

Podría parecer que para una actividad ya secular como la ferroviaria y con la inercia de funcionamiento que le caracteriza, un decenio debería ser un período insuficiente para juzgar su avance tecnológico, y sin embargo, como vamos a ver, los últimos diez años transcurridos, han estado jalonados en el ferrocarril por unos acontecimientos de tal carácter, que verdaderamente pueden considerarse significativos, representativos y relevantes, en la medida en que sus resultados han sido contundentes, y sus efectos van a ser duraderos.

Los temas que ahora se comentan de manera esquemática, abarcan en algunos casos desarrollos que pueden considerarse continuaciones lógicas de una situación previa, que ha propi-



Manuel Losada García. *Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Ingresó en Renfe en 1964 siendo los cargos más recientes los de Director de Planificación y de Inversiones en el período 1979-83. Director de Ingeniería de INECO desde 1983 a 1986. Profesor de Ferrocarriles en la ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid desde 1964 a 1975. Catedrático de Ferrocarriles en dicha Escuela desde 1976.*

Innovaciones tecnológicas del ferrocarril.

Texto: Manuel Losada García

ciado su aparición, pero a la vez hay ciertos capítulos, en particular los últimos, que han supuesto una ruptura con el pasado de tal naturaleza, que hace diez años difícilmente podría haberse apostado por su éxito.

Tal vez alguien considere que en esta exposición hay ciertas lagunas y omisiones (motores lineales, sustentación magnética, explotación asistida vía satélite y otros desarrollos actuales), pero hemos optado por comentar los aspectos que ya tienen una implantación comercial generalizada, dejando (tal vez para dentro de 10 años) los que aun se encuentran en fase de investigación o ampliación limitada.

CONSAGRACION DE LA ALTA VELOCIDAD

Desde que ya en el lejano 1964, Japón (con ocasión de su olimpiada), asombrase al mundo con sus famosos Trenes Bala que iniciaron su explotación en la línea Tokaido (Tokio-Osaka) a la velocidad máxima de 210 km/h., la alta velocidad ferroviaria había sido patrimonio exclusivo de ese país. Después y progresivamente, se fueron poniendo en explotación las líneas San-Yo, Tohoku y Joetsu que conformaron la red conocida ahora con el nombre de Shinkansen.

Ha habido que esperar al principio de esta década, para que Francia con un espectacular TGV París-Lyón, recorrido a velocidades máximas de 270 km/h., haya dado un nuevo y seguramente definitivo espaldarazo al ferrocarril de alta velocidad. Esta línea, en efecto, pronto va a encontrar compañía en Alemania (Manheim - Stuttgart y Hannover-Würzburg), Italia (Direttissima Roma-Florenia), la propia Francia (TGV Atlantico), Austria, España (Madrid-Córdoba), y a buen seguro otros muchos países. La adopción de la alta velocidad se está produciendo como respues-

ta a un mundo, que, cada vez tiene mayores exigencias de movilidad y que necesita para los viajes entre sus ciudades de un ferrocarril seguro y rápido.

El dato objetivo de que desde 1964 más de 2.000 millones de viajeros (casi la mitad de la población del mundo) hayan pasado por los veloces trenes japoneses sin un solo accidente, es la confirmación de que la alta velocidad además puede ser y de hecho es segura.

DESARROLLO DE METROS LIGEROS

El urbanismo concentrado en grandes metrópolis es un fenómeno en auge creciente. Según un reciente estudio de las Naciones Unidas (1986), en el año 2000 más de la mitad de la población mundial vivirá en ciudades.

Esta situación de la que tenemos cada vez más numerosos ejemplos, y la creciente y en ciertos casos angustiosa congestión derivada del tráfico automóvil, (Cuadro 1) está propiciando la construcción de redes ferroviarias metropolitanas, a lo largo y ancho de la tierra.

Esto no es nuevo, pues hay metros como el inglés que datan del pasado siglo; lo que sí es un cambio característico de este decenio es la utilización, diríamos sistemática, de líneas metropolitanas concebidas con unos criterios técnicos específicos.

La utilización de ejes orientables, motores potentes, ramas de pocas unidades y en ocasiones rodadura neumática, permiten utilizar radios mucho menores (decenas de metros), rampas mucho más elevadas (hasta 60 por mil), y estaciones muy simples. Con ello se obtienen unas economías de inversión verdaderamente significativas respecto de los metros clásicos. De ahí el nombre de Metros Ligeros con el que se les conoce. Ejemplos de Metros Ligeros

recientes los tenemos entre otros en el conocido VAL (Lille), Kobe, Osaka, Skitren (Vancouver 1986), Peoplemover System (Miami 1986) y el londinense de Docklands inaugurado en el pasado mes de julio.

REGULACION DEL TRAFICO ASISTIDA POR ORDENADOR

La regulación del movimiento de los trenes a lo largo de las líneas, para asegurar su explotación y el cumplimiento de sus horarios, se ha estado realizando, desde que el ferrocarril existe, con intervención de los denominados Puestos de Mando. En ellos un técnico conocido con el nombre de Regulador (Dyspatcher) perfectamente comunicado con todos los puntos significativos de la línea (estaciones y puestos de bloqueo) comparaba los horarios reales con los teóricos y tomaba medidas para minimizar los retrasos; estas medidas podían afectar incluso al programa de sucesiones, cruces y adelantamientos previstos para los trenes.

A medida que la intensidad del tráfico ha venido aumentando, la tarea del regulador se ha hecho más difícil, en especial dentro de los procesos que se conocen con el nombre de fluidificación, es decir en sus actuaciones ante incidencias. Por este motivo comienzan a ser frecuentes los Puestos de Mando en los que el ordenador presta ayuda al Regulador sugiriéndole distintas opciones. Así sucede p. ej. en los ferrocarriles canadienses C.P. desde hace pocos meses.

En el último escalón de esta evolución, los Puestos de Mando totalmente cibernetizados, suplen totalmente las funciones del Regulador mediante ordenadores que tienen a su cargo incluso los programas de fluidificación.

Los ejemplos más abundantes de P. de M. cibernetizados se encuentran en sis-



temas ferroviarios urbanos (VAL en Lille, Maggaly en Lyon, BC en Vancouver, Miami, Detroit, etcétera), pero también se extienden a ferrocarriles de alcance regional o nacional (Shinkansen, TGV, varias compañías de ferrocarriles privados estadounidenses, etcétera).

EMPLEO DE LA FIBRA OPTICA

El ferrocarril que siempre ha sido un usuario calificado de todos los sistemas de telecomunicación (desde el antiguo Morse a los nuevos sistemas, Télex, Fax, etc.), ha tomado a tiempo el camino de la Fibra Optica, que por su enorme capaci-

dad y calidad de transmisión, resulta especialmente idónea para las exigencias ferroviarias.

La fibra óptica está siendo además un buen negocio para algunas redes ferroviarias, que, en un mundo cada vez más escaso de todo, y en particular de espacio, ceden su infraestructura, para que las empresas instaladoras de equipos de comunicación, puedan tener sus líneas.

Este fenómeno, característico de estos seis últimos años, ha "afectado" ya a la construcción en USA de 40.000 Km de líneas de fibra óptica. Estos, se han tendido a lo largo de otros tantos Km de redes ferroviarias, que además de utilizarlas como usuarios, han logrado una sustanciosa remuneración por la cesión de los derechos de instalación.

ENCLAVAMIENTOS ELECTRONICOS

Desde los comienzos del ferrocarril las señales y aparatos de vía (desvíos, travessías, etc), se relacionaron entre sí, a través de unos mecanismos llamados enclavamientos, que impedían la apertura de señales, cuando

los itinerarios correspondientes estaban ocupados.

El mando de estos aparatos y señales se hacía desde un local conocido con el nombre de Puesto de Enclavamiento que utilizó un sistema de palancas, cables y motores para el accionamiento y la transmisión, y cuñas y tacos para el enclavamiento propiamente dicho; estos sistemas se conocen con el nombre de primera generación de enclavamientos y por aquel entonces eran totalmente mecánicos.

El descubrimiento de los relés y su utilización masiva sustituyendo los sistemas de accionamiento y enclavamiento ha hecho posible la llegada de la segunda generación.

Estos enclavamientos llamados de relés, con sucesivas modernizaciones (Puestos todo relés, de circuitos geográficos, etc.), han tenido una implantación absoluta en el ámbito ferroviario hasta hace tres años. En esa fecha, se han empezado a probar y comercializar puestos de enclavamiento, en los que las funciones de los relés se cubren con microordenadores; éstos, de forma redundante en su hardware (a veces hay incluso tres ordenadores que funcionan según lo que podríamos denominar con propiedad, democracia cibernética), o en software (doble programación independiente), lograr idénticos resultados que con los enclavamientos de relés pero con mucho menor coste.

Estamos asistiendo pues, al nacimiento de la tercera generación de enclavamientos, a los que se conoce ya con el nombre de electrónicos o de Estado Sólido (SSI, Solid State Interlocking), y que desde Inglaterra, Estados Unidos, Africa del Sur y Alemania han iniciado un acelerado proceso de comercialización y difusión. (Como curiosidad podemos comentar el reciente contrato de 8 millones de libras, que una compañía inglesa,

“
 La Fibra óptica
 está siendo un
 buen negocio
 para algunas
 redes ferroviarias.
 ”

ha logrado para el suministro e instalación de SSI en un tramo de la arteria Moscú-Leningrado en 1987).

Su éxito se apoya sobre todo en su facilidad de instalación, su carácter modular, que se presta a todo tipo de ampliaciones, y sus reducidos costes de inversión y mantenimiento.

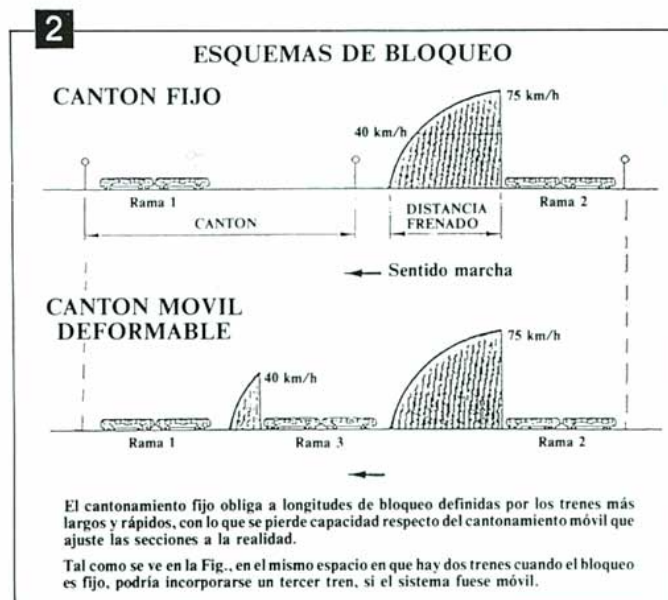
CANTONAMIENTO MOVIL

La protección de los trenes contra los choques o alcances, se ha venido consiguiendo por medio de los sistemas genéricamente denominados bloqueos, que consisten en dividir la vía en una serie de cantones, y tomar las medidas técnicas y reglamentarias oportunas, para asegurar que cada uno de ellos, únicamente pueda estar ocupado por un tren. (El VAL es un ejemplo de metro ligero de explotación avanzada que funciona según este principio).

Por motivos de capacidad (cuadro 2), se están imponiendo recientemente los sistemas de cantonamiento móvil, cuya concepción se apoya en unos equipos situados a lo largo de la vía, que transmiten a cada tren la posición y velocidad de los situados delante de él. Esto define (en función de las condiciones geométricas, de frenado, etc.), la máxima velocidad admisible, que es calculada por los microprocesadores del tren. Los dispositivos de conducción automática, son el corolario más frecuente de estos sistemas de bloqueo móvil o deformable, que han comenzado a utilizarse en los últimos años en redes urbanas tales como Lyon (Línea Maggaly 1986), Sendai (Japón 1987) Vancouver (BC Transit 1986), Londres (Docklands 1987), Miami (Peoplemover System 1986), etc.

TRENES INTELIGENTES

Se comienzan a denomi-



nar con este nombre, las recientes (5 ó 6 últimos años) generaciones de material ferroviario (trenes de viajeros y locomotoras de línea), que incorporan una serie de dispositivos, destinados a optimizar su explotación técnica, y minimizar sus costes de funcionamiento.

En algunos casos (p. ej. en las nuevas ramas, Série 100 de los trenes Shinkansen o en el Metro Sendai, (cuadro 3), la configuración básica, consiste en que cada coche, incorpora un microprocesador y una terminal de datos, unidos por fibra óptica a los de los demás, y a una CPU, y dispone de una pantalla que permite:

- Visualizar y registrar informaciones relativas a la marcha del tren y su control automático (posición, velocidad, aceleración, situación de agujas, etc.).

- Informar sobre pro-

blemas que pueden presentarse en alguno o algunos coches, y de cómo aislar por control remoto la sección afectada, para evitar mayores averías al tren.

- Informar sobre las condiciones de trabajo de cada equipo o componente (Intensidades, voltajes, potencias, presión del aire, puertas, funcionamiento de la iluminación, aire acondicionado, etc.), y hacer un registro numérico de las mismas, lo que resulta extraordinariamente útil en las revisiones periódicas, ensayos, y pruebas de detección de averías (Sistema experto de diagnóstico de fallos).

- Facilitar instrucciones, que permiten efectuar reparaciones, por control remoto, desde la propia cabina de conducción.

Con ello, los costes de mantenimiento se han reducido drásticamente, a menos de la mitad de los de un vehículo normal.

En otros casos, p. ej. en los últimos modelos de locomotoras Dash, de General Electric, los equipos incorporados, han permitido reducir el consumo energético un 20%, y aumentar el esfuerzo de tracción un 50%, respecto de los resultados del mismo modelo, hace 11

años. Entre estos equipos merece la pena por su originalidad destacar un microprocesador, que tiene un programa destinado a lograr que, cuando un motor se averíe, los restantes trabajen al límite de sus posibilidades, de forma que las prestaciones no disminuyan más que lo imprescindible.

Algo parecido sucede con los nuevos trenes del BART (San Francisco), Metro de Washington, Metro de Berlín, etcétera, en los que la incorporación de dispositivos (microprocesadores), que controlan los distintos periodos de la marcha (arranque, avance y frenado), están logrando significativos ahorros energéticos, y de inversión (un microprocesador puede lograr importantes ahorros de componentes tales como resistencias, condensadores, transistores, etc., reduciendo la inversión necesaria en más de un 10%).

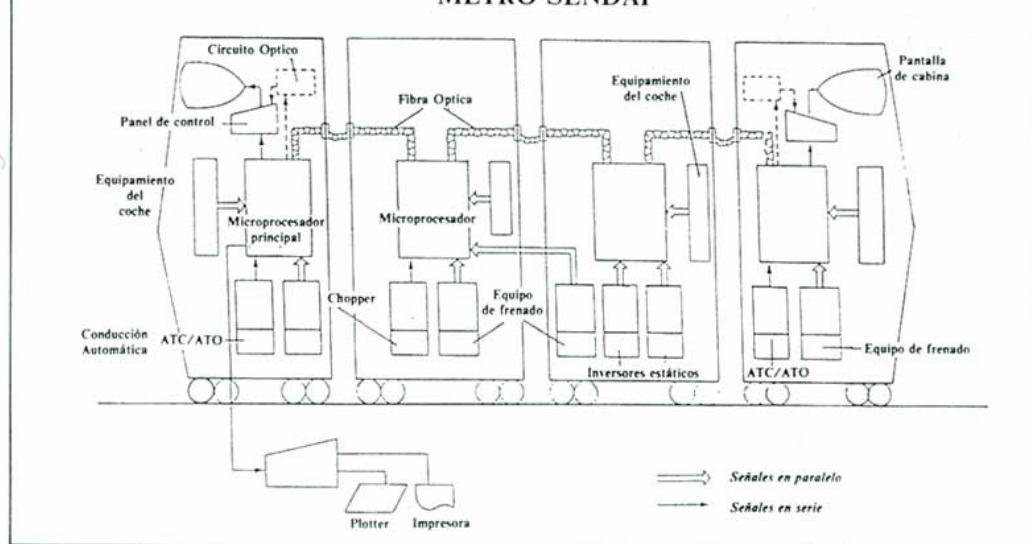
INESPERADO TRIUNFO DE LA TRACCION ELECTRICA TRIFASICA

La historia de la tracción eléctrica ferroviaria, ha venido marcada por lo que se conoce con el nombre de "Guerra de los Sistemas", que enfrentó comercialmente a la tracción en C.C., que aprovechaba las ventajas del motor serie (a tensiones progresivamente crecientes de hasta 3.000 V.) con la tracción en C.A. de alto voltaje (hasta 25.000 V.), que permitía utilizar equipos e instalaciones de electrificación más ligeros (a causa de las menores intensidades y caídas de tensión).

Estas ventajas estaban neutralizadas por unos motores monofásicos, más complicados que los de C.C., que exigieron en un principio una frecuencia inferior a la normal (16-2/3 Hz), sin embargo desde la década de los cincuenta, se empezaron a utilizar motores serie de colector compensado, que podían trabajar a la frecuencia de 50 Hz.

“
 La tracción eléctrica vuelve inesperadamente a sus orígenes trifásicos.
”

METRO SENDAI



Con una catenaria más ligera y unos motores progresivamente mejorados, parecía que el futuro iba a ser dominado claramente por la tracción en corriente monofásica, y sin embargo, el empleo combinado de componentes electrónicos de gran potencia (inversores y tiristores), y sistemas cibernéticos (microprocesadores), ha permitido, desde hace unos 6 años, la entrada en el mercado de motores trifásicos sincrónicos y asíncrónicos, que se están haciendo un lugar indiscutible, en todos los sistemas ferroviarios avanzados del mundo.

La superación de la conmutación, la ausencia de escobillas, la mínima incidencia en los sistemas de señalización, el mejor aprovechamiento de la adherencia, la facilidad que ofrecen al frenado por recuperación, y las mínimas necesidades de ventilación, son otras tantas bazas que están resultando decisivas para la consagración del sistema trifásico, que puede como es lógico, alimentarse con cualquier tipo de catenaria (continua o alterna).

La comercialización en 1987 en Japón de tiristores GTO (gate-turn-off), cuyos circuitos electrónicos son más simples que los norma-

les y aptos además para intensidades superiores a los mil amperios (ya hay prototipos europeos análogos), augura las mejores perspectivas para este sistema, que ha sorprendido al mundo ferroviario en tal medida, que incluso se están modificando sobre la marcha contratos de fabricación de locomotoras, para posibilitar la incorporación en ellas, de los modernos, flamantes y económicos motores trifásicos.

Un último dato anecdótico sería recordar, que la tracción eléctrica ferroviaria comenzó en el umbral de los siglos XIX y XX siendo trifásica (dos cables aéreos y el carril como 3ª fase), y cerca ya del siglo XXI vuelve a sus orígenes (en el equipo de las locomotoras), tras un paréntesis de casi un siglo, en el que los motores trifásicos han tenido muy escasa utilización.

CONSIDERACIONES FINALES

Ante esta breve panorámica de la evolución que ha sufrido la tecnología ferroviaria en el transcurso del último decenio, se tiene la impresión de que el ferrocarril, esa obra colectiva de sucesivas generaciones, está

aprovechando sin renegar de su pasado y con una oportunidad sorprendente, el progreso tecnológico en todos los campos en que la ciencia ha avanzado. Esta tendencia evolutiva se hace sensible en todos los países y España no es una excepción.

Tanto aquí como a nivel internacional, la integración coherente de los sistemas informáticos con la electrónica de gran potencia y los automatismos están permitiendo que el ferrocarril mejore su velocidad, capacidad, productividad y en general su calidad de servicio.

Quizá pueda resultar sorprendente para cualquier observador ajeno a este tema, que un sistema como el ferroviario tan "deficitario" económicamente, se halle tan en la cresta de la ola de la aplicación y adaptación de los avances tecnológicos. (Un ejemplo de este uso pionero de tecnologías de vanguardia, puede ser el del famoso sistema ABS Automatic Brake-System— que recientemente incorporado por la industria del automóvil, tiene por contra en el ferrocarril equipos que ya son de una segunda generación.) Sin embargo, quizás es precisamente ese carácter deficitario el responsable de que los sistemas ferroviarios

del mundo entero, obligados a trabajar con fondos escasos, estén buscando ahorros en todos los campos posibles y, para ello potenciando inevitablemente la investigación.

En consecuencia, también el ferrocarril se ha incorporado de lleno a la acelerada evolución, tanto histórica, como científica y tecnológica, a que estamos asistiendo; evolución que tanto en este campo, como en otros, empieza a pasar casi desapercibida para unas generaciones, las más jóvenes, que se aproximan al tercer milenio, sin la sensación de asombro e incluso de vértigo que algunos, más maduros sentimos.

Es en este mundo cada vez más congestionado que se prepara a traspasar la frontera del siglo en el que se puede esperar que el ferrocarril, un medio que economiza espacio, energía y medio ambiente, contribuya al desarrollo integral de la humanidad.

NOTAS BIBLIOGRAFICAS

— Vues sur les transports terrestres d'aujourd'hui et de demain. A. Sauvy. RGCF. Marzo 1979.

— Transportation (Editorial). IEEE Spectrum. Enero 1983-84-85-86-87.

— Japón: L'effet Shinkansen. Rioussuke Hirota. Transports. Diciembre 1985.

— 21 st Century Railroading will be profitable. Richard Hope. Railway International. Julio 1985.

— Dimensión europea y perspectivas de futuro de los ferrocarriles. 4.- Les innovations: L'Informatique. A.A.I. Holtgreffe. CEMT 1986.

— La Sécurité Ferroviaire. Editorial. La lettre de la SNCF. Enero 1986.

— Artificial Intelligence. From research to applications. Alain Bensoussan. Air France. Atlas. Julio 1987.

— Halfway to the intelligent train. Asahi Mochizuki. RGI. Julio 1987.

— Optic Fibres in the Milky Way. RGI. Julio 1987.

— Huge UITP Show at Lausanne. Rapid Transit Review. IRJ. Mayo 1987.

— Le pilotage automatique de Maggaly. Daniel Ferbeck. Le rail et le monde. Mayo 1987.