

Innovación tecnológica en el ferrocarril en instalaciones de seguridad

Technological Innovation in Railway Safety Installations

José María Pérez Revenga. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Ex-Director de Servicios Regionales de Renfe. Presidente de la Asociación Ibérica de Ingenieros y Cuadros Ferroviarios.
jmprevenga@renfe.es

Resumen: En el año 1825 entraba en servicio la primera línea férrea Stockton–Darlington, siendo acogido este nuevo modo de transporte como el ideal para la movilidad e intercambio de viajeros y mercancías entre puntos de un territorio, siendo acogido el ferrocarril, a lo largo del siglo XIX y principios del XX, como el medio de transporte más empleado a lo largo del mundo y por tanto de Europa. Aunque con la llegada de la revolución de la carretera y de los vehículos automóviles, el ferrocarril fue perdiendo cuota de mercado paulatinamente y de manera importante, sin embargo, motivos de seguridad y medioambientales, hicieron resurgir este modo de transporte. A esta recuperación no es ajena el aumento de velocidad y la disminución de tiempos de viaje, conseguido gracias a la innovación y mediante los avances tecnológicos que en los sistemas de seguridad se han llevado a cabo en el ferrocarril.

Palabras Clave: Bloqueo, Cantón, ERTMS*, Interoperabilidad

Abstract: The first railway line from Stockton to Darlington came into service in 1825 and this new mode of transport was seen as an ideal way of transporting passengers and goods from one place to another. During the 19th century and the start of the 20th century the railway continued to be the most widely used method of transport throughout Europe and the World.

On the advent of the road revolution and the arrival of motor cars, the railway gradually lost its market share but now, on account of environmental and safety reasons, this method of transport is beginning to show a resurgence. This recovery goes hand in hand with increased speed and the reduction in travel times which have been achieved as a result of innovation and the technological progress seen in railway safety systems.

Keywords: Blockade, cantonment, ERTMS, Inter-operability

Discurría el año 1813 cuando Jorge Stepheson concibió la maquina de vapor, entrando en servicio en 1825 en la primera línea férrea Stockton–Darlington, siendo acogido este nuevo modo de transporte como el ideal para la movilidad e intercambio de viajeros y mercancías entre puntos de un territorio.

A lo largo de los años la evolución, tanto del material motor como remolcado, ha ido avanzando en la confianza de aumentar la seguridad y fiabilidad de máquinas, coches y vagones, así como de un mejor confort.

Por ello, desde el prototipo de Stephenson se ha mejorado, con las innovaciones que se han ido introduciendo, la tracción consiguiéndose locomotoras de mayor potencia con un menor aprovechamiento de la misma.

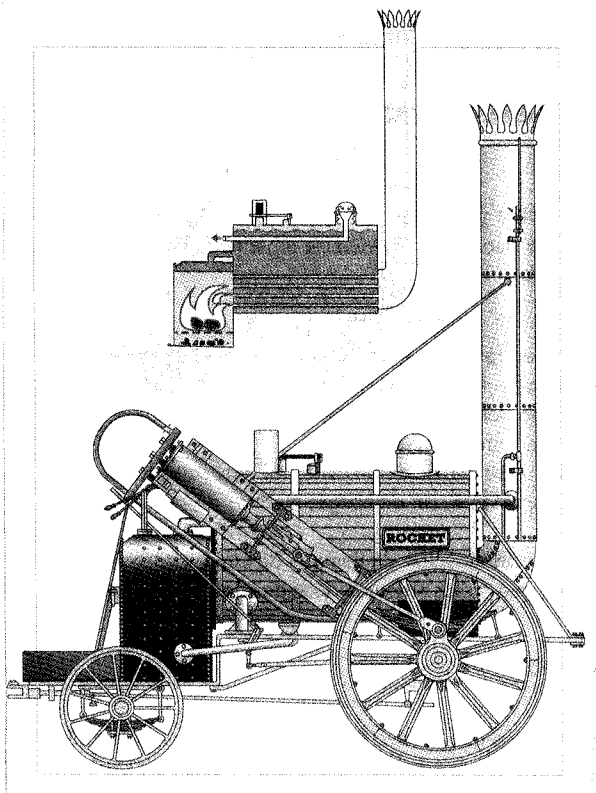
Así, en el año 1834, se realizan los primeros ensayos tendentes a conseguir una locomotora eléctrica, no siendo

hasta 1880, con motivo de la exposición de Berlín, cuando se realizaron las primeras pruebas de un ferrocarril eléctrico. En España, tiene lugar en el año 1911 la electrificación de un tramo de la línea de Linares a Almería, avanzando en innovaciones tales como pasar de un sistema de tracción eléctrica que tomaba la corriente de un tercer carril al predominante actual que lo hace mediante un tendido aéreo.

Igualmente ha venido ocurriendo en lo que a sistemas de frenos se refiere, ya que son elementos esenciales para la seguridad de la composición del tren. A lo largo de las décadas vemos que se ha pasado de los frenos de mano, actados por agentes ferroviarios subidos en las composiciones, y el contravapor consistente en colocar el mecanismo de cambio de marcha para un sentido contrario al del movimiento con el regulador abierto, a los modernos eléctricos y/o elec-

* ERTMS: Sistema de Gestión del Tráfico ferroviario.

La "Rocket" del ingeniero Stephenson, que fue modelo de todas las locomotoras posteriores. Fuente: "El libro del tren".



tromagnéticos, conjugados neumático/electrodinámico, disponiendo incluso de antibloqueo

Pero si desde la primera locomotora de vapor hasta nuestros días en las técnicas de tracción y frenado se ha realizado un gran esfuerzo para conseguir mejorar su potencia y seguridad, así como el confort de los viajeros, aumentando su velocidad y capacidad de esfuerzo, y estando continuamente innovando sistemas de frenado para conseguir una mayor efectividad de los mismos y un mejor rendimiento en la frenada redundando en una mayor seguridad, en el campo de los bloques, enclavamientos, instalaciones de seguridad y comunicaciones es donde el paso ha sido de gigante.

Parece indiscutible que el ferrocarril como medio de transporte de viajeros y, aunque no tan evidente, de mercancías, a lo largo de los últimos años se viene registrando un apreciable resurgir, adquiriendo con lentitud pero con firmeza progresivos incrementos de tráfico que cuestionan en determinadas líneas sus capacidades. A esta recuperación de cierta posición competitiva del medio ferroviario, no es ajeno el intento de disminución de los tiempos de viaje, lo cual se debe conseguir mediante la introducción de los avances tecnológicos en la infraestructura, vehículos y sistemas dentro del campo de las nuevas tecnologías.

En resumen cabe decir, que el creciente aumento del tráfico y de la velocidad de las circulaciones, han obligado a que los sistemas que los gobiernan, dentro y fuera del tren, sean cada vez más inteligentes, fiables y seguros.

Desde los bloqueos telefónicos pasando por el de accionamiento manual y los de concentración de palancas, hasta los de tipo electromagnético, los eléctricos de relés y electrónicos, el camino recorrido ha sido largo y como en las carreras de obstáculos lleno de vallas que hubo que sortearlas o saltarlas hasta conseguir lo que hoy se denomina *European Rail Traffic Management System* o *Sistema de Gestión del Tráfico Ferroviario Europeo (ERTMS)*.

Antes de entrar en el nuevo sistema de instalación, que por otra parte hará operativo el tráfico entre diversos países que tengan diferentes sistemas de seguridad, es decir asegurar y facilitará la interoperabilidad, vamos a dar una pasada rápida a la evolución de los referidos sistemas.

Desde el comienzo de este modo de transporte, la distancia entre trenes en circulación en un mismo sentido o en caso de vía única antes de expedir un tren desde una estación a su colateral, denominadas *distancias de bloqueo*, o la ordenación del paso de los trenes por estaciones cada vez más complejas en sus haces de vías, han hecho evolucionar el sistema de señales íntimamente ligadas a los bloques. Igualmente, la ayuda a la explotación ferroviaria mediante radiotelefonía, que acaba de cumplir en España los 20 años, conocida bajo el nombre de *TREN - TIERRA*, ha desempeñado eficazmente su función a lo largo del tiempo, pero las nuevas tecnologías en comunicaciones, han desplazado este método por el *GSM-R*, un sistema con tecnología digital en lugar de analógico y con mayor capacidad y calidad de transmisión, siendo la base del nuevo sistema de gestión de tráfico ferroviario (*ERTMS*) Esta nueva tecnología de comunicación, que dará una mayor seguridad, flexibilidad y seguimiento al tráfico por ferrocarril, está unida al proyecto que la Unión Europea está llevando a cabo en este campo llamado *GALILEO* (sistemas de apoyo global a la navegación vía satélite) y que se espera esté operativo en el 2008.

En un principio las señales a las circulaciones se hacían a través de un agente, denominado "policía de ferrocarriles", que indicaba con el brazo "extendido" o "pegado al cuerpo" si la vía estaba ocupada o libre, dependiendo del tiempo transcurrido entre circulaciones que habían pasado por la posición donde se encontraba el agente. Posteriormente se emplearon "banderolas" y "paletas", que en función de sus colores y movimientos, indicaban a los maquinistas el estado de las vías y de las circulaciones.

Dado que mediante estos sistemas la seguridad de las circulaciones no era fiable, debido a la posibilidad de los errores humanos que se podían cometer, el brazo humano fue sustituido por "mástiles" con las paletas de colores en ellos o "discos" y "pantallas" que en un principio fueron mandados a pie de señal, pasando posteriormente a ser movidos desde los centros de circulación de las estaciones cercanas mediante transmisiones mecánicas que constaban de un hilo o dos (transmisión bifilar), de forma similar a co-

mo se movían las agujas mediante un hilo alámbrico, no de mucha longitud, que movía los sistemas. *Por la noche era necesario que el agente u operario encendiese un farol de petróleo o aceite al lado de la señal, de forma que dependiendo del color que fuese, blanco o rojo, el maquinista supiese si podía pasar o no, no usándose la iluminación automática de señales desde el puesto de accionamiento hasta que el desarrollo de la electricidad fue un echo.*

En 1842 aparece en Inglaterra el primer semáforo, su funcionamiento podía realizarse por transmisión alámbrica, rígida de barra, hidráulica y eléctrica efectuándose el movimiento hasta el semáforo por medio de varillas y articulaciones de diferentes tipos. Las señales semafóricas, que podían indistintamente altas o bajas(monos), durante el día se expresaban por su forma, dimensiones y posición de los brazos dependiendo de la vía que necesita la indicación y por la noche por número y color de las luces y, desde que se pudo usar la electricidad, lámparas incandescentes que eran mandadas automáticamente desde los puestos de mando.

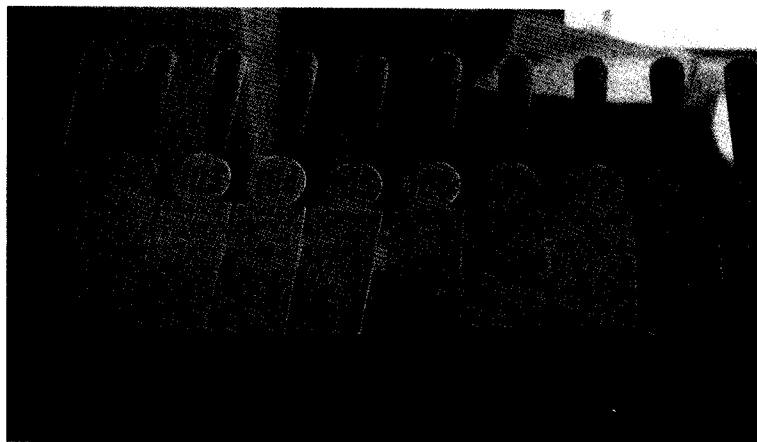
Las transmisiones eléctricas, comenzaron a ser efectivas en la década de los ochenta del siglo XIX, si bien hasta el año 1920 su fiabilidad era escasa para una utilización continua de las mismas, siguiendo utilizando los faroles y lámparas de aceite o petróleo en lugar de señales luminosas eléctricas.

La llegada de la electricidad

Con la llegada de la electricidad, tanto las señales mecánicas como las lámparas de petróleo o aceite fueron sustituidas por semáforos con transmisiones eléctricas para su accionamiento y por señales luminosas eléctricas. Para el movimiento de los semáforos y pantallas, a través de la transmisión eléctrica, se hacía llegar la corriente necesaria para alimentar un motor dispuesto al pie del mástil que ejecutaba la orden que recibía en cada momento a través de los juegos de alambres y poleas.

Con el paso del tiempo se fue incrementando la circulación, la velocidad, los desvíos y los cantones, reduciéndose paulatinamente las distancias de bloqueo al modificarse los tipos de trenes y ser sus sistemas de frenos más fiables, lo que llevó a considerar que se debía dar a los maquinistas una mayor información de lo que se iban a ir encontrando a lo largo del recorrido y en sus estaciones de paso o parada. Así nacieron las nuevas señales, complementarias de las eléctricas luminosas, denominadas alfanuméricas.

Igualmente al objeto de dar una mejor información y seguridad para el maquinista, ayudándole en la conducción y evitar en lo posible los errores humanos que se podían cometer en la observancia de las señales, se implantó el denominado Anuncio de Señales y Frenado Automático (A.S.F.A)



Enclavamiento mecánico.

que repite las señales en cabina de los vehículos de tracción y provoca el frenado automático del tren en el caso de una anómala observancia de las señales por parte del personal de conducción. Este sistema dispone de equipos en la vía y embarcados en las locomotoras y en las cabinas de conducción de las unidades autopropulsadas.

En vía, el sistema consiste en dos balizas, la previa y la de señal, que transmiten al vehículo de modo electromagnético la indicación de la señal. El equipo embarcado es un captador que recibe la indicación de la señal, y un analizador de información que recibe la indicación enviándola al tacómetro y en caso necesario al sistema de frenado.

Con motivo del aumento de la velocidad por encima de los 200 Km./h, la U.I.C.(Unión Internacional de Ferrocarriles) recomienda la utilización de sistemas de supervisión continua, además de que la percepción de las señales exteriores por el ojo humano es nula o casi nula, por lo que *Europa, a finales de la década de los años 60 que comienza la época de la alta velocidad, tuvo que estudiar y desarrollar un sistema de señalización, compatible con el A.S.F.A, que se denomina LZB incorporado dentro de la cabina de conducción y que, de forma general, es el que indica al maquinista de forma continua, pudiéndolo hacer de forma automática o con ATP (Automatic Train Protection) si el equipo de abordaje lo lleva montado, todo lo que necesita conocer sobre la circulación y el estado de los trayectos para garantizar la seguridad de las circulaciones.* Esta supervisión continua, que es renovada como máximo cada segundo, informa al maquinista de todo lo que pasa a lo largo del trayecto en los 10 kilómetros siguientes.

La Conducción Automática de Trenes

La Conducción Automática de Trenes (CAT) LZB, es un sistema de transmisión continua vía-tren a 36 kHz y 1200 Bit/seg., tren-vía a 56 kHz y 600 Bit/seg. Aquel, se divide en diferentes subsistemas instalables modular y secuencial-



Enclavamientos electrónicos.

mente. Uno de ellos es el ATP, está dotado de señalización en cabina, control de velocidad y frenado de emergencia, recepción de telegramas, control de la distancia recorrida, cálculo continuo de las curvas de frenado, detección de circulaciones a través de los circuitos de vía FGT-S, transmisión de la información a través de los circuitos de vía y memorización de las características de cada cantón.

Si se aumenta el equipamiento y se pasa al subsistema ATO, además de las funciones anteriormente indicadas, se realiza el control continuo de la conducción de los trenes y el frenado de servicio, la detención del tren en un punto preestablecido con un margen de error de unos 25 cm., registra los datos de explotación y las perturbaciones, controla la apertura de puertas, la identificación del tren, efectúa conducciones de acuerdo con programas especiales predeterminados y puede transmitir datos adicionales o complementarios que no son los habituales.

Si aún se aumenta más el equipo con la instalación del ATS, se elevan las prestaciones ya indicadas a adecuar la marcha de los vehículos de acuerdo con los horarios o intervalo que se desee.

A lo largo del repaso dado a los sistemas de control y seguridad en la marcha de los trenes hasta nuestros días, hemos ido viendo la gran evolución en los sistemas de control donde la mano humana pierde en parte su hegemonía, dejando a la técnica un protagonismo, eso si siempre que el hombre, es decir el maquinista o persona autorizada, introduzca los datos necesarios para que, dependiendo de los subsistemas que se tenga, el sistema defina y dibuje las curvas de frenado, supervise la máxima velocidad permitida en la línea, la máxima del tren en cada momento en función de las limitaciones permanentes y temporales, los puntos de parada, perfil dinámico de

velocidad y funciones auxiliares (cierre de disyuntores, bajada de pantógrafo, paso por zonas neutras, etc.)

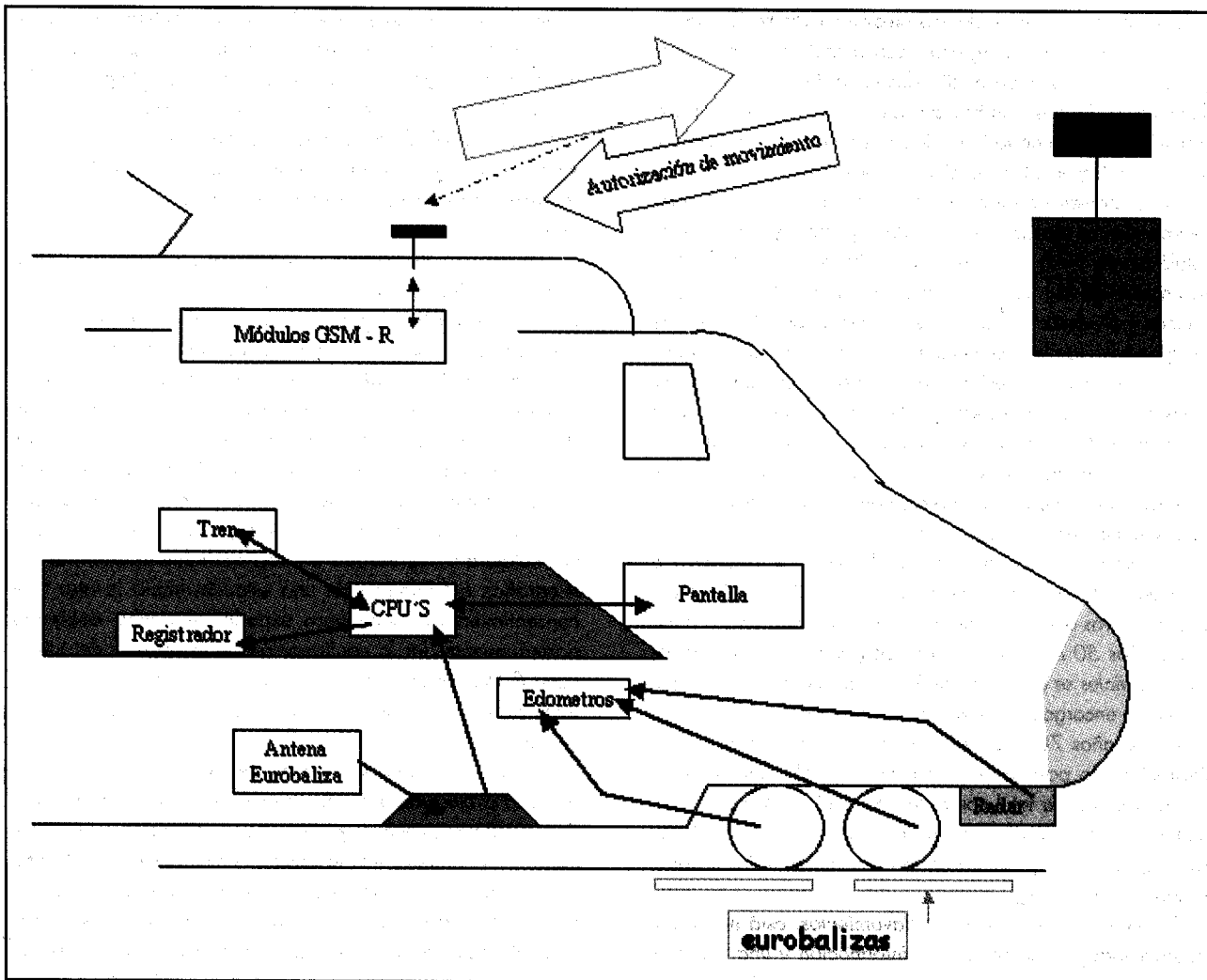
En el desarrollo de un transporte vial, sea carretero, ferroviario, marítimo o aéreo, todos los elementos responsables de la circulación y de la seguridad en dichos modos, tienen una íntima relación entre sí, contando por supuesto con los equipos embarcados en los vehículos.

Los enclavamientos

Con anterioridad se ha descrito el desarrollo tecnológico y el avance que ha experimentado a lo largo de los años la señalización y la ayuda a la conducción, pero hay que tener en cuenta que con el aumento de la densidad de tráfico y de vías en estaciones dicha evolución a mayores, hizo crecer el número de señales y de agujas a mover para dar paso a las circulaciones debiendo aquellas estar en concordancia para evitar accidentes. Así nacieron lo que hoy se denomina *enclavamientos*, que no son otra cosa que dispositivos mecánicos, eléctricos, mezcla de ambos o electrónicos que reducen la posibilidad que se pueda realizar una falsa maniobra que afecte a la seguridad de la circulación. Están constituidos por una serie de dispositivos de accionamiento de aparatos de vía, y señales. Que se encuentran en relación de dependencia, por lo que no es posible la realización de falsas maniobras en los distintos elementos de control.

Los primeros enclavamientos datan de 1855, siendo ideados por un guardagujas de la Compañía Francesa de los Caminos de Hierro del Oeste y perfeccionada la idea por el ingeniero Vignier que trasladó el enclavamiento desde la palanca de maniobra propiamente dicha hasta una pequeña palanca de accionamiento independiente. Los enclavamientos comienzan por tanto con la concentración de las palancas, dispuestas en mesas mecánicas Henning y Bachmann que accionaban los electromotores de dos devanados de los aparatos de vía y señales desde los puestos mecánicos. El tipo de transmisiones podía ser rígidas para las agujas y funiculares de simple hilo para las señales o funiculares de doble hilo para ambos cometidos. En el transcurso de los últimos años del siglo XIX Paul Buré creó, al objeto de aumentar la seguridad ante los errores humanos, las cerraduras que llevan su nombre y que en un primer momento se aplicaban individualmente a cada uno de los aparatos y señales que se querían inmovilizar, pasando posteriormente a inmovilizar las palancas mediante cerraduras de las que se extraen las llaves, que se relacionaban en una cerradura central, impidiendo que se pudiesen extraer aquellas otras llaves que incompatibilizaran el itinerario ya efectuado.

Con ello se consigue además de racionalizar la explotación y mejorar las condiciones de circulación al reunir en un solo puesto o varios, dependiendo de la envergadura de la estación, un gran número de agujas y señales. Dichos puestos



se ubicaban cercanos a la "zona" que cubrían y se encontraban elevados sobre unas torretas.

Cuando los circuitos de vía y la señalización luminosa complementaron a los enclavamientos, las voluminosas mesas mecánicas de Henning y Bachmann fueron desapareciendo, sustituyéndose por otras de porte más sencillo y que no necesitaban grandes espacios, por lo que se disponían en un recinto adyacente a la estación. Paralelamente al desarrollo de los enclavamientos, fue necesario aumentar los elementos necesarios que facilitasen y realizasen correctamente las maniobras, surgiendo así los enclavamientos electromecánicos, disponiéndose en los puestos un tablero electromecánico con cerrojos electromagnéticos que aseguraban las agujas en su correcto posicionamiento.

Aunque las transmisiones seguían siendo funiculares, la formación de itinerarios se hacía eléctricamente utilizando electroimanes o relés, mandándose la maniobra por medio de un conmutador que accionaba el agente encargado del puesto. Posteriormente, se sustituyeron las antiguas transmisiones por

conductores eléctricos que aseguraron el movimiento de los aparatos por medio de un motor eléctrico situado al pie de los mismos y debido al uso de los relés se utilizaron puestos eléctricos con mesas donde se representaba todo el sistema, ayudando así a la definición de los itinerarios y aumentando la fiabilidad de las operaciones.

Si a partir de 1867, se pusieron en funcionamiento los enclavamientos de tipo mecánico, a partir del año 1884 se comenzaron a utilizar los enclavamientos dinámicos, siendo los primeros de tipo hidroneumático, pasándose a desarrollar desde 1891 los electroneumáticos a los que siguieron los puramente eléctricos a principio del siglo XX.

Como curiosidad hay que hablar de los enclavamientos hidráulicos que se montaron en España mediante el sistema Bianchi-Serveltaz, que siendo de concentración de palancas establecidas en una mesa desde donde se maniobraban agujas y señales, todos los elementos, que estaban conectados mediante tuberías, funcionaban por medio de agua a presión, configurando un sistema de transmisión hidráulica. El sistema está ba-

sado en el mantenimiento de una presión constante. Cuando la presión baja, un motor inyecta agua a presión a un cilindro que eleva unos contrapesos situados fuera de la caseta del enclavamiento. Dichos cilindros son los que facilitan que la presión sea constante en todo el circuito de tuberías, pudiéndose accionar a distancia los cambios de aguja y señales.

En los primeros años de 1900 se comienzan a emplear los enclavamientos eléctricos, en España el primero y único que se instaló fue en 1905 en la estación de Norte de Madrid estando en servicio tan solo siete años, estaban constituidos por mandos individuales de agujas y señales, debiendo el agente que mandaba la maniobra actuar en primer lugar en la aguja y posteriormente en la señal correspondiente. En estos enclavamientos, la incompatibilidad de itinerario se llevaba a cabo mediante contactos de electroimanes (relés), con un diseño en los circuitos de "no fallo y si segura", de forma que cualquier desviación en la operación o avería del sistema, siempre dejaba la señal en máxima seguridad.

La modernización de estos enclavamientos comienza a partir de 1924, con un sistema que permitía liberar el camino de paso detrás del tren según este iba avanzando y ya a partir de los años 50 la modalidad era de principio y final, en los que las señales se disponían de forma automática una vez que la mesa se encargaba de establecer el itinerario.

En los años 70 el avance de la tecnología en temas de electrónica dio paso a los enclavamientos electrónicos suponiendo una ruptura total con todas las técnicas descritas anteriormente, dándose así un paso de gigante en cuestión de seguridad, fiabilidad y mejora de la explotación de las líneas y del tráfico ferroviario.

La base de estos nuevos enclavamientos, está en los microprocesadores que reciben la información y una vez contrastada, si no hay incompatibilidad de ningún tipo dan las ordenes oportunas a los aparatos de vía y señales para que se establezca el correspondiente itinerario. De forma automática se ejecutan los itinerarios, reconvirtiéndose progresivamente al paso de las circulaciones y registran, al igual que ocurre con los equipos de registro judicial o cajas negras embarcados en los trenes, cada movimiento efectuado, memorizando en una base de datos las incidencias o deficiencias ocurridas. Los dos microprocesadores que incorpora el sistema, son independientes entre sí y se supervisan mutuamente de manera que si existe un fallo en alguno de ellos el otro entraría a funcionar como reserva activa, es decir existe redundancia en la operación.

La optimización y funcionalidad de estos enclavamientos está en que, al igual que ocurrió con el avance en la radiofonia que suprimió lamparas, diodos, manetas, etc., un teclado, una pantalla de ordenador, un tablero gráfico, un ratón o un lápiz óptico, aportan mayor, mejor y más segura información que los equipos anteriormente presentados.

Todos los sistemas de seguridad y operativos, que han ido avanzando a lo largo de los años, para que la circulación fe-

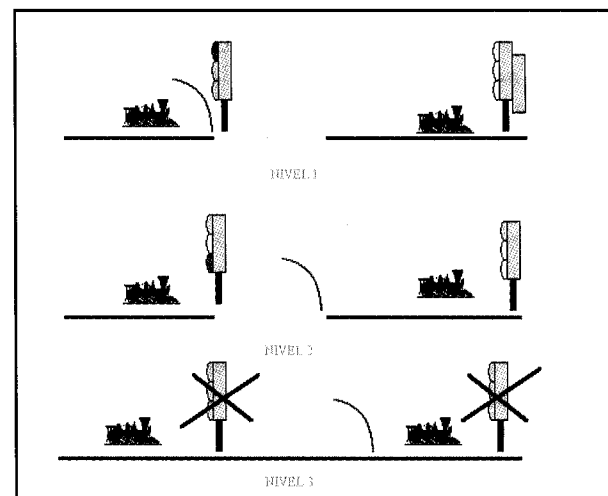
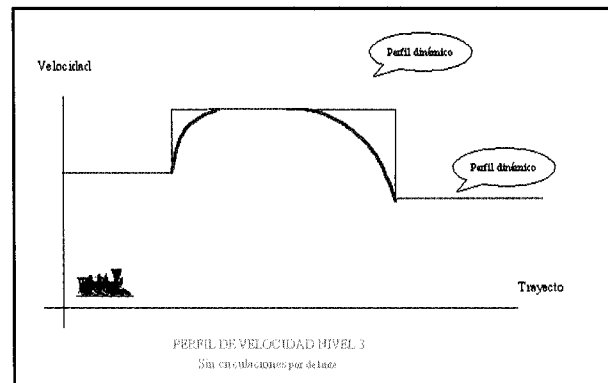
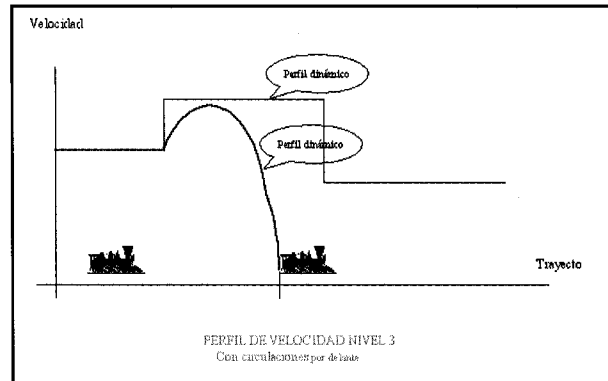
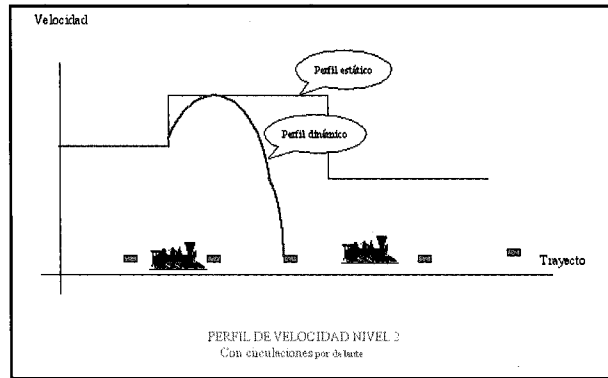
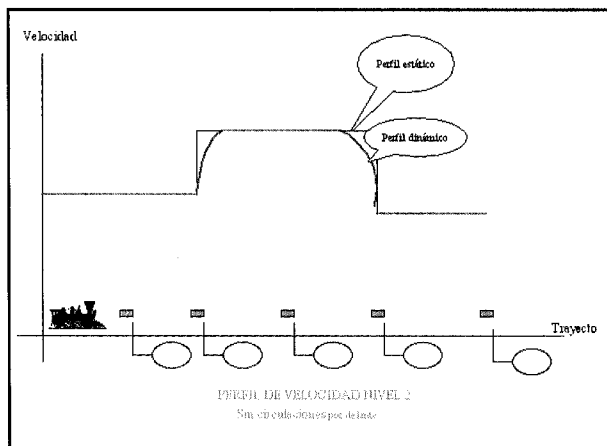
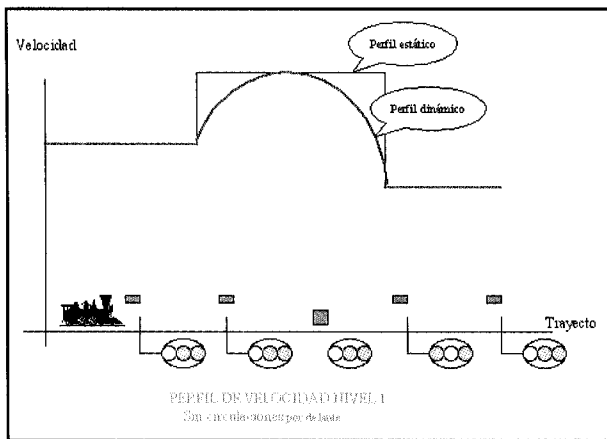
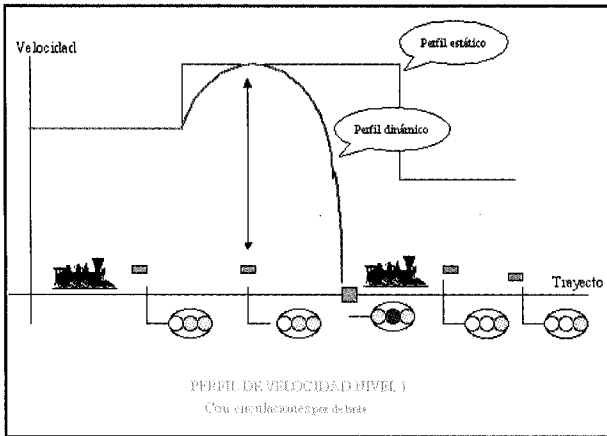
roviaria fuese optima y fiable descritos con anterioridad, están relacionados con los bloqueos y que dada la importancia que ha tenido su desarrollo, no se puede pasar por alto para poder llegar a los actuales sistemas que regulan el funcionamiento del ferrocarril. *El bloqueo, se puede definir como todo procedimiento verbal, escrito o tecnológico que evite las colisiones o alcances entre trenes circulando en sentido contrario o en el mismo.*

En los primeros años del ferrocarril los trenes se distanciaban empleando "intervalos de tiempo", limitando la capacidad de la línea y siendo poco fiable dicho método. Cuando la comunicación entre estaciones se hace posible por medio del telégrafo primero y del teléfono después, la separación entre trenes se hace por medio de "intervalos de distancia" siendo el primer paso para el nacimiento de los sistemas de bloqueo erigiéndose como el mejor procedimiento para asegurar la correcta circulación de los trenes. El bloqueo, que se hacía cubriendo el trayecto entre dos estaciones colaterales, se llevaba a cabo mediante la autorización telegráfica o telefónica de una estación hacia la otra y el consentimiento de esta para expedir los trenes, debiendo posteriormente dar la confirmación de la llegada del tren y quedando constancia de dichos acontecimientos mediante la anotación de los mismos en un libro denominado de telefonemas.

Como se ve, este sistema no permitía por tanto expedir ninguna circulación entre dos estaciones mientras no hubiese llegado el tren expedido por alguna de ellas a la otra, es decir el cantonamiento era el trayecto entre estaciones. A finales del siglo XIX se empiezan a llevar a cabo ensayos que dividían los trayectos en secciones instrumentadas de forma que, al paso de los trenes, accionaban las señales de las secciones contiguas dando lugar a que a mitad de la segunda década del siglo XX se adopte el bloqueo automático con circuito de vía de corriente alterna y relés de doble elemento.

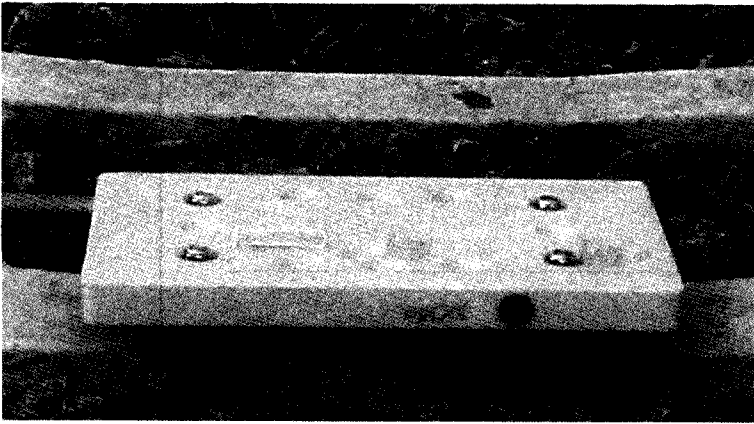
El desarrollo tecnológico de estos sistemas fue tan grande, que entre los años 1923 y 1935 surgieron diversas patentes que a través de circuitos o impulsos eléctricos, pedales y relés, se conseguía el cambio automático de señales y agujas una vez que el tren había rebasado dichos elementos y posteriormente a telemandar varios trayectos desde los puestos de mando con la ayuda del CTC (Control de Tráfico Centralizado).

Hasta aquí se ha dado a conocer el avance tecnológico producido en las instalaciones de control y seguridad, igual se puede hacer con otras instalaciones o material, que gobiernan las circulaciones ferroviarias a lo largo de la historia de este modo de transporte. Sin embargo los mayores requerimientos en capacidad y velocidad en las líneas, la liberalización del ferrocarril y la creación de una red trans-europea, hacía necesario que el transporte ferroviario rompiese las trabas que le impedían su desarrollo, buscando la interoperabilidad entre todos los países de Europa.

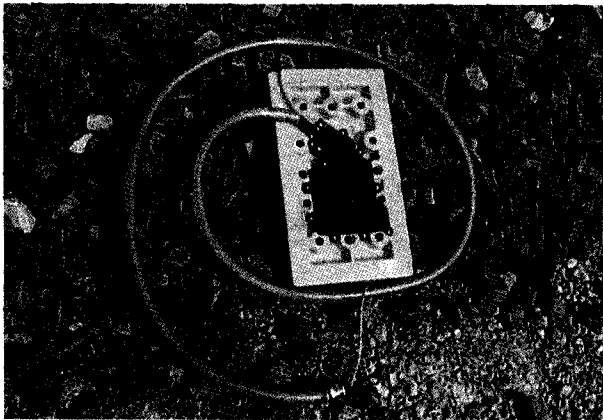


Para poder conseguir ese objetivo, había que salvar las fronteras de todos y cada uno de los países implicados. Así se comenzó a estudiar un único sistema de seguridad y control de las circulations, en Europa existen quince sistemas diferentes, que basándose en las nuevas tecnologías electrónicas existentes en alguno de ellos, diese como resultado un sistema fiable y coexistente con los antiguamente montados en vía.

A finales de 2000 se crea en Europa un *Grupo de Usuarios*, formado por expertos de seis países (Alemania, Francia,



Eurobaliza.



España, Holanda, Italia e Inglaterra), para introducir el sistema ya definido técnicamente en su entorno operacional y compartir las experiencias ya realizadas en esos países.

Estos usuarios, forman lo que se llamará *Grupo de Control*, constituido por expertos tanto de los ferrocarriles implicados (EEIG) como de la industria (UNISIG) naciendo así los estudios unificados para el desarrollo y posterior implantación del ERTMS (*European Rail Traffic Management System*). Dicho grupo, que no es otra cosa que una Agrupación Europea de Interés Económico, es el organismo que está pilotando, como expertos, el proyecto que facilitará la implantación del Sistema Europeo de Protección Automática de Trenes, esperando terminar la experiencia piloto del mismo en todos sus niveles en el año 2005.

El sistema está compuesto por subsistemas que tanto en los equipos de vía como en los embarcados en los trenes han de cumplir una serie de requisitos por sí solos y entre ellos, así como las normas que fijen los parámetros fundamentales y describan las *Especificaciones Técnicas de Interoperabilidad (ETI)*, por lo que la primera etapa de trabajo del Grupo de Usuarios (UNISIG) fue redactar parte de las especificaciones técnicas denominadas *SRS (System Requirements Specification)*, avanzando a continuación en las conocidas como *Form Fit Functional Interface Specification (FFFIS)*, es

decir *especificaciones de las interfaces de comunicación del sistema (Eurobaliza, Euroradio Euroloazo y el Módulo Específico de Transmisión [STM])* donde se definen con detalle tanto los aspectos físicos, como los lógicos de la interface.

Los canales de comunicación utilizados por el ERTMS se relacionan con las unidades funcionales de la parte embarcada que están conectadas con el exterior a través de las FFFIS.

Los canales son los citados anteriormente y su definición es:

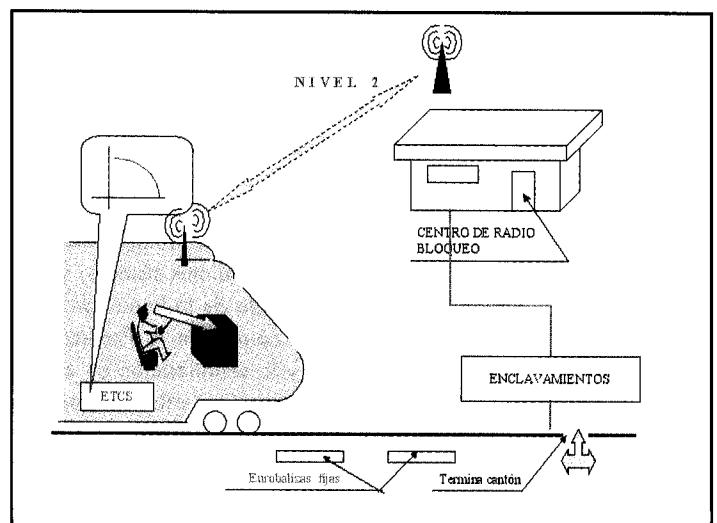
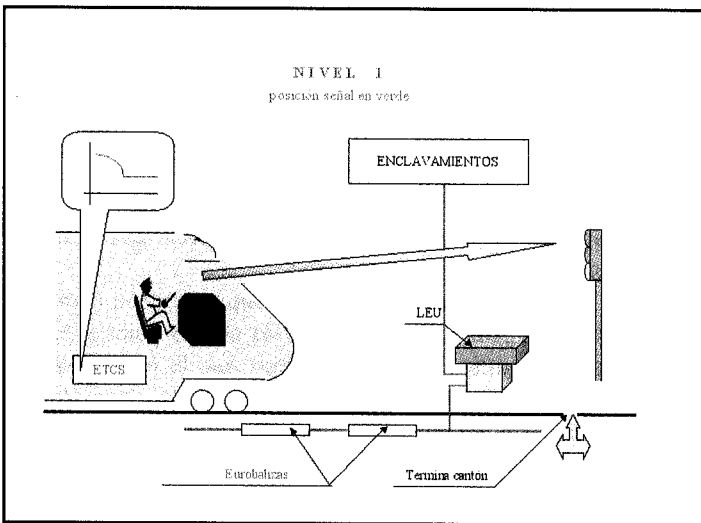
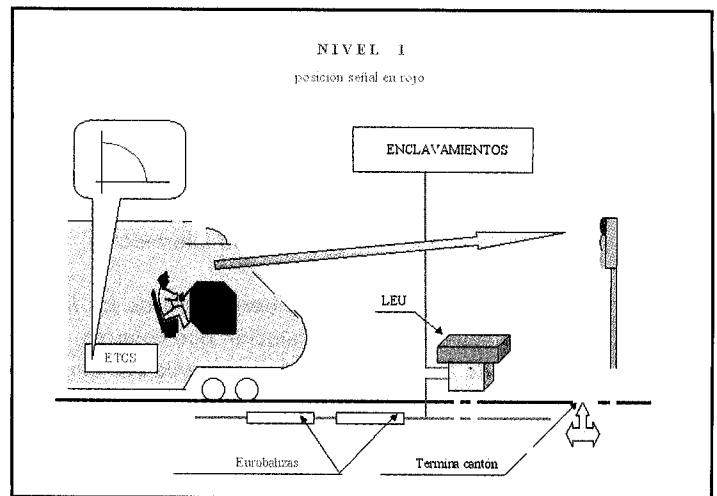
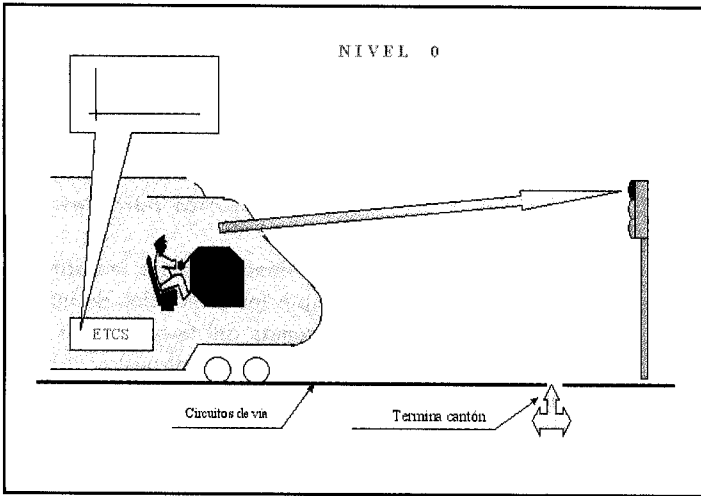
- La Eurobaliza es un medio puntual de comunicación a 4,2 MHz
- El Euroloazo que se utiliza para informar y anticipar a un tren de los cambios en una señal, evitando así procesos de frenado, es un medio semi-continuo de transmisión que se basa en un cable radiante que puede ser leído por la misma antena de la eurobaliza
- Euroradio es también un medio de transmisión pero continuo basado en GSM-R. Dos han sido los rangos de frecuencia de una anchura de 4MHz que se han acordado y asignado para toda la red europea, la comunicación tren - tierra entre los 921 y los 925 MHz y para tierra - tren entre los 876 y los 880 MHz.

En la etapa de transición hasta que todas las líneas estén dotadas de ERTMS otro canal de comunicación desde los sistemas existentes en cada país hacia el sistema común europeo es el conjunto de *Sistemas Específicos de Transmisión STM (Specific Transmission Modules)* que deben traducir los mensajes que proceden de los diferentes sistemas nacionales de lenguaje al Europeo único.

En lo que a la seguridad se refiere había que unificar los diferentes criterios que cada Administración ferroviaria tenía, para lo cual el Grupo de Usuarios, comenzó por fijar el número admisible de fallos en 2×10^{-9} fallos/hora como objetivo global, pasándose a continuación a los aspectos técnicos del sistema.

Dos fueron los aspectos técnicos que van unidos irremediablemente al ERTMS, uno es facilitar al conductor la información necesaria para la mayor seguridad del tren a lo largo de su recorrido y asegurar su seguimiento, por lo que el Grupo de Usuarios determinó una lista de características para dar protección al tren, es decir un subsistema denominado Automatic Train Protection (ATP) de distinto nivel que el del LZB, el otro es el fallo crítico, que es la relación del rebalse de velocidad ante la distancia de seguridad conocida por el sistema.

Así nació otro subsistema de vital importancia para la implantación de este nuevo sistema interoperativo, que realiza el mando y control del tráfico, denominado ETCS o Siste-



ma Común Europeo de Control de Tráfico y que tiene por principal objetivo la seguridad, *manteniéndose* en el sistema embarcado a bordo la *Unidad de Registro Jurídica*.

Otro subsistema, que es *vital* para el desarrollo de la circulación de trenes interoperables, *son las comunicaciones* para poder distribuir y recibir las informaciones y mensajes entre las circulaciones y los puestos de mando, así como entre los sistemas tanto en tierra como embarcados que permiten la circulación, *me estoy refiriendo al sistema de comunicación fija GSM-R*. Está basado en GSM del ETSI y es una red de radiotelefonía móvil para el uso de los ferrocarriles en las líneas transeuropeas, *compuesto a su vez por subsistemas de redes y conmutaciones* que los conforman estaciones bases, controladoras de estas, centro de conmutación de móviles, registros de localización, red inteligente de operación y mantenimiento, etc.

De lo anteriormente expuesto, se deduce que *dependiendo de los equipos de que se disponga tanto en el terreno como los que se embarquen en los trenes o locomotoras, las*

prestaciones son diferentes, añadiéndose además la manera en que se ha de circular tanto en el periodo transitorio como posteriormente por líneas que no estén equipadas con el sistema ERTMS/ETCS que es como en definitiva se denomina el sistema.

Estas posibles situaciones, que se pueden dar por separado o en interrelación, han llevado desde 1996 a estudiar varios niveles de actuación para evitar las incertidumbres que se podían dar si se adoptaba una sola solución, siendo aquellos los siguientes:

- *Nivel 0*: En este caso, *la infraestructura* de las líneas por donde va a circular un tren equipado con ERTMS/ETCS, *no está dotada de dicho sistema*, o está en fase de experimentación, mientras que *los vehículos que circule por ellas si están equipados*, pudiendo incluso llevar a bordo el módulo STM.

En este nivel, la autorización de movimiento del tren, al igual que su localización, ha de autorizarse mediante el

sistema externo que disponga la línea en cuestión, siendo solo la velocidad máxima lo que supervisa el sistema ERTMS/ETCS.

Toda la información Eurobalizas tren y viciversa es rechazada, siendo la única información interpretada a bordo el cambio de nivel al pasar a otra línea que esté dotada del sistema y en consecuencia tampoco en la cabina se verá ninguna información.

- *Nivel 1: Aquí la infraestructura de las líneas, que no identifica a la circulación que controla, está dotada de Eurobalizas y opcionalmente con Eurolazo.*

El control se basa en una transmisión puntual, a través de las Eurobalizas recibiendo de ellas la autorización de movimiento, si bien dicha autorización se genera al borde de la infraestructura. *Los circuitos de vía, enclavamientos y demás sistemas superpuestos de la infraestructura son los encargados de la posición e integridad de las circulaciones.*

- *Nivel 2: En esta aplicación no es necesaria la señalización a lo largo de la infraestructura de la vía, en la que estará montado el medio de transmisión Eurolazo, llevándose a cabo la autorización del movimiento del tren mediante dicho sistema, ya que es obligatorio el equipamiento de la línea con GSM-R.*

El equipo embarcado consta de la Protección Automática del Tren (ATP) y la señalización en cabina, recibiendo esta la información pertinente para conocimiento del maquinista (DMI).

La localización del tren y su referenciado, se consigue a través de las Eurobalizas, *estando la línea controlada por el Centro de Control de Bloqueo por Radio (Rbc), que es encargado de facilitar la información a los trenes, ya que cada circulación es conocida por el sistema mediante un código de identificación individual.*

- *Nivel 3: Este un estado que está a la espera de ver el desarrollo funcional en vía del nivel 2, aunque se sigue barajando la posibilidad de poderlo emplear, por lo que hoy por hoy la continuidad de su estudio está aplazada, conociéndose únicamente en que puede consistir este tercer sistema de circulación de los trenes, pretendiéndose a grandes rasgos en lo siguiente.*

Que la infraestructura no disponga de circuitos de vía ni de contadores de ejes, es decir la integridad del tren es detectada a bordo. La posicionalidad de los vehículos se conoce mediante la Eurobaliza y la autorización de movimiento se daría mediante Euroradio y con equipamiento del sistema GSM-R.

Hasta aquí se ha descrito de forma general como será el funcionamiento del sistema de conducción y señalización para conseguir una Red Europea de Transportes interoperable entre todos los países de Unión Europea, igualmente se han definido los equipos fundamentales para poder llevar a cabo el proyecto definitivo, no obstante existen otros recursos necesarios para llevar a buen fin la interoperabilidad.

Dichos recursos, que provienen de casas industriales diferentes y que han de cumplir los protocolos de interoperabilidad entre los subsistemas del terreno y los embarcados, son los que a lo largo de la infraestructura de las líneas han de hacerse cargo de la maniobrabilidad de los equipos de vía y del control del tráfico en cada trayecto definido, así se pueden montar en el terreno los sistemas de enclavamiento electrónico, los ATP/ATC, los circuitos de vía obligatorios para los Niveles 1 y 2, los centros de bloqueo por radio (RBC), los decodificadores (LEU) que controlan hasta cuatro balizas, el puesto de mando local para los itinerarios (PLO), empleándose en todos los subsistemas los ordenadores con la tecnología 2/3, y todo equipamiento necesario para mantener la máxima seguridad de las circulaciones. Con respecto a la EUROCABINA ésta embarca el subsistema que gestiona los STM conectados al sistema.

Por último hay que hacer hincapié que con anterioridad a la puesta en servicio de los niveles vistos anteriormente el sistema y los subsistemas que lo forman se deben ensayar en laboratorio, a través de simuladores, certificar y validar en el ámbito Europeo asegurando la compatibilidad entre instalaciones a lo largo y ancho de la red transeuropea a través del cumplimiento de las especificaciones técnicas (TSI), certificando la conformidad a los equipos de la infraestructura y de los embarcados que han de cumplir con las especificaciones de la directiva de Interoperabilidad.

El trabajo realizado por UNISIG a lo largo de los dos últimos años a permitido la creación de un conjunto completo de documentos para la certificación de constituyentes y subsistemas ETCS, al mismo tiempo que se ha encargado de redactar la documentación referida a la seguridad, que una vez revisada se incorporará a la especificación técnica de Interoperabilidad (TSI).

Por lo que refiere a las especificaciones operacionales se incorporarán más tarde a dicha normativa, asegurando que los trenes se conduzcan de acuerdo a criterios comunes a lo largo de la red dejando abiertas las fronteras al pasar de un país a otro. ■

Referencias:

- Revistas: Vía Libre y Tecnirail.
- Seminario ERTMS de 2002.
- El Camino del Tren. 150 años de Infraestructura Ferroviaria.