

SEÑALIZACIÓN DE SEGURIDAD EN LA CIRCULACIÓN FERROVIARIA MEDIANTE LA ELECTRÓNICA (ENCLAVAMIENTOS Y BLOQUEOS ELECTRÓNICOS)

Antonio Puyol Gómez

SASIB RAILWAY IBÉRICA, S.A. - GRUPO GEC ALSTHOM
TRANSPORTE

C/ Apolonio Morales, 13 a - 28036 Madrid

Teléfono: +34 91 343 17 60; Fax: +34 91 355 55 95

Correo electrónico: railiberica@httmil.com

Resumen

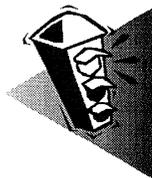
La señalización juega un papel primordial en la circulación ferroviaria ya que es la responsable de guiar los trenes de una forma segura.

Tradicionalmente, la señalización segura se ha realizado mediante equipos eléctricos, relegando a la electrónica a funciones auxiliares de "no seguridad", tales como los telemandos, encargados de centralizar en un único puesto el tráfico de toda la línea.

Actualmente, la electrónica digital y su alta capacidad de procesamiento, favorecen la obtención de sistemas seguros que tienen inteligencia para detectar sus propios errores.

El que un sistema reconozca sus propios fallos, le posibilita actuar de una forma segura, tal y como denominamos en el argot de seguridad, de forma FAIL - SAFE (seguridad en el fallo). Ante un error detectado se activan las condiciones de seguridad (señales en rojo, agujas e itinerarios enclavados,)

La señalización electrónica segura ha mejorado las formas y métodos tradicionales de concepción del proyecto, instalación, pues



ta en servicio y mantenimiento de los sistemas de señalización, reduciendo plazos de entrega y los costos asociados a todo su ciclo de vida.

1. QUÉ SE ENTIENDE POR SEÑALIZACIÓN FERROVIARIA

El conjunto de equipos, señales y aparatos que se encargan de ordenar el tráfico ferroviario, es lo que se conoce como sistemas de señalización ferroviaria. Básicamente la integran diversos elementos, como son las **señales** eléctricas luminosas, que se encargan de transmitir las órdenes al maquinista; los **accionamientos de agujas**, que controlan los desvíos; los **circuitos de vía**, que determinan la posición del tren por cantones a lo largo de la vía; las **semibarreras** que protegen los cruces con las carreteras; **el cuadro de mando y comprobación**, que recibe las indicaciones y da las órdenes a los equipos que controlan los elementos de campo. Finalmente los sistemas de **enclavamientos y bloqueos** que se encargan de que el tráfico ferroviario se realice de forma segura. También existen otros sistemas de señalización, como son los **CTC** (Control de Tráfico Centralizado) para el telemando de las estaciones; los sistemas de **ATP** (Automatic Train Protection), **ATO** (Automatic Train Operation) que se encargan de frenar y conducir el tren sin actuación del maquinista; los sistemas más avanzados que manejan el concepto de “**CANTÓN MÓVIL**” para un mayor aprovechamiento de las infraestructuras; y los sistemas **ERTMS** para la interoperabilidad entre países europeos.

2. EVOLUCIÓN DE LA SEÑALIZACIÓN

A medida que aumentaban las necesidades de explotación de las redes ferroviarias, la señalización ha ido dando la respuesta oportuna, materializándose en los distintos tipos de señalización:

- Señalización Mecánica
- Señalización Electromecánica
- Señalización Eléctrica (Convencional y Módulos geográficos)
- Señalización Eléctrica - Electrónica
- Señalización Electrónica Digital

En la primera etapa del proceso, las decisiones las tomaba de forma local del Jefe de Estación, posteriormente el operador del CTC con su propia visión del con-



junto y finalmente un sistema computerizado que tiene en cuenta el tráfico, sus condicionantes instantáneos y los posibles conflictos que se puedan presentar con el paso del tiempo. La complejidad de los sistemas ha aumentado, y gracias a la evolución tecnológica y al esfuerzo técnico de las empresas del sector, la protección del tráfico ferroviario ha llegado a niveles de altísima fiabilidad y rentabilidad económica.

3. LA IMPORTANCIA DE LA SEÑALIZACIÓN

La señalización se hace cargo del “Volante del tren”, lo guía, lo previene y lo protege.

Uno de los problemas obvios para la circulación ferroviaria es que el cambio de vías no lo mueve el maquinista, sino el Jefe de Estación, por lo que la decisión del itinerario que puede seguir el tren no la toma su conductor, sino alguien fuera del tren, que tiene la responsabilidad del tráfico, adaptándose en todo momento a las posibilidades que le ofrece la red ferroviaria.

Será:

- El guardagujas, si la aguja se acciona mecánicamente;
- El Jefe de Estación, si la aguja se acciona eléctricamente desde el cuadro de mando de la estación;
- El operador del puesto de mando, si se acciona eléctricamente desde un control de tráfico centralizado (CTC).

La obligada necesidad de que el gobierno del tren sea compartido, ha sido una de las causas de que el ferrocarril se haya desarrollado siempre de forma colectiva y no individual o mixta, como ha ocurrido con el transporte por carretera.

Distancias y tiempos de frenado del tren se controlan por los sistemas de señalización. El bajo rozamiento entre rueda y carril consigue buenos ahorros energéticos pero dificulta el frenado del tren. Se hace imprescindible disponer de equipos capaces de tener controladas y protegidas estas características particulares del ferrocarril.

Esta dificultad de frenado del tren cuando va a una velocidad normal es tal que, aunque el maquinista al ver un obstáculo en la vía trate de frenar, es difícil detener el tren sin riesgo. Por esto, la señalización se tiene que encargar de anunciar al maquinista, con la anterioridad suficiente, las paradas y las limitaciones variables de velocidad de la línea (por paso por agujas, por tráfico precedente, ...).



Las dos características que limitan al maquinista (ausencia de volante y visibilidad insuficiente) han hecho que la señalización ferroviaria se haya ido desarrollando en gran medida desde los inicios del ferrocarril.

Estas dificultades de ser “**torpe y ciego**” con las que arrancaba el ferrocarril se han convertido en ventajas gracias a la señalización, porque la técnica permite a los trenes prever los conflictos con anterioridad y producir los cambios de vías más convenientes, teniendo en cuenta las otras circulaciones. Todo esto se hace, no con un objetivo individual del tren en particular, si no simultáneamente con todas las circulaciones, pasando al objetivo común de la regularidad del tráfico, que es el servicio esperado por el Pasajero.

Para aclarar estas ideas, resaltamos que el AVE dispone de un sistema de señalización en cabina que le da al maquinista información del estado de la vía en los 6 kilómetros por delante del tren, siendo la distancia de frenado con confort y seguridad del AVE a 300 km/h. de 3 kilómetros, aproximadamente. Por otro lado el CTC de Atocha que dirige todas las circulaciones de la línea, se encarga de regular el tráfico y resolver los conflictos para que todos los trenes AVE lleguen a su hora. Siempre lo hacen con menos de 5 minutos de retraso “Por la cuenta que les tiene” ya que existe un compromiso de devolver el dinero del billete al viajero si no cumplen lo prometido.

Gracias a los avances de la señalización segura, y a la penetración en los controles a bordo del tren (señalización en cabina), el tren se convierte en el sistema de transporte más seguro. El tren es el único móvil dotado de seguridad guiada, y en cierto modo es independiente de la actuación de su conductor.

El origen de nuestra compañía data de 1904, año de la creación de GRS (General Railway Signal). Siempre se ha dedicado a resolver estos problemas mediante la señalización ferroviaria, con la investigación tecnológica necesaria para tal fin.

4. EL CONCEPTO FAIL SAFE Y SU CONCEPCIÓN MEDIANTE ELECTRÓNICA DIGITAL

Todos los sistemas de señalización que ahora manejamos y que nos parece que sin la electrónica no podrían funcionar, se han desarrollado teniendo en cuenta un criterio básico “LA SEGURIDAD”.

Los sistemas de señalización siempre tienen que funcionar de la misma forma, para que las personas confiemos en ellos, ya que a la señalización le hemos asignado la responsabilidad de la seguridad de los pasajeros y del transporte en general.

Tradicionalmente hemos construido sistemas seguros utilizando componentes seguros (relés de seguridad intrínseca), interrelacionados con una lógica de seguridad.



Un relé de seguridad está compuesto básicamente por una bobina y un juego de contactos de trabajo y de reposo no soldables. Los relés de seguridad están contruidos de forma que se asegura que en el caso de falta de corriente de la bobina, los contactos de trabajo se abrirán de forma que impidan el paso de corriente a través de ellos. Esto se debe de conseguir siempre, a pesar de los fallos, envejecimiento, aumento de temperaturas, humedades, etc.

Esta lógica de seguridad se basa en el principio "FAIL SAFE", que traducimos como seguridad ante todo fallo, con lo que en el caso de que se produzca algún problema, el sistema pasará a un nivel de seguridad mayor. Por ejemplo, un circuito fail-safe ante la fusión de la lámpara amarilla de una señal que está dando la indicación de Verde - Amarillo (anuncio de precaución) procedería a apagar la verde (vía libre) y la señal pasaría a dar una indicación más restrictiva: encendería la Roja (parada). En caso contrario, si se quedara sólo la verde encendida daría una indicación errónea que iría en contra de la seguridad. El encendido de la lámpara Roja va a favor de la seguridad, aunque el tren se tenga que detener. En conclusión, una avería en la señalización segura nunca puede producir una situación más permisiva que se traduzca en una situación de inseguridad.

Para obtener esas posibilidades en el enclavamiento eléctrico, tradicionalmente se han utilizado relés de seguridad, que tienen la característica de que al tener contactos no soldables se puede predecir con una probabilidad altísima que en el caso de ausencia de corriente, los contactos de trabajo cortarían la corriente. Estos relés de seguridad tienen una cubierta de plástico transparente, por lo que podemos decir que la seguridad "se ve".

En el caso de la electrónica digital, para obtener el mismo resultado, tenemos que hacer una serie de comprobaciones comparadas o duplicadas ya que en la electrónica no nos podemos apoyar en ningún elemento de seguridad intrínseco, como es el caso del relé de seguridad para los enclavamientos eléctricos.

Las distintas tecnologías han dado su solución particular mediante electrónica segura, haciendo redundancias espaciales y temporales, y por otro lado utilizando el criterio de diversidad. El denominador común de todas las tecnologías de señalización, es **que han dotado al enclavamiento electrónico de la inteligencia de detección de sus propios errores**. Todos han entendido que la electrónica falla, por lo que la única forma de que la electrónica sea fail-safe, es darle la capacidad de distinguir si lo que está haciendo es correcto o no, y proteger las circulaciones ante el posible fallo.



Las diferentes formas de alcanzar el nivel de seguridad requerido mediante la electrónica digital son principalmente:

- Redundancia Temporal (SW) - 1 ó 2 programas.
- Redundancia Espacial (HW) - un único equipo, o 2 de 3 equipos.

Cualquiera de estas formas y sus combinaciones va complementada por criterios de diversidad de procesamiento o metodología. Todos estos modos están admitidos por la UIC (Unión Internacional de Ferrocarriles) como sistemas de enclavamientos electrónicos seguros.

5. LA SEÑALIZACIÓN ELECTRÓNICA DIGITAL

Hasta hace muy poco, la aplicación de la electrónica en las instalaciones de seguridad ha estado relegada a funciones auxiliares, dada la no fiabilidad para su uso en sistemas de seguridad.

La introducción de la electrónica en la señalización comenzó en los equipos de transmisión y telemando, sustituyendo las centrales basadas en una transmisión de códigos mediante relés del tipo telefónico y sus remotas, por otras electrónicas.

Estas aplicaciones reducen costos y espacios y aumentan las funcionalidades, pero se pueden realizar porque los sistemas de telemando (CTC's) no requieren cumplir criterios de seguridad.

La aplicación de la electrónica a los sistemas de seguridad comenzó cuando se consiguió dotar al conjunto Hardware - Software de la capacidad de detección de sus propios errores.

El software desarrollado por SASIB RAILWAY GRS para cumplir los requisitos de seguridad, está basado en la lógica NISAL (Numerically Integrated Safety Assurance Logic) que realiza una encriptación mediante la división polinómica de los valores asignados a los parámetros y a sus resultados procedentes de las operaciones Booleanas, correspondientes a la lógica de explotación de la estación.

Con este Software seguro, se realizaron los primeros enclavamientos electrónicos en 1986. En la actualidad SASIB RAILWAY / GRS ha instalado más de 300 enclavamientos en todo el mundo.

6. MEJORAS DE LA SEÑALIZACIÓN ELECTRÓNICA DIGITAL

Las novedades y mejoras que introduce la utilización de enclavamientos y bloqueos electrónicos son:

- La generación de las aplicaciones del sistema a la estación concreta se realiza mediante un **sistema experto** de diseño y programación (con la base de circuitos eléctricos lógicos).



- El enclavamiento electrónico puede programarse con funcionalidades progresivas, de forma que, para dar servicio, se puede generar una funcionalidad básica y posteriormente sustituirla por una funcionalidad de explotación ferroviaria completa. Es decir, un software provisional y un software específico de la instalación.
- Se reducen los tiempos de diseño, fabricación, instalación, pruebas y puesta en servicio.
- Permite su conexión directa al telemando de tráfico ferroviario (CTC's).
- Posibilita la utilización de sistemas de mando videográfico y de paneles de mando por pulsadores y conmutadores.
- Puede configurarse con "Reserva Activa": Sistema Dual.
- Se adapta fácilmente a las modificaciones de la estructura de vías de la estación.
- Permite la reutilización del Hardware procedente de otra estación.
- Para conectar dos enclavamientos electrónicos se puede usar como medio de transmisión fibra óptica o hilos físicos de cobre.
- Utiliza sistemas de diagnóstico que facilitan la resolución de averías y el mantenimiento preventivo.

6.A. SISTEMA EXPERTO DE DESARROLLO DEL SW DEL ENCLAVAMIENTO ELECTRÓNICO.



Para la generación del SW aplicado a una estación concreta, cada tecnología de señalización ha creado sus herramientas de ayuda al diseño del SW que en el caso de SASIB RAILWAY se materializan en un "sistema experto" que contiene todas las etapas necesarias para el buen desarrollo del SW.

Este sistema experto debía, entre otros, conseguir los requerimientos:

- Debía poder ser manejado por los propios ingenieros de señalización de la compañía, que cuentan con una larga experiencia en señalización ferroviaria, pero no en aplicaciones electrónicas (programación software).
-

- ❑ Debía estandarizar el SW de forma que fuera independiente del propio ingeniero que lo generara y que las modificaciones de una parte no afectaran al resto, además de estar relacionado directamente con los elementos de campo (señales, agujas, circuitos de vía, etc.)

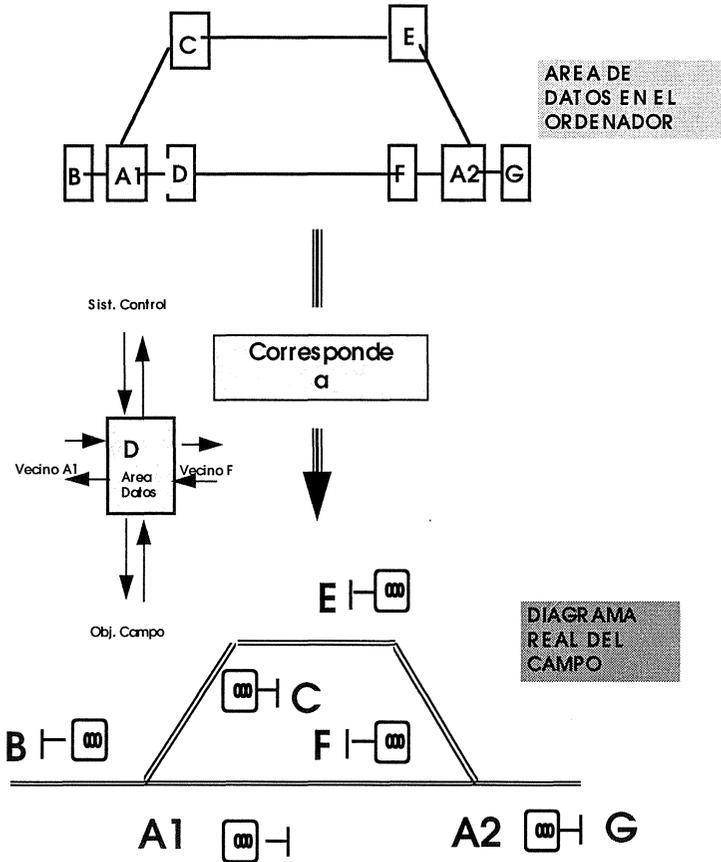


Gráfico 1: Método geográfico

Cumpliendo estos requerimientos, SASIB RAILWAY creó un sistema experto que:

- ❑ Parte de una “base de conocimiento” común para todos los desarrollos de una misma administración, que básicamente son las reglas de explotación de cada una de las funcionalidades del enclavamiento (itinerarios, maniobras, movimiento, etc.) Estas reglas están definidas de una forma **modular** y **geográfica**, que mediante el proceso de aplicación se asignan a cada objeto de la



estación, teniendo en cuenta sus características y sus otros objetos colindantes. Cuando, por ejemplo, se introduce en el sistema experto una señal, se le dan sus características (señal de salida, entrada, avanzada, bloqueo, ...) y se indica cuales son los otros objetos con los que se relaciona (otras señales, agujas adyacentes, circuitos de vía siguiente, ...).

- ❑ Utiliza esquemas eléctricos virtuales como lenguaje de programación funcional. Con estos esquemas se puede analizar y modificar la funcionalidad de la instalación tanto por nuestros ingenieros como por los de la administración ferroviaria.
- ❑ El sistema experto se conecta en red con un subsistema de simulación para verificar que el SW desarrollado, cumple con la funcionalidad especificada, antes de que el proceso avance. Si la funcionalidad no es la requerida, se modifican los circuitos eléctricos virtuales hasta que se consigue.
- ❑ Termina con el proceso de blindaje y encriptado del SW que confiere al SW desarrollado la característica "fail-safe" y lo prepara para su grabado en unas "EPROM" que se instalarán en las tarjetas electrónicas del enclavamiento electrónico.

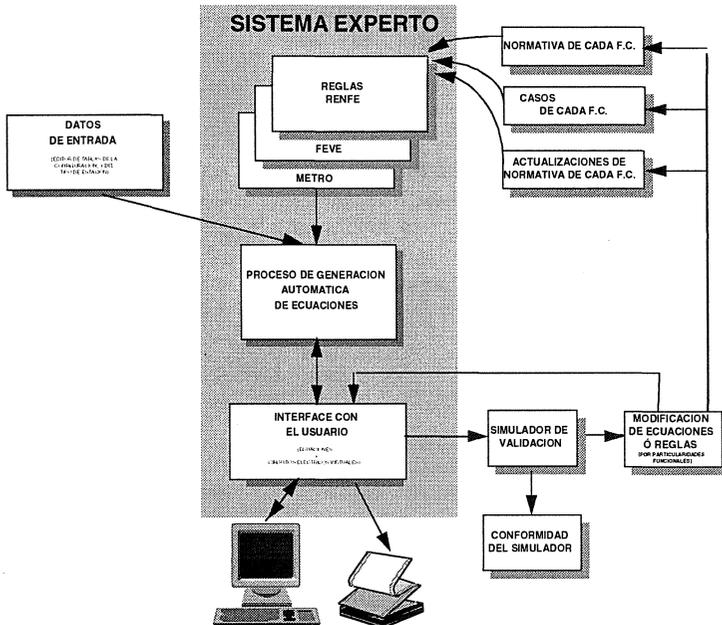


Gráfico 2: Arquitectura del sistema experto de sasib railway

6.B. RESERVA ACTIVA

Una vez sobrepasado el nivel de seguridad requerido, y para dar un buen nivel de fiabilidad (disponibilidad del sistema), los equipos se suelen acompañar de otros similares con lo que el sistema queda duplicado, de forma que se obtenga un enclavamiento dual, es decir, con reserva activa. Funciona de forma que en el caso de detección de un error, antes de pasar a una situación más restrictiva (ordenada por el criterio fail-safe), el enclavamiento pasa el control al de reserva, de forma automática e instantánea sin que las circulaciones queden afectadas. El enclavamiento en reserva, al estar recibiendo todas las instrucciones y comprobaciones del campo "on line" (señales, agujas, circuitos de vía, está dispuesto para actuar y tomar el mando sin producir ninguna interrupción. Por eso se llama reserva activa. Esta reserva activa es la primera manifestación de las ventajas del uso de la electrónica digital en las aplicaciones de señalización. Antes era imposible poner otro enclavamiento eléctrico de reserva por necesidades de espacio y costes. Ahora, como lo costoso de realizar es el SW y su duplicación es irrelevante, y el costo del HW cada vez es más barato, es muy razonable proyectar los enclavamientos con reserva activa.

7. CONCLUSIÓN

La señalización segura ha sabido aprovechar las ventajas que le brinda la electrónica digital, y seguirá atenta a todas las innovaciones tecnológicas que se desarrollen en el futuro.

