



598-015 en Mingorría (Ávila), 27/02/2005 (Foto: Mario Rodríguez Ruiz)

## UNIDADES BASCULANTES SERIE 598

Texto, fotos e infografía, salvo mención: J. C. Alonso Mostaza

**En el número 16 de la desaparecida revista Paso a Nivel hicimos un repaso de la evolución tecnológica desarrollada por Construcciones y Auxiliar de Ferrocarriles (CAF) hasta conseguir el Sistema Inteligente de Basculación Integral (SIBI) que equipan los trenes basculantes (594.1 y 598) y describimos el funcionamiento de este innovador sistema de basculación. En el presente artículo detallaremos las principales características de los nuevos trenes de la serie 598.**

El 26 de junio de 2001 la Unidad de Negocio de Regionales de Renfe adjudicó por un importe total de 95 millones de euros a CAF y ADtranz (ABB Daimler-Benz Transportation, actualmente Bombardier) la fabricación de 21 trenes diesel basculantes de tres coches.

En el contrato se preveía la entrega de la primera unidad en el segundo trimestre de 2003 para iniciar pruebas en vía. Cuatro meses después se recibiría la segunda composición, entrando los primeros trenes en servicio comercial a lo largo del primer semestre de 2004. Una vez concluidas las pruebas estáticas que se realizan en la factoría de CAF en Beasain (Guipúzcoa), comenzaron a finales de marzo de 2004 (con un ligero retraso sobre las fechas previstas) los ensayos en vía del primero de los 21 trenes. Durante dos meses la composición fue sometida a las pruebas "tipo" destinadas a garantizar que todos y cada uno de los equipos y componentes del tren cumplen con los requerimientos explicitados en las especificaciones del contrato y también las de "serie" que se realizan para recibir definitivamente todos los trenes que forman la serie.

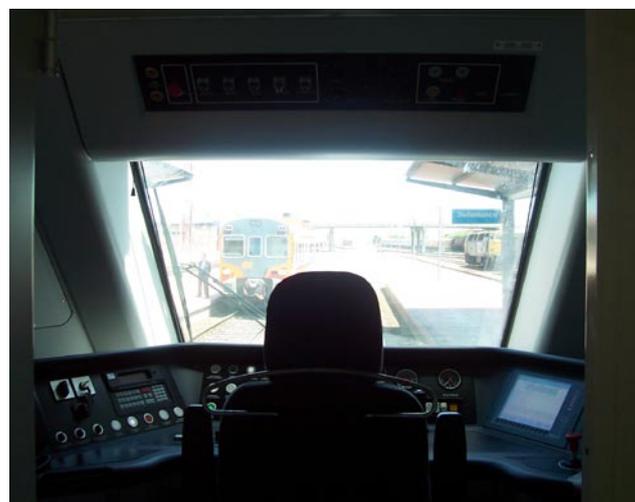
En estas pruebas se analizan desde el comportamiento dinámico hasta los consumos, niveles de emisión sonora o las velocidades máximas y medias. Las pruebas en vía recta se desarrollaron en los trayectos Alcázar de San Juan-Albacete y Alcázar de San Juan-Manzanares. Para las pruebas de potencia y frenado en rampa se eligió el recorrido Almería-Guadix y para comprobar el funcionamiento del SIBI las dos líneas dotadas de este equipamiento (Sevilla-Almería y Ma-

drid-Salamanca).

En los trenes de la serie 598 se han introducido importantes mejoras e innovaciones con respecto a los TRD 594. Cada uno de los trenes de la nueva serie tiene una longitud total de casi 76 metros, con una composición formada por dos coches motores con cabina y un coche remolque intermedio (M1c-R-M2c) unidos mecánica y neumáticamente por enganches semipermanentes y eléctricamente a través de mangueras



La segunda unidad de esta serie en la vía 4 de la estación de Salamanca, 15/06/2004.



Los coches están unidos mecánica y neumáticamente por enganches semipermanentes y eléctricamente a través de mangueras situadas en los testeros. Los deflectores ocultan parcialmente los fuelles de intercomunicación, consiguen dar una continuidad en las líneas de la composición y mejoran su aerodinámica.

El nuevo diseño de los testeros ha permitido mejorar la ergonomía de la cabina de conducción.

situadas en los testeros. Cada tren puede circular en mando múltiple (acoplado mediante enganches tipo Scharfenberg retráctiles) con otros dos trenes como máximo, formando una triple composición de 9 coches. La estructura del vehículo está construida en aleación ligera de aluminio y es autoportante. Los equipos se incorporan a ella en módulos de fácil montaje lo que facilita el mantenimiento, las reparaciones y la sustitución (menor coste de mantenimiento y aumento de la disponibilidad). La imagen exterior de la composición es totalmente distinta: testero aerodinámico y con un bajo coeficiente de penetración, con teleindicador de destino, faros superiores de doble óptica y faros inferiores compuestos de leds blancos y rojos de altas prestaciones, caja lisa en los laterales y cristal corrido a lo largo de la composición. El testero del vehículo incorpora un sistema de amortiguadores que absorbe la energía en caso de impacto frontal hasta velocidades de 30 km/h, deformándose el morro pero sin afectar la estructura de aluminio de la caja. El tren da mayor sensación de altura por el carenado inferior que cubre los equipos bajo bastidor y el superior que disimula los equipos de aire acondicionado y de refrigeración. Para lograr una continuidad en las líneas de la composición y mejorar su aerodinámica, se incluye un deflector entre los vehículos que oculta parcialmente los fuelles de intercomunicación. Dispone de sistema "anticlimber" (antiencaballamiento), mediante topes rígidos y encajables y estructuras de nido de abeja que absorben deformaciones, que impide que en caso de accidente los vehículos se monten unos encima de los otros.



Frontal del coche motor 9-598-502-3.

### Cabina de conducción

El nuevo diseño de los testeros abandona el estilo de los TRD 594, no permitiendo el paso entre unidades acopladas. Pese a este inconveniente, hay que señalar que de esta forma se ha conseguido que el tren sea mucho más aerodinámico (con el consiguiente ahorro energético) y ha permitido un nuevo diseño más ergonómico de la cabina de conducción (en los TRD de la serie 594 el pupitre es más pequeño de lo habitual al tener que ir acoplado a la puerta móvil del testero). Como puede observarse en las diferentes fotos de la cabina, en los paneles frontales del pupitre de conducción se reparten el equipo de radiotelefonía tren-tierra junto a otros interruptores (inversor de marcha y arranque de motores) a la izquierda. En el centro se encuentran los mandos de puertas y alumbrado, tacómetro (equipo registrador del tipo "Cesis" que hace el registro cronológico de velocidad, espacio y tiempo, según requiere la normativa jurídica



vigente) y debajo de éste el visualizador del SIBI, más a la derecha se sitúan los indicadores de presión de aire y el equipo del ASFA. En el lado derecho ocupa un lugar destacado la pantalla de color del SICAS, acompa-

ñada de otros indicadores de nivel de combustible y contadores de horas de funcionamiento de los motores. En el tablero de la mesa están en el lado izquierdo el mando de freno de auxilio (neumático), la bocina, interruptor y pulsador de reconocimiento. En el centro se encuentra el portaitinerarios, estando en el lado derecho el mando de tracción-freno y la seta del freno de urgencia. Para acceder a la cabina desde el exterior, el tren cuenta con una única puerta de una hoja y apertura manual situada en el lado derecho. La cabina tiene aire acondicionado independiente de las salas de viajeros y lunas reforzadas.

## Acceso al tren

El acceso desde los andenes se efectúa por tres puertas a cada lado del tren. Las puertas son de la marca Faiveley, de doble hoja de tipo encajable-deslizante, guiadas en su parte inferior y con accionamiento eléctrico. Dispone de un pulsador de apertura y de un peldaño abatible de accionamiento neumático coordinado con el de la puerta que permite el acceso desde andenes de entre 320 y 960 mm de altura sobre el carril. Asimismo, incorpora un sistema de bordes sensibles (detección de obstáculos) que impide el atrapamiento de los viajeros. En las plataformas se incluyen teleindicadores de destino y un zumbador de aviso acústico de cierre.



Interior del coche remolque 7-598-002-4.



Aseo del coche M1c adaptado para facilitar el acceso a personas de movilidad reducida (PMR).



Testero aerodinámico del coche motor 9-598-502-3. La puerta de acceso desde el exterior a la cabina se encuentra en el lado derecho, es de una hoja y apertura manual. Los equipos de refrigeración se encuentran en el techo en vez de bajo el bastidor. Al reducirse el nivel de suciedad y la temperatura se aumenta la eficacia de los equipos.

## Salas de viajeros

Cada uno de los coches cuenta con dos salas de viajeros, una grande y otra pequeña, separadas por la plataforma de acceso al coche. La capacidad del tren es de 188 asientos que se reparten en 56 plazas más una para personas de movilidad reducida (PMR) en el coche M1c (9-598-0xx-x), 74 plazas en el coche R (7-598-0xx-x) y 58 plazas en el coche M2c (9-598-5xx-x). Si el espacio reservado para PMR no se utilizase, hay dos plazas más (con estrapontines). Como dato curioso hay que señalar que en esta serie los coches M1c tienen el mismo número de orden y de autocontrol que los coches R, tan sólo se diferencian ambas numeraciones en el primer dígito que nos indica el tipo de coche (un nueve si es motor y un siete si es remolque). Las salas de viajeros están aisladas acústica y térmicamente. Cuentan con puertas automáticas de intercomunicación con accionamiento electroneumático y con células fotoeléctricas de proximidad (la apertura se realiza sin contacto físico con los botones). El material usado para los tabiques de separación interiores es resina fenólica cubierta de melamina, autoextinguibles y con juntas elásticas de unión. Los revestimientos de los costados son de módulos estratificados de los mismos materiales y con sistemas de fácil desmontaje. El suelo es de madera estratificada con lámina de caucho intermedia y fijado con elementos elásticos para reducir la transmisión acústica (nivel máximo de ruido de 67 dB). En las salas se utilizan colores básicos más claros que en los TRD de la serie 594, lo que contribuye a incrementar la sensación de espacio interior. Los estores de las ventanas son

guiados y con regulación continua. Los asientos se enclavan en carriles y son reclinables y ergonómicos, con una anchura de 1.115 mm y paso libre entre ellos de un metro. Incorporan reposabrazos abatibles, papellera, portarrevistas y mesa auxiliar abatible. En cada sala de viajeros hay dos mesas de tertulia y en el coche M2c se ha reservado un espacio para transportar bicicletas. En todas las salas está prohibido fumar desde el pasado 1 de febrero de 2005, fecha desde la que no se permite fumar en los trenes con trayectos inferiores a cinco horas. La iluminación del compartimento de viajeros consiste en dos bandas longitudinales integradas en el techo a ambos lados del pasillo central, completadas con alumbrado adicional en la parte inferior de la estructura de los portaequipajes. Además de los portaequipajes situados encima de los asientos, existe un maletero junto a la plataforma de acceso. El tren dispone de sistemas de megafonía para emitir mensajes acústicos y música ambiental (en formato MP3) y teleindicadores para informar sobre destino del tren, paradas intermedias restantes, hora, temperatura exterior, próxima parada y tiempo estimado de llegada, velocidad y situación del tren, próxima estación y emisión de avisos. En cada coche motor se encuentra un aseo, más amplio que los de la serie 594 y con inodoros y lavabos de acero inoxidable. Uno de ellos (el situado en el coche M1c) está adaptado para facilitar el acceso a PMR (con puerta de acceso automática y de gran amplitud). El aseo cuenta con WC de vacío, papellera, colgador de ropa, contenedor de desperdicios y cambiador de bebés.

## Bogies

Los bogies derivan de los tipos GC (Gran Confort) diseñados y fabricados por CAF y que se encuentran prestando servicio de forma satisfactoria a velocidades de hasta 200 km/h. Tienen un empate (distancia entre centros de ejes) de 2.700 mm y un peso de 9.000 kg. Las ruedas son enterizas y con un diámetro de 850 mm.

Tanto los dos coches motores extremos como el remolque central cuentan con dos bogies. Los bogies motores (del tipo A1) son idénticos a los que equipan los TRD basculantes (594.1) y cuentan con dos ejes, uno de ellos motor situado hacia el centro del coche, accionado por la transmisión oleodinámica a través de un árbol cardán con un reductor en el eje. Los bogies portadores del coche R son análogos a los motores, salvo en que en ellos se ha eliminado el reductor y su brazo de reacción. Cada uno de los ejes dispone de dos discos de freno de 610 mm de diámetro con cilindros de freno normales y con freno de estacionamiento. La suspensión primaria, la que transmite los esfuerzos verticales entre el bastidor de los bogies y las cajas, incorpora elementos de caucho para el guiado y de resortes helicoidales de acero para soportar las cargas verticales. La suspensión secundaria es neumática, con dos balonas, dos amortiguadores hidráulicos y sistema antilazo. Entre la suspensión primaria y la secundaria se encuentran los mecanismos de actuación del sistema basculante (traviesa y actuador electromecánico) que hace que la caja se incline respecto al bogie en función de las órdenes recibidas del SIBI. Como ya apuntábamos en otro artículo al explicar este sistema (*Paso a Nivel, número 16, mayo de 2005*), la traviesa basculante está colgada del bastidor del bogie por medio de cuatro bielas que definen la cinemática del movimiento basculante de las cajas. Esta ubicación permite que la suspensión secundaria participe de la basculación y esté sometida a menores esfuerzos laterales, lo cual mejora la comodidad del viajero y permite prescindir de una suspensión lateral activa. Por su parte, el actuador electromecánico tiene un servomotor síncrono que mediante un husillo de rodillos convierte la rotación del motor en un desplazamiento lineal que provoca la inclinación de la caja. Los bogies basculantes incorpo-

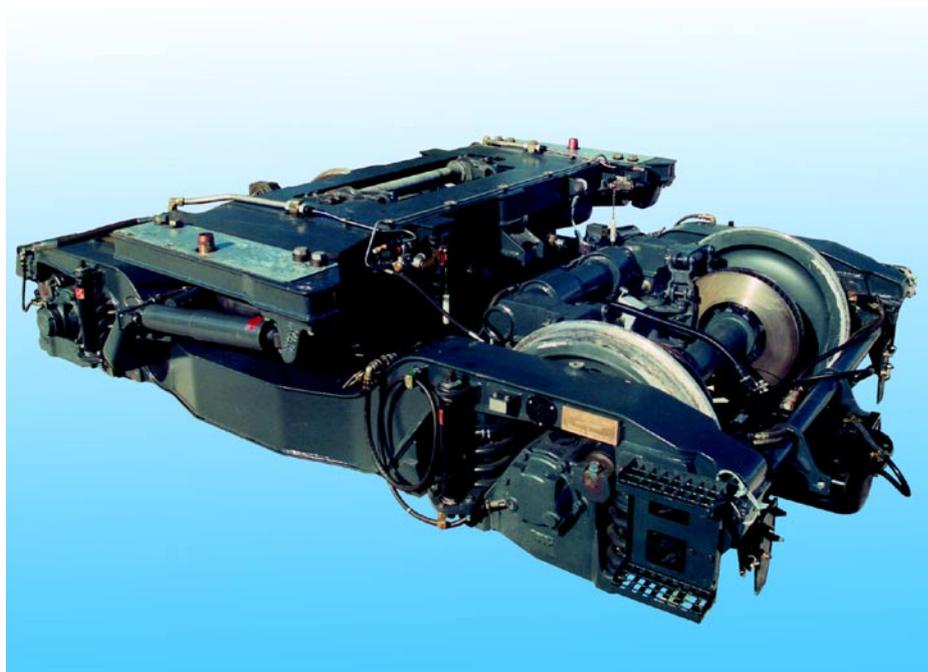


Bogie basculante del coche motor 9-598-502-3.

ran una barra de torsión para limitar la inclinación de las cajas al paso por las curvas, evitando así posibles interferencias en el gálibo. Los ejes de los bogies son orientables, limitándose así la agresión sobre la vía al reducirse los esfuerzos dinámicos generados por la interacción de las ruedas y los carriles. Cada bogie cuenta con dos instalaciones neumáticas (una para la suspensión secundaria y otra para el freno), dos eyectores de arena y las conexiones eléctricas para los sensores de antibloqueo. Los bogies extremos de la composición (bajo las cabinas) cuentan con un equipo captador de ASFA.

## Motorización

Bajo el bastidor de cada coche motor se sitúan tres módulos: dos de motorización (que incluyen el motor diesel, la transmisión y el refrigerador) y un módulo neumático (con sus paneles de freno y depósitos de aire). El sistema de tracción se compone de cuatro motores diesel MAN modelo D 2876 LUE 605 (dos en cada coche Mc). Según la nomenclatura aplicada por MAN, la "D" indica que se trata de un modelo diesel, 2876 es el tipo de motor, "L" indica que es sobrealimentado y con "intercooler" (en alemán el radiador donde se enfría el aire de admisión, o sea, el "intercooler", se denomina "Ladeluftkühlung"), "U"



Bogie basculante que equipan los trenes de las series 594.1 y 598. Cortesía CAF.

dría ser el *European Rail Research Institute, ERRI* que estas medidas han sido correctamente registradas.

## Equipos de transmisión y refrigeración

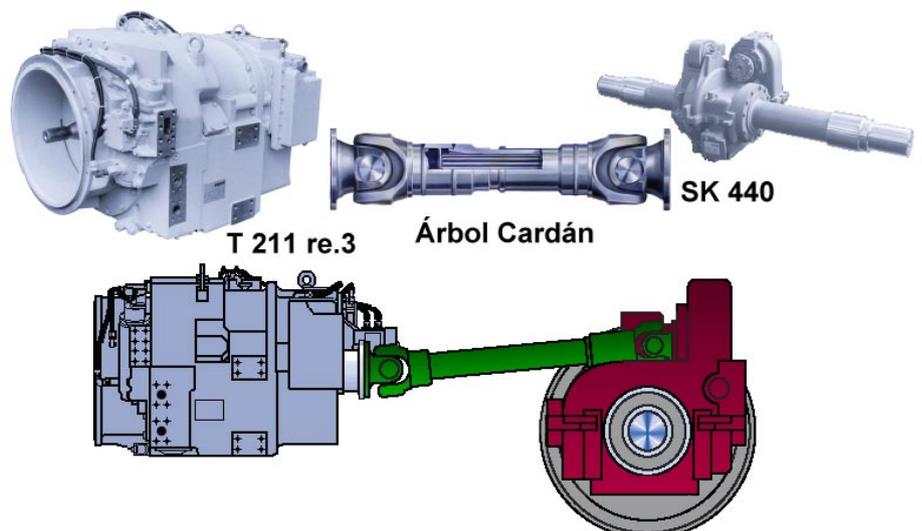
Completa el sistema de tracción cuatro transmisiones oleodinámicas que accionan los cuatro bogies motores e igual número de sistemas de refrigeración por agua. Veámoslo con mayor detalle. La transmisión de potencia desde el motor al eje motor del bogie está dirigida y controlada por un sistema electrónico (microprocesador VTC, Voith Turbo Control) y se realiza mediante un turbotransmisor oleodinámico Voith Turbo modelo T 211 re.3. Esta transmisión está acoplada de forma fija a la salida de fuerza del motor diesel y está conectada al reductor del eje motor (SK 440) mediante un árbol cardán. Dispone de dos velocidades de marcha, con convertidor de par y acoplamientos oleodinámicos, seleccionándose de forma automática la velocidad más favorable en función de la demanda del maquinista. Los cambios de velocidad se realizan de forma suave (sin tirones ni desgastes) y sin interrumpir el esfuerzo de tracción. Estas transmisiones incorporan un inversor mecánico cuyo accionamiento debe efectuarse con el tren parado y un módulo de freno hidrodinámico KB 190. Cada uno de los cuatro equipos de refrigeración Behr sirve a un motor de tracción (y su correspondiente transmisión) y es independiente de los demás. Se sitúa sobre el techo de los coches motores, lo que permite una mayor eficacia en la refrigeración. Está formado por dos radiadores:



Detalle del eje motor y del árbol cardán (en color verde).

indica que la instalación es bajo el bastidor (“Unterflurbauweise”) y “E” que tiene una instalación convencional (“Einbaumotor”). Este motor es de cuatro tiempos refrigerado por agua, con 6 cilindros en línea en disposición horizontal, de cuatro válvulas por cilindro e inyección directa de combustible que se controla mediante un sistema electrónico en función de múltiples variables y de la demanda de tracción solicitada por el agente de conducción. Este sistema electrónico se comunica con la unidad central del sistema informático para realizar el arranque, control y parada de los motores. Cada motor tiene una potencia de 338 kW a 2.000 revoluciones por minuto (r.p.m. o  $\text{min}^{-1}$ ), lo que permite una potencia nominal continua de 1.352 kW. Se trata de motores de nueva generación que cuentan con un sistema de detección de incendios, reducida emisión de gases, son poco ruidosos y de bajo consumo, lo que, unido al reducido peso del tren (tara de 151,8 t), da como resultado un moderado consumo de combustible. El circuito de lubricación del motor es interior y cerrado, estando la presión del aceite controlada mediante un sensor. Antes de continuar con la descripción de los equipos de transmisión y refrigeración, comentaremos que estos motores cumplen las disposiciones oficiales sobre la reducción de emisiones de gases con efecto invernadero que son de obligado cumplimiento para todos los Estados miembros de la Unión Europea: ficha UIC 624 (UIC II). En concreto, para este tipo

de motor se realizó el Test de Emisiones de la UIC en mayo de 2003 y se obtuvo el Certificado de Emisiones de esta organización en dicho año. La ficha UIC 624 define los valores que deben ser respetados por los constructores de motores diesel en cuanto a monóxido de Carbono (CO), óxidos de Nitrógeno (NOx), Hidrocarburos (HC) y partículas. Estos valores deben ser medidos en un banco de ensayo según la norma EN ISO 8178 y deben de hacer referencia al ciclo F (este ciclo sirve para determinar cuantitativamente las emisiones de gases procedentes de los escapes de los motores, así como el consumo medio de combustible de los mismos). Igualmente importante es verificar por un organismo certificado independiente (por ejemplo, y hasta su cese de actividad el 30 de junio de 2004, po-



Componentes de la transmisión. Fuente: Voith Turbo | Elaboración propia.

uno para el líquido refrigerante del motor diesel (que también enfría el aceite de la transmisión) y otro para el aire de carga del motor. Su accionamiento es hidrostático y permiten disipar el calor generado por el motor diesel mediante agua. La circulación de los fluidos se garantiza mediante bombas hidráulicas, dispone de sensores para detectar la temperatura del agua (si ésta es elevada se disparan los ventiladores de cada radiador). Asimismo, cuenta con sensores que indican el nivel mínimo de agua en el circuito de refrigeración.

## Equipos auxiliares

Bajo el bastidor del coche remolque se encuentran cinco módulos: dos de accionamiento de los servicios auxiliares, uno de producción de aire (con dos compresores y dos torres de secado), un módulo de combustible (con depósito para 1.400 litros de gasóleo) y un módulo neumático (con paneles de freno y depósitos de aire). Los motores diesel de tracción se independizan de los servicios auxiliares, que van alimentados por otros dos grupos electrógenos situados bajo el bastidor del coche R. Cada uno cuenta con un motor diesel MAN (modelo D 2866 LUE 605) de 230 kW a 1500 r.p.m. y un alternador de 210 kVA accionado directamente por su motor. La salida de cada grupo es de 220 y 380 V (ca, corriente alterna) a la frecuencia industrial de 50 Hz.

Un solo alternador es capaz de suministrar la energía eléctrica necesaria para los servicios del tren (alumbrado,

climatización, equipos de control y mando), lo que da a la unidad una redundancia total de los equipos de generación de energía. Como novedad, el alternador es cerrado, lo que evita la suciedad. Gracias a un sistema ubicado en su eje, dispone de una refrigeración forzada e independiente de la temperatura ambiente. Además de suministrar la energía eléctrica necesaria, el alternador alimenta los cargadores de las baterías de níquel-cadmio de servicio y de arranque de los motores situadas bajo el bastidor de la caja de cada coche (con un salida de 24 V cc, corriente continua, 160 Ah).

La batería de cada coche Mc arranca los dos motores diesel de su propio coche y la batería del coche R arranca el motor auxiliar del alternador que vaya a entrar en funcionamiento. Las baterías también se utilizan para alimentar el alumbrado de emergencia y el de limpieza (durante 30 minutos como máximo). Con el fin de mantener la capacidad de la batería y permitir el arranque de la composición, existe un relé de mínima tensión que desconecta el alumbrado en caso de que la batería esté baja. Por otra parte, si falla la batería de un coche se puede utilizar, para arrancar la composición, otra situada en otro coche mediante un sistema electromecánico. Los motores auxiliares que accionan los alternadores disponen de un equipo de refrigeración formado por dos equipos idénticos e independientes, uno por cada motor, accionados eléctricamente y situados sobre el techo

del coche R (lo que reduce, como ya indicábamos antes en los equipos de refrigeración de los coches motores, el nivel de suciedad y la temperatura, menor que bajo el bastidor). Los equipos de señalización y control de tráfico que posee son ASFA, "Hombre Muerto", radiotelefonía tren-tierra, sistema de localización GPS para ser utilizado para la basculación activa y la información al viajero, sistema telefónico GSM y el sistema de información al viajero tipo "Iris" de Albatros que permite emitir diferentes mensajes acústicos y visuales a los viajeros, emitir música ambiental en formato MP3, la comunicación con la otra cabina de conducción del tren y entrar al viajero en comunicación con el maquinista mediante un intercomunicador activo al pulsar un aparato de alarma. La unidad cuenta con sistema de control electrónico, un SICAS (Sistema Integrado de Control de Auxiliares SEPSA) de mando, monitorización y control de equipos auxiliares, formado por una central en cada coche, interconectadas mediante un bus de comunicación RS-485. Una de las centrales actúa como master y en cada cabina de conducción existe una terminal de información para el conductor en la que se muestran las órdenes de funcionamiento normal, se presentan las incidencias y las recomendaciones de actuación en caso de avería a la vez que se envía (mediante radiotelefonía GSM) al taller de mantenimiento el estado de los equipos del tren.

## Climatización

Los trenes de la serie 598 cuentan con equipos de climatización independientes para las salas de viajeros y para las cabinas. La regulación de la temperatura se realiza de forma automática por el equipo, seleccionando el maquinista la temperatura que desea mantener de entre tres valores programados (baja-media-alta). Cada coche dispone de dos equipos independientes de sala, compactos y ensamblados en un solo bloque. La potencia de refrigeración de cada equipo es de 46 kW y el de calefacción de 27 kW. Antes de iniciar el servicio comercial (prerrefrigeración) funcionan los dos equipos, para funcionar después uno sólo durante el servicio. En caso de emergencia el equipo de refrigeración funciona con ventilación, asegurando así la renovación del aire. Las cabinas de conducción disponen de equipos de climatización



Detalle de la terminal de información para el conductor del SICAS (Sistema Integrado de Control de Auxiliares SEPSA).

independientes con una potencia de refrigeración de 4,5 kW y una potencia de calefacción de 3 kW.

## Equipo de freno

La producción de aire comprimido para abastecer al freno neumático de servicio, freno de urgencia, suspensión neumática y a otros equipos auxiliares (areneros, engrase de pestañas, accionamiento de estribos de puertas de acceso, etc.), se lleva a cabo mediante dos compresores Sab-Wabco situados bajo el bastidor de la caja del coche R. Estos compresores son de tornillo (rotativos), accionados por motores eléctricos y de alto rendimiento (uno de ellos sería suficiente para la explotación), con una capacidad de 1.100 litros por minuto cada uno. El equipo incluye un secador de aire regenerativo de dos torres. El vehículo cuenta con freno dinámico, de tipo hidrodinámico, compuesto por un equipo KB190 incorporado a la transmisión hidráulica. El freno neumático es de Sab Wabco, de aire comprimido y automático, controlado por dos tuberías con mando electroneumático y actúa sobre los dos discos de freno de cada eje mediante cilindros independientes. Ambos sistemas se conjugan en el frenado, logrando el máximo aprovechamiento del freno dinámico que se completa con el neumático en el caso de que el esfuerzo de freno solicitado sea mayor. El freno de servicio se solicita a través del mando de tracción-freno, que dispone de siete posiciones (cada una de ellas se corresponde con un porcentaje de demanda de potencia de freno). La demanda de freno solicitada por el maquinista mediante el mando de control se transmite a la electrónica de control de freno, encargándose ésta de elegir el sistema más adecuado para satisfacerla: el freno siempre se inicia utilizando la capacidad de freno hidrodinámico, cuando este freno no es suficiente para hacer frente a la demanda, se complementa con el freno neumático.

Además, el tren equipa un freno de auxilio puramente neumático que sustituye, en caso de avería, al sistema de mando electroneumático. El freno de estacionamiento, para asegurar la inmovilización del tren, es de tipo resorte y está instalado en algunos de los cilindros del freno neumático. El freno de urgencia consiste en aplicar todo el freno neumático disponible y se produce cuando se aprietan



En la parte superior de la cabina el maquinista puede regular la temperatura de la misma de forma independiente a la de las salas de viajeros.

las setas correspondientes o actúan los sistemas de seguridad ASFA o el "Hombre Muerto". El tren también dispone de un sistema de freno que garantiza la inmovilidad del vehículo en caso de no existir presión de aire, así como de un sistema antibloqueo y antipatinaje en todos los ejes.

## Servicio comercial

Hasta que comenzaron sus servicios comerciales en Galicia el día 23 de diciembre de 2004 ha habido una gran incertidumbre acerca de dónde serían asignados y cuándo se iniciaría la explotación comercial con ellos. Inicialmente (cuando los trenes todavía estaban siendo fabricados por CAF en Beasain) se preveía que los primeros trenes iniciarían sus servicios comerciales en el corredor Atlántico A Coruña-Vigo y en el corredor Madrid-Ávila-Salamanca (como se indicaba en el artículo que sobre el Bloqueo de Liberación Automática en vía Única, BLAU, se publicó en el número 10 de la revista *Paso a Nivel*). Sin embargo, en verano de 2004 Regionales Renfe apuntaba como posibles destinos de este material las comunidades gallega y andaluza, iniciándose en septiembre de 2004 el servicio comercial con los cuatro primeros trenes recibidos. La idea de Regionales era destinar la totalidad de estos trenes a las comunidades anteriormente citadas, con la previsión de que antes de finalizar el año 2005 estuvieran los 21 trenes que forman la serie repartidos de la siguiente forma:

- Andalucía: Parece ser que los trenes de la serie 594.1 resultaban inadecuados para una región tan calurosa como la andaluza (en ocasiones en el período estival tenían que ser

sustituidos por trenes de la serie 592.2 debido a las altas temperaturas que deben soportar los equipos de refrigeración en determinados recorridos). Este problema de refrigeración se ve mitigado en los trenes de la serie 598 gracias a la nueva disposición de estos equipos en el techo en vez de bajo el bastidor. Por ello se planteaba que esta comunidad fuera la primera en recibir los trenes de la serie 598, destinando seis composiciones en Sevilla (cuatro para realizar la relación Sevilla-Granada-Almería, sustituyendo a otros tantos vehículos 594.1, con unos tiempos de viaje similares y un aumento de plazas global en torno al 32 por ciento) y dos composiciones más para cubrir la relación Granada-Algeciras (lo que supondría la incorporación de esta conexión a la red TRD andaluza).

- Galicia: Los quince vehículos restantes pasarían a formar parte del parque destinado en Galicia (base de Vigo), sustituyendo en el servicio a seis TRD 594 y cinco 592.2, y permitiendo dar de baja a seis trenes 593. Por otra parte, el parque de trenes 594 sustituido podría destinarse a las relaciones Valencia-Alicante-Murcia, Xátiva-Alcoi, Valencia-Teruel-Zaragoza, Madrid-Salamanca o Salamanca-Valladolid-Burgos.

Llegó el mes de septiembre y los trenes seguían sin entrar en servicio comercial. En octubre de 2004 se mantenían las comunidades autónomas de Andalucía y Galicia como lugares donde iniciarían la explotación estos trenes, pero se proponían como fechas de inicio el 7 de noviembre en Galicia (A Coruña-Vigo) y el 12 de diciembre en Andalucía (Sevilla-

Granada-Almería). En noviembre se plantean nuevas fechas: cinco trenes iniciarían servicio en Andalucía el 12 de diciembre de 2004, cuatro lo harían en Galicia el 19 de diciembre de 2004 y como novedad, se incluía una nueva relación: Madrid-Cáceres-Badajoz a partir del 13 de enero de 2005. Se comentaba por entonces que los 594.1 liberados en Andalucía pasarían al corredor Madrid-Salamanca con una posible ampliación del recorrido desde la capital charra hasta Valladolid. Una vez más las fechas previstas no se cumplieron, teniendo que esperar hasta el 23 de diciembre de 2004. En esta fecha (¡por fin!) la todavía Renfe inició la explotación comercial entre A Coruña y Vigo con la denominación "Nexios", realizando cuatro servicios en cada sentido con los cuatro trenes de esta serie destinados en Galicia (598-001, -002, -006 y -009) y que compartían el gráfico con los TRD de la serie 594. En la parte inferior de la "R" se pintó una raya de color azul representando la bandera de la Comunidad de Galicia. Mientras tanto, se posponía nuevamente la fecha de inicio en Andalucía para el 16 de enero de 2005...

El 22 de marzo de 2005 llegaban acoplados a Badajoz desde Madrid (vía Cáceres) dos trenes de la serie 598 (el 011 y el 013) realizando el primer viaje de pruebas previo a la implantación de este nuevo tren en las líneas extremeñas. Rápidamente se le puso un alias al nuevo tren: "Gorrión" (porque aunque se parece al AVE, corre menos que éste). Los dos "gorriones" pernoctaron en Mérida, ciudad de la que salieron el día 23 de marzo nuevamente hacia Madrid.

Con la incorporación de cuatro nuevos trenes (598-007, -014, -015 y -016) a la base de Vigo, el 28 de marzo de 2005 Renfe Operadora sustituyó todos los trenes TRD 594 que prestaban servicio en el corredor A Coruña-Santiago-Vigo desde 1997 por trenes de la serie 598. Desde esta fecha los ocho servicios (cuatro por sentido) que se prestaban desde el 23 de diciembre de 2004 con el nuevo material, se ampliaron hasta veinte servicios (diez por sentido) entre A Coruña y Vigo. Actualmente permanece en Galicia un TRD de la serie 594 (el -004) uniendo las ciudades de A Coruña y Ferrol. El 29 de mayo de 2005 entró en servicio el tramo de doble vía entre



R-598 con destino Vigo esperando el cruce con otro "Nemesio" destino A Coruña. Apeadero de Portas (Pontevedra), 19/03/2005  
Foto: Javier Lago Mourino



La doble composición formada por las unidades 598-011 y 598-013 descansa en Mérida (Badajoz) tras su primer viaje de pruebas por tierras extremeñas, 23/02/2005 (Foto: Mario Rodríguez Ruiz)

Santiago y Ordes (tramo incluido en las obras para la construcción de Alta Velocidad que lleva a cabo el Ministerio de Fomento en el Eje Atlántico). A partir de esta fecha todos los trenes regionales de Renfe que operan entre las ciudades de A Coruña, Santiago y Vigo utilizan esta variante mejorando los tiempos de viaje.

En Extremadura la actividad comercial (con el nombre R-598 en vez de Nexios) se inició el 3 de abril de 2005 cubriendo las relaciones entre Madrid y Badajoz (pasando por Plasencia, Cáceres y Mérida) y un tren por sen-

tido entre Plasencia y Badajoz. Realizan estos servicios las tres unidades basadas en el depósito madrileño de Cerro Negro: 598-011, -012 y -013.

Mientras tanto, en Andalucía (comunidad que inicialmente se proponía como la primera en poner en servicio estos trenes) se presentó oficialmente el 4 de abril de 2005 en Almería el nuevo servicio, iniciándose el primer recorrido comercial el 5 de abril de 2005 en la relación Sevilla-Granada-Almería (cuatro trenes por sentido) como R-598 mejorando entre 5 y 10 minutos los horarios que realizaban



En sus primeros días de pruebas, el primero de los 598 es fotografiado en la curva existente antes de la estación de Guadix (Granada), 19/05/2004 (Foto: Raúl Maldonado Cambil)

los TRD basculantes 594.1. Para cubrir esta relación se encuentran basados en el depósito de Sevilla los siguientes trenes: 598-003, -004, -005, -008, -010, -017 y -018. Con la incorporación de los tres últimos trenes de esta serie (-019 a -021) en este depósito se posibilitó la sustitución de forma gradual de los TRD entre Sevilla y Málaga por R-598 (implantación de este servicio iniciada el 19 de junio de 2005 y finalizada el 3 de julio).

Por desgracia ya debemos lamentar un accidente en esta serie (esperemos que sea el último): el 13 de abril de 2005 el tren 02006 que cubría la relación Vigo-A Coruña, realizado por la unidad 598-016, arrolló una excavadora en un paso a nivel sin barreras próximo al apeadero de Figueirido (entre las estaciones pontevedresas de Arcade y Pontevedra). Por fortuna no hubo que lamentar ninguna desgracia personal (cinco heridos de diversa consideración). Dados los daños materiales sufridos (fronto-lateral de la cabina y lateral de la sala pequeña del coche motor, justo encima del bogie), el tren fue remolcado el 15/09/2005 desde Galicia hasta la factoría de CAF en Beasain (Guipúzcoa) por el 598-015. Probablemente salga tras su reparación con los nuevos colores corporativos que Renfe Operadora está aplicando al material. Este nuevo esquema ya lo luce desde agosto de 2005 la unidad -011 (Madrid Cerro Negro): frontal completamente blanco, línea inferior

de color Pantone® 2425 C y nuevos logotipos de Renfe Operadora.

Al irse incorporando los trenes de la serie 598, los TRD 594 liberados pasaron a cubrir otras relaciones. Desde el 3 de abril de 2005 la relación Valencia-Teruel-Zaragoza cuenta con cuatro servicios TRD (dos por sentido), que sustituyeron los trenes de la serie 592. Además, un TRD por sentido amplió su recorrido hasta Huesca, haciendo posible la conexión directa de esta ciudad con Teruel y Valencia. Para realizar estos servicios se han destinado a la base de Valencia cinco TRD de la primera subserie (tipo 160A), estando en septiembre de 2005 los siguientes: 594-001, -005, -006, -007 y -010.

En Extremadura, y también desde el 3 de abril, entraron en servicio los TRD 594 cubriendo la relación Plasencia-Madrid (un tren por sentido) y dos trenes por sentido entre Mérida-Cáceres-Plasencia-Madrid. Para realizar estos servicios comerciales se ha destinado al depósito de Cerro Negro el 594-013. También estuvieron destinadas a esta base durante algún tiempo los trenes 594-104, -105 y -106, pero posteriormente fueron reagrupados en la base de Salamanca, ciudad en la que se encuentran actualmente todos los trenes de la serie 594.1. Realizan los servicios entre esta ciudad y Madrid así como las relaciones entre la capital de España y Extremadura.

## De cómo llamar a un producto comercial...

La denominación oficial de CAF para estos trenes es: unidad diesel basculante y ADR (Automotor Diesel Regional). Por su parte, Renfe utilizaba los siguientes nombres para referirse a este tipo de material: TRD3 (por eso de tener tres cajas) y TRD 598 (siguiendo con el nombre comercial dado a los trenes de la serie 594). De igual forma que el saber popular rebautizó en su día a los TRD como "Tren del Retraso Diario", "zodiac", "donut" (e incluso "condón"), a los trenes de la serie 598 también les ha tocado tener sus alias. Así, cuando se empezaron a ver las primeras unidades en pruebas los aficionados empezaron a llamarlos "kinder", "estirao", "jirafa", "bala" o "mazinger". Desde que Renfe empezó a denominar el servicio comercial realizado con este material como "Nexios" (en Galicia, diciembre de 2004) han recibido los siguientes nombres: "nexius", "nexos", "necios", "nemesios" (e incluso "noxos", *ascos* en la lengua de Rosalía de Castro). En Extremadura se les conoce como "gorrión", en Madrid como "galáctico" y en Andalucía como "pelicano". Quizá porque el nombre "Nexio" da lugar a otras denominaciones "menos comerciales del producto", Renfe Operadora decidió desde que comenzó la actividad comercial con estos trenes en Extremadura y Andalucía, denominar en los horarios estos servicios como R-598.

## Conclusión

En el Plan de Infraestructuras 2000-2007 se recoge la propuesta de electrificación de toda la red de interés general, de 7.200 km de longitud. Por ello, podríamos decir que las unidades de la serie 598 posiblemente sean los últimos trenes diesel adquiridos por Renfe. Pero como el proceso de electrificación puede alargarse hasta el año 2015 ó 2020, los aficionados tenemos bastante tiempo para disfrutar de estos trenes. Esperemos que en las líneas donde van destinados absorban esa creciente demanda de plazas e incluso que los veamos circulando en doble o triple composición. La vuelta de los viajeros que muchas veces se vieron obligados a viajar en autobús por no tener plaza en el tren sería una gran noticia para nuestro ferrocarril. Esperemos que sea así.

## SERIE 598

Número de unidades	21
Composición	Mc-R-Mc
Acoplamiento máximo	Triple composición (Mc-R-Mc   Mc-R-Mc   Mc-R-Mc)
Matrículas UIC	Coches M1c: 9-598-001-6 a 9-598-021-4 Coches M2c: 9-598-501-5 a 9-598-521-3 Coches R: 7-598-001-6 a 7-598-021-4
Tipo vehículo	UT Diesel hidráulica
Tipo servicio   Unidad de Negocio	Viajeros   Regionales Renfe Operadora
Ancho de vía	1.668 mm
Velocidad máxima comercial	160 km/h
Aceleración media (0-40 km/h)	0,60 m/s <sup>2</sup>
Deceleración máxima	0,96 m/s <sup>2</sup> (freno de servicio y urgencia)
Plazas	188 (187+1 Persona Movilidad Reducida, PMR)

### Dimensiones y pesos

	Coches Motores	Coches Remolques
Longitud	25.425 mm	23.480 mm
Distancia entre pivotes	17.734 mm	18.000 mm
Peso (Tara   PMA)	55 t   66 t	49,4 t   61,6 t
Longitud total	75.930 mm	
Altura máxima caja	4.170 mm	
Anchura máxima caja	2.940 mm	
Altura libre inferior	2.197,5 mm	
Tara composición	151,8 t	
Carga por eje	12,6 t	
Diámetro rueda (nueva   usada)	850 mm   780 mm	
Empate <sup>1</sup> bogies	2.700 mm	

### Equipo de tracción

Número motores de tracción	4 (2 en cada coche Mc)
Modelo	MAN D 2876 LUE 605
Cilindros (número   disposición)	6 en línea   Horizontal
Calibre   Carrera <sup>2</sup>	128 mm   166 mm
Cilindrada <sup>3</sup>	12,81 dm <sup>3</sup>
Potencia <sup>4</sup>	338 kW (460 CV) a 2.000 r.p.m. (8,9 kW/t)
Potencia nominal continua	1.352 kW
Régimen	1.100 - 1.400 min <sup>-1</sup> (r.p.m.)
Par motor máximo   Incremento del par	2.000 Nm   24 %

Consumo mínimo a plena carga

	200 g/kWh
Inyección	Electrónica
Refrigeración	Behr, por agua con bombas hidráulicas
Transmisión	4 (2 en cada coche Mc)
Modelo	Voith Turbo T211 re.3, turbotransmisión oleodinámica
Freno dinámico	Incorporado en la transmisión (KB 190)
Inversor	Incorporado en la transmisión

### Equipo eléctrico auxiliar

Alternadores	2 (en coche R)
Modelo	MAN D 2866 LUE 605
Cilindros (número   disposición)	6 en línea   Horizontal
Calibre   Carrera	128 mm   155 mm
Cilindrada	11,97 dm <sup>3</sup>
Potencia	230 kW a 1.500 r.p.m.
Régimen	1.500 min <sup>-1</sup> (r.p.m.)
Par motor máximo	1.730 Nm
Inyección	Electrónica
Refrigeración	Behr, por agua con bombas hidráulicas
Corriente suministrada	220/380 V ca 50 Hz

<sup>1</sup>**Empate:** distancia entre centros de ejes.

<sup>2</sup>**Calibre** (también denominado alesaje) es la medida del diámetro interior de cada cilindro. Por su parte, **carrera** o movimiento es la distancia que recorre el pistón en el cilindro desde el punto muerto inferior (PMI), que es el más bajo de su recorrido) hasta el punto muerto superior (PMS, que es el más elevado que alcanza). Esa distancia es la altura del cilindro que sirve para calcular la cilindrada. Cuando la carrera es mayor que el calibre se denomina el motor de "carrera larga" (da más par motor, pero dificulta la aceleración y el régimen máximo del motor). <sup>3</sup>**Cilindrada** es el volumen comprendido entre el PMS y el PMI, es decir, el volumen de la parte e del cilindro que comprende la carrera. Si un motor tiene varios cilindros, la cilindrada total de éste será la suma de las cilindradas de todos los cilindros. La cilindrada de un motor se halla mediante la fórmula  $\pi \cdot (\text{calibre}/2)^2 \cdot \text{carrera} \cdot \text{n}^\circ \text{ cilindros}$  y se expresa en litros (dm<sup>3</sup>) o cm<sup>3</sup> (cc). <sup>4</sup>**Potencia neta** según ISO 1585. Potencia nominal según 89/491 CEE o UIC 623-1 VE.

## La evolución de la especie...



Arriba: Prototipo de bogie basculante instalado en Coche Laboratorio. Cortesía CAF.

Arriba derecha: TRD 8906 Salamanca-Madrid. Proximidades de Salamanca, 03/09/2003

Centro: Pruebas de basculación en Beasain (Guipúzcoa). Cortesía CAF.

Abajo: Se parecen como un huevo a una castaña... Cortesía CAF.



A continuación se describe el Sistema Inteligente de Basculación Integral (SIBI) de CAF. Se trata de un resumen de lo que el lector puede encontrar en el artículo publicado en el número 16 de la revista Paso a Nivel. En dicho artículo (10 páginas con 12 fotografías color y 4 gráficos) se hace un breve repaso conceptual (¿este tren pendula o bascula?, ¿qué es eso del tipo de tren y de las limitaciones de velocidad?), se repasa la evolución tecnológica desarrollada por Construcciones y Auxiliar de Ferrocarriles (CAF) hasta conseguir el SIBI y, finalmente, se describe el funcionamiento de este innovador sistema que equipan los trenes basculantes de las series 594.1 y 598.

## Sistema Inteligente de Basculación Integral (SIBI) de CAF

El sistema de basculación SIBI está basado en el conocimiento previo de la posición del tren en la línea que está recorriendo y en la utilización de una ley de basculación optimizada. Algunos de sus principales elementos son:

### Sistema Detector de Posición (SDP) del tren

En el SIBI se memoriza el trazado de la línea por la que circula el tren, por lo que conoce la existencia de las curvas antes de llegar a ellas. El SDP calcula su posición exacta en el trazado que está recorriendo y realiza un ajuste continuo de esa posición calculada, comparándola con los datos memorizados. Para ello emplea una serie de sensores montados tanto en el propio equipo como en el bogie. En los primeros ensayos del sistema (1994), se empleaban balizas pasivas situadas en la vía como dato adicional de seguridad. Actualmente, el SDP utiliza el sistema de localización por satélite GPS (Global Positioning System) para comprobar que la posición calculada es coherente. El GPS es un sensor secundario en el sistema y se emplea básicamente como medida de seguridad. En la tercera generación del SIBI posiblemente se prescindiera de él. Su principal ventaja es que al “conocer” la existencia de una curva, elimina los retrasos en la actuación de la basculación ya que la inclinación de la caja comienza a efectuarse incluso antes de que el tren inicie su recorrido sobre la curva de transición existente entre la recta y la curva circular. Además, conociendo las ca-



Detalle de la cabina de conducción del coche motor 9-598-002-4 en la que se aprecia el SIBI.

características de la curva se pueden aplicar leyes óptimas de basculación (basadas en una aceleración objetivo), lo que se traduce en una mayor comodidad para el viajero. Esto permite que las composiciones dotadas de este sistema puedan circular a velocidades hasta un 20% superiores al tipo A (trenes con máxima aceleración centrífuga no compensada permitida de  $1,00 \text{ m/s}^2$ ) manteniendo las mismas fuerzas laterales en curva. La mayoría de los sistemas de basculación detectan la existencia de una curva mediante acelerómetros transversales y giróscopos instalados en el tren, por lo que la detección de la curva no se produce hasta que el tren ha iniciado ya el recorrido sobre ella. Como consecuencia, este retraso ha de compensarse con un giro de la caja más rápido y brusco. Otra ventaja del sistema de conocimiento previo de las curvas es que el correcto funcionamiento de la basculación no depende de la existencia de defectos puntuales en la vía (en el sistema tradicional los sensores instalados en el tren pueden interpretar un golpe de vía como “atención, curva”,-) ni de curvas de transición muy cortas. Sin embargo, como este sistema de basculación no es autónomo (depende de los datos de vía) es necesario que previamente a su explotación comercial se proceda a registrar y memorizar las características de la vía por la que circulará. El SIBI ofrece una ayuda adicional a la conducción, con información al maquinista de la velocidad máxima en

cada punto del recorrido. Puesto que los nuevos tipos de velocidad C ( $1,50 \text{ m/s}^2$ ) y D ( $1,80 \text{ m/s}^2$ ) no están señalados en vía, el maquinista del TRD basculante no atiende a las señales de limitación permanente de velocidad impuesta por las curvas (anuncio, inicio y fin de velocidad limitada), si no que se ajusta a la velocidad que aparece en una pantalla instalada en el pupitre de mandos. En este visualizador la indicación de tipo de tren se muestra de forma gradual: en primer lugar aparece la indicación de tipo A hasta que el sistema arranque y verifique el correcto funcionamiento de la basculación, momento en el que pasa a tipo B ( $1,20 \text{ m/s}^2$ ) y por último, cuando se comprueba la información de posición calculada, la indicación de tipo D aparece en pantalla. El paso de un tipo a otro va siempre acompañado de la correspondiente señal acústica.

Como podemos ver en la fotografía, el visualizador dispone de un pulsador “Test”, un pulsador “Anulado” y un indicador SDP. El pulsador “Test” realiza una comprobación iluminando todos los elementos del visualizador para poder verificar su estado. Si se mantiene pulsado durante más de un segundo, realiza el cambio de luminosidad de la pantalla de visualización. El pulsador “Anulado” permite eliminar la basculación en cualquier momento, pasando el indicador del tren a tipo A. Por último, el indicador SDP luce verde cuando la comunicación con el Sistema de Detección de la Posición funciona correctamente.

En este visualizador aparece la velocidad correspondiente para el tipo D, que casi siempre será superior a la que indican las tres señales independientes (trenes tipo Normal, tipo A y tipo B) o la señal (cuando la limitación sea la misma para los tres tipos anteriores). Cuando el tren se aproxima a una señal de anuncio de limitación de velocidad (250 metros antes de la misma) y una vez rebasada ésta (50 metros después) en la pantalla se muestra de forma intermitente la velocidad a la que el maquinista deberá circular a partir de la señal de velocidad limitada. Lo mismo ocurre cuando se aproxima a la señal de velocidad limitada, pero en este caso la indicación de la velocidad máxima es fija. En ambos casos se produce una señal acústica. Cuando por alguna circunstancia el tren no identifica la vía por la que circula (fallo de algún dispositivo relacionado con el cálculo de posición o en las cercanías de una bifurcación, donde varios recorridos son posibles), se apaga automáticamente el indicador de tipo D y la indicación de velocidad, suena una señal acústica y se cambia al tipo B, por lo que el maquinista debe circular respetando las señales de limitación de velocidad correspondientes a este tipo hasta que nuevamente el sistema reconozca el trayecto seguido. De igual forma, si el tren circula con la basculación anulada, el maquinista debe circular en tipo A (el correspondiente a la primera subserie de los TRD) obedeciendo las señales de limitación de velocidad impuesta por las curvas.

Para mantener actualizado el sistema, cuando se produzcan modificaciones en el Cuadro de Velocidades Máximas deberán ser introducidas en la memoria del sistema de basculación. Es por ello que las limitaciones de velocidad temporales deben ser respetadas por el maquinista puesto que no hay información en cabina de las mismas. Por otra parte, al paso por desvíos en curva, se establece que un tren tipo D tenga una velocidad limitada a tipo B para evitar una excesiva y rápida degradación de estos aparatos de vía.

### **Actuadores que provocan el giro relativo caja-bogie**

En la actualidad, para conseguir la inclinación forzada de la caja del vehículo, se tiende a equipar los bogies basculantes con actuadores electromecánicos puesto que se estima que

son más sencillos, fiables y con menor mantenimiento que los actuadores hidráulicos. El actuador electromecánico de CAF es de tipo compacto, tiene un servomotor síncrono que mediante un husillo de rodillos convierte la rotación del motor en un desplazamiento lineal que provoca la inclinación de la caja. Los bogies basculantes incorporan una barra de torsión para limitar la inclinación de las cajas al paso por las curvas, evitando así posibles interferencias en el gálibo. La ausencia de elementos hidráulicos supone un ahorro de peso y volumen a la vez que aumenta la fiabilidad y facilita el mantenimiento.

### **Travesía basculante articulada al bastidor del bogie**

La travesía basculante se sitúa entre la suspensión primaria y la secundaria del bogie (por debajo de ésta) y colgada del bastidor del mismo por medio de cuatro bielias que definen la cinemática del movimiento bas-

culante de las cajas. Esta ubicación permite que la suspensión secundaria participe de la basculación y esté sometida a menores esfuerzos laterales, lo cual mejora la comodidad del viajero y permite prescindir de una suspensión lateral activa.

## **Agradecimientos**

A **Javier Goikoetxea** (Responsable del área de basculación, Dpto. de Investigación de CAF), que leyó pacientemente el artículo del SIBI (número 16 de la revista *Paso a Nivel*, mayo de 2005) y me sugirió correcciones y ampliaciones del mismo.

A **Mario Rodríguez Ruiz, Javier Lago Mouriño** y **Raúl Maldonado Cambil** por autorizarme a publicar sus maravillosas fotos.

A **José Luis Alonso Mostaza**, por su "información privilegiada".

A **Marta**, porque sin ser aficionada a los trenes, se lee estos artículos antes que nadie (¡la pobre!)

© JCAM, noviembre de 2005

## **GPS (Global Positioning System)**

Sin entrar en una explicación detallada del GPS, podríamos decir que se trata de un sistema que permite conocer las coordenadas de un punto sobre la Tierra (posición espacial) y el instante preciso de tiempo en que se encuentra. Para realizar el cálculo de posición en tres dimensiones (X,Y,Z) y el ajuste del reloj del receptor de GPS se utilizan, al menos, cuatro señales de radio codificadas (código pseudo aleatorio) emitidas por otros tantos satélites. La constelación operacional de GPS consiste en 24 satélites que orbitan alrededor de la Tierra a una distancia de 20.180 km y se desplazan a una velocidad de 14.500 km/h. Las órbitas son casi circulares y los satélites quedan situados sobre 6 planos orbitales (con un mínimo de 4 satélites cada uno) espaciados equidistantemente a 60 grados e inclinados unos 15 grados respecto al plano ecuatorial. Esta disposición permite que desde cualquier punto de la superficie terrestre sean visibles entre 5 y 8 satélites.

Estos incorporan relojes atómicos de extremada precisión necesarios para calcular de forma precisa la distancia a la que se encuentra el satélite del receptor: recordemos la fórmula  $s = v \cdot t$ , espacio = velocidad (en este caso, la de la luz: 300.000 km/s) por tiempo que tarda en llegar el código pseudo aleatorio desde el emisor (satélite) al receptor de GPS. La razón de que posean relojes tan precisos es que un error de una milésima de segundo provoca un error de localización de 300 km. Los satélites son constantemente monitorizados por las estaciones de control localizadas alrededor del mundo que calculan datos de ajuste de órbita (corrigen los errores producidos por la evolución orbital de los satélites debidos a las influencias gravitacionales y presión de la radiación solar, lo que se denomina "errores de efemérides") y corrigen los relojes de cada satélite. Pero de igual forma que corrigen los errores y "ponen el reloj en hora" de todos los satélites, estas estaciones de control (gestionadas por el Departamento de Defensa de EEUU) pueden (y de hecho lo hacen) introducir deliberadamente "errores intencionados" para que el GPS no sea exacto. Dicha política de defensa se denomina "Disponibilidad Selectiva" y pretende asegurar que ninguna fuerza hostil o grupo terrorista pueda utilizar el GPS para fabricar armas certeras. Para lograr esta "Disponibilidad Selectiva" el Departamento de Defensa introduce cierto "ruido" en los datos del reloj satelital, lo que se traduce en errores en los cálculos de posición. También puede enviar datos orbitales ligeramente erróneos a los satélites que estos reenvían a los receptores de GPS como parte de la señal que emiten. Evidentemente, los receptores de uso militar utilizan una clave encriptada para eliminar la Disponibilidad Selectiva. Comentar, como dato curioso, que durante el último conflicto en Oriente Medio y puesto que los norteamericanos precisaban disponibilidad total del GPS para cumplir sus objetivos militares (¡había tantas armas de destrucción masiva que neutralizar!), varias veces los TRD circularon con el Tipo 160B al no estar disponible el GPS "civil".

Estos problemas se solucionarán en un futuro cuando esté operativo el Proyecto Galileo. Se trata de una iniciativa europea promovida conjuntamente por la Comisión Europea y por la Agencia Europea del Espacio que pretende desarrollar un Sistema Global de Navegación por Satélite de titularidad civil que proporcione a Europa independencia respecto a los sistemas actuales (GPS norteamericana y Glonass rusa). Está diseñado con fines civiles y con el propósito de ser compatible e interoperable con los sistemas actuales. La componente espacial de Galileo está formada por 30 satélites repartidos en tres planos orbitales de 23.600 km de altura y 55 grados de inclinación.