

LÍNEAS DE DÉBIL TRÁFICO

Miguel Rodríguez Bugarín.

Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Profesor de Ferrocarriles.

E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad de La Coruña

RESUMEN

En España existen aproximadamente 2.500 km de líneas de débil tráfico. En general, el término "líneas de débil tráfico" se ha venido identificando con "líneas deficitarias". Este planteamiento es muy cuestionable: una línea de débil tráfico puede ser rentable. En este sentido, se describen una serie de tecnologías que permiten reducir los costes de explotación y mantenimiento en este tipo de líneas. Dichas técnicas se aplican a la infraestructura (vía, desvíos, pasos a nivel), estaciones, vehículos y sistemas de explotación.

Técnicas como las que se describen han dado buenos resultados en la mayoría de los casos, cuando se han aplicado racionalmente, con una planificación previa y coherente.

ABSTRACT

The Spain there are 2.500 km of lines carrying low-volume traffic. Generally the term "lines with low-volume traffic" has been taken to mean lines showing a deficit, but this is not necessarily so; a line of this type can be profitable.

To illustrate this, details are given of some technologies that allow a reduction of the costs of operation and maintenance of of lines of this kind, applying the techniques to infrastructure (track, turnouts and level crossings), stations, vehicles and operation systems.

Then applied rationally, as part of a coherent planning, these techniques have given good results in most cases.

1. INTRODUCCIÓN

Toda red ferroviaria tiene líneas en las cuales, por tratarse de conexiones entre zonas de baja densidad de población, se producen relativamente bajos volúmenes de transporte.

Sin embargo, estas líneas desarrollan una serie de valiosas funciones dentro del sistema de transporte público, entre las que destacan:

▼ Se trata de líneas que aportan tráfico en los nudos en la red principal.

▼ Mantienen relaciones eficientes con los centros industriales, administrativos, etc. y los pequeños núcleos de población a nivel regional.

Debido a que el volumen de transporte es bajo y las distancias no son muy grandes, los ingresos resultan más bajos que los correspondientes a la media de la red principal, mientras que los costes de operación son del mismo orden o mayores. El balance de explotación así obtenido muestra un resultado muy desfavorable comparado con el resto de la red. Desde un punto de vista económi-

Map of Spain showing the network of roads with traffic volume below 50 vehicles per day and train lines. The map includes major cities and the percentage of road coverage for each region. A legend indicates that the number in the box represents the 'Tasa de cobertura' (coverage rate) and the line represents 'Línea con tráfico inferior a 50 viajeros/día y tren' (line with traffic below 50 passengers/day and train).

Region	Tasa de cobertura (%)
Galicia	0,88
Castilla y León	0,08
Castilla-La Mancha	0,01
Extremadura	0,43
Andalucía	0,60
Valencia	0,42
Cataluña	0,10
País Valencià	0,08
Illes Balears	0,02
Illes Canàries	0,02

co, resulta lógico que la compañía explotadora se sienta inclinada a reducir servicios e incluso cerrar la línea.

2. QUÉ ES UNA LÍNEA DE DÉBIL TRÁFICO

El umbral de trenes, de unidades de tráfico, se ha venido definiendo en función de la rentabilidad de la operación sobre esa línea. En efecto, en la década de los 60, con motivo de los préstamos del Banco Mundial, RENFE contrató los servicios de asistencia técnica del consultor americano Ralph Rechel al objeto de que elaborase una metodología para el análisis de líneas ferroviarias de débil tráfico, con vistas a la posible supresión de servicios. Como consecuencia de los estudios realizados y de los tanteos preliminares realizados en algunas líneas, se publicó en 1967 un informe titulado "Programa de estudio para la determinación de supresiones de servicios de viajeros y de mercancías en líneas ferroviarias de débil tráfico", conocido también como Informe Rechel. Desde la redacción de este informe, se viene asociando implícitamente la idea de línea de débil tráfico con línea deficitaria. Desde este punto de vista, sería

más correcto hablar de "líneas de tráfico no rentable" que de "líneas de débil tráfico".

En la actualidad, RENFE considera una línea de débil tráfico como aquella cuyo índice de cobertura (es decir, la relación costes/ingresos) no llega al 40 % ó cuyo grado de ocupación medio no llegue a 50 viajeros diarios por tren. En el mapa de la figura 1 se representan las líneas afectadas en España.

Llegado a este punto, cabe hacerse la pregunta de si toda línea de débil tráfico es, per se, deficitaria.

En el Congreso Mundial de la Investigación Ferroviaria celebrado el pasado año en París, Edwin L. Harper, presidente de la Association of American Railroads (AAR), afirmaba que el Ferrocarril no sólo es rentable transportando grandes masas a grandes distancias. Hay numerosos casos que demuestran que, con medidas adecuadas en respuesta a las demandas del cliente, líneas de pocos kilómetros o con bajos niveles de transporte pueden ser rentables. Para el Sr. Harper, la clave está en:

- ▼ Ser capaz de dar una respuesta adecuada al cliente,
- ▼ Reduciendo en lo posible los costes de explotación y mantenimiento.

Estos son los dos pilares sobre los que descansa cualquier política efectiva de explotación de líneas de débil tráfico.

3. INFRAESTRUCTURA

3.1. LA VÍA

3.1.1. Consideraciones generales

Desde el punto de vista de la infraestructura, las L.D.T., en su gran mayoría no han sido modernizadas en los últimos 40 ó 50 años. Por lo general están equipadas con carriles antiguos, anteriores al UIC-54 (32,5 y 42,5 kg/m de Norte, 45 kg/m), que no han alcanzado su límite de desgaste. La vía está constituida por barras cortas con sujeción directa, mediante tirafondos, a traviesas de madera.

A diferencia con las vías de líneas más importantes que se desgastan en razón de la magnitud y agresividad del tráfico que soportan, lo que conduce a su renovación completa, la alteración de

las vías en L.D.T. está esencialmente motivada por su envejecimiento.

El problema de mantener estas líneas se plantea tratando de conseguir la mayor economía posible que permita cumplir las siguientes exigencias:

- ▼ Necesidad de asegurar la circulación de los trenes en las condiciones de seguridad y confort convenientes.
- ▼ Necesidad de asegurar la fiabilidad, la disponibilidad de la línea.

3.1.2. Mejoras en la vía

La reducción de los costes de conservación de la vía en L.D.T. supone afrontar dos importantes problemas:

▼ La sujeción rígida del carril: Los tirafondos deben asegurar el mantenimiento del carril sobre la traviesa. Los esfuerzos que continuamente actúan sobre los tirafondos, y especialmente las vibraciones de los carriles y su tendencia al desplazamiento, provocan deformaciones sucesivas de carácter acumulativo y progresivo, produciendo holguras en los taladros de las traviesas con pérdida de las características funcionales de la sujeción.

▼ Discontinuidad en el apoyo de las ruedas al paso por las juntas de los carriles. Éstas soportan esfuerzos importantes bajo el efecto de las deformaciones de flexión y los choques al paso de los vehículos, lo que induce una excitación importante en el movimiento de los vehículos que se traduce en una fatiga adicional de sus elementos y de los de la propia vía.

Este tipo de vía exige un mantenimiento periódico, constituido por operaciones que se realizan básicamente de forma manual (apretado anual de la clavazón, engrase y apretado periódico de los tornillos de brida, etc.). Su conservación es muy costosa, a causa de su elevada velocidad de degradación y de la escasa mecanización que permite.

Ambos problemas se solucionan modificando la vía para incorporar en ella la soldadura continua del carril. En efecto, soldando el carril desaparecen las juntas y por tanto los graves problemas a ellas asociados. Para poder soldar el carril y constituir la barra larga soldada (B.L.S.) debemos incorporar una sujeción elástica que garantice una

gran resistencia al desplazamiento longitudinal del carril con respecto a las traviesas.

Como es de todos conocido, para implantar la B.L.S. deben cumplirse las siguientes condiciones:

- ▼ Plataforma estable.
- ▼ Perfil de balasto completo, bateable y no contaminado.
- ▼ Imposibilidad de deslizamiento longitudinal y transversal entre carril y traviesas, lo que se consigue mediante la disposición de sujeciones elásticas de alta capacidad de apriete, correctamente ancladas a las traviesas, o bien de un gran número de antideslizantes de carril, debiendo las traviesas estar en buenas condiciones.
- ▼ Limitación de radios en planta, para garantizar la estabilidad de la vía frente al pandeo.

En función de las características de la vía existente y de la inversión a realizar, son posibles cuatro soluciones:

3.1.2.1. Renovación con implantación de B.L.S. y superestructura de coste reducido

Esta solución se basa en reutilizar carril de 54 kg/m, junto con las traviesas bloque de hormigón armado RS y la sujeción P-2 aprovechables procedentes de las renovaciones de las líneas principales, en su adaptación a las nuevas condiciones de incremento de velocidad. En esta solución no se aprovecharía ningún material existente, teniendo las exigencias de una renovación normal de vía con materiales reutilizados.

3.1.2.2. Rehabilitación de la vía con implantación de B.L.S. y aprovechamiento máximo de los elementos existentes

La segunda solución implica aprovechar al máximo la mayor parte de los elementos de la vía (carril, traviesas y pequeño material) existentes.

Así, si el estado de la plataforma y balasto es el adecuado y la situación de las traviesas es razonablemente buena, y su forma y peso permiten establecer sobre ellas el carril soldado, se procede a soldar in situ éste (con las debidas limitaciones impuestas por su estado de conservación) y paralelamente se cambia la sujeción del carril.

Con respecto a la unión de la junta, existen básicamente tres sistemas:

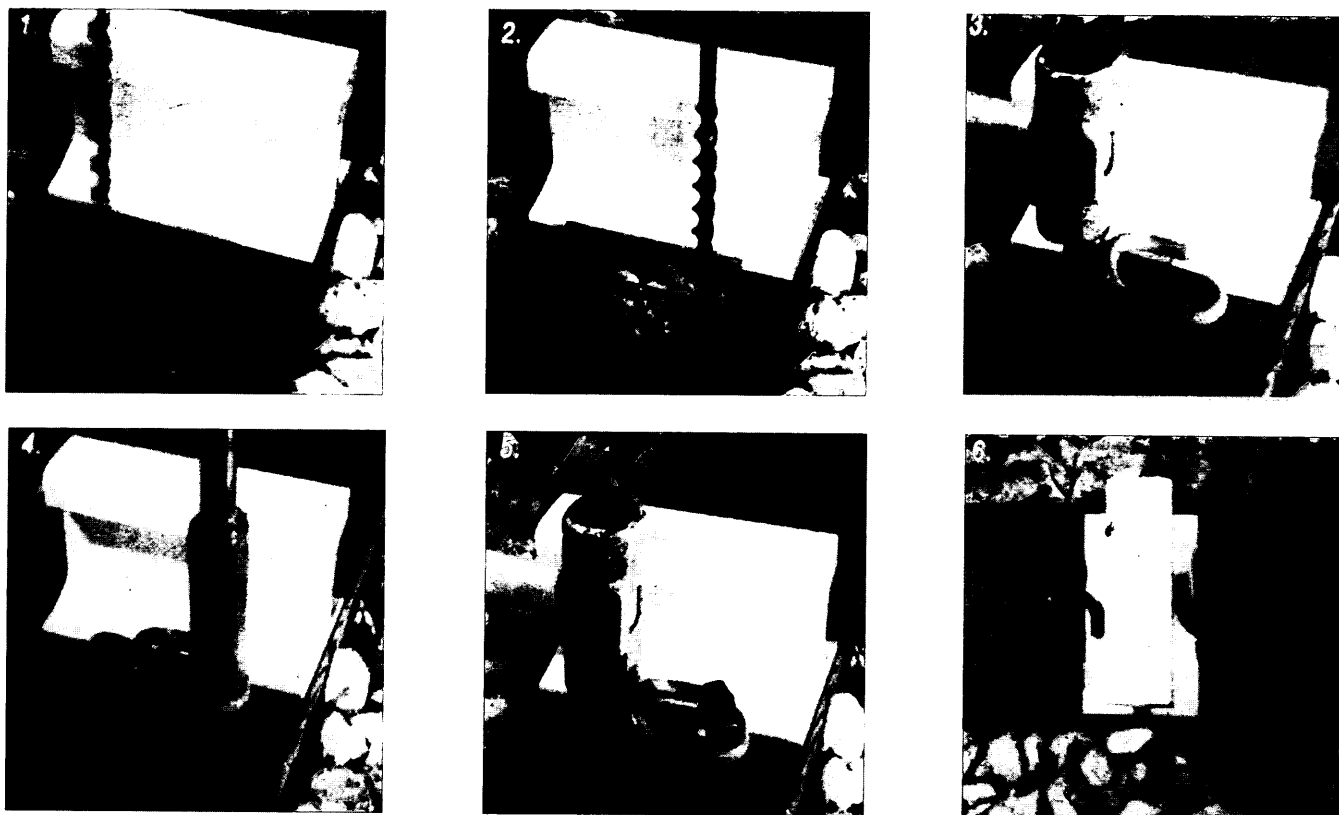
- ▼ Juntas encoladas in situ.
- ▼ Soldadura eléctrica a tope in situ.
- ▼ Soldadura aluminotérmica.

Los Ferrocarriles Británicos (BR) han probado los tres sistemas en la mejora de sus líneas con barra corta. Las juntas encoladas in situ, aunque efectivamente garantizan un comportamiento similar a una soldadura, tienen diversos problemas en cuanto a su realización en vía y su comportamiento en servicio. La unión de mejor calidad se consiguió con la soldadura eléctrica a tope in situ; no obstante, la inversión en el equipo, la necesidad de cortar los extremos del carril antes de realizar la soldadura, y la disminución de longitud de los carriles debido al periodo de forja en la soldadura hace desaconsejable este procedimiento en L.D.T. Finalmente, la soldadura se viene realizando en este tipo de vías mediante el procedimiento aluminotérmico clásico.

Por lo que se refiere a la sujeción elástica, el objetivo es conseguir un dispositivo elástico de sujeción, de fabricación sencilla, fácil de instalar (sin necesidad de retirar el carril) y que aproveche al máximo los elementos ya existentes en la propia vía (placa rígida de asiento si existe y tirafondos). Estas condiciones conducen al desarrollo de sujeciones elásticas directas de coste de fabricación y de colocación en vía reducido.

Existen numerosas soluciones en el mercado, que en general deben ser modificadas para adecuar su geometría a la de la primitiva sujeción rígida que deben suplir o complementar, en función del diámetro de los taladros practicados en la placa rígida de asiento y/o en la traviesa, así como la posición relativa de aquéllos. RENFE ha realizado experiencias con escarpas elásticas Dorken y, concretamente en la línea Zamora-Puebla de Sanabria, en el año 1988 se puso en servicio un tramo con sujeción elástica directa Nabla, con comportamiento satisfactorio hasta la fecha. A título de ejemplo, y como solución más moderna aún, en la figura 2 se muestra el clip Pandrol gauge-lock, capaz de adaptarse a secciones de carriles de 25 a 54 kg/m, tanto sobre traviesas de madera dura, semidura o blanda.

Es necesario prever medidas adicionales que permitan garantizar la estabilidad de la vía en este tipo de líneas, donde por lo general la banqueta de balasto es reducida. El vertido de balasto, el



refuerzo de la banqueta y la colocación de anclas de traviesa para garantizar la estabilidad de la vía frente al pandeo son medidas habituales en este tipo de soluciones.

Con medidas similares, los Ferrocarriles Británicos han conseguido ahorros en líneas así remozadas que van desde 0,25 a 1,2 Mpts/km/año, dependiendo del tipo de tráfico que circule sobre ellas.

3.1.2.3. Rehabilitación progresiva de la vía

Cuando no todas las traviesas están en buen estado, RENFE ha desarrollado una alternativa conocida como "rehabilitación progresiva de la vía", que consiste en el aprovechamiento de carriles y traviesas de madera útiles o regenerables in situ existentes, sustituyendo el resto: el carril, por otro regenerado en taller de la misma tipología, y las traviesas por otras de hormigón, bloques, polivalentes (válidas para el ancho ibérico y el internacional), de altura rebajada (para poder reemplazar fácilmente la traviesa de madera desechada), conocidas como PB-91, dotadas de sujeción elástica con alta capacidad de apriete.

Con ello se consigue, mediante una distribución adecuada de las traviesas de hormigón entre las de madera útiles, según el radio de las curvas, soldar el carril mediante procedimiento aluminotérmico, para conseguir la vía continua. A medida que se vayan degradando las traviesas de madera restantes, se van sustituyendo con nuevas traviesas PB-91, hasta conseguir que la totalidad de las traviesas sean de hormigón.

El desarrollo completo de esta técnica ha sido ya expuesto en estas páginas por José Julián Mendoza Fernández, Jefe de Vía de la U.N. de Mantenimiento de Infraestructuras de RENFE, por lo que no se entrará en mayores detalles.

3.1.2.4. Mejora de la vía con barra corta

La cuarta solución es la mejora de la vía manteniendo la barra corta. Su ámbito de aplicación sería el correspondiente a líneas que disponen de balasto calizo y/o no bateable, carriles con peso menor de 42,5 kg/m, materiales de vía muy degradados, con elevado número de curvas de radio reducido, etc.

Consiste en tratar de establecer barras cortas lo más largas posibles mediante la soldadura de

Figura 2.
Clip Pandrol
gauge-lock.
(Cortesía de
"Pandrol
International
limited").

CUADRO 1.
Coste comparativo de las diferentes soluciones para la mejora de la vía de una L. D. T.

TIPO DE SOLUCIÓN	COSTE*
Renovación con implantación de B.L.S. y superestructura de coste reducido	65 %
Rehabilitación de la vía con implantación de B.L.S. y aprovechamiento máximo de los elementos existentes	55 %
Rehabilitación progresiva de la vía	45 %
Mejora de la vía con barra corta	30 %

(*) Coste comparado con el de una renovación de vía normal con traviesas de hormigón monobloque.

juntas intermedias, y mejorando tanto las juntas restantes como la sujeción del carril.

En el cuadro 1 se muestran los costes de las cuatro soluciones propuestas, comparados con los de una renovación con traviesas de hormigón monobloque.

3.2. LOS APARATOS DE VÍA

Por lo que se refiere a los desvíos, el inconveniente específico que plantean en L.D.T. es la del gobierno de su maniobra. En efecto, una de las medidas que deben ser acometidas en L.D.T. en orden a disminuir los costes es la reducción de personal. Disminución que, como se ha dicho, no debe suponer quebranto en la seguridad y fiabilidad de la explotación.

En general, se trata de concentrar los desvíos en las estaciones o apeaderos. La orden de maniobra de los desvíos se realiza:

- ▼ Por el agente encargado de la circulación, sólo en las estaciones principales (usualmente, los extremos de la línea). Requiere una fuente externa de energía para mover el cambio, lo que no suele ser un problema.
- ▼ Por el personal del tren, en estaciones intermedias. La orden de maniobra se hace mediante un interruptor protegido por cerradura enclavada con algún tipo de testigo, en el más amplio sentido, que faculta la circulación del tren. Requiere una fuente externa de energía

para mover las agujas, lo que en estaciones no habitadas, con problemas de saqueo o vandalismo, puede ser un aspecto problemático.

▼ Automáticamente, al paso de la circulación, mediante desvíos talonables (figura 3).

Mediante el montaje de desvíos talonables se puede llevar a cabo el cruce de trenes sin necesidad de una fuente externa de energía ni de que el personal del propio tren, en estaciones sin empleados, deba realizar la maniobra a pie de vía.

Los cambios de los desvíos talonables se mantienen en su posición de reposo, sea ésta la de la vía directa o la de la desviada, mediante un muelle que mantiene la aguja acoplada a su contraaguja con una determinada fuerza elástica. En el talonamiento del desvío, una de las pestañas del primer eje del tren empuja la aguja abierta hacia su correspondiente contraaguja, arrastrando en su carrera, mediante la barra del cerrojo, a la aguja opuesta, venciendo la fuerza elástica de retención que mantenía a aquélla acoplada a su contraaguja.

Para evitar que todas las ruedas del tren golpeen y abran la referida aguja, actualmente existen diseños en los que se dispone un cilindro de recuperación equipado con un dispositivo retardador, generalmente basado en fenómenos viscosos (aceite hidráulico, por ejemplo), que no requiera conservación y permita el ajuste del tiempo de retardo. Así, una de las pestañas de las ruedas del primer eje talona el cambio y, gracias a la fuerza que opone el cilindro retardador, el cambio no se vuelve a poner en posición de reposo hasta que la fuerza elástica del muelle vence completamente la viscosa del dispositivo retardador.

En la explotación con desvíos talonables, el desgaste de las pestañas de las ruedas de los vehículos producido por el talonamiento es inapreciable. Normalmente, en los modernos desvíos talonables, se admite una velocidad máxima de 30 km/h para realizar la maniobra de talonamiento.

3.3. LOS PASOS A NIVEL

La protección de los pasos a nivel con un momento de circulación (esto es, número de circulaciones ferroviarias multiplicado por la intensidad media diaria de vehículos de carretera) relativamente elevado, potencialmente peligrosos, es obligada. La reducción de costes en L.D.T. obliga a que dicha protección no se haga basada en per-



Figura 3. Desvío talonable.
(Cortesía de "Voest Alpine Eisenbahnsysteme").

sonal en vía (los antiguos guardabarreras), sino en sistemas más o menos automatizados. Como orden de magnitud, un sistema automático de protección de un paso a nivel se amortiza aproximadamente con el ahorro que supone el coste de un guardabarreras durante 2 años.

3.3.1. Protección de los pasos a nivel

El elemento más común de protección de un paso a nivel es la semibarrera. Su origen se debe a emular tanto como fuera posible la situación existente con los guardabarreras. Para evitar que un vehículo quedara bloqueado entre las dos barreras que descienden automáticamente, se decidió suprimir la semibarrera de salida del paso a nivel.

Otros sistemas de protección de pasos a nivel están basados en elementos visuales (luces intermitentes) y/o sonoros (campanas, timbres, sirenas, etc.). Pueden disponerse junto con las semibarreras, y en todo caso existe una señalización vertical y horizontal de carácter obligatorio.

Los primeros sistemas para la actuación de las semibarreras consistía en realizar la operación manualmente, a cargo del propio personal del tren que se veía obligado a detenerse antes e inmediatamente después de haber traspasado el paso a nivel. Como resulta evidente, esta situación no resulta muy operativa, prefiriéndose en tal caso, si la

visibilidad y el tráfico lo permitían, incluso que el tren se detuviera inmediatamente antes del paso a nivel, dando preferencia a los vehículos de carretera.

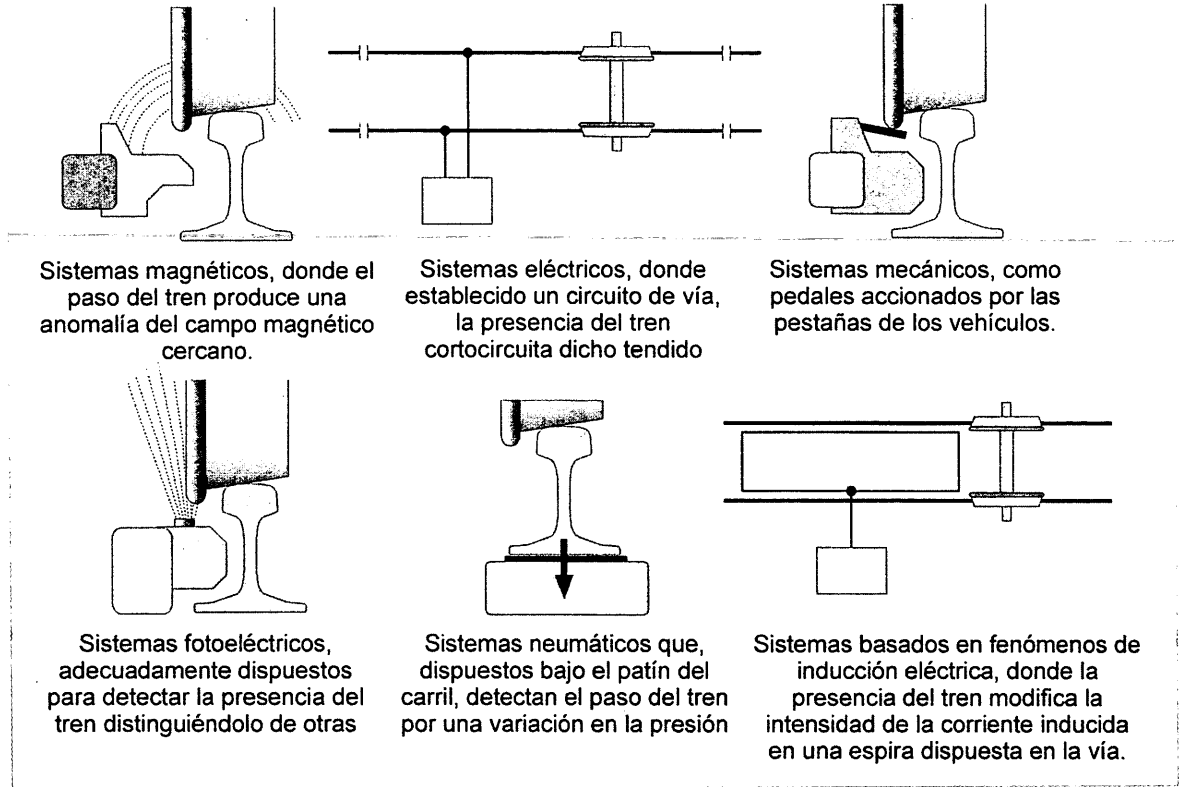
En la actualidad, y siempre que se disponga de una fuente de alimentación cercana, se recurre a semibarreras, luces y elementos sonoros accionados eléctricamente. La orden de actuación se desencadena a partir de la detección, manual (mediante radio, infrarrojos o accionando un interruptor dispuesto en la vía) o automática, del tren en las inmediaciones del paso a nivel. Existen diferentes sistemas automáticos para detectar la presencia del tren en la vía, algunos de los cuales están representados en el cuadro 2.

La elección de un sistema u otro dependerá de múltiples factores, que van desde las propias características ferroeléctricas de los vehículos que circulan hasta la posibilidad de que dicho sistema sea afectado por actos vandálicos.

4. LAS ESTACIONES

Las estaciones también tienen un tratamiento particular en las L.D.T. En general, y desde el punto de vista ferroviario, las estaciones dejan de tener un papel activo en la circulación de los trenes, relegándose a ser meros intercambiadores de transporte. Por lo tanto, y en orden a reducir cos-

CUADRO 2.
Sistemas de detección de trenes para protección de pasos a nivel



tes, en la mayoría de ellas desaparece el personal de circulación.

Las estaciones se convierten así en meras paradas donde el tren toma o deja pasajeros. Pero la simplicidad funcional de las estaciones permite hacer nuevas a lo largo de la línea, donde existirá un andén (no muy largo, ya que los trenes van a ser cortos) y con unos medios esenciales para hacer lo más llevadera posible la espera del tren.

En el aspecto comercial, la venta de billetes también sufre modificaciones, como puede ser:

- ▼ Venta en la propia estación con un horario restringido a unas horas determinadas.
- ▼ Venta de billetes en un establecimiento público distinto a la propia estación.
- ▼ Venta mediante máquina expendedora automática (existen riesgos por vandalismo) (figura 4).
- ▼ Venta en el propio tren.

Lo cierto es que estos sistemas permiten reducir en gran medida el personal encargado de la venta de billetes, con el consiguiente ahorro de

explotación. Evidentemente, siempre será necesario contar con varios agentes encargados de llevar la contabilidad de los billetes vendidos en establecimientos públicos ajenos a la compañía explotadora de la línea, el mantenimiento de las máquinas expendedoras de billetes, limpieza, etc.

Por último, observemos que tanto en lo que se refiere a las nuevas paradas que el tren puede realizar, formal y funcionalmente similares a las de una línea de autobuses, como en lo que concierne al sistema de venta de billetes, en el que alguno recuerda a los empleados por compañías de autobuses comarcales en ciertos pueblos, las soluciones a aplicar en L.D.T. emulan las aplicadas en líneas de autobuses de carácter regional. Este paralelismo también se aplica en lo que se refiere a los vehículos.

5. LOS VEHÍCULOS

En efecto, los vehículos diseñados para L.D.T. son una evolución de los antiguos "ferrobuses", con bajos costes de adquisición (lo que supone

menor inversión inicial), operación y mantenimiento. En general, se trata de vehículos autopropulsados con rodaje AA y carrocería ligera más propia de los autobuses que de un automotor clásico. El resultado es un vehículo ferroviario de alta calidad y bajo coste.

5.1 FILOSOFÍA DEL DISEÑO DE LOS VEHÍCULOS

¿Cuáles son las líneas maestras que rigen el diseño de estos vehículos?

En principio, el hecho de conseguir una reducción de costes en este campo requiere estudiar muchos aspectos del diseño de los vehículos. Además, estos ahorros pueden producirse en el coste inicial de adquisición o en los costes de operación.

De todos ellos, probablemente el objetivo general más crítico sea minimizar la masa del vehículo. Con ello se reduce el consumo de energía, las solicitaciones sobre la vía (y, por lo tanto, su degradación) y permite ahorros en el coste de adquisición de aquellos elementos cuyo precio sea una función más o menos directa de su peso.

Un vehículo puede concebirse como una pirámide invertida de pesos. Un exceso de peso en las ruedas produce una sobrecarga en la vía, con lo que aumenta el daño producido. Además, es necesario reforzar los bogies, y por la misma razón, ciertas partes de la caja deberán ser reforzadas para trabajar con un bogie más pesado.

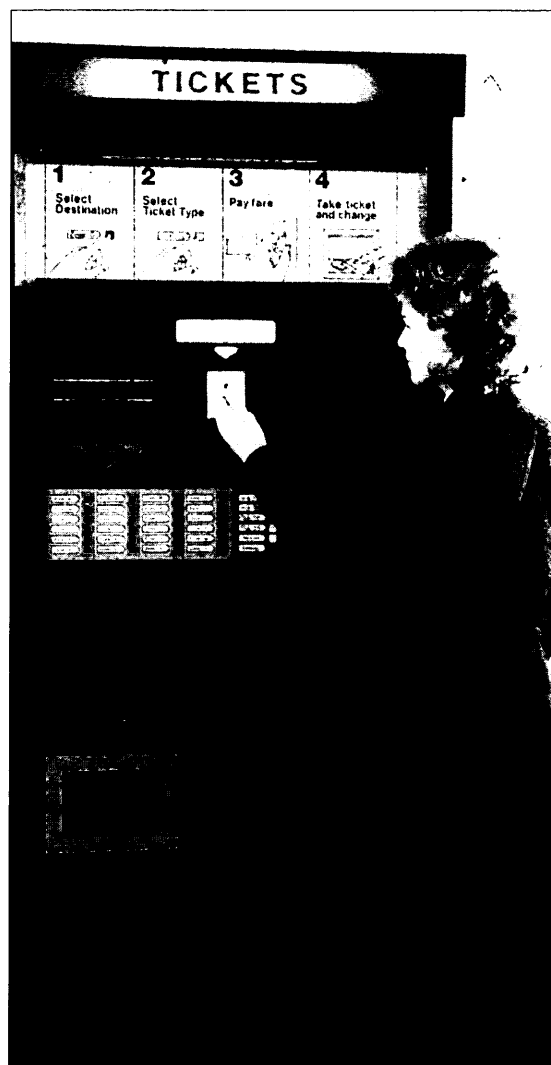


Figura 4.
Máquina expendedora de billetes.
(Cortesía de "Thorn Transit Systems").

CUADRO 3.

Ahorro de peso en los diferentes órganos de un vehículo ferroviario.

COMPONENTE	CAJA	BOGIES (2)	EJES (4)
Masa Inicial	20.000 kg	5.000 kg	4.000 kg
Reducción	2.000 kg	500 kg	400 kg
Con efecto en:			
Caja	2.000 kg	110 kg	90 kg
Bogies (2)	300 kg	500 kg	140 kg
Ejes (4)	250 kg	120 kg	400 kg
AHORRO TOTAL:	2550 kg	730 kg	630 kg

Veámoslo en otro sentido: la caja del vehículo está apoyada sobre el bogie y las ruedas, de tal manera que una caja de peso excesivo requiere reforzar a su vez los bogies y las ruedas, lo que se suele traducir en un nuevo aumento de peso.

Este efecto se ilustra en el cuadro 3, donde puede apreciarse cómo la reducción de peso de un componente afecta al resto.

Con ahorros de peso puede reducirse el coste de adquisición hasta un 58 %. Además, la reducción de peso posibilita incorporar menos motores, que pueden ser de menor potencia, con menor consumo, menor coste de adquisición y menos contaminantes. Análogamente, un tren de menos peso necesita un equipo de freno menos potente, más económico y menos pesado.

Los efectos del peso sobre los costes de operación son evidentes. La energía desarrollada por un tren en movimiento incluye componentes que proceden básicamente de las resistencias al avance, la debida a las curvas y rampas, las derivadas de efectos inerciales y las pérdidas de energía debidas a elementos auxiliares (calefacción, iluminación, etc.). Como es sabido, la resistencia al avance en recta y horizontal puede ser evaluada como suma de tres términos:

$$r = A + B \cdot V + C \cdot V^2$$

De ellos, tiene especial significación para nosotros el primero, que es independiente de la velocidad. Representa la resistencia a la rodadura de las ruedas sobre el carril y la de las manguetas en las cajas de grasa, resultando ser inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la masa por eje y directamente proporcional a la masa total del tren.

De esta manera, el término independiente de la ecuación que representa las resistencias al avance es especialmente significativo en trenes lentos, como puede apreciarse en la ecuación anterior.

Si a ello unimos las resistencias inerciales, que dependen obviamente de la masa del vehículo, tendremos que ambos términos son especialmente significativos en el caso de trenes con velocidades medias bajas y paradas frecuentes, como es el caso de las L.D.T.

El peso del vehículo también es un factor clave en el deterioro de la vía y los consiguientes costes de mantenimiento. Se potencian así una serie de fenómenos, como el desgaste vertical de la cabeza del carril, el desgaste lateral, el deterioro de la geometría de la vía, o la destrucción del balasto, como se pone de manifiesto en el cuadro 4,

Los Ferrocarriles Británicos (BR) han desarrollado una serie de técnicas para cuantificar la importancia relativa de cada uno de estos factores. Estas medidas han sido tomadas en líneas princi-

CUADRO 4.
Influencia de la masa de los vehículos sobre el deterioro de la vía.

Efecto	Relación con M ó m	Comentarios
Fallos en la cabeza del carril	M ⁴	Raro cuando las cargas por eje son pequeñas
Desgaste lateral en curvas	M	
Deterioro de juntas	m	Depende del perfil inicial de la vía La climatología y las irregularidades de las ruedas pueden ser más importantes
Deterioro geométrico	m ^{1/2} , M	
Deterioro de las traviesas	m, M	
Deterioro del balasto	m, M	

M: Masa total del vehículo
m: masa no suspendida

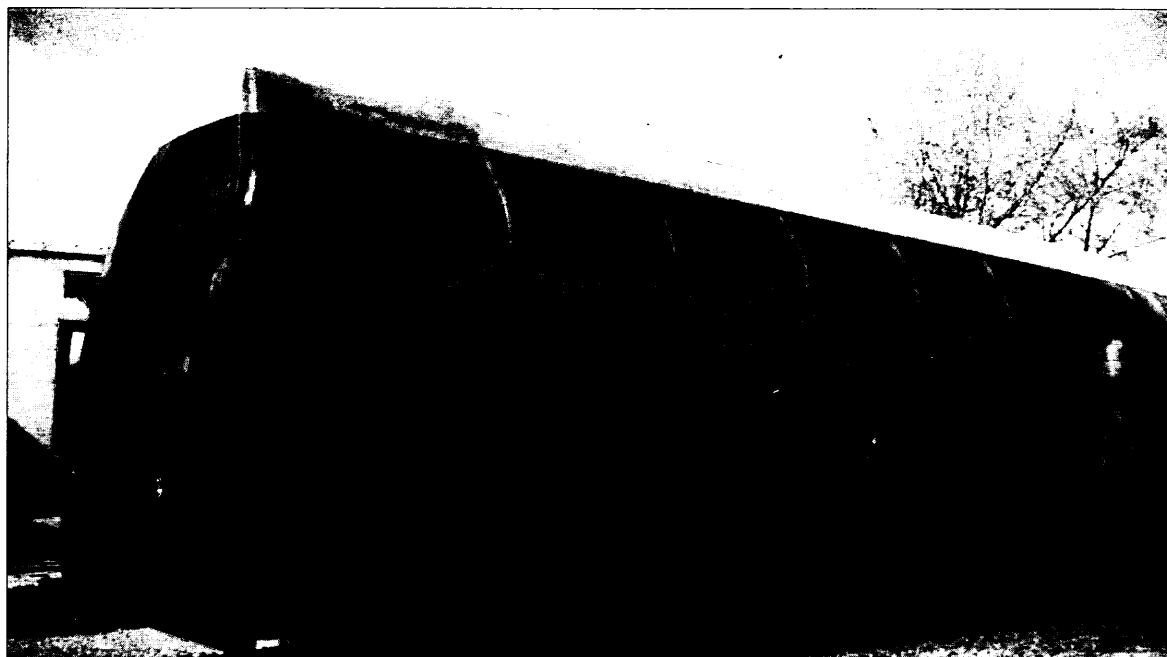


Figura 5.
Ferrobús de
dos pisos.
(Cortesía de
"Deutsche
Waggonbau AG").

pales, y no han sido extendidas a líneas con débil tráfico y cargas por eje ligeras. No obstante, los resultados permiten esperar que un 30% de reducción en el peso de los vehículos podría suponer reducciones en los costes de mantenimiento de la vía de hasta un 15%, siempre y cuando el tráfico no sea tan reducido que el deterioro de la vía sea debido fundamentalmente al paso del tiempo y a las inclemencias atmosféricas.

5.2. ALGUNAS REALIZACIONES A TÍTULO DE EJEMPLO

5.2.1. Ferrobús de dos pisos y dos ejes de DWA

El ferrobús de dos pisos y dos ejes de Deutsche Waggonbau AG (figura 5) es un vehículo dotado de una cabina de conducción en cada extremo. No está preparado para circular en tracción múltiples.

En la actualidad se encuentra en fase de prototipo. La caja está realizada sobre un ligero bastidor de acero y es autoportante. En este sentido, su estructura recuerda más la de un autobús que la de un vehículo ferroviario. Dispone de aire acondicionado, entrada para viajeros discapacitados, asientos individuales tapizados, sitio para el transporte de bicicletas, ventanas panorámicas, etc. Su velocidad máxima es de 100 km/h. El peso por eje máximo es de 16,5 t. Su capacidad es de 79 viaje-

ros sentados (más 7 asientos para niños). A pesar de sus dimensiones, este vehículo puede circular por las líneas alemanas sin problemas de gálibo.

5.2.2. El Eurailbús de De Dietrich

El Eurailbús de la firma francesa De Dietrich (figura 6) se encuentra en fase de desarrollo. Se trata de un vehículo de concepción modular, compuesto por dos cajas articuladas en la parte central mediante un anillo de intercircularción, donde se concentran todos los elementos relativos a la tracción, tales como el motor, transmisión, refrigeración, alternadores, depósito de combustible, etc. Ello tiene dos ventajas:

▼Mediante la inclusión de cajas intermedias y nuevos anillos, es posible recrear la unidad para satisfacer demandas mayores. De esta manera, podemos poner en explotación una red y cuando, con el transcurso del tiempo, el número de viajeros vaya creciendo, podemos también aumentar la capacidad del material, con un coste inferior al de la compra de nuevos vehículos. Para hacer frente a los servicios en hora punta, es posible la circulación de vehículos con mando múltiple.

▼Al evitar poner estos elementos bajo la caja de los vehículos, el piso de ésta puede rebajarse, con lo que la accesibilidad al tren se ve mejorada.

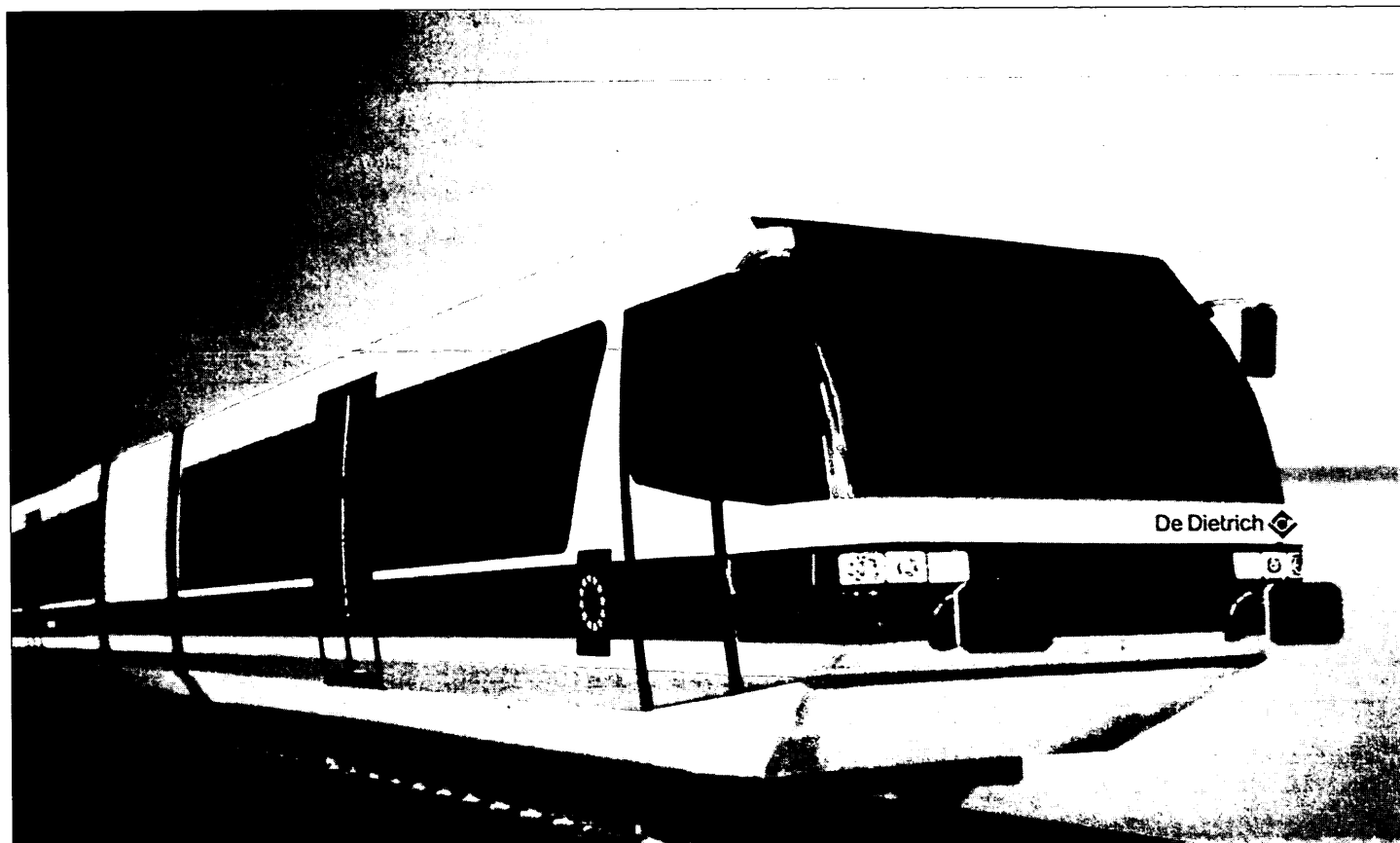


Figura 6. Eurailbús.
(Cortesía de
"De Dietrich").

La velocidad máxima del Eurailbús es de 120 km/h. El peso por eje máximo está alrededor de las 16 t. El número de plazas sentadas es de 96 asientos.

Por tanto, es necesario recurrir a otro tipo de sistema de explotación.

6.1. EL PILOTO

Uno de los sistemas clásicos de explotación en líneas de vía única es el de piloto. Cada tren, para poder circular, debe llevar siempre un elemento único (un bastón, un boletín, un agente). Así, la línea se divide en secciones definida cada una de ellas por sus dos extremos, donde es posible realizar el cruce de las composiciones. Cada sección tiene su piloto, y sólo puede circular por ella aquella composición que lo tenga en cabina.

Se trata de un sistema muy económico, con un funcionamiento simple y sencillo. Sin embargo, tiene como inconveniente principal el hecho de que si el tiempo de recorrido entre estaciones es muy desigual, un tren no puede abordar una nueva sección hasta que no reciba el piloto procedente de un tren en sentido contrario, lo que rigidiza la explotación de la línea. Tampoco existe un control centralizado del tráfico, que pueda tomar decisiones de prioridad de un tren sobre otro o, en caso

6. LOS SISTEMAS DE EXPLOTACIÓN

Los vehículos de peso reducido conllevan un grave inconveniente. Como es sabido, un tren se detecta sobre una sección de vía convenientemente aislada de sus adyacentes (conocida como cantón), al cortocircuitar sus ejes el correspondiente circuito de vía establecido entre ambos hilos de la vía.

En diferentes explotaciones sobre L.D.T. se pudo comprobar que la detección de trenes ligeros por este procedimiento no estaba garantizada. Hay diversos factores que influyen en el fenómeno: la baja carga por eje, el reducido peso adherente o la suavidad de la rodadura entre otros. También se constató que con este tipo de tráfico aparece sobre el carril una fina capa de herrumbre y suciedad, que con los factores anteriores, dificulta sobremanera un buen contacto eléctrico.

de incidencia, adoptar las medidas oportunas en la explotación.

6.2. EL BLOQUEO ELECTRÓNICO POR RADIO DE TESTIGO

La idea que subyace en el sistema de piloto es muy atractiva. Tanto que esta filosofía se aplica a las redes informáticas del tipo token-ring: el ordenador que opera en un momento dado es el que tiene el token, el piloto.

No se menciona la informática casualmente. Las modernas tecnologías posibilitan encontrar nuevas vías para viejas ideas. Ahora, el piloto es electrónico, y se envía por radio: es el bloqueo electrónico por radio-testigo (Radio Electronic Token Block). En esencia, todos los trenes que circulan sobre la línea se comunican con un único centro de señalización e información, mediante mensajes transmitidos a prueba de fallos sobre una red radioeléctrica. Todos los trenes en el sistema están equipados con aparatos de radio para la transmisión y recepción de datos, tanto analógicos (voz) como digitales, al igual que el centro de señalización e información. No existen ni señales en plena vía, ni circuitos de vía, por lo que el sistema es a prueba de actos vandálicos (lo que no deja de ser una ventaja en líneas que

atravesan zonas poco pobladas, con escasa vigilancia).

Cuando un tren llega a una estación de cruce, se detiene ante una señal de parada fija (figura 7). Cuando está en condiciones de reiniciar la marcha, pide el testigo al centro de señalización e información, mediante una señal digital vía radio. Dicha señal se emite a petición del maquinista, indicando la estación donde se encuentra y la siguiente a la que desea ir. Esta señal es procesada por un ordenador en el centro de señalización e información que determina si tiene la vía libre (o lo que es lo mismo, si el testigo de esa sección está disponible). Si es así, se envía por radio la señal digital correspondiente a ese testigo, con lo que el maquinista recibe una señal acústica y luminosa en cabina que le permite avanzar.

Además, en el centro de señalización e información, el ordenador visualiza las secciones ocupadas y los trenes que están circulando. En caso de incidencia, por ejemplo la avería de un tren en una sección, el maquinista comunica mediante radio la incidencia al operador del centro de señalización e información, que puede permitir el avance de una composición sobre la sección ocupada, para remolcar el tren averiado.

Las señales enviadas al centro de señalización e información de petición y envío de testigo son, por lo general, digitales. No se suelen realizar me-

Figura 7. Bloqueo electrónico por radio testigo.

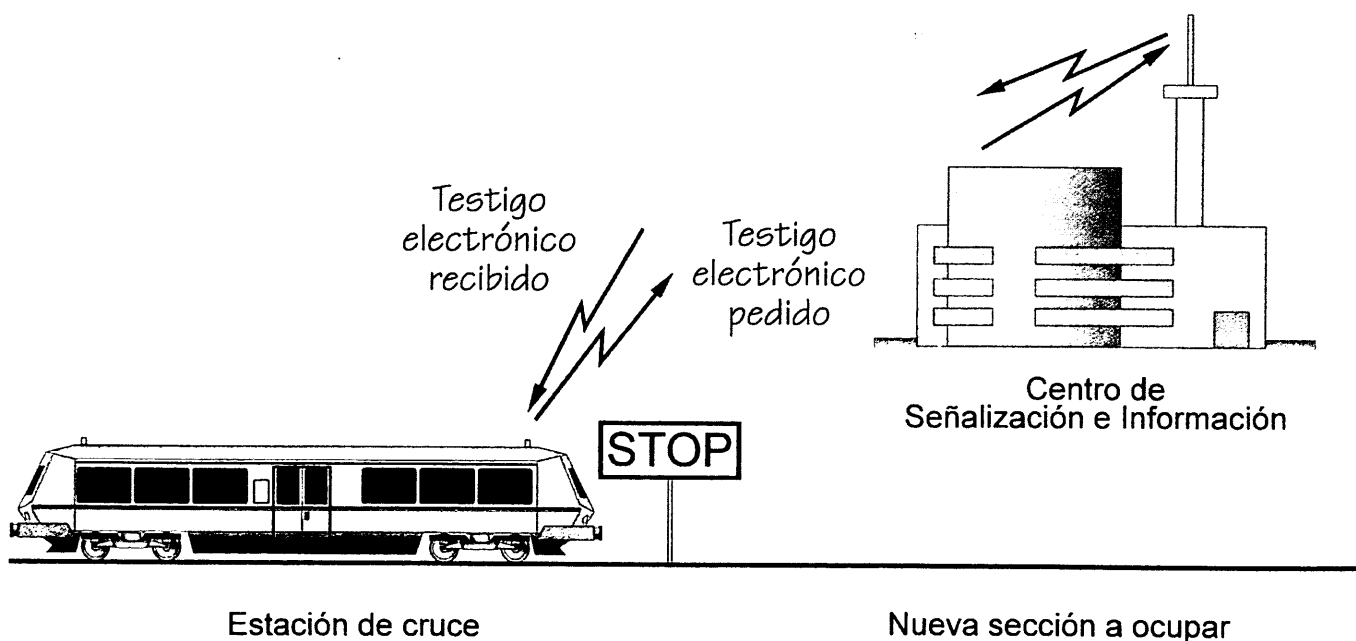




Figura 8. Balizas pasivas en vía.
(Cortesía de "AB B Signal").

diente voz ("radiofonemas") para evitar malentendidos que podrían resultar peligrosos. Además, se trata de mensajes a prueba de fallos, donde transmisor y receptor comprueban automáticamente que el mensaje ha llegado íntegro y se ha interpretado adecuadamente.

6.3. LA SEÑALIZACIÓN POR RADIO

Si bien el bloqueo electrónico por radio-testigo constituye un avance muy importante, sigue mostrando una cierta rigidez en la explotación, más acusada cuanto mayor sea el número de trenes a expedir. Ello se debe a que los cantones, las secciones de la línea entre dos estaciones de cruce, son las unidades más pequeñas donde se garantiza la existencia de un único tren, con lo que, como máximo, podrá haber tantos trenes circulando como secciones existan.

Podríamos necesitar expedir dos trenes con el mismo destino, sobre una misma sección de vía. Con el sistema anterior ello no es posible, ya que no se garantiza que el tren que se expide más tarde alcance al primero. Se impone por tanto conocer la posición de cada tren.

Para ello es necesario dividir la sección de línea en otras menores, como en un sistema clásico de explotación mediante circuitos de vía. Pero co-

mo no podemos aplicar aquí circuitos de vía, por los problemas ya comentados, se recurre a otro tipo de sistemas que, no por ser más sofisticados, resultan más caros.

El objetivo principal es que el tren reconozca automáticamente su posición en la línea y la retransmita por radio. Existen en el mercado diversos sistemas operativos o en desarrollo. A título de ejemplo, podemos reseñar el sistema de balizas pasivas (figura 8). En él, cada cantón está definido por una baliza pasiva que es interrogada electrónicamente por el tren a su paso, y una señal lateral que indica el límite de la sección. La baliza permite al tren reconocer su situación, con arreglo a una tabla de asignación de posiciones en un programa informático. Para evitar errores en la lectura, se suele duplicar la baliza. La información así tratada es enviada al centro de control vía radio (figura 9), que autoriza la continuación de la marcha a velocidad normal (verde), o el proseguir la marcha reduciendo la velocidad hasta parar en el cartelón siguiente (amarillo). Estos mensajes son mostrados en cabina al maquinista. Si el tren rebasara este cartelón, y por tanto su baliza, se aplicaría de inmediato el frenado de urgencia. Por contra, si en su aproximación al cartelón recibe, vía radio, la autorización de rebasarlo, podrá continuar con la velocidad que le autorice el centro de control.

El sistema así descrito compara los resultados de posición que se derivan de las informaciones de las balizas con los de un odómetro instalado en el tren o incluso un sistema portátil de GPS. Ello garantiza la seguridad del sistema y permite tener una información más precisa del movimiento del tren en el centro de control.

La señalización por radio reduce al máximo las instalaciones en vía. No se requiere ningún tipo de cable dispuesto a lo largo de la vía, ni fuentes de energía para activar cualquier tipo de detector electrónico o electromecánico o una señalización luminosa. Se consigue así, de nuevo, reducir costes e incluso la posibilidad de que dichas instalaciones sean objeto de actos vandálicos o robos, como es bastante común en L.D.T.

7. EL PERSONAL EN LAS L.D.T.

Hemos ido reduciendo costes en la infraestructura, en el material móvil y en los sistemas de explotación. Hay otro capítulo importante en el apartado de costes de una empresa ferroviaria: el personal. Es cierto que se trata de un tema muy polémico

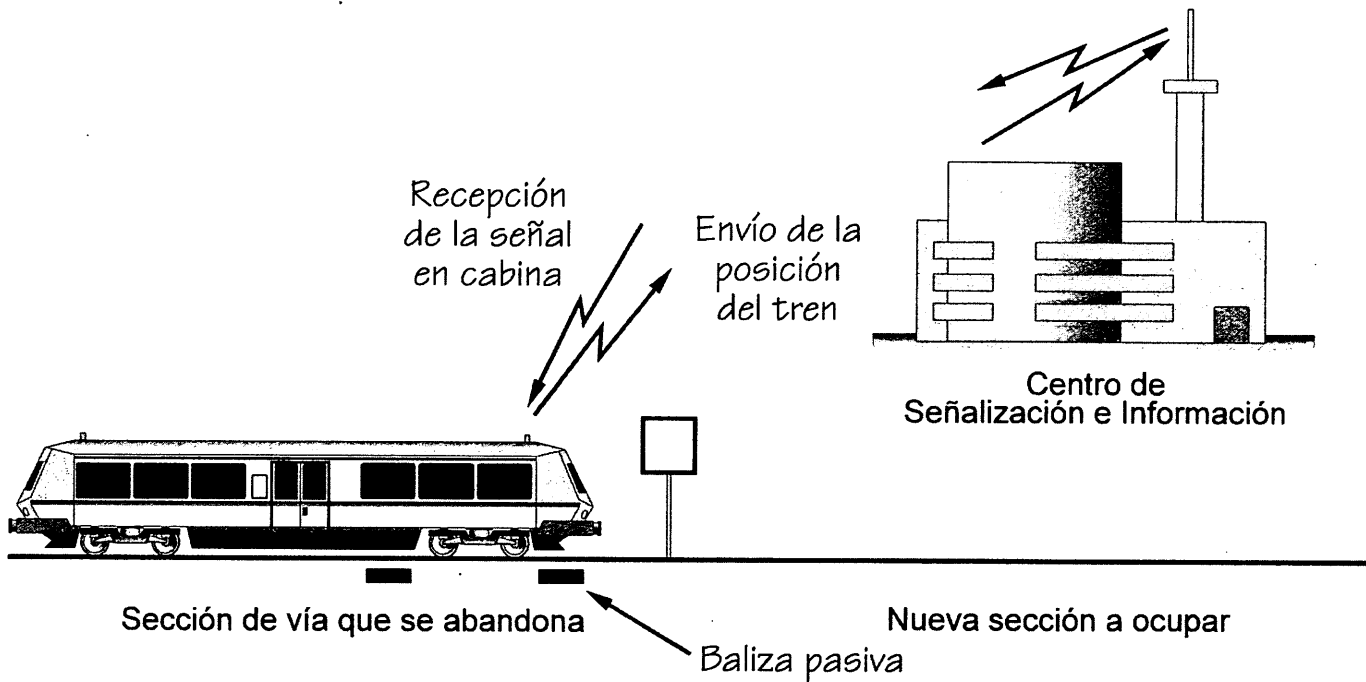


Figura 9.
Bloqueo por radio.

mico, pero supone una importante partida en los costes de explotación de una línea, y cuya reducción puede suponer una solución intermedia entre un todo inviable o la nada.

En general, y según se desprende de lo que hemos visto hasta ahora, el personal en estaciones no existe, salvo en aquellas que, por su importancia, deban tener servicio de venta de billetes. No obstante, como ya se dijo, dicho servicio puede ofertarse con un horario determinado, con lo que se reduce al mínimo indispensable el personal necesario.

Tampoco existe personal en la línea dedicado a labores como el accionamiento de los cambios o de las señales.

Por lo que se refiere al personal de conducción, ha habido experiencias en que el propio maquinista era también el agente encargado del cobro del billete, a semejanza de lo que sucede en muchas líneas de autobuses. No obstante, y a raíz de diferentes experiencias realizadas en varios países, no se recomienda que un tren vaya un único agente, debido fundamentalmente a:

▼ Problemas de vandalismo o delincuencia en el interior del tren.

▼ Problemas derivados de la monotonía, aburrimiento y consiguiente pérdida de concentra-

ción del maquinista, al estar continuamente desarrollando la misma actividad.

Mantener así una pareja de agentes en el tren, que periódicamente a lo largo de su jornada laboral pueden intercambiarse los papeles de conductor y revisor se ha mostrado como una solución idónea en la explotación con vehículos ligeros en este tipo de líneas.

8. A MODO DE CONCLUSIÓN

Como se ha dicho, los dos pilares sobre los que debe descansar cualquier explotación eficaz de una línea de débil tráfico son la capacidad de dar una respuesta adecuada al cliente reduciendo en lo posible los costes de explotación y mantenimiento. La propia Presidenta de RENFE, Mercé Sala, asume este planteamiento cuando textualmente afirma:

"... Tenemos tres retos en adelante: vender más, gastar menos y conseguir personas en RENFE más motivadas y convencidas de la necesidad de vender servicios de transporte." *Revista VÍA LIBRE*, nº 371, pág. 14. Madrid, 1994.

Gastar menos no sólo es reducir progresivamente servicios, lo que lleva inexorablemente,

más tarde o más temprano, a cerrar líneas. Y tanto la reducción de servicios como el cierre de líneas redundan en menores ingresos en las líneas principales. Es preciso recordar aquí el caso de las líneas de la Bretaña francesa, donde la compañía CF-TA (Chemins de Fer et Transports Automobiles) explota líneas de débil tráfico con automotores del tipo A2E, entre cuyos servicios está (por cierto, con gran éxito) el de acercar el servicio TGV a poblaciones más pequeñas que, de otro modo, seguramente viajarían a París en autobús.

En Alemania existen 77 compañías privadas (1994) que explotan líneas consideradas de débil tráfico por la DB. La aplicación de técnicas como las que se han expuesto, junto con acuerdos económicos con los Länder en algunos casos, permiten obtener beneficios a estas compañías.

Ejemplos como estos permiten esperar que en España, con el estudio, planificación y aplicación de técnicas similares, gran parte de nuestras líneas de débil tráfico corregirían su balance de explotación y contribuirían a mejorar el nivel y calidad de vida de los habitantes de las regiones a las que sirven.

9. BIBLIOGRAFÍA

- A.D.**, BR/LVL railbus two-car development and stretch. Railway Engineer International, vol. 5, nº 3. Suffolk, 1980.
- A.D.**, Two top priorities: the customer and the environment. Rail et Recherche, nº 5. Direction de la Recherche - SNCF. París, 1995.
- A.D.**, UIC 400 I. Exploitation économique des lignes secondaires. Union Internationale des Chemins de Fer. París, 1953.
- AA.VV.**, Technical aspects of low-cost solutions for lines carrying low traffic volumes. Office de Recherches et d'Essais (ORE). Utrecht, 1986.
- Cannon, D.F.**, Low-Cost conversion of bolt track to continuously welded rail. Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Transport. Vol. 100, nº 4. Londres, 1993.
- Demptos, R.**, L'autorail à essieux: l'A'E et son système de roulement. Revue Generale des Chemins de Fer, nº 11. París, 1991.
- Mendoza Fernández, J.J.**, La rehabilitación progresiva de la vía. Revista de Obras Públicas, nº 3327. Madrid, 1993. ●

ISR

ingeniería de suelos y rocas, s.a.

Ingeniería de diseño y asistencia geotécnica a las obras especializada en los campos de :

- *Vías de comunicación: desmontes, rellenos, túneles y obras de fábrica.*
- *Obras hidráulicas: presas de materiales sueltos, presas de fábrica, canales, depuradoras.*

Mas de 25 años de experiencia en el campo de la Ingeniería geotécnica.

Pº Habana, 1 - 15 Izda. Tel.: 563 61 05. 28036 MADRID