

# El Pantógrafo, ese gran desconocido

En los ensayos que se realizan para la elevación de la velocidad, se han probado diversos tipos de pantógrafos (ver TRENES HOY números 3 y 4) por ser un elemento decisivo a considerar en esta materia. Sin embargo, el pantógrafo apenas ha sido tratado en la literatura ferroviaria. De él se sabe que va encima de la locomotora, que a veces engancha en la catenaria, y poco más. Ignacio Campo ha elaborado un informe en el que se recoge brevemente la historia y evolución del pantógrafo, así como su descripción (basada en buena parte en el libro «Bases de Material Motor» editado por la Jefatura de Formación de la Red), su funcionamiento y perspectivas futuras.

Ignacio Campo

**La captación de energía en marcha distingue al tren de otros modos de transporte y evita tener que almacenar energía en el vehículo.**

El nivel de desarrollo alcanzado por la tracción eléctrica en el ferrocarril actual está íntimamente ligado y es consecuencia de un fenómeno propio de este tipo de energía: la posibilidad de ser transportada por medio de elementos conductores, pudiendo ser captada por simple contacto entre cuerpos asimismo conductores.

Si la energía eléctrica no poseyera esta particularidad, difícilmente podría haber llegado la tracción eléctrica al lugar preponderante que ocupa hoy en día, ya que en lugar de locomotoras que alimentan sus motores con energía producida en lugares alejados, los vehículos tractores habrían tenido que ser capaces de almacenar la energía, o bien, producirla ellos mismos.

Los elementos fundamentales que posibilitan este fenómeno en el ferrocarril son, en el momento actual, la catenaria, que transporta la energía eléctrica procedente de las subestaciones y el pantógrafo, que la capta para transmitirla a los motores de tracción de la locomotora, que de este modo, puede encontrarse alejada varios kilómetros del lugar en que se produce la energía eléctrica.

Ambos elementos, catenaria y pantógrafo, proceden y son evolución de los dispositivos utilizados para esos comeditos, transporte y captación de la energía eléctrica, en los primeros tiempos de aplicación de la tracción eléctrica al ferrocarril, de biendo considerarse como antecesores de ambos el hilo de trabajo (conductor aéreo de un solo hilo) y el

des que representa para elevadas velocidades y altas tensiones, se encuentra limitado en la actualidad a algunos ferrocarriles metropolitanos (como el de Barcelona) y determinadas líneas secundarias; sin embargo, los ferrocarriles británicos (BR) disponen de una considerable longitud de líneas electrificadas con este sistema.

Ciñéndonos al modo de captación de la corriente eléctrica transportada por conductores aéreos, el sistema más simple y primitivo consiste en el denominado «trolley», o trole, formado por una pértiga sujeta en un extremo al techo del vehículo motor, estando dotado el opuesto de un rodillo acanalado, sostenido por un eje horizontal que descansa a su vez sobre uno vertical, de tal modo que el rodillo puede tomar cualquier dirección respecto al eje del vehículo.

## Troles y líras

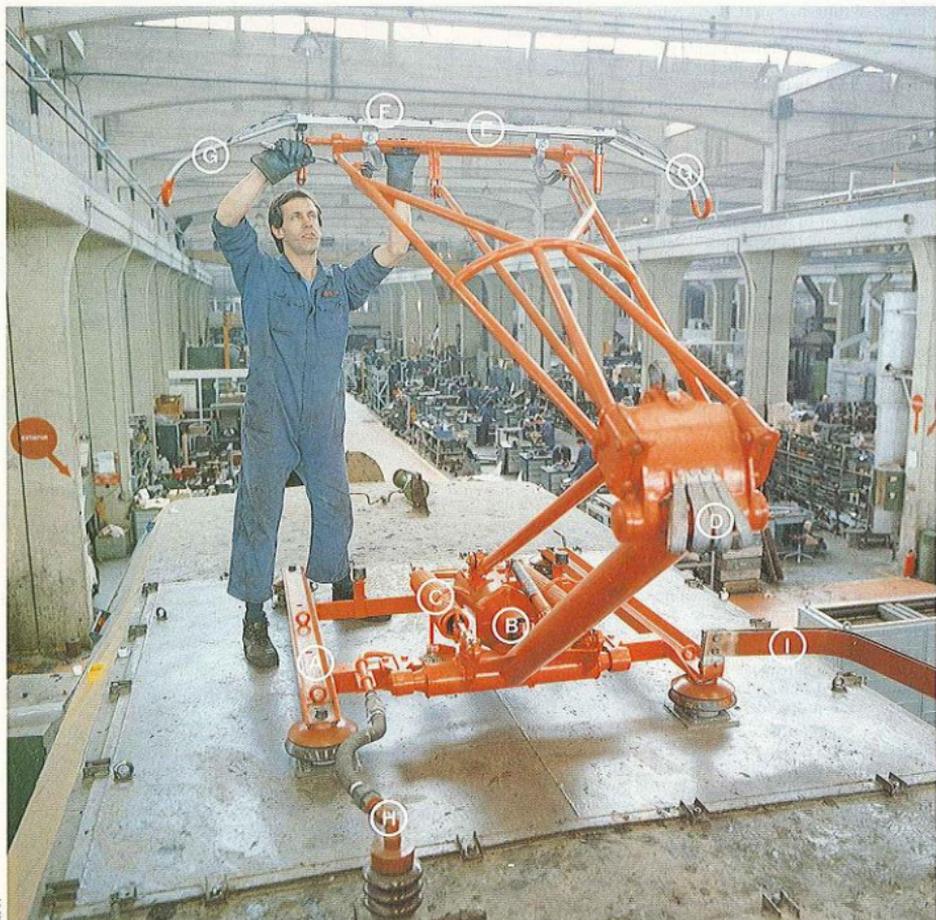
Los inconvenientes de este sistema, posibilidad de descarrilamiento del rodillo, necesidad de modificar la posición de la pértiga al invertir la marcha del vehículo motor y reducida velocidad, hicieron que se abandonase en los ferrocarriles, quedando reducida su utilización al ámbito de los tranvías urbanos. No obstante, fue utilizado por algunas compañías norteamericanas tanto en corriente trifásica (Great Northern Railway, túnel de Cascade, 1909, con dos pares de pértigas, separadas 1,52 m las que constitúan una pareja, la misma distancia existente entre los dos hilos



Detalle del mecanismo de elevación.

«trolley», o pértiga con uno o dos rodillos o poleas en el extremo en contacto con la línea aérea.

Mención aparte merecería el sistema de conducción por tercer carril, en que la corriente eléctrica se transporta por medio de un conductor constituido por perfiles de acero o de aluminio y acero laminado colocados próximos al suelo y sobre apoyos aislantes; la captación de la energía se realiza por medio de frotaadores. Este sistema, por las dificulta-



Descripción de las diversas partes de un pantógrafo semiorrboidal el operario sujeta la mesilla: **A** Bastidor, **B** mecanismo de elevación, **C** muelles antagonistas, **D** trencillas, **E** zapata, **F** frotadores, **G** Irocadores, **H** entrada de aire comprimido para elevación, **I** conexión eléctrica a la locomotora.

conductores, asegurándose la tercera fase por los carriles), como en continua (Washington-Baltimore) con ramas articuladas que alcanzaban velocidades de 110 km/h.

Un sistema más evolucionado de captación de energía eléctrica lo constituyeron los arcos y las liras, que superaban los problemas planteados por los «trolley», ya que el contacto con el conductor aéreo se realizaba por medio de una pieza horizontal, no existiendo la posibilidad de descarrilamiento que implicaba la utilización de poleas en las pértigas de los «trolley».

En su forma más sencilla, una lira es-

taba constituida por un eje de giro horizontal, transversal a la caja del vehículo, sostenido por dos cojinetes, y en el que se colocaban las piezas tubulares que constituían la lira propiamente dicha, así como los elementos que conservaban la tensión del muelle que permitía la elevación, y los que limitaban la inclinación de la lira.

Una evolución de este sistema constituyeron los cuadros tubulares articulados, que podían sostener uno o dos arcos frotadores que captaban la corriente; en el caso de corriente alterna trifásica se empleaba este sistema con los dos arcos independientes y ubicados longi-

tudinalmente sobre el mismo cuadro tubular, disposición utilizada en el caso de las locomotoras de la Compañía de los Caminos de Hierro del Sur de España.

Como viarante peculiar del sistema de arco podemos mencionar la utilización de tres arcos horizontales independientes en los automotores que alcanzaron velocidades máximas de 210 km/h en los ensayos de Marienfeld-Zossen (Alemania) en 1903, en corriente alterna trifásica, con los tres hilos conductores en un mismo plano vertical. Un sistema más rudimentario fue el empleado en las pruebas de la primera locomotora europea en corriente alterna monofásica



(Seebach-Wttingen, Suiza, 1905), captando las locomotoras la energía del hilo conductor por medio de una simple pértiga de corta longitud, arqueada en su extremo y colocada transversalmente al eje del vehículo motor.

### Nace el pantógrafo

Como evolución de los arcos y liras surgieron los pantógrafos, constituidos por dobles cuadros tubulares articulados y unidos en su parte superior a los elementos frotadores perpendiculares a la línea aérea, y que en el caso de locomotoras trifásicas eran dos, independientes y ubicadas transversalmente al eje longitudinal del vehículo tractor.

Como caso peculiar del pantógrafo merece destacarse el utilizado entre 1895 y 1904 por el primer ferrocarril eléctrico, Baltimore & Ohio, consistente en una estructura romboidal, paralela al eje longitudinal de la locomotora, y articulada en sus vértices con un frotador, así mismo longitudinalmente a dicho eje y que deslizaba por el interior de la ranura determinada por el conductor aéreo, constituido por dos perfiles en «Z», con un peso de 45 kg/m.

Las ventajas del pantógrafo sobre los otros sistemas citados radican básicamente en su capacidad de mantener una presión de contacto prácticamente constante entre el hilo conductor y los frotadores, a pesar de las variaciones de altura de la línea aérea, las influencias aerodinámicas debidas a la velocidad y a la oscilación propia del pantógrafo.

**Un pantógrafo unificado  
de Renfe mide desplegado  
más de 2.5 metros y  
pesa 200 kilos.**

En los pantógrafos actuales, pueden distinguirse cuatro partes fundamentales: el bastidor, el sistema articulado, el mecanismo de elevación y las mesillas.

El bastidor es un elemento fijo, situado sobre el techo del vehículo motor y que sirve de soporte al sistema articulado y al mecanismo de elevación; está constituido por cuatro largueros, dos longitudinales, que apoyan sobre cuatro aisladores, y dos transversales soldados a los anteriores.

El sistema articulado está formado por una estructura tubular articulada, que en sentido longitudinal a la locomotora puede adoptar la forma romboidal o semirromboidal (pantógrafos de un brazo).

El mecanismo de elevación está constituido por el conjunto de elementos que al actuar sobre el sistema articulado



Disposición del pantógrafo romboidal utilizado en una de las primeras series de locomotoras eléctricas de la Compañía del Norte.



En las locomotoras de la serie 276 se empleaba inicialmente el pantógrafo del tipo romboidal que ha sido abandonado en casi todas ellas en beneficio del semirromboidal.

producen el descenso o elevación de las mesillas: un cilindro, dotado de émbolos de desplazamiento horizontal; muelles antagónicos a la acción de los émbolos; los resortes de elevación; y una válvula electroneumática.

Por último, las mesillas, situadas en la parte superior del sistema articulado, son los elementos de captación de la energía eléctrica transportada por la línea aérea; los pantógrafos pueden constar de una o dos mesillas, y en este último caso, ambas se encuentran unidas por medio de un balancín de tal modo

que ambas ejerzan la misma presión sobre el hilo de contacto. Cada una de las mesillas consta de: zapata, frotadores y trocadores; la zapata es una pieza de acero en la que se alojan los frotadores y sirve de soporte a los trocadores, los elementos de contacto con la línea aérea son los frotadores; compuestos por dos pletinas de cobre, más blando que el que constituye el hilo de trabajo, de manera que sean éstas las que sufran el desgaste por ser de mayor facilidad de reposición que la línea aérea; los trocadores son piezas curvas de aluminio situa-



Pantógrafo semirromboidal en las locomotoras eléctricas de la serie 269.



En las locomotoras de la primera electrificación en vía de ancho español, realizada en corriente trifásica, la captación de energía se realizaba mediante arcos con dos portadores independientes, uno por fase.

das en los extremos de la zapata y cuyo objeto es impedir que el hilo de contacto pase por debajo de la zapata, evitando los denominados «enganchones».

La elevación del pantógrafo se consigue haciendo pasar al cilindro de elevación aire comprimido mediante accionamiento de la válvula electropneumática, con lo que el aire a presión vence la resistencia de los muelles antagonísticos; desexcitando la electroválvula se evacua el aire a presión, con lo que los muelles antagonísticos actúan sobre los émbolos, produciéndose la bajada del pantógrafo-

fo. Así pues, los muelles antagonísticos mantienen el pantógrafo en una posición tal que éste no entra en contacto con la línea aérea; es necesaria la actuación de la válvula electropneumática para su elevación, evitándose de este modo posibles accidentes. Debe destacarse sin embargo que este sistema de funcionamiento es totalmente  $O_2$  -reosto al utilizado en un principio en las locomotoras eléctricas, así pues, entre otras, en las de la serie 6100 de la Compañía del Norte, los pantógrafos se elevaban por

#### Características del pantógrafo unificado de Renfe

UTILIZACIÓN	U.T. series: 440, 445 Electro- tramos series: 432, 444	Locom. series: 269-200 269-500 269-600 269-200 (222 a 331)	Locom. series: 269-000 269-500 269-600 269-200 (261 a 221)
TIPO DE PANTÓGRAFO	AM-32 AV-UM	AM-32 AV-24	AM-32 AV-289 AV-M
TENSION DE CATENARIA:		3.000 V. c.c.	
- Nominal		3.000 V. c.c.	
- Mínima		2.000 V. c.c.	
INTENSIDAD DE CAPTACION EN AMPERIOS:			
- En el arranque	1.900	3.030	1.900
- Permanente	1.550	2.450	1.550
VELOCIDAD MÁXIMA DE CAPTACION	160 km/hora		
ALTURAS DE FUNCIONAMIENTO DEL PANTÓGRAFO SOBRE EL NIVEL SUPERIOR DEL AISLADOR:			
- Altura plegado	371 mm.	330 mm.	360 mm.
- Altura mínima del trabajo		470 mm.	
- Máxima altura del trabajo		2.750 mm.	
- Desarrollo máximo		2.850 mm.	
- Altura del aislador sobre el techo del vehículo motor		134 mm.	
PALETA DE CONTACTO (FROTADOR)			
- Longitud total	1.950 mm.		
- Parte recta	1.100 mm.		
LONGITUD BANDAS DE CONTACTO (mm.)			
- Exteriores	1.020	1.020	1.020
- Interiores	-	918	-
- Intermedias	1.980	1.980	1.980
TIPO DE MANDO	PNEUMÁTICO		
- Presión máxima	10 kg/cm <sup>2</sup>		
- Presión mínima	5 kg/cm <sup>2</sup>		
- Consumo aproximado	2,6 litros aire/maniobra		
ESFUERZO ESTÁTICO SOBRE EL HILO DE CONTACTO	9 kg		



## Del griego, «escribirlo todo»

- El término «pantógrafo» viene del griego «panto» = todo, y «grafo» = escribir, dibujar o trazar líneas. En su primera acepción «pantógrafo» es un aparato que por un sistema de paralelas sirve para copiar un dibujo aumentando su tamaño. Suponemos que la aplicación del vocablo al instrumento por el que las máquinas eléctricas reciben corriente eléctrica de la catenaria es por su forma parecida al instrumento de dibujo citado.
- La masa de un pantógrafo ferroviario del tipo unipaleta está en torno a los 200 kilos y sus dimensiones oscilan entre los 50 centímetros, cuando está plegado, y los 2,60 metros en el punto de máximo despliegue. A simple vista su tamaño parece menor, pero en realidad desplegado supera ampliamente la altura de un hombre. La altura de la catenaria sobre el carril oscila entre 4,60 m (túneles) y 6 m (pasos a nivel).
- El coste de un pantógrafo de RENFE es del orden de 600.000 pesetas.
- Normalmente, cada vehículo motor lleva 2 pantógrafos, de los cuales se utiliza habitualmente el posterior en el sentido de la marcha. Si va en doble tracción, se utilizan los dos más separados, es decir el primero



El pantógrafo desplegado supera ampliamente la altura de un hombre.

de la máquina de cabeza y el segundo de la situada a continuación. Esta disposición pretende en todos los casos reducir los daños al pantógrafo en casos de enganchón.

**Con excepción de algunos  
Metropolitanos  
(como el de Barcelona) y  
determinadas líneas de los BR,  
la captación por tercer carril  
ha sido abandonada.**

medio de la acción de muelles, siendo necesario inyectar aire comprimido para su descenso; el enclavamiento en la posición plegada se conseguía mediante un simple gatillo, con el grave inconveniente de que en caso de estar efectuando alguna reparación en la locomotora pudiera soltarse el mencionado gatillo, elevándose el pantógrafo por acción de los muelles, y entrando en contacto con la línea aérea con grave riesgo para la integridad física del personal.

### Doble escalón

El tipo de pantógrafo romboidal o semirromboidal descrito anteriormente puede utilizarse hasta velocidades del orden de los 200 km/h, por encima de los cuales aparecen una serie de fenómenos ligados fundamentalmente al incremento del movimiento vibratorio vertical que sufre la línea aérea de contacto por la acción del pantógrafo; para los tipos de línea de contacto utilizados en la actualidad, la onda de esta vibración avanza a una velocidad próxima a los 380 km/h. Si la velocidad del pantógrafo, y por lo tanto la de avance del tren, se aproxima al valor citado el hilo de contacto se comporta como un sólido rígido produciéndose en primer lugar la resonancia y a continuación un efecto similar al del choque entre dos cuerpos: pantógrafo y catenaria. Para velocidades comprendidas entre los 200 y 280 km/h, que son las máximas que hoy día se alcanzan en explotación comercial, se utilizan principalmente pan-

tógrafos que podríamos denominar de doble escalón, colocando un pequeño pantógrafo sobre uno de tamaño normal; el primero, evidentemente dotado de mesillas, constituye la suspensión primaria y el segundo, la suspensión secundaria; de esta manera se absorben las desnivelaciones de la catenaria evitando pérdidas de contacto provenientes de esa altura variable. En el caso de los trenes TGV, se utiliza un pantógrafo de dos escalones, ambos semirromboidales, habiéndose ensayado en el período 1970-78 la captación con un pantógrafo formado por uno romboidal en el primer escalón y otro semirromboidal, de tamaño reducido, constituyendo el segundo escalón de la suspensión.

En el caso de los trenes basculantes, la problemática que plantea la captación de energía eléctrica es doble, por un lado la propia de las elevadas velocidades, que ya se ha descrito anteriormente, y por otra parte, la necesidad de mantener el pantógrafo paralelo a la vía, es decir, sin verse afectado por la inclinación forzada de las cajas; este último objetivo se consigue por medio de un mecanismo interior, verdadera estructura tubular, que une al pantógrafo con los bogies. Este dispositivo «antibasculación», es el empleado por el electrotrén basculante italiano ETR 401 («Pendolino») y el de RENFE (serie 443), así como por el A.T.P. británico, cuyo pantógrafo de doble escalón de suspensión está formado por uno semirromboidal que soporta otro romboidal de menor tamaño. ■

Pantógrafo tipo «Faively», ensayado en el «Electrotrén Basculante».

