

## INNOVACIÓN EN COMUNICACIONES TREN TIERRA

### Emte Sistemas

**Resumen:** Emte Sistemas, adjudicatario del proyecto de la red de transmisión inalámbrica de banda ancha de la Línea 9 del Metro de Barcelona para la transmisión en tiempo real de vídeo embarcado, ha diseñado un avanzado sistema con tecnología tren-tierra de banda ancha concebida para el ferrocarril. Este artículo describe cómo es este sistema.

**Palabras clave:** Comunicaciones, video, seguridad, banda ancha, inalámbrico, metro.

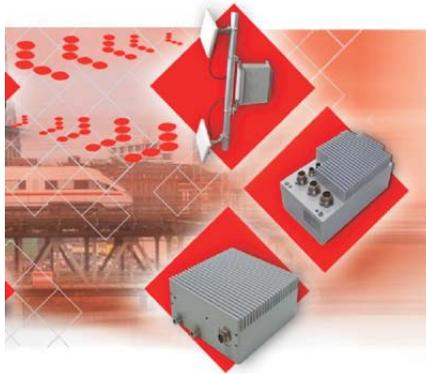
**Abstract:** Emte Sistemas is the successful bidder of the wireless transmission network project of broadband of the Line 9 of the Metro de Barcelona. This network will allow video transmission on board in real time on trains. For this purpose, an advanced system has been created with ground-to-train broadband technology designed specially for railroad. This article describes how this system works

**Keywords:** Communications, video, safety, broadband, wireless, underground.

### Introducción

Emte Sistemas se ha adjudicado el contrato de ejecución de las obras del proyecto de la red de transmisión inalámbrica de banda ancha de la Línea 9 del Metro de Barcelona para la transmisión en tiempo real de vídeo embarcado.

Para realizar este proyecto, Emte Sistemas dispone de avanzada tecnología radio tren-tierra de banda ancha desarrollada específicamente para la movilidad en el entorno ferroviario. Con esta solución, bajo un soporte totalmente IP y mediante mecanismos de calidad de servicio, ya es posible disponer de un sistema único de transmisión de radio robusto, de alta disponibilidad y fiabilidad para aplicaciones embarcadas de señalización ferroviaria, video-vigilancia, información al pasaje, distribución de contenidos multimedia en tiempo real, comunicaciones de voz, diagnóstico del tren y acceso a internet entre otros.



En la Línea 9, los operadores del centro de mando de metro dispondrán de las imágenes del interior de los convoyes a tiempo real, de la misma manera como reciben las que supervisan los andenes y otras estancias de las estaciones. Así, se mejora la seguridad de los pasajeros mientras viajan en el interior de los vagones.

Emte Sistemas, con este proyecto, presenta al mercado un sistema tecnológico que ofrece una alternativa con grandes ventajas respecto a otras soluciones inalámbricas de movilidad en WiFi.

### **Sistema inalámbrico de banda ancha**

Como es conocido la Línea 9 del Metro de Barcelona representa, seguramente, la más innovadora obra ferroviaria de los últimos años. Emte Sistemas, empresa especializada en soluciones para el control y comunicaciones en el entorno ferroviario, ha tenido la oportunidad de implantar en los proyectos del Puesto de Control Central (PCC), la Red IP Multiservicio y en las Comunicaciones Tren Tierra de Banda Ancha varias innovaciones que dotan de mejoras y personalidad propia a la Línea 9.

En particular, respecto a las comunicaciones inalámbricas de banda ancha entre el tren y el PCC, la elección del sistema se realizó considerando:

- El entorno ferroviario y, en concreto, a lo que se refiere a los equipos embarcados: Todos los componentes radio del sistema están certificados según los estándares EN 50155 e IRIS.
- La necesidad de un sistema flexible, modular y escalable. Flexible por disponer de una arquitectura abierta y permitiendo que nuevas aplicaciones del usuario puedan ser integradas de manera sencilla y por tanto adaptando el sistema a las futuras operaciones de control del metro. Modular y escalable para permitir incorporar más elementos en el sistema haciéndolo crecer y adaptándolo a nuevas ampliaciones.
- Componentes de alta fiabilidad para lograr máxima estabilidad del sistema a largo plazo. Entre estos, el transmisor-receptor será un equipo desarrollado con la más avanzada tecnología de radio.
- Transmisión radio en la banda de 5 GHz (banda libre sin necesidad de licencia).

Enlace	Rango de frecuencias en MHz
Ascendente (hacia PCC)	5630 - 5710
Descendente (hacia Tren)	5490 - 5570

**Tabla 1: Espectro asignado al sistema de radio**

- Capacidad de integración de múltiples servicios en un único enlace de datos basado en la utilización del estándar IP y que a su vez garantiza una directa integración con otros subsistemas basados también en IP. Soporte de protocolos TCP/IP y UDP.
- Implantación completa de los mecanismos de Calidad del Servicio (QoS). El sistema permite que, sobre varios servicios que comparten el enlace, se establezcan diversos niveles de prioridad en función de la sensibilidad de la información para la operación del metro. También se garantiza tráficos de datos determinados con un ancho de banda específico.
- Alta transferencia de datos de hasta 32 Mbps. El sistema de radio proporciona una velocidad de transferencia de datos constante de 16 Mbps en modo full duplex en la capa física del interface aire, siendo independiente de la distancia al tren y su velocidad.
- Handover sin pérdidas sin interrupciones. Se mantiene un enlace de radio permanente entre los equipos de vía y los embarcados en el tren hasta velocidades muy altas.
- Seguridad e integridad de datos. El sistema de radio cuenta con su propia aplicación específica para la capa física (PHY) que hace prácticamente imposible el acceso no autorizado. Además se implantan cortafuegos junto a procedimientos de filtrado de las capas IP y MAC, y encriptación de 256 bits. Durante la operación todas las tramas de datos deben ser autenticadas.
- Disponibilidad de incorporar un sistema de diagnóstico y supervisión basado en el estándar SNMP que facilite el control automático de todos los componentes activos (infraestructura y embarcados) del sistema de radio.

TRainCom® MT es la solución adoptada en la Línea 9 que responde a los anteriores requerimientos y permite abordar el proyectos con otras prestaciones que lo hacen único en las comunicaciones inalámbricas ferroviarias.

## Servicios sobre la infraestructura inalámbrica

En la línea 9 se han considerado inicialmente las siguientes aplicaciones:

- Video-vigilancia (visualización de video en tiempo real: cámaras del tren)
- Sistema de grabación de video (recuperación de videos grabados en los equipos del tren)
- Servicio de Información al Viajero (contenidos enviados desde el centro de mando)
- Diagnóstico del tren (información de estados)

Respecto a la video-vigilancia, desde el PCC los operadores de Metro podrán seleccionar sobre la suite de control esTRAUSS® (solución de Puestos de Control Ferroviario de Emte Sistemas) la cámara o cámaras del vehículo o vehículos que se desean visualizar en tiempo real, de manera tan sencilla como a la hora de seleccionar cámaras de las estaciones. El vehículo se gestiona desde operación como si fuera una estación más, pero en este caso móvil. Este servicio ofrece ventajas como son la protección contra el vandalismo y el aspecto atractivo para los pasajeros por la mejora de su seguridad.

El sistema de grabación de las imágenes obtenidas por las cámaras embarcadas en, prácticamente, muchas de las líneas de metro del mundo se realiza de forma local en los equipos embarcados. En la línea 9 esta funcionalidad está presente y gracias al sistema TRainCom® MT permite recuperar de los videograbadores del vehículo imágenes desde el PCC seleccionando el vehículo, la cámara, el día y la hora de la grabación. Este servicio es utilizado para poder disponer de pruebas documentales en acciones judiciales abiertas en casos de delincuencia dentro de los vehículos o para evaluar emergencias.

El sistema de información al viajero (SIV) responde a la necesidad de ofrecer a los usuarios del metro información que responde a diferentes tipos de contenidos. En el interior de los vehículos se disponen pantallas multimedia y teleindicadores que presentan la información recibida *online* a través del sistema inalámbrico de comunicaciones. El SIV es uno de los elementos más importantes a la hora de contribuir a la satisfacción del usuario: se muestra información del recorrido, recomendaciones de conexiones o rutas alternativas en caso de incidencias en el servicio de metro, permite dar soporte al viajero en caso de emergencia, presentar las últimas noticias, ayudar a la gestión del flujo de viajeros en grandes acontecimientos y ser soporte publicitario (canal de información y comercialización para la promoción de la ciudad, empresas de ventas al consumo, información turística). Con este último se abre, para el operador del Metro, una oportunidad para obtener ingresos adicionales.

La información de estados es parte del sistema TCMS (*Train Control and Monitoring System*). En la Línea 9 la transmisión de los datos de monitorización y control se distribuye entre dos redes inalámbricas de alta disponibilidad y seguridad:

- Los estados para la diagnosis del tren se conducen a través del sistema TRainCom<sup>®</sup> MT.
- Las alarmas y telemandos de explotación, seguridad y mantenimiento del material móvil, junto con la megafonía e interfonía embarcada son soportados por el sistema TETRA (red de banda estrecha).

Toda esta información se presenta integrada en el PCC sobre la suite esTRAUSS<sup>®</sup> de manera que se facilita la operación.

WiFi ATC soporta el sistema CBTC que permite la regulación y seguridad del tráfico de vehículos en la línea de metro.

Aunque en el proyecto de Línea 9 los servicios soportados son los descritos en las líneas anteriores, el sistema TRainCom<sup>®</sup> MT ha sido desarrollado bajo criterios de la alta disponibilidad, fiabilidad y seguridad. Esta filosofía de producto permite ofrecer todos los servicios que son necesarios en el desarrollo de la operación del material móvil incluidos los que son enviados vía TETRA y vía WiFi ATC-CBTC (*Communication Based Train Control*):

- CBTC que permite la regulación y seguridad del tráfico en la línea de metro con o sin operación automática del tren.
- TCMS (alarmas y telemandos de explotación, seguridad y mantenimiento, incluyendo la visualización de estados)
- Comunicaciones de voz con el conductor
- Video-vigilancia: en tiempo real y en diferido por descarga de vídeos de los equipos embarcados.
- Sistema de Información al Viajero
- Paneles: itinerario, noticias, entretenimiento, TV online, publicidad
- Megafonía (mensajes recorrido, de emergencia y hilo musical) e interfonía
- Inspección de túnel/vía mediante cámaras y sensores.
- Acceso a Internet a bordo para los usuarios a través de WiFi embarcada.

### **Arquitectura de la solución de comunicaciones**

La cobertura de radio es proporcionada por estaciones de radio base (RBS) a lo largo de la vía. Cada RBS comprende a un conjunto de antenas, un transceptor (BST) y un armario de conexión con fuente de alimentación e interface de acceso a red. Las RBS de un área de radio están conectadas a través de la red IP RBS-Backhaul a la Unidad de Control de Radio Descentralizada (DRCU).



Foto 1: BST del sistema TRainCom® MT

La DRCU coordina las conexiones de radio a todos los trenes que se encuentra dentro de su área de radio. Las diferentes DRCU están conectados a través de la red IP Radio-Backbone, al igual que la Unidad Central de Radio (CRCU) que es se encarga de la configuración y diagnóstico del sistema completo. Esta misma red Radio-Backbone también ofrece la interfaz de datos externos para los servicios de aplicación. La figura 1 muestra la arquitectura del sistema de radio TRainCom® MT.

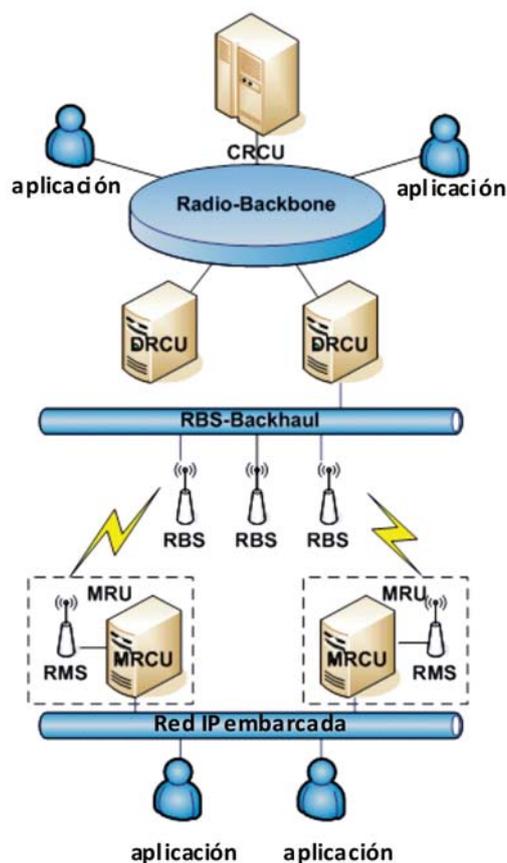


Figura 1: Arquitectura del sistema TRainCom® MT

Cada uno de los trenes equipa dos Unidades Móviles de Radio (MRU). Una MRU consta de una Estación de Radio Móvil (RMS) y una Unidad de Control (MRCU). La RMS es integrada por dos antenas móviles montadas en el techo y conectadas mediante cables coaxiales a un Transceptor de Estación de Móvil (MST). Ambos MRCU quedan comunicados dentro del vehículo a través de una red LAN que proporciona la interfaz externa para los servicios de aplicación.

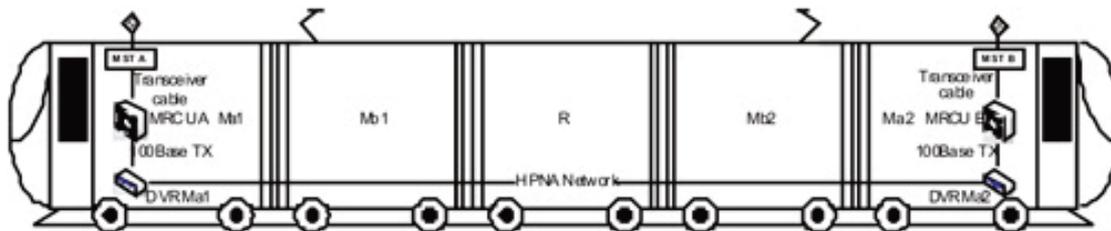


Figura 7: Equipamiento en el vehículo

La comunicación de los dispositivos que aportan la información de diagnóstico se realiza a través del bus de tren MVB (*Multiple Vehicle Bus*). En la solución embarcada de Emte Sistemas se incluye electrónica adicional que permite la adaptación mediante una pasarela entre la red Ethernet y el bus MVB.

En la solución para la Línea 9 se ha tenido en cuenta la más altas prestaciones en disponibilidad, más del 99,99% del tiempo y espacio, gracias a un diseño redundante del sistema. Este diseño asegura completa cobertura para los errores de componente único. La redundancia pivota sobre varios elementos del sistema:

- Redundancia en CRCU y DRCU. Estos equipos se montan en disposición maestro-esclavo (modo de espera en caliente) en el PCC. Para mantener la funcionalidad de la CRCU y DRCU bajo cualquier fallo de un solo componente, maestro y esclavo están conectados a distintos conmutadores redundantes. Se implementa un segundo CRCU y DRCU, copias de seguridad, en el Puesto de Control de Emergencia (PCE) que funciona como espera activa del PCC. En la figura 2 se ofrece un esquema de la arquitectura.

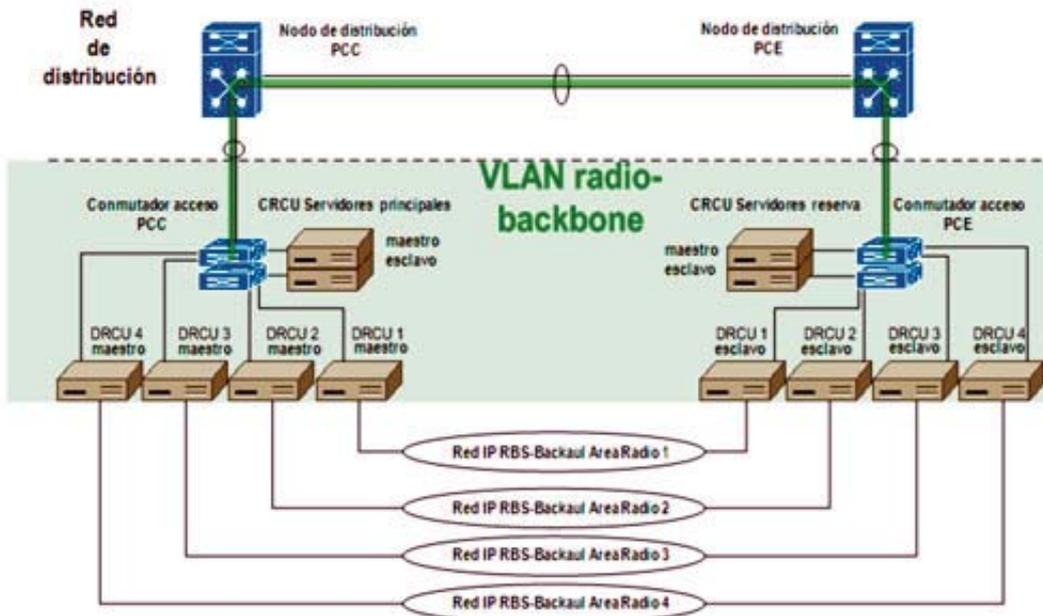


Figura 2: Arquitectura de control del sistema radio de la Línea 9

Cobertura redundante. A lo largo del recorrido del metro se dispone de una cobertura con solapamiento suficiente entre RBS adyacentes para favorecer el cambio de RBS en la comunicación móvil. En todo el recorrido se dispone de dos canales con conjuntos independientes de RBS que se implementan para llegar a alcanzar una cobertura redundante. El posicionamiento de las RBS estará sujeto a la planificación de radio realizará mediante simulación y bajo medidas en campo. En media la separación entre RBS es de 400 m. Respecto al vehículo se embarcan dos MRUs con antenas direccionales en diversidad, una en cada extremo del mismo. Cada MRU se asigna a uno de los canales de sistema. La propagación resultante, orientación y superposición se representan en la figura 3.

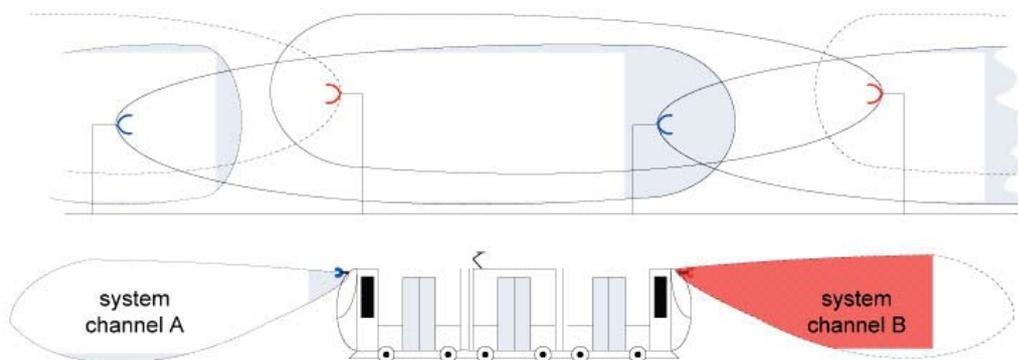


Figura 3: Cobertura de radio redundante

Las redes fijas IP sobre las que se soporta el sistema de comunicaciones inalámbricas TRainCom ® MT son tres:

- Red Radio-Backbone en la que se disponen las configuraciones de CRCU y DRCU del sistema conectando PCC y PCE. Se realiza las conexiones sobre la red IP multiservicio existente en Línea 9, con todas las interfaces Gigabit Ethernet.
- Red Radio-Backhaul, sobre la que se soportan las comunicaciones de todas las RBS con las DRCUs. Las RBS instaladas en el recorrido están bajo una topología en estrella conectadas al conmutador IP de la estación más cercana. Esta conexión se realiza con una interfaz Fast Ethernet utilizando fibras monomodo. Los conmutadores IP de estaciones del sistema inalámbrico están conectados bajo una topología en anillo que permite contar con un mecanismo de redundancia reconduciendo el tráfico de la red en caso de fallo en un punto del anillo. Este anillo se conecta con las DRCUs en dos puntos diferentes del mismo. Tanto el anillo como los enlaces con las DRCUs se realiza con una interfaz Gigabit Ethernet.
- Red IP embarcada. Cada MRCU dispone de un interfaz Ethernet que permite la conexión a los videograbadores (DVR) mediante HPNA (Home Phoneline Networking Alliance).

Una prestación adicional en la solución inalámbrica de banda ancha es el incremento del tráfico de datos en cada vehículo. Gracias a disponer, según diseño redundante, de dos canales en la cobertura radio es posible que los equipos embarcados MRU trabajen en paralelo, lo que denominamos vínculo de agregación. El tráfico total de datos de radio se distribuye de forma estática en el sistema mediante el uso de los dos canales, de manera que la velocidad de datos llega hasta 16 x 2 Mbps en ambos sentidos de comunicación (tanto descendente como ascendente).

### **La mejor solución en comunicaciones ferroviarias en radio de banda ancha**

Con el sistema de comunicaciones inalámbricas de banda ancha TRainCom® MT se ofrece una solución completa y avanzada en la Línea 9 del Metro de Barcelona, que además responde a criterios de rentabilidad. Durante la definición del proyecto se prestó especial atención en conseguir una solución muy rentable. Esta eficacia económica no sólo se limita al coste inicial de la inversión sino que también es válida para los aspectos de coste del ciclo de vida. Los aspectos principales que contribuyen a su eficiencia económica son:

- El desarrollo del sistema se adaptó a las necesidades de particulares de un proyecto de metro.
- Sistema incorporado para el diagnóstico online.
- Bajos costes de mantenimiento pues ante una avería se consigue una rápida localización y reemplazo de componentes (plug and play).

- Altos valores del MTBF para asegurar la fiabilidad y reducir malfuncionamientos.
- Alta calidad de los componentes radio.
- Reducción del tiempo entre reparaciones (MTTR) gracias a que los componentes son fácilmente reemplazables y reconfigurables.
- Amplia separación entre las RBS consiguiendo costes de infraestructura más bajos.
- Alta transferencia de datos para obtener una buena relación coste-beneficio.

Este proyecto no alcanza únicamente la red de transmisión sino que se plantea como una solución extremo a extremo, asegurando la funcionalidad de los servicios soportados en la red inalámbrica. Este aspecto ha llevado a incluir dentro del alcance una serie de equipos que son accesorios a la infraestructura del sistema TRainCom® MT pero que son necesarios para completar el nivel de aplicación de los servicios integrados. Emte Sistemas, especialista en la integración de sistemas, ha colaborado con diferentes fabricantes de hardware del entorno ferroviario para poder entregar, con éxito, una solución completa que cumple con las funcionalidades requeridas en Línea 9.

Emte Sistemas presenta, bajo la solución de radio de banda ancha aportada en Línea 9, un ejemplo real de las posibilidades técnicas, funcionales y operativas de los servicios que pueden ser integrados bajo una única red inalámbrica; en función de las necesidades y requerimientos específicos Emte Sistemas integrará a todos los niveles (embarcado, infraestructura inalámbrica y fija, aplicaciones) la solución que mejor se adapte en términos técnicos, económicos y de mantenibilidad.