

# Telecomunicaciones ferroviarias en las líneas de alta velocidad



**Luis García Tassias**

Gerente de Telecomunicaciones  
ADIF – Dirección Ejecutiva de  
Adjunta de Mantenimiento de AV

Lograr un ferrocarril con un sistema de operación eficiente y un nivel óptimo de utilización de sus líneas es todo un reto. Esto supone aumentar la velocidad y reducir los tiempos improductivos, lo que sólo se puede conseguir a través de sistemas muy avanzados, como los que se están aplicando en España, que se ha convertido en país de referencia al aplicar en sus nuevas líneas de alta velocidad la última tecnología en señalización, telecomunicaciones y sistemas de gestión y control de tráfico ferroviario.

**E**l gran incremento de las telecomunicaciones ferroviarias se debe principalmente al desarrollo de las líneas de Alta Velocidad en toda Europa y a los criterios de Interoperabilidad entre redes ferroviarias. La UE fomenta la reestructuración y modernización de las infraestructuras ferroviarias y su adaptación a las nuevas exigencias de los clientes, a la liberación del mercado de transporte y la apertura a la competencia en viajes y mercancías.

En las líneas de Alta Velocidad las telecomunicaciones son una herramienta fundamental para el control de tráfico ferroviario. En los proyectos realizados para las distintas líneas en servicio (Madrid-Sevilla, Madrid-Lérida, Zaragoza-Huesca y Madrid-Toledo) o en construcción (Lérida-Barcelona, Córdoba-Málaga, Madrid-Valladolid, Madrid-Valencia, etc.) se han tenido en cuenta los siguientes criterios:

1. La operatividad de la línea, controlada desde un único Puesto de Mando o CRC (Centro de Regulación y Control).
2. La alta fiabilidad que se exige de los sistemas, que se consigue con la redundancia de los medios físicos (2 cables de fibra óptica por cada lado de la vía) y medios de transmisión.
3. La alta disponibilidad de los equipos, aumentando el MTBF y con la utilización de sistemas de gestión y mantenimiento centra-



Líneas AVE en operación y en construcción.

- Herramienta de facturación (FACT)
- Herramienta de Planificación (PLANIF)
- Sistema de Información Geográfica
- Sistemas de Telemando, de supervisión de la explotación y Seguridad:
  - Detectores de Caída de Objetos a vía (DCO)
  - Detectores de Cajas Calientes (cojinetes) y frenos agarrotados (DCC)
  - Detectores de Objetos Arrastrados (DOA)
  - Detectores de comportamiento de pantógrafo (DCP)
  - Detectores de incendio en túneles, viento, nieve, etc.

**“El sistema ERTMS hará posible una red ferroviaria europea donde los trenes podrán circular con seguridad por cualquier línea interoperable de cualquier país”**

lizado para la detección de averías antes de que se produzcan (autodiagnóstico).

4. La concentración de los equipos de telecomunicaciones (repartidores de fibra óptica, transmisión, voz, datos, sistemas de supervisión) en Edificios Técnicos de fácil acceso para el mantenimiento. Control de accesos, incendio, intrusión, videovigilancia, ya que estos edificios están sin personal.
5. Los equipos de campo (detectores, sensores, repetidores BTS de radio, etc.) están ubicados en casetas o armarios a lo largo de la vía y telecontrolados desde el Puesto Central.

Las operaciones de control y seguimiento de los trenes desde el CRC es-

tán totalmente aseguradas frente a fallos de las telecomunicaciones y los Reguladores de Tráfico disponen de modernos sistemas integrados de gestión, supervisión y control. Por ejemplo, el CRC de la línea de Alta Velocidad Madrid-Lérida, situado en Zaragoza-Delicias, comprende los siguientes sistemas:

- Sistemas de Control de Tráfico Centralizado (CTC) y subsistemas en los Puestos Regionales de Operación (PRO)
- Sistemas de Regulación y Control (SRC) formado por:
  - Sistema de Gestión y Supervisión de Explotación (GSE)
  - Sistema de Información a Viajeros (SIV)
  - Sistema de Ayuda a la Regulación (SAR)

Desde el punto de vista del mantenimiento de las instalaciones, se ha conseguido unos altos índices de fiabilidad, seguridad y disponibilidad gracias al mantenimiento preventivo y predictivo con los nuevos sistemas de gestión y control centralizado de alarmas (plataformas de gestión integral):

- Sistemas de supervisión de cables de fibra óptica.
- Gestión de los sistemas de transmisión (TNMS)
- Gestión de plataforma de voz
- Gestión de redes de datos en IP
- Gestión del sistema GSM-R (telecomunicaciones móviles)
- Gestión de control de accesos, intrusión, incendio
- Gestión de equipos de vídeo
- Gestión de la red de sensores y detectores

Para conseguir un mercado único y una mayor integración en toda Europa es necesaria una colaboración internacional entre las empresas ferroviarias y para que estas empresas puedan operar



como cualquier otra, con independencia financiera, se ha acometido la reforma separando la gestión de la infraestructura de la explotación ferroviaria, de forma que tengan libertad para ofrecer el servicio demandado por sus clientes.

Las empresas ferroviarias europeas se agrupan en la UIC (Unión Internacional de ferrocarriles), que coordina las actividades en los tres campos de la técnica, operación y comercial. En 1996 la UE crea la Comunidad Europea de Ferrocarriles, que funciona como un grupo de interés común. Existen actualmente barreras técnicas en las fronteras y se están desarrollando una serie de normas técnicas y funcionales (reglamentación) para mejorar la interoperabilidad. Uno de los proyectos más importantes es el ERTMS (European Rail Traffic Management System).

## El sistema ERTMS

El sistema ERTMS hará posible una red ferroviaria europea donde los trenes podrán circular con seguridad por cualquier línea interoperable de cualquier país. Se aumentará la seguridad, optimizará la

.....

**“En 1996 la UE crea la Comunidad Europea de Ferrocarriles, que funciona como un grupo de interés común. Uno de los proyectos más importantes es el ERTMS (European Rail Traffic Management System)”**

.....

regulación de trenes, será eficiente en energía y reducirá los costes de mantenimiento. Se romperán las barreras nacionales y se creará un mercado único europeo para las empresas de señalización ferroviaria. Intensificará la competencia entre los suministradores y generará mayores márgenes para los ferrocarriles. Por un coste más bajo de implementación y por la economía de escala. Los costes de mantenimiento serán menores porque en el futuro no serán necesarios los cables ni los equipos en la vía (nivel 3).

El ERTMS está formado por los siguientes elementos:

- ETCS (European Train Control System): Control automático del tren. Este a su vez está formado por los equipos de vía RBC (Radio Block Center) y LEU (Lineside Electronic Units)
- EURORADIO (GSM-R): infraestructura de radio
- EUROBALISE: Balizas en la vía que dan la posición del tren
- EUROCAV: sistema a bordo de los trenes, que comprende los equipos EVC (European Vital Computer), DMI (Driver-Machine Interface) y odómetros (medidores de velocidad)

El sistema ETCS se divide a su vez en:

- ETCS nivel 1. Utiliza señales o enclavamientos como fuente de información primaria. La comunicación de las instalaciones fijas de Seguridad con el tren es a través de balizas normalizadas (Eurobalise). La localización del tren se hace por circuitos de vía convencionales.
- ETCS nivel 2. La transmisión para el control del tren es continua y bidireccional. Las señales laterales convencionales ya no son necesarias. La localización del tren se hace mediante balizas





**“Actualmente el GSM-R está en fase de operación, implementación o en proyecto y adjudicación en todos los ferrocarriles europeos y fuera de Europa, en redes ferroviarias de Norteamérica, China, India, África, Australia y Brasil”**

fijas para corregir la odometría. El tren comunica vía radio con el RBC, a través del sistema radio GSM-R, y recibe la información del enclavamiento (itinerario y bloqueo de la vía).

- ETCS nivel 3. La comprobación de la integridad del tren se realiza en el mismo tren. Los circuitos de vía ya no son necesarios y el bloqueo de la vía es móvil. Utiliza también balizas fijas para marcar la posición del tren.

## El sistema GSM-R

El GSM-R es un sistema de comunicaciones para la explotación ferroviaria basado en el estándar ETSI GSM de radio pública, con el añadido de las funciones características operacionales definidas para el entorno ferroviario en las especificaciones EIRENE (FRS y SRS) y MORANE. Estas especifica-

ciones se desarrollaron, por mandato de la UIC y en colaboración con el ETSI, para conseguir la interoperabilidad entre redes ferroviarias de diferentes países.

La UIC escogió en 1993 la tecnología y los equipos GSM por ser un estándar europeo y por su gran fiabilidad probada por la experiencia de las distintas redes de Operadores Públicos de telefonía móvil. Las especificaciones GSM-R evolucionan al mismo tiempo que las del GSM y se aprovechan de las mejoras y nuevos desarrollos, como el GPRS para las aplicaciones de transmisión de datos a mayor velocidad por el canal radio.

Actualmente el GSM-R está en fase de operación, implementación o en proyecto y adjudicación en todos los ferrocarriles europeos y fuera de Europa, en redes ferrovia-

rias de Norteamérica, China, India, África, Australia y Brasil.

El GSM-R es un soporte de comunicaciones para las principales aplicaciones de voz y datos siguientes:

- ERTMS/ETCS control automático del tren (datos)
- Comunicación Tren-Tierra (voz)
- Llamadas de Grupo y Difusión. Llamadas de emergencia (voz)
- Establecimiento de llamadas por la función /localización del tren
- Diagnóstico de trenes (datos)
- Estaciones de Clasificación (voz)
- Servicios de Valor Añadido a los viajeros: Venta de Billetes a bordo, consultas a bases de datos e información
- Servicios de transmisión de datos por paquetes (GPRS)

En 1995 el ETSI reservó las dos bandas de frecuencias 876-880 MHz (banda ascendente desde el móvil) y 921-925 MHz (banda descendente hacia el móvil) para uso ferroviario en toda Europa. Este ancho de banda, de 4 MHz, permite un máximo de 19 portadoras (nº 955 a 973) espaciadas 200 kHz, con una banda de guarda en los extremos. Cada portadora lleva 8 canales de voz/datos (7 canales +1 de señalización).

En junio de 1997, treinta y dos organizaciones ferroviarias europeas integradas en la UIC firmaron un compromiso de implementación del sistema GSM-R en sus redes de comunicaciones móviles para garantizar la interoperabilidad en el cruce de fronteras.

## Organización del sistema

El GSM-R tiene una arquitectura semejante al GSM público y se

estructura en los siguientes subsistemas:

- El subsistema de estaciones móviles MS
- El subsistema de estaciones base BSS
- El subsistema de red y conmutación NSS
- El subsistema de Operación y Mantenimiento

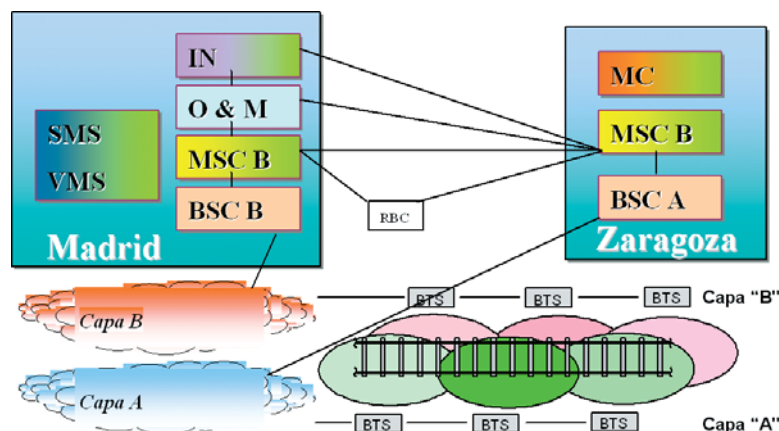
Cada uno de estos subsistemas está formado por una serie de componentes con su función específica asignada.

El **subsistema de estaciones móviles** se compone de los siguientes equipos que permiten la comunicación entre trenes, personal de mantenimiento o con el Puesto Central de Radio (PCR):

- PMR (Puesto Móvil de Radio), terminal de radio embarcado en la cabina de los trenes. Tiene una potencia de emisión de 8 W (39 dBm)
- PPR (Puesto Portátil de Radio), terminal con una potencia de emisión de 2 W (33 dBm)

La sensibilidad a la recepción de la señal radio es de  $-102$  dBm. Cada equipo móvil va dotado de su correspondiente tarjeta SIM (Módulo de Identificación de la Suscripción) que contiene la información individual y específica de cada Usuario.

El **subsistema de estaciones base** proporciona todas las funciones de transmisión y control necesarias para la cobertura radio en el área de servicio. Las estaciones BTS están conectadas en anillo para mayor fiabilidad y son controladas por una o más controladoras de estaciones base BSC. La potencia



Esquema de Red GSM-R en las líneas AVE.

**“El plan de cobertura radio depende principalmente de factores geográficos y de los datos de explotación que se requieran”**

de emisión de las BTS es de 50 W, con una sensibilidad a la recepción de la señal radio de  $-107$  dBm. Las alturas de las torres son generalmente de 30 m y las antenas tienen una ganancia de 17 dBi.

El **subsistema de Red y Conmutación** es donde se realizan las funciones de control y enrutamiento de las llamadas, tanto las de la telefonía móvil como el encaminamiento a una red fija u otra red GSM-R.

El **subsistema de Operación y Mantenimiento** es el encargado de

la gestión y control de los recursos y servicios de la red. Se integra en los sistemas generales de gestión y control y ayuda al mantenimiento de la red de telecomunicaciones con el OMC centro de Operación y Mantenimiento

#### Plan de cobertura radio

El plan de cobertura radio depende principalmente de factores geográficos y de los datos de explotación que se requieran. No es lo mismo en las zonas rurales que en las zonas urbanas, en las áreas planas y rectas que en los trazados montañosos y sinuosos.

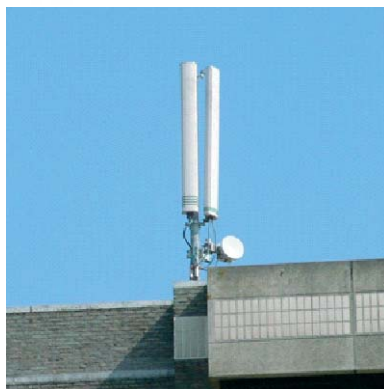
Los requerimientos EIRENE especifican unos niveles mínimos de cobertura. Con estos datos y otros relativos a las ganancias de las antenas, pérdidas estimadas en el sistema radiante y pérdidas de propagación en el espacio libre, junto con la referenciación geográfica del trazado en mapas cartográficos digitalizados, se calcula el balance del enlace radio, tanto el ascendente desde el móvil al repetidor BTS

como el descendente desde la BTS hacia el móvil. Después, utilizando herramientas informáticas para la planificación, se define la situación de los emplazamientos, número de repetidores BTS, altura de las torres. En la planificación se tiene en cuenta la necesidad de una zona de solapamiento entre celdas de unos 700 m (8 segundos a 300 km/h) suficiente para llevar a cabo el traspaso de la comunicación en curso de una celda a la siguiente.

La red GSM-R está formada por celdas elípticas dispuestas a lo largo del trazado, con antenas direccionales en la dirección de la vía.

Si la cobertura se hace por capa simple, a cada celda corresponde una BTS con antenas combinadas para ambas direcciones. Si se requiere una mayor fiabilidad del sistema ante fallo de una BTS, se adopta la solución de doble cobertura mediante instalación redundante de BTS y BSC con un solapamiento total de todas las celdas. Se obtienen así dos capas de celdas completamente independientes. En el caso de la línea AVE Madrid-Lérida, diseñada para ETCS nivel 2, cada capa está dimensionada de forma que ella sola puede transportar todo el tráfico generado. Normalmente hay una dirección privilegiada. Los trenes que salen de Madrid utilizan la capa B y los que salen de Lérida la capa A. Si hay un fallo de cobertura los móviles en esa celda conmutan a la otra capa y regresan otra vez a la primera capa cuando los niveles de señal son más altos.

Los túneles inferiores a 2 km se cubren desde el exterior con antenas especiales apuntando al interior del túnel. Si la longitud del túnel es



Antenas de GSM-R.

**“El sistema GSM-R mejora los procedimientos de seguridad, de operación y mantenimiento que se requieren para la explotación de los sistemas de transporte actuales con los trenes de Alta Velocidad y disminuye los costes de explotación”**

mayor se instala cable radiante y estaciones repetidoras en el interior para conseguir unos niveles mínimos de  $-70$  dBm en la antena receptora del tren.

#### La red GSM-R del ADIF<sup>1</sup>

A principios de enero de 2006, la situación de la red GSM-R en ADIF constaba de unas 220 BTS, 2 MSC, 11 PCR y 2 Centros de Operación y Mantenimiento. Está prevista la construcción de unos 12.000 km de red GSM-R, de los cuales 5.000

km serían en las líneas AVE (cobertura de doble capa por necesidades de una mayor fiabilidad del ETCS) y 7.000 km en la red convencional.

En la red convencional, se ha llegado a un acuerdo con los dos suministradores homologados por la UIC (Siemens y Nortel) para la implementación gradual en un horizonte temporal de 2005-2012. El criterio para el reparto ha sido geográfico y se ha conseguido así la optimización del coste de instalación.

El sistema GSM-R, con su gran fiabilidad y calidad de servicio, mejora los procedimientos de seguridad, de operación y mantenimiento que se requieren para la explotación de los sistemas de transporte actuales con los trenes de Alta Velocidad y disminuye los costes de explotación. Al mismo tiempo, proporciona las comunicaciones de voz y datos para cubrir las necesidades de estaciones de clasificación, personal de mantenimiento, para vigilancia y seguridad, de trabajos en la vía y de estaciones en general. Es el sistema que garantiza en el futuro la interoperabilidad entre redes ferroviarias de distintos países. Es un sistema modular escalable y ampliable y su evolución está garantizada de acuerdo con las necesidades ferroviarias. ♦

#### Nota

<sup>1</sup> El Administrador de Infraestructuras Ferroviarias (ADIF) inició su andadura el 1 de enero de 2005, debido a la entrada en vigor de la Ley del Sector Ferroviario. Este Ente, que depende del Ministerio de Fomento, asume las competencias del Gestor de Infraestructuras Ferroviarias (GIF) y de la parte de RENFE encargada de la gestión de infraestructuras. El ADIF se constituye como un organismo que se encarga del mantenimiento de la red de estaciones y vías, y cobra un canon a los operadores de material rodante que utilicen sus infraestructuras.