

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS

PUBLICACION TECNICA DEL CUERPO DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

DIRECTOR

D. MANUEL MALUQUER Y SALVADOR

COLABORADORES

LOS INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

SE PUBLICA LOS JUEVES

Dirección y Administración: Plaza de Oriente, 6, primero derecha.

ECHEGARAY

En el segundo aniversario de la muerte de tan ilustre sabio, los Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos dedican cariñoso recuerdo á la memoria del que, con los destellos de su inteligencia, asombró al mundo.

LAS LOCOMOTORAS ELÉCTRICAS

DE LOS

FERROCARRILES AMERICANOS

Antes de describir estas locomotoras expone M. P. Lethéule, en un artículo publicado en *Le Génie Civil*, y que en esta nota resumimos, algunas consideraciones acerca de la tendencia á la unificación en las diferentes ramas de la electricidad; pero al mismo tiempo reconoce la dificultad de llevarla á cabo en lo que se refiere á las locomotoras eléctricas por las diferentes condiciones de las líneas á que se aplican.

Hechas estas indicaciones, pasa á la descripción de las locomotoras.

I. *Locomotoras de 180 toneladas de corriente alterna simple del New-York, New-Haven and Hartford Railroad.*—Después de explicar las condiciones de las redes á que ha de servir esta locomotora, dice el autor que las locomotoras eléctricas empleadas hasta hace poco en el New-York, New-Haven and Hartford Railroad eran de dos modelos poco diferentes, conformándose uno y otro á las condiciones de las redes, y presentando las disposiciones que indica esquemáticamente la figura 1.^a, es decir, teniendo una caja que descansaba sobre cuatro ejes motores encuadrados por dos ejes portadores.

Según este mismo modelo, se habían establecido dos tipos, pesando respectivamente 109 y 120 toneladas, mientras que las nuevas locomotoras pesan 180. Las disposiciones de estas últimas son las que indica la figura 2.^a, es decir, que la caja está soportada por dos grupos idénticamente dispuestos, llevando cada uno tres ejes motores encuadrados por dos ejes portadores. La figura indica las dimensiones generales de la máquina.

La experiencia parece haber sancionado la feliz elección de

las disposiciones dadas á estos dos tipos de locomotoras construidas desde el año 1911, en número de 34, para el servicio de viajeros y de mercancías, porque las disposiciones generales que les fueron dadas en dicha época vuelven á encontrarse íntegramente en los nuevos modelos, salvo algunas excepciones que indica la figura 2.^a, y que muestran que en lugar de repartir la carga sobre cuatro ejes motores y dos portadores, se la reparte

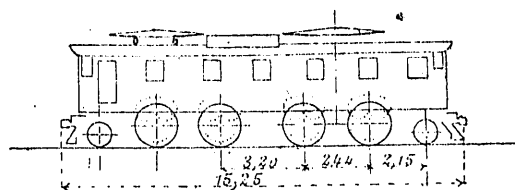


Fig. 1.^a

entre seis motores y cuatro portadores. La corriente alterna simple es la empleada tanto por los equipos antiguos como por los modernos.

Desde el punto de vista eléctrico, los motores están unidos, por tres, en serie, de una manera permanente; están estudiados de manera de presentar las mismas características de velocidad que los motores empleados sobre las locomotoras sin engranajes que estaban antes al servicio de la misma red; siendo así posible utilizar las antiguas locomotoras que habían quedado fuera de uso.

Desde el punto de vista mecánico, los motores están agrupados dos á dos para atacar á cada uno de los ejes motores por

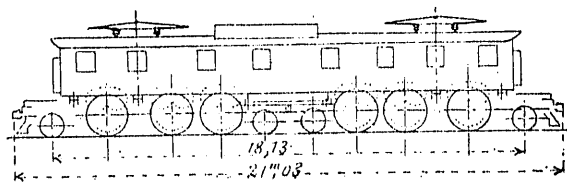


Fig. 2.^a

medio de un árbol hueco que envuelve dicho eje. El árbol hueco está montado sobre el bastidor del *truck*, de manera de dejar libre juego al eje que envuelve y á las ruedas que están acunadas sobre este eje. Lleva una rueda de engranaje con la cual engranan los piñones de los dos motores, suspendidos con ella al bastidor y convenientemente montados sobre el árbol hueco por cojinetes. De este modo, el peso del árbol hueco, de los motores y engranajes, está total y elásticamente suspendido por el intermedio de resortes apropiados que unen este conjunto al bastidor del *truck*, y el único peso no suspendido es el que representa el conjunto del eje y de las ruedas que descansan sobre la vía.

El centro de gravedad de estos equipos está relativamente elevado; se adaptan bien a la vía y ofrecen una gran flexibilidad para el arrastre, dado que para cada una de las ruedas este arrastre se hace por el intermedio de resortes apropiados que constituyen la sola ligazón existente entre los ejes y las ruedas, descansando sobre la vía por una parte y el conjunto de los motores y disposiciones de arrastre elásticamente suspendido al *truck* por otra parte.

La única relación mecánica entre los motores y las ruedas motrices está constituida por seis resortes en hélice del lado de cada rueda motriz, apoyándose estos resortes, por un lado sobre un disco que prolonga el árbol hueco de arrastre y por el otro sobre cada uno de los radios de la rueda motriz de arrastre. Esta disposición ha venido a ser tan corriente en la explotación de la red eléctrica del New-York, New-Haven and Hartford y da tan buenos resultados que se ha adoptado también para los equipos de 180 toneladas.

El pivote de articulación colocado sobre cada *truck* se ha llevado, como se ve en la figura 2.^a, hacia el exterior con relación al eje del *truck* mismo.

El esfuerzo de tracción se transmite de un *truck* al otro, no por el intermedio de la caja del carruaje, sino por una barra de unión que se orienta en el sentido radial. Cada *truck* soporta la caja del carruaje por el intermedio de seis asientos de suspensión elástica por resortes.

La caja es enteramente de acero, la armadura y las riostras del carruaje forman una sola pieza. Es este un sistema de construcción que permite aligerar el peso de cada locomotora en más de 1.500 kilogramos.

Un equipo de una potencia tan elevada como el de las locomotoras de 180 toneladas del New-York, New Haven and Hartford (ó sean 2.000 á 2.550 caballos según los regímenes) exige un enfriamiento tanto más enérgico cuanto que se trata de la corriente alterna simple: los transformadores y los motores son, pues, enérgicamente enfriados por ventilación por medio de ventiladores de gobierno eléctrico, empleándose dos en cada carruaje.

Con el objeto de realizar la calefacción de los trenes á partir de la locomotora, se ha decidido dotar á ésta de un generador de vapor y de un hogar calentado con petróleo, siendo susceptible todo ello de evaporar 2.000 á 2.050 kilogramos de vapor por hora.

Las reservas de agua y de petróleo están contenidas en dos depósitos instalados en cada caja de locomotora, teniendo el depósito de agua una capacidad de cerca de 6.000 litros y el de petróleo una de 1.500 litros, próximamente.

II. *Locomotora de viajeros, de corriente continua de alta tensión, de 266 toneladas, de Chicago, Milwaukee and Saint-Paul Railway.*—Estas locomotoras son de dos clases: las Baldwin-Westinghouse, del tipo de engranajes, y las de la General Electric C., del tipo de gobierno directo.

Uno y otro tipo de tractores están llamados á servir las mismas líneas, efectuando ambos el servicio de viajeros y desarrollando sensiblemente los mismos esfuerzos de tracción.

Prescindiendo, por la falta de datos, de hacer una comparación entre ambas locomotoras, así como de exponer las particularidades de la red, describiremos, como hace el autor, ambas locomotoras.

La caja de la locomotora de 266 toneladas, Baldwin-Westinghouse, tiene una longitud de 23,80 metros, y está soportada por dos bogias del tipo Pacific, cuya característica principal es tener cada una tres ejes motores encuadrados por un lado por un eje portador más pequeño y por el otro por dos ejes portadores de pequeño diámetro.

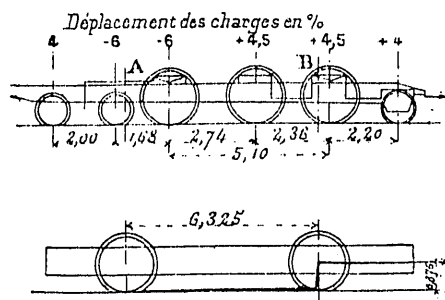
Las ruedas motrices tienen un diámetro de 1,73 metros. La superficie de apoyo de cada *truck*, de eje á eje, de las ruedas motrices, es de 5,10 metros, próximamente.

La superficie de apoyo total, de eje á eje de las ruedas extre-

mas, llega á 24,40 metros y la longitud total entre topes es de 27 metros.

El peso total de cada locomotora es de 266 toneladas, en las cuales el material eléctrico representa 121 toneladas, la parte mecánica 118 y, en fin, los aparatos de calefacción y la reserva de agua 27 toneladas.

Las figuras 3.^a y 4.^a no dan solamente las dimensiones principales de la locomotora, sino que también muestran que el reparto de las cargas entre los diferentes ejes de la máquina sufre durante el desplazamiento una modificación sensible.



Figs. 3.^a y 4.^a

Las figuras 5.^a y 6.^a indican el reparto y alojamiento de los aparatos en la caja de la locomotora.

Se ve que los aparatos de calefacción ocupan una gran parte de la caja del tractor. La parte central de la locomotora les está particularmente afecta, estando colocado el generador de vapor exactamente en medio de la caja y los depósitos de agua y de aceite, parte delante de la caldera y parte detrás, y aun debajo del generador de vapor.

Los reóstatos están colocados cerca del techo del carruaje, en la proximidad de los contactores que gobiernan las diversas combinaciones de marcha del equipo, del lado de la caja afecta á los aparatos de alta tensión. En este lado está también dispuesto un grupo ventilador de motor eléctrico que sirve para el enfriamiento de los motores principales, y en el otro lado está colocado, casi simétricamente con relación al primer grupo, un segundo grupo ventilador afecto al enfriamiento de la otra mitad del equipo. Unas mangas de ventilación recogen el aire enviado por los dos ventiladores y lo distribuyen entre los motores de los dos lados de la locomotora.

Simétricamente á la sección de alta tensión *P* que contiene los contactores *Q* y las resistencias de gobierno *S* de los circuitos, está dispuesto otro compartimiento *P'*, casi enteramente afecto á los aparatos auxiliares de transformación de energía, que suministra corriente bajo diversas formas, á fin de alimentar los circuitos de alumbrado, del compresor de aire y del ventilador, asegurando además la carga de una batería de acumuladores. La necesidad de esta corriente se hará patente cuando hablemos del funcionamiento de la locomotora.

Este funcionamiento está determinado por un combinador *B* de nueve posiciones de marcha, que permite dar al equipo tres velocidades principales, establecidas respectivamente en la relación de 1 á 3, de 2 á 3 y de 3 á 3 con relación á la plena velocidad de marcha. El número de las divisiones del registrador, siendo igual á 9, es suficiente para conseguir, además, un número satisfactorio de velocidades intermedias á las precedentes, y realizar estos regímenes de velocidades de una manera económica y sencilla.

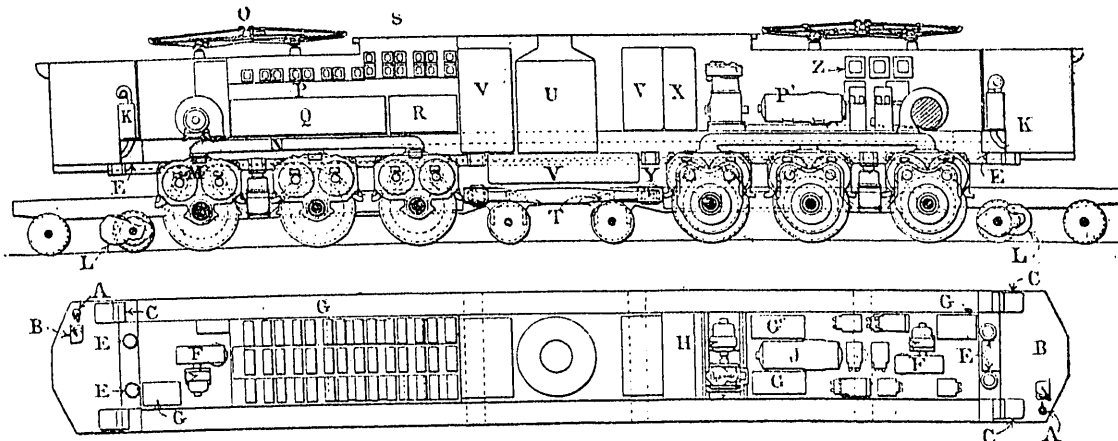
El registrador desempeña el papel del aparato llamado «registrador principal» en todo equipo de unidades múltiples de construcción americana, es decir, que realiza combinaciones en un circuito primario independiente de los circuitos de los motores, y que no gobierna á éstos más que por el intermedio de *relés* *Q* y *R* del género contactores (que son de gobierno electropneumático en el sistema Westinghouse).

Las combinaciones de circuitos se realizan de tal manera que es posible recuperar energía, ya para ejercer sobre los equipos

un simple esfuerzo de enfrenamiento en el descenso de las rampas, ya para asegurar simultáneamente un tal enfrenamiento y un envío de energía, bajo forma útil, á la red de alimentación de las locomotoras. Esto es lo que se puede hacer en el caso de las locomotoras Baldwin-Westinghouse del Chicago, Milwaukee and Saint-Paul Railway, en toda la extensión del margen de ve-

darle la forma de corriente continua á 80 voltios; esta corriente se envía á los circuitos de las lámparas obteniendo el alumbrado de la locomotora y del tren, así como á los circuitos de los ventiladores y compresores de aire y á los circuitos de gobierno de unidades múltiples.

A estos circuitos se enganchan también otros dos manantia-



Figs. 5.^a y 6.^a

A, válvulas de freno; B, registradores principales; C, lugares de las cabinas; D, puerta de cabina; E, arenadoras; F, grupos ventiladores eléctricos; G, trampas de admisión de aire; H, grupo compresor eléctrico; J, grupo motor-generator; L, excitatrices sobre ejes; M, motores principales; N, manga de aire para la refrigeración de los aparatos; O, pantógrafos; P, cabina de alta tensión; P', cabina que contiene los aparatos auxiliares; Q, contactores de rotura doble; R, contactores de rotura simple; S, rejillas de resistencia que sirven para el arranque de los motores de tracción; T, atalaje articulado; U, generador de vapor; V, depósitos de agua; X, depósitos de aceite; Y, pivote; Z, resistencias de regulación.

locidades comprendido entre la velocidad máxima y la de 16 kilómetros por hora.

Cada equipo puede desarrollar, en régimen continuo, una potencia de 3.200 caballos, que corresponde á un esfuerzo de tracción de 24.000 kilogramos, próximamente, á la velocidad de cerca de 40 kilómetros por hora. El esfuerzo máximo de tracción es susceptible de elevarse hasta casi 50.000 kilogramos.

El gobierno de los seis ejes motores se hace todavía por medio de árboles huecos, estando colocados dos motores encima de cada eje motor y engranando sus piñones con la rueda dentada acunada sobre el árbol hueco, como lo indica la figura 7.^a El juego del eje motor en el interior del árbol hueco le deja la fa-

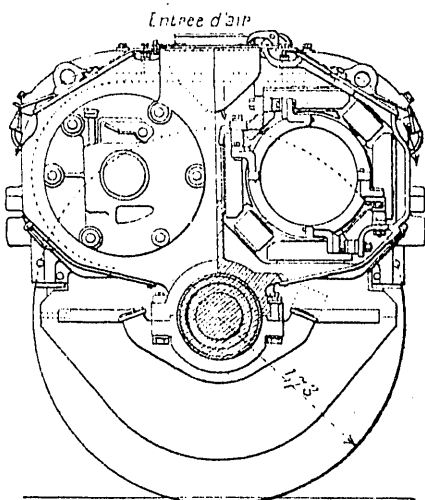


Fig. 7.^a

cultad de separarse de su posición normal en una cantidad equivalente á 30 ó 33 milímetros.

La energía eléctrica se suministra á los motores M por el intermedio de dos tomas de corriente, O del tipo pantógrafo, y bajo la forma de corriente alterna simple á la tensión de 3.000 voltios.

Un grupo convertidor J, compuesto de un motor acoplado á una generatriz, permite tomar de la corriente recibida de los pantógrafos la energía necesaria á los aparatos auxiliares y de

les de corriente que aseguran la alimentación continua de todos los aparatos auxiliares á la tensión de 80 voltios.

Es el primero una batería de acumuladores que el motor-generator señalado anteriormente mantiene en carga tan largo tiempo como está el mismo en funcionamiento.

El otro manantial de que todavía se dispone está constituido por dos excitatrices gobernadas por ejes, y que tienen por misión cada una suministrar la corriente de excitación separada que exigen los motores principales de la locomotora cuando se quiere, siendo suficiente la velocidad y permitiéndolo el perfil, hacer funcionar estos motores en recuperación.

Para mover cada una de estas excitatrices se la acopla por engranajes sobre uno de los ejes de los pequeños trucks portadores que encuadran en cada extremo las bogias de la locomotora, con preferencia sobre el eje de cada truck colocado hacia el interior, como lo indica en L la figura 5.^a

Si se examinan las disposiciones anteriores desde el punto de vista de la seguridad, se observa que ésta se realiza tan completamente como es posible por la existencia de tres manantiales de corriente á 80 voltios, y si se examina, en particular, la seguridad del enfrenamiento, se nota que, en los medios de abastecer los depósitos de aire comprimido necesarios para el funcionamiento de los frenos, se dispone de las más amplias garantías posibles.

Sin detenernos en exponer las ventajas que, según los constructores, tienen esta clase de máquinas, pasaremos á describir otra locomotora.

III. *Locomotora de 240 toneladas, de corriente continua de alta tensión del Chicago, Milwaukee and Saint-Paul Railway.*— Este tipo de locomotora en construcción tiene 14 ejes, de los que 2 solamente son portadores, siendo los otros 12 motores (fig. 8.^a). Para cada uno de éstos, el inducido del motor está montado directamente y constituye, con el eje y las ruedas, las únicas masas no suspendidas de la locomotora. Estas masas son, por otra parte, muy reducidas con relación á las que cargan los ejes motores de las locomotoras de engranajes empleadas hasta aquí en la misma red: la proporción es casi de 1 á 2, puesto que la suma de las masas es de 7.600 kilogramos en las locomotoras de engranajes y de 4.500 solamente en las nuevas máquinas.

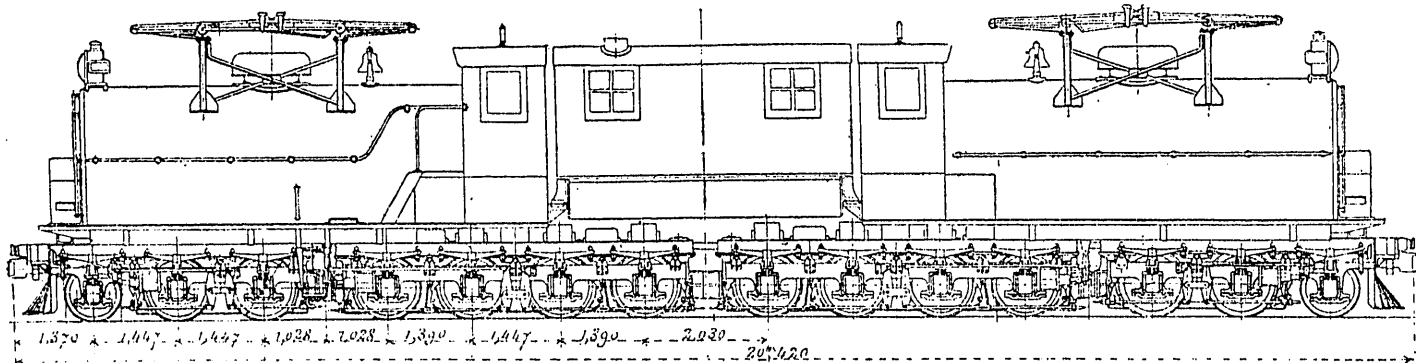
El sistema inductor está suspendido elásticamente al truck y

el perfil de las piezas polares que encuadran al inducido está establecido de tal modo que este inducido tiene la facultad de moverse libremente entre ellas en el sentido vertical.

El empleo de 12 motores permite obtener una gran elasticidad de marcha, al mismo tiempo que una gran economía. Debiendo funcionar á la tensión de abastecimiento de 3.000 voltios,

hace dos años que se vuelve á encontrar el principio aplicado tan ampliamente á los nuevos equipos como á los antiguos.

La conclusión más clara que se puede sacar de un estudio comparativo de los tractores con engranajes ó sin ellos se resume en las curvas características de rendimiento (fig. 9.^a). Estas curvas dan en función de los valores de la velocidad (llevados

Fig. 8.^a

los motores están agrupados por lo menos por tres en serie, de modo que cada colector está sometido, al régimen de plena velocidad de los motores, á una tensión individual de 1.000 voltios; pero la regulación de que se dispone de la facultad de poner en serie los motores por cuatro, por seis ó por doce, realizando así velocidades reducidas y asegurando una reducción proporcional de las tensiones aplicadas á los colectores.

Remolcando un tren de 960 toneladas sobre una rampa de un 2 por 100, y á la velocidad de 40 kilómetros por hora, la locomotora desarrolla un esfuerzo de más de 25.000 kilogramos en la llanta de las ruedas motrices, y utiliza de este modo un peso adherente que representa casi el 12 por 100 del peso que gravita sobre las ruedas motrices.

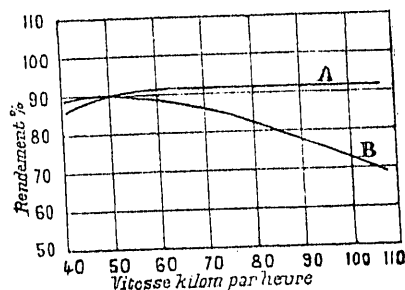
Queda, pues, un margen apreciable para aumentar todavía el peso del tren sin apenas sacrificar nada de su velocidad, puesto que no están en su límite de capacidad en las condiciones de marcha indicadas, mientras que el coeficiente de adherencia no ha alcanzado tampoco su límite.

De modo que en lugar del tren de 960 toneladas compuesto de 12 carruajes, la locomotora puede remolcar un tren más pesado, compuesto de 13, y si es necesario de 14 vagones.

La potencia nominal de la locomotora para una hora de marcha es de 3.240 caballos; su potencia nominal para una marcha continua es todavía de 2.760 caballos. El esfuerzo de tracción para una hora tiene un valor en la llanta de 21.900 kilogramos; el esfuerzo de tracción continuo en la llanta es de 19.100 kilogramos.

El peso total sobre las ruedas motrices se eleva á casi 218 toneladas.

Desde el punto de vista eléctrico, la locomotora sin engrana-

Fig. 9.^a

jes se gobierna casi lo mismo que las locomotoras con engranajes suministrados precedentemente por la General Electric C.^o á la misma red. La regeneración de corriente al descenso de las rampas ha dado entre otros tan satisfactorios resultados desde

sobre las abscisas en kilómetros por hora) los valores de rendimiento que se obtendrían con una locomotora con engranajes (curva B), y la que se obtendría con una locomotora de gobierno directo (curva A); se ve por el examen de esta figura la ventaja económica que presenta la supresión de los engranajes, porque á partir de la velocidad de 48 kilómetros por hora, próximamente, los rendimientos acusados por la característica A se mantienen por debajo del 90 por 100, mientras que la curva B acusa, á partir del mismo punto, una caída sin interrupción que

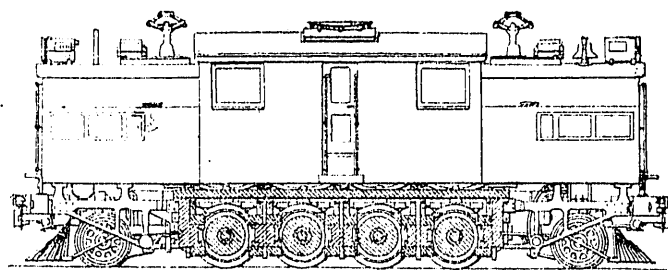


Fig. 10.

reduce el rendimiento en más de un 20 por 100 con relación á su valor inicial, de modo que el rendimiento cae del 90 por 100 al 70 por 100 de una manera muy rápida.

IV. Locomotora de 135 toneladas, de corriente continua de baja tensión, del New-York Central Railroad.—Diremos, como el

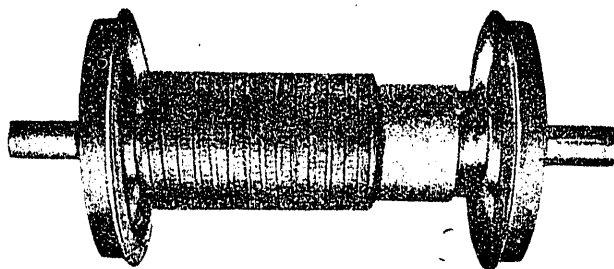


Fig. 11.

autor, pocas palabras acerca de esta locomotora que no presenta relativamente novedad por haber ya nueve del mismo tipo en servicio.

La figura 10 representa á esta locomotora en la que cada uno de los ocho ejes motores lleva directamente el inducido de un motor de 325 caballos (fig. 11).

El peso total de cada locomotora es de 134 toneladas y el esfuerzo que desarrolla puede llegar útilmente á 30 toneladas con un coeficiente de adherencia de 25 por 100. La locomotora pue-

de remolcar un tren de 1.200 toneladas á la velocidad de 96 kilómetros por hora, y con trenes más ligeros circulando por terreno horizontal puede alcanzar hasta 120 kilómetros por hora.

Por término medio, la velocidad no excede el valor máximo de 91 á 92 kilómetros por hora, lo que es suficiente para realizar la economía muy marcada que acusa la curva *A* de la figura 9.^a, con relación á la curva *B* en los regímenes elevados; la cifra que se da para el consumo de energía es un poco superior á 13 vatios-hora por tonelada-kilómetro.

En cuanto á los gastos de entretenimiento son excepcionalmente reducidos, puesto que sólo son de 3,5 céntimos por milla para el último ejercicio anual (ó sea un poco más de 10 céntimos por kilómetro por tractor).

Cada locomotora pasa á la inspección ó al entretenimiento después de un recorrido de 5.000 kilómetros, próximamente, y la mayor parte de las unidades han totalizado ya cada uno de los recorridos medios superiores á 50.000 kilómetros, á la tasa media de 180 á 200 kilómetros por día.

Los bronce de aluminio

PROPIEDADES, FABRICACIÓN Y UTILIZACIÓN INDUSTRIAL

POR

JEAN ESCARD

Ingeniero civil, laureado por el Instituto.

Los bronce de aluminio poseen un conjunto de propiedades físicas, químicas y mecánicas, que en un gran número de casos son susceptibles de sustituir al cobre, al níquel y á los bronce ordinarios. Su poco precio y su fácil conservación les reservan en la industria un gran número de empleos. El estudio del Sr. J. Escard hace conocer las propiedades de estas aleaciones, su composición y las aplicaciones que actualmente tienen ó de las que son susceptibles.

El aluminio forma con el cobre una serie de aleaciones importantes, de las que la mayoría han recibido aplicaciones industriales de primer orden. Se las conoce más especialmente bajo el nombre de *bronce de aluminio*. Resultan de la unión sencilla de ambos metales y no deben confundirse con los *bronce al aluminio*, aleaciones que resultan de la adición de algunas centésimas de aluminio á los bronce ordinarios (aleaciones cobre-estaño). Entre estas dos categorías muy distintas, se halla comprendido un gran número de otros compuestos más ó menos complejos á los que se puede denominar *bronce de aluminio complejos* y que resultan de la adición de distintos metales á los bronce ordinarios de aluminio.

I.—Bronce ordinarios de aluminio.

Los bronce de aluminio se componen de siete constituyentes principales, entre los que se hallan las combinaciones definidas Al^2Cu , AlCu , AlCu^3 y AlCu^4 . La existencia de los tres primeros constituyentes fué ya señalada en 1895 por H. Le Chatelier, á continuación de estudios micrográficos relativos á las aleaciones de cobre y de aluminio.

En 1907, Carpenter y Edwards indicaron el compuesto AlCu^4 , y el mismo año, Pouschine, al estudiar la fuerza electromotriz de estas aleaciones, ha confirmado la existencia del AlCu . La presencia y la mayor ó menor abundancia de estos distintos constituyentes dependen del tanto por ciento de alumi-

nio que contengan las aleaciones cobre-aluminio. Influyen igualmente los tratamientos térmicos.

Propiedades.—La principal característica física de los bronce de aluminio es su precioso *color oro*. La aleación al 4 por 100 de aluminio posee el tono del oro de 14 quilates, mientras que la del 5 por 100 posee el del oro de 18 quilates, es decir, es ligeramente verde. Este tono se conserva hasta el 14 por 100 de aluminio. Con mayores tantos por ciento, toma un tono grisáceo ó blanco de plata; el cambio de coloración corresponde precisamente á la desaparición de constituyentes definidos.

La *densidad* es naturalmente tanto más elevada cuanto que el tanto por ciento de aluminio es más débil. Resulta muy interesante la curva representativa de su variación, porque pone claramente en evidencia ciertos constituyentes, especialmente los AlCu^3 y AlCu : existen en ella, en efecto, dos puntos de inflexión que corresponden á cantidades de aluminio próximas al 13 y al 30 por 100 á las que corresponden estos compuestos.

Igualmente resulta en la curva de *fusibilidad*. Á cada fractura corresponde un constituyente. Confirma, además, de un modo que llama particularmente la atención esta ley de la fusión de las aleaciones: que una aleación es á veces más fusible que el más fusible de los metales que la componen.

Este es el caso de los bronce con el 40 y el 95 por 100 de aluminio que funden á menos de 657 grados, punto de fusión del aluminio puro.

Los bronce de aluminio, aunque fácilmente fusibles, presentan, sin embargo, ciertas dificultades cuando se les emplea para el vaciado; se señalan por una fuerte contracción al enfriamiento. Por el contrario, en el estado líquido llenan los moldes más delicados, penetrando fácilmente en las más finas cavidades, conduciéndose en esta forma casi tan bien como los bronce para estatuas.

Desde el punto de vista de la resistividad eléctrica se comprueban los hechos siguientes:

1.^o Crece con el contenido de aluminio hasta el 7 $\frac{1}{2}$ por 100 de este metal, con cuya aleación se alcanza el máximo; después decrece. Con la aleación del 94 por 100 se aproxima mucho á la del metal puro.

2.^o El coeficiente de temperatura principal disminuye cuando el contenido de aluminio aumenta hasta el 10 por 100. Con el 94 por 100 es aproximadamente el del aluminio puro.

3.^o La adición al cobre de pequeñas cantidades de aluminio aumenta muy sensiblemente la resistividad de este metal; por el contrario, la adición de pequeñas cantidades de cobre al aluminio, apenas si modifica la resistividad de este último. Es preciso, sin duda, atribuir estas irregularidades aparentes á la presencia de los constituyentes en la aleación con tantos por cientos definidos del uno ó del otro elemento.

Por otra parte, según el Sr. Pechoux, los resultados obtenidos con bronce de aluminio, con cantidades de éste, variadas, se indican en el cuadro I. La resistividad ρ_t se expresa en él en micromios-centímetros.

Cuadro I.

Tanto por ciento.	VALOR DE ρ_t
3	$\rho_t = 8,26 (1 + 0,00102 t + 0,000003 t^2)$
5	10,21 $(1 + 0,00070 t + 0,000002 t^2)$
6	11,62 $(1 + 0,00055 t + 0,000002 t^2)$
7,5	13,62 $(1 + 0,00036 t + 0,000001 t^2)$
10	12,61 $(1 + 0,00032 t + 0,000002 t^2)$
94	3,10 $(1 + 0,00038 t + 0,000003 t^2)$