



# Los sistemas de señalización en el ferrocarril: su evolución



**Fernando Montes**

Doctor Ingeniero del ICAI. Promoción 1965. Ha sido Director Técnico en Dimetronic Signals y Director del Proyecto ERTMS dentro del grupo Invensys. Actualmente es miembro del IRSE (Institution of Railway Signal Engineers) y profesor en el Master de Sistemas Ferroviarios del ICAI.

**Comentarios a:**  
[comentarios@icai.es](mailto:comentarios@icai.es)

¿Qué es la señalización en el ferrocarril? ¿Cómo empezó? ¿Qué papel juega en el transporte ferroviario?

Pocos viajeros de tren se percatan del papel fundamental que desempeña **el sistema de señalización**, y como hoy se le empieza a designar en Europa, **sistema de mando y control**, capaz de proporcionar tanto seguridad en la circulación de los trenes como su regulación, optimizando la capacidad de transporte de las líneas.

La principal función-objetivo del ferrocarril es el transporte de viajeros y/o mercancías. Es decir, **transportar el mayor número posible de viajeros o mercancías por hora y en el menor tiempo posible**, función que debe tener muy en cuenta la **seguridad**. Esta función-objetivo está influida por muchos factores ferroviarios; entre ellos, y de manera especial, destacan los sistemas de señalización, esto es, los sistemas de mando y control que

proporcionan la seguridad en las circulaciones.

Este artículo trata de exponer de manera sucinta la evolución de la señalización, las causas más importantes que han motivado esta evolución, la situación actual de los sistemas de mando y control, y su posible evolución futura. Haré una especial referencia a la situación en nuestro país y, cómo no, a la participación de los ingenieros del ICAI en este proceso.

El nacimiento de la señalización está estrechamente unido a la aparición del ferrocarril. Desde un primer momento fue necesario disponer de unos "policías ferroviarios" (guardavías) que, conociendo dónde estaban los trenes, autorizaran su puesta en circulación. Pero la creciente demanda de este medio de transporte, y el consiguiente aumento del número de trenes en circulación, reveló la insuficiencia de este sistema: el guardavías,

Figura 1. Señales



entonces, debía atender simultáneamente a varios trenes.

### Las señales

Casi simultáneamente aparecen las señales a pie de vía. Primero son meras banderas. El color rojo indica "alto" o parada. Hoy día se conservan en el RGC (Reglamento General de Circulación) los banderines de parada y marcha de los trenes. Hacia 1840 se sustituyen por discos maniobrados a pie de vía, evolucionando a las señales mecánicas poco tiempo más tarde.

La velocidad de los primeros trenes era reducida y su peso no muy grande, por lo que la distancia de parada necesaria para detener al tren era más bien corta. El distanciamiento entre trenes (separación para mantener la seguridad) se hacía por horario (separación por tiempo entre trenes por el cumplimiento del libro horario). Por entonces el tráfico ferroviario no estaba congestionado, y los viajes se hacían durante el día.

Para responder a las expectativas de desarrollo creadas por el ferrocarril, fue necesario realizar y poner en circulación más trenes, con velocidades más altas, más largos y con mayor peso. Los procedimientos existentes para controlar y parar un tren fueron insuficientes y fue necesario crear nuevas señales que respondieran a los nuevos requerimientos de seguridad y control.

Así surgen las primeras señales mecánicas (Figura 1 a y b), situadas a pie de vía en un **poste fácilmente visible** por los maquinistas y por el factor de circulación. La primera señal fue el "**Disc and Crossbar**", formada por un disco en la parte superior que cuando se presenta de frente a la marcha, indica alto; y cuando se gira, muestra una pletina de forma rectangular indicando vía libre. La señal disponía también de un farol de aceite para ser

vista por la noche. La señal de disco se utilizó por los FF.CC. españoles hasta final de siglo y todavía hoy existen líneas que mantienen esta indicación.

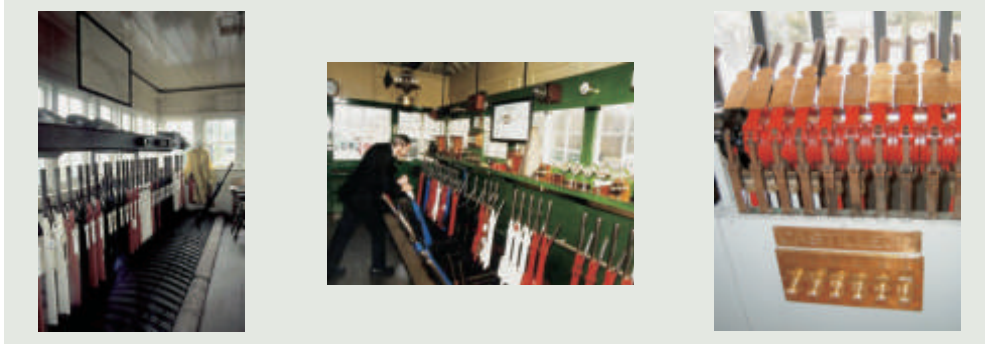
En el año 1841 aparece un nuevo tipo de señal, el **semáforo** (Figura 1 c). Esta señal consiste en un poste de aproximadamente cuatro metros de alto, con un brazo que extendido en su posición vertical significaba vía libre, inclinado 45° indicaba precaución, y horizontal indicaba parada. Para poder circular por la noche y aumentar el número de trenes por la línea, el semáforo iba equipado en un lateral con unos cristales, detrás de los cuales se colocaba un farol de aceite. La primera instalación de este tipo se realizó por la Compañía M.Z.A. en Mataró perteneciente a la Red Catalana (Semáforos GRSC).

Desde un primer momento, las condiciones de funcionamiento seguro de los equipos de señalización caracterizaron su diseño. Las señales se concibieron de forma que el aspecto más restrictivo, parada, correspondía con la posición del brazo "caído" a su posición horizontal, es decir, que si algún elemento se rompía, la acción de la gravedad lo llevaba a la posición horizontal, correspondiente al estado de mayor seguridad. Cuando esta condición no estaba claramente garantizada, se ponían contrapesos que forzaban el movimiento a la posición que indicaba una condición más restrictiva.

De la misma manera en que se configuran las primeras señales, surgen los primeros accionamientos manuales de los desvíos. A pie de aguja se disponía de una palanca para cambiar la posición del desvío: el guardagujas se encargaría de maniobrar estas palancas para poner a continuación la señal correspondiente en su aspecto de marcha o vía libre.

Como consecuencia de los numerosos puestos de guardagujas existentes en una

Figura 2. Enclavamientos



misma estación, empezaron a aparecer dificultades a la hora de actuar sobre los cambios, y al mismo tiempo autorizar la salida de los trenes. Para racionalizar la explotación, se toma la decisión de concentrar las palancas de maniobra de los desvíos en una **cabina de concentración de palancas** y disponer todas las señales juntas en un solo **punto destacado de la estación**. Desde este lugar, una sola persona podía tener fácil visibilidad de la zona que era necesario controlar, pudiendo de tal modo maniobrar las agujas y las señales.

Esta solución, si bien reducía el problema al atender un solo guardagujas toda la estación, dificultaba la labor de los maquinistas, puesto que les resultaba difícil saber a qué vía pertenecía cada señal. Además, el guardagujas o agente debía seguir una secuencia clara, denominada **procedimiento**, en la maniobra de los cambios y señales que autorizaba cada ruta.

El aumento de las circulaciones, las perturbaciones y las incidencias que en el día a día surgían, daban lugar a que no siempre se siguieran los procedimientos establecidos y a que se cometieran errores en la secuencia de operación, dando lugar a **situaciones peligrosas y amenazas contra la seguridad** que en algunos casos llegaron a convertirse en accidentes.

### Movimiento de trenes en las estaciones: los enclavamientos

Las dificultades en la operación de señales y desvíos, dio lugar a la búsqueda de soluciones para relacionar físicamente las posiciones del desvío con las señales que protegen o autorizan las rutas sobre el mismo. En otras palabras, **enclavar la posición del desvío con la autorización de la señal**. En principio esto se realiza a pie de aguja, y posteriormente, dentro de la cabina de concentración de palancas con más facilidad y mayores posibilidades.

Durante los últimos años del siglo XIX se empiezan a instalar en España los primeros enclavamientos. La cerradura Bourées es una muestra del enclavamiento local entre desvío y señal

En el año 1890, la ley inglesa establece la obligación de instalar enclavamientos de protección en todos los desvíos. Aparecen los primeros enclavamientos de tipo mecánico de transmisión rígida.

**El enclavamiento constituye un elemento vital para la seguridad al impedir la formación de rutas y la autorización de movimientos entre trenes con itinerarios conflictivos.**

La posibilidad de tener tanto las palancas de maniobra de los desvíos como las señales concentradas en una cabina, permitió extender el concepto de enclavamiento no solamente al conjunto de señales-cambio de un desvío sino al conjunto de las relaciones entre desvíos y señales de una estación, aumentándose la seguridad en el establecimiento de una ruta y por consiguiente, en el movimiento de los trenes.

**El enclavamiento relaciona la posición de los aparatos con la indicación de las señales, evitando de forma segura que pueda abrirse una señal (autorizarse un movimiento a un tren) si existe ya otra ruta autorizada que pudiera implicar un peligro de colisión entre trenes (existe la amenaza de un accidente).**

A las palancas de maniobra de cambios y señales se añadieron otras **manetas de itinerarios** que enclavaban unas con otras, impidiendo que se pudieran establecer otras rutas **incompatibles**. Surgen así **los enclavamientos mecánicos** (Figura 2 a) que a través de un conjunto de barras verticales (palancas de cambios y señales) y horizontales (manetas de itinerarios) sobre las que se disponían una serie de entalladuras y levas, **conseguían enclavar un itinerario haciéndolo**

**incompatible** con otros que pudieran suponer una amenaza de colisión entre trenes circulando.

En España, a partir del año 1880, se instalan enclavamientos mecánicos de diferentes tipos –Scheid-Bachmann, Mackencia, Henning, Siemens– que se diferencian, entre otras características, por el medio de enviar las órdenes desde la cabina hasta el aparato de vía o señal. Aparecen enclavamientos mecánicos de transmisión funicular por cable de acero (Figura 2 b), de transmisión hidráulica (Figura 2 c), tipo Bianchi Servetazz, o de transmisión hidroneumática.

Estos enclavamientos estaban ubicados en torretas elevadas desde donde se divisaban todas las agujas y señales que el enclavamiento controlaba. El guardagujas o agente de señales había de tener visibilidad para observar la zona y saber cuándo debía configurar cada ruta.

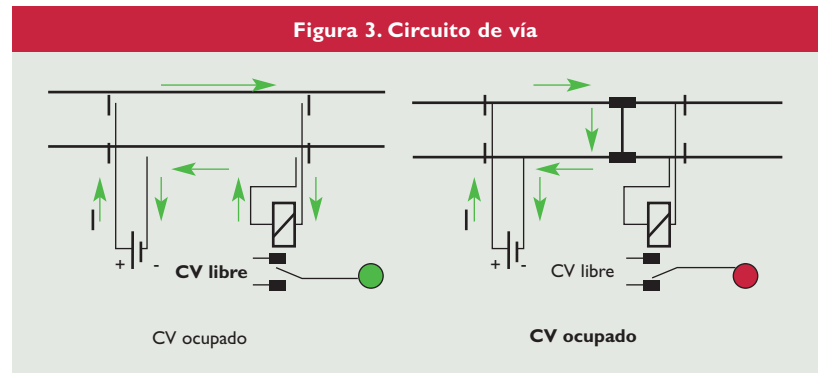
En este proceso, la localización del tren se tenía que hacer visualmente. En días con niebla –o simplemente por la noche– era bastante difícil saber dónde estaban los trenes y actuar en consecuencia sobre los mandos de los enclavamientos. Surgen nuevos riesgos de accidentes.

La aparición de los circuitos de vía permite obtener una información precisa de la localización de los trenes.

### La detección del tren: el circuito de vía

En los albores del siglo XX comienzan a realizarse los primeros ensayos con los llamados **circuitos de vía**, como aplicación del descubrimiento de la corriente eléctrica. Los carriles empiezan a ser considerados parte de un circuito eléctrico (Figura 3 a)). La presencia del tren, a través de sus ejes, cortocircuita esta corriente. La ausencia de corriente produce la caída de un relé en el extremo opuesto (Figura 3 b). Esta falta de corriente es indicativa de la presencia del tren en la sección correspondiente.

Es el momento de señalar un principio de seguridad básico en el ferrocarril. El diseño realizado bajo este principio de funcionamiento recibió el nombre de **Fail-Safe**, “seguro en caso de fallo”: si por cualquier avería no llega corriente al relé, éste se cae. Este principio ha sido y es fundamento trascendental de la seguridad en el diseño de los equipos y sistemas de señalización. El circuito de vía supuso una gran innovación en todos los sistemas de señalización.



Por una parte, los enclavamientos dispusieron de una información precisa y segura de la situación de los trenes; y por otra, las instalaciones de bloqueo entre trayectos permitieron igualmente mover trenes con mayor frecuencia y seguridad.

### Movimiento del tren entre estaciones: el bloqueo

Desde un primer momento, además de mover los trenes dentro del ámbito de la estación, fue necesario mover trenes de una estación a otra. Inicialmente, como se ha dicho, se expidieron los trenes de acuerdo con unos horarios, quedando la línea “**bloqueada**” para el paso de trenes en ese periodo de tiempo. Este tiempo se establecía con márgenes importantes en los tiempos de recorrido con objeto de asegurar la llegada del tren. Al aumentar el tráfico se pasó a enviar trenes **separados en distancia**. Ambas soluciones presentaron problemas de seguridad tan pronto como se producían ligeros desajustes en el programa establecido.

El siguiente paso fue el uso del **bastón tes-tigo o token**. Este bastón era único por trayecto y no podía existir ninguna circulación de tren si el maquinista o jefe de tren no estaba en posesión de este bastón. El maquinista lo recibía en la estación de origen y lo tenía que entregar en la estación de llegada, y así sería utilizado por el próximo tren en dirección contraria. De esta forma **se garantizaba el uso del bloqueo** por un único tren. La necesidad de enviar circulaciones seguidas en la misma dirección hizo que las condiciones de seguridad del sistema estuvieran muy comprometidas.

El invento del telégrafo y su aplicación al ferrocarril permitieron mejorar la seguridad. Se instalaron cables eléctricos entre estaciones y se pudo establecer una comunicación tipo Morse codificada. El paso del tren por las estaciones y las autorizaciones de marcha

se indicaban por medio de sonidos codificados. Este sistema se completó con un **equipo de bloqueo** eléctrico tipo galvanométrico con dos cuadrantes, situado uno en cada estación.

El procedimiento de expedición de un tren era semejante al de petición-concesión de vía existente en los bloqueos actualmente.

Los equipos estaban conectados por un hilo conductor tendido entre estaciones por el que circulaba corriente continua. En su posición de reposo, sin corriente en el hilo conductor, la aguja del galvanómetro se situaba en su posición vertical hacia abajo, indicando línea bloqueada o cerrada.

El Jefe de Estación (JE) de la estación expedidora, a través de toques de timbre, **pedía autorización** a la estación receptora para enviar un tren.

El Jefe de Estación (JE) de la estación receptora **concedía autorización**, confirmándolo con toques de timbre y poniendo la aguja del galvanómetro en el cuadrante derecho, lo que significaba "**línea concedida**". En el equipo de bloqueo de la estación expedidora, la aguja se movía al cuadrante derecho ("**línea concedida**") confirmando que podía enviar el tren. El JE de esta estación autorizaba la salida y cuando comprobaba que todo el tren estaba en línea, lo confirmaba con toque de timbres, y situaba la aguja del galvanómetro en el cuadrante izquierdo indicando "**tren en la línea**".

En la estación receptora, la aguja del equipo de bloqueo se movía al cuadrante izquierdo, confirmando la existencia de "**tren en línea**". El ciclo se cerraba cuando el JE de la estación receptora veía todo el tren completo, farol de cola, y volvía a poner la aguja en la posición estable (vertical hacia abajo), indicando **línea bloqueada** o cerrada.

Para asegurarse de que todo el tren había llegado completo al destino, fue necesario establecer un procedimiento de reconocimiento positivo del último vagón, es decir verificar lo que se conoce como **integridad del tren**. Así se reglamentó que en el último vagón se pusiera un farol rojo. El jefe de estación debía comprobar la existencia de este farol antes de notificar que el tren había llegado.

### El bloqueo telefónico

Tras el telégrafo llegó la era del teléfono. Todo el proceso relacionado con el telégrafo se simplificó, y mediante el establecimiento

de **procedimientos por textos escritos (telefonemas)** de petición/concesión y llegadas de trenes que se transmitía por teléfono, se reguló el **bloqueo telefónico en vía única**. Este tipo de circulación está operativo en la actualidad en muchas líneas españolas y extranjeras de poco tráfico, y se sigue utilizando como un procedimiento de socorro o degradado para expedir trenes en caso de una avería importante en el sistema de señalización.

### El bloqueo eléctrico manual

El bloqueo telefónico en vía única evolucionó al aumentar el número de circulaciones. Así dio paso al **bloqueo eléctrico manual (Figura 4 a)**, sistema en el cual la intervención del JE se reducía y simplificaba por actuaciones y procedimientos eléctricos basados en relés de seguridad en las estaciones o puntos de cruzamiento, siguiendo de forma automática un procedimiento similar al descrito anteriormente. La realización automática eliminó incidencias, algunas con riesgo de accidente. Sin embargo aún se requería la confirmación de la llegada del tren completo por el Jefe de Estación.

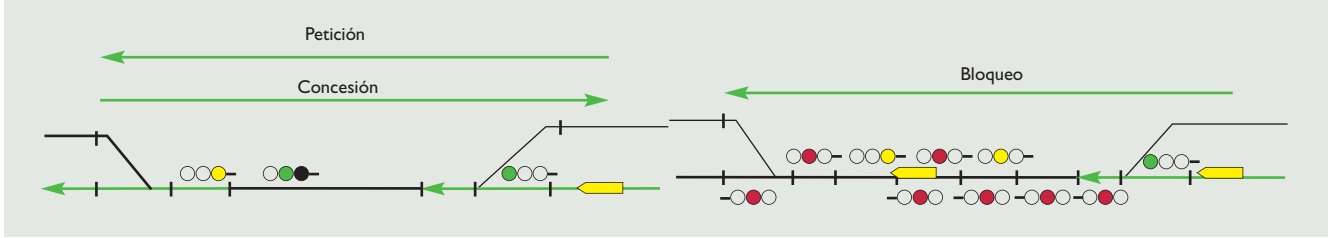
En los bloqueos eléctricos manuales, las entradas a las estaciones se protegieron y se siguen protegiendo hoy día instalando la **señal de entrada**, a su vez protegida por otra señal informativa, **señal avanzada**, situada por lo menos a la distancia requerida de frenado para parar delante de la señal de entrada. Su misión consiste en informar al maquinista o jefe de tren de cómo se encuentra la señal de entrada. Es decir, cuando la señal de entrada se encuentra en rojo, la señal avanzada está en amarillo (anuncio de parada), y cuando la señal de entrada está en verde, la señal de avanzada se presenta del mismo color. La necesidad de informar al maquinista de situaciones especiales como el paso por vía desviada, requirió un aspecto más de **aviso de precaución**.

### Bloqueo automático en vía única

La incorporación de los circuitos de vía en el trayecto dio lugar al **bloqueo Automático en vía única** (Figura 4 b) en el cual la intervención del JE se suprime completamente. Gracias a la existencia de los circuitos de vía y a la detección positiva y segura del tren, se sabe si todo el tren ha llegado completo. El mando y organización del tráfico se puede realizar desde un puesto central remoto, reduciéndose los costes de



Figura 4. Bloqueos



operación y aumentando la seguridad del sistema.

El trayecto entre estaciones se divide en cantones. Cada cantón está protegido por una señal de tres aspectos. El tren, al moverse, ocupa una sección de vía o cantón, formado por uno o más circuitos de vía, y cambia automáticamente la señal que protege dicho cantón a rojo.

Inicialmente estas líneas estuvieron equipadas con señalización luminosa o señalización semafórica (señales tipo mecánico) en las que el brazo era accionado por un motor en función de la señal eléctrica que llegaba de los circuitos de vía.

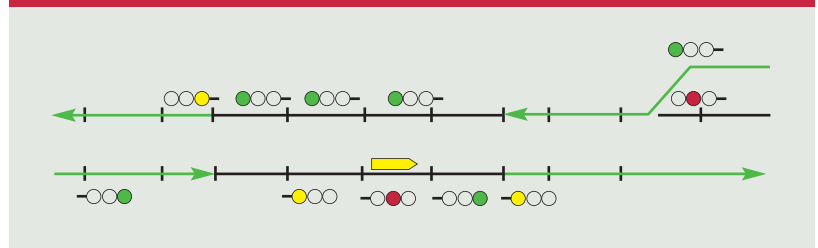
El bloqueo automático en vía única es un sistema de aplicación generalizada en líneas de vía única con cierta densidad de tráfico, y pretende eliminar o reducir el número de agentes de circulación en las estaciones y así reducir costes. La seguridad está garantizada por los equipos de vía, circuitos de vía, equipos de bloqueo y enclavamientos en las estaciones.

La aplicación de equipos de bloqueo y enclavamientos basados en microprocesadores, y la posible utilización de la radio, pueden hacer atractivas estas instalaciones por su coste reducido.

La posible utilización de la radio con equipos de enclavamientos electrónicos centralizados o descentralizados en los que se incorpore la lógica de bloqueo, y comunicados por radio con equipos de seguridad a bordo, tipo ETCS (European Train Control System), pueden permitir reducciones importantes de costes tanto en la instalación como en la explotación líneas existentes de muy pequeño tráfico y abren un camino atractivo para la supervivencia de estas líneas.

**El sistema ERTMS (European Train Management System) nivel 3, es un camino que muchas empresas en Europa ya han iniciado para su aplicación a estas líneas. Su utilización dependerá de tres factores: la obtención de procedimientos sencillos y económicos en la utilización de los equipos**

Figura 5.



**ERTMS, la viabilidad de sistemas que confirman la integridad del tren, y la disponibilidad y fiabilidad del sistema de radio.**

**El bloqueo automático en vía doble**

**LA SECUENCIA VERDE, AMARILLO, ROJO. LÍNEAS DE 160 KM/H**

En aquellos trayectos en los que la densidad de circulación aumentó de modo considerable fue necesaria la instalación de una segunda vía. Esto dio lugar a sistemas de bloqueo independientes en cada vía (**bloqueo automático en vía doble**). Estos sistemas de bloqueo fueron dotados de una señalización luminosa lateral en la que se estableció una **secuencia de tres aspectos (colores): rojo, amarillo, verde**. Un tren se encuentra protegido por la distancia existente entre señales que se corresponde con la distancia de frenado necesaria, desde la máxima velocidad a la que el tren puede circular por ese punto.

Evidentemente, esta distancia depende de la capacidad de frenado de cada tren. La seguridad en la circulación se garantiza limitando la velocidad máxima de circulación de cada tipo de tren. Así aparecen los diferentes tipos de tren que en definitiva son trenes con diferentes capacidades de frenado. A menor capacidad de frenado corresponde una menor velocidad máxima.

**LA SECUENCIA VERDE, VERDE INTERMITENTE, AMARILLO Y ROJO. LÍNEAS DE 220 KM/H**

Por estas líneas se circuló inicialmente a una velocidad máxima de 160 km/h. Nuevamente el incremento de la demanda y la

Figura 6. Alta velocidad



Figura 7. Sistemas ERTMS en nivel 2



competitividad entre los sistemas de transporte requirió aumentar la velocidad de los trenes a 220 km/h.

En las líneas seleccionadas para circular a 220 km/h fue necesario adaptar el bloqueo automático ya establecido a 160 km/h, de modo que se pudiese mantener una distancia de frenado suficiente para que los trenes que circularan a 220 km/h fueran capaces de parar ante una señal en rojo de peligro. Esto obligó a crear en España un nuevo aspecto: verde intermitente.

El bloqueo automático en vía doble pasa a tener cuatro aspectos: **verde, verde intermitente, amarillo y rojo.**

### La nueva generación de los equipos de mando y control para el ferrocarril

#### Las nuevas necesidades

La evolución del transporte ferroviario ha estado impulsada por dos requerimientos importantes:

- Transportar viajeros en el menor tiempo posible entre dos ciudades.
- Transportar el máximo número posible de viajeros en horas punta en las grandes ciudades.

Es decir, **Alta Velocidad** entre grandes núcleos de población (Figura 6 a, b y c) y gran

capacidad de transporte, es decir; **intervalos pequeños** dentro de los grandes núcleos de población.

El ferrocarril ha necesitado una nueva e importante etapa de desarrollo para hacer frente a este nuevo reto, que lógicamente ha afectado en gran manera a los sistemas de mando y control (sistemas de señalización).

Por una parte la señalización lateral empezó a no ser suficiente debido a:

- La limitación de la capacidad de atención y respuestas de los maquinistas a velocidades superiores a los 200 km/h.
- Las nuevas tecnologías utilizadas en los sistemas de tracción y la demanda de gran potencia requerida, que afectaron al funcionamiento de los equipos de señalización existentes hasta ese momento.

Fue necesario desarrollar sistemas de control y mando que asistiesen a los propios maquinistas en la conducción segura de sus trenes.

#### La señalización en cabina

Estas exigencias dieron lugar al desarrollo de la **señalización en cabina**: aparecen en primer lugar **los sistemas de ATP (Protección Automática de los Trenes) puntuales**; tales como el INDUSI en Alemania o el ASFA (Anuncio de Señales y Frenado Automático) en España.

Estos sistemas envían a través de balizas situadas en la vía, a pie de señal y en una posición previa a la señal (normalmente unos 300m antes), la información correspondiente al aspecto de la señal en cada momento. El maquinista debe reconocerla y actuar consecuentemente. En caso de ausencia de actuación, se le aplica automáticamente el freno de emergencia.

El ASFA está contribuyendo en gran medida a mantener un alto nivel de seguridad en nuestro ferrocarril. Ha seguido una evolución que le ha permitido responder a los

requerimientos de las líneas de 200 km/h, y luego a los de las líneas AVE como sistema de respaldo.

Recientemente ADIF/RENFE ha sacado las especificaciones del ASFA digital, basado en tecnología de microprocesadores, que lo convierte en un sistema puntual de supervisión continua.

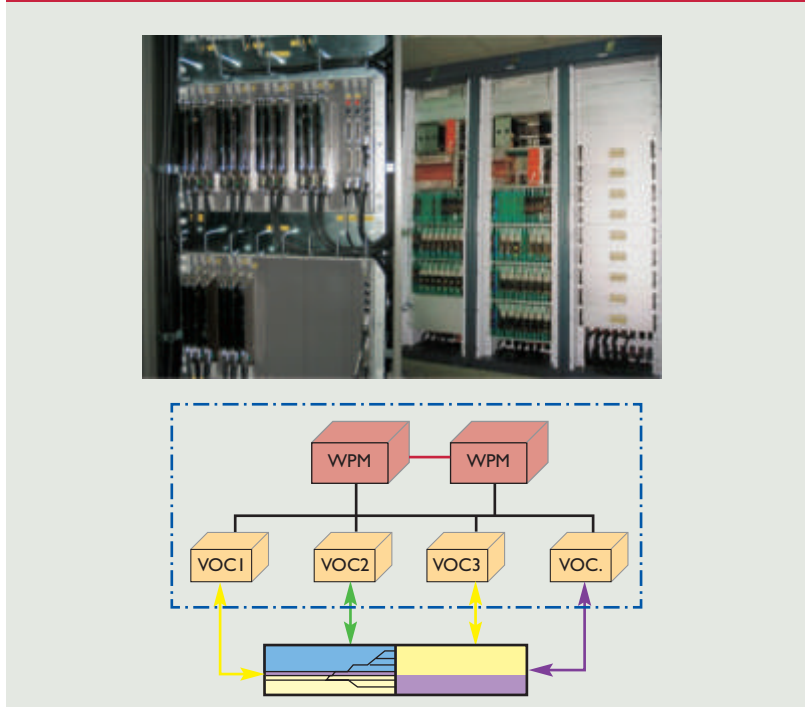
La Alta Velocidad (velocidades superiores a los 250 km/h) requiere **sistemas de señalización en cabina de tipo continuo o semicontinuo**. EL TVM (Transmission Voie Machine) se instala en Francia y el LZB (Linienzugbeeinflussung) en Alemania y en la línea del AVE Madrid-Sevilla en el año 1992. El maquinista recibe información continua en la cabina de la situación del tren precedente, de la velocidad a la cual debe conducir y de las condiciones de la vía. En caso de peligro, si no atiende las indicaciones que el sistema le transmite, se aplica el freno de emergencia. Las señales laterales empiezan a no ser necesarias.

Debido a la gran variedad de sistemas de ATP que aparecen en Europa y por la necesidad de racionalizar y facilitar la interoperabilidad de trenes entre diferentes países y sistemas, se llega al **sistema ERTMS tanto en el Nivel 1**, comunicación por balizas, **como en el Nivel 2 (Figura 7)**, comunicación por radio GSMR, especificado por la UE para todas las líneas de Alta Velocidad (300km/h). Por extensión, ha sido especificado también para su aplicación a las líneas convencionales. Nuevamente la participación de los técnicos españoles ha contribuido en gran manera a la consecución del ERTMS. Especial mención merece la aportación del Laboratorio de Interoperabilidad del CEDEX en la homologación y puesta en servicio del ERTMS a nivel europeo.

Es importante destacar que en el área de los trenes metropolitanos, caracterizados por velocidades en el entorno de los 100 km/h e intervalos entre trenes típicos de 100 segundos, aparecieron los sistemas de ATP continuos (Automatic Train Protection) y ATO (Automatic Train Operation) casi simultáneamente con el desarrollo de la Alta Velocidad. Más recientemente se han creado los sistemas CBTC (Communication Based Train Control) basados en comunicación por radio, con el objetivo de proporcionar intervalos de unos 70 segundos entre trenes al mismo tiempo que tratan de reducir costes.

Es importante mencionar la tecnología de trenes Driverless (sin conductor) que empieza a ser un camino de futuro en el trans-

Figura 8. Enclavamientos electrónicos



porte en las grandes ciudades. Los sistemas de aplicación a metropolitanos, por su importancia y extensión, podrían ser objeto de otro artículo exclusivo.

### Los nuevos sistemas de detección de tren

#### CIRCUITOS DE VÍA MODULADOS Y CODIFICACIÓN DIGITAL.

Como hemos indicado anteriormente, la Alta Velocidad, la electrificación a 25Kv, y las mayores potencias empleadas en los trenes, generan señales eléctricas que en algunas circunstancias pueden dar lugar a interferencias eléctricas. Para reducir estas amenazas se han desarrollado nuevos circuitos de vía que utilizan señales con diferentes tipos de modulación en frecuencia y con identificación digital, que reducen a niveles mínimos y aceptables la posibilidad de un mal funcionamiento. Al mismo tiempo, las nuevas tecnologías aplicadas de microprocesadores permiten la incorporación de importantes facilidades para su ajuste y mantenimiento. Debo hacer mención aquí la participación de la tecnología española en los últimos desarrollos de estos equipos.

#### CONTADORES DE EJES

Paralelamente a la evolución de los circuitos de vía, se han desarrollado sistemas de



contadores de ejes para la detección del tren. A través de unos detectores de ruedas se cuenta el número de ejes que entran y salen por cada sección. El balance tiene que ser cero para confirmar que el tren ha liberado tal sección. Estos sistemas, independientes de los carriles, permiten secciones de longitud más larga y eliminan algunos de los problemas de interferencias. El campo de aplicación de estos equipos puede ser complementario

al de los circuitos de vía y su uso depende en gran medida del tipo de aplicación y de las especificaciones de las compañías ferroviarias.

## Los enclavamientos

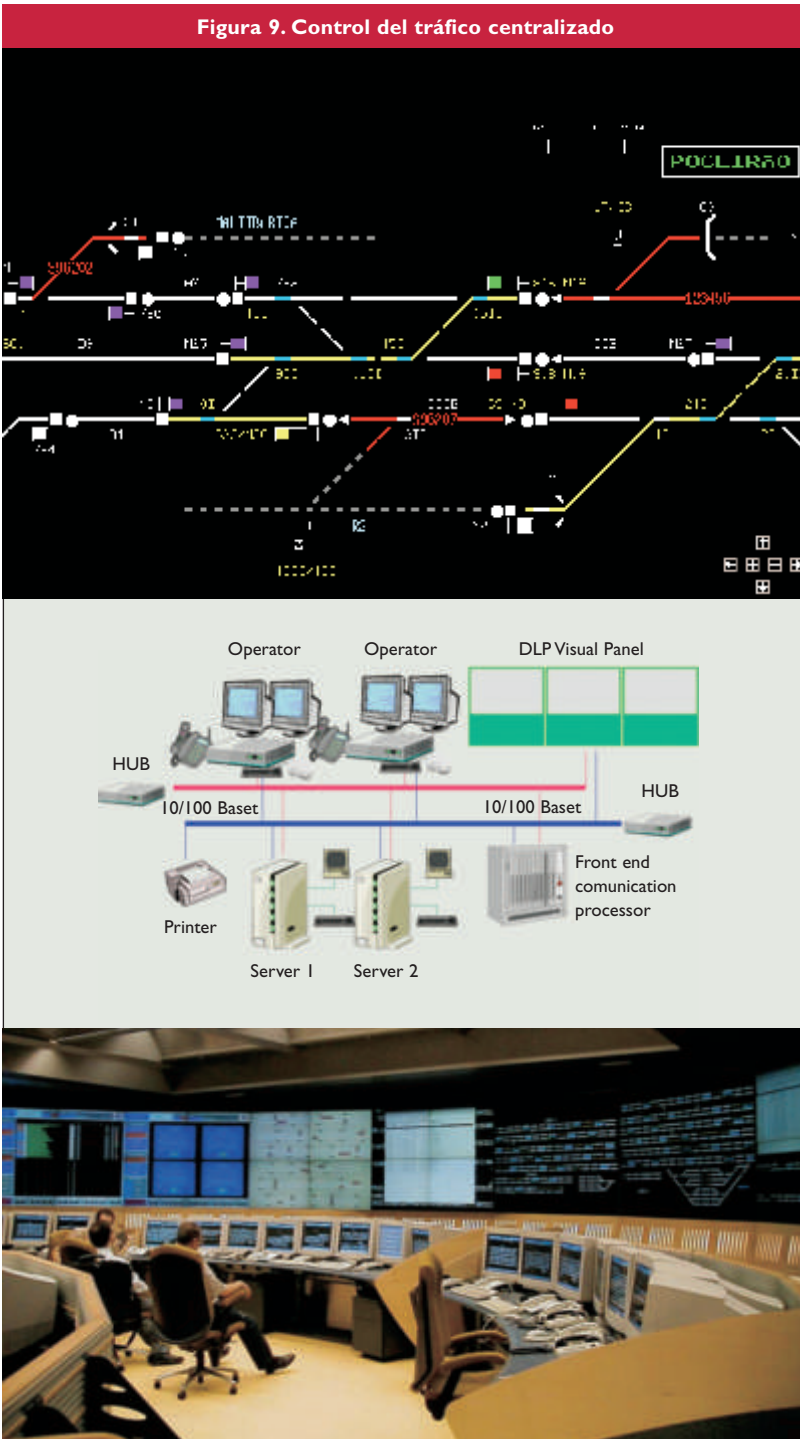
La conjunción de los circuitos de vía y la llegada de la tecnología de relés de seguridad dieron lugar a los primeros enclavamientos eléctricos mandados desde una mesa situada en el puesto de mando local. Estos enclavamientos, al mismo tiempo que permitían el control de estaciones mucho más grandes, reducían el espacio necesario y mejoraban la seguridad de la instalación. El Jefe de Circulación conocía dónde se encontraban cada uno de sus trenes y en consecuencia podía establecer con precisión sus itinerarios.

La técnica de los enclavamientos siguió evolucionando y pasó de sistemas llamados de cableado libre a sistemas geográficos o modulares aptos para estaciones de gran tamaño, en las que el diseño del enclavamiento intentaba seguir la configuración geográfica. De este modo fue posible garantizar con mayor facilidad la seguridad de la instalación. Los enclavamientos como los de Orense, Chamartín y Portbou, son ejemplos de esta tecnología.

De la técnica de los enclavamientos geográficos y siempre buscando reducción de espacio y coste, surgen los enclavamientos electrónicos, basados en ordenadores y microprocesadores. El enclavamiento SSI desarrollado en el Reino Unido por la entonces British Railway fue el primero, a comienzos de los años 80, en instalarse en Inglaterra. A finales de esta década y principios de la siguiente se instala en España el enclavamiento ENCE de la casa Alcatel. A partir de ese momento, prácticamente todos los enclavamientos que se especifican son de este tipo. El enclavamiento Westrace de la casa Dime-tronic (Figura 8 b)) o el enclavamiento Ebi-lock de Bombardier (Figura 8 a)) se convierten en equipos conocidos y de uso generalizado.

Los desarrollos tecnológicos basados en sistemas de microprocesadores, aplicados a funciones de seguridad, son la base de estos equipos. El diseño de las aplicaciones específicas de los nuevos enclavamientos se realiza por software. Herramientas para la **preparación de datos** cambian el modo de trabajar de los ingenieros de señalización. Y así aparecen nuevas normas CENELEC como la EN

Figura 9. Control del tráfico centralizado



50216, 50218, 50219 de diseño para sistemas electrónicos de seguridad, que son obligatorias para todos los ferrocarriles en la EC.

Es importante destacar la participación de técnicos españoles en el desarrollo de estos equipos, como en el caso del enclavamiento Westrace, y el destacado papel que en el desarrollo de estos productos juegan los ingenieros españoles, entre los cuales un número representativo pertenece a nuestra Escuela del ICAI.

### **El CTC (Control de Tráfico Centralizado)**

De lo descrito hasta ahora se desprende fácilmente la necesidad de tener una visión de conjunto de la posición de los trenes, así como de la disposición en cada instante de los desvíos y las rutas establecidas, para poder actuar sobre los mandos de señales e itinerarios y regular adecuadamente el tráfico en una zona específica.

En un primer momento fueron las mesas de mando locales: la cabina de concentración de palancas es un primer intento de mesa de mando local.

Al aparecer, los circuitos de vía y los enclavamientos eléctricos, las mesas de mando y control se reducen en tamaño, son accesibles por un solo operador que conoce dónde están todos sus trenes y que, además, puede establecer las rutas que necesita en cada momento.

Al aumentar el tráfico, las mesas de mando local empiezan a tener limitaciones. Carecían de información acerca de la situación de los trenes en el trayecto entre estaciones, dificultando la preparación de los itinerarios de entrada y salida de los trenes. Este problema se intentó soslayar llevando con hilos paralelos la información de los primeros circuitos de entrada y salida a la estación. Esto resultaba caro y al mismo tiempo adolecía de importantes limitaciones técnicas a causa de la longitud de los hilos requeridos.

La aparición de la electrónica y la posibilidad de transmitir mensajes en formato serie entre diferentes puntos utilizando un solo cable facilita la transmisión de información desde puntos o concentradores remotos.

Se instalan los primeros CTC que permiten el mando y la regulación de un área extensa desde un único punto.

EL CTC es parte integrante del sistema de mando y control. Hoy no se puede concebir el funcionamiento de un FF.CC. si no dispone de su CTC (Figura 9 c). Desde el CTC se

mandan los itinerarios, se regula el tráfico, y se resuelven todos los posibles conflictos operacionales de la circulación de los trenes. Además, y al mismo tiempo, el CTC genera valiosa información para los viajeros, como horas de llegada o posibles desviaciones de los horarios.

Con el CTC resulta más sencillo racionalizar la explotación mediante el establecimiento de marchas de ahorro energético. También es posible programar la creación automática de itinerarios y las estrategias automáticas de regulación. El CTC es el punto neurálgico desde el cual parten todos los estímulos nerviosos (eléctricos) del ferrocarril para la circulación óptima de los trenes. El CTC manda las órdenes a los enclavamientos, responsables estos de la seguridad, y recibe de ellos la confirmación de estas órdenes y la información referente a la situación de los trenes y al estado de la vía.

No es necesario insistir en que las técnicas de los ordenadores y de las comunicaciones son las herramientas que fundamentan un CTC (Figura 9 b ). Los grandes paneles de visualización y mando se han sustituido por monitores desde los cuales son enviadas todas las órdenes pertinentes, a la vez que se recibe toda la información del campo (Figura 9 a ).

Todos estos sistemas están siendo desarrollados hoy día en España por ingenieros nacionales y su tecnología es exportada a otros ferrocarriles del mundo.

El ferrocarril es un motor del desarrollo. Sus equipos y sistemas han ido evolucionando en función de las tecnologías disponibles y de las necesidades de la sociedad. En este proceso, los sistemas de señalización, mando y control han sido los garantes en gran medida de la buena reputación que desde el punto de vista de la seguridad tiene el ferrocarril. Toda esta evolución no habría sido posible sin algo tan elemental como la colaboración entre las empresas ferroviarias y las empresas industriales del sector, relación que a la postre ha resultado trascendental.

Este artículo intenta resumir un proceso extenso y difícil; resultado de la dedicación constante de muchos profesionales del mundo del ferrocarril. Espero haberlo conseguido y que sirva para que futuros ingenieros conozcan algo más de la seguridad en el ferrocarril, un mundo apasionante que no debe pasar desapercibido. ■