

REVISTA EXTRANJERA

Sistemas de alumbrado eléctrico en los trenes.

La Industrie Electrique, en sus números del 10 y 25 de Febrero, publica un artículo muy documentado en el que se resume una Memoria dirigida por M. Fergusson á la Institution of Electrical Engineers. En este estudio de recapitulación se propone el autor discutir los diversos aspectos del problema desde el punto de vista de la explotación de los ferrocarriles, después de indicar brevemente los métodos de regulación empleados de ordinario, á fin de describir algunos de los sistemas más interesantes y más típicos, tales como los Stone, de la Leeds Forge C.^o, Mather and Platt, Tudor Accumulator C.^o, Silvertown, Brown-Boveri y Dalziel.

Las locomotoras eléctricas de los ferrocarriles suecos.

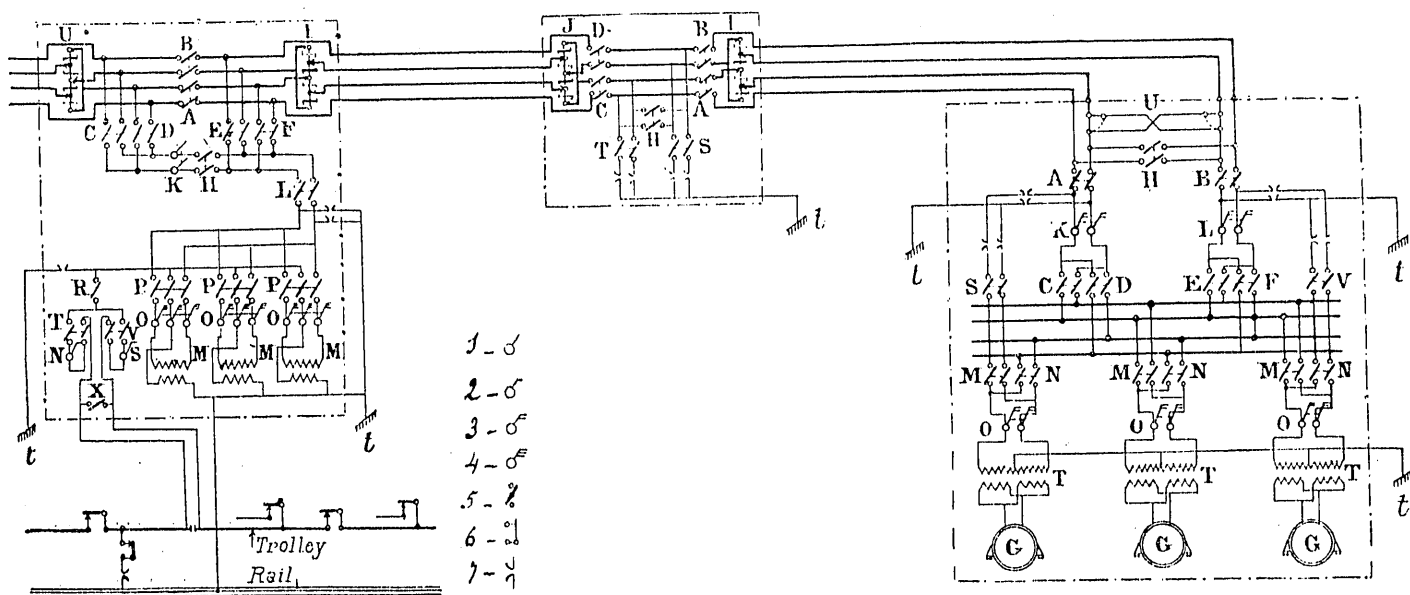
Ya nos hemos ocupado en esta REVISTA de la electrificación de los ferrocarriles suecos, llevada á cabo con el principal objeto de facilitar la tracción de los trenes pesados de minerales de hierro de la región de Gellivara y de Jukkasjoro, donde el precio del carbón es muy elevado. También hemos dado á conocer recientemente á nuestros lectores la fábrica hidroeléctrica de

La corriente se produce á la tensión de 4.000 voltios y á la frecuencia de 15 períodos. A cada alternador corresponden dos transformadores que elevan la tensión á 80.000 voltios; están acoplados en paralelo en la baja tensión y en serie en la alta tensión; estos aparatos son del tipo usual de baño de aceite y de enfriamiento por agua.

La corriente se transforma hasta la vía férrea electrificada por una línea de transporte de fuerza de alta tensión, de 240 kilómetros de longitud, que lleva dos líneas de conductores, propiamente dichas y que es la más larga transmisión de fuerza eléctrica de Suecia.

A lo largo de la vía férrea se encuentran tres subestaciones, abastecidas por *feeders* y destinadas á reducir las pérdidas de carga en el trole.

El diagrama de la figura 1.^a representa el agrupamiento de los aparatos en la fábrica de Porjus (extremo derecho de la figura), en la estación de Kiruna (extremo izquierdo) en donde comienza la sección electrificada, y en una de las tres subestaciones de Knosakabbo (centro de la figura), Risbäck y Lappberg, establecidas sobre la línea de transporte de fuerza. Los tres generadores *G* están unidos á los transformadores *T*, estando puesto á tierra el punto central de los devanados de alta tensión. En los terminales de los transformadores se encuentran unos inte-

Fig. 1.^a

- 1—Interruptores de aceite, no automáticos.
- 2—Interruptores de aceite, automáticos, de máxima.
- 3—Interruptores de aceite, automáticos, de máxima y mínima, de acción diferida.
- 5—Cortacircuitos.
- 6—Interruptores de sección.
- 7—Pararrayos.

Porjus, que es la que suministra la corriente á estos ferrocarriles, y vamos ahora á describir las locomotoras construidas para esta línea, y que utilizan corriente monofásica á 15.000 voltios y 15 períodos, valiéndonos del artículo que, tomando datos del *Engineering*, publica M. P. C. en *Le Génie Civil* del 4 de Marzo.

Antes de entrar en la descripción de las locomotoras, vamos á ocuparnos, siguiendo al autor citado, de la distribución de la corriente. Como ya hemos dicho, ésta se produce en la fábrica de Porjus por tres alternadores movidos por unas turbinas de 12.500 caballos cada una, girando á razón de 225 vueltas por minuto, sirviendo uno de los grupos de reserva.

ruptores de aceite *O*, automáticos, de máxima y de acción retardada.

A continuación se encuentran los interruptores ordinarios *M* y *N* que, maniobrados por los interruptores *C*, *D*, *B*, *H*, permiten intercalar indistintamente los transformadores en una ó en otra de las líneas. Los aparatos están unidos por los interruptores *S* y *V* á pararrayos y á limitadores de tensión, puestos á tierra en *t*. Los interruptores *K* y *L*, análogos á los interruptores de aceite *O*, gobiernan con los interruptores no automáticos *A* y *B* la admisión de la corriente por las líneas de transporte de fuerza, figuradas en la parte superior del diagrama.

En las subestaciones, tales como la de Knosakabbo, se encuentran unos interruptores *A, B, C, D*, unos inversores y *I* y *J*, y unos pararrayos y limitadores de corriente que se enganchan con ayuda de los interruptores *T, H* y *S*, de aceite, no automáticos. Se puede así poner con facilidad fuera de circuito á una cualquiera de las secciones de cada una de las dos líneas de transporte de fuerza.

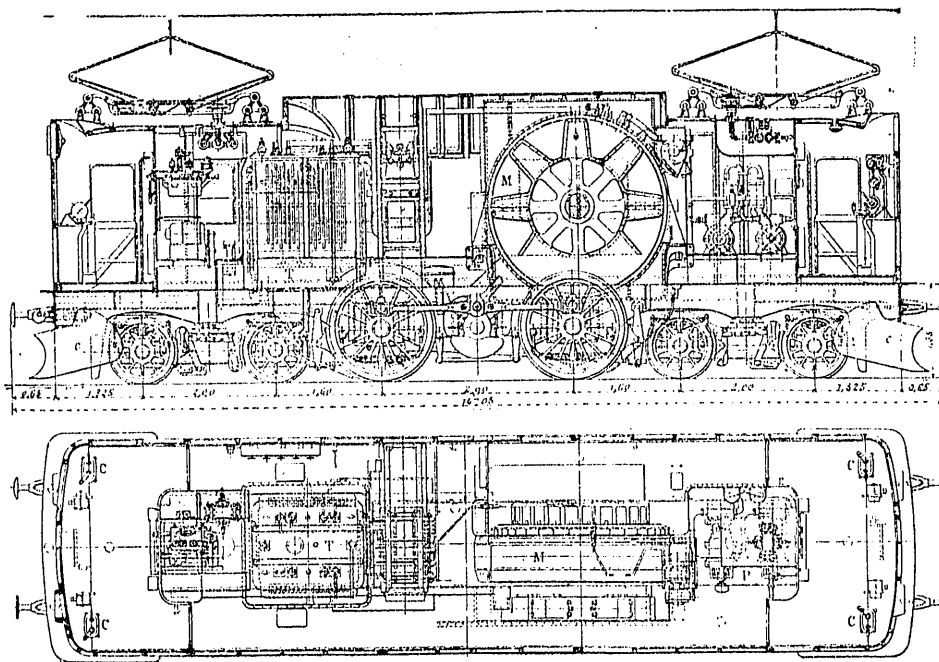
La estación de Kiruna, origen de la línea electrificada, comprende, en primer lugar, un equipo análogo al de las subestaciones, pero en el cual se encuentran en *K* dos interruptores automáticos en aceite, de máxima, y otra serie de interruptores agrupados en *CD* y *EF*. Contiene en seguida los aparatos de transformación que bajan la tensión hasta 15.000 voltios, que es el voltaje empleado para la tracción; éstos son los tres transformadores *M*, de 2.700 kilovoltamperios cada uno, gobernados por interruptores *O*, de máxima. La fase enviada al hilo de trole

namiento de estas locomotoras se han deducido útiles observaciones.

El tráfico actual se compone casi exclusivamente de trenes de minerales de 40 vagones, que van de Kionna hacia Riksgränsen y vuelven vacíos en otra dirección; están remolcados por dos locomotoras. No hay en la actualidad más que un tren de viajeros por día en cada dirección.

Las locomotoras de los trenes de viajeros se han constituido de manera de poder remolcar un tren de viajeros de 200 toneladas de Kiruna á Riksgränsen, ó sea 130 kilómetros, proximate, en dos horas y quince minutos. La velocidad en terreno horizontal puede llegar á 100 kilómetros por hora y, en rampa de 1 por 100, á 50 kilómetros por hora. El consumo de energía no debe exceder, por término medio, de 31,5 vatios por tonelada-kilómetro.

Las locomotoras (figuras 2.^a y 3.^a) son del tipo 4-4-4 con ca-



Figs. 2.^a y 3.^a

pasa por los interruptores *R, T, N* y *R, V, S*, que gobiernan la admisión de la corriente en dos secciones distintas de la línea. Los interruptores *N* y *S* son automáticos, de máxima. En fin, las dos secciones de la línea pueden acoplarse por medio del interruptor *X*.

Otras tres subestaciones de transformación están instaladas á lo largo de la línea, en Torneträsk, Abiska y Vassejaure. La descripción de estas estaciones y de la línea, de suspensión catenaria, forma parte de un estudio sobre la electrificación de los ferrocarriles suecos, publicado en el *Engineering*.

Después de estos preliminares, pasa el autor del artículo que extractamos á describir las locomotoras eléctricas, y dice que se han estudiado diferentes tipos para la tracción de los trenes de viajeros y para la de los trenes de mercancías. Las locomotoras de viajeros se han construido por la Swedish general Electric Company, de Västerås, y las de mercancías por esta Sociedad y por la Casa Siemens-Schuckert.

Las características de estas máquinas se han determinado después de largos estudios; en efecto, desde 1905, dos locomotoras y dos automotoras eléctricas se han sujetado á experimentos en la línea de Tomtebodá á Värtan, cerca de Stokolmo; estas máquinas utilizaban corriente monofásica á 20 000 voltios y 25 períodos.

La locomotora, de tres ejes motores, se ponía en movimiento por medio de tres motores de 110 caballos cada uno, del tipo serie compensado, abastecidos con corriente á 320 voltios, procedente de un transformador llevado por la máquina. Del funcio-

setas de gobierno delante y detrás y la maquinaria en medio, y se han estudiado para producir fácilmente grandes velocidades. Las principales dimensiones son las siguientes:

Longitud total, metros.....	14,050
Diámetro de las ruedas motoras, ídem.....	1,575
Diámetro de las ruedas portadoras, ídem.....	0,970
Radio de las manivelas, ídem.....	0,300
Peso total, toneladas.....	90,000
Peso de la parte mecánica, ídem.....	54,000
Peso de la parte eléctrica, ídem.....	36,000
Peso del transformador, ídem.....	12,000
Peso sobre las ruedas motoras, ídem.....	33,400
Peso sobre las bogías, ídem.....	56,600
Potencia normal, caballos.....	850

Los largueros están reunidos por fuertes traviesas y por una plancha de palastro que soportan á los diferentes aparatos. El movimiento del motor se transmite por una biela á un balancín que reúne los botones de manivelas de los dos ejes motores. Estos dos ejes, colocados en medio del bastidor, soportan el peso del motor y del transformador, en tanto que las dos bogías soportan, principalmente, el peso de las casetas de maniobra.

El motor *M* es del tipo serie compensado, de 24 polos, y está abastecido de corriente á 200 voltios por el transformador, y gira á razón de 190 vueltas por minuto. El devanado del rotor está acoplado en paralelo. El árbol lleva, del lado del conmutador, un ventilador que sirve para el enfriamiento, aspirando el aire

exterior para expusarlo contra los devanados. El rendimiento del motor á plena carga es de 91 por 100, y la potencia media durante un viaje completo con un tren de 200 toneladas es de 850 caballos.

Se toma la corriente de la línea por dos arcos de pantógrafo, unidos eléctricamente. El transformador *T* está dispuesto para poder obtener veinticuatro velocidades diferentes. Es de baño de aceite y de enfriamiento por circulación de aire, y está colocado de manera que se le pueda hacer descender con facilidad bajo la locomora. Su potencia normal corresponde, próximamente, á 750 kilovoltamperios y, á esta carga, con $\cos \varphi = 0,8$ el rendimiento llega á 97,5 por 100. La maniobra puede gobernarse indiferentemente desde las dos casetas colocadas en los dos extremos de la máquina.

Los frenos son del sistema por vacío; la instalación de enfrenamiento comprende dos bombas instaladas en *P*: una, que gira á gran velocidad, funciona intermitente, y sirve para hacer el vacío en la tubería, mientras que la otra, que está girando siempre á pequeña velocidad, sirve para compensar las fugas; la primera absorbe 8 caballos y la segunda 3 solamente; el vacío producido es de 52 centímetros.

Un compresor de aire de 4,5 caballos suministra el aire comprimido necesario para el gobierno de los interruptores y de los otros aparatos neumáticos. Estos diversos aparatos están contenidos en un bastidor vertical colocado detrás del transformador. En cada caseta se encuentran dos registros de maniobra *C*. En la parte anterior y en la posterior se hallan unos expulsa-nieves *c*.

Las locomotoras de los trenes de mercancías están destinadas á la tracción de trenes de minerales muy pesados, y están constituidas de manera que dos locomotoras juntas puedan remolcar un tren de 1.855 toneladas á la velocidad máxima de 50 kilómetros por hora, y á la de 45 kilómetros en la misma unidad de tiempo en las rampas de 1 por 100; en estas condiciones, el trayecto de Kiruna á Riksgränsen debe recorrerse en tres horas, veinte minutos, y el trayecto de retorno debe poder efectuarse con una velocidad por lo menos de 40 kilómetros por hora en rampas de 1 por 100, remolcando una sola locomotora los vagones descargados, ó sea 455 toneladas, girando la otra locomotora en vacío. Las locomotoras se han construido, sin embargo, para poder alcanzar una velocidad máxima de 60 kilómetros por hora. En fin, el consumo de energía no debe exceder de 22,6 vatios-hora por tonelada-kilómetro.

Para obtener una potencia suficiente, se ha constituido una máquina doble, compuesta en realidad de dos locomotoras idénticas, acopladas; cada mitad de la locomotora lleva tres ejes acoplados motores y un eje portador, el conjunto es, pues, del tipo 2-6-6-2. En cada locomotora que forma la mitad del grupo se halla un motor, un transformador, los aparatos correspondientes colocados en una caja y una caseta de maniobra en la parte anterior.

Las dimensiones principales de estas locomotoras son las siguientes:

Longitud total, metros.....	18,600
Diámetro de las ruedas motoras, ídem.....	1,100
Diámetro de las ruedas portadoras, ídem.....	0,750
Radio de las manivelas, ídem.....	0,250
Peso total de la locomotora, toneladas.....	136,000
Peso adherente, ídem.....	104,000
Peso de la parte mecánica, ídem.....	76,000
Peso de la parte eléctrica, ídem.....	60,000
Peso del transformador, ídem.....	10,000
Potencia total, caballos.....	800

El bastidor de la locomotora es muy fuerte. El sistema de enfrenamiento es doble, automático y á mano; es del sistema de la New-York Air-Brake Company. Se suministra el aire comprimido, á cada mitad de la locomotora, por un compresor eléctrico de 10 caballos, que provee también de aire comprimido á las aradoras, los silbatos y los aparatos de gobierno neumático.

La corriente de alta tensión, recogida por arcos de pantógrafo unidos eléctricamente entre sí, pasa en cada mitad de la locomotora por un interruptor de máxima, de gobierno neumático, después llega al transformador. Éste, de enfriamiento por aceite, está dispuesto para producir veinte voltajes diferentes en la baja tensión, para facilitar el arranque y la marcha á velocidades variables. A la carga de 440 kilovoltamperios, el rendimiento de cada transformador es de 96 por 100, pero cada aparato puede soportar una carga de 550 kilovoltamperios.

Los motores de tracción son también motores-serie compensados, con polos auxiliares, de 24 polos, funcionando bajo una tensión media de 200 voltios, á la velocidad normal de 190 vueltas por minuto, y pudiendo alcanzar un maximum de 300 vueltas; la intensidad absorbida por cada motor es, por término medio, de 3.000 amperios, pero puede llegar á 4.000 amperios en el arranque. El stator está calibrado á un diámetro interior de 2 metros y el conmutador á 1,6 metros de diámetro. Á la potencia de 400 caballos, el rendimiento de cada motor es de 90 por 100. La carga media total durante un viaje se eleva á 650 caballos para los dos motores. El enfriamiento de éstos se consigue por una ventilación artificial, producida para cada uno de ellos por un ventilador eléctrico de 7 caballos, que envía el aire á la presión de 70 milímetros de agua en la envolvente que rodea al motor.

Sobre el motor está colocado un registrador-inversor de gobierno neumático. Cada una de las casetas de gobierno contiene dos registradores de maniobra equipados del modo corriente. Dada la importante caída de voltaje que se produce de un extremo al otro de la línea, y que puede llegar á un 30 por 100, el registrador lleva un gran número de teclas, lo que facilita en todos los casos el arranque de los trenes pesados ó ligeros. Una caja de acoplamiento permite la tracción de varias locomotoras, haciéndose el gobierno desde una sola caseta. En cada una de las dos casetas se hallan dos registros.

Como en el arranque llega la intensidad absorbida á 4.000 amperios, el esfuerzo de tracción viene á ser de 25 toneladas. Al principio se realizaba la doble tracción colocando una locomotora delante y otra detrás, pero, en estas condiciones, se producía en el arranque, y aun en marcha, oscilaciones y sacudidas que causaban algunas veces la rotura de los enganches. Para remediar este inconveniente, se ha intercalado la segunda locomotora en el tren, produciéndose el arranque con una sola locomotora, y para las paradas se frena progresivamente, empezando por los carruajes posteriores, para frenar después los anteriores. De este modo la tracción ha funcionado con mucha regularidad.

Termina, en fin, el autor haciendo algunas consideraciones sobre los resultados de la explotación, diciendo á este propósito que la Administración de los ferrocarriles suecos ha presentado recientemente al Gobierno una Memoria exponiendo los resultados obtenidos hasta aquí en el trozo electrificado y pidiendo que se extienda la electrificación á toda la línea. Esta Memoria indica que los resultados que se esperaban de la electrificación han sido conseguidos ampliamente y algunas veces superados. El único inconveniente que se hace constar consiste en las perturbaciones que se producen en las líneas telefónicas y telegráficas paralelas á la vía, perturbaciones que, por otra parte, se han reducido parcialmente.

La tracción eléctrica, que se comenzó á título de ensayos durante el año 1914, funciona normalmente desde el 19 de Enero de 1915, y asegura casi exclusivamente el tráfico, aunque no han sido todavía entregadas todas las locomotoras. Éstas serán en número de 15, destinándose dos de ellas para los trenes expresos y las restantes para los de mercancías.

La sección cuya electrificación se realizará, sin duda, muy pronto es la de Kiruna á Svartön, en la cual el tráfico, principalmente el transporte de minerales de hierro, ha aumentado sensiblemente.