

o sea

$$z(\varphi) = -\frac{z'}{3}(\varphi')$$

Resulta, por tanto, recordando que $z = L\omega$,

$$\varphi = 90^\circ, z' = \frac{1}{C\omega} \text{ y } \varphi' = -90^\circ,$$

$$\begin{cases} \frac{1}{3C\omega} = L\omega \\ \varphi' = -(180 - 90^\circ) = -90^\circ \end{cases} \quad [45]$$

La autoinducción de la bobina Petersen que produce la resonancia, viene determinada por la conocida igualdad

$$L = \frac{1}{3C\omega^2}$$

Si esta igualdad no se verifica exactamente, existirá una corriente residuaria en la tierra fortuita del hilo 3, cuyo valor será, con las hipótesis simplificadoras últimamente hechas

$$I_3 = \frac{e_3}{z(\varphi)} + \frac{3e_3}{z'(\varphi')} = \frac{1}{L\omega} (-90^\circ)e_3 + 3C\omega(90^\circ)e_3$$

es decir,

$$I_3 = \left(\frac{1}{L\omega} - 3C\omega \right) (-90^\circ)e_3$$

El valor absoluto de esta corriente resulta ser

$$I_3 = \left(\frac{1}{L\omega} - 3C\omega \right) e_3$$

Pedro José LUCIA
Ingeniero de Caminos.

Electrificación de la rampa de Pajares ⁽¹⁾

por

Ricardo F. Hontoria y José María G. Lomas,

Ingenieros de Caminos

VIII

LOCOMOTORAS

Teniendo en cuenta la naturaleza del tráfico de la rampa de Pajares, en el que las mercancías constituyen un factor predominante y el servicio de viajeros posee una importancia relativamente pequeña, y ya que, por otra parte, no es posible dotar a este último de velocidades elevadas por la perturbación que introducirían los trenes rápidos en el servicio de mercancías previsto y por lo accidentado de la planta y perfil del trazado, se ha hecho adopción, como ya dijimos anteriormente (núm. 2386 de la REVISTA) de un tipo único de locomotora, tanto para viajeros como para mercancías. Esta locomotora está constituida por dos bogies o carretones de tres ejes motores cada uno, tipo de máquina cuya notación es $C + C$, según la moderna nomenclatura; limitada la máxima velocidad asequible a 60 km por hora, no se ha creído necesaria la colocación de eje Bissel o guiador alguno, con lo que resulta adherente todo el peso de la locomotora y mejoran sus condiciones de arrastre.

La elección de esta locomotora tipo $C + C$ en lugar de la de cuatro ejes motores o tipo $B + B$, cuya sencillez es tan preconizada por la mayoría de las casas constructoras de material de tracción eléctrica, obedece a que por la Compañía del Norte se fijó como límite máximo de adherencia el coeficiente $\frac{1}{7}$ y a la imposibilidad de exceder de una carga por eje de 13,5 toneladas, limitación esta última impuesta por

la resistencia de los puentes metálicos existentes en el trayecto electrificado; el acierto de esta elección ha sido confirmado por la experiencia, pues en condiciones climatológicas frecuentes en el puerto se han observado coeficientes de adherencia aun más bajos que el citado, haciéndose preciso acudir al aumento artificial de aquella mediante el empleo de arena. Doce es el número de locomotoras necesarias para efectuar el servicio correspondiente a la primera parte (por hoy ampliamente suficiente) del programa de la electrificación, que consiste, como ya hemos dicho, en remolcar 6.600 toneladas brutas diarias en veinte circulaciones ascendentes de 330 toneladas.

Por virtud de disposición oficial, y de acuerdo con las leyes de protección a la industria nacional, se dividió el suministro de estas doce locomotoras en dos partes iguales, adjudicándose la construcción de seis locomotoras a la General Electric Co. de Schenectady (F. U. A.), representada por la Sociedad Ibérica de Construcciones Eléctricas, y encargando las otras seis a la Sociedad Española de Construcción Naval, que ha construido en sus talleres de Sestao toda la parte mecánica de la misma y montado los equipos eléctricos procedentes de la Westinghouse Mfg. Co.

Aunque las condiciones fundamentales de ambos tipos de locomotoras son idénticas, ya que al mismo servicio se destinan, las describiremos por separado, pues presentan disposiciones esencialmente diferentes, sobre todo en cuanto a los equipos eléctricos se refiere.

Locomotoras de la General Electric Co.

Características generales.—Son estas locomotoras de fabricación enteramente americana, procediendo

(1) Véanse los números 2385, 2386, 2387, 2392, 2395, 2402 y 2408 de la REVISTA, páginas 88, 103, 127, 216 y 273 del tomo I de 1923, y 110 y 241 del tomo I de 1924.

la parte mecánica de la American Locomotive Co. y los equipos eléctricos de la General Electric, en cuyos talleres han sido montadas.

Las dimensiones y pesos de sus principales elementos son:

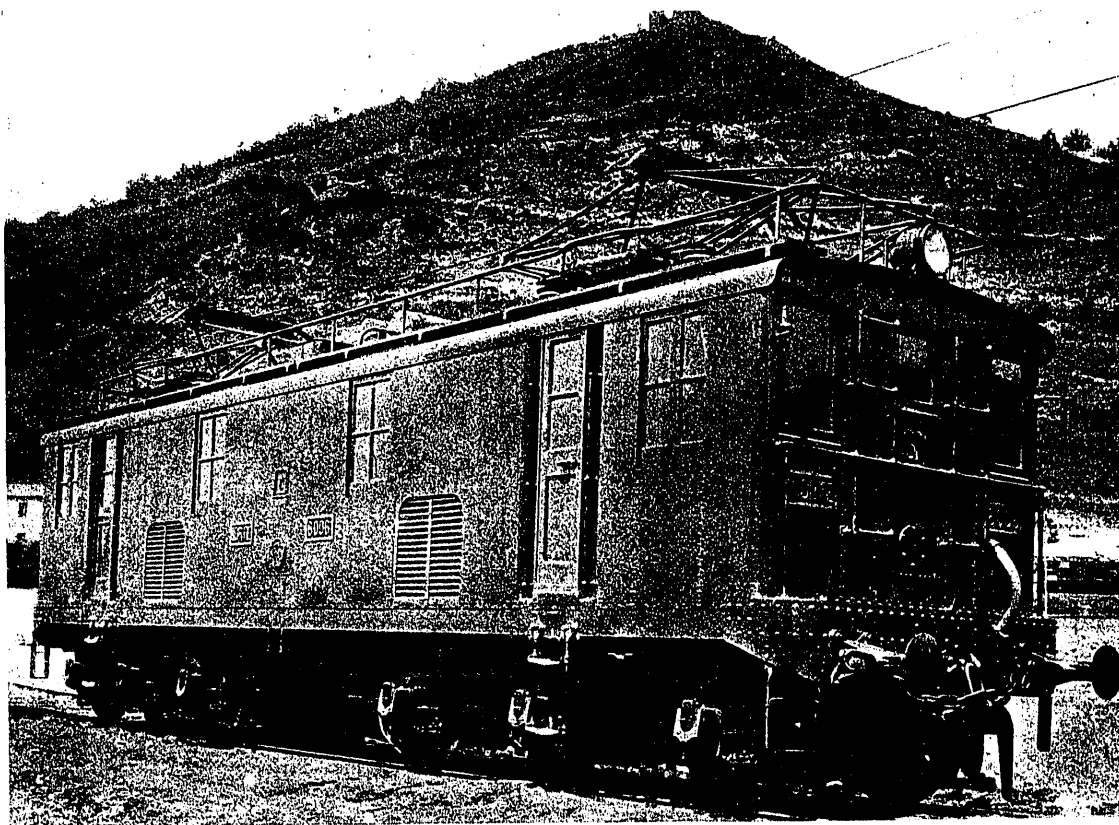
Longitud total entre topes	14,020	m
Longitud total de la cabina	12,190	»
Altura del techo sobre el carril	3,513	»
Anchura de la caja	2,960	»
Base rígida	3,505	»
Distancia mínima entre ejes de un bogie	1,752	»
Diámetro de las ruedas	1,000	»
Relación de engranajes	72/18 = 4	
Radio mínimo de curva en que puede inscribirse la locomotora	70	»
Peso del equipo eléctrico	35	t
Peso de la parte mecánica	45	»
Peso total y adherente en servicio	80	»
Peso por eje	13,33	»

La locomotora va provista de seis motores suspendidos por la nariz, que accionan independientemente cada uno de los ejes por medio de un engranaje sen-

sin embargo, preciso prever el caso en que por patinajes u otras causas accidentales pueda quedar un motor sometido a la tensión de línea.

El esfuerzo de tracción unihorario en la llanta es de 12 600 kg, a una velocidad de 34,7 km por hora, y el continuo 12 120 kg a 35 km por hora, a cuya velocidad la locomotora arrastra un tren de 330 toneladas sobre la rampa de 20 milésimas. Las intensidades absorbidas en estos dos regímenes son de 440 y 430 amperios, respectivamente, lo que corresponde a 220 y 215 amperios por motor, puesto que estos esfuerzos se desarrollan en la posición serie-paralelo, es decir, con los grupos en paralelo, compuesto cada uno de tres motores (los de cada *bogie*) en serie.

Por último, el esfuerzo máximo que puede desarrollar la locomotora en la posición serie (los seis motores en serie) durante ocho minutos, corresponde al 30 por 100 del peso adherente, o sea 24 300 kg en las llantas, siendo entonces de 358 amperios la intensidad absorbida; todos estos datos se refieren a una tensión de 3 000 voltios en la línea de trabajo.



Locomotora eléctrica, tipo C + C, 1 620 CV, de la «General Electric Co.»

cillo de piñón y rueda dentada. Su potencia continua, trabajando los motores con ventilación forzada y con un aumento de temperatura de 120° C en los devanados, medido por el incremento de su resistencia eléctrica, es de 1 580 CV; la potencia unihoraria, medida sin ventilación y con termómetro para un aumento de 75° C sobre la temperatura ambiente es de $6 \times 270 = 1 620$ CV, cifra que se aproxima mucho a la anterior, merced a la potente ventilación de los motores en funcionamiento normal.

El aislamiento de éstos es para 3 000 voltios, aun cuando la máxima tensión de trabajo no pasa de 1 000 voltios, puesto que los tres motores de cada *bogie* están permanentemente conectados en serie; es,

Según acabamos de indicar, dos son los acoplamientos distintos de motores que poseen estas locomotoras, serie y serie-paralelo; el arranque, así como el paso de uno a otro acoplamiento, se hace mediante resistencias intercaladas en el circuito de los motores y que poco a poco se van eliminando. En el sector del regulador principal, el número de muescas de arranque es 14 para el acoplamiento serie y 10 para el serie-paralelo, correspondiendo los puntos 14 y 24 a las dos marchas económicas (o sea sin intercalación de resistencias) de la locomotora. Para conseguir otros dos regímenes de marcha, tanto en una como en otra posición de los motores, van los campos de éstos provistos de dos puntos de shuntado que redu-

cen su intensidad en un 60 por 100 y 80 por 100, respectivamente, aumentando la velocidad de los motores y consiguiéndose realizar, por tanto, una escala de seis velocidades, ampliamente suficiente para cubrir las necesidades de la práctica.

En la figura 27 se representan las curvas características de un motor de la locomotora que nos ocupa,

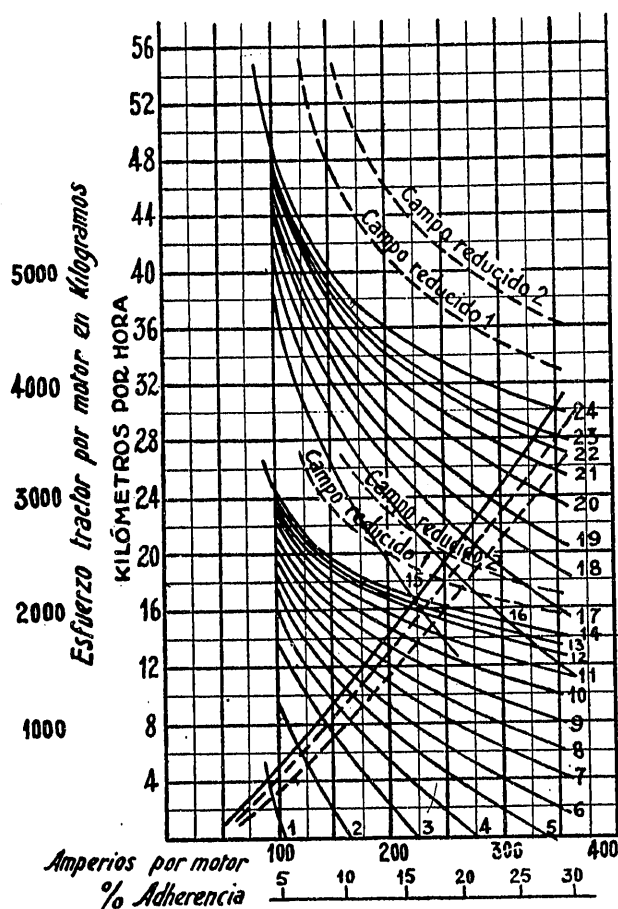


Fig. 27

para la marcha en tracción a pleno campo y con los dos shuntados del mismo.

Una característica interesante de esta locomotora reside en el empleo del frenado eléctrico por recuperación de energía en las pendientes; cinco de los motores trabajan entonces como dinamos conectados en serie sobre la línea, y el sexto funciona como excitatriz de los campos de aquéllos y del propio.

Este sistema de frenado, que permite regular la marcha del tren entre las velocidades de 20 y 50 km por hora, es en extremo sencillo y ha dado en Pajares resultados sumamente satisfactorios; además de un apreciable ahorro en el consumo total de energía, se evitan los desgastes de zapatas y carriles y se consigue una marcha estable a una velocidad fija y regulable.

En la figura 28 se consignan las curvas características de la locomotora funcionando con recuperación con 3 000 voltios en la línea de contacto; las curvas AC representan la intensidad de los campos (en amperios) y las AI la intensidad en las armaduras de los motores, deduciéndose el esfuerzo total de frenado en kilogramos en función de las velocidades correspondientes en kilómetros-hora por medio de las curvas numeradas, cuyos números corresponden a

las muescas (posición serie) del regulador principal.

La locomotora va también provista de freno por el vacío tipo Clayton y de freno a mano.

El tipo de control empleado es el electro-neumático sin dispositivo para accionamiento en unidades múltiples, ya que las dobles tracciones se han de dar por cola, llegado el caso.

El suministro de energía para el control y los servicios auxiliares de la locomotora (compresores, bombas de vacío, alumbrado, etc.) se hace por medio de un grupo motor-generator que toma la corriente directamente a los 3 000 voltios de la línea de contacto y la genera a 65 voltios; sobre el árbol de este grupo va montado el ventilador que enfría los motores de tracción, a los que se dirige el aire por medio de un conducto de chapa que corre a lo largo de la parte central del bastidor, provisto de enchufes telescópicos.

El voltaje en el circuito de control se mantiene constante independientemente del de la línea de contacto mediante un regulador de fuerza contraelectromotriz, en la forma que más adelante describiremos.

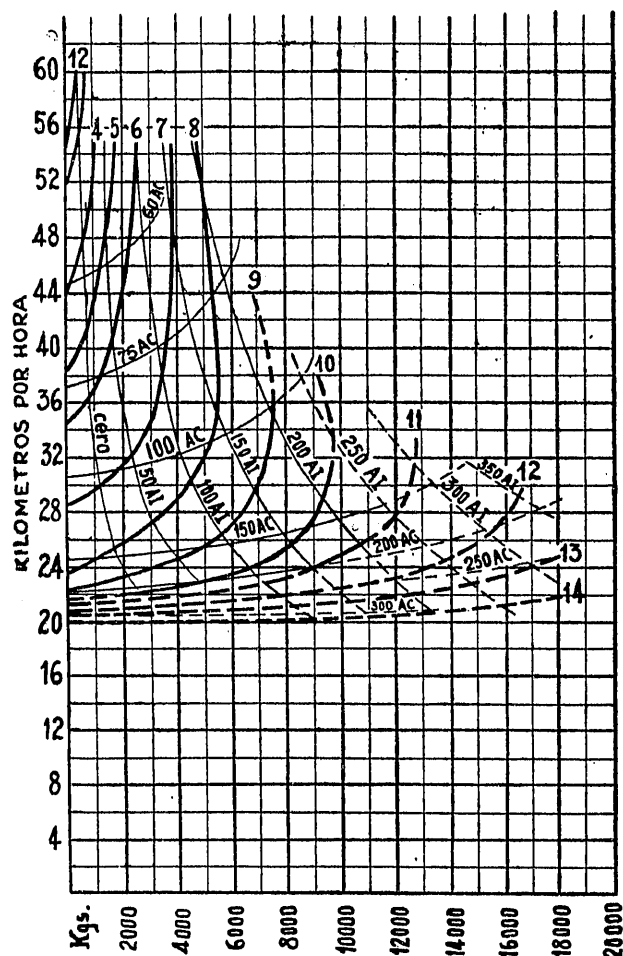


Fig. 28

La captación de la corriente de la línea de trabajo se hace por medio de dos pantógrafos operados automáticamente y de los que, dadas las intensidades absorbidas por la locomotora en régimen normal, es suficiente que uno solo vaya elevado.

Los areneros y silbatos se maniobran también por aire comprimido, llevando, además, aquéllos accionamiento a mano.

Indicadas en términos generales las características de esta locomotora, detallaremos en lo que sigue las disposiciones más interesantes de la misma.

Parte mecánica

Los *bogies* de la locomotora están formados por dos largueros de chapa de acero recortada de 32 mm de espesor, unidos entre sí por cuatro traviesas, de las cuales, la que corresponde al extremo exterior de cada carretón es de perfiles laminados, y las otras tres son de acero moldeado y sirven de apoyo a las «narices» de los motores de tracción que mueven los tres ejes del bogie; además, la segunda parte del extremo exterior de éste recibe el pivote de apoyo de la caja y posee unas piezas que limitan el movimiento transversal de la misma.

El peso suspendido de la locomotora se transmite a las manguetas de los ejes por intermedio de cuatro muelles de ballesta en cada carretón; los dos resortes de cada lado se apoyan en la caja de grasa central y los puntos de aplicación de las cargas sobre aquéllos son disimétricos, estando a un tercio de la longitud de la ballesta hacia el eje extremo, con lo que se consigue que cada eje soporte el mismo peso.

El bastidor de la caja descansa sobre los bogies por medio de los pivotes ya citados, y está constituido por cuatro largueros en $\square$ arriostrados por traviesas de acero perfilado, sirviendo, como antes dijimos, para la transmisión de los esfuerzos de tracción, ya que los *bogies* carecen de órgano de unión; los aparatos de tracción y choque del tipo usual de la Compañía del Norte van montados en los testeros del bastidor.

La cabina de la locomotora ocupa toda la extensión de ésta y es de forma paralelepípedica, estando dividida en tres partes: la central, destinada a albergar el equipo eléctrico y elementos auxiliares de la locomotora, y dos departamentos de maniobra situados uno en cada extremo, cuyas dimensiones son 2,96 m de anchura por 1,50 m de longitud. Ambos departamentos comunican entre sí por medio de dos pasillos laterales que corren a todo lo largo de la caja y sirven, además, para visitar con gran facilidad el equipo eléctrico, incluso en marcha; cada pasillo posee dos puertas de acceso desde el exterior y otras dos a la cabina de maniobras, que pueden de este modo aislarse, y van, además, provistas de dos ventanas y dos huecos cerrados con persianas que sirven para la ventilación de los aparatos instalados en el departamento central.

Las cabinas de maniobra poseen tres ventanas en el frente y una corredera a cada lado, de manera que tanto el maquinista como su ayudante pueden observar perfectamente la vía y la explanación; ambos pueden ir normalmente sentados en asientos móviles o *strapontins*.

Equipo eléctrico

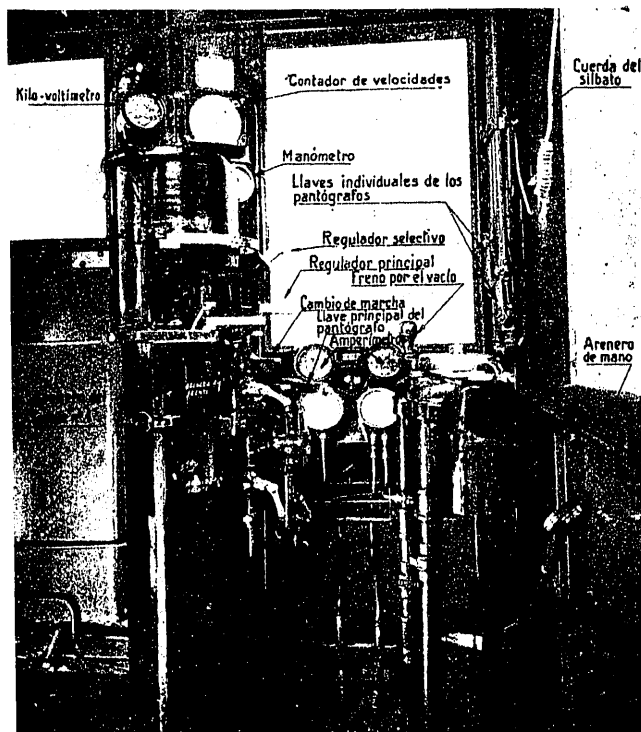
Los motores de tracción, del tipo G. E. 255 B. 1 000/3 000 voltios, tienen una potencia unitaria de 270 CV y su peso unitario con piñón, caja de engranajes y casquillos para el eje, es de 3 200 kg.

Poseen cuatro polos principales y cuatro de conmutación, estando contruidos para funcionar con ventilación forzada, para lo cual van provistos de una entrada de aire por el lado del piñón; procedente

de aquél del ventilador, llega por el conducto antes mencionado y pasa por el entre-hierro, enfriando el inducido, penetra luego por el interior del colector y atravesando después la armadura en sentido contrario, merced a unos canales longitudinales, sale al exterior por una rejilla colocada junto al piñón.

Las bobinas del inducido e inductores están cuidadosamente aisladas entre sí y de tierra con mica y asbesto, habiéndose, además, sometido aquéllas a la impregnación por el vacío; el inducido posee un recubrimiento de asbesto barnizado con barniz japonés y su zunchado se hace en caliente.

Salvo los motores de tracción, que van montados sobre los ejes de los *bogies*, el resto del equipo eléc-



Disposición de los aparatos de mando en una cabina de maniobra.

trico va instalado en el interior de la caja de la locomotora, en la forma que puede apreciarse en las adjuntas fotografías.

Sobre el techo de la locomotora van colocados los dos pantógrafos o tomas de corriente que bajan mediante resortes y se elevan por unos servo-motores movidos por aire comprimido que contrarrestan la acción de aquéllos, aplicando el pantógrafo a los hilos de contacto con una presión de unos 14 kg, límite del que no debe descenderse, a riesgo de que, sobre todo en velocidades elevadas, se produzcan chispas debidas al mal contacto entre el pantógrafo y el hilo de trabajo.

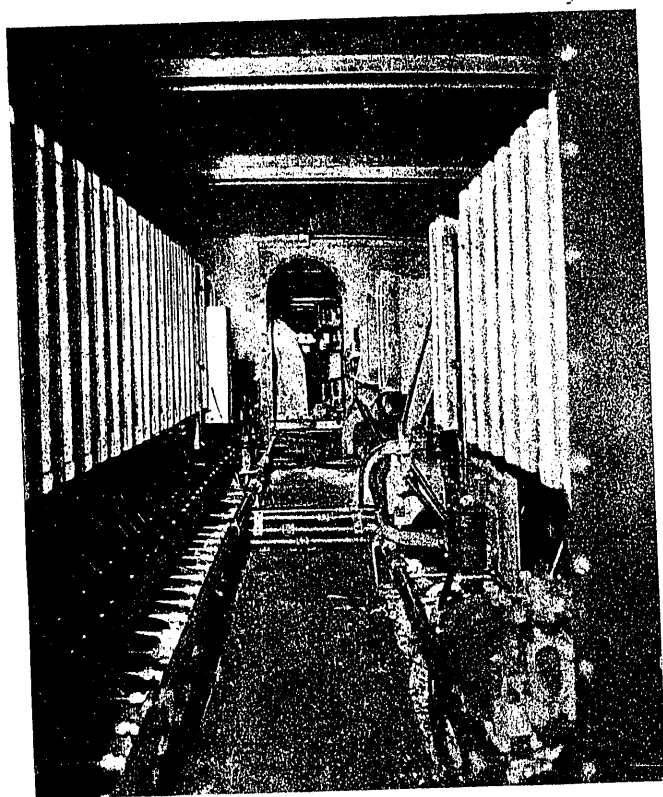
La doble y continua acción de los resortes y el aire comprimido presta a los pantógrafos una gran flexibilidad de adaptación a la línea; para provocar el descenso de aquéllos basta expulsar el aire del servomotor, con lo que quedan bajo la acción exclusiva de los resortes que tienden a plegarlos, y descienden inmediatamente.

Cada pantógrafo lleva dos frotadores de chapa de hierro provistos de unas cintas de cobre intercambiables, que son las que rozan sobre la línea de contacto, rellenándose de grasa los espacios libres, para

evitar un excesivo desgaste de ésta; los extremos de los frotadores terminan en unos cuernos, también de chapa, y cuyo objeto es que el pantógrafo tome las agujas aéreas sin enganchones.

En las cabinas de maniobra de las locomotoras se encuentran los siguientes aparatos, señalados también en la adjunta fotografía.

Al alcance de la mano izquierda del maquinista, las tres palancas o manivelas del regulador principal (*controleur*) del cambio de marcha y del regula-



Interior de la cámara de alta tensión.

dor selectivo, que permite shuntar los campos de los motores o suprimir las resistencias intercaladas entre los motores y la línea durante la marcha en recuperación. Debajo de la palanca del cambio de marcha está la llave principal del pantógrafo, que es la que introduce el aire comprimido en las tuberías de los pantógrafos, y dos llaves pequeñas para el manejo de los areneros.

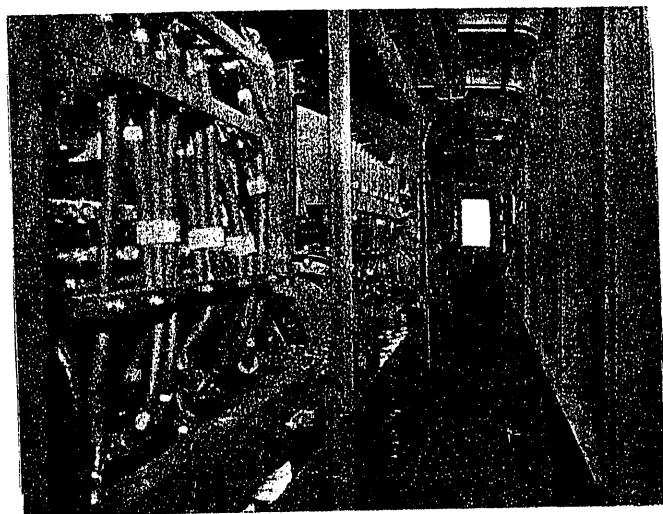
La palanca del cambio de marcha puede retirarse en la posición neutra, así como la llave principal del pantógrafo, cuando éstos están plegados, operaciones que se encuentran enclavadas, con lo que al abandonar el maquinista la locomotora, llevándose dichas manivelas, tiene la seguridad de que queda aquélla en punto muerto con los pantógrafos bajos.

Al lado derecho se encuentran el aparato de maniobra para el frenado por el vacío del tren y de la locomotora, cuya palanca lleva un conector para el mando eléctrico de las bombas de vacío y de la válvula electro-vacuo-neumática, que impide la aplicación del freno a la locomotora cuando ésta marcha en recuperación, lo que daría lugar a que, al calarse las ruedas, se frenaran los motores (en caso de necesidad, la última posición de la palanca de freno produce la apertura del interruptor extrarrápido, y a la vez que la válvula citada permita la aplicación del

freno a la locomotora); las llaves de maniobra individual de los pantógrafos, la cuerda del silbato y la palanca para el accionamiento a mano de los areneros. En cada cabina existe también un freno de mano que actúa sobre el *bogie* que tiene debajo.

Sobre el puesto del maquinista y en el techo de la cabina, están situados el interruptor principal del circuito de control, el del faro y señales de la locomotora y una válvula para descargar el aire del pantógrafo montado encima de la cabina correspondiente; a espaldas del maquinista van colocados los interruptores del grupo motor-generator, bombas, alumbrado, etcétera. En cada cabina existen, además, un calorífero, constituido por una resistencia alimentada directamente a 3 000 voltios, a través de la cual hace pasar una corriente de aire un ventilador movido por un pequeño motor conectado sobre una derivación o *shunt* a 110 voltios, que se saca de la misma resistencia.

Los aparatos de medida que existen en cada departamento de maniobra son: un kilovatímetro para el voltaje de línea, un amperímetro con escala de cero central, midiendo a la derecha la intensidad que pasa por cada grupo de tres motores cuando la máquina funciona en tracción, y a la izquierda, la que pasa por los cinco motores que funcionan como dínamos cuando aquélla marcha en recuperación; otro amperímetro marca la intensidad de la corriente de

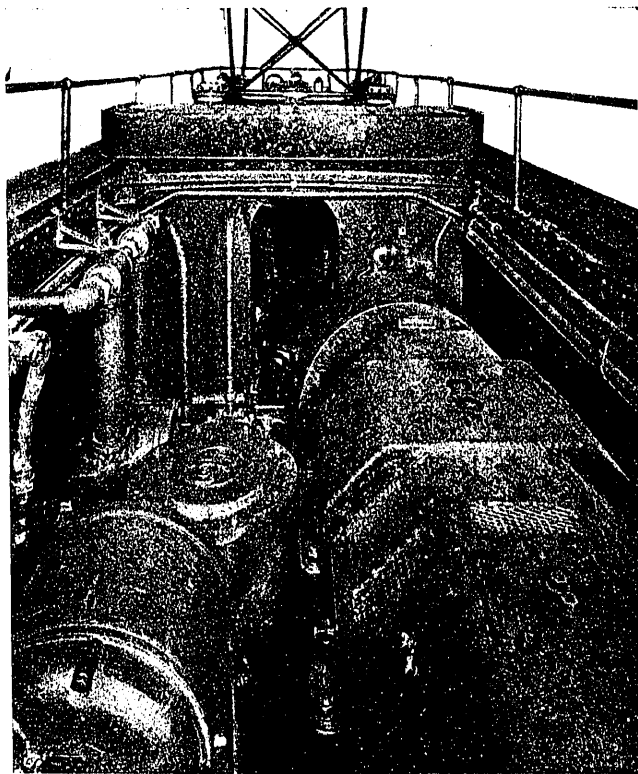


Pasillo lateral derecho: cables a 3 000 voltios de los contactores 24 a 20 y del conmutador de transferencia.

excitación de los mismos grupos de motores para cada marcha de la locomotora. Debajo de estos amperímetros, y montados sobre el mismo panel, existen dos vacuómetros, uno de los cuales marca el vacío en la tubería de freno de la máquina y el otro, de doble aguja, indica con una de ellas el vacío en las bombas y con la otra el de la tubería del tren; inmediato al kilovatímetro hay un manómetro para el aire comprimido, y al lado un contador *Teloc* de velocidades, que en una de las cabinas es, además de indicador, registrador gráfico. En esta misma cabina hay un contador de kilovatios-hora que en una esfera marca los gastados en tracción y en otra los devueltos en recuperación (en los pantógrafos).

El cuerpo central de la caja de la locomotora está dividido en dos partes, la inferior, que ocupa toda su extensión y en la que van montadas las resistencias de

arranque, y la superior, que a su vez se divide en dos cámaras; en una de ellas van instalados los aparatos de alta tensión y en la otra los de baja. La parte destinada a las resistencias, así como la cámara de alta



Interior de la cámara de aparatos de baja tensión con el techo levantado. Y, válvula electro-vacuo-neumática.

tensión (comprendiendo los circuitos a 3 000 voltios, interruptores, pararrayos, etc.), van cerradas en la parte correspondiente a los pasillos laterales, por medio de chapas móviles; en la parte de baja tensión todos los aparatos están colocados al descubierto y al alcance de la mano. Dicha cámara comprende, además del grupo motor-generator y del regulador del voltaje del circuito de control, el compresor, las dos bombas de vacío, el ventilador de los motores de tracción y una batería de acumuladores en paralelo con el generador del grupo, y de la suficiente capacidad para suministrar corriente al compresor, bombas, control y alumbrado durante una hora, sirviendo, por consiguiente, de socorro para caso de avería en el mencionado grupo motor-generator.

El circuito a 3 000 voltios (fig. 29) que sale de los pantógrafos está protegido a su entrada en la locomotora por unos pararrayos electrolíticos de elementos de aluminio, se bifurca después, dirigiéndose una de las ramas, que llamaremos circuito principal, a los motores de tracción, y la otra, o circuito auxiliar, protegido por su interruptor de cuchilla y fusible, alimenta a su vez tres circuitos: el de los aparatos de medida (kilovoltímetro y contador), caloríferos y motor a 3 000 voltios del grupo convertidor 3 000/65 voltios.

Circuito principal (fig. 29)

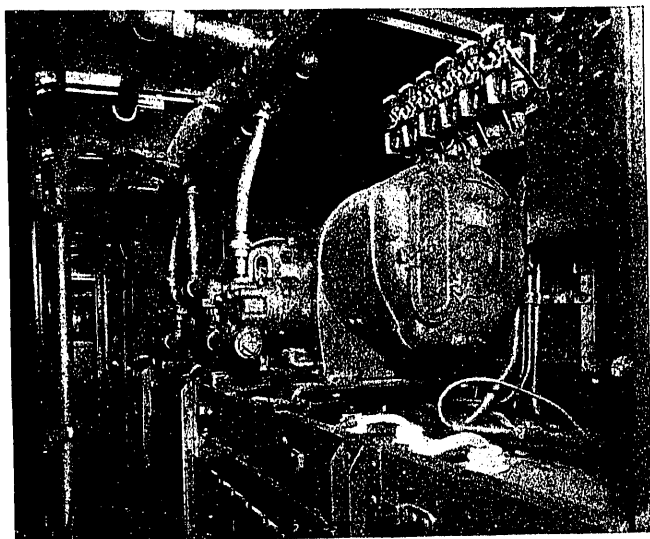
Figuran en este circuito todos los contactores electroneumáticos que intercalan o suprimen resistencias en el circuito de los motores, cambian la conexión

de éstos para las dos posiciones de tracción (serie, serie-paralelo), o bien para el frenado por recuperación, invierten el sentido de marcha de la locomotora, etc. Los principales elementos que lo integran son:

1.º Un conmutador de toma de corriente de dos direcciones, núm. 1, que conecta el circuito principal, bien al pantógrafo, bien a una toma auxiliar a bajo voltaje (no representada en la figura), cuyo objeto es poder maniobrar las locomotoras en el interior de las cocheras sin necesidad de introducir en ellas las líneas de alta tensión.

2.º Un interruptor extrarrápido, que abre el circuito en 8/1 000 de segundo, en cuanto la intensidad que circula a través de los motores alcanza un cierto valor predeterminado y regulable, aparato en esencia idéntico al ya descrito cuando tratamos de la protección de los grupos de las subestaciones convertidoras (artículo séptimo, núm. 2 408 de la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS); la única diferencia estriba en que este aparato abre directamente el circuito sin intercalación previa de una resistencia inductiva, como en aquéllos. El cierre del extrarrápido se hace a distancia, mediante una válvula electromagnética provista de un dispositivo especial que impide esta operación en caso de subsistir el cortocircuito; el interruptor puede también cerrarse a mano.

3.º Tres *relais* de sobrecarga, sobretensión y tensión nula, respectivamente, que actúan sobre el circuito de la bobina de retención del interruptor extrarrápido y, al producir su apertura, provocan la del extrarrápido y, por consiguiente, la del circuito principal. El primero de estos *relais* funciona cuando la intensidad que circula por los motores de tracción excede del límite admisible, que es la de 450 amperios (el extrarrápido, cuya misión es distinta, abre a unos 900 amperios). El *relais* de sobretensión protege los motores del exceso de tensión que en ellos



Cámara de baja tensión: bombas de vacío, compresor y sus contactores de arranque.

puede producirse durante la marcha en recuperación; debe estar calibrado para actuar entre 3 750 y 3 850 voltios. Por último, el *relais* de tensión nula sirve para comprobar si el *relais* de sobretensión está en servicio y, por tanto, si en un momento dado puede, sin peligro, meterse la recuperación; si el mencionado *relais* está en condiciones de trabajo, el *relais* de ten-

sión cierra sus contactos (siempre que el voltaje de línea exceda de 1 500 voltios) y enciende una lámpara que indica se cumple aquella circunstancia.

4.º Veinticinco contactores simples, electromagnéticos y de funcionamiento individual, números 7 al 31, para intercalar o suprimir las resistencias de aceleración.

5.º Dos contactores, números 33 y 34, de maniobra individual, para intercalar los *shunts* inductivos de campo.

6.º Dos contactores, números 35 y 36, análogos a los anteriores, para poner en cortocircuito las resistencias serie de los *shunts*, con lo que aún se debi-

dividual se accionan mediante una válvula magnética que regula la admisión de aire comprimido en un cilindro cuyo pistón origina el cierre de los contactos; éstos van provistos de resortes que, en su posición normal, los mantienen abiertos, y cuya acción tiene, por consiguiente, que vencer el aire comprimido con la suficiente presión para que la resistencia de contacto sea despreciable. Los contactores, que al abrirse interrumpen corrientes muy intensas o abren circuitos con inducciones grandes, poseen potentes carretes sopladores de arco.

Las resistencias de arranque van colocadas en la parte inferior del departamento central de la caja y están constituidas por un armazón de hierro fundido que sostiene unas parrillas de fundición maleable especial, conectadas en serie; el aire que produce su enfriamiento penetra por la parte inferior y, para facilitar el tiro, existe una chimenea de ventilación en la parte central del departamento.

Los contactores de accionamiento combinado pertenecen al ya citado conmutador de transferencia; el árbol de levas es accionado por un piñón que engrana con una cremallera. Esta última va provista de un émbolo en cada extremo y se mueve dentro de un tubo que hace de cuerpo de bomba merced al aire comprimido que en éste recibe, y cuya admisión se regula mediante dos válvulas electromagnéticas análogas a las que poseen los contactores individuales. La posición normal del árbol de levas corresponde a la posición serie de los motores de tracción de los contactores, que sucesivamente se abren al pasar, las otras posiciones; abren poseen bobinas sopladoras y tabiques aislantes, mientras que carecen de estos elementos las que solamente sirven para poner resistencias fuera de circuito o cortan corrientes de débil intensidad. Todos estos contactores se abren por la acción del peso de su contacto móvil al cesar la de la leva que lo mantenía cerrado.

Debajo del árbol de levas existe un enclavamiento eléctrico, constituido por un cilindro de madera que gira al mismo tiempo que aquél y en cuya superficie van embutidas unas cintas de bronce de diferentes tamaños y formas; unos muelles en forma de láminas, llamados dedos, apoyan sobre éstas o sobre la madera del tambor, cerrando o abriendo, respectivamente, los circuitos que envían la corriente de control a las válvulas electroneumáticas que regulan el movimiento del árbol de levas.

El inversor de corriente consta de un árbol vertical giratorio, con dos columnas de seis sectores, sobre los que se apoyan unos muelles de cobre; los sectores de un lado van conectados en cruz con los del otro (el primero de una fila con el segundo de la otra, el primero de ésta con el segundo de aquélla, y así sucesivamente), de modo que al pasar de una posición a otra se invierten por completo las conexiones de los motores. El movimiento del árbol se consigue mediante una horquilla y pistón, movido éste por aire comprimido dentro de un cilindro al que dan acceso dos válvulas electroneumáticas; po-

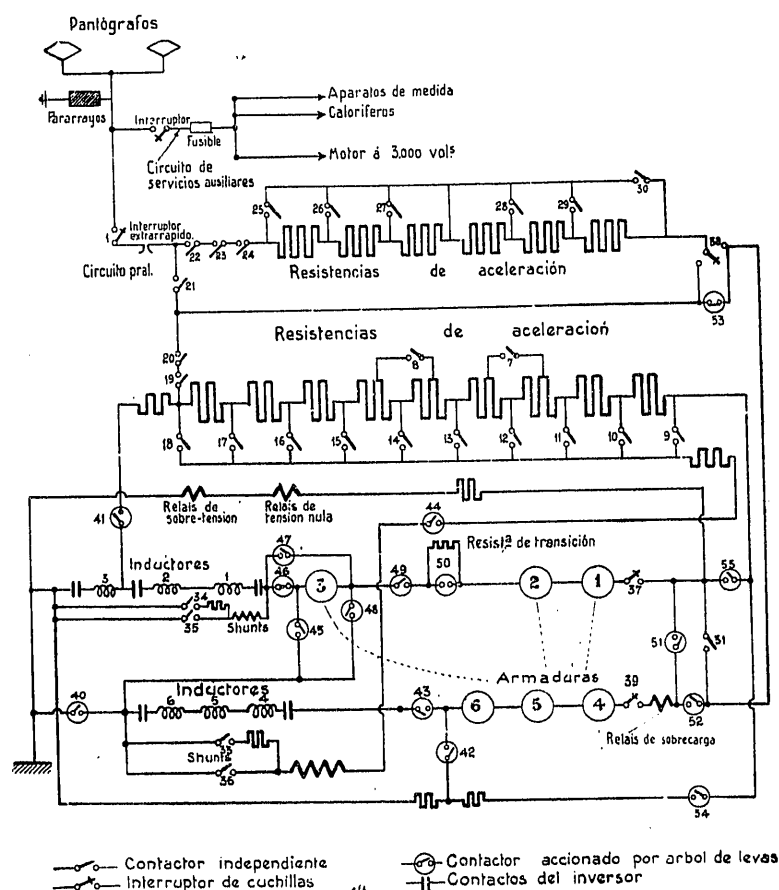


Fig. 29.

lita más el campo de los motores (segunda posición de shuntado) y se consigue un nuevo aumento de velocidad.

7.º Diez y seis contactores mecánicos, números 40 a 55, que funcionan mediante un árbol de levas, constituyendo el llamado conmutador de transferencia, cuyo objeto es efectuar las conexiones para los distintos acoplamientos de los motores (serie, serie-paralelo y recuperación).

8.º El recuperador de corriente, que sirve para cambiar el sentido de la marcha de la locomotora, lo que se consigue sin más que alterar el sentido de la corriente en la excitación de los motores de tracción.

9.º Tres conmutadores de selección, números 37, 38 y 39, cuyo objeto es separar uno de los grupos de tres motores de un *bogie* en caso de avería en alguno de ellos, pudiendo la locomotora marchar con sólo los tres motores del otro *bogie*.

Los contactores electroneumáticos de maniobra in-

Debajo del regulador principal se encuentra la manivela del cambio de marcha, con tres posiciones: *adelante*, *atrás* y *punto muerto*. Esta maneta actúa

Como ya dijimos, la maneta puede sacarse de su asiento cuando se encuentre en *punto muerto*.

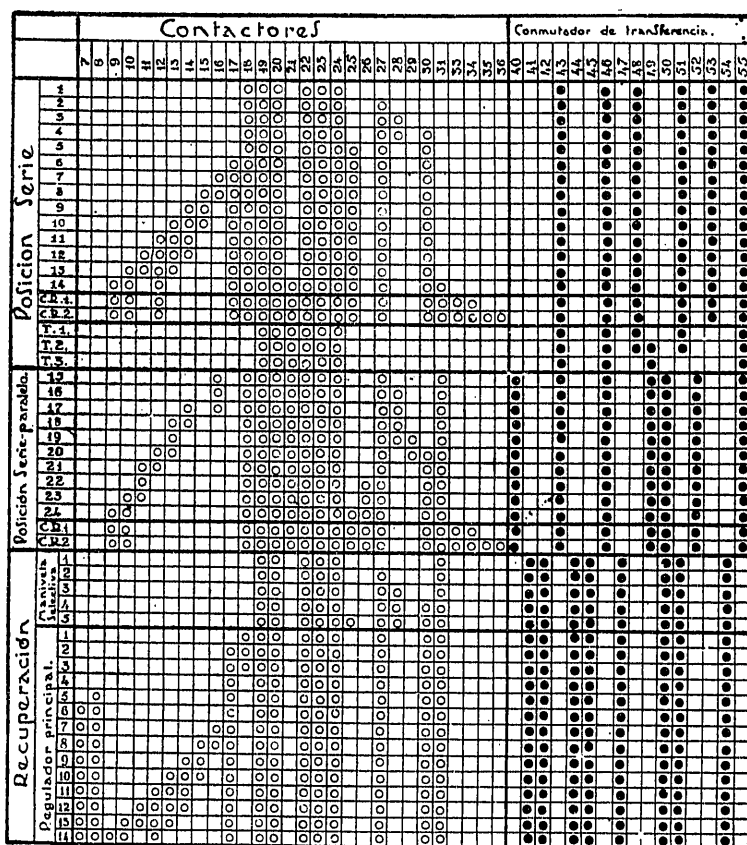


Fig. 30.

Frenado por recuperación

1.º El circuito recuperativo, marcado con trazo grueso, en el que quedan conectados en serie sobre la línea los motores 1, 2, 4, 5 y 6, con intercalación de la resistencia estabilizadora (cuya misión después describiremos) y de otra resistencia, compuesta de una parte fija y otra regulada por la maniobra de la palanca selectiva. En la posición 1 de ésta queda

toda la resistencia intercalada en el circuito, con el objeto de que no se produzca un golpe de corriente en los motores; cuando, al reforzar la excitación de éstos, aumenta su voltaje, disminuye la corriente absorbida y, llevándose sucesivamente la manivela hasta la posición 5, se suprimen gradualmente las resis-

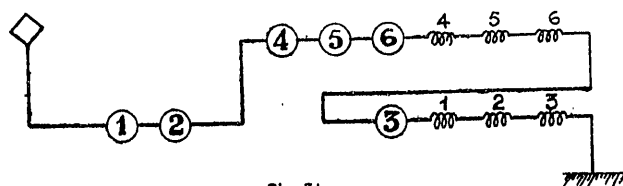


Fig. 31.

tencias y, al equilibrar la suma de las f. e. m. de los motores la tensión de la línea de contacto, comienza la recuperación.

2.º El circuito de excitación de los motores antes citados, señalado con trazo fino en la figura, y en el que los campos de estos motores se encuentran en serie con la armadura del motor 3, que hace de excitador.

La corriente en dichos campos ha de circular en el mismo sentido que durante la marcha en tracción; y como por conveniencias de la construcción se mantiene también el mismo sentido para la corriente de excitación del motor 3, y éste gira también en el mismo sentido que durante la marcha en tracción, su armadura engendrará una corriente de sentido opuesto que, en este último caso, se hace preciso invertir las conexiones de la misma con los campos de los otros motores.

3.º El circuito de excitación del motor 3, que es una derivación del anterior, entre los puntos *c* y *d*, y se ha representado en la figura. Este circuito tiene una parte común, *ab*, con el recuperativo, y lleva intercalada una resistencia, regulada por la palanca del regulador principal, entre las muescas 1 y 14; del valor de esta resistencia depende la repartición de la corriente entre los circuitos 2.º y 3.º, el voltaje del generador 3 y, por consiguiente, la intensidad de la corriente recuperada.

En la figura se ha indicado por medio de flechas el sentido de la corriente en cada uno de los circui-

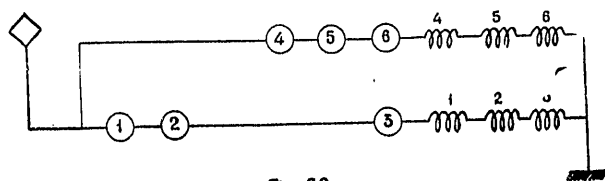


Fig. 32.

tos enumerados; en el trozo *ab* se superponen las corrientes de recuperación y de excitación del generador 3.

El esfuerzo de retención o frenado es proporcional a la intensidad de la corriente recuperada, y, conseguido el equilibrio en una muesca del regulador principal, se mantiene aquél sin intervención del maquinista merced a la acción de la resistencia estabilizadora, a pesar de las variaciones de la tensión en la línea de contacto o del perfil del trazado.

En efecto, si consideramos el caso de una súbita caída de tensión en la línea de contacto (pudiendo originarse por el arranque de uno o varios trenes en

la proximidad del que se trate), la corriente recuperada tenderá a aumentar bruscamente de modo considerable; si llamamos *e* la caída de tensión entre los puntos *c* y *d* del segundo circuito, *R* la resistencia estabilizadora, *r* la suma de la resistencia del campo 3 con las otras del circuito 3.º, *I* la corriente recuperada, *i* la de excitación del generador 3, tendremos $e = ri + R(I + i)$. Ahora bien: el excitador 3, accionado por el eje, tiene una f. e. m. independiente de *I*, lo que produce la constancia de *e*; luego, en virtud de la relación precedente, todo aumento de *I* produce una disminución inmediata de *i* y, por consiguiente, de la excitación de los motores, lo que tiende a limitar el valor de *I*.

Asimismo, en caso, por ejemplo, de una disminución de la resistencia del tren (aumento de pendiente, paso de alineación curva a recta), la locomotora tiende a acelerarse, aumenta la f. e. m. del excitador 3 la corriente de excitación de los motores (circuito 2.º) y, por consiguiente, aumentan también la corriente recuperada y el esfuerzo de frenado; pero este aumento

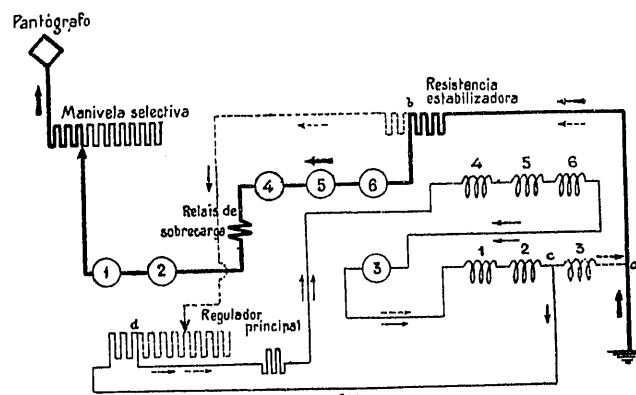


Fig. 33.

de *I* se opone, según vimos antes, al de *i*, estableciéndose rápidamente un régimen de equilibrio que tiende a conservar uniforme la velocidad del tren. Se aprecia esto de modo notable en los contadores de velocidad, cuya aguja oscila alrededor de un punto fijo para cada posición del regulador, principal, con variaciones de ± 1 ó 2 km/h.

A pesar de que el tráfico en Pajares es, en su mayoría, ascendente, la energía recuperada en la locomotora llega al 12 por 100 de la consumida en tracción por la misma.

Circuito de servicios auxiliares

El circuito a 3 000 voltios para los servicios auxiliares, pasadas las protecciones, se divide en tres ramas: una para el motor a 3 000 voltios del grupo motor-generator, otra para los caloríferos y otra para los aparatos de medida.

El grupo motor-generator se pone en marcha mediante un contador electro-magnético que intercala en circuito una resistencia con objeto de que el arranque se haga a voltaje reducido, resistencia que, una vez en marcha el grupo, queda automáticamente cortocircuitada. El grupo motor-generator comprende un motor bipolar de 25 CV y un generador tetrapolar de 10 kw a 65 voltios, montados ambos sobre el mismo armazón; en uno de los extremos del eje va

montado el ventilador, que proporciona el aire a los motores de tracción.

El motor a 3 000 voltios es autoventilado con excitación *Compound*, y está previsto para funcionar entre las tensiones de 1 800 a 3 750 voltios en el hilo de contacto; su inducido está formado por dos devanados en serie, cada uno con su colector y la velocidad normal a 3 000 voltios, y con una carga de 10 kw en el generador, es de 1 250 r. p. m. El contactor que pone en marcha el grupo motor-generador se maniobra por medio de un interruptor, colocado en una de las cabinas.

Los circuitos de los caloríferos y aparatos de medida no presentan particularidad especial alguna.

Circuito a 65 voltios

La corriente a 65 voltios se produce en el generador antes mencionado, que posee excitación *shunt* y un solo conmutador; es esencial para todos los servicios que este generador alimenta, sobre todo para el de control, que la tensión de 65 voltios se mantenga constante, y para ello se dispone de un regulador de voltaje que permite que el generador posea siempre entre escobillas una diferencia de potencial constante, a pesar de las variaciones de tensión de la línea de contacto.

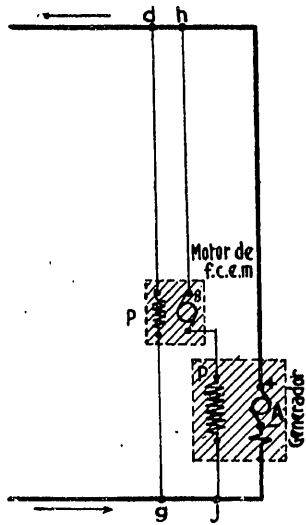


Fig. 34.

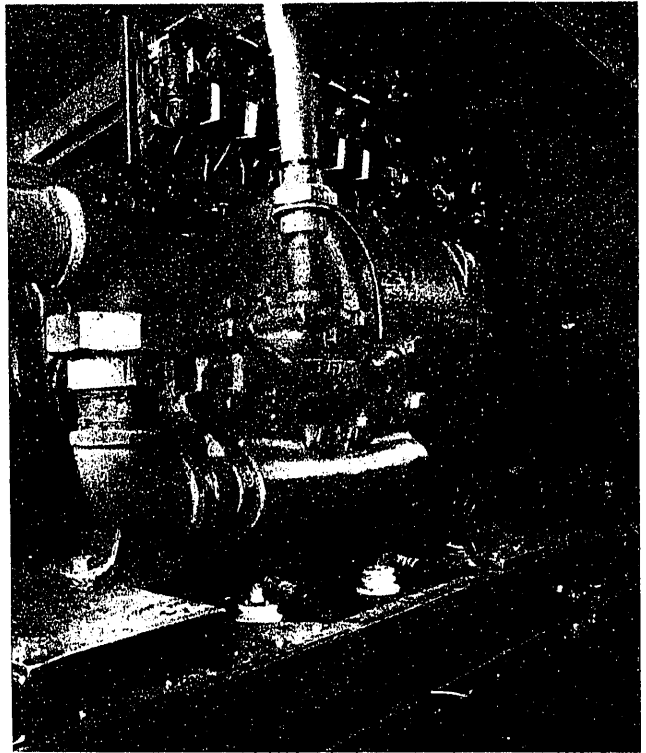
La disposición adoptada se representa en la figura 34, y consiste en intercalar en serie con la excitación del generador una fuerza electromotriz contraria, proporcionada por un pequeño motor, llamado de fuerza contraelectromotriz y alimentado por la misma corriente producida por el generador, provisto de excitación *shunt*.

De esta manera, si el voltaje de la línea de contacto disminuye, disminuye también el número de revoluciones del motor a 3 000 voltios y, por consiguiente, la diferencia de potencial entre escobillas del generador y la f. e. m. del motor regulador, con lo que aumenta la excitación de aquél y se mantiene su voltaje.

Cuando la disminución de velocidad del generador es muy grande, conviene parar el motor de f. c. e. m. para reforzar el campo inductor de aquél, y para ello, así como para poner de nuevo en marcha el motor regulador cuando la velocidad del generador aumenta, se disponen dos *relais*, llamados *relais principal* y *relais de sobrevoltaje*, respectivamente.

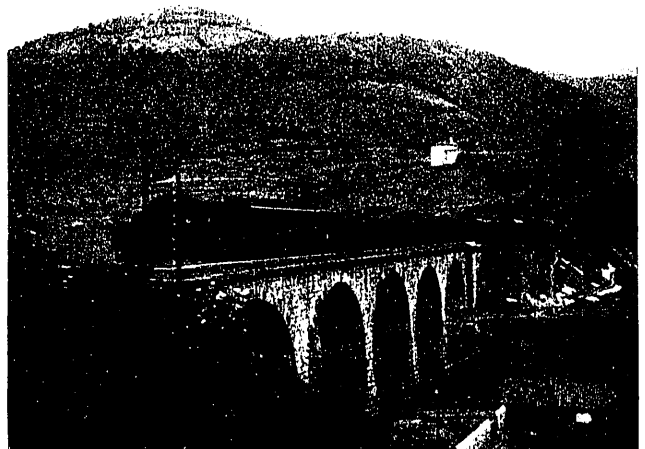
En paralelo con el generador, se conecta una batería de acumuladores, que sirve para el funcionamiento del compresor y alumbrado cuando están los pantógrafos bajos, así como en caso de avería del grupo motor-generador; con objeto de evitar que la batería se descargue sobre el generador cuando la tensión de éste es menor que la de aquélla, existe un *relais* de inversión de corriente que abre sus contactos cuando ello ocurre.

Además de los electroimanes pertenecientes a los contactores del circuito de control, alimenta el circuito de baja tensión, el alumbrado, compresor y bombas de vacío.



Bomba de vacío núm. 2; panel de batería y motor de fuerza contraelectromotriz

El motor del compresor funciona a 65 voltios, absorbe 65 amperios en el arranque y 35 a plena marcha; su potencia, en este último caso, es de 3 CP. La compresión del aire se hace a 90 libras por pulgada



Tren eléctrico de mercancías sobre el viaducto de Navedo.

cuadrada (6,33 kg por cm²); el arranque del motor se verifica por medio de un contactor, movido por una válvula electromagnética, y tiene un dispositivo, accionado por un *relais*, de tal modo, que una vez cerrado el circuito del motor por medio de un interruptor colocado en una de las cabinas de maniobra, se para aquél en cuanto la presión del aire comprimido llega a 90 libras, y se pone nuevamente en marcha en cuanto ésta desciende por debajo de

80 libras. El aire comprimido suministrado por el compresor se utiliza para el funcionamiento de los contactores del control, areneros, silbato y elevación de los pantógrafos.

Las bombas de vacío son dos, de las que el motor correspondiente a la núm. 2 funciona normalmente a mitad de voltaje, por tener intercalada una resistencia en el circuito de alimentación. Únicamente en

el caso de querer efectuar con rapidez la evacuación del aire queda dicha resistencia en cortocircuito, y el mencionado motor, lo mismo que el núm. 1, que sólo entonces se pone en movimiento, marcha a pleno voltaje; esto se consigue llevando la palanca del freno a la posición de afloje total.

Los motores de las bombas funcionan también a 65 voltios, y su potencia a plena marcha es de 10 CV.

Algo sobre juntas de enlace entre secciones de los diques flotantes

I

La inmensa mayoría de los diques de este sistema se hallan constituidos por distintas secciones unidas entre sí, y ello es debido a las mayores facilidades de construcción que así se obtienen y a que de esta manera puede dicho aparato carenarse a sí mismo.

Las uniones generalmente adoptadas para este objeto se reducen en síntesis a un cosido de gruesos pernos en todo el perímetro de los testeros de los costados o cajeros de las secciones del dique, con lo cual se consigue un enlace perfecto y *rígido*, altamente favorable esta última propiedad a la estructura de los buques, por la salvaguarda que ofrece contra posibles y peligrosos quebrantos de la misma; pero la constitución misma de dicha junta lleva consigo una dificultad grande y una lentitud no menor en las operaciones de armarla y desarmarla, lo que, aparte otros inconvenientes anejos a ella, hace que si, además de perseguirse las condiciones expuestas, se quiere utilizar el dique, ya en su totalidad, ya en fracciones, para adaptarse al variado tonelaje de los barcos y carenar simultáneamente los de reducido porte, deba desecharse dicha unión, buscando otra cuya maniobra exija poco tiempo y trabajo, conservando en lo posible las ventajosas garantías de la primera.

Así vemos que, cuando se proyectó y construyó la primitiva instalación de carenado del puerto de Barcelona, base primordial y más importante de la actual, constituida por tres secciones completamente análogas del sistema de dique flotante y deponente ideado por los ingenieros ingleses Clark y Stanfield, se establecieron entre ellas dos enlaces distintos, *rígido* y *permanente* uno, haciendo por completo solidarias dos secciones, la primera y la segunda; *rápido*, pero flexible el otro, para la unión circunstancial y frecuente de estas dos primeras con la tercera.

La elección de tales tipos de juntas, de condiciones y características bien diferentes, no obedeció en modo alguno a circunstancias arbitrarias, sino que, a tenor de lo indicado, fué debida y desde luego impuesta por el programa de trabajo a que se destinaba la referida instalación. En efecto, siendo la potencia ascensorial neta de cada sección de 2 000 toneladas, al pretenderse carenar buques de 4 000 y 2 000 toneladas simultáneamente, tonelajes los más frecuentes en aquella época, y utilizar además la potencia completa del sistema para la subida en dique de buques de 6 000 toneladas, se imponía el que dos

secciones estuvieran siempre unidas y permaneciera la otra libre, pero dispuesta siempre a ser unida a las demás con facilidad y rapidez, para no perder un tiempo precioso y un trabajo productivo en maniobras en cierto modo secundarias, con evidente perjuicio del más eficiente e intenso rendimiento del dique. Así, pues, para enlazar las dos primeras secciones se admitió la junta *rígida* permanente y, en cambio, para el segundo enlace, el tipo *rápido* que, por no haberse podido lograr la apetecida rigidez, tuvo que ser flexible, aunque, naturalmente, dentro de límites muy reducidos.

La precitada junta *rígida* permanente se halla formada por una prolongación de las planchas laterales, cubierta y fondo del costado en los frentes de cada sección, en una longitud, igual en cada una, a la mitad de la distancia que media entre dos pontonas consecutivas, reforzándose las cámaras así constituidas con cuadernas y riostras, de análoga manera que en la estructura del costado del dique. El borde de cada una de dichas cámaras va provisto interiormente en todo su contorno de un angular remachado a las planchas por una doble hilera de roblones, cuyo canto libre se halla perforado en una serie de agujeros para la introducción de los *pernos* de unión, interponiéndose entre los dos marcos de angulares un cordón de caucho que, al ajustar los pernos, se aplasta, formando una junta estanca. En el exterior se disponen dos pequeños trozos de angular remachados igualmente a las planchas del costado y dotados también de agujeros en su ala libre para los pernos de la junta, obteniéndose así un refuerzo a la misma y, sobre todo, una guía muy útil para cuando, al armar la junta, las dos secciones se ponen en contacto (fig. 1.^a).

Asegura la Casa Clark y Stanfield que esto mismo, con muy ligeras modificaciones, es el tipo de junta que viene generalmente usando en sus diques, con un resultado tan satisfactorio que «no ha habido necesidad de mejorarlo». De acuerdo por completo con esta conclusión, durante el larguísimo plazo que ha estado en funciones la referida junta *rígida* permanente, no se ha registrado el más ligero defecto, habiendo cumplido siempre con éxito completo la misión que tenía encomendada; la resistencia de esta junta a toda clase de esfuerzos era exactamente igual a la que pueda ofrecer una sección cualquiera del costado del dique; en cambio precisa insistir sobre el hecho de que el único inconveniente positivo y capital de dicho medio de enlace consiste precisa-