

¿Cómo los Circuitos de Vía Detectan y Protegen a los Trenes?

Jodi Scalise

Noviembre de 2014

railwaysignalling.eu, Italia

jodi.scalise@railwaysignalling.eu

RESUMEN

El circuito de vía como método primario de detección de presencia de trenes fue inventado a finales del siglo XIX y su primera aplicación estuvo basada en tecnología de corriente directa (CD). A través de los años, el progreso continuo de la técnica ha permitido desarrollar circuitos de vía de mejores prestaciones con el uso de corriente alterna (CA) y de la modulación de señales, aunque su principio básico de operación aún continúa invariable.

Como método alternativo se utilizan los contadores de ejes que con su lógica de comprobación integrada pueden comparar los resultados del conteo a la entrada y a la salida de una sección de bloqueo para determinar su estado de ocupación (libre u ocupada).

Los circuitos de vía también contribuyen al control de la velocidad de los vehículos ya que las señales eléctricas usadas para la detección de presencia pueden ser transmitidas desde los dispositivos en la vía hacia los equipos abordo para ser utilizadas como comandos de velocidad. El uso de la modulación de señales para este objetivo ha derivado en los llamados "circuitos de vía de corriente codificada". Posiblemente, en la historia del desarrollo del transporte ferroviario ningún otro invento, tan simple como el circuito de vía, haya contribuido tanto a la seguridad y al control del tráfico.

PALABRAS CLAVES: Circuito de Vía, Detección de Presencia de Tren, Contador de Ejes, Protección Automática de Tren.

1. INTRODUCCIÓN

Desde el surgimiento de la señalización ferroviaria, la detección de la presencia del tren ha sido considerada una necesidad primaria [1].

Para este fin, las vías se dividen en bloques de longitud variable y cada sección se separa de las adyacentes mediante juntas aislantes^{1,2} colocadas entre los rieles. El principio de operación del circuito de vía se basa en la circulación de una

¹ NDT - Vocablos principales relacionados con la señalización ferroviaria según IEC 60050-821. Para mejor entendimiento se adicionan como notas al pie Términos Alternativos (TA) usados en países de habla hispana.

² TA – junta aislada

señal eléctrica a través de los rieles. La presencia del tren se detecta por la conexión eléctrica que se produce entre los rieles y las ruedas y ejes (cortocircuito ruedas-rieles).

Sin embargo, esta no es la única función que realizan los circuitos de vía, ya que la información sobre la detección de presencia también se utiliza para el control de la velocidad del tren y para garantizar la seguridad de la operación mediante la transmisión de comandos de velocidad a los equipos al lado de la vía y hacia los trenes [2]. De modo general, se puede resumir el funcionamiento del circuito de vía como sigue: Si un tren A intenta aproximarse demasiado cerca a la parte trasera del próximo tren B, la información proporcionada por los circuitos de vía se utiliza para transmitir un comando de reducción de velocidad al tren A o para su detención, evitando así una posible colisión.

La información sobre la ocupación de una sección de bloqueo se utiliza para el control de la operación de todos los trenes en la cercanía del área ocupada.

La detección de la presencia de un tren en una sección de bloqueo origina la transmisión de un comando de Parada inmediatamente detrás del tren. En dependencia de la longitud de los bloques, la velocidad de circulación y el número de comandos disponibles, en la segunda sección detrás del tren puede estar presente un comando desde cero hasta el valor máximo de la velocidad de circulación. En el tercer bloque detrás del tren se puede estar transmitiendo un comando de velocidad mayor o igual el valor presente en la segunda sección de bloqueo, y así sucesivamente. En todos los casos, las secciones de bloqueo detrás de un tren están señalizadas de manera tal que un tren al entrar a un bloque cuenta con la suficiente distancia de frenado [3] para entrar a este a una velocidad no mayor que la autorizada por el correspondiente comando. En caso de un comando de velocidad cero, el tren debe ser capaz de detenerse antes de aproximarse al final del bloque.

2. CIRCUITO DE VÍA DE CD

El circuito de vía de CD fue inventado por el Dr. William Robinson y por primera vez fue puesto en uso en una aplicación ferroviaria en 1872 [4] [5].

El circuito de vía consiste en una sección de bloqueo delimitada en sus extremos por juntas aislantes que proporcionan una separación eléctrica entre un circuito de vía

y las secciones adyacentes. La fuente de la señal (en este caso una batería) está conectada a los rieles en uno de los extremos de la sección de bloqueo, mientras que el receptor (un relé³) está unido al lado opuesto.

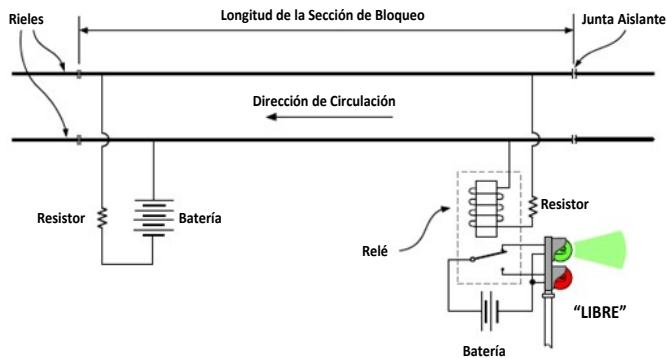


Figura 1: Sección de bloqueo libre

En ausencia de tren, el circuito de vía no está ocupado, por lo que la corriente directa suministrada por la batería se transmite a través de los rieles, energizando (“levantando” los contactos) el relé (APÉNDICE A) que conecta la luz verde de la señal (Figura 1).

Cuando un tren se aproxima a una sección de bloqueo, sus ruedas y ejes hacen contacto eléctrico con los rieles y como resultado se produce un corto circuito de la batería que hace disminuir a cero la corriente que circula a través del relé. Así, se desenergiza (“caen” los contactos) el relé (Figura 2), haciendo que se apague la luz verde y se encienda la roja para indicar que la sección de bloqueo está ocupada por un tren. La resistencia en serie con la batería limita la corriente en presencia de un tren para proteger la fuente de alimentación.

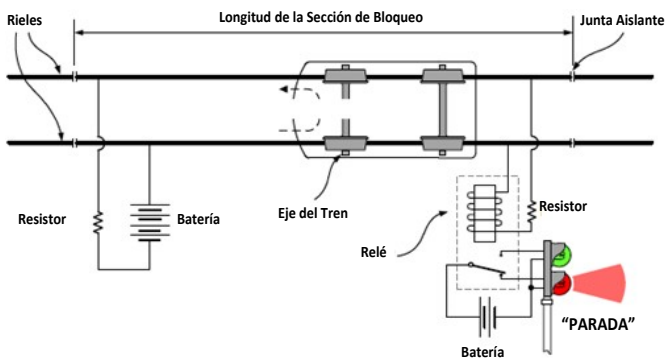


Figura 2: Sección de bloqueo ocupada

En la figura anterior se muestra un circuito de vía simplificado, sin embargo, en la práctica [6], contactos de este relé se combinan con los adyacentes para conformar una lógica que permita controlar los equipos de señalización.

A pesar de la simplificación de la Figura 2, se puede ver que la abertura de cualquier conductor o la ausencia de energía en el circuito harán que se encienda la luz roja o no se despliegue ningún aspecto de la señal. Por lo tanto, una señal en rojo o

³ TA - relevador

“apagada” debe ser siempre interpretada como un comando de Parada. Dicho de otro modo, todos los sistemas de señalización están diseñados de tal modo que la verde de la señal (significa proceder) se despliega solo cuando los circuitos de vía proporcionan información adecuada para una operación segura.

Los circuitos de vía que utilizan ambos rieles son susceptibles de interferencias cuando estos se utilizan también para el retorno de la corriente de tracción de CD. De hecho, este tipo de circuito únicamente se instala en vías no electrificadas, y solo cuando no existen corrientes de fuga circulando entre la tierra y los rieles. Los circuitos de vía bifilares de CD solo se instalan en ferrocarriles con tracción diesel.

3. CIRCUITO DE VÍA DE CA

El circuito de vía de CA se energiza con una frecuencia de 83.5 Hz [7] para evitar interferencias con la corriente de tracción de 50 Hz. Exceptuando el tipo de corriente y los componentes utilizados, los circuitos de vía de CA, por su operación, son similares a los anteriormente descritos de CD. Su principal ventaja radica en que son inmunes a las interferencias provenientes de las corrientes de fuga, por lo que pueden ser usados en vías electrificadas.

La sección de bloqueo se conforma de manera similar tanto para circuitos de vía de CD como de CA. La fuente de la señal de CA (Transmisor en la Figura 3) se conecta a los rieles en uno de los extremos, mientras que en el lado opuesto está conectado el receptor. Con ayuda de un filtro pasa banda y un rectificador se extrae desde el circuito de vía de CA la señal de CD requerida para la operación del relé de vía. Excepto por el uso de la señal de CA, el principio general de operación es idéntico al circuito de vía de CD.

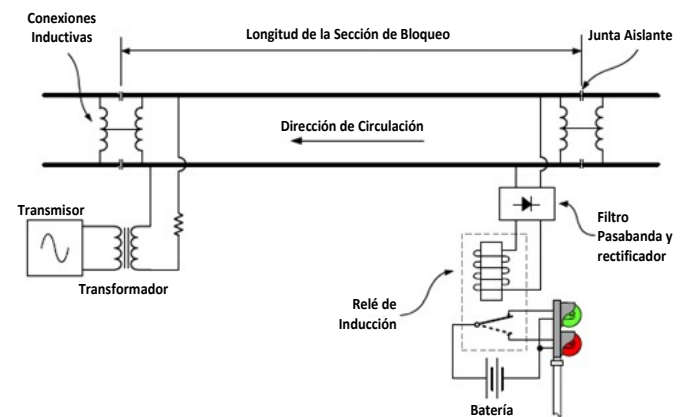


Figura 3: Circuito de vía de CA

Además de la fuente de la señal y el receptor, el circuito de vía de CA incluye un par de conexiones inductivas⁴ para cada pareja de juntas aislantes. Una conexión inductiva está constituida por una inductancia con derivación central, la cual se conecta a los dos rieles y a ambos lados de las juntas aislantes. La derivación central de cada par de conexiones inductivas se conecta tal y como se muestra en la Figura. Estos

⁴ TA - junta inductiva, impedancia de unión, liga de impedancia

dispositivos permiten dar continuidad a la corriente de tracción de CD entre circuitos de vía adyacentes, además de contribuir a su distribución entre ambos rieles. En adición a lo anterior, las conexiones inductivas logran mantener una relativa alta impedancia a las frecuencias de operación entre los dos rieles y entre circuitos de vía adyacentes (Para mayor información, véase el APÉNDICE B).

En ausencia de tren, la corriente alterna suministrada por el transmisor, a la izquierda del diagrama de la Figura 3, se transmite por los rieles hasta el relé, el cual “levanta sus contactos.” Al estar el relé energizado, se enciende la luz verde de la señal, exactamente igual que en el circuito de vía de CD. Con la entrada de un tren al circuito de vía, el contacto eléctrico de sus ruedas y ejes con los rieles disminuye la corriente que circula a través del relé haciendo que este “caiga”. Así se conectan los contactos de reposo⁵ del relé que desconectan la luz verde y encienden la roja para indicar que la sección de bloqueo está ocupada.

El resistor en serie con el transformador (a la izquierda del diagrama) sirve de protección a este último al limitar la corriente suministrada en presencia de un tren.

3.1 Circuitos de vía de alta frecuencia

Algunos circuitos de vía de CA utilizan corriente eléctrica alterna a una frecuencia que oscila en el intervalo de cientos a miles de Hercios. Debido a que el rango de estas frecuencias se corresponde aproximadamente con el espectro de los sonidos audibles, comúnmente se les denomina circuitos de vía de audiofrecuencias (AFTC, según sus siglas en inglés) [8]. Los circuitos de vía de alta frecuencia (HFTC, según sus siglas en inglés) no requieren de juntas aislantes en los rieles [9], eliminado así el alto costo asociado a su instalación y mantenimiento. La eliminación de las juntas aislantes permite además la operación de los circuitos de vía con riel continuo soldado.

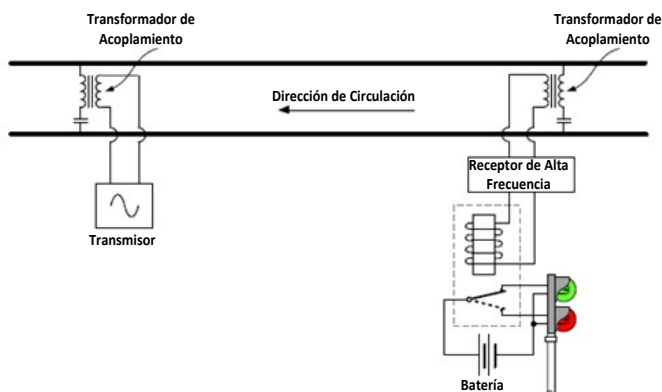


Figura 4: Circuito de vía de CA a alta frecuencia

En la Figura 4 se muestra un circuito de vía de CA a alta frecuencia. Al no existir juntas aislantes, los límites de la sección de bloqueo se establecen con transformadores especiales conectados a los rieles. Generalmente, el devanado del transformador conectado a los rieles está compuesto por

⁵ TA – contacto trasero

una única vuelta de una barra de cobre y el núcleo tiene forma de toroide. El otro devanado se sintoniza con un capacitor para resonar a la frecuencia de operación. El transmisor constituye la fuente de la señal de CA y suministra la energía eléctrica a una frecuencia de operación dentro del rango de audiofrecuencias.

El receptor en este caso no es un simple relé, sino un circuito electrónico que responde a la señal eléctrica suministrada por el transmisor y generalmente, incluye un filtro sintonizado, un rectificador y un amplificador para la frecuencia de la señal. Eléctricamente, la zona comprendida dentro las conexiones riel-riel es semejante a dos circuitos LC sintonizados en paralelo y con la inductancia de la sección de vía encerrada entre ellos conectada en serie. Los capacitores se ajustan de manera que la sección interior quede sintonizada a la frecuencia de operación del circuito de vía.

En ausencia de tren, la señal del transmisor es recibida y detectada por el receptor siendo usada para energizar el relé de vía y mantener encendida la luz verde de la señal. Al aproximarse un tren, en dependencia de la posición de sus ruedas sobre la vía, se desintoniza el circuito o se cortocircuita el transmisor o el receptor (o ambos inclusive). Cualquiera de estas causas desenergiza el relé, con lo cual se apaga la luz verde y se enciende la roja de la señal.

El circuito ilustrado en la Figura 4 está muy simplificado, pero en la práctica es necesario considerar los circuitos de vía adyacentes. En lugar de instalar dos transformadores independientes para cada circuito de vía, un segundo devanado sintonizado puede ser incluido en cada transformador o el primario puede pasar por más de un núcleo. Así, un mismo transformador puede servir a dos circuitos de vía adyacentes. Aunque son parte del mismo transformador, los devanados están aislados uno del otro, ya que los mismos se sintonizan y operan a diferentes frecuencias.

4. CONTADORES DE EJES

Todos los circuitos de vía descritos hasta aquí operan bajo el principio de bucle cerrado. Cualquier interrupción originada por el paso del tren sobre los rieles o por el fallo de la energía o de los componentes “abre” el circuito y hace que el sistema despliegue una indicación de parada.

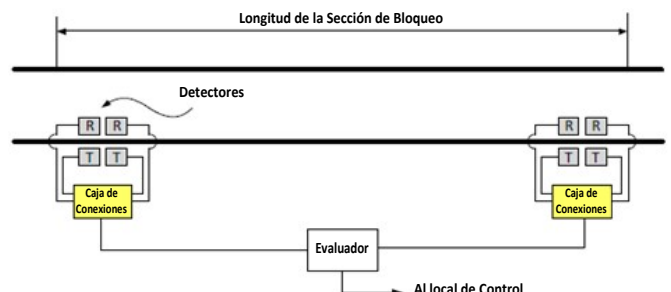


Figura 5: Esquemático de un sistema de conteo de ejes

Como método alternativo al circuito de vía, se utiliza una lógica de control a la entrada y a la salida de la sección de

bloqueo. Dicho de manera simple, el principio de funcionamiento de este circuito se basa en que al detectar la entrada de un tren a una sección de bloqueo, se asume que este estará allí hasta que se compruebe su salida hacia el bloque adyacente. La presencia del tren puede detectarse solo de manera intermitente a su entrada a la sección de vía (Figura 5). Cuando el número de ejes contados a la entrada resulte igual a la cantidad detectada a la salida, esto significa que el tren ha pasado a través de la sección.

Cada punto de conteo está compuesto por dos parejas independientes de detectores, por lo tanto, el dispositivo puede determinar la dirección de circulación del tren en dependencia del orden en que el tren pasa a través de ellos. En la medida que el tren pasa por el cabezal de conteo en el otro extremo de la sección, el contador se decrementa. Al ser igual a cero el resultado neto, se presume que la sección de vía ha sido liberada para el siguiente tren [10].

El dispositivo de conteo detecta las ruedas del tren evaluando los cambios que se originan en el campo magnético entre dos bobinas colocadas a ambos lados del riel (Figura 6). El sistema consta de:

- Bobinas detectoras de las ruedas del tren;
- Una unidad electrónica (caja de conexiones electrónica) para el acondicionamiento de las señales y para el conteo de los ejes;
- Una unidad evaluadora que compara el número de ruedas a la entrada y a la salida de la sección de vía.

El resultado de la comparación define el estado de ocupación (libre u ocupada).

El detector de ejes hace uso del flujo magnético existente entre las dos bobinas montadas a ambos lados del riel para determinar el paso de las ruedas.

El flujo magnético generado por la bobina transmisora fluye a través de la vía de menor reluctancia. En presencia de la rueda, el trayecto del flujo magnético queda conformado por la rueda y el riel, haciendo que disminuya el flujo en la bobina receptora y por tanto, se induce menor voltaje en el receptor.

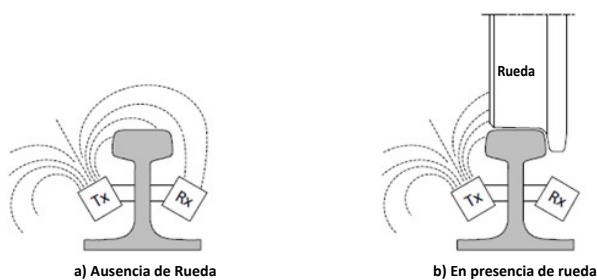


Figura 6: Distribución del flujo magnético

El voltaje inducido en la bobina receptora se controla continuamente con respecto a un umbral predefinido para detectar el paso de una rueda y según el valor resultante se decide sobre su presencia. En otras palabras, la detección de una rueda en el cabezal de conteo se corresponde con una amplitud del voltaje inducido en la bobina receptora inferior al umbral.

El contador de ejes posee algunas desventajas operacionales como por ejemplo, el efecto resultante de la pérdida temporal de energía en el sistema de señales.

Con esta eventualidad en circuitos de vía convencionales se indica el estado ocupación de todas las secciones afectadas, pero al restablecerse la alimentación eléctrica se mantendrán ocupados solo los circuitos que corresponda. En un sistema de conteo de ejes, la pérdida de energía puede borrar la información contenida en los circuitos encargados de memorizar si un tren había entrado previamente a la sección de bloqueo. Así, al restablecer la alimentación eléctrica, la información sobre las secciones que estaban ocupadas puede haberse perdido. En este caso, se debe identificar y localizar cada tren en el área afectada antes de considerar que el sistema de transporte esté operando nuevamente de manera segura.

En un sistema de transporte relativamente pequeño puede no ser difícil identificar y localizar cada tren. Sin embargo, a mayor complejidad, incluso una breve interrupción parcial puede crear un cuello de botella en el que resulte muy difícil restablecer la operación normal del sistema. Por esta razón, los contadores de ejes no se utilizan como dispositivo primario de detección de presencia de trenes en sistemas de transporte rápido.

Los contadores de ejes se usan en lugares donde los circuitos de vía presentan dificultades o resulta imposible su operación (por ejemplo, la presencia de traviesas metálicas hace imposible la operación de los circuitos de vía, excepto que se reinstale toda la vida, también la presencia de alto nivel de ruido eléctrico o problemas de conductividad pueden hacer que el circuito de vía no sea una solución adecuada).

5. COMANDOS PARA EL CONTROL DE VELOCIDAD

Es importante comprender el principio de control de bucle cerrado antes de analizar cómo se transmiten y reciben los comandos de velocidad. El término control de bucle cerrado o control con retroalimentación se refiere a un sistema en el cual la información de respuesta se utiliza para modificarse así mismo [11] [12].

La finalidad del control por bucle cerrado consiste en garantizar la continuidad del control confirmando la recepción de los comandos de entrada y lograr el estado requerido del sistema.

La alternativa al control de bucle cerrado lo constituye el control de lazo abierto, en el cual los comandos son transmitidos hacia el elemento controlado sin ninguna retroalimentación o reconocimiento de que la señal del comando ha sido recibida e interpretada apropiadamente.

Así, un sistema de bucle cerrado, en contraste con el de lazo abierto, se caracteriza por comandos de control continuo y de autorregulación dependientes de la respuesta del sistema. Los equipos tradicionales de señalización para sistemas ferroviarios de transporte rápido son de lazo abierto, tal es el caso de un tren operado manualmente con señalización en cabina, aunque los mecanismos de control automático de

exceso de velocidad y parada automática representan el inicio de un sistema de bucle cerrado.

El ATP constituye un sistema de bucle cerrado que es usado para supervisar la respuesta de los comandos de propulsión y frenado [3] y para regular la operación del sistema de manera continua y en tiempo real. La tecnología de control de velocidad en vehículos de transporte ferroviario está basada en circuitos de vía. Las señales utilizadas para el control de la presencia de trenes también pueden ser usadas para la transmisión de los comandos de velocidad hacia los dispositivos de señalización al lado de la vía y hacia los trenes. De manera general, para la transmisión de tales comandos se utilizan los siguientes dos métodos:

- 1) **Circuito de Vía de Corriente Codificada**⁶: Usado en circuitos de vía de CD o CA cuyas señales se activan o desactivan a una frecuencia dada, lo cual es interpretado por el sistema de abordaje como un comando de velocidad.
- 2) **Circuito de Vía de Codificación Binaria**: Usado en circuitos AFTC, en los cuales la frecuencia de la señal cambia por uno de dos valores discretos.

Cualquiera que sea el método que se utilice, los equipos al lado de la vía o a bordo de los trenes detectan las señales presentes en los rieles y decodifican los comandos de velocidad.

5.1 Circuitos de vía de corriente codificada

Esta técnica es aplicable a circuitos de vía de CD y de CA. La señal del circuito de vía es objeto de modulación digital de amplitud⁷, conmutándose entre su valor nominal y nulo a una frecuencia que guarda relación con el comando de velocidad a transmitir [13]. La frecuencia de conmutación está en el rango de 50 a 500 veces por minutos.

En circuitos de vía de CD, la señal aplicada a los rieles en uno de los extremos, simplemente se conecta e interrumpe a la frecuencia requerida. El receptor en el lado opuesto recibe y decodifica las señales. En el circuito de vía se utiliza un relé de seguimiento de código el cual se mantiene en operación mientras la sección de bloqueo no está ocupada. Este relé se energiza en presencia de los pulsos de corriente y se desenergiza en las pausas. El decodificador trabaja a través de los contactos del relé de seguimiento de código. Para cada código específico recibido (frecuencia de transmisión) se energiza un relé particular en el decodificador, el cual se mantiene energizado mientras continúe su recepción. Este relé a su vez controla la señal correspondiente. Al recibirse un código diferente, otro relé será energizado por el tiempo que se prolongue su recepción. El relé de seguimiento de código se desenergiza con la entrada de un tren al circuito de vía, con lo cual se indica su presencia en la sección bloqueo.

En vías con señalización automática, para el control de las señales se utilizan diferentes frecuencias, en particular, se

consideran tres valores normalizados de códigos de 75, 120 y 180 ciclos por minuto. El código 75 se usa para el comando de parada en la próxima señal, 120 para el aspecto de precaución y 180 para proseguir. La ausencia de código se interpreta como parada.

En circuitos de vía de CA, ya sean de alta o audio frecuencia, la señal de CA se conmuta entre el valor nominal y cero a una frecuencia dada, en otras palabras, la portadora de alta frecuencia es objeto de Modulación Binaria Sencilla [15] [16] según el código que requiera ser transmitido.

Debido a que la frecuencia de conmutación es mucho menor (1-3 veces por segundo) que la frecuencia de la señal de CA aplicada al circuito de vía (50-150 ciclos por segundos), tendrán lugar múltiples ciclos de CA durante el tiempo que la señal del código esté activa. La señal codificada puede ser recibida en el extremo opuesto del circuito de vía para ser usada en el control de las señales o a bordo del tren para la regulación de la velocidad.

La presencia de un tren interrumpe la operación del relé de seguimiento de código, indicando así la ocupación del circuito de vía.

La recepción de las señales codificadas se realiza a bordo mediante un par de bobinas montadas cerca de la parte frontal del vehículo que encabeza la formación, exactamente a unas pocas pulgadas sobre los dos rieles y enfrente del primer conjunto de ruedas y ejes (Figura 7).

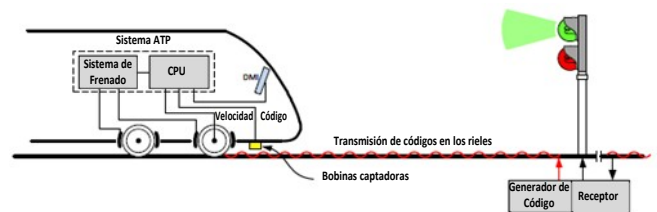


Figura 7: Circuito de vía codificado

Producto del campo magnético originado por la circulación de corriente en los rieles, se genera en las bobinas (algunas veces se les denomina antenas) una señal, la cual es procesada o decodificada para determinar la frecuencia de conmutación y por consiguiente, el comando de velocidad.

El sistema automático utiliza el comando decodificado para el control de la velocidad del tren. En sistemas semiautomáticos, el comando de velocidad se visualiza al operador (Figura 8) quien es responsable de regular la velocidad del tren manualmente.



Figura 8: DMI de Ansaldo con circuito de vía de corriente codificada

⁶ TA- Circuito de vía codificado

⁷ TA - Modulación Binaria Sencilla o Manipulación Encendido-Apagado, acrónimo en inglés OOK (On-Off Keying)

5.2 Circuitos de vía de codificación binaria

Esta técnica a veces es usada con circuitos de vía de audiofrecuencias. En lugar de manipular la amplitud de la señal (encendido/apagado) del circuito de vía, se utilizan dos frecuencias discretas para producir una señal binaria modulada por desplazamiento de frecuencia (FSK, según sus siglas en inglés) [14] [15] [17].

Esto es particularmente adaptable a sistemas digitales en los que una frecuencia corresponde a la transmisión del valor binario "1" y a la otra se le asigna el valor "0". El receptor del circuito de vía responde a ambas frecuencias. Al aproximarse un tren, la amplitud de la señal en el receptor resulta inferior a cierto umbral, lo cual es interpretado como indicación de su presencia.

6. CONCLUSIONES

Desde los inicios, fue necesario determinar de manera automática y con total certeza la ausencia de tren en una sección de vía. El circuito de vía - primer desarrollo para este fin - se convirtió en el método principal de detección de presencia de trenes, y aunque a través de los años se han experimentado otros métodos, continúa siendo el más confiable. Como se ha descrito, existen varios tipos de circuitos de vía, aunque el principio de detección es similar en todos.

Posiblemente, en la historia del desarrollo del transporte ferroviario ningún invento, tan simple como el circuito de vía, haya contribuido tanto a la seguridad y al control del tráfico. Este invento, muy simple por sí mismo, ha servido de base para el desarrollo de prácticamente todos los sistemas de bloqueo automático - que aún hoy permanecen en operación - donde el tren, de manera continua y bajo todas las condiciones, desempeña un papel activo en mantener su propia protección.

NOMENCLATURA

CA	Corriente Alterna
AFTC	Audio Frequency Track Circuits (Circuito de Vía de Audiofrecuencia)
ATC	Automatic Train Control (Control Automático de Trenes)
ATP	Automatic Train Protection (Protección Automática de Trenes)
CD	Corriente Continua (Corriente Directa)
DMI	Driver Machine Interface (Interfaz Conductor Máquina)
ERTMS	European Railway Traffic Management System (Sistema Europeo de Gestión de Tráfico Ferroviario)
ETCS	European Train Control System (Sistema Europeo de Control de Trenes)
FSK	Frequency Shift Key (Modulación por Desplazamiento de Frecuencia)
HFTC	High Frequency Track Circuits (Circuito de Vía de Alta Frecuencia)

OOK On Off Key (Modulación Digital de Amplitud)

REFERENCIAS

- [1] Williams A., Kichenside G., "Two Centuries of Railway Signalling" (Dos Siglos de Señalización Ferroviaria), Ian Allan, Enero 2009.
- [2] Duffy, Michael C., "Electric Railways 1880-1990" (Ferrocarriles Eléctricos), Institute of Engineering and Technology (Instituto de Ingeniería y Tecnología), 2003.
- [3] European Railways, "Description of the brake curve calculation" (Descripción del cálculo de las curvas de frenado), Ref. EEIG-ERTMS: 97E881 ver 5D, Jul 2001.
- [4] Robinson W., "Improvement in Electric-Signaling Apparatus for Railroad" (Mejora en aparatos de señalización eléctrica), U.S. Patent US130661A, Agosto 1872.
- [5] American Railway Association, "The Invention of the track circuit: the history of Dr. William Robinson's invention of the track circuit, the fundamental unit which made possible our present automatic block signaling and interlocking systems" (El invento del circuito de vía: La historia del invento del circuito de vía por el Dr. William Robinson, la unidad fundamental que hizo posible nuestros actuales sistemas de bloqueo automático y enclavamientos), Nueva York 1922.
- [6] Railway Group Standards, "CD Track Circuits" (Circuitos de vía de Corriente Directa), GKRC0755 Iss2, Dic 1998.
- [7] Railway Group Standards, "83 1/3 Hz A.C. Track Circuits" (Circuitos de Vía de Corriente Alterna), GKRC0758 Iss1, Dic 1998.
- [8] Railway Group Standards, "TI.21 Audio Frequency Track Circuits" (Circuitos de Vía de Audiofrecuencia), GKRC0761 Iss1, Ene 1996.
- [9] Hans Fricke, Jurgen Kiess, Lutz Schulmeyer, "Decoupling arrangement for non-insulated CA track circuits in railway systems" (Desacoplamiento para circuitos de vía sin juntas aislantes en sistemas de señalización), U.S. Patent US4373691A, Diciembre 1980.
- [10] Hofstetter Ernst, Haas Kurt, "Axle counter for railroad installations" (Contadores de ejes para instalaciones ferroviarias), U.S. Patent US3015725A, June 1960
- [11] Wright, N. & A. Hamilton, "ATP - The Train Operator's Perspective" (Perspectiva del operador del tren), IRSE, 16 Enero 2002.
- [12] Ning, Bin, "Advanced Train Control Systems" (Sistema avanzado para el control de trenes), WIT Press, Junio 2010.
- [13] Harry C. Nagel, "Pulse code system for railroad track circuits" (Sistema de código por pulsos para circuitos de vía ferroviarias), U.S. Patent US4619425A, Julio 1981.
- [14] Anthony G. Ehrlich, "Single-element coded alternating current railway track circuit having double-element, phase-selective capability" (Circuito de vía de CA codificado con elemento simple con capacidad para doble elemento sensible a la fase), U.S. Patent US5219426A, Febrero 1992.
- [15] Emmerson, A. (Ed.), "Railway Telecommunications" (Comunicaciones Ferroviarias), IRSE, 2004.
- [16] Proakis, Salehi, "Communication Systems Engineering (2nd Edition)" (Ingeniería de Sistemas de Comunicaciones (Segunda edición)), Prentice Hall, Agosto 2001.
- [17] Leon W. Couch, "Digital & Analog Communication Systems" (Sistemas de Comunicaciones Digitales y Analógicas), Prentice Hall, Enero 2012.
- [18] Solomon, Brian, "Railroad signalling" (Señalización Ferroviaria), Voyageur Press, 2003.
- [19] Olivier Leveque, "ETCS Implementation Handbook" (Manual de Implementación de ETCS), UIC, Mayo 2008.
- [20] European Railway Agency, "ERTMS/ETCS System Requirements Specification" (Especificación de los Requisitos del Sistema ERTMS/ETCS), USIGN SUBSET-026, Abril 2012.

BIOGRAFÍA DEL AUTOR



Jodi Scalise, nacido en Italia, obtuvo su grado de Máster en Ingeniería Electrónica por la Universidad de Florencia en julio de 2013. Es un ingeniero curioso, proactivo y deseoso de aprender.

Ha trabajado para ECM S.p.A. en Pistoia como diseñador electrónico e ingeniero de validación desde inicios de 2011. Ha estado involucrado en la realización de pruebas y la validación de disímiles proyectos de subsistemas ETCS. En particular, se ha

especializado en tecnologías de circuitos de vía, eurobalizas, y odómetros. Ha colaborado con railwaysignalling.eu desde septiembre de 2014.

BIOGRAFÍA DEL TRADUCTOR



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

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

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

APÉNDICE A: RELÉS FERROVIARIOS CON SEGURIDAD INTRÍNSECA⁸

Los términos “levantado” (pick up) y “caído” (drop) hacen referencia a las dos posibles posiciones que toman los relés especiales con seguridad intrínseca usados en la detección de la presencia de trenes. Estos relés se construyen sobre la base de especificaciones aprobadas por la Asociación de los Ferrocarriles Americanos y están diseñados de manera tal que sus contactos de trabajo⁹, normalmente abiertos, se cerrarán solo cuando se aplique suficiente energía eléctrica a la bobina. En un contacto normalmente abierto, las dos partes que lo integran o uno de sus elementos, están compuestos de un material resistente a la soldadura que puede ser carbono o este mismo material impregnado en plata.

Estos relés utilizan la gravedad, en lugar de un mecanismo con resorte, para regresar a su posición de reposo. Los contactos están en posición vertical fijados a la armadura del relé, la cual cae cuando la corriente que circula por la bobina disminuye por debajo de un valor crítico. La tasa de fallo de este tipo de relé en el modo donde los contactos permanecen cerrados sin estar aplicada energía a la bobina, desde todos los puntos de vista prácticos, se puede considerar igual cero.

APÉNDICE B: CONEXIONES INDUCTIVAS

Las conexiones inductivas usadas en los circuitos de vía de CA están conformadas por dos devanados de baja resistencia enrollados en direcciones opuestas sobre un núcleo de hierro laminado. Cada enrollado está conectado a los rieles a ambos lados de la vía. Los puntos centrales de cada devanado están conectados entre sí. Con tracción de CD y bajo condiciones normales de operación, circularán a través de las dos mitades de cada devanando iguales magnitudes de corriente y si su

distribución en ambos rieles es uniforme, no existirá ningún flujo resultante en el núcleo de hierro. Siempre que el núcleo no esté magnetizado, este presenta alta impedancia a la corriente del circuito de vía. De existir algún desbalance, el núcleo se magnetizaría hasta saturarse, y la impedancia al paso de la corriente del circuito de vía ya no sería alta. Por esta razón, se introduce una abertura de aire en el núcleo con el objetivo de evitar su saturación, de manera que, hasta con un 20 % de desbalance en la corriente de tracción, la impedancia a la corriente del circuito de vía será alta.

Con tracción de CA y en presencia de desbalance, la mitad del devanado por el que circula más corriente induce una FEM en el enrollado opuesto que tiende a igualar las corrientes. Por eso, con tracción eléctrica, generalmente, no se requieren aberturas de aire en el núcleo. Al adicionar un devanado secundario con un capacitor conectado, se puede aumentar la impedancia a la corriente del circuito de vía, lo cual se conoce como conexión inductiva sintonizada (Figura 9).

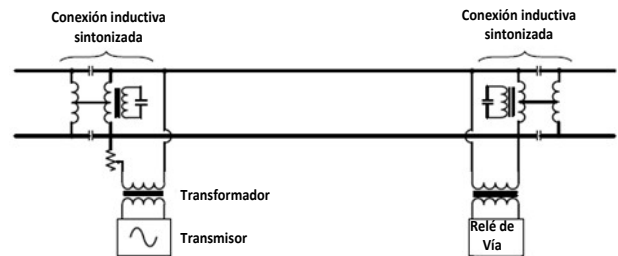


Figura 9: Circuito de vía con conexión inductiva sintonizada

El secundario eleva el voltaje, lo cual permite el uso de capacitores más pequeños que los que se requerirían en otro caso.

Las conexiones inductivas autoacopladas constituyen una modificación de las sintonizadas (Figura 10).

En tal caso, el devanado conectado a los rieles en la zona del circuito de vía forma parte del enrollado de un autotransformador y la otra parte se conecta en serie con un capacitor. En el otro extremo del circuito de vía, la otra parte del autotransformador está conectada a la fuente de energía donde se disminuye el voltaje de la corriente suministrada a los rieles. En el lado opuesto, se eleva el voltaje para la operación del relé. De esta manera, la corriente que circula por ambos devanados es usada convenientemente en la operación del relé.

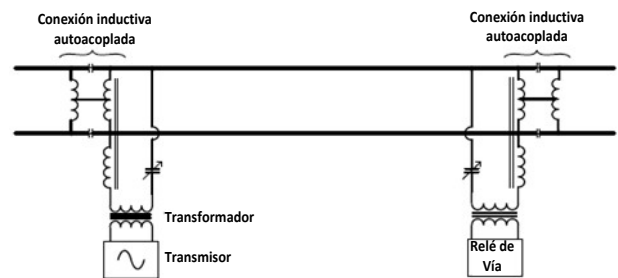


Figura 10: Circuito de vía con conexión inductiva autoacoplada

⁸ TA - relé vital, a prueba de fallo, de señalización ferroviaria

⁹ TA –contacto frontal

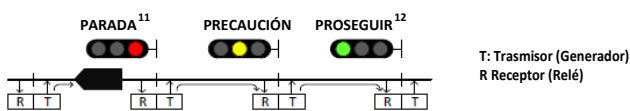
APÉNDICE C: SEÑALES DE MÚLTIPLES ASPECTOS

La señal básica de dos aspectos (rojo/verde) es adecuada solo para operaciones a baja velocidad. Por encima de los 50 km/h, el maquinista requiere de una señal de precaución previa para contar con el espacio suficiente para detener el tren. Lo anterior conllevó al uso de las señales de precaución-originalmente se denominaron “distantes” cuando eran brazos semafóricos¹⁰ operados mecánicamente – para proteger la entrada a una sección de bloqueo y garantizar al maquinista una distancia de frenado segura.

Desde la implementación de este concepto en los sistemas de señalización, la señal de precaución se coloca una sección de bloqueo antes de la de Parada.

De este modo, las señales de múltiples aspectos muestran los aspectos rojo, amarillo y verde [18] [19].

a) Sección de vía normal



b) Sección de vía de alta intensidad de tráfico

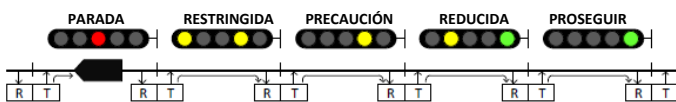


Figura 11: Ruta con señales de múltiples aspectos

Como se muestra en la Figura 11, existen tres aspectos principales:

- **Rojo:** parar inmediatamente antes de entrar a la próxima sección de vía ocupada por un tren.
- **Amarilla:** proceder con precaución a una velocidad no mayor de 40 km/h hasta la siguiente señal.
- **Verde:** la próxima sección de vía está libre y el tren puede proseguir a la máxima velocidad.

En vías con alto nivel de tráfico se utilizan dos aspectos adicionales, dos luces amarillas (velocidad restringida) y una amarilla con una verde (velocidad reducida) [18] [19] [20].

Las señales que se muestran en la Figura 11 no son universales. Los tipos de señales o arreglos de colores usados en los ferrocarriles difieren entre sí.

¹⁰ TA – señales de bandera o de paleta

¹¹ TA – ALTO

¹² TA – LIBRE, DESPEJADO