

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS

FUNDADA Y SOSTENIDA POR EL CUERPO NACIONAL DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

Redactor-Presidente.....

Redactores.....

Colaboradores.....

Ilmo. Sr. D. Federico Rivero O'Neale, Inspector general del Cuerpo.
Los Sres. Presidentes de las Comisiones regionales de Ingenieros.
D. Toribio Cáceres, Profesor de la Escuela de Caminos.
D. Enrique Latre, Ingeniero de Caminos (Sección de Información).
D. Manuel Maluquer, Ingeniero del mismo Cuerpo, *Secretario*.
Todos los Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

SE PUBLICA LOS JUEVES

Redacción y Administración: Puerta del Sol, 9, pral.

MODIFICACIÓN DEL SISTEMA DE TRACCIÓN

DEL FERROCARRIL DE LIVERPOOL A BIRKENHEAD

Este es el primer ferrocarril inglés en el que se ha cambiado el modo de tracción habitual; las locomotoras de vapor han dejado de correr por él y han sido reemplazadas por los automotores eléctricos. La tarea ha sido ardua, pero también el éxito ha sido espléndido, gracias indudablemente a la habilidad y experiencia de los Ingenieros de la Compañía Westinghouse.

Cuando en 1866 las necesidades crecientes del tráfico interurbano entre Liverpool y Birkenhead pedían imperiosamente algo muy por encima del procedimiento primitivo usado, que consistía en hacer la travesía por medio de lanchas, la autori-

practicable, y hubo necesidad de que llegara el año de 1879 para reunir 100.000 libras esterlinas destinadas á practicar experiencias, que mostraron que la tal empresa entraba dentro de los límites de la posibilidad humana. La confianza del público permitió entonces la obtención rápida del capital necesario, y los trabajos para el túnel con vía férrea doble comenzaron en 1881, para quedar terminados en 1885, es decir, cuatro años después. El coste de la obra fué de 300.000 libras esterlinas por milla, y nada menos que 300.000 metros cúbicos de roca fueron extraídos del túnel sólo. La línea fué inaugurada por el Principe de Gales (actualmente Eduardo VII) el 2 de Enero de 1886 y abierta al público unos días más tarde. Excepción hecha de algunas mejoras, la línea es la misma hoy, y el plano de la figura 1.^a indica su posición.

El túnel principal es de 7,80 metros de ancho en su parte más dilatada y 5,70 metros de alto. Son tres los túneles: el prime-

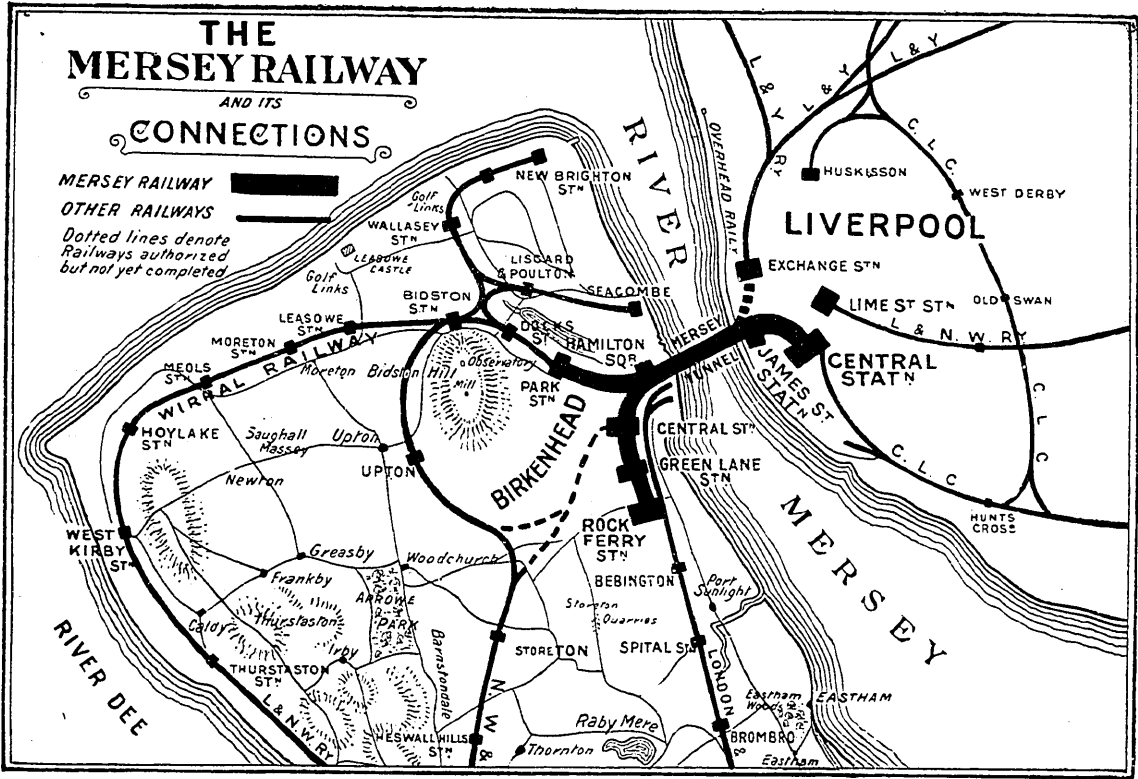


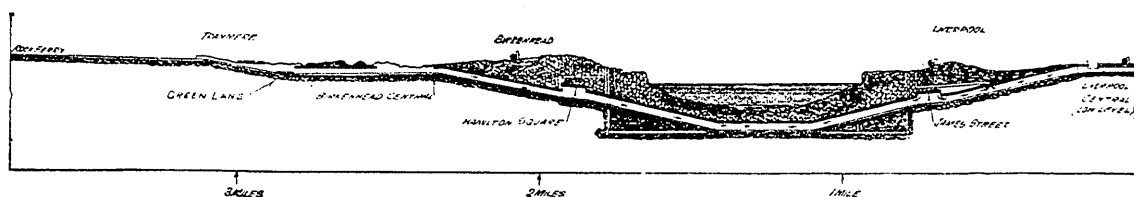
Fig. 1.^a

zación necesaria fué concedida por el Parlamento inglés para construir un túnel para vía férrea bajo el río Mersey, que se para ambas localidades. Pero el proyecto parecía entonces im-

ro de los cuales, construido por el Alcalde Isaacs, sirve para la ventilación; otro de los túneles se emplea para el desagüe. En la mitad del camino, los tres túneles se hallan al mismo nivel

(fig. 2.^a); pero á medida que se acercan á las extremidades, la diferencia de nivel aumenta y llega á ser importante; el túnel de desagüe hace hoyo para recoger las aguas. El túnel principal y el de ventilación comunican frecuentemente entre sí, á favor de un sistema de tabiques que permite que el aire fresco reemplace al aire viciado, en el lugar que se desea. Colosales ventiladores de 9 y aun de 12 metros de diámetro, accionados por enormes máquinas de vapor horizontales, que devoraban la parte más

de calefacción de 145^m 5, ensayadas á 12 kilos. Cargadores automáticos sistema Roney, hacen el servicio de carbón para esas calderas, y funcionan movidos por máquinas de vapor Westinghouse. La alimentación se hace con agua caliente á la temperatura de 100° C., valiéndose para calentarla de los economizadores del tipo Clay Cross, cuyo deshollinaje se asegura á favor de motorcitos eléctricos Westinghouse de 15 caballos. Hay un ramal de vía férrea desde los Docks hasta la estación para el

Fig. 2.^a

lucida de los beneficios de la Compañía, se encargaban del servicio de la ventilación, y están desapareciendo para dejar el puesto á ventiladores eléctricos de un coste mucho menor.

El sistema de desagüe fué montado asimismo en gran escala, pues fué calculado, como medida de seguridad, para una capacidad de 95.000 litros de agua por minuto, aun cuando, por término medio, sólo hay 50.000 litros por minuto. Estas aguas proceden de los dos túneles accesorios, puesto que el túnel principal está revestido de ladrillos y cal hidráulica, y está, por decirlo así, estancado: la extracción de esas aguas se verifica desde dos edificios, uno á cada orilla del río Mersey.

Entre las siete estaciones que pertenecen á la línea, dos de ellas, la de la plaza Hamilton y la de la calle James, son sencillamente extensiones del túnel; la estación conocida con el nombre de estación central de Liverpool, es subterránea. Las plataformas de las estaciones cuentan 5,40 metros de ancho, por unos 120 metros de largo. Las dos estaciones del túnel poseen esa longitud de 120 metros, tienen 15 metros de anchura y 9 metros de altura, hallándose á 30 metros bajo el nivel del suelo. Tres ascensores hidráulicos, con capacidad para 150 viajeros, hacen el servicio de entrada y salida, aparte de las escaleras y planos inclinados. Los ascensores funcionan á favor de grandes tanques de agua colocados sobre verdaderas torres, que dan al agua una caída de 75 metros. Las bombas, que anteriormente elevaban el agua hasta esos tanques eran bombas de vapor, y han cedido el puesto á bombas eléctricas modernas, que ocupan menos sitio y son capaces de mayor rendimiento.

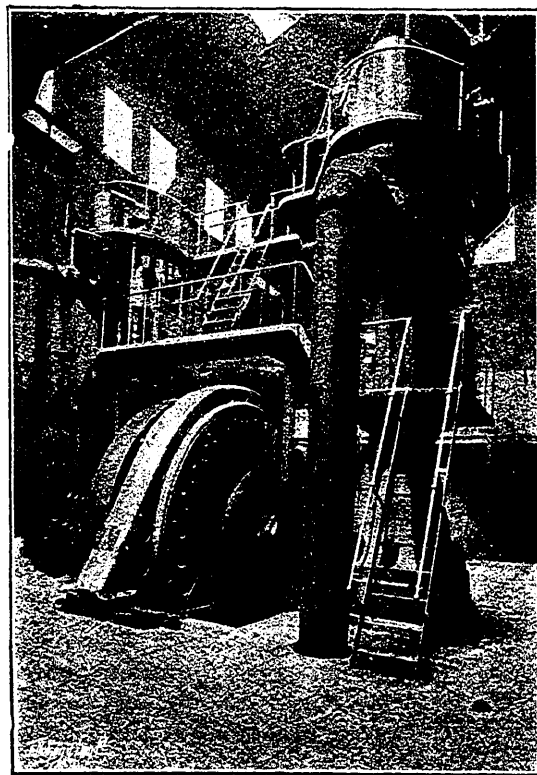
A pesar de todas las precauciones que existían en los primeros tiempos, resultaba imposible el obtener con el sistema de vapor la purificación de aire deseada para el servicio de viajeros; además, la suciedad era grande é inevitable. El contraste entre ese estado de cosas y lo que hoy existe es como el que ofrecen la noche y el día. La electricidad se ha posesionado del lugar; no solamente en lo referente al alumbrado, sino también en lo concerniente á la ventilación y tracción, y ya se sabe que la electricidad lleva consigo este lema: limpieza, rapidez, salud. La Compañía Westinghouse ha sido la encargada de realizar esta brillante transformación, y nosotros, á favor de algunas ilustraciones y explicaciones, procuraremos poner á nuestros lectores al corriente de algunos detalles de esa empresa.

El edificio de la estación generatriz, que está situado en la vía Shore, cerca de la estación de la plaza Hamilton (Birkenhead), es de armazón de acero relleno de ladrillos y tiene 43^m,60 de largo por 40^m,50 de ancho, hallándose dividido en dos partes, una de las cuales contiene las calderas y la otra las máquinas. El espacio destinado á las calderas, sólo mide 23^m,70 de largo; el resto de la nave, le ocupan los departamentos de las baterías y ventiladores.

Son nueve las calderas, del tipo Stirling, con una superficie

transporte de los carbones, los cuales vienen á descargarse en el machacador, accionado asimismo por un motorcito eléctrico Westinghouse de 7 1/2 caballos. Otro motor semejante hace el servicio de la elevación del carbón machacado al piso superior, encima de las calderas, y donde el combustible se reparte en cinco receptáculos de 600 toneladas que alimentan gradualmente los hogares. Al mismo tiempo, los ascensores suben las escorias de los ceniceros, y su maniobra se obtiene desde una plataforma colocada sobre las bombas y condensadores en el edificio de las calderas.

La producción de la corriente eléctrica necesaria para los servicios de energía se obtiene á favor de tres grupos electrógenos (fig. 3), compuestos cada uno de una máquina de vapor Wes-

Fig. 3.^a

tinghouse de 1.650 caballos, entre cuyos montantes, y encajada en el árbol, está la dinamo Westinghouse, que puede producir, ya sea corriente continua ó alterna, ya sea ambas á la vez. Sin embargo, hasta ahora, sólo se hace uso de la corriente continua á 650 voltios, pues la corriente alterna fué prevista para el caso de un cambio futuro en el sistema de tracción de los ferrocarriles.

les comarcanos. Las dinamos indicadas pueden resistir una sobrecarga continua de 50 por 100, sin que por ello aumente su temperatura de un modo peligroso.

Para el servicio del alumbrado existen dos grupos electrógenos de 200 caballos cada uno, compuestos de una máquina de vapor «compound» Westinghouse, y de una dinamo de corriente continua y tipo multipolar Westinghouse. Ese alumbrado se consigue á favor de lámparas de incandescencia en grupos de tres lámparas en serie, á una tensión de 210 voltios.

La sala de máquinas contiene, además, un elevador de voltaje, que trabaja acompañado de una gran batería de acumuladores.

El cuadro de distribución principal contiene diecinueve paneles de mármol blanco, y está colocado en una galería de la sala de las máquinas á una altura de 3^m,60 y ocupando una anchura de 5^m,40. Los cuadros para el alumbrado y los de otros servicios se hallan esparcidos en diversos parajes, según las necesidades.

Diecinueve alimentadores eléctricos salen del cuadro de distribución, pasan por el antiguo túnel de ventilación sostenidos á lo largo de las paredes y penetran por diferentes aberturas en el túnel principal á donde van á alimentar los rieles conductores. Uno de éstos, el positivo, se halla colocado en la entrecía á 12 centímetros más de altura que los rieles de las ruedas, mientras el negativo está en medio de la vía, y algo más bajo que el positivo. Cubos huecos de porcelana de 7^m,5 centímetros de alto forman los soportes aisladores y están situados sobre las traviesas de la vía, las cuales son para tal objeto, de tres en tres, más largas que de ordinario. El riel conductor negativo que descansa sobre esos soportes tiene la forma de T en su sección vertical. Los aisladores del riel positivo son de 15 centímetros cuadrados y de 15 centímetros de alto; su altura es doble de la de los que sostienen el riel negativo, porque el potencial en éste es pequeño, mientras que el del riel positivo es de unos 600 voltios. Con el objeto de evitar accidentes á causa de contacto con el riel positivo, se halla éste resguardado por trozos de madera.

El nuevo sistema de tracción ha exigido un cambio en la vía haciéndola más fuerte: los coches de ahora son doble de largos que los coches antiguos, y entre las pendientes las hay en el túnel de hasta 1 por 27.

Los rieles para las ruedas son de cabeza doble simétrica, en trozos de 9 metros de largo y de 420 kilos de peso, y cada uno de esos trozos abarca de 15 á 16 traviesas.

La cama se compone de una capa de 10 centímetros de piedras machacadas, que á su vez descansa sobre un adoquinado de piedra; sobre aquélla hay una capa de escoria de 15 centímetros de espesor.

Hay coches de dos especies: coches automotores y coches de remolque, en un total, éstos, de 33, de los cuales 11 son de primera clase, 5 de clases mixtas y 17 de tercera clase, capaces, respectivamente, para 60, 62 y 64 viajeros. La segunda clase no existe; caso frecuente en los trenes ingleses. Los coches son del tipo de pasillo central, como estamos acostumbrados á encontrar en los tranvías.

Los coches automotores son de 18 metros de longitud, y se hallan divididos en cinco departamentos, uno de los cuales, de 1^m,20 de largo, sirve de caseta para el conductor; otro departamento de 2^m,40, está destinado á los equipajes; y, finalmente, dos departamentos de 3^m,60 y otro de 6^m,60 de largo, sirven para los viajeros; las puertas correderas tan conocidas figuran en los tabiques de separación.

Están montados esos coches sobre trucs Baldwin, de vía normal, con ruedas de 75 centímetros de diámetro, y cada eje recibe el esfuerzo de un motor Westinghouse núm. 83, de unos 100 caballos, á la tensión de 550 á 600 voltios. La potencia disponible en cada coche viene á ser de unos 400 caballos. La toma de corriente se consigue por medio de las articulaciones frotantes que existen en los extremos de travesaños de madera.

Conocidas son las ventajas del sistema de tracción de unidades múltiples sobre el sistema representado por una locomotora

que arrastra tras de sí una fila de coches más ó menos larga, que es una reliquia del anticuado sistema de tracción por medio del vapor. Para que una locomotora sea capaz de ejercer un esfuerzo de tracción dado, es imprescindible que sobre sus ejes motores se ejerza un cierto peso determinado por el estado de la vía, puesto que de otro modo sus ruedas resbalarían, y claro está que ese peso extraordinario nada tiene de favorable para la vía. En caso de que el trayecto contenga pendientes, las locomotoras necesitan aún aumento de peso y las pendientes pueden llegar á ser tales que la locomotora no baste y que sea de necesidad el uso de motores en todos los ejes de los coches. Por medio de esta disposición, el peso de todos los vehículos se aprovecha, y no hay necesidad de lastres.

Claro está que el sistema de unidades múltiples, tan bonito en teoría, envolvía considerables dificultades prácticas en su realización. Es preciso que todos esos motores *marchen á compás*. El sistema electro-neumático Westinghouse ha resuelto el problema de un modo irreprochable. En la línea que nos ocupa hay ocho ejes atacados por sus correspondientes motores en la mayoría de los trenes, y en los casos de mayor afluencia existen hasta doce ejes motores. El sistema Westinghouse, que asegura la acción simultánea y variada de esos diferentes motores, se vale del aire comprimido para la maniobra de los aparatos regularizadores, y de electroimanes para arreglar la admisión de aire en todos los cilindros de aire comprimido. En cada coche automotor hay un regulador electro-neumático (fig. 4.^a), com-

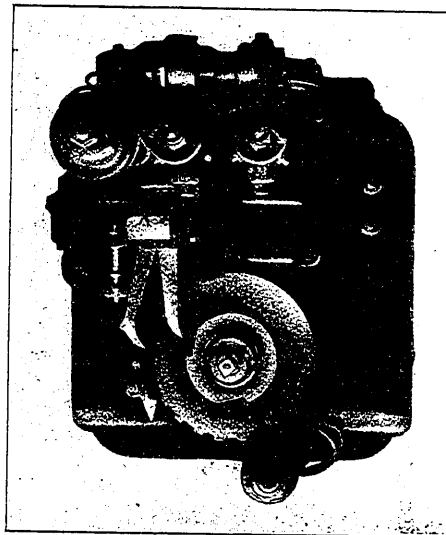


Fig. 4.^a

puesto de dos tambores, el principal y el invertidor. El árbol del tambor principal contiene dos ruedas de enganche y un piñón dentado. Esas ruedas son de diámetros distintos, con el objeto de que una corrida determinada del pistón haga que el tambor revuelva con ángulo variable, que corresponda á la posición de los contactos. Las ruedas indicadas hacen el oficio de puente entre los diferentes contactos fijos que corresponden á los inducidos, inductores y resistencias de regularización de los motores del coche; dos enganches colocados en la extremidad del vástago del pistón de un cilindro maestro sirven para accionar aquellas ruedas. El piñón recibe la acción de un resbale dentado montado en el vástago del cilindro de llamada que sirve para volver el regulador á la posición de parada.

El árbol del tambor invertidor contiene solamente un piñón dentado, que es accionado por un resbale con dientes montado directamente en un vástago del pistón común á los dos cilindros, los cuales permiten que sean intercalados en un sentido ó en otro los inducidos de los motores del coche.

El manipulador de ese regulador consiste sencillamente en ciertos frotadores móviles y contactos fijos. La manecilla se

saca fácilmente y la conexión no vuelve á ser establecida hasta que esa manecilla vuelva á su puesto. Moviéndola hacia la derecha ó hacia la izquierda, se hace que el tren vaya en una ú otra dirección.

Cuando esa manecilla está hacia la derecha y el frotador toca el primer contacto, la corriente se establece y abre inmediatamente la válvula de admisión del aire en el cilindro de desenganche, que cierra el interruptor general eléctrico. Si se continúa ese movimiento hacia la derecha, el frotador toca el segundo contacto, con lo cual el invertidor queda puesto en su lugar, ya sea por la marcha hacia adelante ó hacia atrás. Cuando el frotador toca el tercer contacto, el aire entra en el cilindro maestro, que hace avanzar gradualmente el árbol del tambor principal por medio de los enganches y las ruedas correspondientes, hasta que el regulador llega al punto que corresponde á la marcha en serie de los motores. Cuando el frotador toca el cuarto contacto, la maniobra automática del regulador vuelve á empezar y sigue paso á paso hasta poner los motores en paralelo,

sionadas por negligencias del personal, desde el momento en que el voltaje del circuito del regulador es inofensivo. Hay dos baterías de acumuladores, una de las cuales se carga mientras la otra se descarga. La carga se lleva á cabo valiéndose del circuito de la luz. Los catorce elementos, siete para cada batería, que se encargan de ese servicio, deben existir no solamente en el coche delantero, sino también en todos los coches automotrices del tren que poseen postes de manejo. Los reguladores eléctricos de que se hace uso son del tipo Westinghouse núm. 134, de plataforma, dispuestos para el trabajo de cuatro motores en serie-paralelo.

Las conexiones de baja tensión de la batería, entre los diferentes coches que forman el tren, se consiguen por medio de una cajita de unión dividida en dos partes hembra-macho de construcción robusta y que contiene siete conductores eléctricos. Las partes macho se hallan bajo las plataformas de los coches, y las partes hembra, unidas por un cable corto, establecen la comunicación entre los coches contiguos. En la que se refiere al aire



Volviendo la manecilla á la posición primitiva se hace que el regulador torne á la posición de parada, valiéndose de que la corriente abre en tal caso la válvula de admisión de aire del cilindro de llamada, arrastrando el árbol del tambor principal hasta la posición de parada por medio de un resbale dentado y un piñón. La manecilla del regulador tiene una resorte de llamada hacia la posición de parada, y que entra en acción en cuanto cesa la presión de la mano del conductor. El mismo resultado se obtiene por medio de la aplicación de los frenos automáticos de aire, lo cual constituye una gran ventaja en el caso de que el mecánico, por una maniobra falsa, aplicase los frenos sin haber previamente vuelto el regulador á la posición de parada, ó que los frenos fuesen automáticamente aplicados á causa de ruptura de los enganches de los coches.

La corriente necesaria para operar las válvulas de admisión del aire comprimido, llega de un grupo de acumuladores separado completamente del circuito principal, lo que sin duda alguna constituye una ventaja especial del sistema Westinghouse, puesto que una interrupción temporal en el gran circuito no produce ningún trastorno, ni hay posibilidad de sacudidas oca-

comprimido, no hay más conducción á unir que la del aire para los frenos.

La importancia del sistema de unidades múltiples nos mueve á insistir sobre los inconvenientes que ese sistema ha suprimido, y que existen en el sistema primitivo de una locomotora con una cola más ó menos larga de coches de remolque. Generalmente hablando, en una locomotora sólo puede contarse con cuatro ejes para motores, y, si el tren es pesado, si el trayecto contiene pendientes, ó si la velocidad deseada es importante, con paradas frecuentes, aquellos cuatro ejes de que disponemos tendrían que soportar el esfuerzo de motores potentísimos de donde puede resultar una vibración extraordinaria. Todo el que conozca la historia del Central London Railway, tan admirable en muchos puntos, sabe los quebraderos de cabeza producidos á la dirección de esa Compañía londinense por las vibraciones causadas por las locomotoras con que ese ferrocarril subterráneo comenzó á funcionar. Además, en los casos de una circulación densa, que se reproduce diariamente sólo á ciertas horas, por ejemplo, en las grandes ciudades inglesas, donde la parte céntrica sirve únicamente para el comercio y la industria, y donde

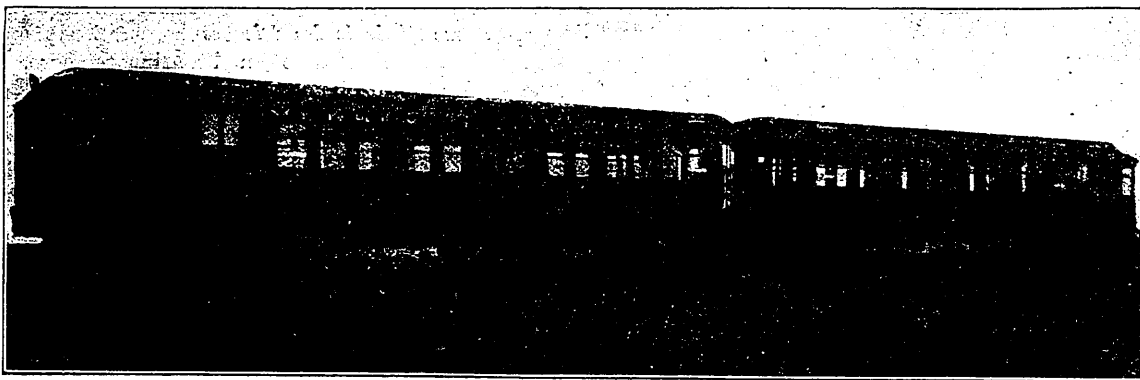
los habitantes, buscando aires puros, tienen sus viviendas en las afueras, ocurre que durante un par de horas de la mañana y otro par de horas por la tarde, el flujo y el reflujo de la población se renueva en todos los días de trabajo, y exige no solamente un

ción entre coches automotores y coches de remolque. Por medio del sistema de acoplamiento automático Buhoup, maniobrado desde la plataforma del conductor, se puede formar y dividir un tren con una facilidad increíble.



medio rápido de transporte, á causa de que las distancias son largas, sino también frecuentes paradas que dejen á los viajeros cerca de su destino por la mañana y los recojan cerca de su salida por la tarde y que no los hagan esperar mucho tiempo en las estaciones. Es decir, hacen falta trenes frecuentísimos y rápidos, que, con motivo de las abundantes paradas, son causa de que los motores trabajen únicamente en los períodos de aceleración y de retardo, servicio que es posible gracias solamente al

La caseta del conductor está admirablemente dispuesta para las diversas manipulaciones; delante del conductor y hacia su derecha está el aparato regulador; á su izquierda se halla la manecilla del freno neumático; un poco más abajo, á la altura de la rodilla, se encuentra la manecilla del acoplador automático; más arriba, á la altura de un hombre, está el interruptor del circuito principal; detrás, la rueda del freno de mano: esta rueda existe en todas las plataformas.



motor eléctrico, y que exige motores de una potencia relativamente extraordinaria; todo lo cual tiene que soportarlo fatalmente la vía. El sistema de unidades múltiples se adapta á las diferentes necesidades de la circulación. Cuando ésta llega á esos momentos febriles, puede aprovecharse la totalidad de los ejes de los coches y emplear motores de potencia reducida; en las horas en que el tráfico disminuye, puede variarse la propor-

Diremos, como conclusión, que la Compañía Westinghouse, que había recibido amplios poderes para ejecutar un trabajo que le fué confiado con esta condición primordial: «Necesitamos una obra irreprochable, dentro de los alcances de la ingeniería moderna y de los últimos adelantos», ha terminado triunfalmente la obra.