

Señalización Ferroviaria, Surgimiento y Desarrollo hasta el ERTMS

Maurizio Palumbo
Noviembre de 2013
railwaysignalling.eu, Italia
maur.palumbo@railwaysignalling.eu

ABSTRACTO

La *Señalización Ferroviaria* puede ser definida como el conjunto de sistemas utilizados para el control del tráfico de manera segura y principalmente, para prevenir colisiones de trenes. A través de los años, la ciencia y la tecnología se han puesto en función de satisfacer estos requerimientos.

Después de un largo período de tiempo en el que las naciones europeas utilizaban sus propios sistemas (con la consiguiente ausencia de interoperabilidad), en la actualidad, el ERTMS/ETCS es el sistema de señalización más generalizado en Europa para Líneas de Alta Velocidad. Este sistema se caracteriza por un alto grado de desempeño respecto a la interoperabilidad, la seguridad, el costo, la accesibilidad y el mantenimiento, todo lo cual puede garantizar un rápido crecimiento del transporte ferroviario en Europa, requisito primordial para la integración del continente.

PALABRAS CLAVES: Señalización Ferroviaria, ERTMS, ETCS, ATP, GSM-R, Línea de Alta Velocidad.

1. INTRODUCCIÓN

Desde el origen de los ferrocarriles siempre ha existido la necesidad de desarrollar aplicaciones que permitan el control del tráfico ferroviario.

Con este fin, el nivel de desarrollo de la señalización ha estado sometido a un proceso de mejora continua que comenzó con las señales de mano hasta llegar a las más modernas tecnologías de separación de los trenes.

A lo largo de los años, en Europa se han desarrollado y puesto en operación disímiles sistemas que no garantizan la interoperabilidad entre los diferentes países.

En la era moderna, con un mercado laboral que ha traspasado las fronteras nacionales, los sistemas ATP de diferentes países, con la correspondiente ausencia de interoperabilidad, constituyen una importante limitante para la integración europea, siendo esta una de las razones del surgimiento del programa ERTMS, fundamento de este artículo.

Los componentes principales del ERTMS son el sistema de mando y control ETCS y la red de radiocomunicaciones GSM-R. El análisis de las principales características del ERTMS muestra los diferentes beneficios que se obtienen de la arquitectura del sistema en conjunto con la interoperabilidad, entre ellos, la seguridad, el costo, la accesibilidad y el mantenimiento.

Gracias a estas ventajas tangibles, el ERTMS es en la actualidad la tecnología de señalización ferroviaria más usada en Europa, siendo también prometedora su posible implementación en el resto del mundo.

2. ALGO DE HISTORIA SOBRE SEÑALIZACIÓN FERROVIARIA

Todos los sistemas de seguridad ferroviaria, desde el origen de los primeros ferrocarriles en Europa y hasta los más modernos sistemas de la actualidad, tienen en común un concepto básico:

Los trenes no pueden colisionar entre sí sino se les permite ocupar la misma sección de vía a la vez [3].

Por esta razón, las líneas férreas se dividen en secciones, conocidas como bloques (o secciones de bloqueo). En el modo de operación más común, solo se permite la presencia de un tren en cada bloque a la vez.

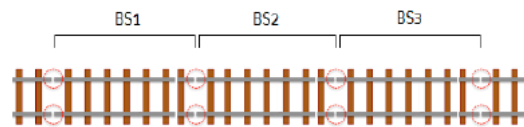


Figura 1 - Vía Férrea Dividida en Secciones de Bloqueo

2.1 DESARROLLO DE LOS SISTEMAS DE BLOQUEO

En los comienzos (1850), los ferrocarriles utilizaban personal (despachadores de trenes) distribuido a lo largo de la vía y cada ciertos intervalos (bloques), los cuales con un cronómetro y señales de mano informaban a los maquinistas acerca del paso de los trenes.

A principios del siglo XX (1990), se introdujeron los semáforos mecánicos para asistir al personal de operaciones.

Con la invención del telégrafo, y posteriormente del teléfono, fue posible que el personal de operaciones pudiera enviar mensajes (primero, un cierto número de sonidos audibles y después una llamada telefónica) para confirmar el paso de un tren y la liberación de una sección de bloqueo. Alrededor de 1930 se introducen las primeras señales ópticas. El sistema en su totalidad se denominó *bloqueo telefónico*. Con la sustitución de las señales de mano por *señales mecánicas fijas*, a partir de 1930, surge el *bloqueo semiautomático*.

En la actualidad, la señalización ferroviaria se basa en *bloqueo automático*, el cual no requiere de operaciones manuales.

Una línea equipada con bloqueo automático (*enclavamientos*) se divide en secciones cuya longitud no puede ser menor que

la distancia de frenado del tren más rápido que circule por la vía.

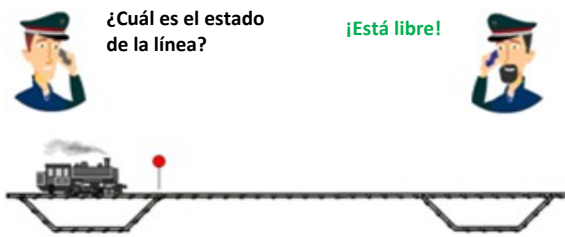


Figura2 - Sistema de Bloqueo Telefónico

Para la detección de la presencia o tránsito de vehículos por una sección específica de la vía se pueden utilizar dos tipos diferentes de equipos:

1. Un *circuito de vía* que emplea un dispositivo electromagnético (relé¹) y utiliza ambos rieles como conductores eléctricos. Al pasar un vehículo sobre la vía el contacto eléctrico con los dos rieles impide que circule corriente por el relé con lo cual la señal de bloqueo pasa a estado de peligro (o ocupado).

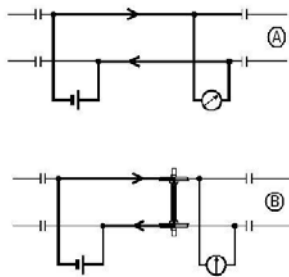


Figura 3 - Circuito de vía libre (A) y ocupado (B)

2. En líneas férreas más modernas, al inicio y al final de cada sección, se colocan equipos denominados *Contadores de Ejes*. Un cabezal de conteo puede determinar la cantidad de ejes de material rodante que pasan sobre la vía y también es posible establecer la dirección de circulación con el uso de dos sistemas electrónicos de sensores de ruedas.

Al comparar los resultados del conteo de ejes que entran y salen es posible determinar el estado de la sección de vía (libre u ocupado). Según la Figura 4, hasta que el número de ejes contados por Ax2 (al salir el tren de TS1) no sea igual al resultado obtenido por Ax1 (al entrar el tren a TS1), la sección de vía TS1 deberá ser considerada "ocupada".



Figura 4 - Contadores de ejes para detectar la ocupación de la vía

2.2 SISTEMAS ATP

A inicios de los años 80 y con el objetivo de incrementar la seguridad, se introducen en Europa sistemas de señalización

¹ NDT- también conocido como relevador

ferroviaria más modernos, capaces de supervisar continuamente la velocidad del tren, siendo denominados *Sistemas de Protección Automática del Tren (ATP – Automatic Train Protection)*.

Los primeros sistemas ATP usaban una indicación de velocidad objetivo y avisos audibles para advertir al maquinista si rebasaba una señal en rojo (peligro) o si excedía una restricción de velocidad. En estos casos, el sistema aplicaba el freno automáticamente si el maquinista no respondía a las señales de advertencia [3].

El *modelo matemático de frenado* constituye uno de los principios claves de un sistema ATP que es aplicable a todo vehículo terrestre con circulación constreñida.

Este modelo permite predecir la velocidad máxima segura del vehículo a partir de los siguientes datos:

- La distancia objetivo (hasta un obstáculo potencial en la ruta),
- La velocidad actual,
- Las características físicas del vehículo.

Conociendo el patrón de la curva de frenado resulta fácil determinar cuál será la velocidad máxima de circulación de un vehículo para que pueda detenerse con seguridad en el punto objetivo o de peligro [8].

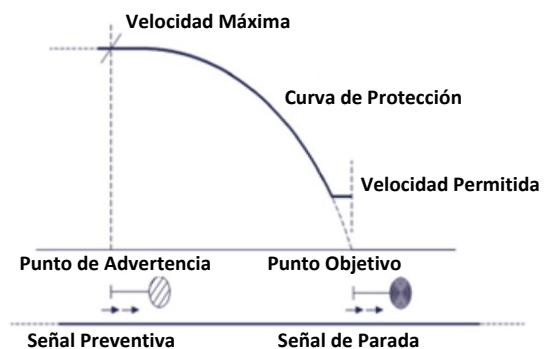


Figura 5 – Modelo de Frenado Seguro

2.3 DE SISTEMAS NACIONALES ATP A ERTMS/ETCS

A través de los años, en Europa, se han desarrollado y puesto en operación disímiles sistemas ATP conforme a diferentes requisitos nacionales, normativas técnicas y reglas de operación.

Resulta obvio que en la era moderna, donde el mercado laboral ha traspasado las fronteras nacionales, el desarrollo independiente de estos sistemas constituía una importante limitante para la integración europea.

A partir de la decisión tomada por el Ministro de Transporte Europeo en diciembre de 1989, la Unión Europea acometió un proyecto de estudio de los problemas concernientes a la señalización y el control de trenes. A finales de 1990, el Instituto *Europeo de Investigaciones Ferroviarias (ERRI - European Institute of Railway Research)* comenzó a pensar en el desarrollo de un sistema ATP que cumpliera requisitos de interoperabilidad y pudiera ser adoptado por todos los países europeos [9].

El *ERTMS/ETCS* ha sido seleccionado como sistema de mando, control y señalización y gracias a su nivel de estandarización,

desde inicios del siglo XXI, la interoperabilidad de la red ferroviaria europea está garantizada [9].

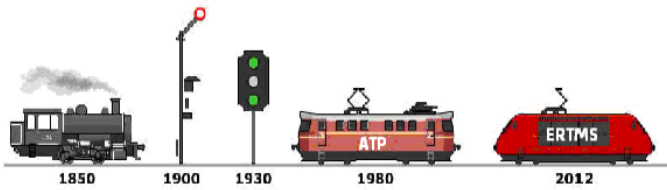


Figura 6 – Desde ATP Nacionales hasta ERTMS/ETCS

3. EL PROGRAMA ERTMS

El ERTMS constituye un programa internacional estándar creado para desarrollar una plataforma común que permita la interoperabilidad de los ferrocarriles y de los sistemas de señalización.

La interoperabilidad se logra cuando un sistema es capaz de operar junto con otros de diferentes orígenes y dentro de límites predefinidos [1].

Los objetivos principales de la interoperabilidad se basan en la necesidad de simplificar, mejorar y desarrollar los servicios internacionales de transporte por ferrocarril, contribuir a la creación gradual de un mercado nacional abierto y competitivo para el suministro de sistemas ferroviarios y servicios de construcción, renovación, reestructuración y operación, así como establecer procedimientos estandarizados en Europa para evaluar la conformidad con los requisitos de interoperabilidad.

Para este fin, entre los aspectos fundamentales relacionados con el logro de la interoperabilidad se consideró la definición de un conjunto de subsistemas y componentes de la plataforma, describiendo sus requisitos e interfaces esenciales al desarrollar las especificaciones técnicas y funcionales.

A finales de 1993, el Consejo de la Unión Europea emitió la directiva y tomó la decisión de crear un grupo de expertos denominado *ERTMS Group*, el cual estuvo integrado originalmente por los ferrocarriles de *Alemania (DB)*, *Italia (FS)* y *Francia (SNCF)*, aunque más tarde se unieron otras compañías ferroviarias europeas. El objetivo era materializar una estructura que permitiera definir las *Especificaciones Técnicas de Interoperabilidad (TSI - Technical Specification for Interoperability)* [9].

En el verano de 1998 se funda la *UNISIG* para finalizar las TSI del proyecto ERTMS, organización que quedó integrada por las compañías europeas de señalización ferroviaria *Alcatel*, *Alstom*, *Ansaldo Signal*, *Bombardier*, *Invensys Riel* y *Siemens*.

El sistema de mando y control seleccionado, con características de ATP/ATC estandarizado e interoperabilidad, fue denominado *ERTMS/ETCS* o simplemente *ETCS*.

Para la comunicación entre trenes, equipos al lado de la vía y centros de control y regulación del tráfico ferroviario, fue seleccionada la norma internacional para comunicaciones y aplicaciones inalámbricas ferroviarias *GSM-R*. Por esta razón, el programa ERTMS puede ser definido como la combinación de los subsistemas ETCS y GSM-R.

3.1 ETCS

El sistema ETCS se divide en diferentes niveles funcionales, cuya definición depende de los sistemas instalados en el ferrocarril y de la forma en que la información se transmite al tren.

3.1.1 ETCS NIVEL 0

La ausencia de señales laterales, es una de las ventajas más destacadas de la adopción de ERTMS/ETCS. Sin embargo, dado el caso que un vehículo equipado con este sistema sea utilizado en una *ruta sin ETCS* y Módulo de Transmisión Específico (STM - Specific Transmission Module), el equipo de abordaje solo supervisará la velocidad máxima establecida, debiendo el maquinista observar las señales ubicadas al lado de la vía [1].

3.1.2 ETCS NIVEL 1

El ETCS Nivel 1 constituye un sistema de señalización en cabina que puede ser superpuesto sobre las instalaciones existentes, manteniendo en su lugar las señales laterales fijas (sistemas nacionales de señalización con detección de presencia en la vía). Las *Eurobalizas* captan la información relativa a los aspectos de las señales a través de adaptadores y codificadores de telegramas (*LEU Encoders*) y en determinados puntos fijos la transmiten al tren como *Autorizaciones de Movimiento* (permiso para circular por una o más secciones de bloqueo) junto con los datos de la ruta [12].

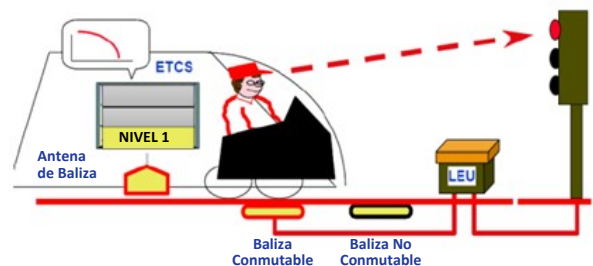


Figura 7 – ETCS Nivel 1

El ordenador de abordaje supervisa y calcula continuamente la velocidad máxima y la curva de frenado a partir de estos datos. Debido a la transmisión discontinua de datos, el tren debe viajar sobre las Eurobalizas para obtener la siguiente autorización de movimiento [11].

El ETCS Nivel 1 constituye un sistema *ATP/ATC de transmisión intermitente o semiintermitente* con señalización en cabina, interoperabilidad y bloqueo con señales fijas, el cual ha sido instalado en líneas de alta velocidad de Austria y en algunas vías de Inglaterra y España.

3.1.3 ETCS NIVEL 2

El ETCS Nivel 2 constituye un sistema de señalización y protección de trenes basado en transmisión digital por radio. Las *Autorizaciones de Movimiento* se transmiten directamente al maquinista para permitir su circulación sobre la vía y la mayor parte de las señales se despliegan en cabina, sustituyendo así a las tradicionales señales al lado de la vía. De este modo, exceptuando algunos *paneles indicadores* como

pueden ser señales principales y de límites (estos paneles delimitan las secciones de bloqueo o áreas ETCS L2), es posible operar sin señalización lateral en la vía [1].

Los sistemas de separación de los trenes utilizan el término *señales virtuales*, por analogía con la señalización ferroviaria tradicional, ya que las indicaciones lumínicas fijas de la vía han sido transferidas a la Interfaz Maquinista-Máquina (DMI – Driver Machine Interface)

Sin embargo, al mantenerse en uso dispositivos de detección de presencia tales como *circuitos de vía*, la supervisión de la integridad del tren aún permanece al lado de la vía. Todos los trenes reportan automáticamente y a intervalos regulares su posición exacta y dirección de movimiento a los *Centros de Bloqueo por Radio (RBC - Radio Block Center)* a través de la red GSM-R [1].

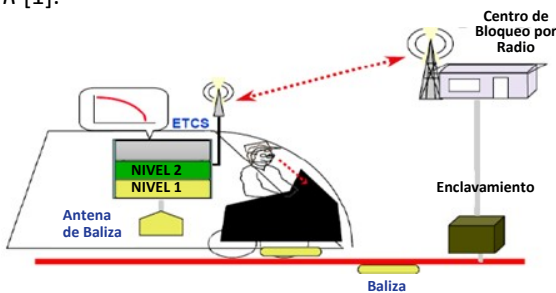


Figura 8 – ETCS Nivel 2

Las Eurobalizas se utilizan como *dispositivos pasivos de posicionamiento o puntos electrónicos de referencia kilométrica*. Entre dos balizas de posicionamiento, el tren determina su posición mediante sensores. Las balizas de posicionamiento se utilizan en este caso como puntos de referencia para corregir los errores de medición de distancia. El ordenador de abordo supervisa continuamente los datos transferidos y la velocidad máxima permisible.



Figura 9 – Transmisión Bidireccional a Través de GSM-R

El ETCS Nivel 2 constituye un *sistema ATP/ATC continuo* con señalización en cabina, interoperatividad y secciones de bloqueo fijas, el cual ha sido instalado en las líneas de Alta Velocidad en Italia Turín-Novara, Bolonia-Florenia y Roma-Nápoles.

3.1.4 ETCS NIVEL 3

El ETCS Nivel 3 constituye una implementación de sistema de espaciamiento de trenes completamente a través de comunicación por radio y que no requiere de dispositivos de señalización fijos al lado de vía para la detección de la presencia de trenes.

Al igual que en el ETCS Nivel 2, los trenes determinan su posición por sí mismo, a través de balizas de posicionamiento y sensores de vía, debiendo también ser capaces de controlar

la integridad del tren abordo con un alto grado de fiabilidad. Así, la ruta ya no requiere de secciones de vía fijas. En este sentido, el ETCS Nivel 3 se aparta de la operación clásica con intervalos fijos, ya que el sistema calcula la distancia segura entre dos trenes [1].

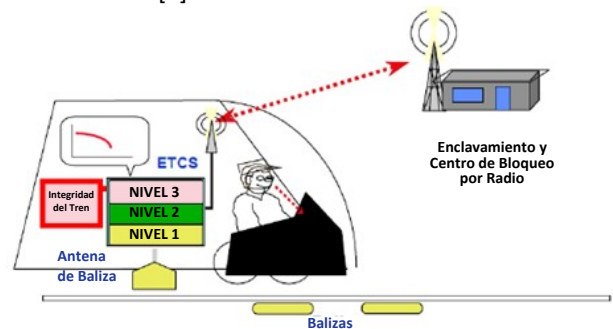


Figura 10 – ETCS Nivel 3

La autorización de movimiento es parte de la información relativa a la posición del tren e incluye la distancia actual hasta el siguiente tren. Esta solución denominada espaciamiento por distancia de frenado absoluta o bloqueo móvil permite un mejor aprovechamiento de la capacidad de la línea ya que reduce su segmentación. El nivel 3 está actualmente en proceso de desarrollo.

3.2 GSM-R

El GSM-R constituye un sistema de comunicaciones móviles de uso exclusivo para el sector ferroviario.

Con GSM-R, la infraestructura ferroviaria y su personal tienen a su disposición un sistema de radiocomunicaciones móviles que puede satisfacer, de manera eficiente e integrada y a escala nacional, todas las necesidades de comunicación y de transmisión de datos relacionadas con la operación ferroviaria.

El GSM-R permite el contacto continuo entre tripulación y tierra (gestión de comunicaciones de servicio y de emergencia) para el intercambio de datos entre los sistemas ubicados al lado de la vía y abordo, a través del establecimiento de conexiones por conmutación de circuitos.

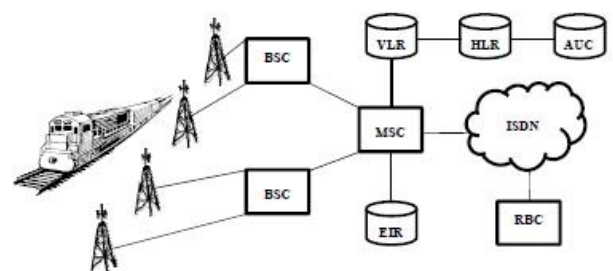


Figura 11 –GSM-R, infraestructura simplificada

La estandarización de las bandas de frecuencia del GSM-R considera el rango de 876 MHz a 915 MHz en los enlaces ascendentes entre las estaciones móviles (MS.- Mobile Station) y las estaciones transceptoras de base (BTS - Base transceiver station), y el rango de 921 MHz a 960 MHz para la transmisión de los enlaces descendentes.

Para esto, se requieren teléfonos móviles muy pequeños que tienen un radio máximo de 2-3 km, apenas la conexión a línea de visión (LOS - Line of Sight) entre MS y BTS [16].

Esta tecnología es actualmente utilizada en la totalidad de las líneas equipadas con ERTMS en Europa. Las investigaciones relacionadas con las comunicaciones para el transporte ferroviario conllevaron a que todas las partes involucradas en el ERTMS consideraran soluciones técnicas alternativas para incrementar la eficiencia. Para obtener información más detallada, véase el Apéndice A.

3.3 Implementación en Europa

El proyecto de *Alta Velocidad* comenzó en 1991 como modalidad *Llave en Mano*, siendo un Contratista General responsable de la construcción de la infraestructura y de la instalación del sistema tecnológico para cada sección específica. Para mantener la uniformidad de la obra ejecutada por cada Contratista General, el sistema tecnológico fue construido por un consorcio que asumió la responsabilidad de suministrar el sistema de señalización y la tecnología para todas las secciones de la línea HS [1].

Una línea férrea puede ser considerada de *Alta Velocidad* si los trenes al circular por ella alcanzan al menos la velocidad máxima de 200 km/h. Desde el 2013, la máxima velocidad comercial es de cerca de 300 km/h para la mayoría de los sistemas instalados, aunque en algunas partes de Europa la velocidad de los trenes en líneas HS puede llegar a un valor máximo de 350 km/h.

España (3800 km), Francia (2000 km), Alemania (1600 km) e Italia (1000 km) son en la actualidad los países con mayor nivel de sistemas instalados.

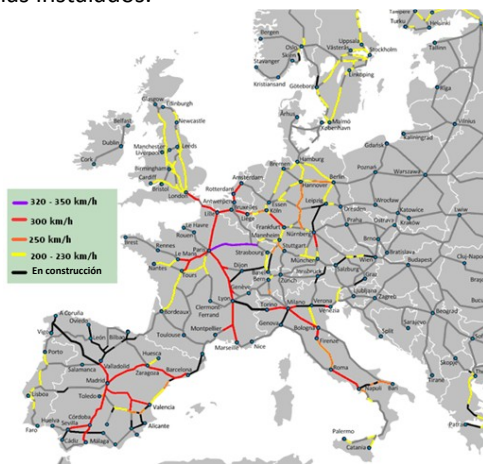


Figura 12 - Red Ferroviaria Europea de ERTMS

3.4 Beneficios del ERTMS

Al compararse con sistemas de señalización tradicionales, el ERTMS es claramente más flexible y avanzado respecto a la transmisión de información [13]. Además, la implementación de ERTMS trae consigo otras ventajas, las cuales se pueden clasificar como sigue:

1. Seguridad

- Supervisión continua de la velocidad
- Las señales son recibidas en la cabina

- Las Reducciones Temporales de Velocidad (*TSR* - Temporary Speed Reductions) son enviadas a la red
2. Costo
 - Ausencia o número reducido de señales físicas
 - Menor cantidad de dispositivos con conexiones de cables
 3. Accesibilidad
 - Mayor rapidez en la recuperación de errores con un número reducido de sistemas
 4. Interoperabilidad
 - Arquitectura e información estandarizadas
 - Interfaces técnicas uniformes entre los subsistemas
 5. Mantenimiento
 - Sistemas estandarizados
 - Menos interfaces críticas respecto a la seguridad
 - Disímiles suministradores en el mercado (Competencia)

4. CONCLUSIONES

Resulta evidente que el ERTMS ofrece tantos beneficios tangibles como el número de países de Europa (y también fuera del continente europeo) que lo han adoptado.

La amplia competencia en el mercado ferroviario asegura la mejora continua por los suministradores ferroviarios más reconocidos, así como la reducción de los costos. Este aspecto puede garantizar un rápido crecimiento de las transportaciones por ferrocarril, lo cual es fundamental para la integración dentro del continente y para el progreso de los Estados Unidos de Europa.

5. NOMENCLATURA

ATC	Automatic Train Control (Control Automático de Trenes)
ATP	Automatic Train Protection (Protección Automática de Trenes)
BTS	Base Transceiver Station (Estación Transceptora de Base)
ERTMS	European Railway Traffic Management System (Sistema Europeo de Gestión de Tráfico Ferroviario)
ETCS	European Train Control System (Sistema Europeo de Control de Trenes)
GPRS	General Packet Radio Service (Servicio General de Radiocomunicaciones por Paquetes)
GGSN	Gateway GPRS Support Node (Nodo Soporte GPRS Pasarela)
GSM-R	Global System for Mobile Communication – Railway (Sistema Global de Comunicaciones Móviles-Ferrocarril)
HS	High Speed (Alta Velocidad)
MS	Mobile Station (Estación Móvil)
QoS	Quality of Service (Calidad del Servicio)
STM	Specific Transmission Module (Módulo Específico de Transmisión)
TS	Track Section (Sección de Vía)

- TSR** Temporary Speed Restriction (Restricción Temporal de Velocidad)
- SGSN** Serving GPRS Support Node (Nodo Soporte GPRS de Servicio)

6. REFERENCIAS

- [1] *ETCS – Development and implementation in Italy (ETCS – Desarrollo e implementación en Italia)* - F. Senesi, E. Marzilli
- [2] *The Core of ATP (El núcleo de ATP)*- Data Engineering - W. Kaiser, S. Nielson
- [3] http://en.wikipedia.org/wiki/Railway_signalling
- [4] *ETCS Implementation Handbook (Manual de Implementación de ETCS)* - Olivier Leveque
- [5] *Increase of efficiency in wireless train control systems (ETCS L2) by the use of actual Packet-Oriented Transmission Concepts (Incremento de las eficiencia en los sistemas inalámbricos de control de trenes con el uso de conceptos de Transmisión Orientados a Paquetes)* - Institute of Communications Technology (Instituto de Tecnología de Comunicaciones) - Hannover, Alemania
- [6] *ERTMS/ETCS System Requirements Specification (Especificación de los Requisitos del Sistema ERTMS/ETCS) – Subset 026* - UNISIG
- [7] T. Gray, Publish and Flourish: *Write well and revise rapidly*, Workshops by Gray - She's anything but gray, New Mexico State University, 2003.
- [8] *Sistemi di controllo per l'alta velocità ferroviaria* – F. Flammini
- [9] <http://www.ertms.net/ertms/ertms-history.aspx>
- [10] <http://www.ertms.net/ertms/ertms-in-brief.aspx>
- [11] http://en.wikipedia.org/wiki/European_Train_Control_System
- [12] European Commission, Directorate General Transport - *European Rail Traffic Management System Requirement Specification* (Comisión Europea, Dirección General de Transporte – Especificación de los Requisitos del Sistema Europeo de Gestión de Tráfico Ferroviario)-bookshop.europa.eu/.../C30196341ENC_001.pdf
- [13] <http://www.irse.org.hk/eNewsletter/issue06/Technical-Articles/ETCS/ETCS.htm>
- [14] <http://www.therailengineer.com/2012/01/05/ertms-european-rail-traffic-management-system-in-operation/>
- [15] *INCREASE OF EFFICIENCY IN WIRELESS TRAIN CONTROL SYSTEMS (ETCS LEVEL 2) BY THE USE OF ACTUAL PACKET-ORIENTED TRANSMISSION CONCEPTS [INCREMENTO DE LA EFICIENCIA EN LOS SISTEMAS DE CONTROL DE TRENES (ETCS NIVEL 2) CON EL USO DE CONCEPTOS DE TRANSMISIÓN ORIENTADOS A PAQUETES]*- Simon F. Ruesche, Jan Steuer, Klaus Jobmann - Institute Communications Technology, (Instituto de Tecnología de Comunicaciones) Hannover (Alemania), 2009
- [16] *Is GSM-R the limiting factor for the ERTMS system capacity? (¿Es GSM-R el factor limitante para el sistema ERTMS?)*– Gustaf Lindstrom (KTH) – Estocolmo (Suecia), 2012
- [17] Kalden, R. A., 2004, *“Mobile Internet Traffic Measurement and Modeling Based on Data from Commercial GPRS Networks” (Medición y Simulación del Tráfico de Internet Móvil Sobre la Base de Datos de Redes GPRS Comerciales)*, Wissenschaftsverlag Mainz, Aachen
- [18] http://en.wikipedia.org/wiki/GPRS_core_network

7. BIOGRAFÍA DEL AUTOR

Maurizio Palumbo es el fundador de railwaysignalling.eu, donde también es conocido como *Vesuvius*.

Nacido en Nápoles (Italia). A finales de 2010 se graduó de Ingeniería Informática en la Universidad *Federico II de Nápoles*.

Es un ingeniero curioso, risueño y entusiasta. Desde inicios de 2011 ha trabajado para Alstom Transport SPA en las Oficinas Centrales de Bolonia como consultor técnico para Alten, una

de las empresas líderes de Europa en consultoría e ingeniería. Ha estado involucrado en dos proyectos ERTMS/ETCS Nivel 2. En particular, se ha especializado en el subsistema de equipos al lado de la vía, trabajando en proyectos tanto en Italia (Línea de Alta Velocidad Bolonia-Florenia) como en Dinamarca (Ferrocarril Fjernbane East).



8. BIOGRAFÍA DEL TRADUCTOR

José Colón González, graduado de Ingeniero Eléctrico especializado en Señalización y Comunicaciones Ferroviarias por la Universidad Estatal de Ingeniería Ferroviaria de Moscú en 1980, donde también obtuvo el grado de PhD en 1988.

Trabajó durante más de 25 años en la Empresa de Ingeniería del Ministerio de Transporte de Cuba vinculado a proyectos de ingeniería, consultoría e I+D.



En la actualidad trabaja como consultor y traductor técnico independiente especializado en temas ferroviarios.

APÉNDICE A: MIGRACIÓN DE GSM-R A GPRS

En una conexión de circuito conmutado se establece un canal continuo entre la estación base y la unidad en movimiento. Esta característica asegura una Alta Calidad del Servicio (QoS), aunque no un muy eficiente uso de la conexión ya que el intercambio de datos es más bien bajo.

Esta es la razón por la cual el *GSM-R* ha sido considerado durante los últimos años un *cuello de botella* para la eficiencia de todo el sistema ERTMS. La amplia investigación desarrollada con relación a las comunicaciones para el transporte ferroviario conllevó a que todas las partes involucradas en el ERTMS consideraran el uso de comunicaciones por conmutación de paquetes.

En este caso, varios usuarios comparten la misma conexión y la información transmitida se divide en paquetes que son enviados uno después de otro y solo cuando lo requiere uno de los usuarios [16].

En redes públicas inalámbricas, el Servicio General de Radiocomunicaciones por Paquetes (GPRS) se ha utilizado para incrementar las posibilidades de la infraestructura inalámbrica existente. En la actualidad, la cantidad de datos usados por la señalización dentro del entorno orientado a conexiones del ETCS Nivel 2 es muy pequeña y en la mayoría de los casos no existe transmisión por largos periodos de tiempo. Con GPRS el canal de transmisión solo se usa cuando los datos deben ser transmitidos. Además, los tiempos de establecimiento de las conexiones disminuyen y los niveles de prioridad asignados a los paquetes de datos proporcionan incluso un mayor nivel de confiabilidad de las aplicaciones críticas [17].

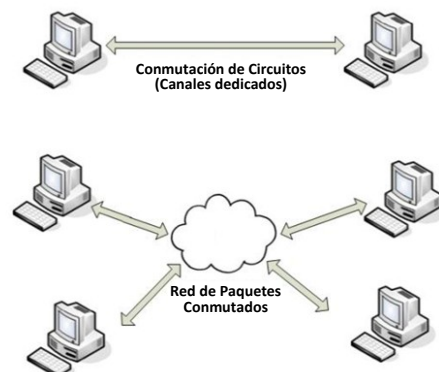


Figura 13 – Conmutación de Circuitos vs Conmutación de Paquetes

El principio básico del GPRS para aplicaciones ferroviarias consiste en construir un sistema orientado a datos en el cual se reutilizan tanto como sea posible los sistemas existentes de transmisión de voz y el GSM-R, manteniendo la compatibilidad.

Las principales diferencias entre una infraestructura GPRS de comunicación por paquetes y otra de tipo GSM orientada a conexión están relacionadas con los dos siguientes componentes de la red:

- *El Nodo Soporte GPRS de Servicio (SGSN)* que es responsable de la entrega de los paquetes de datos desde y hacia las estaciones móviles dentro del área geográfica de servicio. Sus funciones incluyen el enrutamiento de los paquetes, su transferencia, la gestión de movilidad (unión/separación y gestión de localización), gestión de enlace lógico, y funciones de autenticación y de tasación.
- *Nodo Soporte GPRS Pasarela (GGSN)* actúa como una interfaz entre la red troncal GPRS y las redes externas por conmutación de paquetes de datos. Esta interfaz convierte los paquetes GPRS provenientes del SGSN, mencionado anteriormente, al formato del Protocolo de Datos en Modo Paquete (PDP – Packet Data Protocol) y los envía hacia la red correspondiente de datos por paquetes. En el otro extremo, las direcciones de los paquetes de datos entrantes se convierten a la dirección GSM del usuario de destino. Los paquetes redireccionados se envían al correspondiente SGNS [18].

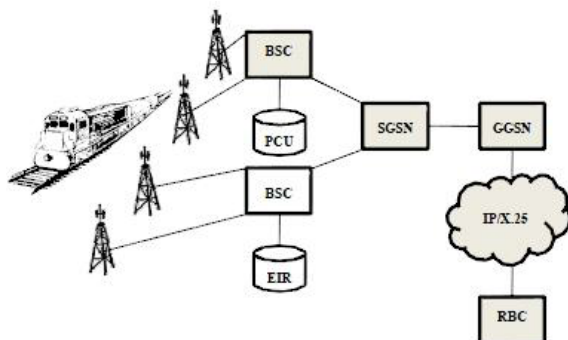


Figura 14 – Estructura simplificada del GPRS-R

Una vez activado el GPRS, se establece una conexión virtual continua entre los participantes de la red (por ejemplo, entre trenes y RBC). Durante la sesión, al usuario se le asigna un par de canales de frecuencias para los enlaces ascendente y descendente, lo cual se combina con multiplexación estadística de dominio por tiempo, es decir, comunicación en modo de paquete donde varios usuarios comparten una frecuencia [17].

En la actualidad el consorcio UNISIG trabaja en la estandarización de esta tecnología para ser utilizada en ERTMS. En los próximos años todos los suministradores ferroviarios estarán en capacidad de suministrar sistemas ETCS que incluyan infraestructuras de red GPRS-R.