

# ANEJO Nº 3. SISTEMAS DE PROTECCIÓN DEL TREN

Título del documento			
DOCUMENTO Nº 1. MEMORIA Y ANEJOS. ANEJO Nº 3. SISTEMAS DE PROTECCIÓN DEL TREN.			
Código	Fecha	Clasificación	
	Diciembre 2014	Restringido cliente	
Edición	Realizado por	Firma	Fecha
	Ángeles Monteagudo Iñigo Urizar Beatriz Sierra		28.11.2014
Tipo de documento	Revisado por	Firma	Fecha
ANEJO.	Silvia Domínguez		15.12.2014
	Aprobado por	Firma	Fecha
	Javier Serrano		16.12.2014
Nombre del fichero			
Ruta en archivo			
Estado	Documento Final		

## ÍNDICE

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>2</b>
<b>3.</b>	<b>SISTEMA ERTMS/ETCS.....</b>	<b>3</b>
3.1.	SISTEMA ERTMS/ETCS NIVEL 1.....	3
3.2.	SISTEMA ERTMS/ETCS NIVEL 2.....	4
3.3.	PRINCIPALES MODOS DE OPERACIÓN.....	6
3.4.	COMPONENTES DEL SISTEMA ERTMS/ETCS.....	7
3.4.1.	<i>COMPONENTES COMUNES A LOS NIVELES 1 y 2 DEL SISTEMA ERTMS/ETCS..</i>	<i>7</i>
3.4.1.1.	Puesto Central de ERTMS (PCE).....	7
3.4.1.2.	Registrador Jurídico del PCE (JRU-PCE).....	8
3.4.1.3.	Sistema de Ayuda al Mantenimiento del PCE (SAM-CE).....	8
3.4.1.4.	Central de Mantenimiento y Diagnósis (CM).....	8
3.4.1.5.	Puesto Local de Operación de ERTMS (PLE).....	9
3.4.1.6.	Sistema de Ayuda al Mantenimiento Local (SAM-ERTMS Local).....	9
3.4.1.7.	Gestor de ERTMS (GR).....	10
3.4.1.8.	Equipo de Control de Interfaces (PCI-ERTMS).....	10
3.4.1.9.	Eurobaliza.....	11
3.4.2.	<i>COMPONENTES DEL SISTEMA ERTMS/ETCS NIVEL 1.....</i>	<i>11</i>
3.4.2.1.	LEU (Lineside Electronic Unit).....	12
3.4.2.2.	Centralizador de LEU (CLC).....	13
3.4.2.3.	Cables de Eurobalizas conmutables (ERTMS).....	14
3.4.2.3.1.	Cables secundarios.....	14
3.4.2.4.	Interfaz ERTMS.....	14
3.4.3.	<i>COMPONENTES DEL SISTEMA ERTMS/ETCS NIVEL 2.....</i>	<i>15</i>
3.4.3.1.	RBC (Radio Block Center).....	15
3.4.3.2.	Registrador Jurídico del RBC (JRU-RBC).....	17
3.4.3.3.	KMC (Centro de Gestión de Claves).....	17
3.4.3.4.	Interfaz Enclavamiento – RBC.....	18
<b>4.</b>	<b>SOLUCIÓN PROYECTADA.....</b>	<b>19</b>
4.1.	ARQUITECTURA.....	19
4.1.1.	<i>EQUIPAMIENTO COMÚN DE LA SOLUCIÓN ERTMS/ETCS.....</i>	<i>19</i>
4.1.2.	<i>EQUIPAMIENTO DEL SISTEMA ERTMS/ETCS PARA NIVEL 1.....</i>	<i>21</i>
4.1.3.	<i>EQUIPAMIENTO DEL SISTEMA ERTMS/ETCS PARA NIVEL 2.....</i>	<i>21</i>
4.1.4.	<i>CRITERIOS DE CÁLCULO Y REPLANTEO.....</i>	<i>21</i>
4.2.	FUNCIONALIDADES DEL SISTEMA ERTMS/ETCS.....	22
4.2.1.	<i>GESTIÓN DE LAS AUTORIDADES DE MOVIMIENTO (MA).....</i>	<i>22</i>
4.2.2.	<i>ENTRADA A VÍA OCUPADA (OS).....</i>	<i>23</i>
4.2.3.	<i>LIMITACIONES TEMPORALES DE VELOCIDAD (LTV).....</i>	<i>24</i>
4.2.4.	<i>GESTIÓN DE LAS CONDICIONES DE VÍA Y MENSAJES AL MAQUINISTA.....</i>	<i>24</i>
4.2.4.1.	ZONAS DE NO PARADA (NON-STOPPING AREAS).....	24
4.2.4.2.	CIERRE DE TRAMPILLAS.....	24
4.2.4.1.	PARADA DE EMERGENCIA CONDICIONAL EN TÚNELES.....	24

4.2.5. MANIOBRAS (SH).....	24
4.2.6. PROTECCIÓN DEL MODO SR.....	25
4.2.7. TRANSICIONES DE NIVEL.....	25
4.2.8. GESTIÓN DE CLAVES .....	25
4.2.9. SITUACIONES DEGRADADAS .....	25
4.2.9.1. TELEGRAMA POR DEFECTO.....	25
4.2.9.2. FUSIÓN DE SEÑALES.....	25
4.2.9.3. PÉRDIDA DE COMUNICACIÓN CON EL RBC.....	25

## 1. INTRODUCCIÓN

La señalización ferroviaria proporciona seguridad tanto al transporte de viajeros como al de mercancías y regula el tráfico ferroviario. La evolución del transporte ferroviario ha impulsado el desarrollo de los sistemas de señalización y protección del tren necesarios para el control seguro de trenes cada vez más rápidos, en composiciones más largas y con intervalos de tiempo entre ellos menores.

La Directiva Europea 96/48/CE estableció en 1996 la base para la introducción del sistema interoperable ERTMS/ETCS (European Rail Traffic Management System / European Train Control System) y definió las especificaciones que todo sistema debe cumplir para garantizar la interoperabilidad. El lenguaje ETCS, junto con el sistema vía radio móvil GSM-R y los sistemas estándar europeos de gestión de tráfico, conforman el sistema de gestión europeo de tráfico ferroviario ERTMS. .

El sistema ERTMS/ETCS es un sistema de control, mando y señalización de trenes compuesto por dos subsistemas: el subsistema del tren o equipo embarcado, y el subsistema de vía o equipo de tierra. Ambos emplean componentes estándar para comunicarse a través de interfaces estandarizadas.

El estándar europeo ERTMS posibilita la interoperabilidad técnica, normalizando las funciones de control y protección del tren y las interfaces de intercambio de información entre los equipos embarcados en el tren y la infraestructura de la vía.

Los sistemas de protección del tren con los que se equipará la línea son los siguientes:

- ERTMS/ETCS Nivel 1
- ERTMS/ETCS Nivel 2

## 2. REFERENCIAS

Las funcionalidades ERTMS/ETCS cumplirán las especificaciones de requisitos del sistema ERTMS/ETCS en sus últimas versiones vigentes. A fecha de redacción del presente anteproyecto estas son:

- Directiva 96/48/CE del Consejo de Europa, de 23 de julio de 1996, relativa a la interoperabilidad del sistema ferroviario transeuropeo de alta velocidad, modificada y completada en los años 2004, 2007 y 2014, por medio de las Directivas 2004/50/CE y 2007/32/CE y sus modificaciones 2009/131/EC, 2011/18/EU and 2013/9/EU
- Especificación técnica de interoperabilidad de control mando y señalización 2012/88/EU y 2012/696/EU incluyendo el anexo A y en particular:
  - La Especificación de Requisitos del Sistema (SRS) v2.3.0 d (UNISIG SUBSET-026 versión 2.3.0, junto con el documento ERA SUBSET-108: Interoperability-related consolidation on TSI Annex A Documents, versión 1.2.0),
  - FFFIS para Eurobaliza v 2.4.1 (UNISIG SUBSET-036),
  - EuroRadio FIS v2.3.0 (UNISIG SUBSET-037),
  - Offline key management FIS v2.3.0 (UNISIG SUBSET-038),
  - Dimensioning and engineering rules v2.3.0 (UNISIG SUBSET0.40),
  - Test specification for Eurobalise FFFIS v2.2.2 (UNISIG SUBSET 085),
  - Especificación de Requisitos Funcionales v7 (EIRENE FRS),
  - Especificación de Requisitos del Sistema GSM-R v7 (EIRENE SRS),
  - (MORANE) Radio transmission FFFIS for EuroRadio v12 (A11T6001 12).
- La versión vigente de los documentos de Funcionalidad Nacional publicados por el Ministerio de Fomento:

- TFM021046-DF-4-Parte 1: Funcionalidad Nacional del Sistema ERTMS. Equipo Embarcado,
- TFM021046-DF-4-Parte 2: Funcionalidad Nacional del Sistema ERTMS. Infraestructura,
- TFM021046-DF-4-Anejo 1: Descripción técnica de los paquetes y variables específicos de las Funciones Nacionales de ERTMS/ETCS).
- TFM021046-DF-4-Anejo 2: Restricciones operativas y comentarios para aquellos equipos embarcados que no tengan implementadas las FN
- Baseline compatibility assessment (BCA) final report EUG\_UNIG\_BCA v1.0.0 de fecha 22.05.2014 y subset 128 v1.0.0
- ERA guidelines on the engineering of ERTMS

Esta lista de referencias se revisará en el momento de la adjudicación y habrán de aplicarse las versiones vigentes en dicho momento.

### 3. SISTEMA ERTMS/ETCS

El sistema ERTMS/ETCS permite la operación en diferentes niveles. Para esta línea la solución propuesta es ERTMS/ETCS Nivel 2 como sistema de operación principal y ERTMS/ETCS Nivel 1 como sistema de operación de respaldo.

En Nivel 2, la comunicación entre el tren y la vía es continua y vía radio, mientras que en Nivel 1 la comunicación es puntual a través de balizas interoperables (Eurobalizas). En ambos niveles la supervisión de la velocidad del tren es continua.

El equipamiento de a bordo del tren se encargará de la recepción de la información procedente del equipamiento de vía, que contendrá las autorizaciones de movimiento y las características de vía. Procederá al cálculo y supervisión dinámica de la velocidad (perfil más restrictivo entre las características del tren, de la vía y la autoridad de movimiento). En cabina aparecerá la información referente a la señalización continuamente actualizada.

Los equipos que integran el sistema ERTMS/ETCS forman parte del núcleo básico de seguridad del sistema de protección del tren ERTMS y estarán conectados a la Red Unificada de Señalización y Detectores (RUSD) de la instalación ferroviaria, siendo el Puesto Central de ERTMS (PCE) el sistema de control centralizado empleado para efectuar la supervisión y el mando de los sistemas ERTMS así como de la gestión del sistema desde un punto centralizado

A continuación se detallan las principales características de ambos Niveles y se resumen sus componentes.

#### 3.1. SISTEMA ERTMS/ETCS NIVEL 1

En el sistema ERTMS/ETCS Nivel 1, las Eurobalizas conmutables transmiten mensajes variables dependiendo de las características de la vía, las Limitaciones Temporales de Velocidad (LTV) y la información recibida del enclavamiento según el estado de las señales, las agujas y circuitos de vía.

La siguiente figura muestra la arquitectura básica de ERTMS N1:

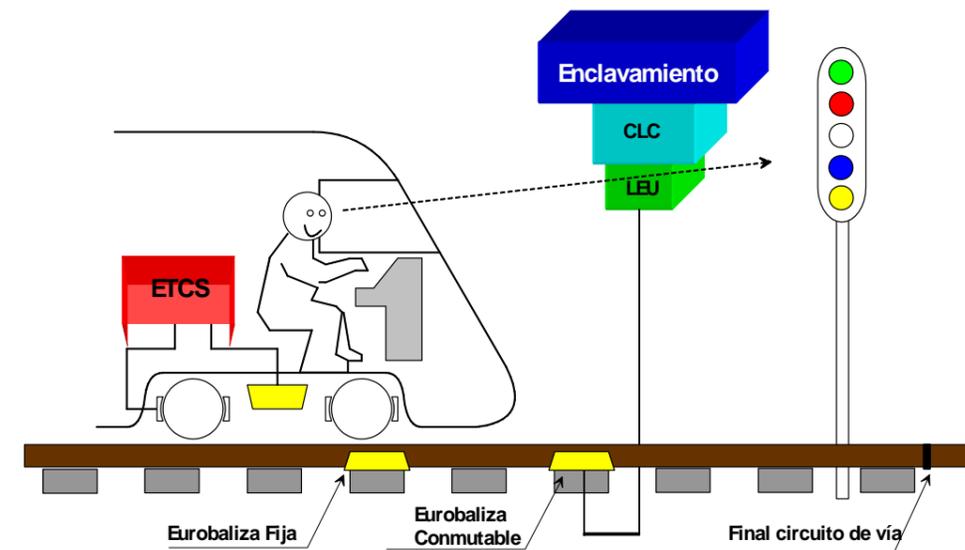


Figura 1: Sistema ERTMS/ETCS Nivel 1

El equipamiento esencial para el nivel de operación 1 de ERTMS/ETCS se detallará en la sección 3.4, y básicamente se compondrá de:

- Eurobalizas fijas y conmutables.
- LEU.
- Centralizadores de LEU (CLC).
- Interfaz ERTMS.

Además, el equipamiento del Nivel 1 de operación se complementa con los siguientes equipos (comunes para todos los niveles de ERTMS), detallados en la sección 3.4:

- Puesto Central de ERTMS (PCE), para supervisar las distintas funciones que ofrece el sistema ERTMS desde un punto centralizado.

- Equipo de Registro Jurídico para el PCE (JRU-PCE), para registrar la información tanto generada como recibida por el propio PCE, incidencias o averías registradas relacionadas con el PCE y sus comunicaciones.
- Sistema de Ayuda al Mantenimiento del PCE (SAM-CE), para almacenar los datos relevantes al mantenimiento del PCE.
- Servidor Central de Mantenimiento y Diagnóstico (CM), que proporcionará la información que facilite y agilice las tareas de localización de averías y mantenimiento. Este sistema también permitirá la reconstrucción de eventos.
- Puesto Local de Operación de ERTMS (PLE), permite al operador la gestión del sistema ERTMS. Toma el control del GR y del CLC en caso de fallo del PCE, pero lo hace de manera local, esto es, en su área asignada.
- Sistema de Ayuda al Mantenimiento local (SAM-ERTMS local), para supervisar el funcionamiento de los equipos de ERTMS de forma local.
- Gestor de ERTMS (GR), para gestionar tanto la introducción como la anulación de las LT en el caso de requerir LTVs dinámicas
- Equipo de Control de Interfaces (PCI-ERTMS), para comunicarse el PCE con los diferentes equipos locales de ERTMS así como con los RBC, quedando aislada la Red Unificada de Señalización y Detectores en la que se encuentran conectados.

Las características generales del Nivel 1 de ERTMS/ETCS son:

EQUIPO FIJO DE VÍA	Funciones	
		Determinar autorizaciones de movimiento
		Transmitir autorizaciones de movimiento al tren y descripción de la vía

EQUIPO DE A BORDO	Funciones	
		Recepción de autorización de movimiento y datos vía
		Selección del valor más restrictivo de velocidad
		Cálculo del perfil dinámico de velocidad
		Monitorización de velocidad real y permitida
		Señalización en cabina

Tabla-Resumen características Nivel 1 del sistema ERTMS/ETCS

### 3.2. SISTEMA ERTMS/ETCS NIVEL 2

En el sistema ERTMS/ETCS Nivel 2 el equipamiento de vía consta principalmente de los Centros de Bloqueo por Radio (RBC), distribuidos a lo largo del tramo, y de las Eurobalizas de relocalización. Los RBC son los encargados de enviar, mediante comunicación radio, las autorizaciones de movimiento (MA) a cada tren que se encuentra bajo su supervisión. Las MA son generadas a partir de la información que recibe el RBC del enclavamiento acerca del estado de los elementos de campo. Las Eurobalizas de relocalización se ubican periódicamente en la vía y su función es evitar que el error en la medición de la posición (odometría) del equipo de a bordo no crezca indefinidamente.

La siguiente figura muestra la arquitectura básica de ERTMS N2:

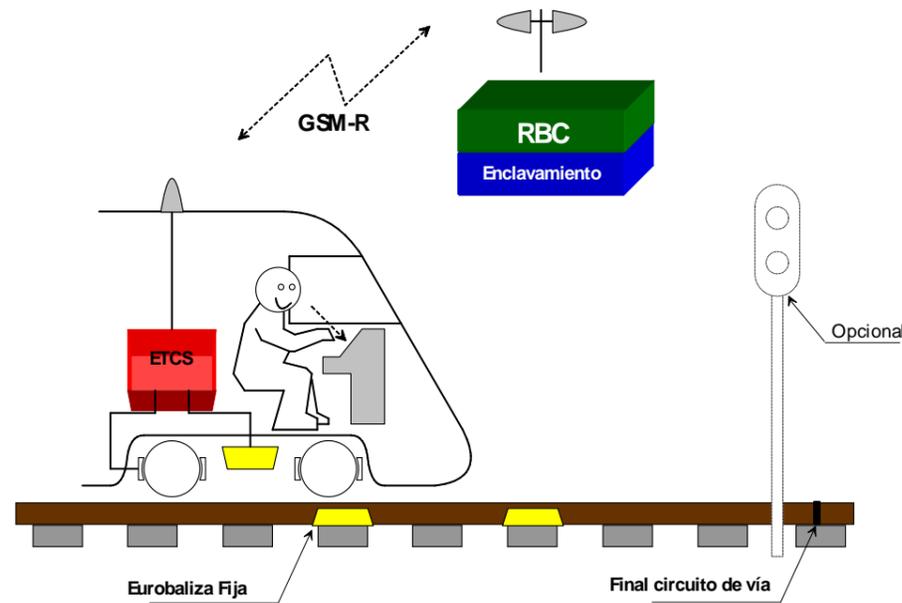


Figura 2: Sistema ERTMS/ETCS Nivel 2

El sistema ERTMS/ETCS en su Nivel 2 tendrá como componentes básicos los siguientes, que serán detallados en la sección 3.4:

- Centros de Bloqueo por Radio (RBC).

Sus funciones son

- Reconocer cada tren circulando en el área cubierta por un RBC por su identificador ERTMS/ETCS
- Controlar la posición del tren en zona de RBC
- Determinar autorizaciones de movimiento para cada tren
- Transmitir a cada tren las autorizaciones de movimiento y descripción de vía que corresponden
- Traspasar el control de trenes al cambiar de un RBC a otro en la frontera ("RBC handover")

- Registrador Jurídico del RBC (JRU-RBC).
- Sistema de gestión de claves (KMC).
- Eurobalizas fijas.
- Interfaz Enclavamiento – RBC.

El equipamiento de Nivel 2 se compondrá además de los componentes comunes a todos los Niveles, descritos en el apartado 3.1.

Las características generales del Nivel 2 de ERTMS/ETCS son:

EQUIPO DE A BORDO	Funciones	Leer Eurobalizas y enviar posición al RBC
		Recepción de autorización de movimiento y descripción de vía por radio
		Selección del valor más restrictivo de entre las diferentes limitaciones de velocidad que afectan al tramo donde se encuentra
		Cálculo del perfil dinámico de velocidad teniendo en cuenta las características del tren y la descripción de vía
		Monitorizar la velocidad real y permitida
		Señalización en cabina

Tabla-Resumen características Nivel 2 del sistema ERTMS/ETCS

### 3.3. PRINCIPALES MODOS DE OPERACIÓN

En este apartado se describen los principales modos de operación que proporciona el sistema ERTMS/ETCS. No se describen los modos Reversing (RV), Non-Leading (NL), ni otros modos que previsiblemente no serán utilizados durante la explotación de esta línea.

#### - **Modo Full Supervision (FS)**

El equipo embarcado entrará en modo FS cuando disponga de todos los datos del tren y de la vía necesarios para realizar la correcta supervisión del tren y de las curvas de frenado. En concreto, para entrar al modo FS será necesario que el equipo embarcado haya recibido los paquetes 12 (MA en Nivel 1) o 15 (MA en Nivel 2), 21 (información del gradiente de la vía) y 27 (perfil de velocidades máximas). Este modo no puede ser seleccionado por el maquinista, sino que el equipo entrará en él de manera automática cuando se den las condiciones anteriores.

En este modo el equipo embarcado supervisa constantemente que la velocidad del tren no sobrepase la velocidad límite, y que el tren se mantenga dentro de las curvas de frenado. En caso de que el maquinista sobrepase la velocidad máxima establecida para el tramo el sistema ERTMS/ETCS aplicará freno de servicio o de emergencia, según convenga.

La responsabilidad de la protección del tren es enteramente del sistema ERTMS/ETCS en este modo.

#### - **Modo Staff Responsible (SR)**

Este modo es el utilizado cuando el sistema no conoce las características de la ruta (es decir, no se dispone de los paquetes 12 o 15, 21 o 27). En este modo el sistema ERTMS/ETCS puede supervisar los movimientos del tren contra una velocidad límite, una distancia límite (mediante curvas de frenado) o una lista de balizas (el sistema puede frenar el tren si se pasa por una baliza que no pertenece a una determinada lista).

Es responsabilidad del maquinista comprobar que la vía esté libre y respetar la señalización lateral.

En la Figura 1 se muestra la secuencia de órdenes y solicitudes entre el maquinista, el equipo embarcado y el RBC (en Nivel 2) cuando el RBC no conoce las características de la ruta y otorga al maquinista autorización para circular en modo SR.

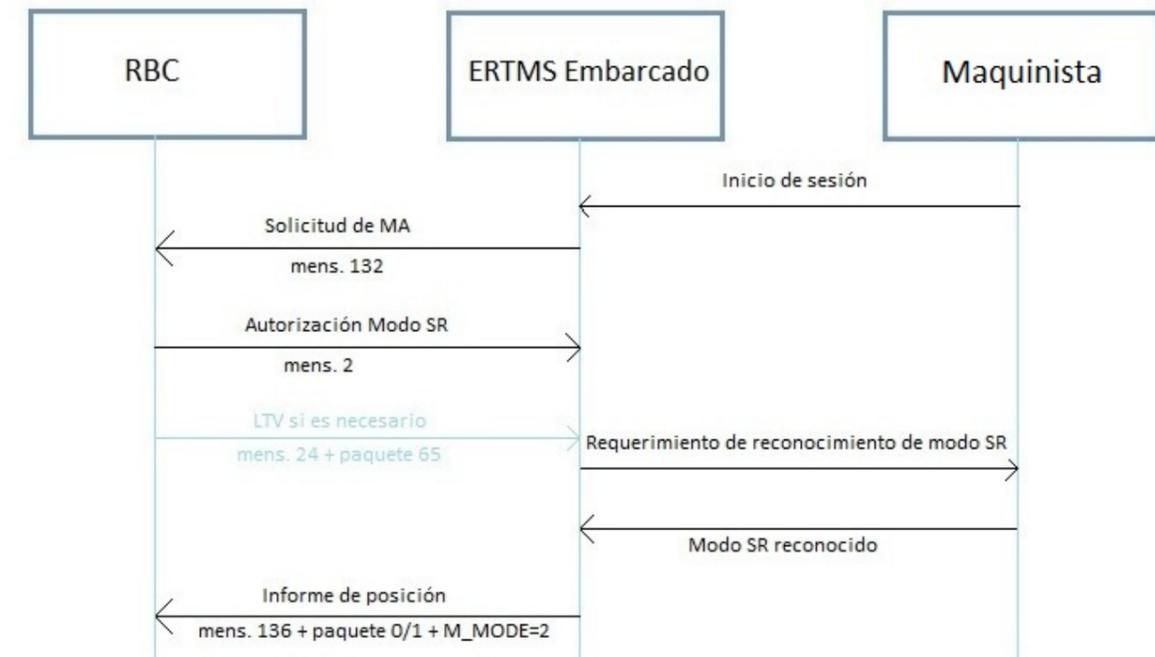


Figura 3. Inicio de misión en modo SR.

1. El maquinista inicia sesión.
2. El equipo embarcado envía una solicitud de MA al RBC.
3. En caso de que el RBC no pueda reponder con una MA para entrar en modo Full Supervision (FS), responderá con una autorización para el modo Staff Responsible (SR).
4. El equipo embarcado solicita al maquinista el reconocimiento del modo SR.
  - a. En caso de haber señalización lateral, el maquinista debe obedecer el aspecto de la señal y aplicar el reglamento de circulación.
  - b. En caso de no haber señalización lateral, el maquinista debe contactar con el centro de mando y solicitar autoridad de movimiento.
5. El maquinista reconoce el modo SR.
6. El tren envía un informe de posición para informar de la transición a modo SR.

- **Modo On Sight (OS)**

El modo OS (marcha a la vista) permite meter el tren en una sección de vía ocupada por otro tren o por cualquier otro obstáculo. La autoridad para transitar a este modo sólo puede provenir del equipo en vía, nunca por solicitud del maquinista.

Es responsabilidad del equipo ERTMS/ETCS supervisar la velocidad máxima del tren, pero el maquinista tiene la responsabilidad de comprobar que el tramo de vía inmediatamente delante del tren está libre y de no colisionar con otro tren u objeto, ya que la vía puede estar ocupada.

En la Figura 2 se muestra la secuencia de órdenes y solicitudes entre el maquinista, el equipo embarcado y el RBC (en Nivel 2) cuando el equipo de vía da la orden de transitar a modo OS.

- **Modo Maniobras**

Este modo es el utilizado para permitir maniobras dentro de una determinada área de maniobras. Es responsabilidad del sistema ERTMS/ETCS la supervisión de una velocidad máxima y la no salida del tren del área preestablecida como área de maniobras. Por otra parte, el maquinista tiene la responsabilidad de todos los movimientos del tren dentro de la zona de maniobras

- **Modo Trip**

En este modo el tren tiene accionado el freno de emergencia. No se entra en modo trip cuando se acciona el freno de emergencia por haber sobrepasado la velocidad permitida. En este modo el tren frena con el freno de emergencia hasta detenerse completamente. El equipamiento de a bordo envía un mensaje al maquinista solicitándole reconocimiento.

- **Modo Post-Trip**

Una vez que el maquinista ha reconocido el modo trip y el tren se ha detenido, el sistema entra en modo Post-Trip y se libera el freno de emergencia. El tren sólo está autorizado a moverse hacia atrás una determinada distancia prefijada para volver a entrar en la zona de

su MA de la que se ha salido. Para salir de modo Post-Trip es necesario volver a solicitar MA.

### **3.4. COMPONENTES DEL SISTEMA ERTMS/ETCS**

#### ***3.4.1. COMPONENTES COMUNES A LOS NIVELES 1 y 2 DEL SISTEMA ERTMS/ETCS***

##### **3.4.1.1. Puesto Central de ERTMS (PCE)**

El Puesto Central de ERTMS (PCE) es un sistema de control centralizado que se emplea para efectuar la supervisión y mando de los sistemas ERTMS de una instalación ferroviaria.

Desde este sistema se pueden gestionar las distintas funciones que permite el sistema ERTMS desde un punto centralizado, puesto que el PCE permite la interacción con el sistema ERTMS/ETCS instalado bajo su área de supervisión: permite la representación del estado de los elementos pertenecientes al sistema así como la realización de operaciones sobre ellos.

El PCE puede funcionar de modo independiente o integrado dentro del CRC, de igual forma que se puede repartir el control de la línea completa o de un tramo entre varios puestos de control existiendo una lógica para el cambio de mando entre los distintos sistemas.

Las funciones principales que deberá realizar el PCE son:

- Información del estado de los componentes del sistema.
- Telemando de los RBC: el PCE realiza las funciones de supervisión y mando de los RBC distribuidos en el tramo.
- Gestión de las LTV: representación, establecimiento y anulación de las LTV.
- Recepción en tiempo real de la información que manejan los RBC relevante para la circulación: autorizaciones de movimiento a los trenes, perfil de velocidad y condiciones de la vía, posición y velocidad de cada tren, incidencias, características de los trenes, reducción de prestaciones en el tren, etc. Esta información estará disponible para uso de otros sistemas

externos a través de una base de datos en tiempo real que se incluirá en el PCE. Las interfaces serán normalizadas.

- Recepción en tiempo real de las peticiones de establecimiento automático de rutas a los trenes desde los RBC y transmisión de las mismas al CRC.
- Recepción periódica (y también bajo petición), de eventos y registros almacenados en los RBC para la aplicación de reconstrucción de secuencias de la explotación y para el Puesto Central del Sistema de Ayuda al Mantenimiento.
- Sincronización de fecha y hora.

El PCE puede comunicarse con otros sistemas para representar información procedente de ellos. El PCE está diseñado de forma modular, tanto a nivel hardware como a nivel software. Dicha modularidad permite una fácil ampliación y adaptación a nuevos requisitos de operación, así como a nuevos sistemas a controlar o cambios en la topología del tramo.

El PCE se compone de varios módulos claramente diferenciados:

- Servidores gráficos.
- Servidores de datos.
- Servidores de publicaciones.
- Front-End de comunicaciones.

#### 3.4.1.2. Registrador Jurídico del PCE (JRU-PCE)

El Registro Jurídico del PCE (JRU-PCE) podrá ser consultado desde el Puesto Central de ERTMS (PCE), los equipos locales y desde los terminales del Sistema de Ayuda al Mantenimiento para PCE (SAM-CE), SAM-ERTMS Locales y Central de Mantenimiento (CM). Básicamente, el JRU-PCE se compone de un ordenador industrial. Deberá constar de una configuración y prestaciones que le permitan ampliamente asegurar la realización de su función.

#### 3.4.1.3. Sistema de Ayuda al Mantenimiento del PCE (SAM-CE)

El Sistema de Ayuda al Mantenimiento del PCE (SAM-CE) engloba un conjunto de aplicaciones destinadas a facilitar el acceso, análisis y control de la información de diagnóstico generada por el sistema.

El SAM-CE está basado en un sistema independiente que realiza las siguientes funciones:

- Interfaz hombre – máquina.
- Monitorización de la información de diagnóstico generada por el PCE.
- Almacenamiento de la información necesaria para la reproducción de secuencias del PCE.
- Envío de la información de diagnóstico a la central de mantenimiento ERTMS.
- Utilidad para la reproducción de secuencias.

#### 3.4.1.4. Central de Mantenimiento y Diagnóstico (CM)

La Central de Mantenimiento y Diagnóstico de ERTMS (CM) es un servidor que almacena en una base de datos todos los mensajes de diagnóstico generados por los sistemas de ayuda al mantenimiento de los sistemas ERTMS en el tramo. Por tanto, permite la monitorización del sistema ERTMS tanto en tiempo real como los eventos almacenados en su base de datos con una antigüedad configurable en función de la capacidad de almacenamiento disponible.

La Central de Mantenimiento (CM) está compuesta por los siguientes equipos:

- Servidor de datos: Es el responsable de la comunicación de la CM con los equipos locales. El servidor de datos se conectará a través de la red con los sistemas locales y recibirá de estos la información sobre los elementos del sistema ERTMS/ETCS.
- Puesto de operador: Son los terminales a través de los cuales el responsable de mantenimiento interactúa con el sistema para consultar la información de mantenimiento. Estarán dotados de monitores de alta resolución. En una CM pueden existir varios terminales conectados al mismo servidor.

La Central de Mantenimiento y Diagnóstico de ERTMS (CM) permite al personal de mantenimiento conectarse desde cualquier punto del tramo, desde los Sistemas de Ayuda al Mantenimiento Locales (SAM-ERTMS Local), en modo cliente-servidor y acceder a la información de diagnóstico y ayuda al mantenimiento de ERTMS, utilizando para ello la infraestructura de red existente. Por tanto, el Sistema de Ayuda al Mantenimiento ERTMS está compuesto tanto por la Central de Mantenimiento como por los Sistemas de Ayuda al Mantenimiento Locales (SAM-ERTMS Local).

La conexión entre la Central de Mantenimiento y los Sistemas de Ayuda al Mantenimiento Local del sistema ERTMS se realiza mediante canales serie redundantes.

Todos los cambios en las Centrales de Mantenimiento existentes serán realizados de manera que las resultantes ofrezcan las mismas o mejores condiciones que la anterior en cuanto a prestaciones, disponibilidad y seguridad.

Las funciones principales de esta aplicación son:

- Mantenimiento de las comunicaciones con el SAM-CE.
- Mantenimiento de las comunicaciones con los SAM-ERTMS locales.
- Mantenimiento de las comunicaciones con el front-end de comunicaciones.
- Almacenamiento de la información de diagnóstico recibida de los sistemas ERTMS.
- Proporcionar un servidor que gestiona el acceso contra la base de datos.
- Visualización de las informaciones de diagnóstico almacenadas en la base de datos
- Visualización topológica de los errores que se producen en los sistemas de diagnóstico ERTMS.
- Funciones de filtro de la información para permitir al usuario seleccionar el tipo de información de diagnóstico a mostrar.

#### 3.4.1.5. Puesto Local de Operación de ERTMS (PLE)

El Puesto Local de Operación de ERTMS (PLE) es un equipo que facilita al operador la gestión del sistema ERTMS a nivel local. Toma el control del GR y del CLC en caso de pérdida de comunicación con el PCE.

Las principales funciones que realiza el PLE son las siguientes:

- Representación del estado de las LTV establecidas.
- Establecimiento y anulación de las LTV comprendidas en su área de control.
- Representación del estado de las comunicaciones entre los diferentes equipos asociados al ERTMS.

Se instalará un PLE por cada ENCE. En caso de indisponibilidad total o parcial de los equipos del PCE o de la red de comunicación, cada PLE asegura el mando del tramo asociado a su ENCE.

Para operar el PLE, el usuario dispone de una interfaz gráfica con ratón y teclado. Todos los comandos se pueden ejecutar tanto con el ratón como con el teclado, para favorecer la disponibilidad del sistema.

#### 3.4.1.6. Sistema de Ayuda al Mantenimiento Local (SAM-ERTMS Local)

El Sistema de Ayuda al Mantenimiento permite el acceso a la información relativa al mantenimiento generada por los equipos ERTMS tanto de forma local, es decir, desde la dependencia en la que se encuentren, como de forma centralizada desde el Puesto Central. De esta forma, se pretende flexibilizar y facilitar las actividades de mantenimiento.

El SAM-ERTMS Local será el equipo encargado de presentar la información relativa al mantenimiento a nivel local.

Entre sus principales funciones se distinguen las siguientes:

- Monitorización del estado de los elementos pertenecientes al sistema ERTMS.

- Disposición del estado de las comunicaciones entre los distintos integrantes del sistema ERTMS.
- Presentación de alarmas debidas a fallos en los elementos bajo control.
- Representación de los comandos enviados desde el PCE y desde el PLE.
- Representación de los mensajes enviados desde el RBC.

Se instalará un SAM-ERTMS Local en cada ubicación donde exista un ENCE con equipamiento ERTMS.

#### 3.4.1.7. Gestor de ERTMS (GR)

El Gestor de ERTMS (GR) es un equipo que permite a un operador ubicado en un puesto local (PLE) o en un puesto central (PCE) gestionar el establecimiento y la anulación de las Limitaciones Temporales de Velocidad (LTV).

El GR está compuesto de dos canales de procesamiento (SIL2) independientes y diversos que cooperan para asegurar la integridad de la información intercambiada entre los puestos de operación y los LEU/RBC. Cada canal está distribuido en un PC con diferente plataforma software. Los datos generados por un canal son comprobados por el otro canal de procesamiento y en caso de inconsistencia, el sistema pasa a un estado seguro más restrictivo.

La función principal del GR es preparar tablas de telegramas (según formato definido por UNISIG) con las LTV establecidas desde el PCE o desde el PLE, identificar los LEU/RBC afectados por las LTV definidas y proporcionar dichas tablas a los LEU/RBC para que comprueben la integridad de los datos y, según la señalización, notifiquen al tren dichas LTV. El GR asegura que todos los LEU/RBC involucrados en el establecimiento/anulación de una LTV han cargado correctamente las tablas de telegramas generadas y en caso de fallo o desconexión, pasa a un estado seguro más restrictivo. De la misma manera, el GR asegura que todos los GR colaterales afectados por una LTV han completado correctamente el proceso de generación y actualización de los datos en sus LEU/RBC asociados. Todo el proceso de establecimiento/anulación de una LTV puede ser monitorizado desde los puestos de operación.

Cada GR puede establecer comunicación con los siguientes elementos:

- Sus LEU asociados.
- Su PCI-ERTMS asociado, a partir del cual se comunica con el PCE.
- Hasta dos RBC.
- Uno o más PLE.
- Uno o más SAM-ERTMS Local.
- Uno o más GR colaterales.

El número máximo de equipos PLE, SAM-ERTMS y GR colaterales con los que es capaz de establecer comunicación cada GR está limitado realmente por el ancho de banda de que disponga, así como por el número de áreas de LTV y por los propios requisitos de ejecución del equipo, ya que el uso de CPU no debe pasar del 50%.

Se instalará un GR en cada ubicación donde exista un ENCE con equipamiento ERTMS.

#### 3.4.1.8. Equipo de Control de Interfaces (PCI-ERTMS)

El equipo de Control de Interfaces (PCI-ERTMS) es una máquina que se emplea para comunicar los equipos de ERTMS conectados a la Red Unificada de Señalización y Detectores (RUSD) con el Puesto Central de ERTMS (PCE), conectado a los Servicios de Alta Disponibilidad. De esta forma se consigue un correcto aislamiento entre ambas redes.

Las funciones que realiza el PCI-ERTMS son:

- Interfaz con los RBC a través de la Red Unificada de Señalización y Detectores.
- Interfaz con los CLC a través de la Red Unificada de Señalización y Detectores.
- Interfaz con los GR a través de la Red Unificada de Señalización y Detectores.
- Interfaz con los Front-End de comunicaciones del PCE.

Se instalará un PCI-ERTMS en cada ubicación donde exista un ENCE con equipamiento ERTMS.  
Se podrá instalar otro PCI-ERTMS en el RBC.

#### 3.4.1.9. Eurobaliza

La Eurobaliza es un dispositivo de transmisión puntual instalado en la vía que, al paso del tren, es energizado por la antena del tren, enviando un telegrama al equipo de a bordo.

Las Eurobalizas se organizan en grupos, cada uno de los cuales está formado por entre 1 y 8 Eurobalizas. Cada Eurobaliza del grupo transmite un telegrama y la combinación de telegramas forma un mensaje enviado por el grupo.

Las Eurobalizas llevan un identificador con el que pueden ser asignadas unívocamente a una posición determinada lo que se utiliza para determinar y actualizar la posición del tren (balizas de reposicionamiento).

Los mensajes de las Eurobalizas pueden ser fijos o variables, lo que provoca que se distingan dos tipos de Eurobalizas:

- Eurobalizas fijas. Transmiten siempre la misma información que tienen almacenada. Estas Eurobalizas tienen memorizado su emplazamiento exacto y datos fijos en forma de telegramas, que transmiten al equipo embarcado cuando un vehículo con ETCS circula sobre ellos. Por lo tanto, al transmitir siempre la misma información, no están conectadas al LEU.
- Eurobalizas conmutables. Están conectadas al LEU, por lo que el telegrama enviado es el que éste selecciona. De esta forma, enviarán telegramas distintos en función del estado de la señalización. En caso de pérdida de comunicación de la Eurobaliza con el LEU o selección no válida de telegrama por parte del LEU, se transmite el telegrama por defecto que tiene almacenado la Eurobaliza.

Se utilizarán Eurobalizas que cumplan las Especificaciones Técnicas de Interoperabilidad y especialmente los subset-036 y subset-085 (ver capítulo referencias). Las Eurobalizas dispondrán de un certificado de interoperabilidad CE actualizado a la normativa vigente.

La finalidad de la Eurobaliza es transmitir a las unidades receptoras y decodificadoras situadas a bordo del tren (antena y BTM) un mensaje recibido a través de una conexión serie desde el LEU o un mensaje configurable, almacenado en un dispositivo no volátil situado en el interior de la Eurobaliza.

La Eurobaliza obtiene la alimentación, y la información de control necesaria para su funcionamiento, de un campo electromagnético de 27.095 MHz con una tolerancia de  $\pm 5$  kHz emitido por una antena situada debajo del tren.

Los datos digitales proporcionados por la lógica de control del LEU son enviados al tren mediante una modulación FSK: se transmite un valor '0' como onda sinusoidal a una frecuencia nominal de 3.951 MHz y un valor '1' como onda sinusoidal a una frecuencia nominal de 4.516 MHz (la frecuencia central de la modulación FSK es por tanto igual a 4.234 MHz).

#### 3.4.2. COMPONENTES DEL SISTEMA ERTMS/ETCS NIVEL 1

En la siguiente figura puede verse una representación esquemática de los diferentes subsistemas que componen la solución proyectada de ERTMS/ETCS Nivel 1.

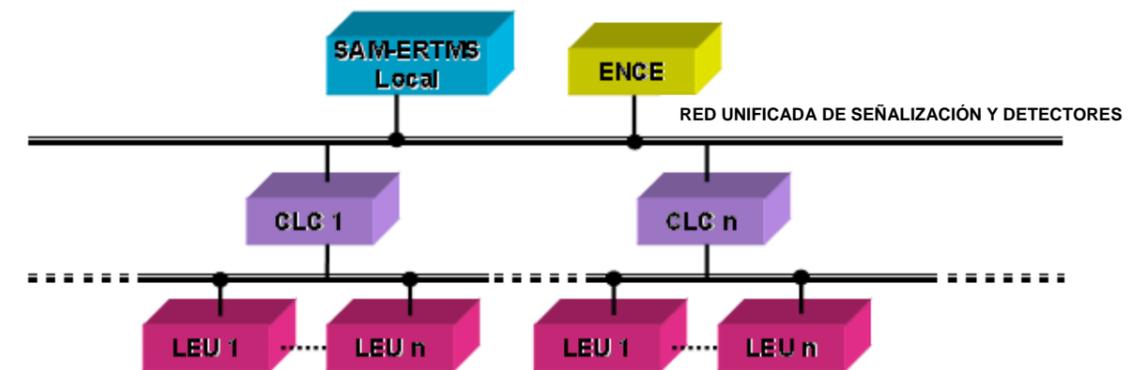


Figura 5 Arquitectura de la solución proyectada ERTMS/ETCS Nivel 1

El equipo ERTMS/ETCS de Nivel 1 debe ser un sistema capaz de recibir información del enclavamiento y de otros niveles superiores en instantes no determinados, y de responder con la rapidez suficiente.

El equipo ERTMS/ETCS de Nivel 1 es un sistema informático en tiempo real que:

- Interacciona con las Eurobalizas.
- Realiza acciones de control sobre las mismas.
- Supervisa de forma continua las interfaces, reaccionando de forma segura antes los posibles fallos de estos.

Las características de los componentes lógicos de la solución proyectada deberán incluir al menos las siguientes:

- Modularidad.
- Encapsulamiento y protección de datos.
- No restricciones de tamaño de memoria.
- Independencia entre “software” y “hardware”.
- Independencia entre código y datos.
- Control de tareas periódicas y esporádicas.
- Control de plazos de respuesta.
- Fiabilidad.
- Portabilidad.
- Reutilización.
- Mantenibilidad.

#### 3.4.2.1. LEU (Lineside Electronic Unit)

El LEU es el dispositivo intrínsecamente seguro en el que se encuentran almacenados los telegramas de las Eurobalizas conmutables.

La misión principal del LEU es gestionar los mensajes que se envían a las Eurobalizas conmutables, variables, en función del estado de las entradas que recibe del ENCE y del GR. En función de la información intercambiada con el enclavamiento, envía el telegrama prediseñado que se adapta a la ruta establecida por el enclavamiento.

Las funciones más relevantes de los LEU son:

- Recepción del estado de la señalización.
- Tratamiento de LTV.
- Selección de los telegramas ERTMS/ETCS.
- Envío de los telegramas a las balizas a través del interfaz C.
- Tratamiento de la diagnosis interna.
- Pruebas periódicas de hardware y tratamiento de fallos y/o averías de forma segura.
- Supervisión de la interfaz con el CLC.

Un LEU puede controlar 4 Eurobalizas conmutables.

El interfaz entre LEU y Eurobaliza se denomina “Interfaz C” y es un interfaz público interoperable que deberá satisfacer las especificaciones UNISIG correspondientes.

Un LEU es un equipo intrínsecamente seguro. El LEU está formado por 2 ordenadores (tarjetas lógicas) y por sus correspondientes tarjetas de interfaz. La configuración básica se detalla a continuación:

- Tarjeta lógica.

- Tarjeta de salida a la Eurobaliza.
- Tarjeta de alimentación para el LEU.
- Software de sistema y comunicaciones para LEU.

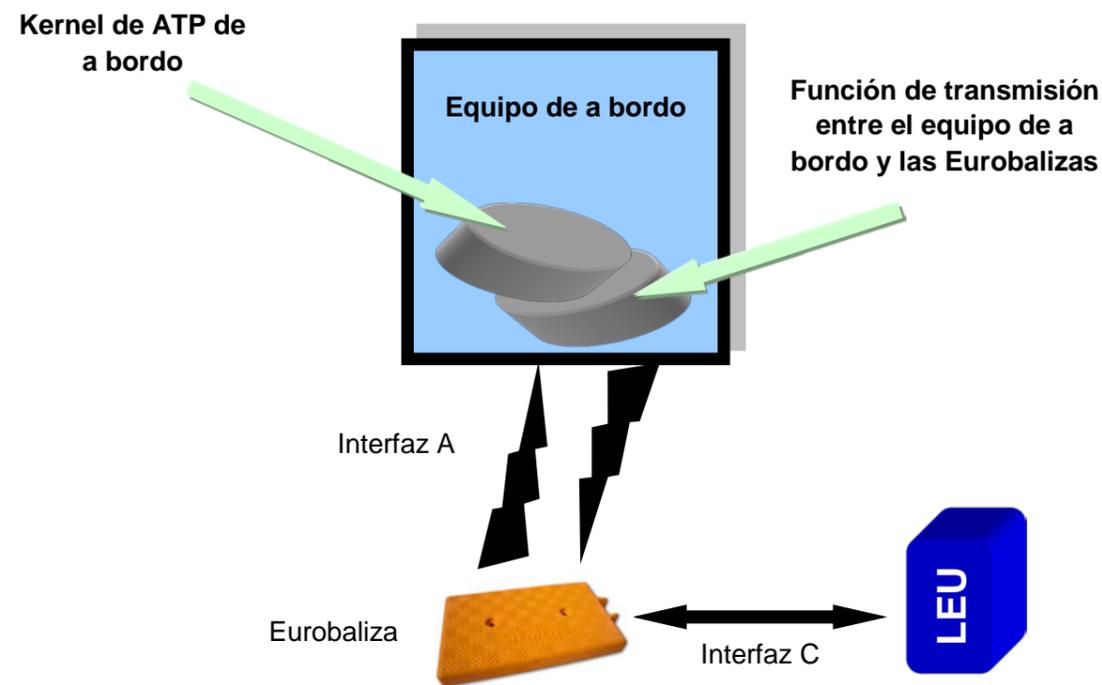


Figura 6. Arquitectura de transmisión LEU – Eurobaliza – equipo embarcado

El LEU recibe la información del estado del enclavamiento (bien directamente o a través de un interfaz) y la transmite a través del interfaz C hacia la Eurobaliza. La Eurobaliza, tras ser activada al paso del tren, emite el telegrama hacia la antena del vehículo. Si existe un fallo en la conexión con el LEU, automáticamente se conmuta al telegrama por defecto contenido en la Eurobaliza.

Los LEU transmitirán a las Eurobalizas conmutables los telegramas correspondientes al establecimiento de las Limitaciones Temporales de Velocidad (LTV), según la información que reciba del Gestor de ERTMS (GR). La introducción centralizada de las LTV se realizará desde el PCE o desde el PLE.

Los LEU se ubicarán centralizados en las salas técnicas de los enclavamientos. En el caso de que la distancia entre el LEU y la Eurobaliza conmutable sea tal que la señal no pueda ser recibida sin errores, se prevé la instalación de regeneradores de señal y amplificadores para evitar la instalación de algún LEU en vía.

#### 3.4.2.2. Centralizador de LEU (CLC)

El objetivo del CLC es gobernar de forma centralizada los LEU. Para ello el controlador centralizado de LEU recibe la información de señalización desde el enclavamiento, a través de la Interfaz ERTMS, y la distribuye a los LEU que tiene conectados, que a su vez se encargan de enviar los telegramas a sus respectivas Eurobalizas conmutables. Cada CLC tendrá conectados hasta 12 LEU. La interacción de forma segura entre el enclavamiento y los LEU se realiza a través del centralizador de LEU (CLC).

Las tareas del CLC consisten en lo siguiente:

- Recepción de informaciones del enclavamiento sobre:
  - Aspectos de las señales.
  - Estado de las agujas.
- Distribución continua de la información del ENCE a los LEU:
  - Envía a cada LEU la parte que necesita de la información de señalización. De esta forma el LEU puede seleccionar dentro de su tabla de telegramas preprogramados, los telegramas que en cada momento debe enviar a sus Eurobalizas asociadas.
- Envío de la orden a los LEU para el cambio de tabla de telegramas preprogramados.

- Supervisión del estado de los LEU.
- Envío de la información de diagnóstico al Sistema de Ayuda al Mantenimiento.
- Supervisión continua (periódica) de la integridad de los enlaces de comunicación y reacción en caso de avería.

El CLC es el encargado de gestionar las comunicaciones del sistema ERTMS/ETCS con el resto de sistemas con los que se relaciona: el enclavamiento que abarca su área de control y los CLC colaterales. Si un CLC necesita información acerca del área de control de otro enclavamiento, esta comunicación se establece entre CLC. Por tanto, un CLC puede establecer comunicación:

- Con los LEU que controla.
- Con los CLC del mismo área de control del enclavamiento.
- Con el enclavamiento del que depende (Interfaz ERTMS).
- Con los CLC colaterales.

El CLC tendrá una configuración intrínsecamente segura (2 de 3 redundante o “hot stand-by”), de alta disponibilidad y fiabilidad.

La configuración básica de cada uno de los ordenadores se detalla a continuación:

- Tarjeta comunicaciones Interfaz ERTMS-CLC.
- Tarjeta comunicaciones serie.
- Tarjeta comunicaciones paralelo.
- Tarjeta funcionalidad hot stand-by.
- Rack para tarjetas del CLC y su backplane.
- Tarjeta de suministro de tensión.

- Bastidor.
- Switch para conexión en LAN.
- Software de sistema y comunicaciones para el Centralizador.

#### 3.4.2.3. Cables de Eurobalizas conmutables (ERTMS)

En el diseño del sistema ERTMS/ETCS, cada Eurobaliza conmutable instalada en campo irá cableada mediante un cable C (uno por Eurobaliza conmutable) a la cabina correspondiente, desde la caja de terminales. Los empalmes de dichos cables utilizados se realizarán con los métodos homologados por ADIF.

En el caso de que las Eurobalizas conmutables se encuentren a una distancia superior a 5.000 m de la cabina, será necesaria la instalación de amplificadores y regeneradores de señal a lo largo de las instalaciones en campo, para asegurar el nivel de señal recibido por las Eurobalizas conmutables instaladas en vía.

#### 3.4.2.3.1. **Cables secundarios**

El cable secundario tendido entre las cajas de conexión (igualmente si incluye regenerador o amplificador de señal) y las Eurobalizas conmutables está incluido en la propia unidad de las Eurobalizas conmutables.

#### 3.4.2.4. Interfaz ERTMS

La Interfaz ERTMS se encarga de la gestión de las comunicaciones, integración y tratamiento seguro de la información a intercambiar entre el sistema ERTMS/ETCS y el enclavamiento. La interfaz ERTMS comunica los CLC, y así los LEU, pertenecientes al enclavamiento con el propio enclavamiento, posibilitando la comunicación CLC-ENCE así como con las otras interfaces de los enclavamientos colaterales.

La interfaz ERTMS será el equipo perteneciente al sistema ERTMS que se comunique con el ENCE en lo que respecta al ERTMS. Se encontrará ubicada junto a los ENCE. Cada ENCE

suministrará a la Interfaz ERTMS correspondiente toda la información que pueda necesitar cualquier LEU perteneciente al área controlada por dicho ENCE.

Las principales ventajas de la utilización de este equipo son:

- Centralización de la información.
- Mayor número de sesiones vitales para intercambio de información disponible.
- Actualización simultánea de los mensajes de todos los LEU perteneciente al ENCE ante un cambio de estado del mismo que afecte al ERTMS.

El equipamiento de la Interfaz ERTMS estará compuesto al menos de:

- Tarjeta comunicaciones ENCE-Interfaz ERTMS.
- Tarjeta comunicaciones serie.
- Tarjeta comunicaciones paralelo.
- Tarjeta funcionalidad hot stand-by.
- Rack para tarjetas y su backplane.
- Tarjeta de suministro de tensión.
- Switch para conexión en LAN.

Software de sistema y comunicaciones para la Interfaz.

### **3.4.3. COMPONENTES DEL SISTEMA ERTMS/ETCS NIVEL 2**

Los componentes lógicos de la solución proyectada de ERTMS/ETCS Nivel 2 incluyen al menos las siguientes características:

- Modularidad.

- Encapsulamiento y protección de datos.
- No restricciones de tamaño de memoria.
- Independencia entre “software” y “hardware”.
- Independencia entre código y datos.
- Control de tareas periódicas y esporádicas.
- Control de plazos de respuesta.
- Fiabilidad.
- Portabilidad.
- Reutilización.
- Mantenibilidad.

#### **3.4.3.1. RBC (Radio Block Center)**

El RBC centraliza todas las informaciones necesarias para la supervisión y control de los trenes que se encuentran en su dominio. Para ello elabora mensajes que se envían al tren en base a la información recibida de los elementos de vía y del equipo de a bordo de los trenes. La comunicación entre el equipo embarcado y el RBC se realiza siguiendo el protocolo Euroradio, que se basa en el sistema de transmisión GSM-R.

El RBC consta de un procesador de RBC que es un equipo crítico de seguridad y que proporciona toda la funcionalidad requerida por el RBC. El RBC se conecta e intercambia información con los siguientes componentes:

- Los trenes (interfaz estándar ERTMS/ETCS).
  - El RBC controla las circulaciones de los trenes en un área determinada, que puede abarcar varios enclavamientos. El RBC conoce la situación de las Eurobalizas pertenecientes a su

área, así como la de los elementos controlados por el enclavamiento que son relevantes para sus funciones (agujas, señales, circuitos de vía). Cuando un tren equipado con ETCS Nivel 2 entra en el área del RBC, el equipo embarcado establece una comunicación con el RBC vía GSM-R para pasar a ser supervisado por el RBC. El equipo embarcado comunica al RBC los datos del tren y su posición, utilizando un grupo de Eurobalizas por el que haya circulado como referencia. Una vez que el tren ha pasado a estar bajo la supervisión del RBC, recibirá autorizaciones de movimiento del RBC en función del estado de los elementos de campo y las rutas que se hayan establecido. El ENCE será el encargado de facilitar esta información al RBC.

- El intercambio de paquetes entre el RBC y el tren está definido de forma interoperable en las especificaciones ERTMS.
- Aunque el RBC sólo puede controlar aquellos trenes con los que tenga establecida la comunicación, es necesario asegurar el movimiento seguro de todos los distintos tipos de tren en el área de control del RBC. La interacción entre el RBC y los enclavamientos asegura que la operación del RBC no entra en conflicto con el movimiento de los trenes que no están bajo su control. De esta forma se puede asegurar el movimiento seguro de todos los trenes.
- Los equipos de enclavamiento.
  - El RBC se comunica con los enclavamientos de vía para conocer el estado de los elementos de campo y las distintas rutas que hay establecidas en cada momento.
- RBC adyacentes.
  - Cada RBC mantiene una comunicación con los RBC adyacentes, de forma que los trenes controlados por un RBC puedan pasar de un área de control a otra manteniendo su operación normal en ERTMS Nivel 2.
  - El mecanismo de paso de frontera entre dos RBC está descrito en las especificaciones ERTMS de clase 1. Este traspaso entre RBC (handover) debe realizarse en las mismas condiciones técnicas en el caso de que los RBC sean de la misma tecnología o de

tecnologías diferentes. Se proveerán los medios técnicos y materiales necesarios para que la realización del handover se realice sin disminución de las prestaciones.

- Puesto Central de ERTMS (PCE).
  - El PCE es el Puesto Central ERTMS, desde el que se gestionan todos los elementos de ERTMS, y por tanto los RBC, dispuestos a lo largo de la línea.
- Puesto Local de Operación de ERTMS (PLE).
  - La operación y la indicación del RBC pueden tener lugar de forma remota, a través del PCE, o de forma local mediante el PLE. Siempre que se inicia una sesión en el PCE, se bloquea el puesto de mando local para la introducción de datos.
- Sistema de Ayuda al Mantenimiento de ERTMS (SAM-ERTMS).
  - Todos los mensajes enviados y recibidos por el RBC, así como las incidencias o averías registradas relacionadas con los RBC y sus comunicaciones, todas acompañadas con fecha y hora de registro, se podrán monitorizar desde el SAM-ERTMS.
- Registrador Jurídico del RBC (JRU-RBC).
  - El JRU-RBC almacena información de valor jurídico. Los datos registrados no se pueden manipular y permiten un análisis de la secuencia de acontecimientos ocurridos en el pasado. Para cada acontecimiento registrado se graba la fecha y la hora (tanto del vehículo como de la vía) en el momento en que se produce.
- Gestor de ERTMS (GR).
  - Los RBC recibirán las peticiones de establecimiento de LTV realizadas al GR tanto por parte del PCE como del PLE. Una vez que el RBC recibe la confirmación de que se han comunicado estas limitaciones a los trenes de la zona del RBC, este enviará la confirmación al GR.
- Equipo de Control de Interfaces (PCI-ERTMS).

- Para la comunicación de los RBC con el PCE a través de los Servicios de Alta Disponibilidad se utiliza un ordenador de interfaz para asegurar el completo aislamiento de la Red Unificada de Señalización y Detectores a la que están conectados los RBC.
- La configuración debe ser tal que se garantice una completa disponibilidad de las comunicaciones con los RBC.

El RBC se compone de los siguientes elementos:

- Armario con bastidores de ancho estándar de 19”.
- Sistema base de comunicaciones (RBS).
- Conmutadores (Switches).
- Ordenador con configuración de seguridad (2 de 3 o “hot stand-by”).
- Panel de conexiones LAN.
- Terminales de conexión de suministro eléctrico.

#### 3.4.3.2. Registrador Jurídico del RBC (JRU-RBC)

Cada RBC lleva asociado un ordenador estándar cuya funcionalidad es la de registro de información de valor jurídico. En él se almacenan todos los mensajes intercambiados con el RBC, así como las incidencias o averías registradas relacionadas con los RBC y sus comunicaciones. Todas ellas acompañadas con su fecha y hora de registro.

En el registro jurídico se registran sucesivamente:

- La información intercambiada con los enclavamientos o los interfaces de enclavamiento.
- Todas las autorizaciones de movimiento ETCS dadas por el RBC con el número de tren.
- Los mensajes enviados a los trenes.

- Los mensajes recibidos desde los trenes.
- Mensajes intercambiados con el PLE y el PCE.
- Mensajes intercambiados con el RBC.
- Mensajes intercambiados con los RBC adyacentes.
- Las incidencias importantes para la seguridad.
- Las averías de transmisión por radio.
- El establecimiento y el corte de la conexión por radio.

Estos datos registrados no se pueden manipular y permiten un análisis de la secuencia de acontecimientos que se han producido durante un mes de explotación. Para cada acontecimiento registrado se graba la fecha y la hora (tanto del vehículo como de la vía) en las que se ha producido. Cada acontecimiento tiene una descripción suficientemente precisa como para identificarlo de forma concreta.

#### 3.4.3.3. KMC (Centro de Gestión de Claves)

Antes de establecer una sesión ERTMS Nivel 2, el equipo embarcado y el RBC intercambian ciertas claves criptográficas, utilizando el protocolo EURORADIO, para dotar de seguridad a la comunicación a través del medio utilizado (abierto y no seguro). Se genera una clave de sesión que se utiliza para verificar la integridad de los mensajes intercambiados entre el equipo embarcado y el RBC. La clave de sesión se genera a partir de las claves correspondientes a la pareja RBC-EVC, que se encuentran almacenadas en los mismos. El sistema de gestión de claves de las comunicaciones ERTMS Nivel 2, genera y gestiona las claves necesarias para cumplir estos cometidos

Cuando un equipo embarcado desea comunicarse con un RBC, éste tiene que ser capaz de verificar que la comunicación se ha establecido con un RBC autorizado y viceversa. Consecuentemente, la integridad y la autenticidad de cualquier tipo de información intercambiada entre el equipo embarcado y el RBC deben ser verificadas igualmente.

El método para asegurar que cada una de las partes que forman parte de la comunicación son las que realmente dicen ser, está basado en un proceso de Identificación y Autenticación (I&A). Con el objeto de asegurar una completa protección, este procedimiento se lleva a cabo cada vez que las partes comienzan una nueva sesión de comunicación.

Después de cada proceso de identificación y autenticación satisfactorio, los datos son protegidos usando un Código de Autenticación de Mensaje (MAC). El cálculo de este código está basado en la existencia de información secreta compartida conocida solamente por las partes que se encuentran actualmente en comunicación.

Tanto el proceso de identificación y autenticación como el procedimiento de cálculo del MAC están basados en técnicas de criptografía particulares que utilizan claves secretas.

Para la gestión de dichas claves se hace necesaria la existencia de Centros de Gestión de Claves (KMC), los cuales contribuyen a alcanzar la seguridad necesaria para la protección de datos ERTMS contra ataques malintencionados.

El sistema de gestión de claves utiliza claves criptográficas para garantizar la no perturbación de las informaciones de seguridad intercambiadas a través de GSM-R entre los equipos de vía (RBC) y los trenes (EVC).

El KMC debe asegurar:

- La introducción o la eliminación de nuevas entidades (trenes, RBC) en el sistema.
- La definición de nuevas relaciones entre los elementos definidos.
- La generación de un nuevo juego de claves para cada uno de los elementos.
- La entrega segura de esta información utilizando encriptación con un algoritmo triple DES y una clave de transporte.

Las claves generadas por el KMC deberán ser distribuidas, actualizadas y revocadas según un procedimiento a implantar en la red que asegure la confidencialidad de estas claves.

También, un KMC es el responsable de la generación de todas las KMAC necesarias para establecer comunicaciones seguras entre equipos de vía y equipos embarcados dentro de su dominio y también de las KMAC para los equipos embarcados visitantes, los cuales, igualmente, necesitan disponer de comunicaciones seguras cuando acceden a áreas controladas por KMC distintos al que pertenecen.

Cada RBC dispondrá de las KMAC de todos los equipos embarcados autorizados a circular dentro del área de control del RBC.

El sistema de gestión de claves criptográficas funcionará con un servidor disponible (fuentes de alimentación, discos duros) de acceso restringido por control de acceso.

#### 3.4.3.4. Interfaz Enclavamiento – RBC

Las interfaces para la comunicación del enclavamiento con el RBC se ubicarán en aquellas dependencias en las que se encuentre el RBC. Se utilizará un interfaz por cada enclavamiento de distinta tecnología con el que tenga que dialogar el RBC.

#### 4. SOLUCIÓN PROYECTADA

En este capítulo se proyecta una implantación particular del sistema ERTMS/ETCS adecuada a las características de la línea objeto del Anteproyecto.

Los sistemas de protección del tren con los que se equipará la línea son:

- ERTMS N2 como sistema de supervisión principal
- ERTMS N1 de respaldo

La velocidad máxima de circulación que permite el sistema ERTMS/ETCS es de 300 km/h en Nivel 1, y 350 km/h en Nivel 2. No obstante, la velocidad máxima de circulación proyectada para esta línea es de 160 km/h.

##### 4.1. ARQUITECTURA

La arquitectura general del sistema de protección del tren ERTMS/ETCS proyectada para el tramo Santa Catalina - Meloneras, está constituida por el equipamiento común tanto para Nivel 1 como para Nivel 2, el equipamiento específico para Nivel 1 y el propio de Nivel 2.

Los equipos de ERTMS/ETCS comunes a ambos niveles se asocian al área de control de cada enclavamiento, estableciéndose una comunicación entre éstos y el equipamiento específico ERTMS/ETCS de Nivel 1 asociado al área de control de cada enclavamiento a través de la Red Unificada de Señalización y Detectores (RUSD). Respecto a la comunicación del equipamiento común y el equipamiento ERTMS/ETCS de Nivel 2, se establecerá una comunicación independiente con su RBC en su ámbito de cobertura, también a través de la RUSD.

El equipamiento común de ERTMS/ETCS implementa toda la funcionalidad requerida del sistema a ambos niveles, no siendo necesaria la segregación de dichas funcionalidades en equipos independientes para cada nivel.

En la figura 7 se presenta mediante bloques la arquitectura general del sistema ERTMS/ETCS proyectado. Los bloques representan los diferentes elementos que forman parte del sistema, sin especificar el número de los mismos que han sido proyectados.

##### 4.1.1. EQUIPAMIENTO COMÚN DE LA SOLUCIÓN ERTMS/ETCS

Se ha proyectado para el tramo Santa Catalina – Meloneras el siguiente equipamiento común ERTMS/ETCS:

- Un (1) Puesto Central de ERTMS (PCE), donde se podrá realizar de manera centralizada la supervisión y el mando del sistema ERTMS/ETCS.
- Un (1) Registrador Jurídico (JRU-PCE) asociado al PCE, encargado de almacenar todos los eventos relacionados con la seguridad y el control del tráfico de la instalación.
- Un (1) Sistema de Ayuda al Mantenimiento del PCE (SAM-CE), para almacenar los datos relevantes al mantenimiento del PCE.
- Una (1) Central de Mantenimiento (CM), donde se almacenarán en una base de datos todos los mensajes relacionados con la diagnosis que se generan por los Sistemas de Ayuda al Mantenimiento del sistema ERTMS.
- Cuatro (4) Puestos Locales de operación de ERTMS (PLE), donde se facilita al operador la gestión del sistema ERTMS a nivel local. Se instalará uno en cada ENCE.
- Cuatro (4) Sistemas de Ayuda al Mantenimiento local (SAM-ERTMS local), que permiten el acceso a la información relativa al mantenimiento generada por los equipos ERTMS tanto de forma local, es decir, desde la dependencia en la que se encuentren, como de forma centralizada desde el Puesto Central. Se instalará uno en cada ENCE.
- Cuatro (4) Gestores de ERTMS (GR), para gestionar tanto la introducción como la anulación de las Limitaciones Temporales de Velocidad (LTV). Se instalará uno en cada ENCE.
- Cuatro (4) Equipos de Control de Interfaces (PCI-ERTMS), que comunican los equipos de ERTMS conectados a la Red Unificada de Señalización y Detectores con el Puesto Central de ERTMS, conectado a los Servicios de Alta Disponibilidad. Se instalará uno en cada ENCE.

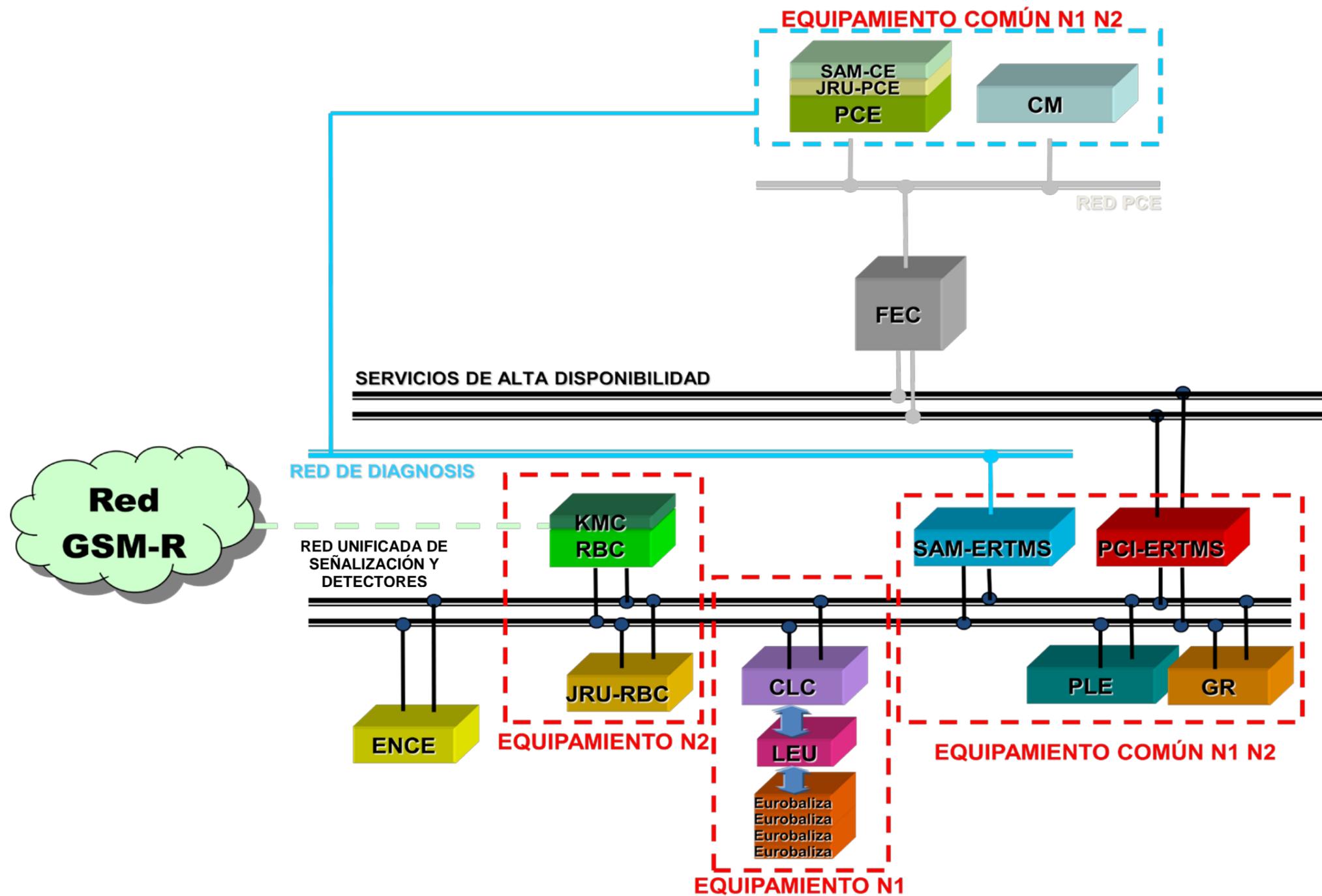


Figura 7: Arquitectura de la solución ERTMS/ETCS proyectada.

La ubicación de los elementos en la línea será la siguiente:

- En el CRC de Edificio de Gerencia se instalará:
  - PCE
  - JRU-PCE
  - SAM-CE
  - CM
- En cada enclavamiento del tramo se han proyectado los siguientes equipos, ubicados en el cuarto técnico donde se sitúa el ENCE:
  - PLE
  - SAM-ERTMS Local
  - Gestor de ERTMS (GR)
  - PCI-ERTMS

#### **4.1.2. EQUIPAMIENTO DEL SISTEMA ERTMS/ETCS PARA NIVEL 1**

El equipamiento principal de la solución ERTMS/ETCS de Nivel 1 proyectada para el tramo Santa Catalina – Meloneras es el siguiente:

- Eurobalizas fijas y conmutables.
- LEU.
- CLC.

La arquitectura del sistema prevé que a cada enclavamiento se le puedan asignar centralizadores de LEU.

#### **4.1.3. EQUIPAMIENTO DEL SISTEMA ERTMS/ETCS PARA NIVEL 2**

El equipamiento principal de la solución ERTMS/ETCS de Nivel 2 proyectada para tramo Santa Catalina – Meloneras es el siguiente:

- Un (1) Centro de Bloqueo por Radio (RBC).
- Un (1) Registrador Jurídico del RBC (JRU-RBC).
- Un (1) Sistema de gestión de claves (KMC).
- Un (1) Interfaz enclavamiento – RBC.
- Eurobalizas fijas (relocalización, entrada al sistema y fin de maniobras).

Se proyecta un único RBC para todo el trayecto. El RBC proyectado, y su equipamiento asociado, se ubicará en la Estación de Aeropuerto. La ubicación definitiva del RBC se podrá modificar de acuerdo a las necesidades de los Ferrocarriles de Gran Canaria.

#### **4.1.4. CRITERIOS DE CÁLCULO Y REPLANTEO**

A continuación se exponen los criterios de cálculo y distribución de equipos de ERTMS para aquellos elementos para los que no se puede definir su número:

- Los criterios de cálculo de LEU se basan fundamentalmente en conocer el número de Eurobalizas conmutables a controlar, con las siguientes consideraciones:
  - Cada LEU puede controlar hasta 4 Eurobalizas conmutables.
  - Se procurará hacer una asignación inteligente de LEU a señales, para que los efectos de fallo de un LEU afecten lo mínimo a la operación.
- Los criterios de cálculo de CLC se basan en conocer el número de LEU a controlar, hasta un máximo de 12. Teniendo en cuenta que cada LEU es capaz de controlar hasta un máximo de 4 Eurobalizas, se obtiene que cada CLC es capaz de controlar hasta 48 Eurobalizas.

- Se considera que las Eurobalizas podrán conectarse directamente al LEU hasta una distancia máxima entre ambos de 5.000 metros.
- Para conectar las Eurobalizas a los LEU se empleará un cable tipo “C” y una caja de conexión que se instala junto a la Eurobaliza que permite el paso de cable rígido a flexible. Cada una de estas cajas permitirá la conexión de hasta un máximo de dos Eurobalizas.

En cuanto a las Eurobalizas, su ubicación deberá estar de acuerdo a la SUBSET-040: Dimensioning and Engineering rules, versión 2.3.0. En particular, se seguirán las siguientes reglas:

- La distancia máxima entre dos balizas consecutivas que pertenezcan al mismo grupo de balizas será de 12 metros.
- Un tren no podrá recibir más de 8 balizas en un intervalo de tiempo de 0.8 segundos. Esto implica que, teniendo en cuenta que la velocidad máxima de la línea es de 160 km/h, la distancia mínima entre balizas deberá de ser de 4.5 metros.
- Se instalará un grupo de balizas de pie de señal debajo de cada señal absoluta.
- Para cada señal absoluta se instalará un grupo de balizas infill a una distancia de 300 metros de la señal.
- Tanto en el grupo de balizas de pie de señal como en el infill deberá de haber al menos una baliza conmutable.
- La distancia entre la última baliza de un grupo y la primera del siguiente (distancia entre grupos de balizas) será de como mínimo 15 metros.
- Es conveniente situar un grupo de balizas de localización en zonas que se prevea que sean zonas habituales de inicio de sesión.
- Los grupos de Eurobalizas de relocalización se ubicarán a una distancia apropiada antes de la señal virtual asociada, con el objeto de corregir el error de odometría antes de los puntos de parada de Nivel 2.
- Se instalarán balizas infill para los grupos de balizas de pie de señal de señales principales con el fin de transmitir al tren la información de la baliza principal por adelantado, para que el tren pueda adecuarse con más rapidez a las nuevas condiciones de la vía en caso de que éstas hayan cambiado.

Las distancias a las que se deben colocar las Eurobalizas vienen resumidas en la siguiente figura:

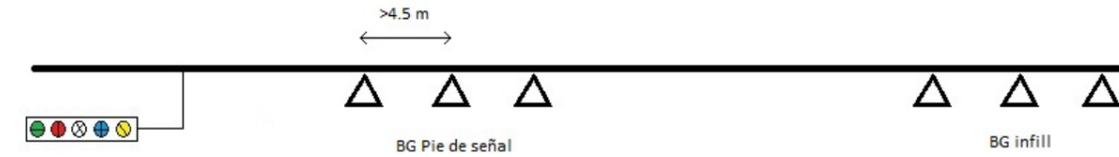


Figura 8: Grupos de balizas de una señal principal

## 4.2. FUNCIONALIDADES DEL SISTEMA ERTMS/ETCS

Se presentan a continuación las principales funcionalidades de ERTMS/ETCS a considerar en la línea. Esta lista no es exhaustiva y no es en ningún caso una sustitución de las especificaciones europeas en vigor.

### 4.2.1. **GESTIÓN DE LAS AUTORIDADES DE MOVIMIENTO (MA)**

La autorización de movimiento abarcará el número mínimo de cantones para que el tren pueda circular a la velocidad máxima permitida sin alcanzar la curva de frenado

La autorización de movimiento está dividida en secciones. Para cada sección de una MA se debe definir la siguiente información: longitud de la sección (el MA quedará fijado como la suma de todas las secciones) y en el caso de que se deba asociar un temporizador para dicha sección, el valor de dicho temporizador y el punto que debe alcanzar el tren antes de que finalice el temporizador asociado. La temporización de las secciones estará asociado al diferímetro del enclavamiento asociado a la disolución de las rutas que ocupan dicha sección.

Las MA se deben renovar con la suficiente antelación para que el tren no entre en curva de frenado. Dicha antelación se dimensionará para la velocidad máxima de la línea.

La autorización se renovará al pasar por los puntos infill de la señal avanzada y de la señal principal.

La MA llegará hasta una señal (es decir, la MA no terminará en el espacio entre dos señales), de tal forma que el final de la autoridad de movimiento (EoA) se ubique al pie de la señal. El EoA deberá estar situado delante del punto de peligro (DP) a proteger, aguja, topera, la junta de un Circuito de Vía, o cualquier otro punto que no se deba rebasar.

En Nivel 1, la MA viene acompañada de una Velocidad de Liberación, que permite al tren acercarse al grupo de balizas de pie de señal para leer su mensaje. Esta velocidad no será mayor que 30 km/h. En Nivel 2 la Velocidad de Liberación será 0, salvo excepciones concretas que se detallarían en unos requisitos funcionales específicos.

En las toperas, el final de la Autoridad de Movimiento se ubicará en la misma topera y se utilizará un valor de liberación fijo de 10 km/h.

Para determinar las curvas de frenado el equipo embarcado necesita conocer el perfil de gradiente de la vía. Para ello, el equipo de vía le comunicará dicha información con la antelación necesaria para evitar que el tren entre en curva de frenado.

Para la entrada a modo FS en Nivel 2 se implantará el protocolo automático (ATAF), tal y como viene descrito en el documento ERA\_040040, v1.0.

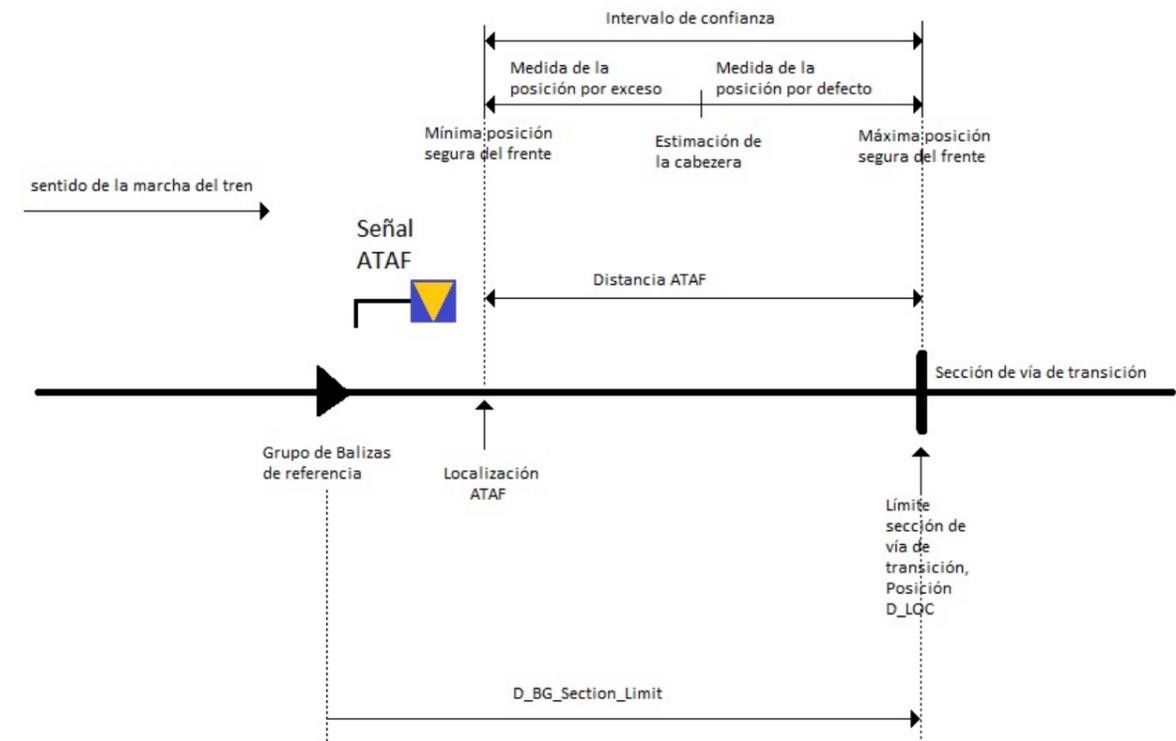


Figura 9 ATAF utilizando reporte de posición.

#### 4.2.2. ENTRADA A VÍA OCUPADA (OS)

El modo OS (marcha a la vista) permite meter el tren en una sección de vía ocupada por otro tren o por cualquier otro obstáculo. La autoridad para transitar a este modo sólo puede provenir del equipo en vía, nunca por solicitud del maquinista.

Es responsabilidad del equipo ERTMS/ETCS supervisar la velocidad máxima del tren, pero el maquinista tiene la responsabilidad de comprobar que el tramo de vía inmediatamente delante del tren está libre y de no colisionar con otro tren u objeto, ya que la vía puede estar ocupada.

La orden de entrada a vía ocupada podrá ser inmediata o para una localización lejana. El paquete 80 siempre irá acompañado de una MA.

En el programa de explotación correspondiente se determinará la ubicación de la entrada a modo OS.

#### **4.2.3. LIMITACIONES TEMPORALES DE VELOCIDAD (LTV)**

El equipo de vía informará al tren acerca de las Limitaciones Temporales de Velocidad (LTV) establecidas por el operador, límites ambos que en ningún caso deben superarse.

Las LTVs pueden ser dinámicas o estáticas. Las dinámicas pueden establecerse por el operador con inicio y fin en el PK que se desee, y de la velocidad deseada. Por otra parte, las LTVs estáticas tienen inicio y final preestablecido, así como velocidad preestablecida. Lo usual es preprogramar LTVs estáticas entre señales, de valores dos tercios y un tercio de la velocidad máxima de la línea, y otra de valor la velocidad de la aguja más restrictiva de la línea. En este caso correspondería una de 50km/h, otra de 100 km/h, y otra correspondiente a la aguja más restrictiva de la línea. Al estar definidas entre señales, las LTVs tienen la longitud del cantón del Circuito de Vía. Las Limitaciones Temporales de Velocidad (LTV) se podrán mandar tanto desde el PCE como desde los Puestos Locales de ERTMS (PLE).

La imposición de una LTV de ERTMS Nivel 2 generará automáticamente una LTV de Nivel 1 equivalente, sin que se requiera acción adicional por parte del operador del PCE.

#### **4.2.4. GESTIÓN DE LAS CONDICIONES DE VÍA Y MENSAJES AL MAQUINISTA**

El sistema ofrece la posibilidad de gestionar las condiciones de la vía de manera que el tren no se detenga en un determinado tramo (túneles y viaductos). Al aproximarse a una zona de no parada, el maquinista puede recibir un mensaje de texto en el DMI que le informe de dicha situación. Para el paso por un túnel, el texto puede ser de tipo "Túnel PK XXX,X L YYY m", mientras que al paso por un viaducto el mensaje mostrado por el DMI puede ser del tipo "Puente PK XXX,X L YYY m".

Igualmente, el maquinista puede recibir mensajes de texto informándole de la próxima parada comercial. Para este trazado sería necesario evaluar si esta funcionalidad es útil o no dado el alto número de túneles y viaductos haría que proliferasen los mensajes de texto en la pantalla del maquinista (DMI).

#### **4.2.4.1. ZONAS DE NO PARADA (NON-STOPPING AREAS)**

El sistema ERTMS/ETCS ofrece la posibilidad de inhibir el freno de pasajeros en determinadas zonas donde la evacuación de los coches pueda causar problemas de seguridad, como túneles o viaductos. Para este trazado sería necesario evaluar si esta funcionalidad es útil o no debido a que el alto número de túneles y viaductos haría que prácticamente toda la línea sea una zona de no parada.

#### **4.2.4.2. CIERRE DE TRAMPILLAS**

Además de lo indicado para las zonas de no parada y los mensajes de texto, es posible informar al maquinista de que se aproxima una zona de cierre de trampillas (por ejemplo un túnel). No obstante, en esta línea, al no preverse una velocidad superior a 160 km/h, es posible que no sea necesaria esta funcionalidad.

#### **4.2.4.1. PARADA DE EMERGENCIA CONDICIONAL EN TÚNELES**

El equipo de vía puede enviar al equipo embarcado paradas de emergencia condicionales o incondicionales. Ante una parada de emergencia condicional, el equipo embarcado debe rechazarla si ya ha rebasado el punto de parada (informando al RBC de que la ha rechazado), y debe aceptarla si aún no lo ha rebasado.

Esta funcionalidad deberá ser analizada para considerar su aplicación en túneles, ya que permite que ante una emergencia el tren se detenga en un punto determinado como una salida de emergencia del túnel. En caso de que el tren la rechace, la nueva parada de emergencia estará situada en el siguiente punto seguro de parada. Esto puede ser de aplicabilidad en esta línea debido a la presencia de túneles largos.

#### **4.2.5. MANIOBRAS (SH)**

La transición a modo SH se realizará mediante selección por el maquinista.

Para limitar y proteger la zona de maniobras se enviará información de parar si el sistema se encuentra en maniobras,

Los límites de las zonas de maniobras se definirán en el programa de explotación correspondiente.

#### **4.2.6. PROTECCIÓN DEL MODO SR**

Cuando las señales presenten un aspecto no permisivo para circular con señalización lateral luminosa o presenten aspecto de maniobra, las balizas del grupo de señal enviarán el paquete 137 ("Stop if in SR con Q\_SRSTOP = 0").

#### **4.2.7. TRANSICIONES DE NIVEL**

El ámbito objeto de este Anteproyecto comprende la línea entre Las Palmas de Gran Canaria y Maspalomas, toda ella equipada con un sistema de protección de tren ERTMS/ETCS Nivel 2, y ERTMS/ETCS Nivel 1 de respaldo.

Este proyecto no incluye el tramo desde el desvío hacia los talleres y cocheras hasta los talleres y las cocheras. No obstante, para dicho tramo se prevé la instalación bien del sistema ASFA o bien del sistema ETRMS/ETCS Nivel 1, por lo que a continuación se expondrá el protocolo para realizar la transición de Nivel entre Nivel 2 y ASFA y viceversa, entre Nivel 1 y ASFA y viceversa, y entre Nivel 1 y Nivel 2 y viceversa. Adicionalmente, la transición Nivel 1-Nivel 2 puede ser necesaria como transición de recuperación, es decir, cuando se pretenda recuperar el Nivel 2 proviniendo del Nivel 1 como modo degradado.

Las transiciones de nivel se programarán siempre en las fronteras (entradas y salidas) de trayectos adyacentes equipados con distintos niveles de ERTMS/ETCS.

Para un trayecto equipado con varios niveles, deberá establecerse un orden de prioridad entre los distintos niveles. El orden de prioridad, de mayor a menor, de los niveles a los que se realizarán las transiciones será: Nivel 2, Nivel 1, Nivel 0.

#### **4.2.8. GESTIÓN DE CLAVES**

Se ha de definir un Procedimiento Operacional para la Gestión de Claves ERTMS.

#### **4.2.9. SITUACIONES DEGRADADAS**

A continuación se describe cómo debe reaccionar el sistema ante el fallo de algún componente.

##### **4.2.9.1. TELEGRAMA POR DEFECTO**

En Nivel 1, la situación degradada más importante es el fallo de una baliza, bien por fallo de la propia baliza, por falta de conexión con el LEU, o por fallo del LEU.

En este caso la baliza que falla emitirá por defecto el paquete 254. La variable M\_MCOUNT tendrá el valor 254. No se enviará mensaje de texto.

##### **4.2.9.2. FUSIÓN DE SEÑALES**

Ante la fusión de un foco, la baliza debe mandar una MA coherente con el aspecto degradado de la señal, salvo que la arquitectura implantada en ese sistema en particular permita dar una MA hasta el final de la ruta enclavada. La fusión de señales no afectará a la señalización ERTMS Nivel 2, salvo cuando las señales pasen a tener aspecto rojo o apagadas, en cuyo caso se establecerá un punto de parada en dicha señal.

##### **4.2.9.3. PÉRDIDA DE COMUNICACIÓN CON EL RBC**

En Nivel 2 la situación degradada más importante es la pérdida comunicación con el RBC. En ese caso el RBC mantendrá la sesión iniciada durante 5 minutos. Si el RBC pierde comunicación con el enclavamiento, el RBC debe transmitir la información correspondiente a la situación más restrictiva de ese enclavamiento.