CTA

con:

SITUACION ACTUAL Y TENDENCIAS QUE SE ESBOZAN EN EL TRAFICO FERROVIARIO URBANO Y DE CERCANIAS

C. D. 621.33:621.41/.42/.45

José Miguel Gil Ortiz

1 PROBLEMATICA

Es evidente que, entre los diversos modos de transporte, el ferrocarril representa un papel destacado.

Su peso en el conjunto del transporte ha sufrido distinta suerte y oscilaciones notables, desde su ya lejana incorporación hasta nuestros días. Factores endógenos al propio FC, como su grado de evolución tecnológica, que ha permitido elevar continuamente la calidad de sus prestaciones (velocidad, confort, seguridad, etc.) o su evolución conceptual (piénsese en el paso de gigante que supuso la introducción del FC subterráneo en las grandes ciudades), así como factores ajenos que afectaban a los otros modos que podríamos denominar competitivos (el enorme y rapidísimo desarrollo de la aeronáutica, por ejemplo), o por último, factores que, en principio podrían considerarse ajenos a la problemática intrínseca del transporte, como la rápida expansión de las grandes ciudades, la potenciación del turismo a escala internacional, la crisis energética, los desplazamientos masivos de la población en los fines de semana, por poner sólo algunos ejemplos.

Enmarcado en la problemática general del FC, se encuentra el segmento de los ferrocarriles urbanos y suburbanos, con un contenido específico muy elevado y unas características propias muy acusadas. Dentro de este segmento se integra una gran variedad de sistemas de transporte ferroviario que comprenden desde el moderno y sofisticado metrobús (sistema híbrido de autobús y vehículo de tracción eléctrica sobre bandas de rodadura —"carriles"— desarrollado en la República Federal de Alemania por AEG-TELEFUNKEN y la Daimler-Benz, para su implantación en una línea piloto del Metro de Berlín), hasta los clásicos y tradicionales tranvías (lamentablemente, desaparecidos hoy prácticamente en nuestro país), pasando por el metropolitano clásico, suburbano, etc., y que, incluso en sus distintas variantes y combinaciones, han aportado internacionalmente un nuevo vocabulario: semimetros, premetros, etc.

2 SITUACION PRESENTE

El desarrollo tecnológico de los ferrocarriles urbanos y suburbanos ha estado lógicamente enmarcado en el desarrollo de los FF.CC. en general. Sin embargo, las características tan peculiares del tráfico en los grandes núcleos urbanos y en su entorno, han marcado criterios propios de selectividad tecnológica para este segmento del tráfico sobre carriles, convirtiéndolo incluso en punta de lanza de los avances técnicos en materia ferroviaria (extrapolables posteriormente, en muchos casos, al tráfico de línea).

Nos ceñimos, pues, en lo que sigue al estado tecnológico actual de este segmento ferroviario, y en concreto, a los sistemas eléctricos y electrónicos de tracción y frenado de las que denominaremos Unidades de tren, entendiendo por tal el agrupamiento mínimo de coches con capacidad de tracción autónoma.

Es ciertamente comprometido hacer una selección de las tecnologías que, dentro del ámbito mencionado, coexisten actualmente. Sin embargo, parece razonable hablar en una primera clasificación, de tres familias o generaciones relativamente bien caracterizadas: convencional, *chopper* (no ha prosperado una traducción española de este concepto) y trifásica.

El orden en el que se han indicado corresponde al de su desarrollo e implantación en el tiempo. Adelantamos ya, que en las dos últimas tecnologías citadas se utiliza masivamente la electrónica de potencia.

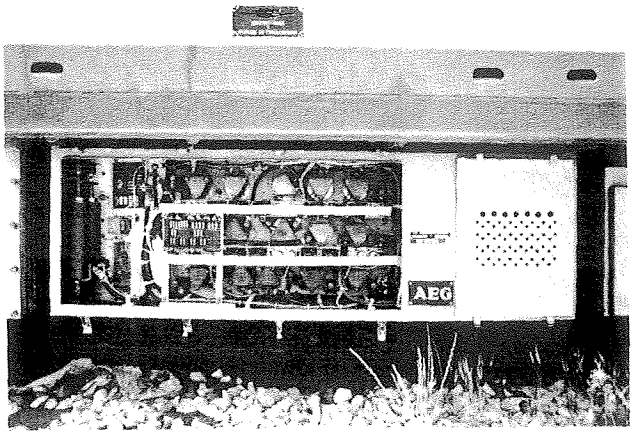
3 SISTEMA CONVENCIONAL

Como su nombre indica, esta tecnología se ha venido utilizando ampliamente, con mayor o menor grado de sofisticación, casi podríamos decir que desde la aplicación de la electricidad al FC.

Utiliza motores de corriente continua, alimentados desde el hilo de contacto (o tercer carril) mediante un juego de resistencias intercalado, que se van eliminando progresivamente, de forma que aumente gradualmente la tensión aplicada al motor, manteniendo constante la corriente del mismo. En esta forma, aumenta la velocidad del vehículo, conservando constante el esfuerzo de tracción y, por consiguiente, la aceleración.

Agotado el proceso anterior, donde los motores del vehículo están

Combinador de levas en el que se agrupan los contactores para el escalonamiento de los juegos de resistencias de arranque y frenado. Se conviene normalmente en considerar a este aparato, como el equipo representativo de la tecnología o sistema convencional.



Equipo *chopper* montado bajo bastidor de una unidad de tren —Serie 5000— del Metropolitano de Madrid. Este aparato trocea la tensión de catenaria que se aplica a los motores de tracción. Por extensión, se denomina genéricamente tecnología o sistema *chopper* al sistema de tracción basado en este equipo.

conectados en serie, se repite el proceso, habiéndose conectado previamente en paralelo.

Con el fin de aumentar todavía el margen de regulación de la unidad de tren, suele tener lugar al final del proceso anterior una fase de shuntado del campo de los motores.

En la fase de frenado eléctrico, actuando los motores como generadores, tiene lugar un proceso bastante parecido al descrito, regulándose la corriente de inducido de los motores/generadores mediante el escalonamiento de las mismas resistencias que se utilizaban para el arranque, con el fin de conseguir un esfuerzo de frenado y consiguiente deceleración lo más constantes posible.

El esquema básico que acabamos de esbozar ha sido el tradicionalmente utilizado durante décadas. Naturalmente, ha ido perfeccionándose en el transcurso del tiempo, con mejoras tales como: agrupamiento parcial de los contactores necesarios para los procesos aludidos en un eje de levas, aplicación parcial de la electrónica de potencia (aparato *chopper* elemental para la regulación de la corriente de excitación en el frenado, por ejemplo), aplicación de la electrónica al control y regulación de procesos, etc.

Todo ello ha hecho posible que estos equipos "convencionales", en sus más modernas ejecuciones, hayan conseguido un grado de confort, seguridad y perfección verdaderamente notables.

4 SISTEMAS CHOPPER

El fuerte desarrollo experimentado por la electrónica en los últimos años, ha permitido, manteniendo los motores de tracción de corriente continua, sustituir el empleo de resistencias para el arranque, por tiristores, lo que permite por una parte la supresión parcial de los engorrosos contactores (agrupados o no en el eje de levas) que eran uno de los elementos esencialmente sometidos a desgaste, con los correspondientes costes de explotación y mantenimiento. Por otra parte, la suavidad y el confort del viaje son superiores, puesto que estamos, comparando un sistema de regulación continua de la tensión aplicada al motor —mediante el equipo *chopper*— con el sistema discontinuo (escalonado) de regulación por resistencias. Es innecesario comentar que, al prescindir de las resistencias de arranque, se suprimen también las pérdidas de energía correspondientes (aunque no debe ignorarse la disipación propia de los semiconductores).

Este sistema *chopper* ofrece en la fase de frenado otra ventaja adicional: posibilidad de devolución a la red de parte de la energía generada en el frenado, caso de que haya otras unidades de tren en disposición de absorber en ese momento esa energía. Esto es lo que se denomina **frenado por recuperación** o regenerativo (debe indicarse, sin embargo, que la energía que no pueda ser devuelta a la red, debe disiparse en la correspondiente resistencia, dando lugar al denominado **freno reostático.** En conjunto, y normalmente, se producirá por tanto un frenado mixto: recuperativo/reostático.

Una desventaja de este sistema frente al convencional es la necesidad de introducir un filtro LC a fin de impedir que se transmitan a la red los armónicos de corriente producidos por el propio equipo *chopper*.

5 SISTEMA TRIFASICO

Una utilización aún más intensiva de la electrónica de potencia en los sistemas de tracción, ha permitido la sustitución del motor de continua (con el correspondiente

colector, elemento sensible y siempre sometido a desgaste), por el más robusto motor asíncrono, prácticamente exento de mantenimiento.

Mediante tiristores se regulan la tensión y frecuencia del motor en las fases de arranque y frenado.

El aparato *chopper* de la generación anterior se ha desdoblado aquí en un conjunto *chopper*/ondulador trifásico, pero, sin duda, esta mayor complicación de la electrónica de potencia se ve ampliamente recompensada por la posibilidad, como hemos dicho ya, de utilizar un motor de tracción asíncrono (exento de colector), menos pesado y voluminoso que el de continua y con gran capacidad de sobrecarga.

Por otra parte, pueden eliminarse un número mayor de contactores (elementos sometidos a desgaste) que en el caso *chopper*.

Otras ventajas adicionales de este sistema frente a los dos anteriores, son principalmente:

- Mejor adherencia rueda-carril, puesto que, debido a las curvas características típicas de la máquina asíncrona, existe una tendencia natural a la autocorrección en casos de embalamiento (en arranque) y de bloqueo de las ruedas (en el frenado).
- Tras la fase de arranque a esfuerzo (aceleración) constante, similar a la de los sistemas anteriores, sucede una tracción a potencia constante, exclusivamente característica de la tecnología trifásica, que permite un aprovechamiento óptimo de las características dinámico/energéticas del sistema.

En cuanto a las posibilidades de recuperación de energía durante el frenado, son análogas a las del *chopper*.

Se debe indicar que esta tecnología, a la que auguramos un brillante futuro, precisa, por las características de su sistema electrónico, un filtro LC de red de mayor peso y volumen que en el caso del sistema *chopper*.

Moderna unidad de tren en tecnología trifásica, es decir, con utilización de motores de tracción asíncronos. Un equipo convertidor-ondulador electrónico se encarga de transformar la tensión continua de catenaria en alterna trifásica.

6 INNOVACIONES COMPLEMENTARIAS

Con independencia de los tres sistemas tecnológicos comentados, surgen incesantemente nuevas aplicaciones a los equipos ferroviarios de los avances técnicos, especialmente relativos a la electrónica.

Estas mejoras que se proyectan sobre determinados elementos o subconjuntos del sistema, no se deben considerar, a nuestro juicio, como una nueva generación ferroviaria, puesto que son aplicables precisamente a cualquiera de las tres mencionadas, naturalmente, con un diverso grado de imbricación e idoneidad.

Destacamos por su importancia, las siguientes ideas:

- Aplicación de los microprocesadores y microordenadores en la electrónica de control a bordo de las unidades de tren, sustituyendo a los equipos con electrónica cableada.

Las principales ventajas son las siguientes:

— Independencia total frente a envejecimiento y desajuste de las regulaciones, como consecuencia de la elaboración digital de los parámetros.

— Elevada seguridad gracias al reducido número de componentes y a la insensibilidad frente a perturbaciones.

— Reducción de peso y volumen.

— Sencillo ajuste de los parámetros y total posibilidad de reproducción.

— Posibilidad de una diagnosis sencilla de anomalías debido a la integración de programas de prueba. Posibilidad de protocolización de estas averías.

- Aplicación asimismo de microprocesadores para el equipamiento de taller.

La técnica actual de los ordenadores permite profundizar en la calidad y diversidad de funciones de este equipamiento en una forma asombrosa. En este sentido puede conseguirse desde limitar esencialmente los tiempos necesarios para la puesta en servicio de las unidades de tren, hasta automatizar en un alto porcentaje la detección de elementos averiados durante el servicio, agilizando y simplificando en gran medida las tareas habituales de mantenimiento.

Como puede suponerse, este punto complementa al anterior.

- Utilización de tiristores GTO en la electrónica de potencia.

El empleo de estos tiristores, de reciente desarrollo, "apagables" mediante un impulso de corriente en su "puerta", permite prescindir de los complicados circuitos de apagado (mediante condensadores, reactancias, tiristores auxiliares y diodos) que se precisan en los tiritores tradicionales.

Esta característica de los tiristores GTO permite ahorrar peso y volumen en los aparatos donde van alojados (convertidores estáticos, onduladores, *chopper*, etc.), eliminando asimismo causas adicionales de averías al prescindir, como se ha indicado, de todos los componentes que se precisaban para el apagado de los tiristores convencionales.

7 COMENTARIOS FINALES

Se ha pretendido dar una visión general sobre los diversos sistemas y tecnologías que coexisten

actualmente dentro del segmento de los FF.CC. urbanos y suburbanos. Naturalmente, por las características de este estudio, la exposición realizada es forzosamente incompleta, pero creemos que ofrece una síntesis del tema.

Hemos renunciado deliberadamente a comentar otros sistemas de vanguardia, como el de tracción por motor lineal, suspensión magnética, etc., por no estar aún suficientemente acreditados como series comerciales, sino mayoritariamente en fase experimental y de prototipos. Por otra parte, el estudio de estos FF.CC. vanguardistas bien se merece un tratamiento monográfico.

También se ha pretendido, en lo posible, centrar los puntos anteriores en los aspectos técnicos, dejando al margen los puramente comerciales. Evidentemente, sin embargo, ambos aspectos van íntimamente relacionados, lo cual no se puede ignorar.

Sí quisiéramos, para terminar, lanzar una serie de ideas que, sin ánimo de ser exhaustivos, consideramos interesantes a la hora de juzgar las diferentes tecnologías que se han comentado, a saber:

- La aplicación progresiva de la electrónica a los sistemas ferroviarios (como a cualquier sistema) es una tendencia manifiesta, por lo que comporta de seguridad, confort, eliminación de elementos sometidos a desgaste, eficiencia del servicio, reducción de mantenimiento y posibilidades de ahorro energético, entre otras ventajas.
- En un nivel posterior, la cibernética aplicada al ferrocarril, progresa rápidamente.
- La tensión de alimentación es un factor decisivo sobre los costes comparativos de uno u otro sistema.
- Las posibilidades de recuperación de energía en el frenado, dependen en gran medida de la frecuencia del tráfico, del esquema de alimentación de la línea y del perfil del trayecto.
- La disipación de calor es un factor esencial en el caso de tráfico subterráneo, que queda minimizado en el de superficie.
- Las nuevas tecnologías precisan menos personal para mantenimiento y conservación, pero más cualificado.
- La preferencia por una u otra tecnología, en resumen, debe basarse en una serie de premisas, algunas de ellas difíciles de conciliar, naturalmente cambiantes según las características concretas de cada explotación; indicando finalmente que el coste de adquisición de los equipos es un factor más, evidentemente importante, pero en modo alguno determinante para una correcta elección. ■.

EL AUTOR

D. **José Miguel Gil Ortiz,** es Ingeniero Superior de Telecomunicación (especialidad electrónica) por la E.T.S.I.T. de Madrid y Master en Administración y Dirección de Empresas por ICADE.

Desde 1973, está integrado en la Empresa AEG Ibérica de Electricidad, S. A. y ha participado y/o dirigido proyectos ferroviarios para Metro de Madrid, RENFE, FEVE, Ferrocarriles Vascos, etc.

En el período comprendido entre 1977 y 1979, ha sido Jefe del Departamento de Material Móvil de Ferrocarriles, y a partir de 1979, Jefe de la División de Ferrocarriles de AEG Ibérica.

SALON INTERNACIONAL DE LOS COMPONENTES Y ACCESORIOS PARA AUTOMOVILES Y EQUIPOS DE GARAJE

Del 27 de septiembre al 4 de octubre de 1985 se celebrará, en Paris-Nord, el Salón linternacional de los componentes y accesorios para automóviles y equipos de garaje. Con esta edición, celebra su séptimo aniversario y comienza una nueva etapa en la que se propone confirmar su posición de salón internacional de equipos de recambio y de equipos de garaje y desarrollar también el sector de primer montaje.

La Sociedad de Ingenieros del Automóvil y la F.I.E.V. (Federación de Industrias de Equipos para Vehículos) han organizado su 4.º Congreso que ocupará tres días (del 30 de septiembre al 2 de octubre) y en el que se tratarán dos puntos de interés:

- Papel del equipamiento en la calidad del vehículo.
- Equipos: innovaciones y materiales de futuro.

Por otra parte los constructores, fabricantes de equipo e investigadores, no sólo europeos, sino también japoneses y americanos, se referirán a las tendencias tecnológicas de lo que podría ser el automóvil del futuro, gracias sobre todo a las innovaciones y a los materiales nuevos en campos como: electricidad y electrónica, motores, caja de cambios, transmisión, suspensión y frenado, ayudas a la conducción...

Los fabricantes de equipos han decidido consagrar el jueves, día 3 de octubre, a la organización de reuniones de reflexión sobre su posición comercial con respecto a los constructores de automóviles, por un lado, y a la distribución de piezas de recambio, por otro.

Programa:

— Coloquio internacional: "Papel del equipamiento en la calidad de los vehículos".

— Coloquio internacional: "Equipos: innovaciones y materiales de futuro".

— Mesa Redonda: "Equipos de Garaje". Coloquio internacional: "Equipos: innovaciones y materiales de futuro".

— Simposio comercial internacional.

— Jornada de administraciones.

Promosalons - Avda. General Perón, 26 - 28020 - Madrid.