

# EL COSTE DEL CICLO DE VIDA IMPORTA

## 1ª parte: Evolución tecnológica en los contadores de eje

■■■■  
César A. Losada Martín y  
Fco. Javier González Fernández

Universidad Politécnica de Madrid

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/7158>

### 1. INTRODUCCIÓN

Los contadores de ejes son unos de los dos métodos de detección segura de ocupación de vía usados hoy en día de forma extensiva en las redes ferroviarias a nivel mundial.

Un sistema de conteo de ejes es una solución segura (basada en fallo seguro) para detectar la presencia o ausencia de un tren en una sección definida de la vía. Hablando de forma general se puede decir que los contadores de eje tienen las siguientes funciones:

- Evaluar los pulsos que se reciben desde los componentes de detección del paso de las ruedas que se colocan asociados al carril (denominados tradicionalmente “cabezas de conteo”, “sensores de rueda” o “pedales”).
- Comparar la cuenta de los ejes entrados en la sección controlada con la cuenta de los que salen de la misma.
- Monitorizar las secciones conforme a su estado de ocupación y transmitir los estados “libre” u “ocupado” mediante salidas seguras.
- Opcionalmente, transmitir otra información de seguridad específicamente definida por el operador a través de sus interfaces de relés flotantes a los enclavamientos u otros subsistemas.

La elección de la tecnología de detección de ocupación en vía entre los contadores o los circuitos de vía depende de los criterios de seguridad, los requerimientos del operador, los requerimientos del mantenedor y del entorno

de utilización entre otros muchos factores de decisión. Es un hecho que las Corrientes de alta tensión usadas para la tracción ferroviaria y los retornos de esa corriente de tracción no influyen en el método de detección cuando se basa en contadores, y que su instalación y mantenimiento es rápida y sencilla usando la herramienta específica adecuada.

Pero sobre todas las razones en favor para su uso está el hecho de que los contadores pueden ser utilizados independientemente de las condiciones constructivas de la vía y así pueden ser instalados con traviesas metálicas, en túneles muy húmedos o incluso en áreas muy contaminadas, donde se ve afectada la resistencia eléctrica del conjunto vía-balasto.

De forma general se usan en situaciones como:

- Áreas de baja resistencia de balasto
- Áreas con resistencia de balasto variable
- Áreas con elevado índice de humedad
- Áreas con presencia de altos niveles de contaminantes no conductivos
- Áreas con elevada presencia de masas metálicas (traviesas, puentes metálicos, etc..)
- Áreas donde la rotura de carril puede ser algo estadísticamente esperable
- Áreas de elevada contaminación electromagnética
- Áreas con bajos niveles de tráfico
- Áreas con largas secciones de bloqueo
- Áreas que están sufriendo renovación o migraciones del tipo de sistema de señalización, cuando los contadores se pueden superponer al sistema existente de circuitos de vía
- Áreas que requieren un sistema adicional por tener una alta tasa de fallos del sistema de circuitos de vía principal (p.e.: estaciones término con presencia de numerosas

agujas, movimientos e intervalos muy cortos a ser respetados), a fin de mantener la seguridad requerida para la explotación a la par que garantizarla.

Este documento pretende presentar las familias tecnológicas de contadores electrónicos de eje que hay disponibles hoy en día en el Mercado ferroviario así como sus características principales, de forma que todos los agentes implicados del sector puedan adquirir una comprensión rápida a la par que sencilla sobre los nuevos desarrollos que se han introducido recientemente en el campo de los sistemas de detección de ocupación en vía.

En la siguiente sección del documento se proporciona la introducción general a la evolución de estos sistemas de conteo de ejes, en las secciones tercera y cuarta del mismo se presentan el método de investigación seguido para la comparación de los distintos productos disponibles en el Mercado así como los resultados obtenidos, y finalmente la sección quinta contiene un conjunto de conclusiones de tipo cualitativo.

En el artículo que constituye la segunda parte de éste los autores describen los resultados desde el punto de vista cuantitativo, refrendando las conclusiones cualitativas que se detallan al final del presente.

### 2. LA EVOLUCIÓN DE LOS CONTADORES DE EJE

Los contadores de eje han evolucionado desde el medio más simple imaginable de tipo mecánico para indicar que una sección está libre hasta complejos sistemas, basados en procesadores electrónicos, que están altamente integrados con los enclavamientos u otros sistemas de control de tren.

Los primeros intentos de marcar la ocupación de un tramo de vía se efectuaron con sistemas de tipo mecánico, donde el contacto con la rueda se efectuaba mediante palancas y brazos mecánicos.

Los primigenios sistemas de conteo de ejes propiamente dichos se basaron en principios magnéticos y electrome-

cánicos, estos sistemas se utilizaron entre las décadas 40 y 70 del siglo pasado en instalaciones muy sencillas.

Los contadores de eje con detección electrónica se originaron en los últimos años de la década de 1970 y su concepto básico es el mismo que se sigue utilizando hoy en día.

El concepto o arquitectura de sistema de estos contadores de eje cubre la unidad computadora evaluadora de interior en combinación con los equipos de vía, que varían de un modelo de fabricante a otro, siendo un elemento inefable en todos ellos la cabeza de conteo, también llamada sensor de rueda o pedal, que consiste en un sensor detector dotado de un interfaz bucle de corriente continua.

Obviamente aparte de esto son precisas las redes de cables principales desde el bastidor terminal de conexiones, que se encuentra normalmente ubicado en el cuarto técnico de enclavamiento, hasta las cajas de conexiones en vía y, ya desde éstas, las redes de cables secundarios hasta cada uno de los pedales de conteo.

La alimentación de los sensores contenidos en los pedales se transmite mediante el cableado, desde la unidad computadora electrónica de evaluación, y está aislada de tierra.

Cuando un tren pasa sobre/a través de una cabeza o pedal de conteo el dato se registra en la unidad evaluadora, así hasta registrar el total del número de ruedas que pasan sobre el mismo. Esta cuenta se compara mediante lógica vital por la unidad evaluadora con la del pedal o cabeza del otro extremo de la sección de control lógicamente asociada. Si las cuentas de ejes entrados-salidos no coinciden, entonces la sección permanece ocupada, cuando las cuentas coinciden (cuenta de entrada igual que cuenta que sale) la sección se indica como libre.

Todos los sistemas de conteo proveen una funcionalidad para poner las cuentas a cero (*reset*), ya sea para liberar la sección bien después de un fallo manifiesto del sistema o bien por el desequilibrio de cuenta que provoca la entrada o salida anómala de un vehículo de la sección controlada (como por ejemplo los vehículos biviales que a veces acceden desde un paso a nivel). Este *reset* a cero debe estar sujeto necesariamente a reglas operacionales del opera-

dor (por ejemplo, *reset* preparatorio con la denominada carrera de normalización del tramo, o mediante un *reset* inmediato gracias al soporte de otros medios seguros diferentes al recorrido por la sección de un tren conducido marcha a la vista).

Los sistemas de conteo garantizan el nivel de seguridad SIL4 conforme definen los estándares CENELEC, pero además deben garantizar un concepto seguro para el personal de mantenimiento. Así el equipamiento de vía debe ser, en la medida de lo posible, instalado en zona de acceso confortable para el personal del mantenimiento (que no haya que cruzar las vías, que no posicione al mantenedor de espaldas al peligro potencial, que cada elemento en vía se defina de sección a sección, etc.). Es cierto que por su naturaleza los contadores de eje no pueden detectar la rotura de carril debido a que no detectan las características conductivas del carril, al contrario de los circuitos de vía y que comparados con aquellos ésta es su mayor (acaso única) debilidad.

La tecnología de detección electrónica mediante contadores de eje se ha usado intensamente en Europa y Asia aunque todavía no se ha extendido de igual manera en el continente Americano.

Hoy en día se puede considerar que existen en el Mercado ferroviario dos generaciones distintas de contadores desde el punto de vista tecnológico, por un lado la generación que se corresponde con el concepto de sistema original que se desarrolló al final de la década de 1970 y por otro la que podemos denominar nueva o de última generación, que se ha lanzado al Mercado a partir de 2010 por parte de los principales actores comerciales del producto, y que supone una ruptura muy significativa del concepto original.

### 3. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Hay numerosos suministradores de sistemas de conteo de ejes en el Mercado ferroviario hoy en día. Son firmas importantes de raigambre europea como *Frauscher*, *Siemens*, *Tiefenbach* o *Thales*. Existen otros suministradores a menor escala o para aplicaciones específicas como *Altpro*.

La experiencia en la industria y el conocimiento específico en materia de

señalización de uno de los autores que ha trabajado en en el seno de Siemens en los últimos diez años se ha usado intensamente, y gracias a la red profesional de contactos de ambos autores se han mantenido numerosas entrevistas con expertos en la venta de este tipo de soluciones de la mayor parte de estos suministradores.

Los folletos comerciales de todos los productos se han recolectado, analizado y comparado (ver la lista de referencias que figura en la sección 6 de este artículo), y en algunos casos se han facilitado por parte de los departamentos de marketing y venta de las diferentes firmas descripciones detalladas de los sistemas a los autores, facultando de esta forma la investigación detallada.

Como resultado se ha analizado en profundidad el portfolio de soluciones de detección de ocupación de vía mediante contadores de eje de cada una de estas compañías que existe actualmente disponible en el Mercado, y se han identificado sus características principales.

El propósito del método de investigación no es determinar cuáles son los argumentos principales de venta de cada producto, sino identificar los aspectos principales que hacen que la nueva generación de contadores sea un concepto radicalmente diferencial a la que podría calificarse de tradicional o de primera generación.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS CONTADORES ELECTRÓNICOS DE EJE DE LA PRIMERA GENERACIÓN

Los principales componentes de un sistema de conteo electrónico de ejes de la primera generación son (ver Figura 1):

- Cabezas de conteo (o también llamadas sensores de rueda o pedales) ubicadas en el exterior. Estas son los interfaces a nivel de vía del sistema de conteo con el tren, montadas sobre o muy próximas al carril. Su localización define la longitud de cada sección de bloque. De manera general utilizan osciladores de baja intensidad para detectar el paso de la pestaña de la rueda cuando ésta pasa sobre la cabeza de conteo (o a su través) modificando el campo magnético que

hay creado a su alrededor.

- Tarjetas de procesamiento electrónico de exterior (también llamadas unidades funcionales electrónicas), localizadas en el interior de cajas de vía para su protección, cuya función principal es recolectar los pulsos que provoca el paso de los ejes sobre las cabezas de conteo asociadas así como garantizar su alimentación con la debida intensidad. Los datos de los equipos de conteo se reciben por estos módulos electrónicos de entradas/salidas que convierten los datos serie que se reciben y los transmiten a los buses de datos de la unidad computadora vital de evaluación de interior.
- Unidad computadora vital de evaluación interior, o simplemente unidad evaluadora. Detecta el estado de ocupación de las secciones de vía que le son relevantes gracias a las cabezas de conteo (desde las tarjetas de procesamiento electrónico de exterior) y dicho estado se transmite al enclavamiento. La arquitectura de la unidad evaluadora difiere significativamente entre los distintos suministradores.



Fig. 2: Unidades evaluadoras (1ª generación) de diferentes suministradores. Desde arriba izquierda hacia la derecha: Altpro BO23 UNUR, Frauscher ACS2000, Thales 6315 Fieldtrack, Siemens AZS350U, Tiefenbach TAZ

Unidades estándar de altura de forma que puede ser ubicado como parte de los propios armarios de enclavamiento (ver Fig. 2).

En la *sub-rack* se alojan distintas tarjetas que contienen placas de circuito electrónico impreso, además de la fuente de alimentación y los precisos módulos de aislamiento galvánico. Algunas tarjetas pueden ser redundadas por razones de disponibilidad. El *sub-rack* cuenta con una placa de conexiones base trasera o “backplane” donde se insertan en diversos conectores todas estas tarjetas modulares. Todos los componentes son de manufactura exclusiva del suministrador de que se trate

del número de ejes contados y otros datos relevantes (como el sentido del tren detectado, las perturbaciones, fallos del sistema, etc.)

En cada uno de los microprocesadores de la unidad de proceso central corre un programa estructurado de *software* seguro para procesar las señales recibidas desde los sensores en vía, distinguiendo las perturbaciones de los pulsos emitidos por el paso de rueda, y así la cuenta del eje al paso y la información de ocupación de cada sección. La información sobre el estado de ocupación se transmite según el principio 2 de 2 o incluso 2 de 3 y se envía por los relés de seguridad de los módulos de salida de datos.

Mediante un interfaz serie S232 o similar, normalmente parte del módulo de procesamiento central o bien como una tarjeta específica al efecto, todos los datos memorizados de paso de tren se pueden leer en un ordenador portátil o remotamente mediante un modem de comunicaciones.

Dependiendo del concepto del suministrador de que se trate entre 5 y 16 módulos de recepción de datos (es decir entre 5 y 16 puntos de conteo) pueden ser insertados en la *sub-rack* para ser gestionados por una única unidad central de procesamiento de datos. Algunas tecnologías permiten gestionar desde un único módulo central más de un sub rack llegando así a controlar hasta 32 puntos de detección. Cada unidad de recepción suministra al punto de conteo asociado la alimentación precisa en corriente continua aislada galvánicamente y recibe la señal en alterna del punto de conteo y la adapta y transmite a la unidad central de procesamiento. Normalmente el sistema de transmisión provee la información de la ocupación de la sección como contacto libre de potencial o mediante un relé de seguridad

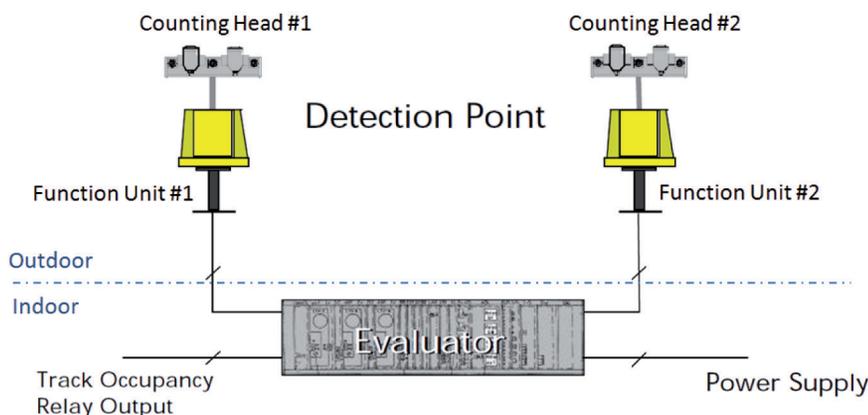


Fig. 1: Concepto de sistema de la primera generación de contadores electrónicos de eje [Fuente Thales-Ref 13]

#### 4.1.1. Equipamiento de interior

Es verdaderamente complicado describir todas las generalidades de las distintas soluciones tecnológicas que han estado presentes en el mercado durante los últimos 30 años, pero por lo general la unidad electrónica evaluadora de interior de estos denominados equipos de conteo de primera generación presenta una estructura en *sub-rack* de 19” y 3

y no existe el concepto *hardware* COTS (*comercial-off-the-self*) en este tipo de arquitectura.

Básicamente hay una unidad de proceso central (basada en una o varias tarjetas insertables) que contiene, en una única tarjeta en el caso de la versión más sofisticada, hasta 3 microprocesadores y un microprocesador de control con indicación mediante diodos LED

mientras que cada módulo de recepción es capaz de gestionar dos secciones con relés independientes.

Como elementos necesarios se encuentran las separaciones galvánicas y las fuentes de alimentación en corriente continua con sus protecciones y filtros también dispuestos en el *sub-rack*. Para cada tipo de tarjeta o módulo el concepto logístico de mantenimiento es distinto, y es usual contar con largos plazos de suministro por parte de los proveedores para los repuestos de los distintos elementos.

**4.1.2. Equipos de campo o exterior**

Hay dos elementos diferentes ubicados en el exterior (ver Fig. 3):

- Sensores dobles de detección del paso de rueda (dotados de dos transmisores y dos receptores), que se montan en uno de los carriles para detectar el paso de los ejes del vehículo.
- Unidades electrónicas funcionales, que se alojan en cajas estándar de vía para la alimentación del sensor y ajuste de la frecuencia de transmisión

**4.1.2.1. Sensores de rueda**

Se utilizan dos métodos de detección electromagnética de la presencia de la rueda. El método más antiguo detecta la pestaña de la rueda, pero el método más utilizado es el que detecta la banda de rodadura dada la ventaja de que así todo tipo de rueda puede ser detectado y se elimina la incertidumbre de los distintos tipos de pestaña o los problemas de detección ligados al desgaste de las mismas. Dentro de los detectores hay dos familias diferentes.

La primera familia consta de dos componentes (ver Fig. 4). Uno de ellos se monta en el lado exterior del carril y acomoda en su interior dos elementos de transmisión o emisores mientras que el otro se monta en el lado interior del carril de forma opuesta y contiene dos receptores. Es decir, dos detectores se acomodan dentro de cada componente. De forma habitual placas de reducción se instalan entre cada componente transmisor/receptor y el carril para reducir la interferencia causada por la corriente de retorno.

Un generador de frecuencia causa una oscilación de amplitud constante en la frecuencia transmitida por las bobinas

de transmisión. El circuito oscilante genera un campo electromagnético alrededor del carril como ilustran las líneas 1 y 2 de la siguiente imagen (ver Fig.5). Cuando una rueda cruza entre la pareja de transmisor y receptor causa un cambio en el campo electromagnético, elevando el acoplamiento electromagnético

entre el conjunto transmisor-receptor y así en el voltaje inducido por la bobina receptora del detector. Es la masa metálica de la rueda la que causa la perturbación de la distribución del campo de fuerza. La fuerza del campo se incrementa y así lo hace el voltaje inducido en las bobinas de recepción.

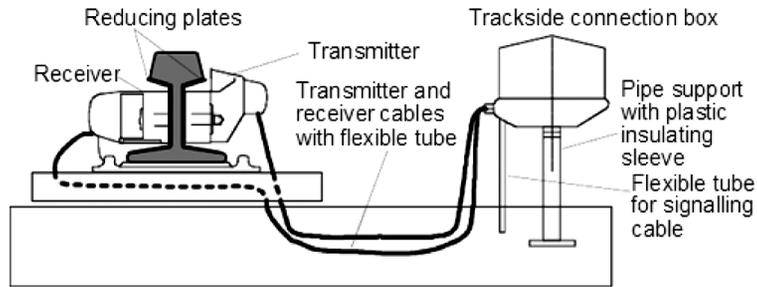


Fig. 3: Concepto de exterior de los contadores electrónicos de eje de primera generación

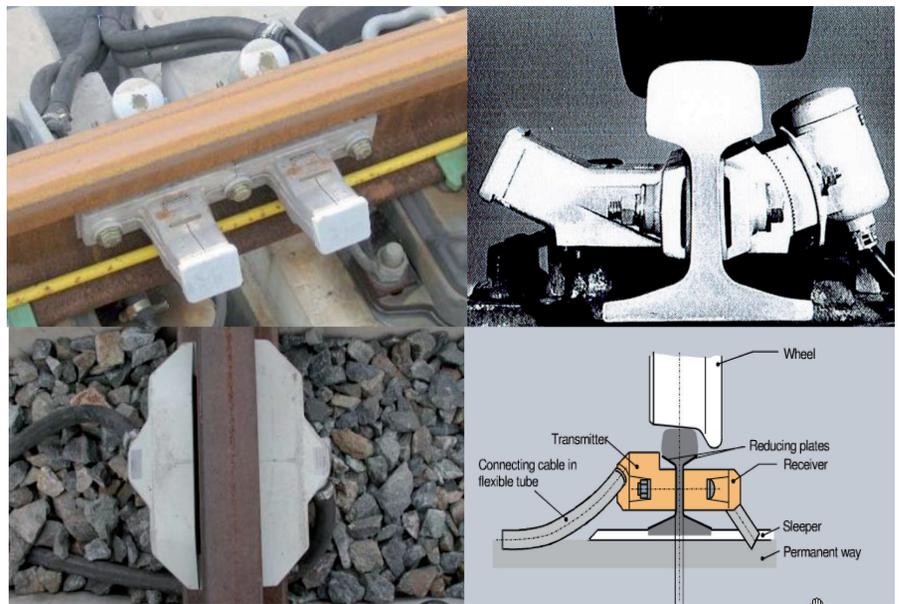


Fig. 4: Detectores dobles de la primera familia, las primeras dos imágenes arriba del todo son del modelo Zp30C de Thales, y la inferior al modelo DKE43 de Siemens y su concepto de instalación

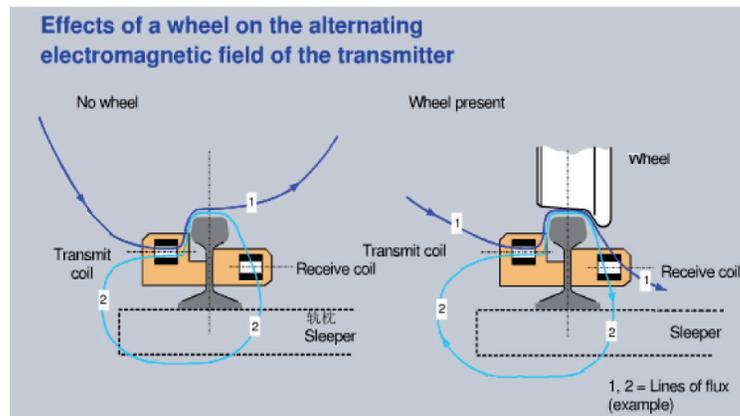


Fig. 5: Detección de la banda de rodadura (fuente Siemens Ref. 8)

Los cambios en la amplitud y su secuencia cronológica de ocurrencia son evaluados. La distancia conocida entre los pares “transmisor-receptor” permite deducir el sentido de circulación de la rueda. Estas señales se transmiten desde la unidad electrónica funcional en vía al equipo evaluador de interior en forma de señales moduladas en frecuencia y amplitud.

La segunda familia de detectores fue una evolución natural de la primera y supuso la eliminación de las bobinas de acoplamiento en uno de los lados del carril (ver Fig. 6), minimizando así los trabajos a un único lado del mismo y reduciendo las probabilidades de fallo.

En esta clase de detectores dos pares de sensores electrónicos de proximidad se montan separados por una determinada distancia de forma encapsulada en una carcasa reforzada de fibra de vidrio. Los sensores de proximidad conforman dos subsistemas idénticos e independientes (aislados eléctricamente) con osciladores armónicos LC. Se ubican debajo de la cara superior de la carcasa.

En el momento en que se coloca dentro del rango efectivo de funcionamiento cualquier conductor eléctrico se atenúa el circuito resonante del oscilador armónico, alterando sus características oscilatorias. Al paso de una rueda la corriente de bucle de cada subsistema detector cae por debajo de un umbral determinado.

Cada subsistema produce un campo magnético alternante. Las pestañas de las ruedas al paso por este campo alternante generan corrientes de Foucault inducidas que atenúan el campo magnético del detector. La caída de tensión es detectada entonces en el sensor y se utiliza esta información para la detección positiva de rueda. El voltaje de la señal se genera por el cambio oscilatorio detectado, que se evalúa en cuánto a amplitud y tiempo.

Al igual que en la otra familia de detectores los cambios y su secuencia cronológica son evaluados, de forma que con el dato conocido de la distancia entre las parejas de transmisor-receptor se discierne el sentido de circulación (ver Fig. 7).

#### 4.1.2.2. Unidades electrónicas funcionales y sus cajas de vía

Las cajas de vía que se utilizan para alojar las unidades electrónicas fun-

cionales son normalmente de metal, a veces de plástico reforzado, pero en cualquier caso son componentes ferroviarios a prueba de humedades (grado de protección IP67), con una tapa de acceso que consta de su debido sistema de cierre de seguridad (ver Fig. 8). Para su montaje en la vía se utilizan soportes de tipo tubular, que pueden ser utiliza-

dos para permitir el paso de cables de datos y alimentación así como para la conexión a tierra, utilizando para ello prenaestopas de diversos diámetros.

En el interior de las cajas se aloja un pequeño rack en el que se alojan las tarjetas electrónicas que conforman la unidad funcional en sí misma para recibir los datos de los receptores de los detec-

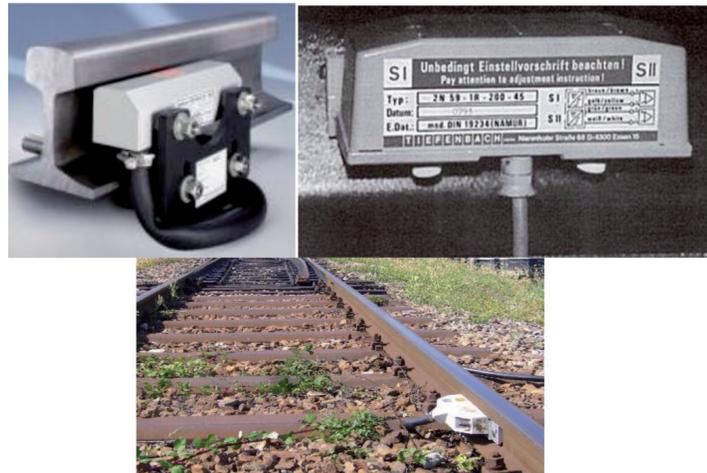


Fig. 6: En la parte superior el modelo RSR de Frauscher, y a su derecha el modelo DSS de Tiefenbach. La imagen inferior se corresponde al modelo WSD de Siemens

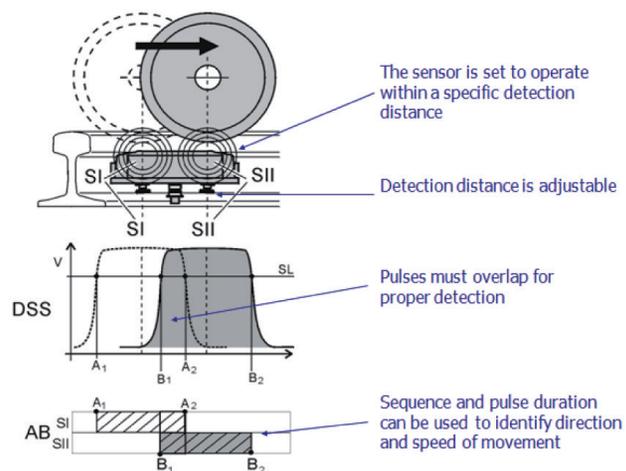


Fig. 7: Principio de identificación del sentido de circulación [Fuente Tieffenbach Ref.16]



Fig. 8: Cajas de vía de unidades electrónicas funcionales (izquierda Siemens ZP43E, derecha Thales 6315 Fieldtrack)

tores y así editar los datos a transferir al equipo electrónico evaluador de interior (ver Fig.9).

La frecuencia de transmisión se ajusta mediante un dispositivo terminal que está fijado en la cara exterior del rack interior. El primer ajuste se efectúa con la ayuda de un equipo específico y los valores requeridos para las frecuencias de señal a ser transmitidas para la unidad evaluadora de interior se ajustan usando potenciómetros (ver Fig.10).

#### 4.2. CARACTERÍSTICAS INNOVADORAS DE LA NUEVA GENERACIÓN DE CONTADORES ELECTRÓNICOS DE EJE

La tecnología electrónica de señalización está evolucionando gradualmente hacia las formas abiertas de comunicación de las modernas redes de telecomunicación que permiten cubrir grandes distancias a la par que proveer diagnósticos avanzados e información operacional que puede ser usada para mejorar de forma remota la fiabilidad y el comportamiento del sistema. Esta es hoy en día la tendencia seguida por los más modernos sistemas de conteo de ejes, siendo éste el estado del arte en la materia.

Los sistemas de última generación utilizan algoritmos complejos para soslayar las interferencias y reconocer con total certidumbre los pulsos producidos por el paso de las ruedas en los puntos de detección antes de transmitir la información de la cuenta a la unidad de evaluación, eliminando de esta forma la necesidad del uso de las unidades electrónicas en vía. De esta forma se reducen los conteos incorrectos y se mejora la fiabilidad del sistema.

La base del interfaz del contador ha pasado de la tradicional interfaz de relés (controlados por el evaluador para cada sección) a un concepto de comunicación global en serie.

La capacidad de configurarse y diagnosticarse de forma remota, accediendo a través de un navegador desde un ordenador comercial convencional de tipo PC, ya sea conectado al módulo del sistema o a la red de comunicaciones del operador ferroviario a la que está conectado el módulo (con su dirección IP específica) es la característica más futurista de la nueva generación de contadores (ver los folletos comerciales citados como referencias de *Frauscher*, *Siemens* y otros).



Fig. 9: Ejemplos de unidades electrónicas funcionales: izquierda ZP43 E de Siemens, centro- derecha Zp30H de Thales

Accediendo a la dirección IP específica del módulo un moderno interfaz gráfico de usuario se ejecuta, permitiendo diagnósticos simples y rápidos, lo que reduce los costes de mantenimiento y permite que las perturbaciones a la operación puedan ser solventadas con mayor prontitud (Ref. 18).

Una tendencia secundaria es reducir el número de repuestos del tipo propietario a base de involucrar como parte del sistema elementos del tipo COTS.

funcionales en vía se eliminan de la arquitectura precisa para esta nueva generación de contadores y sólo es precisa una simple caja de conexiones para los cableados del sistema.

Es obvio que el mejor modo para evitar fallos de componentes y su impacto en los costes del mantenimiento es considerar una solución en la que esos componentes no sean precisos y este es el caso de las unidades electrónicas funcionales en vía, que no resultan

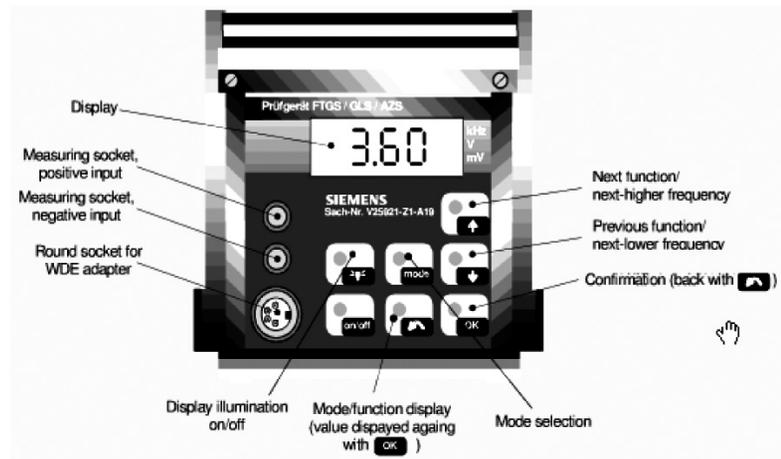


Fig. 10: Herramienta PEGA usada para ajustar la familia de equipos de detección de ocupación en vía de Siemens (contadores y circuitos de vía de audiofrecuencia)

Debido a estas dos tendencias se han producido cambios en los conceptos del sistema de la nueva generación de contadores, tanto en la parte interior como exterior, con respecto a la generación anterior.

El equipamiento de exterior consiste en detectores del segundo tipo descrito previamente en este documento, los cuáles detectan los pasos de las pestañas de la ruedas y los pulsos se transmiten mediante cables de cuatro conductores al equipo de evaluación instalado en el cuarto de enclavamiento sin necesidad de pasar por una unidad electrónica funcional en vía. Las unidades electrónicas

necesarias en esta nueva generación de contadores de eje.

Para resumir los aspectos relevantes lo mejor es describir las características principales los de uno de los productos. En lo siguiente se describen los aspectos de la solución de interior del producto ACM100 de *Siemens* (Ref. 8), ya que cubre la mayor parte de los tópicos característicos de la tendencia tecnológica que fue iniciada por el principal suministrador industrial de contadores de eje, *Frauscher*.

El equipamiento de interior se ha reducido a la mínima expresión que permite la tecnología de hoy en día.

La arquitectura “*Sub-rack + tarjetas + backplane*” se ha alterado completamente pasando a ser modular y con la capacidad sin límites que permiten las comunicaciones *Ethernet*.

De las tarjetas insertables en los *sub-rack* de 19” (hasta 10 diferentes tipos de tarjeta en algunas soluciones, aparte del *backplane*) se ha pasado a contar con tan sólo 4 tipos de módulo: módulo contador de ejes, módulo fuente de alimentación, módulo de conexiones *Ethernet*, módulo de comunicaciones o modem.

El diseño del producto se ha visto simplificado al extremo y además el *backplane* se ha eliminado del concepto.

El módulo de alimentación, de conexiones *Ethernet* y de comunicaciones son productos COTS, disponibles comercialmente, sin que sea obligada dependencia específica de un único suministrador. Así la gestión de la logística del stock de repuestos del operador puede ser decidida de manera más inteligente, contando con existencias bajas de inventario, dado que el mercado está permanentemente ofreciendo productos compatibles por parte de numerosos suministradores con plazos reducidos de suministro.

El módulo contador es la llave tecnológica del conjunto global del sistema, que se puede basar desde uno de estos módulos a un número ilimitado de los mismos. La arquitectura modular permite que un sistema se diseñe individualmente para cubrir las necesidades más variadas de cualquier cliente ferroviario. El número de módulos preciso se puede adaptar a la topología desde el punto de vista funcional. Al carecer de *backplane* como elemento físico preciso el concepto se puede ampliar o modificar muy fácilmente, sin ataduras físicas, asegurando por ello la inversión ante los años venideros y sus circunstancias.

El módulo en sí mismo está contenido dentro de una carcasa metálica del tipo industrial, resistente y fácil de instalar, y tiene una tecnología electrónica de fallo seguro y alta fiabilidad. Toda la electrónica, incluyendo los interfaces y los elementos de control y *display*, se hayan integrados en el módulo. El corazón del *hardware* se dispone en placas electrónicas de circuito integrado del tipo SMD y posee una configuración 2 de 2 (dos microprocesadores idénticos que trabajan en todo momento de modo síncrono). El módulo en sí está libre de



Fig. 11: De izquierda a derecha los módulos: contador, alimentación, *Ethernet* y modem [fuente Siemens- Ref. 8]

cualquier tipo de mantenimiento preventivo y cuenta con hileras de LED en su cara frontal para permitir rápidos diagnósticos in situ.

Es extraíble y reemplazable “*en caliente*”, esto es, con la alimentación activa. Los datos que hay configurados en el módulo se pueden transferir a otro módulo de repuesto simplemente extrayendo e insertando un conector programable enchufable del frontal que contiene una memoria no volátil con la programación. Esta solución es muy conveniente ya que minimiza los tiempos de indisponibilidad al máximo.

Por sí mismo un módulo puede gestionar hasta dos sensores de vía conectados directamente pero, como también puede conectarse gracias a su interfaz *Ethernet* a otros cuatro módulos, denominados asociados, es posible para

un único módulo gestionar la información de hasta 10 sensores de vía, y así de forma sucesiva en cascada se pueden cubrir las topologías del tipo que sean, simplemente añadiendo los módulos de conexión y comunicaciones precisos para intercambiar de forma segura la información precisa (concepto de cascada 1-más-4 como muestra la Fig. 12). Si la información del sistema se transmite a través de redes públicas entonces medidas adicionales de encriptación son precisas para evitar accesos no autorizados. Gracias a las modernas y avanzadas tecnologías de transmisión de datos las topologías descentralizadas van siendo cada vez más habituales (Ref. 18).

Por el hecho de utilizar un único tipo de hardware como módulo contador para cualquier tipo de aplicación se logra una gestión óptima en coste de

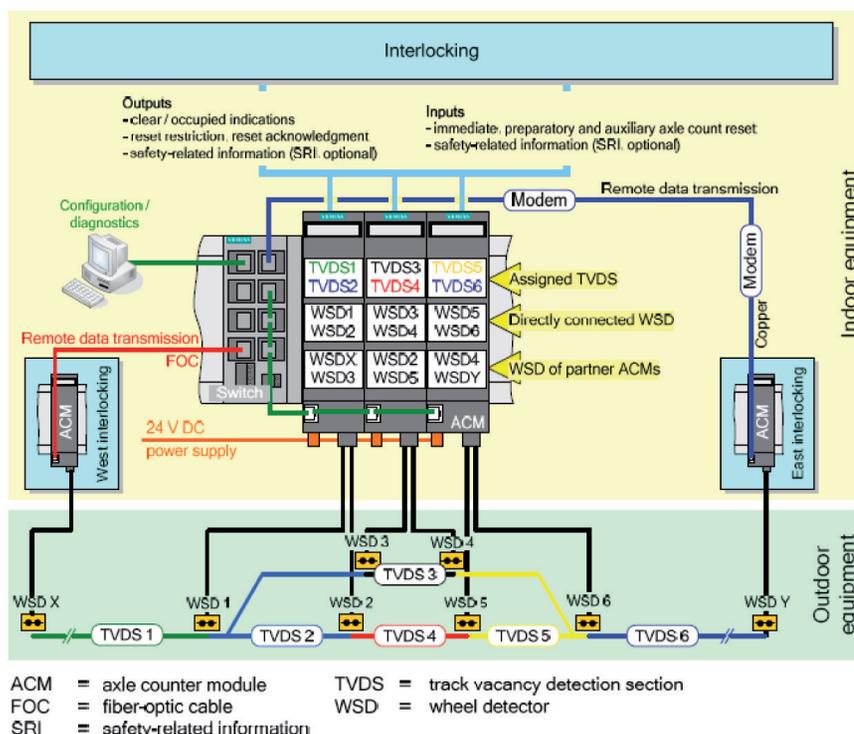


Fig. 12: Concepto de arquitectura del sistema (1 más 4, concepto de cascada) [Fuente Siemens Ref. 8]

suministros con vistas al largo plazo así como en cuanto a los costes de mantener el stock de repuestos aparte del hecho de que las posibles fuentes de falla se reducen.

El consumo del módulo es menor a 7,8 W, aproximadamente 9 W cuando se conecta de forma directa a dos sensores de rueda, lo que supone en nivel de de consumo energético realmente muy bajo y que resulta un factor muy relevante considerando toda la vida útil que se pretenda para el servicio del sistema.

La trasera de los módulos contadores tiene una fijación de anclaje retráctil de forma que permite una rápida instalación en perfiles industriales estándar de 122 mm. Simplemente posicionándolos, la operación de presentarlos y anclarlos o retirarlos de su sitio se lleva a cabo en menos de 30 segundos por cualquier trabajador cualificado con un mínimo de experiencia. Esta optimizada forma de instalación reduce al máximo los tiempos de puesta en marcha del sistema y reduce por tanto los costes de instalación y de intervención en mantenimiento correctivo.

## 5. CONCLUSIONES

Conforme a las características antes descritas se puede declarar que la nueva generación de contadores electrónicos de ejes aporta ventajas evidentes, en principio afectando a cada uno de los costes que se generan a lo largo de cada una de las fases del *Ciclo de Vida* del sistema, puesto que:

- El uso de componentes del tipo COTS minimiza los costes de adquisición, y aquellos relativos a la logística de mantenimiento (repuestos).
- La ausencia de unidades electrónicas funcionales en la vía reduce las labores de instalación en más de un 30% así como el hecho de que no es precisa su adquisición, repuestos ni labores de mantenimiento asociadas.
- El consumo se ha rebajado sustancialmente comparando con la primera generación (más de un 25%) y por ello los costes operativos se ven claramente beneficiados.
- La ayuda que suponen para el operador las herramientas de acceso

remoto permite al mantenedor contar con una forma más rápida y eficiente de diagnósticos y por tanto una reducción de los tiempos precisos para restaurar el sistema en servicio en caso de falla.

- La simplicidad del concepto de sistema, tanto de interior como exterior así como las posibilidades de reemplazo en caliente minimizan los esfuerzos de aprendizaje/formación y los tiempos de intervención en más de un 35% en caso de fallos.
- La reducción del número de repuestos precisos del tipo propietario (del tecnólogo) y el concepto de intercambio de los módulos contadores simplifica hasta el extremo las labores de mantenimiento correctivo y su logística asociada.

En el mundo y mercado de la movilidad (ya sea aeronáutica, de carretera o ferroviaria) la tendencia actual es comparar, en el momento de la toma de decisión de una nueva inversión, las diferentes alternativas disponibles para elegir aquella que proporcione el costo más bajo considerando todo el ciclo de vida del sistema para el escenario que se defina.

Por desgracia hace falta mucho tiempo y esfuerzo para producir un análisis del tipo LCC (Coste del Ciclo de Vida), y esto sin contar con el tiempo preciso para la recolección de los datos. Los resultados de este tipo de análisis son adecuados para la toma de decisiones de inversión por lo que, debido a la dificultad de su obtención en un corto espacio de tiempo, las autoridades ferroviarias (o los consultores asociados) han de agrupar esfuerzos para replicar análisis conforme evoluciona la tecnología.

Ambos autores han decidido elaborar un segundo artículo continuación de éste en el que se muestre la comparación de LCC entre las dos generaciones de contadores electrónicos de eje aquí descritos demostrando, sobre la base de una configuración ejemplar, todos los aspectos de tipo cualitativo que se indican en estas conclusiones y más detalladamente aquellos ligados a las fases de operación y mantenimiento del ciclo de vida. Este estudio debiera permitir aconsejar a las empresas de consultoría y a las administraciones ferroviarias sobre cuál debe ser la elección correcta a la hora de preparar diseños básicos o

bien de adquirir este tipo de elementos para la detección de la ocupación de vía.

## PARA SABER MÁS

1. ALTPRO "Axle counter B023". Descripción del sistema
2. FRAUSCHER "Wheel sensor RSR180 and Evaluation board IMC". Folleto comercial
3. FRAUSCHER "Axle Counting System ACS2000". Folleto comercial
4. FRAUSCHER "Axle Counting System ACS2000 Axle counting system: Modular system for efficient track vacancy detection". Transparencias de presentación del producto
5. SIEMENS "Az S 350 U microcomputer axle counting system: Track clear and occupied indication of track sections". Folleto comercial
6. SIEMENS "Safety for the Rail Services: ZP 43 Electronic Wheel Detection Equipment". Folleto comercial
7. SIEMENS "Sistema de contador de ejes AzS 350 (M): Aplicaciones" Descripción del sistema
8. SIEMENS "Clearguard ACM 100 Axle Counting System". Descripción del sistema
9. THALES "Descripción técnica contadores de ejes". Descripción del sistema
10. THALES "Descripción técnica sensor de ruedas RSL (actualizado)". Descripción del sistema
11. THALES "Equipo SIG L90 de bloqueo, telemando y supervisión de vía con contadores de ejes". Descripción del sistema
12. SEL-ALCATEL (hoy THALES) "Gleissfreimeldung mit Achszählern: AzL 70-30 Elektronischer Achszähler" Folleto comercial
13. ALCATEL (hoy THALES) "Punto de detección Zp30C del contador electrónico de ejes" Folleto comercial
14. ALCATEL "6313 Fieldtrack: Contador electrónico de ejes multifunction AzL90M basado en microprocesador" Folleto comercial
15. TIEFFENBACH "Axle counting system ACS" Folleto comercial
16. TIEFFENBACH "A guide to installing Tiefenbach Wheel Sensors" Transparencias de formación
17. Poppe G. "The new axle counter generation AzLM as successor of the proven AzL 70-30" SIGNAL + DRAHT 94 09/2002
18. Grundnig G. "Future Challenges of wheel detection and axle counting" SIGNAL + DRAHT 103 12/2011
19. M.Melis, F. J. González "Ferrocarriles metropolitanos: tranvías, metros ligeros y metros convencionales" 3ª Edición-Colegio de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos -
20. F. J. González "Señalización ferroviaria: del guardagujas a la operación sin conductor" Own edition
21. F. J. González "Teoría y Práctica del Mantenimiento industrial avanzado" 4ª edición - FC Editorial
22. F. J. González "Ingeniería Ferroviaria" Universidad Nacional de Educación a Distancia - 2ª edición-