80	Perfil de Modo
41	Orden de transición de nivel	88	Información de pasos a nivel
42	Gestión de la sesión de comunicación	90	Vía libre hasta el lugar de transición al nivel 2 / 3
44	Datos utilizados fuera del campo ERTMS	131	Orden de conmutar de RBC
45	Registro de la red de Radio	132	Información de peligro de maniobra
46	Orden condicional de transitar de nivel	133	Información avanzada vía Radio
49	Lista de balizas en área de maniobras	134	Paquete marcador de Fin de Lazo (EOLM)
51	Perfil de carga por eje	136	Referencia de la localización de la información avanzada
57	Solicitud de parámetros de Autorización de Movimiento	137	Parar si en modo SR
58	Parámetros del informe de posición	138	Información de área de inversión de la marcha
63	Lista de Balizas en una autorización SR	139	Información de la supervisión de la inversión de la marcha
64	Inhibición de Limitaciones Temporales de Velocidad desde balizas en niveles 1 y 2	140	Número de tren enviado por el RBC
65	Limitaciones Temporales de Velocidad	141	Gradiente por defecto par a las restricciones temporales de velocidad
66	Revocación de Limitaciones Temporales de Velocidad	254	Información por defecto de Baliza, Lazo o Radio

Nota: Los números que no tienen un paquete asociado están reservados.

Tabla 5.2: Tabla de posibles paquetes desde Tierra a Tren

### Paquetes de información: Tren-tierra

Los paquetes enviados por el tren a la infraestructura son los siguientes:

Nº	Nombre del Paquete
0	Informe de posición
1	Informe de posición basado en dos grupos de balizas
3	Números de teléfono de los equipos embarcados
4	Informe de error
9	Información de la transición a nivel 2/3
11	Datos del tren validados
44	Datos utilizados fuera del ámbito ETCS

*Nota: Los números que no tienen un paquete asociado están reservados. Este tipo de comunicaciones solo se dan en nivel 2 y 3.*

Tabla 5.3: Tabla de posibles paquetes desde Tren a Tierra

## 5.2.3 Mensajes

Los mensajes están formados por variables y paquetes predefinidos. Los medios de transmisión son los canales normalizados de transmisión en ERTMS (Eurobaliza, Euroradio y Eurolazo). Un mensaje contendrá datos de usuario y datos de protocolo dependiendo del medio de transmisión utilizado.

Dependiendo del nivel donde este transitando el tren con ERTMS se utilizará comunicación mediante balizas o mediante radio. La estructura del mensaje varía entre uno u otro método de comunicación.

### 5.2.3.1 Mensajes por Eurobaliza:

Una comunicación mediante Eurobaliza se corresponde con la información enviada por un grupo de Eurobalizas, es decir, el mensaje se compone de uno o varios telegramas, ordenados por número de balizas dentro del grupo (comenzando por la primera baliza en la dirección nominal de movimiento del tren) y cada telegrama transmitido es por una Eurobaliza.

Un telegrama de una baliza consta de un encabezamiento, y un número identificado y coherente de paquetes.

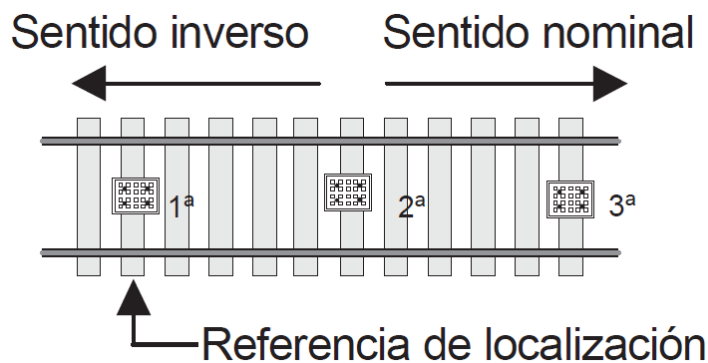


Fig. 5.8: Grupo de eurobalizas que transmiten un mensaje

Si los telegramas se construyen en la dirección nominal del tren, la lectura deberá ser preferiblemente en ese sentido. Esto no quiere decir que no sea posible una lectura en orden inverso. De forma esquemática es:

Construcción del mensaje	1	2	3
Lectura nominal	1	2	3
Lectura inversa	3	2	1

El formato de un mensaje mediante balizas consta de 10 campos de encabezamiento de 50 bits en total más la información que se quiere transmitir, formada por paquetes, tal como se indica a continuación:

Campo nº	VARIABLE	Longitud (bits)	Comentario
1	Q_UPDOWN	1	Define la dirección de la información: Telegrama desde tren a tierra: 0 Telegrama desde tierra a tren: 1
2	M_VERSION	7	Versión del sistema ERTMS/ETCS
3	Q_MEDIA	1	Tipo de comunicación: Radio (0), baliza(1)
4	N_PIG	3	Define la posición de la baliza en el grupo
5	N_TOTAL	3	Número de balizas en el grupo
6	M_DUP	2	Se utiliza para indicar si la información de la baliza es un duplicado de la baliza anterior o posterior
7	M_MCOUNT	8	Contador de mensajes
8	NID_C	10	País o región.
9	NID_BG	14	Identidad del grupo de balizas
10	Q_LINK	1	Marca el grupo baliza como vinculados (Q_LINK=1) o no enlazados (Q_LINK=0)
	Información	Variable	Información del mensaje

Tabla 5.4: Tipos de paquetes que se puede transmitir mediante eurobaliza

La información transmitida finaliza con un paquete 255, que significa fin de la información transmitida.

### 5.2.3.2 Mensajes por radio:

En este caso, la comunicación radio entre el tren y tierra es bidireccional, se definen dos estructuras, una para la comunicación hacia el tren y otra para la comunicación en dirección inversa.

La elaboración de los mensajes de radio obedece a cinco reglas básicas que son:

1. El identificador de mensaje es único y es especificado por la variable NID\_MESSAGE incluida en la estructura del mensaje.
2. La longitud del mensaje tendrá una longitud precisa definida por la variable L\_MESSAGE también incluida en el cuerpo del mensaje.
3. Si la longitud del mensaje calculada en el momento de su recepción no coincide con el valor de la variable L\_MESSAGE incluida en el cuerpo del mensaje, este será rechazado en su totalidad por defectuoso.
4. Los mensajes están constituidos por un conjunto predefinido de variables y paquetes.
5. Para algunos mensajes será posible añadir algunos paquetes opcionales al final del mensaje.

En algunos casos es posible la adición de paquetes opcionales al mensaje. A continuación se muestran los correspondientes a la dirección tierra-tren.

MENSAJES TIERRA-TREN	MENS. ID	PAQUETES OPCIONALES
Autorización SR	2	63
Autorización de Movimiento (MA)	3	21, 27, 49, 80, mas paquetes opcionales comunes
Solicitud de acortamiento de la Autorización de movimiento	9	80
Mensaje general	24	21, 27, mas paquetes opcionales comunes
Modo Maniobra	28	49, mas paquetes opcionales comunes
MA con referencia de posición desplazada	33	21, 27, 49, 80, mas paquetes opcionales comunes
Información avanzada de MA	37	21, 27, 49, 80, mas paquetes opcionales comunes

Tabla 5.5: Paquetes adicionales en las comunicaciones Tierra a Tren

**Estructura:**

Dependiendo del sentido de comunicación la estructura de los mensajes es distinta:

*Tierra a tren*

Campo	VARIABLE	Observaciones
1	NID_MESSAGE	Numero identificativo del mensaje
2	L_MESSAGE	Longitud del mensaje incluyendo el encabezamiento y el relleno
3	T_TRAIN	Marca de tiempo del RBC (chequeo)
4	M_ACK	Variable que indica si el mensaje debe ser reconocido por el maquinista
5	NID_LRBG	Identificador LRBG
...	Variables requeridas por NID_MESSAGE	...
...	Paquetes opcionales	...
...	Padding	Bits de relleno

Tabla 5.6: Estructura de un mensaje por radio en sentido Tierra a Tren

*Tren a tierra*

Campo	VARIABLE	Observaciones
1	NID_MESSAGE	Numero identificativo del mensaje
2	L_MESSAGE	Longitud del mensaje incluyendo el encabezamiento y el relleno
3	T_TRAIN	Marca de tiempo del equipo embarcado (chequeo)
4	NID_ENGINE	Identificador del tren
5	Variables requeridas por NID_MESSAGE	...
6	Paquete 0 ó 1	Paquete tipo 0: Informe de posición Paquete tipo 1: Informe de posición por baliza
7	Otros paquetes requeridos por NID_MESSAGE	...
...	Paquetes opcionales	...
...	Padding	Bits de relleno

Tabla 5.7: Estructura de un mensaje por radio en sentido Tren a Tierra



## 6. Líneas equipadas con ERTMS

Hasta ahora se ha hablado de la teoría del sistema de señalización y control ferroviario ERTMS pero no se han mencionado casos particulares. A continuación, se pretende exponer la implantación del sistema en las líneas ferroviarias europeas, y en especial, españolas.

La implantación del ERTMS no ha sido fácil y ha tenido multitud de dificultades que se han sabido solventar desde el grupo de fabricantes y la asociación de administradores de infraestructuras europeas. Algunas dificultades fueron y son:

- Multitud de sistemas de señalización nacionales.
- Diferentes reglamentaciones en cada país europeo.
- Reticencia de los operadores a la instalación de un nuevo sistema diferente del tradicional nacional.
- El corto ciclo de vida de la electrónica/telemática contra los ciclos de vida largos requeridos para la tecnología ferroviaria.
- Diferencias entre distintos fabricantes para un mismo sistema.
- Opinión social a favor y en contra de un sistema de señalización común.

Actualmente, se cuenta en el conjunto de Europa con varias líneas de vital importancia equipadas con ERTMS, liderando España el ranking de kilómetros con ERTMS con más de 3.100km seguida de Francia y Alemania con 2.000km y 1.600 km respectivamente. Pero ERTMS no se ha parado en las fronteras del continente europeo y así lo demuestran proyectos como la Alta Velocidad Medina-La Meca en Arabia Saudí.

### 6.1 Proyecto EMSET

Una vez se definieron la mayor parte de las especificaciones y ya se habían fabricado los primeros prototipos comenzó la siguiente fase del ambicioso plan del ERTMS. La siguiente fase era la fase de pruebas o experiencias piloto que se llamó.

Para esta fase de pruebas se colaboró entre todos los socios europeos, pero España jugó un papel importante ya que fue el escenario del proyecto EMSET a finales de la década de 1990 hasta casi el año 2000.

El proyecto EMSET estaba integrado por las empresas asociadas en el ERTMS más Renfe, CEDEX y el Ministerio de Fomento del Gobierno de España. Además, estaban invitadas a las pruebas las filiales españolas de “Alcatel SEL Señalización” y DIMETRONIC.

El objetivo era realizar las primeras pruebas de interoperabilidad de los sistemas del ERTMS tanto en laboratorio como en vía. El laboratorio escogido fue el de CEDEX en Madrid y el tramo de vía escogido pertenecía a la novedósísima línea de Alta Velocidad Madrid-Sevilla entre las estaciones de La Sagra y Mora (trayecto de unos 40km).

Las pruebas fueron un éxito en cuanto a la interoperabilidad de componentes entre distintos fabricantes (hasta 8 distintos) y se obtuvieron muy buenos resultados según se informó en las pruebas con los primeros módulos STM para ASFA y LZB.

## 6.2 Proyectos piloto

Tras haber especificado las bases de un sistema, haber probado su viabilidad en el proyecto EMSET y haber completado una especificación, era necesario pasar a la práctica.

La implantación del sistema tenía aún sus riesgos debido a que:

- El sistema era bastante más complejo que las pruebas en EMSET.
- Algunos sistemas eran totalmente nuevos, como era el caso del GSM-R.

Debido a lo anterior nacieron las Líneas Piloto, que permitieron probar el sistema a pequeña escala y de forma controlada. Las Líneas Piloto son proyectos en los que se implanta una parte del sistema ERTMS en un tramo de vía de unos pocos kilómetros.

El objetivo que tienen es que una o varias administraciones ferroviarias prueben parte del sistema ERTMS de manera previa a su implantación en su red ferroviaria. Fundamentalmente lo que se pretende es la integración de ERTMS en entornos específicamente nacionales.

Se han realizado 9 Proyectos Piloto. Algunos de ellos continúan.

- En Alemania, las pruebas de ETCS tuvieron lugar en la línea *Berlin – Halle/Leipzig* con una longitud de 154 km y 27 estaciones. Cinco locomotoras clase 101 fueron equipadas para operar con ETCS Nivel 1 y Nivel 2 hasta una velocidad máxima de 200 km/h. Las pruebas incluyeron 3 RBC de Thales, equipamiento proporcionado por Siemens y módulos STM para los sistemas nacionales Indusi y LZB.
- En Francia, ETCS Nivel 1 fue probado sobre los sistemas nacionales de KVB y *Crocodile* en la línea de cercanías de Paris *Toournan-Sezanne* y ETCS Nivel 2 junto con TVM en la línea de alta velocidad “*Jonction Ile de France*”. Se probó funcionamiento alta velocidad en la parte de Nivel 2 (hasta 350



km/h) y circulación suburbana en la parte de Nivel 1. Los equipos eran de los fabricantes Alstom y Ansaldo STS.

- En Italia, tuvieron lugar pruebas de ETCS Nivel 2 en el tramo *Firenze-Arezzo*, parte de la línea Florencia-Roma, con 70 km de vía doblemente banalizada y 2 estaciones. El equipo ETCS comprendía 2 RBC's, 66 LEU's, 260 Eurobalizas y 11 EVC's para 6 tipos de trenes. Los suministradores fueron Ansaldo STS y Alstom. La velocidad máxima de la línea fue de 250 km/h.
- En Reino Unido, Alstom proporcionó un tren de pruebas y equipó una base de pruebas entre *Derby* y *Leicester*, que es una línea aislada de la red normal. No interfiere en la circulación ferroviaria con lo cual se permitió hacer más pruebas que en otros casos para nivel 1 y nivel 2.
- En Holanda, ETCS se probó en dos líneas separadas suministradas por Alstom (*Maastrich-Heerlen*) y Bombardier (*Leewarden-Meppel*). Cada uno de los suministradores equipo un tren y el equipamiento de nivel 1 y nivel 2.
- Finalmente en España, ETCS se probó en una sección de 38 km en la línea de Madrid-Valencia (tramo entre Albacete y Villar de Chinchilla) a una velocidad máxima de 220 km/h. Se comprobó la relación con los sistemas existentes de ASFA y EBICAB 900. Se equiparon locomotoras 252 y trenes de la serie 490 con los equipos de Bombardier e Invensys.

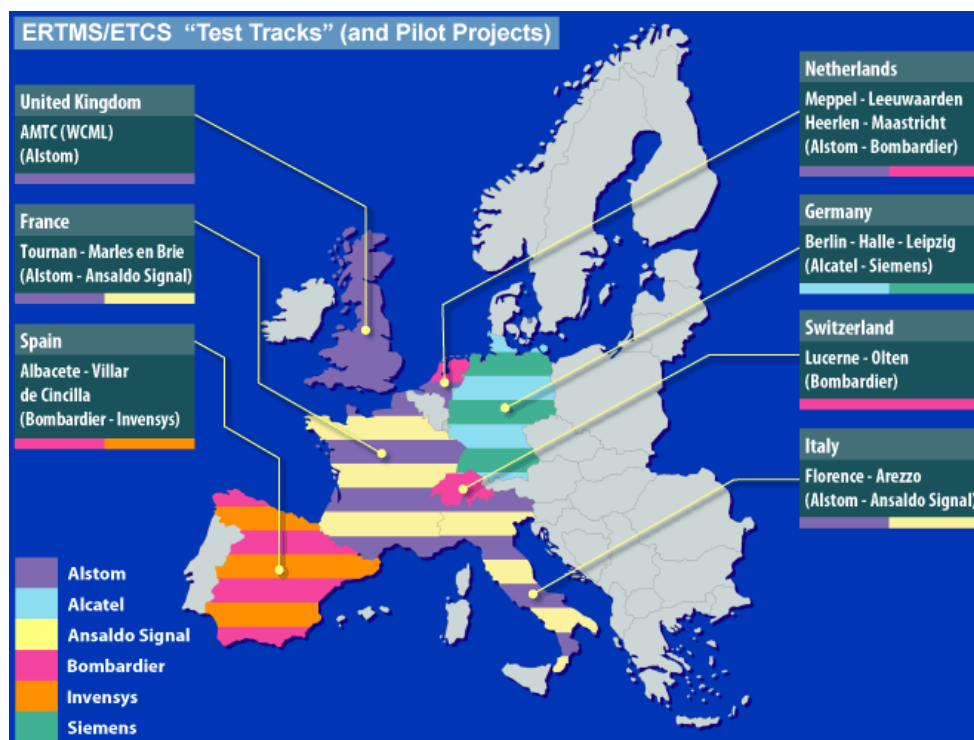


Fig. 6.1: Líneas piloto en Europa

La primera demostración de cruce de fronteras en Nivel 1 tuvo lugar en la línea Viena-Budapest. Fue instalada entre los años 1997-1999 por los suministradores Alcatel, Alstom, Ansaldo STS (CSE). El ETCS de nivel 1 incluyó pruebas de Eurolazo sobre el sistema nacional existente en un tramo de 46 km. Los ferrocarriles Austriacos y Húngaros proporcionaron una locomotora cada uno para la prueba.

El resultado que se obtuvo de estas demostraciones en líneas de toda Europa fue que partiendo de una documentación SRS de especificaciones muy sólida estas experiencias permitían completar una documentación definitiva. Estas demostraciones también pusieron de manifiesto que todo el proyecto sufriría retrasos debido a la complejidad del sistema.

### **6.3 Líneas comerciales**

Pese a los retrasos y las dificultades que se vislumbraron en la implantación del ERTMS en las líneas piloto, muchas administraciones ferroviarias han apostado por este sistema para sus líneas de Alta Velocidad.

El principal motivo es que los sistemas ATP de algunos países se mostraban insuficientes para operar a velocidades superiores a 300 km/h. La solución pasa por apostar por un sistema de señalización de otro país, como fue el caso del AVE Madrid-Sevilla, o por apostar por un sistema común europeo que permita la interoperabilidad entre diferentes sistemas.

Las ventajas del ERTMS eran y son claras y ello ha llevado a casi todas las administraciones a apostar por este sistema.

#### **6.3.1 Líneas comerciales en Europa**

La primera aplicación comercial de ERTMS/ETCS con nivel 1 se puso en operación a principios del 2002 en Bulgaria en la línea Sofia-Burgas. Esta línea entre la capital de Bulgaria y una de las ciudades más importantes del Mar Negro forma parte de la red Trans-Europea Ferroviaria y el proyecto fue financiado por el programa PHARE de la Comunidad Europea.

Thales instaló ERTMS/ETCS de nivel 1 con más de 1.100 Eurobalizas y para alrededor de 130 locomotoras y coches. El sistema nacional existente era LZB y se aseguró la interoperabilidad con él.

Este sistema ha estado funcionando hasta ahora con éxito. Sin embargo todavía no ha sido actualizado a la versión 2 de la SRS, lo cual tendrá que hacerse para

asegurar la interoperabilidad con el resto de las líneas de los corredores Trans-Europeos.

La siguiente línea fue en Suiza. Suiza había apostado inicialmente por el sistema LZB al creer que sería el sistema que se instalaría en toda Europa con el tiempo.

La línea, que se eligió tras la votación nacional del proyecto ferroviario en el año 2000 fue entre Berna y Olten, aunque finalmente instaló el nivel 1 y 2 en un tramo entre Olten y Lucerna debido a que los enclavamientos de la otra línea eran demasiado antiguos. La velocidad máxima de la línea es de 160 km/h con una circulación de 140 trenes por día y sin sistema nacional de respaldo.

En un principio se encontraron numerosos problemas tanto técnicos como operacionales que tuvieron que ser resueltos específicamente para esa línea. Tras año y medio de operación en Nivel 2 y de esfuerzos por todas las partes se consiguió que el servicio mejorara y fuera al final mejor que el del sistema nacional.

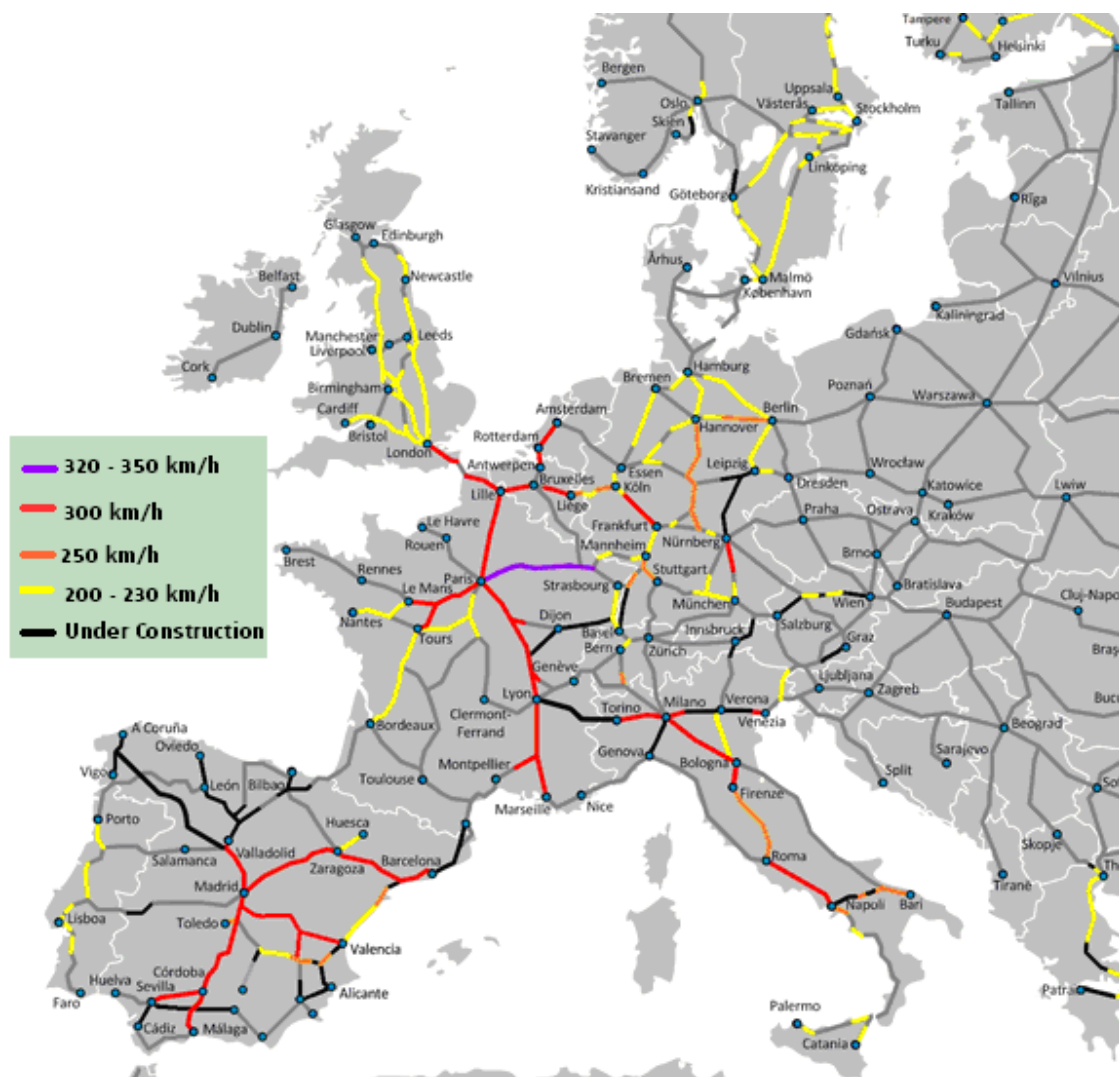


Fig. 6.2: Líneas comerciales y sus velocidades máximas en Europa

A continuación se recoge en una tabla algunas líneas comerciales equipadas con ERTMS en Europa y sus características.

Línea	Longitud	País	Año	Nivel ERTMS	Fabricante
Berlin-Halle/Leipzig	135 km	Alemania	2005	2	Siemens/Thales
Milano-Bologna	182 km	Italia	2008	2	Ansaldo/Alstom
Roma-Napoli	200 km	Italia	2005	2	Ansaldo/Alstom
Hegyeshalom-Budapest	190 km	Hungría	2007	1	Thales
Viena-Hungría	67 km	Austria	2006	1	Siemens/Thales
Rotterdam-Zevenaar	110 km	Holanda	2007	2	Alstom
Córdoba-Málaga	155 km	España	2006	1/2	Invensys/Alcatel
Luxemburgo	162 km	Luxemburgo	2005	1	Thales
Bern - Brig	35 km	Suiza	2007	2	Thales

Tabla 6.1: Algunas líneas ferroviarias equipadas con ERTMS en Europa

Además, hay multitud de proyectos a nivel europeo para la creación de nuevas líneas con ERTMS. Muchos de ellos se han visto ralentizados e incluso cancelados debido a la actual crisis financiera que ha afectado gravemente a los países europeos. Aun así hay proyectos ambiciosos, como el de Serbia, que se ha propuesto actualizar a ERTMS todas sus líneas y locomotoras.

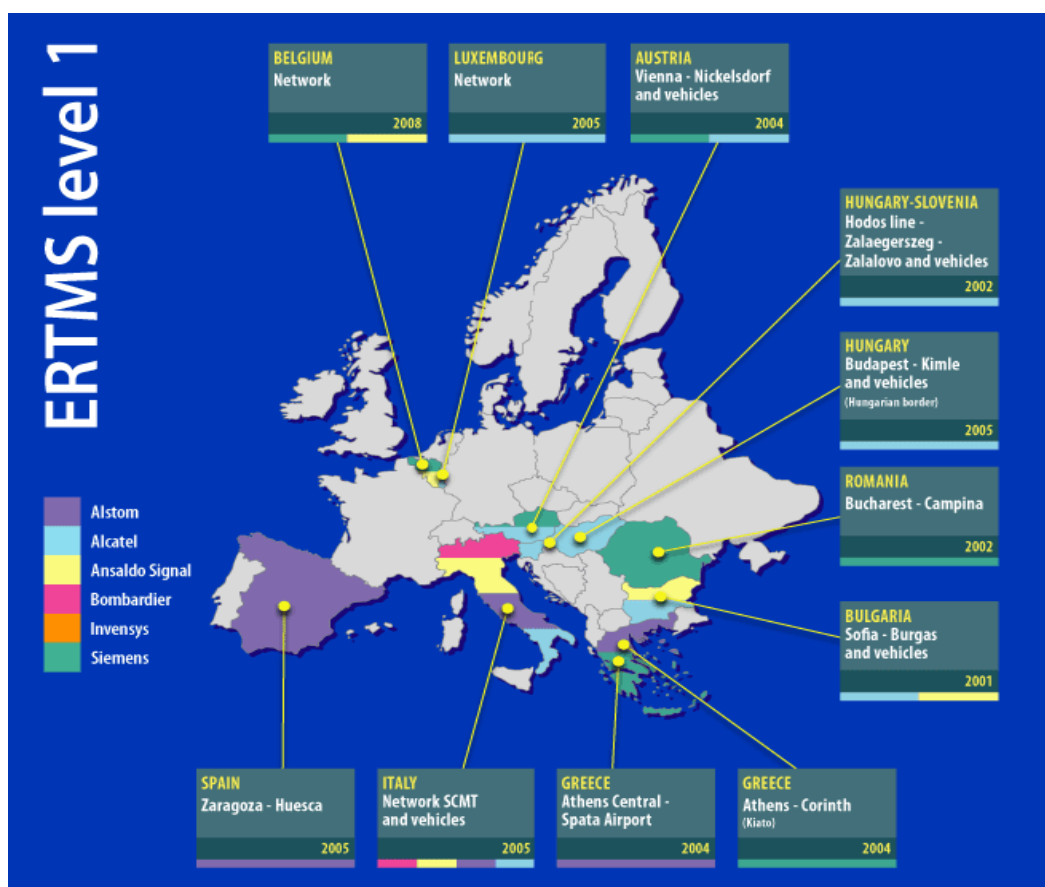


Fig. 6.3: Líneas europeas equipadas con ERTMS/ETCS Nivel 1



Fig. 6.4: Líneas europeas equipadas con ERTMS/ETCS Nivel 2

En cuanto a las líneas de nivel 3, será posible su implantación posible en cuanto se encuentre una solución a los problemas de los cantones móviles, localización y comprobación de la integridad del tren. Posiblemente de cara a un futuro ahora un poco lejano, pero se están dando los pasos para que ante todo sea seguro.

### 6.3.2 Corredores ERTMS Europeos

La Comisión Europea apoyó en 2005 un plan de transformación para líneas convencionales con el objetivo de facilitar una rápida implementación de ETCS en 20.000 km por toda Europa en la década siguiente.

Con este objetivo, la CE accedió a proveer fondos para las organizaciones que lanzaran los primeros proyectos. Seis corredores ERTMS prioritarios han sido seleccionados en base al plan maestro de desarrollo de Infraestructura Ferroviaria Europea desarrollado por la UIC.

Estos corredores representan el 6% del total de la red ferroviaria europea, pero lleva aproximadamente el 20% del tráfico de mercancías en Europa.



En ese plan de la Comisión Europea se planeó la implementación del sistema ERTMS en los siguientes 6 corredores, dejando el resto para futuras actuaciones.

- Corredor 1: Rotterdam-Genova (2.840 km). Implementado entre 2012 y 2015.
- Corredor 2: Stockholm-Napoles (3.465 km). Todavía sin acuerdo entre los países implicados.
- Corredor 3: Antwerp-Basel/Lyon (1680 km). Planificada para el 2013 y la rama de Lyon para 2018.
- Corredor 4: Valencia-Lyon-Ljubljana-Budapest (2.720 km). La finalización se espera en 2015.
- Corredor 5: Dresden-Praga-Budapest-Bucarest-Constanta (2.714 km). Se implementó en 2013.
- Corredor 6: Aachen-Berlin-Warsaw-Terespol (1934 km). Aún en estudio.

El objetivo a largo plazo es implementar ERTMS en todos los corredores europeos, los cuales se muestran en el siguiente mapa.

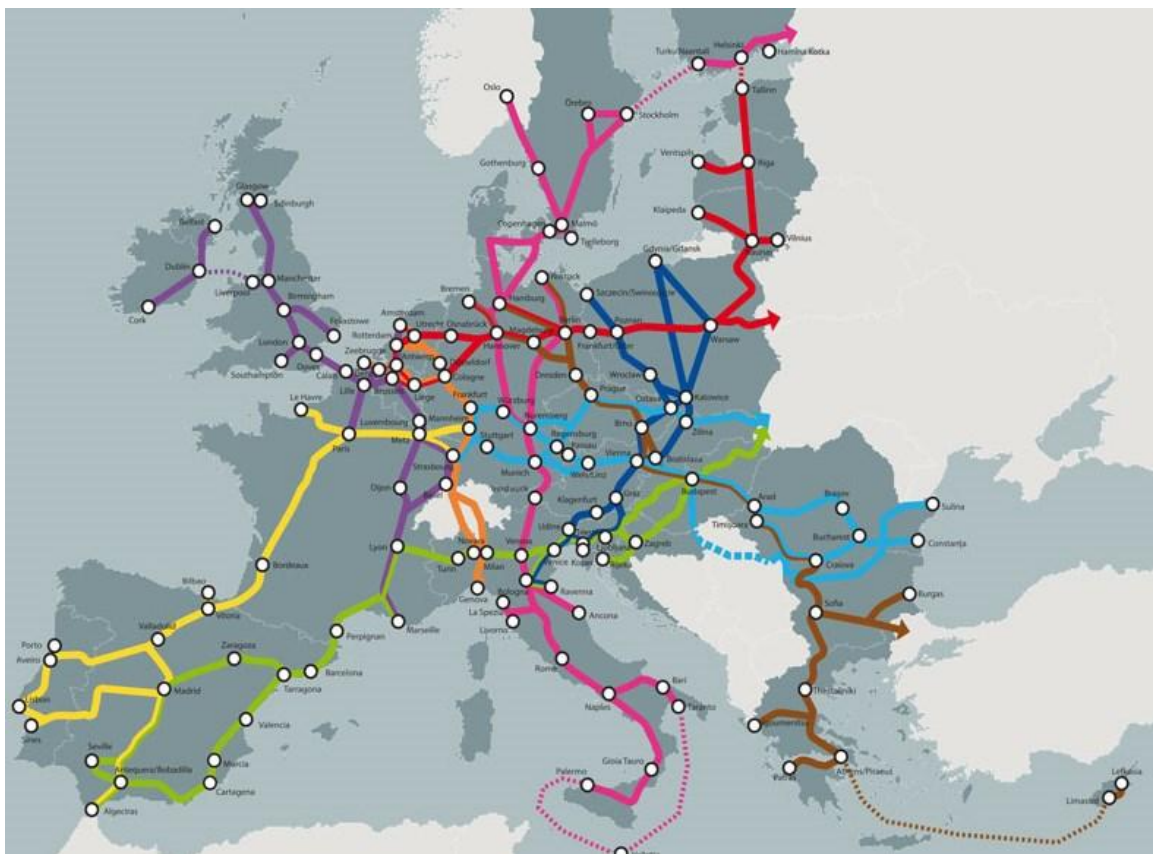


Fig. 6.5: Principales corredores ferroviarios en Europa

### 6.3.3 Líneas comerciales en el mundo

Como antes se ha dicho, el ERTMS ha traspasado las fronteras Europas y se ha implantado en otros países. Esto juega a favor del ERTMS, confirmando que es una apuesta segura a largo plazo.

Un buen ejemplo es China, que está acometiendo a día de hoy un plan gigantesco de construcción de nuevas líneas dedicadas al transporte de pasajeros a más de 200 km/h. Estas nuevas líneas están diseñadas para unir pequeñas ciudades provinciales con ciudades altamente pobladas.

Pero China no piensa pararse en este punto, ya que está desarrollando su propio sistema de control y señalización ferroviaria denominado CTCS que está basado en el ETCS.

Línea	Longitud	País	Año	Fabricante
Annaba-Ramdane-Djamel, Bordj-Bou-Arredj-El Gourji-El Khemis-Oued Sly	880 km	Argelia	2007	Thales
Wuhan-New Guangzhou	2000 km	China	2006	Bombardier
Delhi-Agra	192 km	India	2005	Ansaldo
Gyeongbu-Honam	1516 km	Corea del sur	2003	Bombardier
Rabat-Ain Sebaa	278 km	Marruecos	2008	Alstom
Taiwán	1800 km	Taiwán	2002	Bombardier
Beijing-Tianjin	234 km	China	2006	Siemens
Damman - Riyadh	449 km	Arabia Saudí	2006	Siemens
Mexico DF - Buenavista	70 km	México	2006	Thales

Tabla 6.2: Algunas líneas ferroviarias equipadas con ERTMS a nivel mundial

### 6.3.4 Líneas comerciales en España

Se puede decir que España ha participado desde sus inicios y de manera activa a que el ERTMS sea la realidad que es actualmente. Así lo demuestran las pruebas del proyecto EMSET, el sistema de gestión Da Vinci y la línea de Alta Velocidad Madrid-Sevilla, aunque esta última está equipada con LZB en vez de ERTMS.

Sin embargo, nuestro país ha sido de los últimos de Europa en tener una línea piloto equipada con ERTMS. Esta línea piloto está ubicada en el tramo Albacete - Villar de Chinchilla de 38 km. Tras este inicio en ERTMS, se dio visto bueno definitivo para elegir el sistema ERTMS para la línea de Alta Velocidad Madrid-Barcelona.

Actualmente, en España existe un programa nacional de gran inversión en el sector ferroviario para crear nuevas líneas de Alta Velocidad de altas prestaciones con velocidades máximas de 350 km/h en ancho internacional (1435 mm) y renovación de ciertas líneas para velocidades máximas de 220 km/h de ancho ibérico (1668 mm).

Además, la red de cercanías de Madrid ha implantado el nivel 2 en la línea C4 y está estudiando la implantación de ERTMS en el resto de líneas para aumentar la seguridad.

A mayores, España es el escenario perfecto para probar la principal característica del ERTMS, es decir, la interoperabilidad. El mercado español está abierto a los seis suministradores de equipo ERTMS y, además, hay tres sistemas (ASFA, LZB y EBICAB 900) en un mismo país.

Por si fuese poco, GSM-R está siendo suministrado en España por Nokia Siemens Network y Nortel. La interoperabilidad entre estos sistemas se ha probado satisfactoriamente y ponen de manifiesto las bondades del ERTMS.

España es el país europeo con la mayor implementación de ERTMS en líneas de alta velocidad (3100 km en funcionamiento y 1500 km en construcción) a día de hoy. En la mayoría de las líneas se han instalado los niveles 1 y 2 de ERTMS, siendo ASFA con limitación de velocidad el sistema de respaldo.

Las líneas españolas con ERTMS y en pleno funcionamiento según Adif a fecha de Julio de 2013 son: Zaragoza-Huesca, Madrid-Toledo, Madrid-Segovia-Valladolid, Córdoba-Málaga, Madrid-Barcelona-frontera francesa, Madrid-Cuenca-Valencia, Ourense-Santiago-A Coruña, y Madrid-Albacete-Alicante.

A continuación se muestra una tabla con algunas líneas equipadas indicando la longitud, nivel y fabricante del sistema de las mismas.

Tramo	Longitud (km)	Nivel ERTMS	Fabricante
Madrid-Lleida	442	1 y 2	Ansaldo
Lleida-Barcelona	179	1 y 2	Thales
Madrid-Valladolid	179	1 y 2	Thales
Zaragoza-Huesca	73	1	Alstom
Córdoba-Málaga	155	1 y 2	Dimetronic
La Sagra-Toledo	21	1 y 2	Thales
Madrid-Valencia-Albacete	440	1 y 2	Dimetronic
Figueras-Perpignan	50	1 y 2	Ansaldo
Barcelona-Figueras	132	1 y 2	Dimetronic
Madrid-Sevilla (estudio)	471	2	....

Tabla 6.2: Algunas líneas ferroviarias equipadas con ERTMS en España





Fig. 6.6: Líneas de Alta Velocidad en España

Pero como se ha dicho antes, el ERTMS no se restringe solo a la Alta Velocidad si no que ya se ha puesto en funcionamiento la línea convencional Albacete-La Encina con 90km en nivel 1 y 2 de ERTMS.

Además, la línea C4 de Cercanías en Madrid de 8km esta equipada con nivel 2 de ERTMS, siendo la primera línea de cercanías de europa en contar con este sistema. Debido a los buenos resultados obtenidos esta en estudio el aplicar ERTMS de nivel 2 a otros 152km de las líneas de cercanías madrileños.



## 7. Futuro del sistema ERTMS

Los pasos que va dando el sistema ERTMS vienen marcados principalmente por la comisión europea y las administradoras ferroviarias de cada país. Pero realmente influye es el estado económico global que va ser a la postre la que permita o no financiar estos proyectos.

Si bien es cierto que con la crisis la expansión por Europa del ERTMS se ha ralentizado, desde los organismos correspondientes se mira al futuro con optimismo y ya se plantan diversos proyectos a realizar. Algunos de ellos son los corredores europeos que aún no están terminados, pero el proyecto principal para el futuro del sistema dentro de Europa se centra en las rutas regionales.

Y es que, más del 25% del tráfico ferroviario Europeo consiste en transporte regional de baja densidad en líneas que están todavía reguladas por sistemas nacionales. Donde, normalmente estas líneas forman parte o enlazan con la red de alta velocidad y pueden llegar a constituir auténticos cuellos de botella en ciertos casos particulares.

Como ERTMS va a ser el estándar en las líneas de alta velocidad y en líneas convencionales, parece claro que se aplicará también en las líneas regionales. Con este objetivo, la UIC y la Comisión Europea en cooperación con las administraciones ferroviarias de cada país ha planificado un nuevo concepto de línea de bajo coste para líneas regionales basado en el sistema ERTMS.

Actualmente está en fase de pruebas la Línea Piloto de Trenes Regionales en Suecia con 135km de recorrido. A este sistema se le ha dado a llamar ERTMS Regional, pero que a nivel de infraestructura es un ERTMS de nivel 3 con cantones fijos. Con este proyecto se pretende una reducción de costes en personal, cableados, enclavamientos tradicionales y señalización lateral.

Pero desde los sectores más críticos con diversas actuaciones del ferrocarril se tacha a este tipo de proyectos en contra de la seguridad por tener en cuenta tasas de riesgos aceptables, además de una deshumanización del sector del ferrocarril.

Otro paso a dar de cara al futuro es la actualización de los sistemas a la versión 3.0.0 del software. En esta nueva versión se pretende corregir errores, introducir nuevos fabricantes y funcionalidades pero siendo conscientes de la necesidad de la compatibilidad con equipos anteriores a esta versión y que son relativamente recientes.



## 8. Conclusiones

En este trabajo se ha realizado un estudio sobre el Sistema Europeo de Gestión de Tráfico Ferroviario “ERTMS”, cuyas conclusiones pueden resumirse en dos grandes bloques que se desarrollan a continuación.

### *Divulgación y transparencia de la tecnología ferroviaria*

El sector ferroviario ha sido tradicionalmente muy cerrado en sí mismo. Es paradigmático el ejemplo de nuestro país, en donde se agrupaba bajo una misma entidad, la antigua RENFE, material fijo, material móvil (motor y remolcado), operación de viajeros y mercancías, mantenimiento, etc., teniendo en su órbita empresas de fabricación como CAF, MACOSA o TALGO y empresas de señalización como Dimetronic.

Se trata de una situación endémica que genera opacidad. Aun hoy en día se palpa el desconocimiento de los medios de comunicación cuando el sector ferroviario es noticia ya sea por motivos positivos como inauguraciones, o por acontecimientos desgraciados en el caso de los siniestros.

Este trabajo contribuye a divulgar una parcela de la tecnología ferroviaria que va a contribuir a la unión de los países de la Europa comunitaria. Aunque, como se ha mencionado anteriormente, las especificaciones del sistema ERTMS son públicas, no son conocidas fuera del sector ni están presentadas en una forma didáctica y accesible.

### *Sectorización de la información*

En la redacción de este estudio se ha supuesto en el lector unos ciertos conocimientos técnicos mínimos, equiparables a una formación profesional de nivel superior. No obstante se ha tratado de sacar adelante un trabajo que pueda ser útil a personas de circunstancias muy variadas.

Así, por ejemplo, a quienes tienen esa formación técnica general sin conocimientos específicos del sector ferroviario, les puede resultar de utilidad las ideas básicas sobre seguridad en ferrocarriles, la visión histórica del desarrollo del ERTMS, y la exposición de sus principales funcionalidades y componentes.

Además de estas cuestiones, los profesionales ferroviarios sin conocimientos especiales en la seguridad del ferrocarril, pueden encontrar interesante la

exposición de los sistemas de seguridad anteriores, que son los que se siguen utilizando en la actualidad en los ferrocarriles convencionales.

Finalmente, las personas con conocimientos relativos a la circulación ferroviaria pueden comprender en profundidad la descripción detallada del sistema ERTMS que se da en esta memoria.

Por supuesto, también se ha realizado este trabajo procurando que pueda ser una referencia útil para profesores y alumnos en la docencia universitaria, en los casos en los que esta materia se incluye en los contenidos que se imparten en diversas titulaciones del ámbito de la ingeniería.

## 9. Bibliografía

MONTES PONCE DE LEÓN, Fernando. *Los sistemas de control de tráfico y señalización en el ferrocarril*. Madrid: Universidad Pontificia de Comillas, 2011. 395p. 24 cm. ISBN 978-84-8468-363-6.

PALUMBO, Maurizio. *The ERTMS/ETCS signalling system* [e-book]. Londres: Railway Signalling, 2014. [Última revisión: 15/03/2015]. 60p.

ADIF-RENFE. *Manual de circulación* (capítulos 9,23, 24) [en línea]. [Consulta: 12 de enero de 2015]. Disponible en:

[http://www.adif.es/es\\_ES/conoceradif/doc/Manual\\_de\\_Circulacion.pdf](http://www.adif.es/es_ES/conoceradif/doc/Manual_de_Circulacion.pdf)

VALERO SABATER, Sonia. TAMARIT RODRÍGUEZ, Jaime. GONZÁLEZ ARECHAVALA, Yolanda. *El sistema de señalización europea ERTMS*. Master universitario en sistemas ferroviarios. Madrid: Universidad Pontificia de Comillas, 2014.

ADIF-Indra. *El sistema de control y gestión global para tráfico ferroviario DaVinci*. Madrid, 2013. [Consulta: 20 de abril de 2015]

*Vía Libre: La revista del ferrocarril* (dossier ERTMS). Fundación de los Ferrocarriles Españoles, Abril de 2009. ISSN: 1134-1416

*System requirement specification*, European Railway Agency, 2008. Disponible en: <http://www.era.europa.eu/Core-Activities/ERTMS/Pages/Set-of-specifications-2.aspx>

*Declaración sobre la red*. ADIF, 2015 [Consulta: 1 de junio de 2015]. Disponible en: [http://www.adif.es/es\\_ES/conoceradif/declaracion\\_de\\_la\\_red.shtml](http://www.adif.es/es_ES/conoceradif/declaracion_de_la_red.shtml)

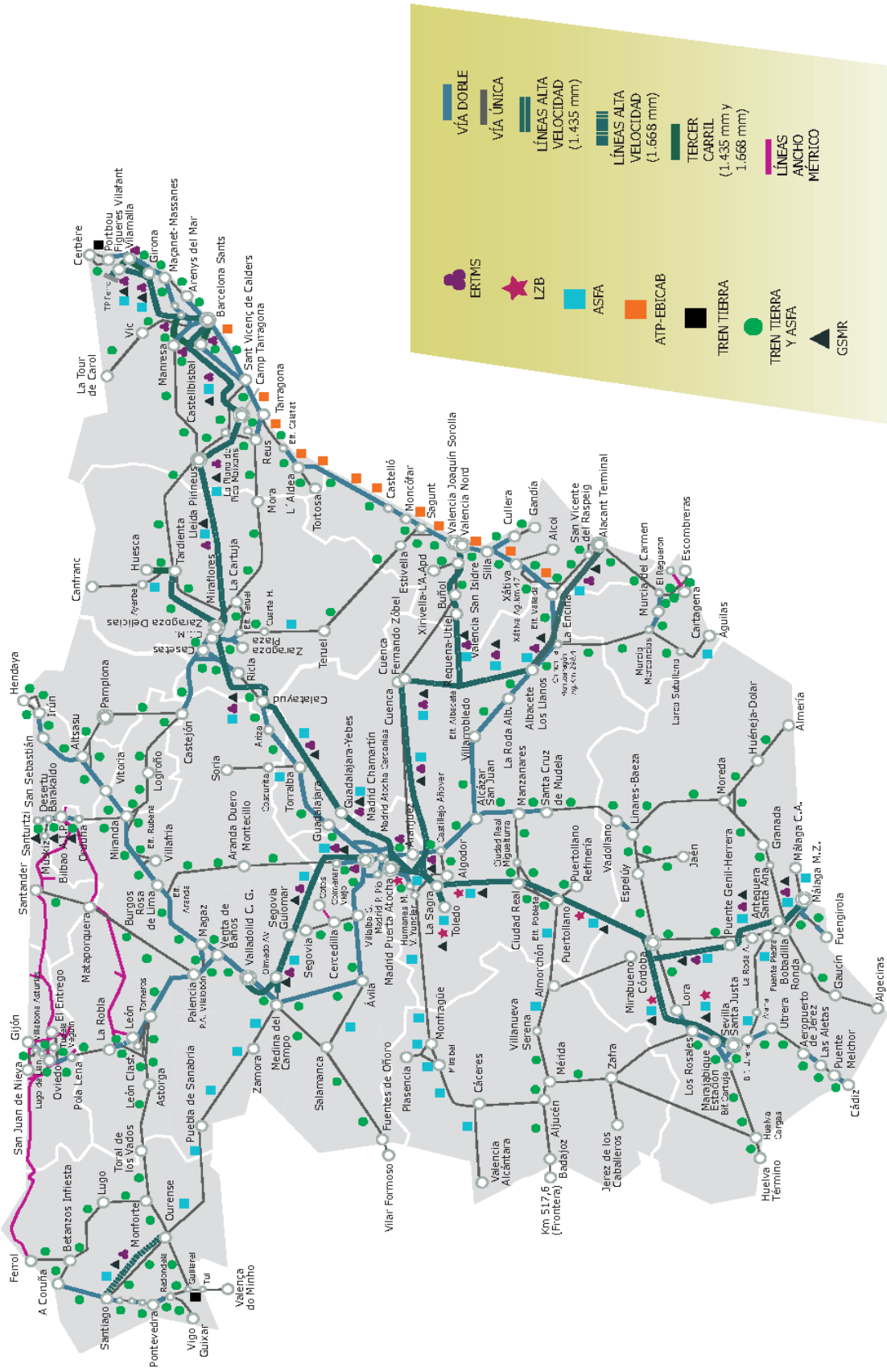




# ANEXOS



## ANEXO I: Declaración de red de ADIF





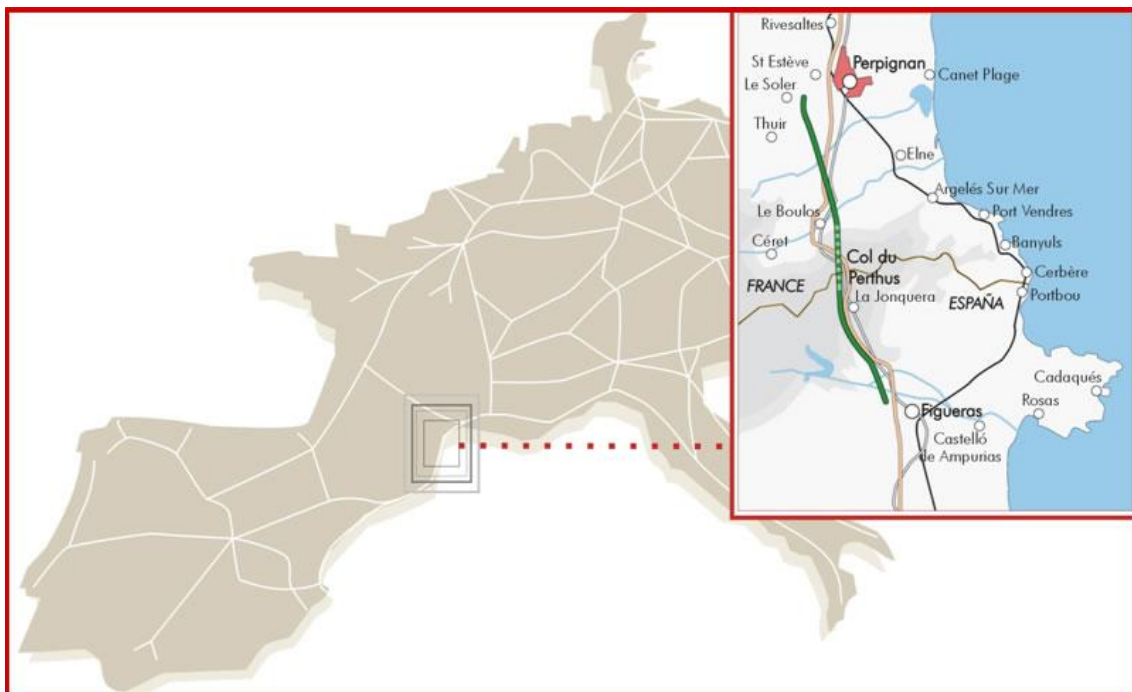
## ANEXO II: Declaración de red de TP Ferro

TP Ferro es la empresa concesionaria de la línea ferroviaria de Alta Velocidad entre España y Francia.

Se trata de un proyecto hispano-francés que conecta ambos países a través del mismo ancho de vía (ancho internacional) como alternativa a la conexión de la línea Irún-Hendaya.

Este tramo de la línea de Alta Velocidad Figueras-Perpiñán es importante debido a que es infraestructura que cumple todas las especificaciones técnicas de interoperabilidad ferroviaria europea con los máximos niveles de seguridad.













Desde abril de 2013 la parte española y este tramo de la línea tiene implementado ERTMS de nivel 1 como sistema de señalización, mientras que en la parte francesa todavía se circula con TVM.















## ANEXO III: Símbolos de anuncio en DMI

### Nivel de operación

Código	Imagen	Nombre y descripción
LE01		Nivel 0 Indica la estancia en el nivel 0 de ERTMS
LE02		Nivel NTC (STM Nacional)
LE03		Nivel 1 Indica la estancia en el nivel 1 de ERTMS.
LE04		Nivel 2 Indica la estancia en el nivel 2 de ERTMS
LE05		Nivel 3 Indica la estancia en el nivel 3 de ERTMS
LE06		Anuncio de cambio a nivel 0
LE07		Preanuncio de cambio a nivel 0
LE08		Anuncio de cambio a nivel NTC (STM Nacional)
LE09		Preanuncio de cambio a nivel NTC (STM Nacional)
LE10		Anuncio de cambio a nivel 1
LE11		Preanuncio de cambio a nivel 1
LE12		Anuncio de cambio a nivel 2





Codigo	Imagen	Nombre y descripción
LE13		Preanuncio de cambio a nivel 2
LE14		Anuncio de cambio a nivel 3
LE15		Preanuncio de cambio a nivel 3

### Modo de operación

Codigo	Imagen	Nombre y descripción
MO01		Shunting
MO02		Reconocimiento para Shunting
MO03		Anulacion del EOA activo
MO04		Trip
MO05		Reconocimiento para Trip
MO06		Post trip
MO07		On Sight



Codigo	Imagen	Nombre y descripción
MO08		Reconocimiento para On Sight
MO09		Staff Responsible
MO10		Reconocimiento para Staff Responsible
MO11		Full Supervision
MO12		Non-leading
MO13		Stand By
MO14		Reversing
MO15		Reconocimiento para Reversing
MO16		Unfitted
MO17		Reconocimiento para Unfitted
MO18		System failure

Codigo	Imagen	Nombre y descripción
MO19		National System STM
MO20		Reconocimiento para National System STM
MO21		Limited Supervision
MO22		Reconocimiento para Limited Supervision

## Estado del sistema

Codigo	Imagen	Nombre y descripción
ST01		Intervencion del freno de servicio Intervencion del freno de emergencia
ST02		Factor de adhesion "slippery rail"
ST03		Conexión por radio "Connection Up"
ST04		Conexión por radio "Connection Lost/Set-Up failed"
ST05		Espera
ST06		Marcha reversa autorizada

## Órdenes y anuncios de la vía


Codigo	Imagen	Nombre y descripción
TC01		Pantografo bajado
TC02		Orden de bajada de pantógrafo
TC03		Anuncio de orden de bajada de pantógrafo
TC04		Orden de subida de pantógrafo
TC05		Anuncio de orden de subida de pantógrafo.
TC06		Entrada en zona neutra. Abrir disyuntor.
TC07		Anuncio de zona neutra.
TC08		Fin de zona neutra. Cerrar disyuntor.
TC09		Anuncio de fin de zona neutra.
TC10		Area de parada prohibida.

Codigo	Imagen	Nombre y descripción
TC11		Anuncio de zona de parada prohibida.
TC12		Zona sin radio.
TC13		Desactivacion del freno magnetico.
TC14		Anuncio de desactivacion del freno magnetico.
TC15		Inhibicion del freno de corrientes parásitas.
TC16		Anuncio de inhibicion del freno de corrientes parásitas.
TC17		Inhibicion del freno regenerativo.
TC18		Anuncio de inhibicion del freno regenerativo.
TC19		Entrada de aire acondicionado cerrada
TC20		Entrada de aire acondicionado abierta
TC21		Entrada de aire acondicionado cerrada (anuncio)


Codigo	Imagen	Nombre y descripción
TC22		Entrada de aire acondicionado abierta (anuncio)
TC23		Cambio de sistema de tracción.
TC24		Anuncio de cambio de sistema de tracción.
TC25		Cambio al sistema "AC 25 kV 50 Hz"
TC26		Anuncio de cambio al sistema "AC 25 kV 50 Hz"
TC27		Cambio al sistema "AC 15 kV 16.7 Hz"
TC28		Anuncio de cambio al sistema "AC 15 kV 16.7 Hz"
TC29		Cambio al sistema "DC 3 kV"
TC30		Anuncio de cambio al sistema "DC 3 kV"
TC31		Cambio al sistema "DC 1.5 kV"
TC32		Anuncio de cambio al sistema "DC 1.5 kV"




Codigo	Imagen	Nombre y descripción
TC33		Cambio al sistema "DC 600/750 V"
TC34		Anuncio de cambio al sistema "DC 600/750 V"
TC35		Silbar
TC36		Paso por túnel
TC37		Anuncio de paso por túnel

## Pasos a nivel

Codigo	Imagen	Nombre y descripción
LX01		Paso a nivel sin protección

## Peticiones al maquinista

Codigo	Imagen	Nombre y descripción
DR01		Cambio de velocidad

DR02		<b>Marcha a la vista</b>
DR03		<b>Posición geografica</b>
DR04		<b>Reconocimiento</b>