

LA ELECTRIFICACION MADRID-AVILA Y VILLALBA-SEGOVIA**LOCOMOTORAS DE PEQUEÑA VELOCIDAD**

Por ANTONIO ANGULO, Ingeniero de Caminos.

Con el presente artículo se da por terminada la serie que se ha publicado en la REVISTA, con motivo de la electrificación Madrid-Avila-Segovia, cuyos artículos se han referido a su plan general, línea de alimentación, subestaciones, línea de contacto y locomotoras de pequeña velocidad. En realidad, faltan los correspondientes a locomotoras de gran velocidad y unidades de tren, de las que no se hace mención especial en la actualidad, ya que las locomotoras de gran velocidad, Serie 7 500, son iguales a las de la Serie 7 200, descritas en la REVISTA, en su número de 15 de julio de 1931. La única diferencia existente entre ambas locomotoras es la mayor potencia de las de la Serie 7 500, pero permanecen idénticas sus disposiciones. Las unidades de tren son iguales a las empleadas en las electrificaciones de Alsasua-Irún, y Barcelona-Manresa-San Juan de las Abadesas, también descritas en la REVISTA por el Ingeniero de Caminos D. José M.^a García-Lomas, publicándose tal descripción en el número de 1.^o de agosto de 1931.

II. PARTE ELÉCTRICA

La parte eléctrica de la locomotora tiene como elemento primordial el motor, por lo que le dedicaremos especial atención, mencionando después los órganos de mando, los accesorios y las protecciones.

Motor.

El motor es del tipo de suspensión por la nariz y tiene cuatro polos, más los auxiliares de conmutación. Su potencia normal continua es de 400 C. V., y la unihoraria, de 500 C. V. a la tensión de 450 voltios, que corresponde a la de 1 350 voltios en línea.

Merece destacarse de este motor que la carcasa, en lugar de ser fundida, como es corriente, está formada por chapa de 80 mm., soldada en la parte que interesa al circuito magnético. En el resto tiene menor espesor, y todo el conjunto de chapas que forman la carcasa están también unidas por soldadura.

Para regular la posición de las escobillas existe posibilidad de girar el conjunto de todas ellas, fijando después sólidamente el anillo que tiene los portaescobillas.

El rotor se apoya sobre dos cojinetes de rodillos, fijo, el del lado del piñón, con una hilera de rodillos, y el otro, del tipo esférico, de dos hileras de rodillos. En el extremo del eje del rotor, por el lado opuesto al colector, está el piñón de 18 dientes, que ataca a la corona de 89 dientes, que está calada a presión y con chavetas sobre el cubo alargado de una de las ruedas.

Los dientes de la corona están tallados sobre la misma llanta, pero ésta tiene espesor suficiente para que se pueda torneear cuando los dientes estén desgastados, y fijar sobre ella, en caliente, otra nueva corona dentada.

Como puede observarse, no hay unión elástica entre motor y eje, confiándose tal misión a los muelles de suspensión que unen la nariz del motor a la traviesa correspondiente.

Las curvas características de este motor, excitado en serie, se aprecian en la figura 7.^a, en la cual se han representado las curvas de variación de:

- la potencia, en caballos;
- el esfuerzo de tracción en llanta, incluyendo el rendimiento de los engranajes;
- la velocidad de la locomotora, con ruedas de 1 300 mm. de diámetro, expresada en kilómetros-hora;
- el rendimiento total, incluyendo el del engranaje;

habiéndose tomado como variable independiente la intensidad que circula por el motor estando excitado en serie.

También se ha considerado, para obtener estas curvas, que la temperatura de los conductores es de 135°, o sea, la máxima admisible sobre la normal de 15° en el ambiente, con arreglo a las normas americanas.

Los tres motores de cada carretón se acoplan per-

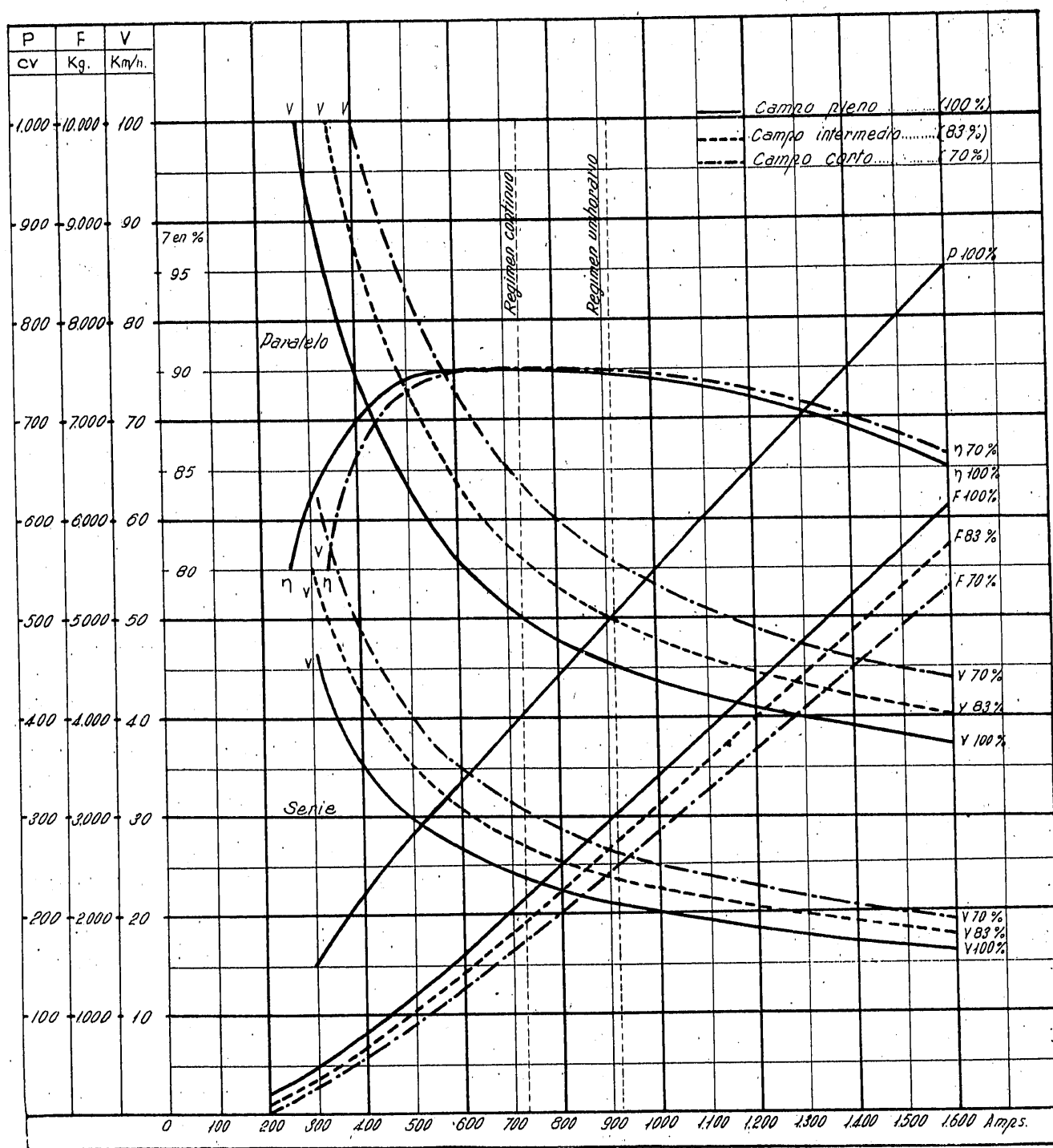


Fig. 7.^a — Locomotoras Serie 7400. Características del motor de Tracción.

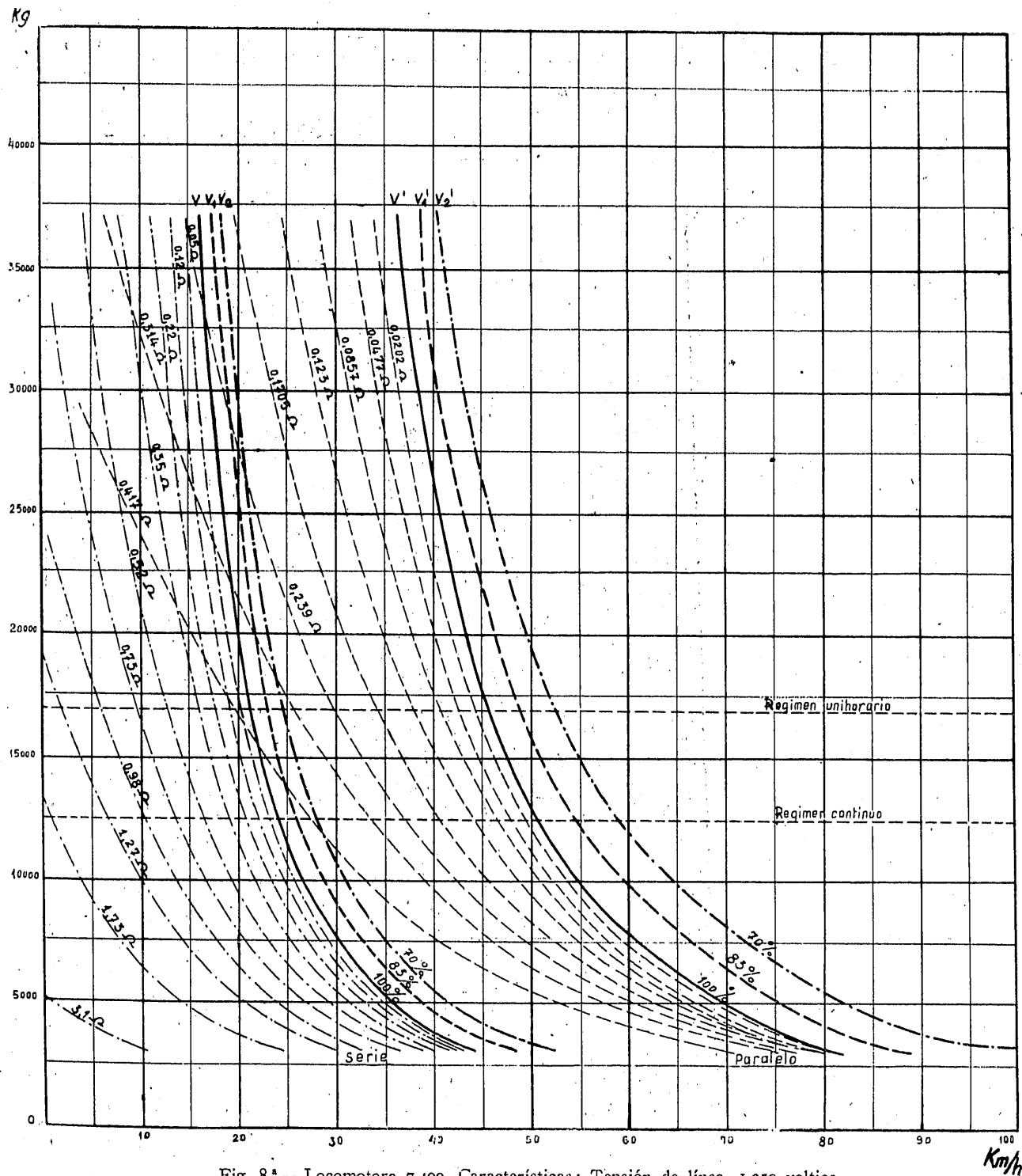


Fig. 8.^a — Locomotora 7400. Características: Tensión de línea, 1350 voltios.

LOCOMOTORAS SERIE 7400

Características de funcionamiento en recuperación

Tensión de línea: 1500 v.

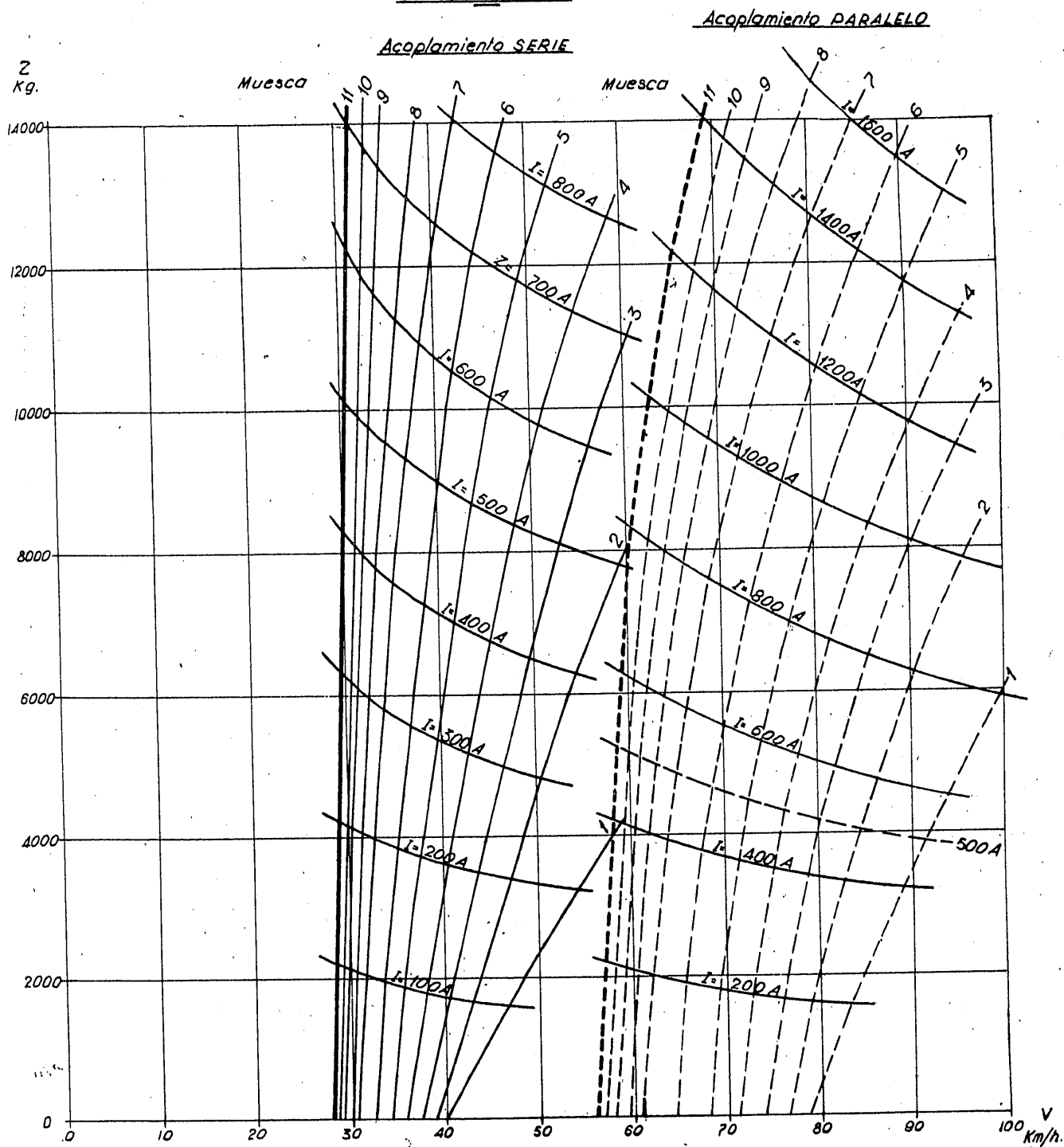


Figura 9.ª

manentemente en serie, y el conjunto de los seis motores puede acoplarse en serie o bien en paralelo cada grupo de tres.

Estando acoplados en serie, existen resistencias, también en serie, que sirven para el arranque, y se van eliminando a medida que aumenta la velocidad de la locomotora. El mando tiene 11 puntos, que corresponden a las siguientes resistencias:

Punto	1.	Resistencia total en serie,	3,10	ohmios.
"	2.	"	"	1,73
"	3.	"	"	1,27
"	4.	"	"	0,98
"	5.	"	"	0,73
"	6.	"	"	0,52
"	7.	"	"	0,35
"	8.	"	"	0,22
"	9.	"	"	0,12
"	10.	"	"	0,05
"	11.	"	"	0,00

Cuando los motores se acoplan en paralelo, el mando sólo tiene 9 puntos, que insertan, en serie con el conjunto de los dos grupos de motores, las siguientes resistencias:

Punto	1.	Resistencia en serie,	0,417	ohmios.
"	2.	"	"	0,314
"	3.	"	"	0,239
"	4.	"	"	0,1705
"	5.	"	"	0,123
"	6.	"	"	0,0857
"	7.	"	"	0,0477
"	8.	"	"	0,0202
"	9.	"	"	0,000

Merced a estas resistencias se obtienen las dos series de características que se indican en la figura 8.^a. En ella se han dibujado con línea gruesa las correspondientes a no tener ninguna resistencia intercalada; es decir, a las de marcha económica. También hay otras cuatro características de marcha económica, correspondientes a campos de excitación más débiles, obteniendo materialmente esta reducción mediante resistencias y reactancias puestas en derivación con el campo inductor. El objeto de poner reactancias consiste en atenuar las oscilaciones de tensión habidas en la línea.

El funcionamiento en recuperación utiliza las mismas resistencias mencionadas, pero no la reducción del campo inductor. La recuperación puede hacerse también con los dos acoplamientos mencionados (serie y paralelo), por lo que tan sólo hay dos marchas económicas en recuperación. En la figura 9.^a se indican todas ellas, dibujando en grueso las características de marcha económica. No obstante lo anterior, pueden emplearse normalmente los cuatro puntos in-

mediatos, pues no se calientan las resistencias excesivamente. También puede utilizarse continuamente cualquier punto del combinador, siempre que la intensidad no sea superior a 300 amperios, pues las resistencias pueden eliminar sin dificultad el calor engendrado.

Los valores de resistencias óhmicas antes citados se han deducido para el estado de funcionamiento, es decir, con una temperatura de 300°.

Para el funcionamiento en recuperación, la corriente de excitación se obtiene de una generatriz de doble colector, accionada mediante el mismo motor que mueve el ventilador. En el esquema de la figura 10 puede apreciarse la disposición de la excitación, así como la existencia de una resistencia de estabilización, que atenúa las variaciones de tensión ocurridas en la línea, pues si en un instante aumenta bruscamente la intensidad recuperada, se reduce la excitación merced a esta resistencia, disminuyendo, en consecuencia, la intensidad recuperada.

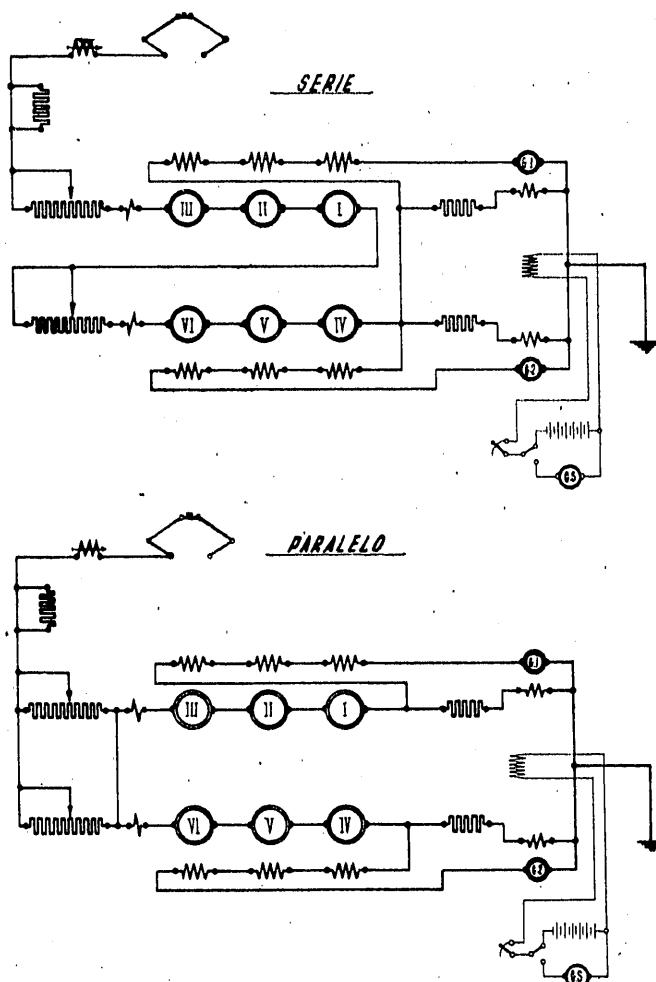


Fig. 10. — Locomotoras Serie 7 400. Esquema del circuito principal en recuperación.

Órganos de mando.

El mando de la locomotora se efectúa mediante un combinador de régimen que acopla los motores y aparatos con arreglo a siete circuitos:

- 1.º Neutro.
- 2.º Marcha adelante.
- 3.º Marcha atrás.
- 4.º Primera posición de campo débil (83 %).
- 5.º Segunda posición de campo débil (70 %).
- 6.º Recuperación en serie.
- 7.º Recuperación en paralelo.

Para regular la velocidad hay un combinador de tambor que llamamos "de velocidad", el cual tiene 20 muescas. Las once primeras, mediante la inserción de las resistencias antes mencionadas, permiten el arranque y marcha de la locomotora, en serie. También sirven para la marcha en recuperación, tanto en serie como en paralelo. Las nueve muescas restantes corresponden a la marcha de tracción, en paralelo.

Más adelante hablaremos de los enclavamientos que impiden las falsas maniobras en el mando de la locomotora.

El sistema de mando es electroneumático. Los órganos de mando establecen o interrumpen circuitos, a una tensión normal de 60 voltios, mediante los tambores de los combinadores de régimen y velocidad. Estos circuitos excitan relés que, por atracción magnética, hacen que se desplace una válvula neumática

que se mantiene en determinada posición merced a un resorte. Al excitarse el relé, su acción es más fuerte que la del resorte, y se mueve la válvula, permitiendo la entrada de aire comprimido a un cilindro, cuyo émbolo actúa mediante un vástago, sobre el contacto eléctrico. El esquema de este aparato se indica en la figura 11.

El aire comprimido, a la presión de 6 a 7 atmósferas, se obtiene mediante un compresor que da un gasto de 520 litros por minuto. Este compresor se acciona mediante un motor de 5,5 caballos, alimentado por la tensión de línea (1 500 voltios) y que se arranca o detiene automáticamente, según la presión que el aire comprimido tiene en depósito. También puede ponerse en marcha prescindiendo del aparato automático. El contactor correspondiente tiene mando electromagnético, en vez de electroneumático, puesto que, al ponerse en marcha, no hay presión de aire para hacer funcionar un contactor electroneumático.

En la figura 12 se indica un croquis de la instalación de aire comprimido. Del compresor I (de dos pisos) pasa el aire al depósito I, y de éste al depósito II. De la tubería de unión se derivan los injertos para mando de silbato, areneros y limpiaventanas en ambas cabinas de conducción, así como el regulador para el compresor. Del segundo depósito sale otro tubo para llevar aire a los contactores y al pantógrafo.

Aparte de las válvulas que impiden se invierta la circulación de aire por las tuberías, la entrada y salida del depósito II tiene un grifo doble, que debe cerrarse al dejar la máquina detenida algún tiempo. De

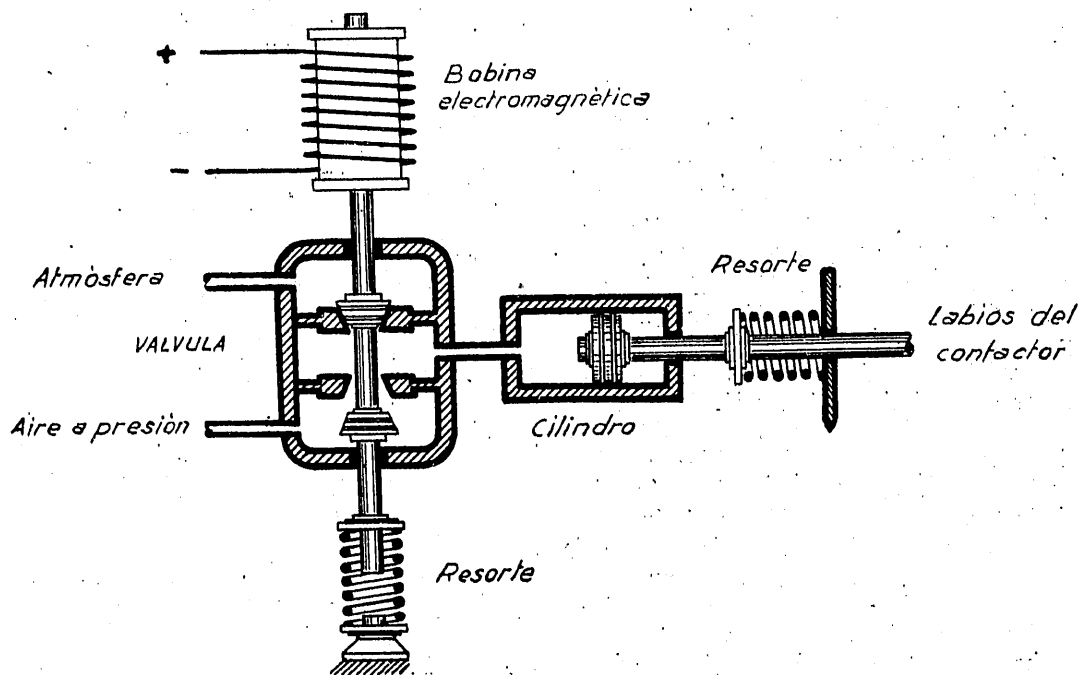


Fig. 11.—Accionamiento electroneumático de un contactor. Locomotoras 7 400.

este modo se conserva la presión en dicho depósito II y cuando se vaya a poner la máquina en marcha de nuevo, se abre este grifo doble, y hay aire comprimido para poder subir el pantógrafo.

Además, previendo que no exista tensión en la línea y el compresor I no pudiese funcionar, existe un compresor de socorro, de émbolo, cuya capacidad es de 350 litros por minuto, accionado por un motor de siete caballos a 60 voltios, cuyo motor mueve también una bomba de vacío. La energía se obtiene de una batería de acumuladores.

Por último, hay una bomba de mano con la que puede comprimirse el aire necesario para subir los pantógrafos, y que es preciso utilizar al arrancar una máquina, cuando ni tiene aire comprimido el depósito II ni pueda funcionar el motor de socorro, bien por avería o por no estar cargada la batería de acumuladores.

Complemento de los mandos es la instalación de baja tensión. Ya hemos mencionado que dicha instalación funciona a una tensión de 60 voltios, alimentada por una máquina de doble colector, con regulador automático. Esta generatriz alimenta normalmente la batería y demás circuitos, pero cuando la locomotora funciona en recuperación, cada colector sirve para excitar los motores de un carretón. Esto quiere decir que cuando se recupera no se carga la batería.

La batería es del tipo de plomo, tiene 32 elementos y su capacidad es de 192 amperios/hora.

Este circuito de 60 voltios alimenta:

A los circuitos de mando.

A los circuitos de alumbrado.

Al grupo de socorro que acciona al compresor mencionado y la bomba de vacío.

Otro mando lo constituyen los frenos. Son éstos de vacío, tipo Clayton.

El vacío se obtiene mediante dos bombas rotativas accionadas por motores de 1 500 voltios. Una de ellas se utiliza permanentemente para mantener un vacío de 50 cm. de mercurio en la tubería, compensando las fugas. Su capacidad es de 188 m.³ por hora. La otra se emplea cuando se han de aflojar rápidamente los frenos, y tiene un gasto de 400 m.³/h. Para ser utilizada excepcionalmente, hay una bomba movida por el mismo motor que el compresor de socorro (de 60 voltios) que antes mencionamos, y cuyo gasto es de 120 m.³/h.

Sobre la misma transmisión del freno puede actuarse a mano, logrando un esfuerzo de frenado equivalente al 60 por 100 del peso adherente. Cuando el vacío del freno automático es de 50 cm. de mercurio, se obtiene un esfuerzo de frenado equivalente al 80 por 100 del peso adherente.

El mando del freno de vacío tiene cinco posiciones:

Neutro: Las dos bombas están paradas.

Aflojamiento: En esta posición actúan las dos bombas.

Marcha y aprieto de los frenos del tren: En este caso funciona una sola bomba, la más pequeña.

Freno tren y locomotora: También funciona la bomba pequeña.

LOCOMOTORAS 7400

ESQUEMA DE DISTRIBUCION DE AIRE A PRESIÓN

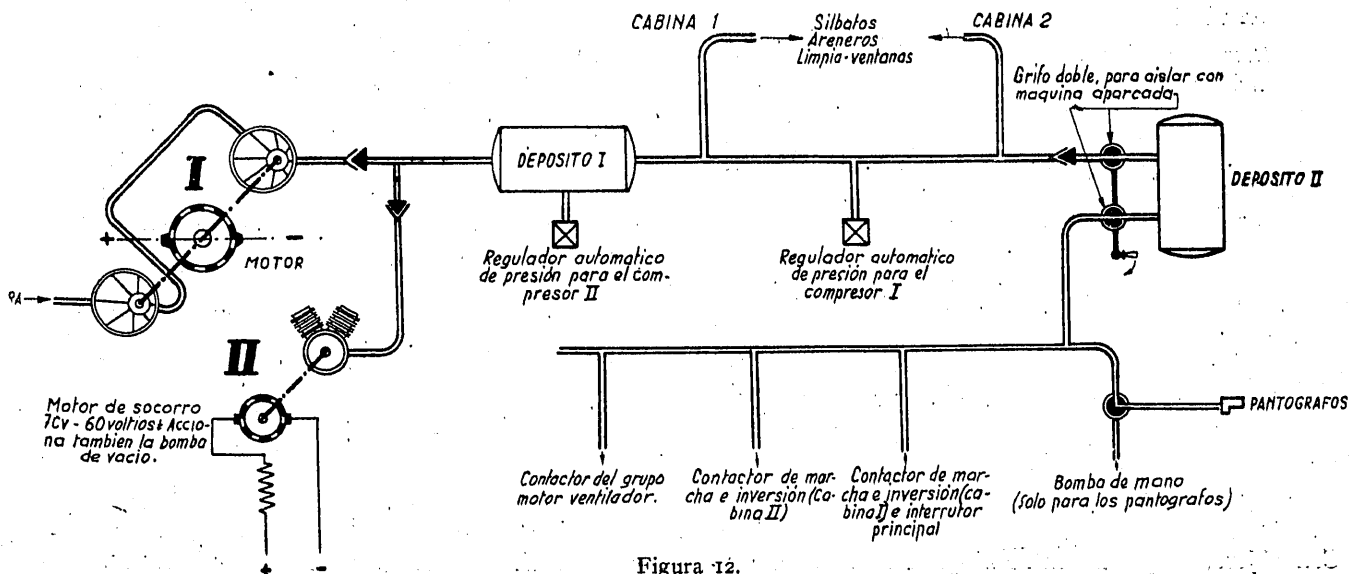


Figura 12.

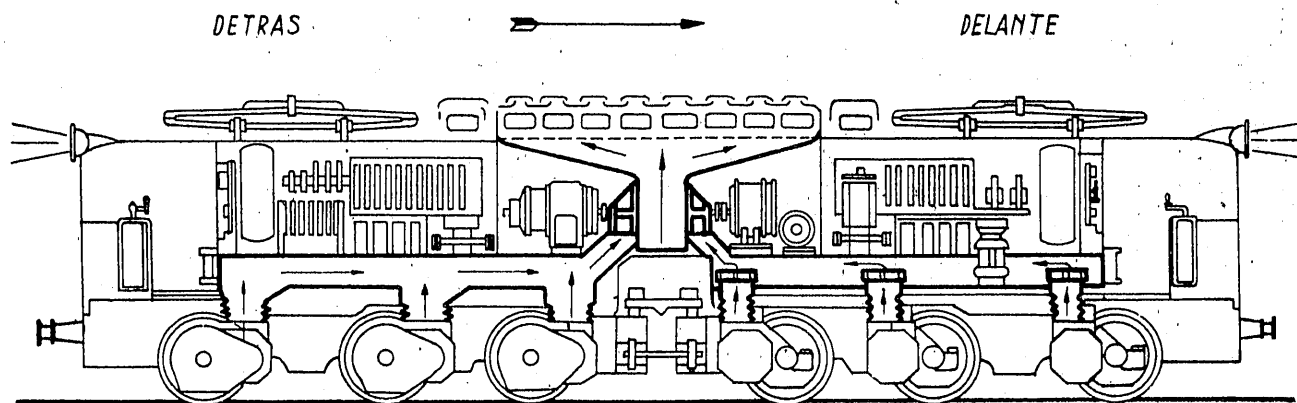


Figura 13.

Freno de urgencia: No funciona ninguna bomba.

En esta última posición, existe un encalavamiento que abre el interruptor principal, impidiendo que, al mismo tiempo que se apriete el freno, funcionen los motores de tracción.

Accesorios.

Entre estos elementos se encuentran los siguientes:

Pantógrafo. — Está accionado por aire comprimido, a la presión normal de 5 a 7 atmósferas, y tiene un sólo frotador en cada pantógrafo.

Merece destacarse que este pantógrafo da una presión prácticamente constante (regulable entre 6 y 14 kilogramos) para cualquier altura a que esté situado, y también que la diferencia máxima para cualquier altura entre la fuerza ascensional del pantógrafo y la que es preciso efectuar para que baje, no sobrepasa el valor de 1,5 Kg.

Tampoco influye en la presión ejercida por el pantógrafo la velocidad del tren, tanto al aire libre como en túneles.

Interruptor principal. — Es de accionamiento electroneumático y tiene dos movimientos. Mediante el primero, se abre un contactor, quedando en serie una resistencia de 0,2 ohmios. Esta resistencia tiene por misión limitar la intensidad, pues aunque se produjese un cortocircuito absoluto, bajo una tensión de 1 500 voltios, se limitaría la intensidad a 7 500 amperios. Inmediatamente se abre otro contactor que corta definitivamente la corriente, y está calculado para una intensidad máxima de 12 000 amperios.

Ventilador. — La ventilación de los seis motores de tracción y las resistencias de arranque, se realiza merced a la acción de un ventilador colocado en la parte central de la máquina, tal como se indica esquemáticamente en la figura 13. El aire es absorbido mediante el ventilador, a través de cada motor, y luego impelido hacia el exterior a través de las resistencias. Con objeto de que no entre ninguna suciedad a los

motores, cada toma de aire tiene su correspondiente filtro de tela metálica.

El motor, de 1 500 voltios, que acciona este ventilador, tiene una potencia de 115 caballos, y debido a la elevada potencia del mismo, se arranca mediante una resistencia en serie, que se elimina, en parte, automáticamente, al cabo de unos segundos de funcionar el motor. El resto de resistencia sigue intercada en serie durante el funcionamiento normal.

El gasto del ventilador es de 600 m.³ por minuto, o sea 100 m.³ por minuto y motor de tracción.

En el mismo eje que el ventilador y el motor que lo acciona, están acopladas:

La generatriz de doble colector, que en funcionamiento de tracción se acoplan en serie ambos colectores, dando energía a 60 voltios para los circuitos auxiliares, y que en recuperación alimenta la excitación de los motores, con una tensión de 30 voltios.

La generatriz de socorro, utilizable en caso de avería de la máquina anterior, para cargar la batería y demás atenciones del circuito a 60 voltios.

Alumbrado. — Cada testero de la locomotora tiene un faro, con lámpara de 300 vatios, y una luz roja de posición. En cada cabina hay una lámpara con una pantalla móvil, que puede disponerse para que no alumbre más que a la mesa de cada cabina, sin deslumbrar al conductor. El resto de la caja se ilumina con seis lámparas de 40 vatios, que están fijas, más varios enchufes, colocados en el interior y exterior de la locomotora.

También tiene placas laterales luminosas, que permiten ver, de noche, el número de la locomotora.

Aparatos indicadores. — Además del silbato, de aire comprimido, que sirve para avisar la presencia de la locomotora, tiene ésta, en su interior, una serie de aparatos que señalan al maquinista el funcionamiento de la locomotora.

Ya se habló de los manómetros y vacuómetros, que son necesarios para conocer las presiones o vacío en las instalaciones correspondientes, y además de ellos

hay los siguientes aparatos eléctricos de indicación:

Del circuito principal. — Voltímetro de línea.

Amperímetro, que indica el consumo total de la locomotora o intensidad recuperada, en este tipo de funcionamiento.

Voltímetro de los motores, tanto para marcha como para recuperación, con varias indicaciones según la posición de su combinador.

Amperímetro de la corriente de excitación de los motores.

Contador de energía consumida y de energía recuperada.

De la instalación a 60 voltios. — Voltímetro de batería.

Amperímetro de batería.

Por último, tiene indicador de velocidad "Teloc", uno en cada cabina, estando dispuesto el de atrás para registrar gráficamente la velocidad, el vacío de la tubería de freno y el sentido de marcha.

Protecciones.

La locomotora tiene una serie de disposiciones que garantizan su funcionamiento, tanto para los aparatos que en conjunto la constituyen, como impidiendo maniobras del maquinista que puedan perjudicar, y también previendo anomalías en la alimentación.

No haremos mención de las protecciones que pudiéramos llamar "funcionales" y que son inherentes a toda instalación eléctrica, y que impiden que el funcionamiento de los circuitos eléctricos se perturbe por el establecimiento fortuito de otros incompatibles con él.

Las protecciones principales que garantizan la seguridad del personal y del manejo de la locomotora, son las siguientes:

Los pantógrafos. — Están enclavados de modo que es preciso tenerlos bajos para abrir las rejillas que limitan los compartimentos laterales de la caja de la locomotora, en los que se hallan situados los contactores. Tampoco puede tenderse la escalera para subir al techo más que con los pantógrafos bajos.

Aparte de estos enclavamientos que protegen al personal, impidiéndole el acceso a zonas con tensión, existen otros en el mando de los pantógrafos cuando los combinadores de régimen o de velocidad no están en posición neutra. Así se evita la puesta en tensión brusca del circuito de tracción, que sería peligrosa si hubiese pocas resistencias en serie. Por el contrario, si derivando corriente de la línea se bajase el pantógrafo, se formaría un arco entre éste y la línea, que sería perjudicial para ambos elementos. El mencionado enclavamiento impide estas maniobras.

Los mandos están enclavados de modo que el com-

binador de régimen sólo puede colocarse en las posiciones de marcha y recuperación cuando el combinador de velocidad está en la muesca *cero*, o sea, sin derivar corriente. De no hacerse así, se establecerían bruscamente intensidades muy grandes.

Otro enclavamiento permite colocar el combinador de régimen en las posiciones de "campo débil", tan sólo cuando el de velocidad está en las últimas posiciones de serie o de paralelo, impidiendo así la maniobra absurda de hacer funcionar los motores con campo débil sin utilizar toda la tensión, por tener resistencias intercaladas en serie.

Tampoco puede actuarse rápidamente sobre el combinador de velocidad, en el sentido de reducir la resistencia. Es preciso, merced a un ingenioso dispositivo, parar en cada una de las muescas de este combinador, impidiendo así que, por una falsa maniobra, se quiten rápidamente resistencias en el circuito principal y circule por los motores una intensidad elevada. Este dispositivo no impide que, al parar, se inserten resistencias y se vuelva a la posición de *cero* mediante un sólo movimiento.

Otro enclavamiento impide arrancar la máquina sin haber puesto en marcha el ventilador, puesto que los motores son adecuados para esta ventilación forzada, pero se deteriorarían si no funcionase. El ventilador y los relés de tensión se colocan en derivación, alimentados por un mismo fusible. Este enclavamiento eléctrico prevé el caso de detención del ventilador con motivo de una avería. En este caso se funde el fusible y, al faltar tensión, funciona el relé de tensión mínima, que actúa abriendo el interruptor principal.

Otro enclavamiento mecánico impide el accionamiento del freno de vacío cuando la locomotora funciona en recuperación, pues si se efectuase tal maniobra, existiría el peligro de bloquear las ruedas, patinando sobre el carril.

Por último, la locomotora tiene las protecciones eléctricas siguientes:

Pararrayos de "resórbita" que protegen la instalación eléctrica de las sobretensiones de origen atmosférico.

Un relé de tensión máxima, tarado para la de 2.000 voltios.

Un ídem íd. mínima, tarado para 900 voltios.

Un ídem de sobrecarga de los motores, que limita la intensidad que puede circular por cada uno, en 1 300 amperios. En el caso de que la locomotora funcione en serie-paralelo, la máxima intensidad admisible es de $2 \cdot 1\,300 = 2\,600$ amperios.

Un relé de sobrecarga montado sobre el interruptor principal, y que sustituye un fusible, difícil de construir para grandes intensidades. Está tarado para 3 000 amperios..