

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.

Los ferrocarriles eléctricos en Alemania.

El primer ferrocarril eléctrico lo presentó Werner von Siemens en la Exposición Industrial de Berlín de 1869. Hablando con propiedad, no era más que un juguete, pero, sin embargo, demostróse con él claramente la posibilidad de su construcción en gran escala.

Esta idea se aplicó primero á los tranvías, habiendo destruido este sistema todos los demás, en el transcurso de muy pocos años. Este mismo principio se aplicó después para construir ferrocarriles eléctricos urbanos de gran velocidad, ferrocarriles elevados, subterráneos y suspendidos, así como otros que ponían en comunicación á varias ciudades. A pesar de todo, la explotación de los ferrocarriles eléctricos se encuentra aún en sus primeros pasos.

Casi todos los grandes ferrocarriles del mundo han reconocido la importancia de la tracción eléctrica, como lo demuestra el hecho de que el VII Congreso Internacional, celebrado en Berna el año 1910, se ocupó detenidamente de este asunto.

En el desarrollo de la tracción eléctrica de los trenes desempeñan los ferrocarriles alemanes un papel muy importante, y especialmente los del Estado de Prusia, como se podrá apreciar en el curso de esta descripción.

Ferrocarriles eléctricos pertenecientes á la Comunidad ferroviaria de Prusia y Hesse.—La introducción del accionamiento eléctrico de los ferrocarriles, en los pertenecientes á los Estados de Prusia y Hesse, se halla descrita en la Memoria en que el Gobierno de Prusia fundamentaba la necesidad de conceder la subvención precisa para que se construyera en 1909 el primer ferrocarril eléctrico de Dessau á Bitterfeld.

Esa Memoria dice lo siguiente:

Hasta ahora se ha limitado en general el empleo de los ferrocarriles eléctricos al tráfico de viajeros, con velocidades y pesos moderados, teniendo un desarrollo reducido de líneas, y en particular á los ferrocarriles urbanos, de los suburbios é interurbanos, puesto que no se podía utilizar más que corriente continua de baja tensión. Para los viajes largos y para el tráfico de mercancías, resultaba este sistema demasiado costoso, pero el empleo de la tracción eléctrica se ha extendido mucho con la aplicación de la corriente trifásica. Con ella ha sido posible comunicar la potencia eléctrica á alta tensión y alcanzar, por consiguiente, una forma de accionamiento imposible de conseguir con la corriente continua. Pero aun prescindiendo de las grandes dificultades que supone la instalación de una línea doble de tra-

bajo, este servicio sólo es económico á ciertas velocidades determinadas, cosa que limita mucho su empleo.

En los últimos años, á excitaciones y con la colaboración permanente de la Administración de los ferrocarriles del Estado de Prusia y Hesse, se ha desarrollado una nueva forma de la tracción eléctrica de los trenes, que puede cumplir, en límites mucho más amplios, las condiciones de la explotación ferroviaria, porque es independiente de la longitud de los trayectos, del peso y velocidad de los trenes, así como de la clase del tráfico, y que, por lo tanto, suministra en lo esencial la solución definitiva del problema, como ya lo demuestra su importante desarrollo en otros países.

Para esto se utiliza la corriente eléctrica en su forma más sencilla, la de corriente alterna monofásica, que permite transmitir la potencia eléctrica á gran tensión, y, por consiguiente, sin límites prácticos, en cuanto á la extensión de la línea, conduciéndola á los coches automotores, por una sencilla línea aérea, de la misma manera que en los tranvías urbanos. Además, se pueden emplear motores que se ajusten perfectamente á las condiciones variables de la explotación ferroviaria.

La tracción eléctrica de los trenes se divide en dos clases fundamentales, según ya se ha indicado.

En los ferrocarriles urbanos, de los suburbios é interurbanos, en los que el tráfico es intenso y pequeña la distancia, los trenes tienen un peso moderado y se componen de uno ó varios coches automotores, accionados desde la plataforma delantera del primero de ellos.

Esta disposición es muy ventajosa para esos trenes porque permite una puesta en marcha muy rápida, y, por consiguiente, un intervalo pequeño en la sucesión de los mismos y una duración del viaje bastante reducida. Supone, sin embargo, que todos los coches estén dispuestos para la tracción eléctrica y no se puede, por lo tanto, utilizar para el tráfico á grandes distancias, en el cual se emplean vagones de todas clases.

Por el contrario, en esos casos se han de arrastrar los trenes con locomotoras eléctricas, en la misma forma que en la tracción á vapor. Ambas clases de tráfico se han ensayado en gran escala en varios países, obteniéndose siempre resultados muy satisfactorios.

La tracción eléctrica de los trenes tiene grandes ventajas sobre la de vapor, que en parte son de carácter económico y en parte se refieren á la explotación.

Las ventajas principales son las siguientes:

Peso pequeño de los aparatos motores, por unidad de potencia.

Economía considerable de combustible, cuando el intervalo entre trenes es muy reducido, pequeñas las distancias entre los puntos de parada, pesadas las cargas y grandes las velocidades, así como en los trayectos con pendientes largas y pronunciadas.

La posibilidad de utilizar para la tracción los saltos de agua y los combustibles de calidad inferior, como el lignito y la turba.

Recuperación de energía en los descensos, con lo que á más del ahorro de combustible, se reduce considerablemente el desgaste de las llantas de las ruedas y el de los carriles, por no ser necesario el empleo de potentes frenos.

Pequeños gastos de entretenimiento de los coches automotores.

Disminución del personal de servicio, puesto que los coches eléctricos sólo necesitan un maquinista. La manivela del regulador, tiene una disposición tal, que el tren se para si el maquinista la suelta, á causa de algún accidente que le haya ocurrido.

Se aprovecha mejor el personal, porque el servicio de preparación y de terminación son mucho más breves que en las locomotoras de vapor y todos los conductores sirven para los trenes, ya sean de mercancías, ómnibus ó rápidos.

Menor presión de ruedas, así como, por consiguiente, menores gastos de construcción y entretenimiento de la superestructura, porque el número de ejes motores es menos limitado que en las locomotoras de vapor.

También se pueden construir las locomotoras eléctricas de más potencia que las de vapor y de tal manera que puedan recorrer curvas de radio muy pequeño. Con esto se podrán adaptar mejor los nuevos proyectos á las condiciones del terreno y se limitarán considerablemente los gastos de construcción. Además, se puede utilizar mejor una red ferroviaria ya existente, puesto que se puede aumentar la intensidad del tráfico, la carga y la velocidad de los trenes, así como utilizar para el tráfico en gran escala las líneas con pendientes y curvas muy desfavorables.

Con todo esto se producen economías al suprimir los depósitos de carbón, las tomas de agua y las centrales de gas y electricidad, necesarias para el alumbrado de las estaciones, de los trenes y de los talleres de reparaciones.

El tráfico de viajeros se puede mejorar considerablemente con un aumento de gastos relativamente reducido, intercalando viajes de coches automotores en los intervalos del cuadro de marcha.

También es posible limitar el parque de locomotoras á causa del tiempo reducido de las paradas y de reposo que necesitan, así como por ser posible el empleo de los mismos motores para el tráfico de mercancías y el de viajeros, necesitando sólo locomotoras especiales para los trenes rápidos.

Finalmente, se puede aumentar la seguridad de la explotación, utilizando los trenes para la protección de las secciones.

Al considerar la economía que se puede obtener con el servicio eléctrico comparado con la tracción á vapor, no se debe olvidar que los crecidos gastos que supone la instalación de la central eléctrica y de los conductores, representan también grandes cantidades destinadas á intereses y amortización del capital desembolsado. De esto se deduce que el servicio eléctrico es menos ventajoso que la explotación á vapor, desde el punto de vista económico, para las líneas de poco tráfico, á causa de la mala utilización de la costosa central de fuerza, á no ser que, como sucede algunas veces, sea posible ceder la corriente para algún objeto secundario. En primer lugar, debe aplicarse en los casos en que se pueda producir la corriente eléctrica con un salto de agua ó con combustibles baratos y cuando el tráfico sea muy intenso. En estos casos, la cantidad necesaria para los intereses y amortización del capital invertido, se obtendrá con creces de las

economías de combustible y de personal realizadas, y en tanto mayor escala cuanto mayor sea el tráfico.

Singular importancia tiene la electrificación de los ferrocarriles al proporcionar energía eléctrica á bajo precio en muchos puntos, cosa muy importante para la agricultura y la industria en gran escala, así como por los medios de vida que ofrece á la industria doméstica y á la pequeña industria, al facilitarla fuerza, luz y calor, de manera cómoda é higiénica. De gran importancia para la apreciación del nuevo accionamiento es el grado de su seguridad. Numerosas experiencias han probado que ésta no es menor que la de los ferrocarriles de vapor. Las perturbaciones de las centrales eléctricas se pueden evitar con el empleo de máquinas de reserva, y en las redes extensas instalando varias centrales unidas entre sí. De la misma manera, el estado actual de la técnica permite disponer las líneas de trabajo y construir los coches automotores con una gran seguridad de servicio.

Por las razones fundamentales anteriores, la Administración de los ferrocarriles del Estado de Prusia y Hesse ha considerado como un deber ineludible la construcción de un ferrocarril de tracción eléctrica.

Con este objeto ha hecho experiencias tanto en pequeña escala (ferrocarril de arrabal de Berlín á Gross-Lichterfelde) como en grande, que le han permitido estudiar completamente la cuestión en el terreno científico y en el económico.

Los trabajos preliminares pueden darse por terminados, al haber visto el resultado del ferrocarril urbano y arrabal de Blankenese á Ohlsdorf, que funciona con corriente alterna monofásica.

Al principio, como en todas las innovaciones, han surgido dificultades que, sin embargo, no hay que atribuir las á la forma del accionamiento, sino á la ejecución no del todo perfecta de algunos detalles. Sus causas se han determinado por completo y es seguro que desaparecerán en las instalaciones que se construyan en lo futuro.

Según esto, nada impediría, ni por razones técnicas ni económicas, la electrificación de toda la red de ferrocarriles del Estado de Prusia y Hesse, pero la extraordinaria importancia que tiene dicha red para la defensa del territorio nacional obliga á emplear una extremada prudencia, pues no se puede aun saber hasta qué punto satisfará el nuevo sistema de explotación á las necesidades estratégicas. Es preciso hacer ensayos sobre esto para poderse formar una idea exacta de las ventajas é inconvenientes de este sistema.

Por esta razón debe limitarse éste por el momento á ciertos trayectos sin importancia para la defensa nacional y en los que se pueden hacer funcionar locomotoras de vapor en un momento dado.

Después de maduro examen y de acuerdo con la Administración militar, se ha elegido para hacer la primera instalación de ferrocarril eléctrico el trayecto de Magdeburgo-Bitterfeld-Leipzig-Halle.

Para la producción de energía eléctrica se puede emplear, en el Distrito de Bitterfeld, lignito barato y de buena calidad. Las condiciones locales no presentan ninguna dificultad técnica. Los gastos que requiere la instalación de la línea no pasan de límites moderados y los largos trayectos en línea recta que existe, permiten ensayar las grandes velocidades. En el trayecto existen numerosas ciudades populosas, Leipzig, Halle, Magdeburgo, Dessau y otras, cuyo importante tráfico reciproco se desenvolverá aún en mejores condiciones, estableciendo viajes de coches automotores. Asimismo se puede proveer á grandes estaciones y á varios importantes talleres de la energía eléctrica necesaria á

un precio muy reducido, lo que en comparación al estado actual producirá grandes economías.

Se han determinado los gastos de la sustitución, que ascenden próximamente á unos 26 millones de marcos, incluyendo el coste de las locomotoras eléctricas.

La instalación debe ser el punto inicial que permite determinar á la Administración de ferrocarriles y á la militar hasta qué punto puede aplicarse la tracción eléctrica en otros trayectos. Antes de la construcción de esta línea es preciso dar la unidad necesaria á las disposiciones eléctricas; es también preciso hacer estudios acerca de la manera de dirigir la explotación con los nuevos medios auxiliares y formar el cuadro del personal necesario. Es de desear encarecidamente la unidad entre los muchos aparatos eléctricos, que si bien han dado buenos resultados en la práctica, existen en una excesiva variedad de tipos, tanto para reducir los gastos de adquisición y conservación, como para facilitar la vigilancia y servicio de los mismos, no siendo esto obstáculo al buen éxito de la empresa.

Para el desarrollo del plan completo, se ha pensado instalar el trayecto de Dessau á Bitterfeld, construyendo el resto con arreglo á los datos experimentales que se obtengan en éste. El coste de este trayecto se eleva á 2 millones de marcos.

Sobre los ferrocarriles eléctricos de que se ha dado cuenta hay que dar á continuación los datos y detalles siguientes:

A. *Ferrocarril eléctrico de arrabal entre las estaciones de Potsdam de Berlín y la de Gross-Lichterfelde-Este.*

De 1900 á 1902 estuvo funcionando por la línea del Wannensee, entre las estaciones de Potsdam de Berlín y Zehendorf, trayecto de 12 kilómetros, un tren eléctrico de prueba para aumentar el tráfico en los intervalos entre los trenes de vapor.

Dicho tren constaba de diez coches, de los que el de cabeza y el de cola estaban provistos cada uno de tres motores para el accionamiento.

Se empleaba corriente continua de 750 á 550 voltios, que se conducía á los motores por un tercer carril, paralelo á los de rodadura.

Las máquinas se maniobraban con un regulador (combinador) que permitía el paso de la corriente 6 por 200 igual 1.200 amperios.

El servicio se verificaba sin interrupciones, pero los gastos de accionamiento eran mayores que con la tracción á vapor. Este experimento se terminó al considerar como suficientes las experiencias efectuadas.

Entretanto, se dieron á conocer algunos inventos que habían dado buen resultado en los ferrocarriles americanos, por lo que la Administración de los ferrocarriles del Estado de Prusia y Hesse se decidió á construir un trayecto para tracción eléctrica con el objeto de juzgar por sí misma de las ventajas ó inconvenientes que se presentasen.

Para hacer el ensayo se eligió el trayecto de doble vía que existe entre la estación de Potsdam, de Berlín y la de Gross-Lichterfelde-Este. Este trayecto, cuya longitud es de 9 kilómetros, comprende, además de las estaciones de término, cuatro puntos de parada; tiene pendientes de 1 : 150 y curvas de un radio menor de 300 metros. La instalación se emprendió en Julio de 1903, habiendo funcionado hasta ahora sin interrupción alguna.

Equipo de la línea.—Para el accionamiento se emplea corriente continua de 500 voltios, que se conduce á los hilos de trabajo en la estación de la Papestrasse por la central eléctrica del Sud-oeste, situada en Schöneberg.

Los conductores de trabajo se han colocado á una distancia del eje de la vía de 1.570 milímetros y á una altura sobre la

arista superior de los carriles de 320 milímetros. Están colocados, mientras es posible, á la izquierda del sentido de la marcha, de tal manera, que quedan entre las dos vías, en la línea y por debajo de la arista de las piedras de borde de los andenes al pasar por éstos. En las curvas y cambios de vías, donde es preciso una interrupción de los conductores, se colocan por la parte exterior de la vía. Los extremos de los conductores interrumpidos se unen eléctricamente por un cable subterráneo; de la misma manera se unen, con cables subterráneos, los alimentadores, los interruptores de sección, etc., á la línea de trabajo.

Se han formado tres secciones, pudiéndose también desconectar de la red algunas vías en las estaciones intermedias y en las de término.

Para proteger á los empleados y obreros del contacto casual con los hilos de trabajo, á los lados de los carriles conductores hay colocados tabiques oblicuos de madera, que sobresalen un poco por encima de la cabeza del carril, y al que se sujetan por medio de tornillos aislados.

Los vehículos.—Los trenes se forman de dos á cuatro coches motores de cuatro ejes, con departamentos de II y III clase, á los que si es preciso se pueden agregar uno ó varios coches de remolque de tres ejes. Los trenes se dirigen desde la plataforma delantera del primer coche. Los coches-motores descansan sobre dos carros giratorios de dos ejes colocados á una distancia de 25 metros, cada uno de los cuales es provisto de dos motores de accionamiento.

La separación total entre ejes es de 15,7 metros y la longitud total entre los topes es de 19,3 metros. En un extremo del coche de III clase hay un departamento para el conductor, y al lado otro para equipajes, uniéndose á aquéllos nueve departamentos de viajeros con 74 asientos. Cada departamento está dividido por un tabique con puerta corredera en dos grupos de cuatro y cinco departamentos respectivamente, unidos por un pasillo lateral.

En los coches de II clase, en lugar del departamento de equipajes, hay una cámara para la caldera de calefacción, que forma un solo departamento con el destinado al conductor. El coche contiene siete departamentos con 54 asientos. También éstos están divididos en dos grupos unidos por un pasillo lateral.

En la cámara de calefacción hay una caldera vertical con tubos de agua de 6 metros cuadrados de superficie de caldeo, que suministra vapor á cuatro atmósferas, destinado á la calefacción del coche.

El alumbrado se verifica por lámparas eléctricas incandescentes de 16 bujías, de las que en cada departamento hay dos que pertenecen á circuitos diferentes. En cada circuito hay tres lámparas conectadas en serie.

Para compensar las variaciones de tensión que se producen en el arranque de los trenes, se han intercalado resistencias de hierro en el circuito de las lámparas.

La corriente eléctrica se conduce al coche por un aparato de toma de corriente que se desliza á lo largo del hilo de trabajo. Los aparatos de toma de corriente están colocados en una viga de madera que une las cajas de grasa del carro giratorio, no estando unidos los de los diferentes coches, sino que, por el contrario, cada uno sirve únicamente para conducir la corriente á los motores colocados en su carro giratorio.

La conducción de la corriente á todos los motores del tren se regula por medio de interruptores á distancia ó de ruptura rápida, maniobrados por medio de conductores continuos con el regulador de la plataforma delantera del primer coche. La corriente eléctrica que se necesita para esta regulación, así como la que hace falta para el compresor del freno y para el alumbrado, se

derivan del conductor principal del primer coche, por detrás del aparato de toma de corriente. La corriente de accionamiento pasa en cada coche, desde el aparato de toma, por un interruptor para corrientes de gran intensidad, un cortacircuitos de fusible, los interruptores de ruptura rápida, las resistencias, el conmutador de dirección, yendo, por último, á los motores.

El conmutador se pone en la dirección de marcha adelante ó de marcha atrás por medio de la corriente de regulación. Como cada coche recibe por sí mismo la corriente que consume, y las que circulan entre ellos son muy débiles, se pueden acoplar los coches que se quiera, sin que sea demasiado intensa la corriente que circula por el regulador de maniobra.

Los conductores auxiliares de los diferentes coches se unen por cables de varios conductores, terminados en piezas de acoplamiento apropiadas.

Cada coche automotor está dotado de dos motores colocados en uno de los carros giratorios. Pueden suministrar, durante una hora, una potencia de 125 caballos, con una tensión de 500 voltios. Durante el arranque se conectan en serie los dos motores, intercalando resistencias. Continuando el movimiento de la manivela, los dos motores se acoplan en paralelo, teniendo intercalada la resistencia que, por último, se desconecta. Durante la marcha normal de larga duración, las resistencias tienen que estar desconectadas, porque si no, llegarían á ponerse incandescentes. Los trenes están provistos de un freno automático de aire comprimido, de una cámara. El aire comprimido lo suministra un compresor colocado en el primer coche, que se acciona y se para automáticamente por medio de un regulador eléctrico.

El peso de servicio de los coches asciende respectivamente á 40.250, 43.900 y 40.000 kilogramos, y el precio es de 45.250 á 52.800 marcos.

Ferrocarril urbano y de arrabal de Blankenese á Ohlsdorf.— Aunque la corriente continua reúne grandes ventajas para el accionamiento de los motores, no se la puede utilizar cuando son grandes las distancias á recorrer, porque no se les puede aplicar ésta á gran tensión, ni existe una disposición apropiada para reducirla en los coches.

Estas disposiciones deben existir más bien en subestaciones situadas á lo largo del trayecto. La línea de trabajo de los ferrocarriles de corriente continua recibe una tensión de 500 á 1.000 voltios y de 3.000 como máximo.

Las subestaciones tienen que construirse, por consiguiente, muy próximas. Con objeto de emplear mayores tensiones, en algunos puntos del extranjero, como en el ferrocarril del Weltlin y del Simplón, se ha empleado la corriente trifásica. A causa de las dificultades que se presentan en los cruzamientos y en los cambios, apenas si se ha pasado de la tensión de 3.000 voltios. Solamente se ha llegado á 10.000 y 15.000 voltios en los ensayos hechos en el ferrocarril militar de Berlín por la Sociedad de estudios. Con el empleo de la corriente alterna monofásica se puede transmitir á los coches una tensión de 10.000 á 15.000 voltios, empleando, además, un solo conductor.

El Consejero privado superior de Construcciones del Ministerio de Obras públicas de Prusia, Sr. Wittfeld, ha repetido en diferentes ocasiones á las fábricas electrotécnicas que sólo es posible el accionamiento eléctrico de los ferrocarriles empleando la corriente alterna monofásica, y que deben esforzarse en crear un tipo de motor que sea apropiado para este objeto. Como en 1902 la Sociedad Westinghouse, de América, y casi al mismo tiempo la A. E. G., de Alemania, presentaron un motor de esta clase, pudo hacer el ensayo la Administración de ferrocarriles del Estado de Prusia y Hesse. Este ensayo se efectuó en los años de 1903 á 1905, en el trayecto de 4,1 kilómetros que existe entre

Niederschoneweide-Jehannistal y Spindlersfeld, con el objeto de probar los motores, la disposición del hilo de trabajo más apropiada y la influencia de la corriente eléctrica sobre los aparatos de enclavamiento de señales y sobre las líneas telefónicas. Se empleó corriente de 6.000 voltios y 25 periodos, que se conducía á la línea de trabajo en la estación de Niederschoneweide-Jehannistal.

Los resultados de las pruebas fueron tan satisfactorios que la Administración de ferrocarriles se decidió, en 1904, al empleo en gran escala de la corriente alterna monofásica en el ferrocarril urbano y su arrabal de Hamburgo á Altona.

El servicio se comenzó en Octubre de 1907 con trenes especiales, aumentando gradualmente su circulación, hasta que el 29 de Enero de 1908 se estableció el servicio completamente eléctrico. En la actualidad circulan más de 400 trenes diarios accionados eléctricamente.

La línea sale de Blankenese, pasa por Altona y Hamburgo y se dirige á Ohlsdorf. Está construída con vía doble y tiene una longitud total de 26,67 kilómetros. En la línea hay 17 estaciones, tiene innumerables pendientes de 1,80 y curvas de un radio inferior á 250 metros. La corriente alterna que se emplea tiene en el hilo de trabajo una tensión de 6.000 voltios con 25 periodos.

Central de fuerza.—La central productora de la corriente necesaria está instalada al lado de la estación de Altona y está dispuesta para el funcionamiento con vapor.

En la sala de calderas hay colocadas 16 calderas de tubos de agua á ambos lados de un pasillo central. Cada una tiene 300 metros cuadrados de superficie de caldeo y 130 metros cuadrados de recalentamiento, suministrando el vapor á 15 atmósferas, con un recalentamiento de 350 grados centígrados. Los emparrillados son de cadena, y la carga del carbón es automática, desde un depósito situado en el pasillo central. Los humos de las dos series de calderas se dirigen á una chimenea de 71 metros de altura y 2,7 de diámetro superior, rodeando en su trayecto los tubos recalentadores que están colocados en los canales del humo. La casa de máquinas tiene siete turbodinamos de 1.250 kilovatios cada uno. La corriente, de 25 periodos, producida, tiene una tensión entre los bornes de 6.300 voltios.

Para la excitación se emplea una excitatriz acoplada al eje de la dinamo de 20 kilovatios á 75 voltios, cuyos inductores se excitan, á su vez, por otra excitatriz auxiliar colocada sobre el mismo eje. La corriente de excitación se regula por la corriente alterna producida. De esta manera es posible mantener constante la tensión de la línea, aun durante las variaciones de carga de la dinamo principal. Las máquinas dan 1.500 revoluciones por minuto.

Para el alumbrado de las estaciones unidas á la central hay una turbodinamo de 600 kilovatios que produce corriente de 50 periodos. También da 1.500 revoluciones por minuto, y su tensión es de 6.300 voltios. La correspondiente excitatriz produce 12,4 kilovatios á 40 voltios de tensión.

Para suministrar la corriente continua necesaria para los usos secundarios de la central existe un grupo turbodinamo de corriente continua de 350 kilovatios á 220 voltios.

Como reserva de la máquina del alumbrado y de las máquinas de corriente continua de las máquinas auxiliares, hay dos transformadores dinámicos.

Cada uno de ellos consta de tres máquinas eléctricas, montadas sobre un árbol general, y que pueden servir tanto de generadores como de motores; una de ellas está dispuesta para corriente continua, y las otras para alterna de 25 y 50 periodos, respectivamente. Por lo tanto, con cada una de las tres clases de corriente se pueden producir las otras dos. Los transformadores

son de diferentes tamaños: uno tiene dos máquinas de corriente alterna de 600 kilovatios cada una á 6.300 voltios y una máquina de corriente continua de 250 kilovatios á 220 voltios; el otro tiene dos máquinas de corriente alterna de 140 kilovatios á 6.300 voltios y una máquina de corriente continua igual á la del otro grupo. La corriente continua sólo se utiliza para el arranque, porque los alternadores no pueden ponerse en marcha por sí mismos. Para disponer de la corriente necesaria para este objeto, en el sótano hay una batería de acumuladores, que sirve además como batería de compensación. Tiene una capacidad de 814 amperios para una hora de descarga.

Las turbinas de vapor trabajan con condensación superficial. El agua refrigerante se impele á torres de refrigeración por medio de bombas centrífugas especiales.

La corriente eléctrica que parte de cada máquina se dirige á la casa de distribución por medio de cables colocados en un canal del sótano de la casa de máquinas, para reunirse en las barras colectoras de los cuadros de las corrientes para el ferrocarril, luz y corriente continua, de las que se derivan los conductores de alimentación de los diferentes circuitos.

En los conductores de alta tensión se han intercalado interruptores de aceite, servido desde la plataforma del cuadro de distribución por pequeños motores de corriente continua; pero que se desconectan automáticamente tan pronto como alguna sobrecarga dura más de algunos segundos. Además hay aparatos de protección contra sobretensiones.

A las barras colectoras de la corriente para el ferrocarril se unen dos grandes transformadores, de 650 kilovatios cada uno, que elevan la tensión de la corriente de 6.300 á 30.000 voltios.

Conductores.—La red de distribución del ferrocarril se compone de alimentadores, hilos de trabajo y conductores de retorno de la corriente.

Los dos primeros forman uno de los polos, y el tercero, el otro, entre los cuales están intercalados los coches automotores.

De la central salen cuatro alimentadores que conducen corriente de 6.300 voltios para las secciones de Klein-Flottbeck, caseta I, caseta U, cerca de Altona y Hamburgo; para el quinto punto de alimentación, situado en la estación de Barmbeck, parten de los grandes transformadores dos conductores bipolares de 30.000 voltios, soportados en postes especiales; esta tensión se transforma de nuevo á 6.300 voltios por medio de dos transformadores instalados en dicho punto.

Los alimentadores están provistos de interruptores de aceite, tanto en la central como en los puntos de alimentación. Están regulados en la central para una corriente de 550 á 700 amperios. Los interruptores de aceite de los puntos de alimentación están colocados en edificios especiales ó en casetas de maniobra, convenientemente situadas, y se hallan dispuestos para accionamiento á distancia desde una sala de servicio de la estación.

Los cinco conductores de alimentación corresponden á cinco secciones que en el servicio regular están separadas entre sí por interruptores colocados en postes, pero que pueden unirse mutuamente en el caso de que se produzcan perturbaciones en el servicio.

El hilo de trabajo, del cual toman los coches la corriente por medio de un arco frotador, está colocado á una altura de 5,2 metros sobre la arista superior del carril; debájo de los puentes, la distancia se ha reducido á 4,81 metros. Está colocado sobre el eje de la vía y suspendido con arreglo al sistema de suspensión múltiple de la casa Siemens-Schuckert. Sobre postes de consola, postes de pórtico ó alambres transversales, colocados á distancias de 45 metros, al lado de la vía, hay primero un cable de suspensión de acero ó de bronce de aluminio de 35 milímetros de sec-

ción, tendido sobre el eje de la vía con una flecha de 1,5 metros. De este cable penden, de seis en seis metros, alambres de suspensión que soportan otro alambre auxiliar de seis milímetros de diámetro, del que se halla suspendido el hilo de trabajo mediante doble número de corchetes, que pueden deslizarse en el alambre de suspensión. Mientras que la tensión del cable de suspensión y del alambre auxiliar puede variar con las oscilaciones de temperatura, la del hilo de trabajo se mantiene constante con un aparato tensor automático.

Con el fin de que se produzca un desgaste homogéneo del arco de toma de corriente, la línea de trabajo está colocada en zizás con relación al eje de la vía, siendo 50 centímetros las distancias al mismo.

El cable de suspensión está doblemente aislado de las piezas de sujeción, y el de trabajo se atrinanta lateralmente en éstas por medio de un tubo aislado. Las piezas de sujeción de los hilos de trabajo sirven para soportar al mismo tiempo los alimentadores y conductores para luz que van á lo largo de la línea.

El retorno de la corriente á la central se verifica por los carriles, que para este objeto están unidos eléctricamente en las juntas por barras de cobre. En las estaciones que tienen cambios las dos vías, están igualmente unidas entre sí, mientras que se aíslan una de otra en la línea; de esta manera se pueden interrumpir las secciones en el caso de que ocurra alguna avería en el alambre de trabajo.

Carruajes.—Los trenes están formados de uno á cuatro coches automotores, que contienen departamentos de II y III clase, sin reservados para fumadores ni para señoras. En el interior de la ciudad se suceden cada cinco minutos y en los arrabales cada diez ó veinte minutos.

Los coches automotores son dobles, formándose cada uno de ellos de dos unidades, de tres ejes cada una, unidad con enganche corto. Cada unidad descansa, por su parte delantera, sobre un carro giratorio y en un eje libre convergente por el lado del enganche. La distancia entre los ejes de los carros es de 2,50 metros; la que corresponde á cada unidad es de 10,75 metros y 24,6 metros la total. Las cajas de los coches tienen una longitud de 14 metros cada una, y la total, medida entre los topes, es de 29,6 metros.

Los coches están divididos en departamentos, formando los exteriores las plataformas para el conductor. Incluyendo éstas, el coche puede conducir de 128 á 130 personas.

El accionamiento del coche se produce por medio de dos ó tres motores, cada uno de los cuales acciona un eje por medio de ruedas dentadas. Si hay tres motores, cada uno de ellos puede suministrar por hora, á una tensión de 750 voltios y con 600 revoluciones por minuto, una potencia de 110 caballos; si los motores son dos, cada uno suministra 180 caballos. En parte están contruidos con arreglo al sistema de Winter-Eickberg, y en parte son motores en serie.

Para regular la velocidad se varía el voltaje entre 150 y 750 voltios. La corriente de accionamiento á 6.000 voltios se toma del hilo de trabajo por medio de dos arcos frotadores colocados en una de las mitades del coche. Los arcos de toma de corriente están oprimidos contra el hilo de trabajo por medio de aire comprimido. En cuanto disminuye la presión del aire, el arco cede á su propio peso y se separa del cable. Los arcos de toma tienen una pieza de contacto de aluminio, recambiable, de 1,3 metros de longitud útil. Con objeto de poder accionar los coches en las estaciones con corrientes de baja tensión, llevan á cada lado un aparato de toma de trole que no puede alcanzar una altura superior á 4,75 metros, para no tocar á los conductores de alta tensión. Un selector de tensión dispuesto en el techo

del coche permite que éste reciba sólo una u otra clase de corriente, evitando que la de alta tensión llegue á los conductores de baja.

Desde los aparatos de toma, la corriente de alta tensión pasa á los arrollamientos de alta de un transformador principal, desde el que vuelve á la central por medio de los carriles; del lado de baja tensión se derivan varios conductores para los motores de accionamiento y los circuitos auxiliares.

Los motores se intercalan en el circuito por medio de interruptores á distancia situados en el bastidor del coche y que se maniobran por medio del regulador montado en la plataforma. Los circuitos auxiliares tienen una tensión de 300 voltios, y sirven para el servicio de la bomba de aire, de la regulación, calefacción y alumbrado. Los conductores para la maniobra están colocados á lo largo del coche, reuniéndose en los testeros en dos cables, que permiten unir un coche con el inmediato. De esta manera es posible actuar sobre todos los motores del tren con un solo regulador.

Con la manivela de éste va unida una palanca de dirección, de tal manera, que aquélla sólo puede girarse cuando la palanca esté colocada en la posición de marcha hacia adelante ó de marcha hacia atrás. Con dicha palanca de dirección se regula en todos los coches á la dirección de marcha deseada, un interruptor doble, el conmutador de marcha, maniobrado eléctricamente, que se halla colocado debajo del piso del coche, para establecer en todos ellos las conexiones convenientes para las corrientes del inducido de los motores. Todos los circuitos de maniobra pertenecientes á un motor pueden interrumpirse con un interruptor general, con lo que el motor queda desconectado.

El compresor de aire, accionado eléctricamente, está colocado en el carro giratorio posterior. La bomba alimenta un depósito principal colocado en la misma unidad posterior del coche. La otra mitad tiene igualmente otro depósito. Por medio de un regulador de presión el compresor se pone en marcha en cuanto ésta descende por bajo de 7,5 atmósferas, parándose cuando llega á 8 atmósferas.

El aire comprimido sirve para actuar los frenos y para mantener elevado el arco de toma de corriente. Se emplea el freno de aire comprimido de una cámara, sistema Knorr, que actúa sobre los cuatro ejes de los carros giratorios; además se puede accionar á mano los frenos de cada una de las mitades del coche. Para mantener elevado el arco de toma, hay un cilindro de aire comprimido encima del techo del coche. Además de la tubería de aire comprimido para el freno, hay otra que pasa á lo largo del tren, destinada á elevar el arco y que está provista en sus extremos de manguetas de acoplamiento. Con ella se establece la comunicación entre los diversos depósitos de aire.

Cuando en esta tubería disminuye la presión por bajo de 5,5 atmósferas, la unión con los depósitos se interrumpe automáticamente.

Los coches tienen alumbrado eléctrico; además, todos los faroles de señales, á excepción del farol rojo de cola, son de luz eléctrica.

Para la calefacción hay unos caloríferos colocados debajo de los asientos, con tres graduaciones de temperatura, correspondientes á un consumo de uno, dos ó tres kilovatios. Los conductores de la calefacción pasan por un interruptor de ruptura rápida, con el que se interrumpe la corriente de calefacción cuando empiezan á funcionar los motores.

Todos los aparatos y cortacircuitos de baja tensión, á excepción de los que se encuentren debajo del piso del coche, están colocados en cámaras de baja tensión que se hallan próximas al regulador.

Los cables están montados á lo largo del coche, inmediatamente debajo del piso del mismo, en placas de asbesto; estas placas están cubiertas con chapa de hierro en la parte que no se halla en contacto con cable. Este se sujeta por medio de abrazaderas de hierro, entre las que se colocan unas cubiertas protectoras de palastro.

El peso de los coches antiguos vacíos asciende á 70.000 kilogramos y el de los modernos á 62.600 kilogramos; su precio varía entre 95.000 y 100.000 marcos. Actualmente hay 110 coches dobles en servicio (1).

LA FORMA ARTÍSTICA EN LAS OBRAS DE CEMENTO ARMADO

Segunda parte de la conferencia dada en el Paraninfo de la Universidad de Valencia con ocasión del II Congreso de la Asociación Española para el progreso de las ciencias (2).

El tema de las formas artísticas de conjunto y de detalle de los modernos materiales de construcción (el cemento armado principalmente) ha sido ampliamente tratado en Congresos, Sociedades y revistas de arquitectura sobre la base, indiscutible, de que toda nueva necesidad y todo nuevo material piden un *estilo* nuevo (en el alto y general sentido que la palabra tiene en arquitectura).

De acuerdo todos en ese punto, han divergido en las conclusiones, que hasta ahora no son sino un *desideratum*, vago como tal y sin finalidad concreta, y lo que es más lamentable, con declaraciones de pesimismo artístico (3).

Aquel *estilo nuevo*, perseguido por todos, tiene, como los demás arquitectónicos, dos factores: uno de *disposición* y *estructura* (ó sea de *conjunto*) y otro de *expresión decorativa* (ó sea de *detalle*).

Fijemos el *problema á resolver* en cuanto al primer factor en las grandes edificaciones que la moderna civilización pide: estaciones de ferrocarriles y tranvías, grandes naves de talleres y de fábricas de electricidad, garages, tinglados para aeroplanos y dirigibles, salones de exposiciones, etc., etc. «Cubrir grandes espacios capaces de contener un mundo de gentes y de artefactos con los menores estorbos para la circulación y la visualidad y con la mayor iluminación»; esto en cuanto al problema de *disposición*. «Construir un esqueleto con supresión de muros, formado por una serie de puntos de apoyo muy espaciados y muy delgados, cubierto con una red de nervaduras (rectas ó curvas) resistentes; tabicando luego, por cerramientos independientes y pasivos, los espacios libres y no necesarios, entre las piezas del esqueleto»; esto en cuanto al problema de *estructura*.

Ahora bien: ¿no son esos precisamente los problemas de *disposición* y *estructura* planteados y resueltos por la Arquitectura ojival, como acabo de exponer? Aumentemos la escala de una de esas grandes naves góticas y tendremos, en disposición y estruc-

(1) De *La Energía Eléctrica*.

(2) El tema de esta conferencia fué el siguiente: «Estructura de las catedrales góticas de España. Consecuencias de aplicación para las modernas construcciones de hierro y de cemento armado.» No se inserta aquí la primera parte de la conferencia, por haber sido tomada de lo dicho en mi *Historia de la arquitectura cristiana española en la Edad Media*, en cuyo tomo II, páginas 170 y siguientes puede leerse en extenso.

(3) En el Congreso internacional de Arquitectos de Madrid (1904), las oposiciones tuvieron por límites estos dos *infinitos*: 1.º Con el cemento armado no puede expresarse ninguna forma artística. 2.º Todas las formas artísticas son posibles con el cemento armado. Menos radical el Congreso del Instituto de Arquitectos de Chicago (1907) emitió opiniones de esperanza en el porvenir artístico propio de este material.