

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.

TRACCIÓN ELÉCTRICA ⁽¹⁾

El transformador de energía eléctrica constituye uno de los descubrimientos que de manera clara y evidente ponen de manifiesto una de las leyes más importantes de la naturaleza.

Descubrir el mecanismo por virtud del cual una masa metálica sin movimiento puede convertir ó transformar la energía eléctrica á 100.000 voltios en energía también eléctrica con 100 ó 200 voltios, por ejemplo, y con pérdidas insignificantes, es un hecho suficiente por sí solo para perpetuar un nombre.

Los inventores son pocos, mientras que los que se benefician con el producto del trabajo de éstos se cuentan por millones.

Un nuevo estado de cosas, tanto económico como industrial, se ha creado en el mundo durante estos últimos veinticinco años, debido principalmente á los perfeccionamientos introducidos en las máquinas y aparatos para producir, distribuir y utilizar la energía eléctrica. Más de cinco mil millones de pesetas hay empleados en fábricas de generadores, motores y transformadores, en centrales, en líneas, en ferrocarriles y en industrias completamente desconocidas tiempos atrás.

También se han gastado grandes sumas para substituir la tracción de vapor por la eléctrica en algunas secciones de los ferrocarriles de Europa y de América, á consecuencia de lo cual se dispone actualmente de una base informativa de gran valor para guiar á los que han de elegir un sistema de tracción eléctrica.

En su discurso presidencial de Abril de 1909, Mr. Aspinall, Presidente de la Asociación de Ingenieros industriales de Inglaterra, confirmó lo mucho que le había servido lo hecho en otros ferrocarriles sobre tracción eléctrica para aplicar este sistema al de Lancashire y Voikshire, del que es Director general.

En dicho discurso se ocupa con algún detalle de los efectos que sobre la vía ejercen la situación tan baja del centro de gravedad y la rigidez de los carretones que sostienen los motores.

Es indudable que el aumento progresivo del tráfico, las economías en los gastos de explotación y otras ventajas inherentes á la tracción eléctrica han de favorecer mucho su aplicación sistemática á las grandes líneas; pero para que

los resultados sean completamente satisfactorios es indispensable estudiar con todo detenimiento el problema, teniendo muy presentes las enseñanzas de la experiencia y las circunstancias especiales de cada caso particular.

Uno de los fines de esta Memoria es llamar la atención sobre la necesidad de elegir un sistema de tracción eléctrica que pudiera aceptarse como normal por las principales Compañías interesadas en el asunto, facilitando todo lo posible el tráfico internacional, con ventajas inapreciables para aquéllas y para el público.

El autor, que durante más de cuarenta años ha dirigido Empresas de ferrocarriles y durante más de veinticinco ha instalado y explotado industrias eléctricas, cree llegado el momento oportuno para elegir un sistema de tracción eléctrica tipo, á no ser que se considere conveniente el desarrollo de los diferentes sistemas existentes y la creación de condiciones que dificulten el uso general de los métodos que hoy día se aplican.

Efectivamente, la experiencia demuestra que hay más tendencia hacia la variedad que hacia la unidad, habiéndose aceptado distintos sistemas de tercer carril aún con corriente continua, y en regiones de una misma nación, dificultando así enormemente, si no imposibilitando, el paso de las locomotoras y vehículos de unas á otras líneas.

Aunque no es exacto, se acepta de una manera general como hecho indudable que la sustitución de la tracción de vapor por la eléctrica es una cosa sumamente sencilla, que depende exclusivamente de la resolución de los Consejos de administración de las Compañías.

Las dificultades que se presentan al tratar de aplicar la electricidad á la tracción de los ferrocarriles no provienen de la parte técnica del problema, sino de la financiera, así como de las condiciones de la explotación y del desarrollo que pueda adquirir el tráfico al cambiar el sistema de tracción y la forma de la explotación.

Ancho de la vía y tráfico combinado.—Es muy verosímil que al establecer los primeros ferrocarriles no se pensara en la posibilidad de que el material móvil de unas líneas tuviera que circular por otras, razón por la cual se dió muy poca importancia al hecho de que entre los anchos de vía hubiera diferencias de algunos centímetros. Afortunadamente, el ancho elegido por Stephenson ha resultado muy práctico, tanto que ha sido universalmente adoptado, salvo algunas excepciones.

Los inventos de Stephenson se copiaron inmediatamente

(1) Memoria escrita por Mr. George Westinghouse, Presidente de la Asociación Americana de Ingenieros industriales.

en otros países, en los que, como era de esperar, tampoco se dieron cuenta de los inconvenientes inherentes á la diversidad de anchos de vía ni de los gastos que lleva consigo. Como una vez construída una línea, es natural prolongarla en la misma forma en que está construída, los sistemas de vía con sus anchos especiales adquirieron el desarrollo correspondiente. En los primeros tiempos de los ferrocarriles había no pocas empresas que consideraban como una ventaja, digna de ser apreciada, la imposibilidad de que por sus líneas pudiera circular el material móvil de otras Compañías.

En algunas líneas de los Estados Unidos la diferencia entre los anchos de sus vías era tan sólo de unos 37 milímetros, suficiente para permitir el paso del material móvil de cualquiera de ellas por las demás, adoptando llantas anchas y modificando ligeramente algunos elementos de la vía.

El ancho normal de la vía en aquel país es 1,435 metros, pero hay líneas en que dicho ancho es 1,524, 1,676 y 2,007 metros, lo cual obligó á la construcción de coches para viajeros que tuviesen las cajas dispuestas en forma tal, que con facilidad pudieran reemplazarse los bastidores, á fin de evitar los transbordos cuando los viajeros tuvieran que recorrer líneas de distinto ancho de vía.

En 1878 había en los Estados Unidos once anchos de vía, además del normal.

Tanto en este país como en el Canadá llegó á ser tan necesaria la uniformidad en el ancho de vía que paulatinamente se redujo el de aquellas que era mayor que el normal, igualándole á éste. Entre los casos más notables hay el de una línea que, á pesar de tener una longitud de cientos de kilómetros, redujo el ancho de su vía en veinticuatro horas; bien es verdad que los trabajos preparatorios duraron algunos meses. No hay que decir que el cambio del ancho de la vía de un ferrocarril lleva consigo gastos muy considerables.

Hoy día, y por lo que se refiere á la tracción de vapor, no hay dificultades para la circulación del material móvil de unas Compañías por las líneas de otras, exceptuando algunos casos contados en que por el excesivo coste de las obras no ha sido posible reformar algunos puentes y túneles para permitir el paso de las locomotoras y vagones modernos.

Condiciones para el intercambio del tráfico.—Después de lo expuesto anteriormente, es indudable que, con tracción de vapor, para asegurar el intercambio del tráfico será preciso que se satisfagan las condiciones siguientes:

- a) Que el ancho de la vía sea el normal.
 - b) Que los enganches sean iguales ó sustituibles.
 - c) Que los frenos sean iguales ó sustituibles.
 - d) Que los aparatos para la calefacción sean iguales ó sustituibles.
 - e) Que el sistema de señales de los trenes sea el mismo en todas las líneas.
- Si la tracción es eléctrica, hay que agregar:
- f) Que el voltaje y la frecuencia de la corriente sean las mismas.
 - g) Que los conductores de trabajo tengan la misma posición con relación á la vía.
 - h) Que los aparatos para medir el consumo de energía en cada locomotora ó automotor sean del mismo tipo.

La uniformidad de las locomotoras y vagones, tanto con

la tracción de vapor como con la eléctrica, no tiene importancia desde el punto de vista técnico, pues lo interesante es que su construcción sea esmerada y su funcionamiento seguro; en la parte económica, dicha uniformidad tiene una influencia muy notable, lo mismo que en la explotación.

Progresos en los aparatos para corriente alterna.—El desarrollo comercial del sistema de generación, distribución y utilización de las corrientes alternas tuvo que luchar en un principio con una oposición superior á la de cualquier otra innovación, habiendo recurrido los que se consideraban perjudicados á toda clase de medios para influir eficazmente sobre la opinión pública.

Teniendo presentes las limitaciones de la corriente continua es indudable que las aplicaciones de la electricidad á la industria únicamente se pueden desarrollar con los transportes de energía eléctrica con voltaje muy elevado, reducido en los centros de consumo á valores convenientes con transformadores estáticos. A pesar de la franca desconfianza que hacia tal sistema han tenido hombres de ciencia eminentes, entre ellos lord Kelvin, el autor, desde el primer momento, dedicó una gran parte de su actividad al estudio de las aplicaciones de las corrientes alternas, cuyas grandes ventajas son hoy día universalmente reconocidas.

Hacia el año 1888, Nikola Tesla demostró que el motor de inducción era susceptible de aplicaciones prácticas; Oliver B. Shallenberger perfeccionó su contador y le adaptó á la medida de corrientes alternas, y por entonces se comprobó que los motores de corriente continua podían funcionar con corriente alterna cuando los núcleos de los inductores y del inducido estaban constituidos con chapas de hierro muy delgadas; todos estos hechos y algunos más del mismo carácter fueron causa de que por aquella época adquiriera el autor la confianza más completa en que las máquinas y aparatos de corriente alterna llegarían en poco tiempo á dominar el campo de las aplicaciones de la electricidad.

Durante el año 1892 la Compañía Westinghouse construyó dos motores monofásicos de unos diez caballos, con objeto de estudiar su aplicación á la tracción con corrientes alternas. Estos motores, que eran del tipo serie, tenían conmutadores, un gran número de polos y habían de ser alimentados con corriente de 200 voltios y 2.000 períodos por minuto. Se montaron en un vehículo que recorría una vía con curvas muy cerradas y grandes pendientes; aquél llevaba, además, un transformador y los elementos necesarios para variar el voltaje á voluntad.

Los resultados de los ensayos fueron muy satisfactorios, y no se construyeron motores de mayor potencia porque no tenían aplicación inmediata.

Todas las dinamos de corriente continua son, realmente, generadores de corriente alterna, que por medio del conmutador es transformada en continua; si á una dinamo se la provee de anillas ó de conmutador podrá alimentar simultáneamente una línea de corriente alterna y otra de continua. El conmutador limita tanto el voltaje, que hace imposible, desde el punto de vista económico, el transporte de grandes cantidades de energía con corriente continua.

Una máquina con conmutador y con anillas puede alimentarse con corriente alterna y producir corriente continua, en cuyo caso recibe el nombre de convertidor ó transformador rotatorio. Cuando el voltaje de la línea es muy elevado es preciso interponer entre ella y el convertidor un transformador que rebaje el voltaje á un valor conveniente para el funcionamiento de aquél.

Sistemas de ferrocarriles eléctricos.—Tan pronto como se conocieron fundamentalmente estas propiedades de las corrientes alternas se hicieron numerosos trabajos para construir máquinas y aparatos que las utilizaran y permitieran la aplicación inmediata de la electricidad á la tracción de los ferrocarriles.

Durante los últimos veinte años se han ensayado y aplicado tres sistemas para tal objeto, todos con corriente alterna, total ó parcialmente:

1.º Con corriente continua ó sistema de tres carriles en el que se hace uso de la corriente alterna para la producción y el transporte de la energía, cuando la central está situada á una distancia muy considerable del ferrocarril.

2.º Con corriente trifásica y dos conductores de trabajo.

3.º Con corriente monofásica de alta tensión y un solo conductor de trabajo.

En el ferrocarril de New-York, New-Haven y Hartford se ha aplicado este último sistema con motores y reguladores contruidos en forma tal, que pueden trabajar satisfactoriamente tanto con 11.000 voltios como con 650, que es el voltaje del ferrocarril New-York Central and Hudson River, hecho que demuestra la extraordinaria flexibilidad de los aparatos de corriente alterna.

El problema que tenían que resolver los directores del ferrocarril de New-Haven no fué sencillamente la aplicación de la tracción eléctrica á una sección de unos cuantos kilómetros de vía obligados por disposiciones legales, sino que tuvieron que elegir el sistema más conveniente para una línea que recorre varios Estados, y á la que afluyen muchas otras de carácter secundario, en las que muy pronto se hizo necesario substituir la tracción de vapor por la eléctrica.

Teniendo en cuenta que el sistema monofásico era completamente nuevo y que los trenes de la línea de New-Haven habían de recorrer unos 20 kilómetros sobre otras en que se había instalado el sistema de tracción con corriente continua, es muy de apreciar la resolución de los directores del ferrocarril de New-York, New-Haven y Hartford y la confianza que depositaron en sus Ingenieros aceptando el sistema monofásico, puesto que así prestaron un servicio de inestimable valor al progreso de la tracción eléctrica.

El sistema monofásico es muy reciente relativamente, por lo cual no es tan conocido como los otros dos. En las notas se encontrarán detalles sobre la extensión y el funcionamiento de tal sistema, así como los resultados de su aplicación en el ferrocarril de New-York, New-Haven y Hartford, el cual proporciona datos muy interesantes y de inestimable valor para elegir un sistema normal y de carácter general para la tracción eléctrica.

En la Memoria presentada en el último Congreso internacional de ferrocarriles de Berna por Mr. George Gibbs, Ingeniero jefe de tracción eléctrica en el ferrocarril de Pennsylvania, se consignan noticias y resultados prácticos muy útiles para la aplicación de la tracción eléctrica en los ferrocarriles.

Cuando los directores del ferrocarril central de New-York y del de New-York, New-Haven y Hartford publiquen todo lo relativo á los gastos de instalación, conservación y explotación de sus líneas después de aplicar la tracción eléctrica, se dispondrá de una información muy completa sobre el particular.

Los resultados de la explotación del sistema trifásico en Italia y en Suiza han llamado mucho la atención durante bastantes años, contribuyendo con su éxito á consolidar la

confianza en la aplicación de la electricidad á la tracción de los trenes.

Actualmente está haciendo una instalación eléctrica el Gobierno italiano en una línea con fuertes pendientes, que parte de Génova, sobre la que circularán veinte locomotoras contruidas en Italia, con una potencia de 2.000 caballos. La construcción y explotación de esta línea proporcionará datos muy interesantes sobre las características del sistema trifásico.

Los tres sistemas de tracción eléctrica enumerados tienen de común todo lo que se refiere á las centrales que producen la energía eléctrica; las diferencias entre unas y otras están en los motores, en los reguladores, en la forma adoptada para llevar la energía á las locomotoras y en los aparatos correspondientes.

Motores para ferrocarriles.—Han de construirse en forma tal que puedan arrancar con carga, aumentar rápidamente la velocidad hasta el valor necesario, mantenerla todo el tiempo que sea preciso ó variarla entre límites muy amplios, según sean las condiciones del trazado y las exigencias de la explotación, tanto en el transporte de viajeros como en el de mercancías.

La locomotora de vapor, cuya potencia está limitada por la capacidad de la caldera, puede trabajar continuamente á cualquier velocidad, incluso con la máxima, la cual depende, en cada caso particular, de la longitud del tren y del perfil de la vía.

En las rampas la velocidad disminuye automáticamente, pues que la potencia desarrollada es casi independiente de la velocidad.

La capacidad de una locomotora eléctrica no está limitada por la potencia disponible sino por la capacidad de los motores, la cual depende principalmente del calentamiento del cobre; una locomotora de esta clase puede desarrollar sin peligro alguno, durante breves momentos, una potencia muy superior á la normal. Las características de las locomotoras de vapor y de las eléctricas difieren bastante entre sí.

Entre los tres tipos de motores eléctricos existen diferencias tan fundamentales, por lo que se refiere á la velocidad, que constituyen factores muy importantes para juzgar las ventajas, los inconvenientes y las limitaciones de cada sistema de tracción eléctrica.

Motores de corriente continua.—Las características de los motores, serie de corriente continua para tracción, son bien conocidas. Su velocidad varía automáticamente con la carga, disminuyendo cuando el peso del tren ó la rampa aumentan. Sin embargo, la velocidad correspondiente á una carga dada es determinada, depende de la diferencia de potencial aplicada al motor y no se puede alterar bruscamente, porque si bien es verdad que se reduce si se intercala una resistencia en el circuito del motor, este recurso sólo es admisible por corto tiempo, pues lleva consigo una pérdida de energía bastante notable. También se puede reducir la velocidad del motor cuando hay más de uno en la locomotora, conectándolos en serie, y repartiendo la diferencia de potencial de la línea entre dos, tres, cuatro, etc., motores, cada uno de los cuales funcionará con una velocidad que será la mitad, la tercera ó la cuarta parte de la correspondiente al voltaje total.

El voltaje de la línea es constante, de modo que en ningún caso se puede obtener una velocidad mayor que aquella para la que el motor ha sido construido; pero como es muy

costoso mantener constante el voltaje, sobre todo en los extremos de la línea y cuando las cargas son grandes, dos motivos que contribuyen á reducir el valor de la velocidad disponible. En la explotación de los ferrocarriles sucede con mucha frecuencia que las locomotoras han de trabajar con velocidades mayores que la normal, por ejemplo, cuando una de ellas, construida para remolcar trenes de mercancías, ha de engancharse, por razones especiales, á un tren de viajeros reglamentario, en cuyo caso su velocidad no se ajustará á la que figura en el cuadro de marcha correspondiente, será bastante menor. En algunos casos se podría emplear un regulador en los campos para variar la velocidad, pero siempre se habría de utilizar con una gran limitación.

Motores trifásicos.—Los motores trifásicos son esencialmente de velocidad constante, cualquiera que sea la carga y la rampa de la vía; pero la energía consumida en éstas es bastante mayor que la correspondiente á los tramos horizontales. Por el contrario, la velocidad en horizontal no es mayor que en rampa. Se puede reducir la velocidad de estos motores con la agrupación de dos ó más en serie, como se hace con los de corriente continua, resultado que también se consigue con disposiciones especiales, pero algo complicadas por cierto, de los devanados y conexiones. En general, se reduce la velocidad con resistencias suplementarias que aumentan las pérdidas y disminuyen el rendimiento. No hay ningún medio eficaz y práctico para conseguir que la velocidad sea mayor con cargas pequeñas que con cargas grandes.

Los motores trifásicos que se emplean en la tracción eléctrica son de inducción, sin conmutadores y de construcción muy sencilla. Toman la corriente de dos conductores de trabajo, con 3.000 voltios de diferencia de potencial, generalmente.

Los motores trifásicos, tal como se construyen hoy día y dispuestos convenientemente en las locomotoras, pueden funcionar como generadores en las pendientes, contribuyendo á la alimentación de la línea, característica muy de apreciar en los ferrocarriles de montaña, pero á la que se debe conceder muy poca importancia al elegir un sistema de tracción eléctrica.

Motores monofásicos.—Los motores monofásicos para tracción son motores serie con características, por lo que se refiere á la velocidad, análogas á las de los motores de corriente continua, puesto que aquélla depende de la carga; para un valor determinado de ésta la velocidad es función de la diferencia de potencial aplicada al motor; aunque no de una manera limitada como en los motores de corriente continua, en los que dicha diferencia ha de ser precisamente la mitad, la tercera, la cuarta parte de la correspondiente á la línea, pues en los motores monofásicos se puede reducir gradualmente multiplicando las conexiones del transformador que lleva la locomotora con los motores; de esta manera su velocidad puede variar, entre límites muy amplios, con los valores intermedios que se quiera. También es posible dar al motor una velocidad mayor que la normal, aumentando su voltaje convenientemente. Esta característica del motor monofásico es peculiar de él y le distingue de los de corriente continua y trifásica.

Como el regulador de una locomotora de vapor, el de las eléctricas con motores monofásicos puede colocarse en numerosas posiciones para mantener la velocidad deseada. En las primeras es la capacidad de la caldera el elemento que gobierna su marcha constante y regular, mientras que en las

segundas, que disponen de un manantial de energía muy considerable, la central es el calentamiento de los motores quien limita su funcionamiento en ciertas condiciones.

Frecuencia.—La frecuencia más conveniente para la tracción eléctrica es una cuestión cuya resolución definitiva tiene muchísima importancia. La mayor parte de los ferrocarriles eléctricos monofásicos en explotación han adoptado 25 alternancias; los del Mediodía francés emplean 15. Las instalaciones trifásicas se han hecho con 15 también.

La frecuencia baja permite reducir el tamaño de los motores para una potencia determinada ó aumentar ésta en un motor dado cuando aquélla se reduce.

Resumen.—Los tres tipos de locomotoras eléctricas considerados funcionan hoy día con resultado completamente satisfactorio y han demostrado su utilidad, capacidad y seguridad para la tracción de los ferrocarriles. El motor trifásico, con velocidad constante, está indicado para casos muy especiales; pero no es conveniente, por regla general, para aquellas líneas que se explotan en condiciones muy variables por lo que se refiere á la naturaleza y repartición del tráfico y al perfil de la vía. El motor monofásico permite que su velocidad pueda variar entre límites muy amplios, siendo en esta circunstancia en lo que principalmente estriba su superioridad sobre los otros tipos de motor. Los pesos y los costes de cada uno de ellos y de las locomotoras correspondientes dependen de tantos elementos, que no es posible hacer una comparación desde un punto de vista general. Las diferencias entre los costes de unas y otras locomotoras se compensan muy ampliamente con el gasto que representan los demás elementos de la instalación.

Entre los reguladores de los tres tipos de locomotoras apenas hay diferencia alguna, por lo que hace á su funcionamiento, que es muy seguro. Uno nada más hace falta, con ciertos aparatos auxiliares, para que un hombre nada más gobierne la marcha de todos los motores de un tren.

Transporte de la energía desde la Central á las locomotoras.—El factor que determina el coste total de un sistema de tracción eléctrica es el transporte de la energía desde la Central hasta la locomotora. Para elegir uno ú otro de aquéllos, teniendo en cuenta el gasto que cada uno lleva consigo, hay que comparar dos presupuestos totales respectivos; en cuyas diferencias tienen muy poca influencia las Centrales y locomotoras, mientras que la tiene muy grande el método que se elija para el transporte de la energía. Por regla general, la corriente que se produce en la central es alterna y de alta tensión, porque así es como se puede transportar la energía en condiciones verdaderamente económicas, aunque sea preciso después transformarla en corriente continua de baja tensión.

Tracción eléctrica con corriente continua.—Entre la central y la locomotora hay intercalados los siguientes aparatos, por todos los cuales ha de pasar la corriente eléctrica:

- a) Transformadores elevadores en grupos de tres.
- b) Una línea de transporte con tres conductores y varias subestaciones que contienen:
- c) Transformadores en grupos de tres, y
- d) Convertidores para transformar la corriente alterna en continua.
- e) Un conductor de trabajo con los alimentadores que exija la importancia de la instalación:
- f) Un conductor para el retorno de la corriente á la central, constituido por la vía, que ha de tener juntas especial-

les, y en algunos casos conductores directos de vuelta desde ciertos puntos de la línea, así como dinamos especiales para elevar el voltaje.

Es muy importante la situación del conductor de trabajo con relación á la vía, porque la flexibilidad del *trolley* es bastante limitada, y si no hay un paralelismo bastante perfecto entre uno y otro, el último descarrilará con frecuencia.

Tracción eléctrica con corriente trifásica.—Los aparatos que se intercalan entre la central y la locomotora son los siguientes:

- a) Transformadores elevadores en grupos de tres.
- b) Línea de transporte con tres conductores.
- c) Subestaciones con transformadores en grupos de tres.
- d) Dos conductores de trabajo.
- e) Conductor de retorno constituido por la vía.

Los conductores de trabajo exigen una instalación muy delicada, puesto que además de ocupar una posición determinada con relación á la vía han de estar perfectamente aislados uno de otro. En este sistema de tracción, tanto los aparatos auxiliares, como los cruzamientos, son bastante complicados.

Tracción eléctrica con corriente monofásica.—Los aparatos que se establecen en este caso son los siguientes:

- a) Un transformador elevador.
- b) Una línea de transporte con dos conductores.
- c) Subestaciones muy distantes en cada una de las cuales hay un transformador para rebajar.
- d) Un conductor de trabajo.
- e) Un conductor de retorno constituido por la vía.

Cuando la distancia entre la central y la vía es inferior á 30 ó 40 kilómetros, no hay inconveniente en alimentar el conductor de trabajo directamente, es decir, sin elevar ni rebajar luego el voltaje de los generadores.

El conductor de trabajo puede colocarse á gran altura; porque la forma especial que tiene el *trolley* en este sistema de tracción permite que automáticamente se adapten uno á otro. La altura del primero sobre la vía es ordinariamente 4 ó 5 metros.

Los tres tipos de motor considerados y los tres sistemas de transporte de energía correspondientes han demostrado experimentalmente su utilidad para la tracción de los ferrocarriles. No es el objeto de esta Memoria demostrar la superioridad de un sistema sobre los otros dos, sino poner en evidencia las características más importantes de cada uno de ellos y la forma en que satisfacen las exigencias de la explotación para llegar á la conclusión de lo necesario, que es adoptar un sistema de tracción eléctrica de carácter universal, es decir que pueda ser aceptado por todas las Compañías de ferrocarriles.

Condiciones de un sistema universal de tracción eléctrica. Al tratar de elegir un sistema de tracción eléctrica, hay que tener muy presentes las consideraciones siguientes:

a) Las locomotoras eléctricas pueden realizar el mismo servicio que las de vapor, duplicando con suma facilidad la velocidad y la potencia de éstas. Con aquéllas se puede hacer con toda amplitud el servicio general de viajeros con gran variedad de velocidades, el servicio local de los mismos, todo el tráfico de mercancías con trenes pesados y el local con trenes ligeros, facilitándose en grado sumo todas las operaciones de carga, descarga y transbordo. Para satisfacer estas necesidades, el esfuerzo de tracción ha de variar entre límites muy separados, tanto para poder remolcar tre-

nes de diferentes condiciones, como para adaptarse á las diversas circunstancias en que puede encontrarse un mismo tren.

b) Las locomotoras eléctricas han de tener una gran capacidad por lo que hace á su potencia, mucho mayor que la que tienen las de vapor, porque han de remolcar trenes y cargas muy superiores á las que éstas y con velocidades más grandes. La facilidad con que las locomotoras eléctricas pueden trabajar como unidades independientes, permite aplicar á cada tren la energía que necesita.

c) Todo sistema de tracción eléctrica ha de permitir el desarrollo del tráfico de la línea con mucha más amplitud y desahogo que cuando la tracción se hace con vapor. Ha de ser aplicable á las líneas secundarias, así como á las de corta longitud que afluyen á las grandes poblaciones y á las líneas de primer orden.

d) Un sistema de tracción eléctrica de carácter universal exige que la energía eléctrica se pueda transmitir muy económicamente al conductor de trabajo, aun cuando la Central esté situada á una distancia considerable, y ha de utilizar los aparatos más perfectos que se conozcan para la producción, transporte y transformación de la energía con los voltajes de uso general.

e) El conductor de trabajo ha de ser de constitución sencilla y de instalación económica, tanto en los ferrocarriles de tráfico intenso como en los secundarios. La vía ha de ser de conservación sencilla, segura, es decir, que por su forma y sistema de construcción haya pocas probabilidades de que por descarrilamientos, ó por efectos de las nieves y de las heladas se interrumpa la circulación de trenes, y que, en caso de ocurrir esto último, se pueda remediar con facilidad y prontitud.

La aplicación de la electricidad á los ferrocarriles, ha sido impuesta por el hecho de haber llegado las locomotoras de vapor al máximo de lo que de ellas se puede obtener, y por la imposibilidad de utilizarlas en ciertos túneles y en servicios de condiciones especiales. En la mayoría de las instalaciones de tracción eléctrica ésta se ha hecho sobre redes de muy poca extensión, dando importancia á los factores de influencia directa y preponderante en cada caso particular, sin prestar gran atención á las relaciones de unos sistemas con otros, con la mira de llegar á uno de carácter universal y aceptable por todos.

Por el momento no se aprecian los inconvenientes que la diversidad entre unos sistemas y otros ha de ofrecer el día de mañana, cuando al desarrollarse las instalaciones llegue el caso de enlazar unas con otras; sucederá entonces lo que ahora con la variedad en los anchos de vía, que hay que gastar sumas enormes y vencer serias dificultades para cambiar el ancho de la vía de algunas líneas, aunque sean de corta longitud.

Los ferrocarriles eléctricos futuros.—Con la aplicación de la electricidad á la tracción de los ferrocarriles no son necesarios los depósitos de carbón y de agua; la composición de los trenes variará radicalmente, así como su peso y velocidad; la utilidad de las líneas afluentes á las principales se aumentará considerablemente con el empleo de los automotores eléctricos.

El tráfico de mercancías se hará en condiciones muy distintas de las en que se hace actualmente, porque las locomotoras eléctricas se pueden construir con una reserva de potencia muy grande, lo cual permite que puedan remolcar

trenes muy pesados, aun cuando las rampas sean fuertes y las velocidades grandes.

Una central eléctrica puede alimentar simultáneamente varias líneas, con la economía consiguiente en los gastos de instalación correspondientes á cada una; además, puede utilizar los terrenos expropiados para la construcción de la vía, para sobre ellos tender la línea de transporte de energía eléctrica, evitando de esta manera la imposición de toda servidumbre de paso.

A pesar de lo mucho que se ha progresado en las instalaciones eléctricas con generadores y motores de vapor, tanto por lo que se refiere á su funcionamiento como por lo que hace á su coste, es de esperar que aún resulten más económicas las centrales con motores de gas ó de petróleo, favoreciendo y facilitando la aplicación de la electricidad á la tracción de los ferrocarriles.

La adopción de un sistema universal de tracción eléctrica se apreciaría en gran escala en tiempo de guerra.

Para conseguir que se adopte un sistema de tracción eléctrica con carácter universal ha de ser preciso vencer innumerables dificultades; habrá partidarios decididos y entusiastas de cada uno de los sistemas conocidos de cada uno de los tipos de motor; habrá quien sostenga la existencia de varios sistemas, fundándose para ello en que cada uno tiene su campo propio de aplicación, en el que influyen muy especialmente las circunstancias de cada caso particular, y, por último, habrá muchos que den gran importancia á factores que realmente no la tienen, como son las locomotoras y motores, por ejemplo, mientras que prestarán poca atención á los que realmente influyen en el resultado final de la aplicación de la electricidad á la tracción, como son la facilidad y la economía con que se haga el transporte de la energía desde la central hasta la vía.

Si actualmente se hubiera aceptado ya el sistema universal, es incalculable el esfuerzo que se aplicaría para perfeccionar y simplificar los aparatos correspondientes, con ventaja muy grande para los fabricantes y para las Compañías de ferrocarriles.

(Continuará.)

α.

CANAL DE ISABEL II. ⁽¹⁾

SEGUNDA SECCIÓN

Modificaciones que en los servicios de esta sección se introducen.—A esta sección deben agregarse los depósitos elevados, zanjás de aspiración é instalaciones correspondientes que en el primitivo plan se incluían en la sección tercera, por ser éste el lugar adecuado.

Comprende la segunda sección las obras siguientes:

- 1.º Tercer depósito.
- 2.º Obras accesorias.
- 3.º Galería de tubos.
- 4.º Zanja de aspiración.
- 5.º Depósitos elevados.

El presupuesto de obras nuevas de esta sección que figuraba en el plan de 1907 se eleva á 6.720.000 pesetas.

(1) Véase el núm. 1846.

Antecedentes del tercer depósito.—Al hacerme cargo de los servicios vi que las obras de más compromiso en esta sección eran las del tercer depósito; estudiados sus antecedentes, resulta lo siguiente:

En primeros de Octubre de 1877 se mandó por Real orden que se estudiase un nuevo depósito que tuviera capacidad para el consumo de Madrid durante un mes.

El primer proyecto de un tercer depósito de agua fué redactado en primeros de Julio de 1881 por el Ingeniero don Serafin Freart y aprobado por Real orden de 23 de Noviembre del mismo año, pero disponiendo que se modificaran los revestimientos del vaso en sus lados Norte y Sur, sustituyéndolos por muros verticales análogos á los construídos en el depósito mayor y sustituyendo igualmente por muros estribos dos de las arcadas destinadas á sostener la cubierta de fábrica del depósito.

En 25 de Junio de 1884 se aprobó el expediente de expropiación.

En 26 de Septiembre de 1893 se adjudicaron las obras de excavación general del vaso á D. Bruno Fernández Ayán.

En 16 de Abril de 1895 presentó el Ingeniero D. Diego Martín Montalvo el proyecto que comprendía las modificaciones ordenadas, y que fué devuelto por la Dirección general de Obras públicas, á fin de que se reformara con arreglo á la propuesta que con motivo de su informe había hecho á la Dirección la Junta consultiva. Esta propuesta comprendía dos extremos distintos: el primero se refería á modificaciones en el proyecto sin alterar el sistema de cubierta de fábrica propuesta, y el segundo á la modificación de la cubierta empleando el hierro en ella, y si se juzgase conveniente también en los apoyos.

El 5 de Febrero de 1896 se ordenó que en el estudio del proyecto se tuviera en cuenta la acometida de las redes de distribución para que los depósitos elevados pudieran tomar directamente el agua del tercer depósito.

En 1.º de Marzo de 1898 redactó el Ingeniero D. José Nicolau un nuevo proyecto del tercer depósito, presentando tres soluciones, dos con cubierta de fábrica y otra mixta de fábrica y hierro, que es la que se aprobó en 20 de Agosto del mismo año.

En 22 de Septiembre de 1898 salió un Real decreto aprobando la liquidación de las obras de excavación del vaso, ejecutadas por el contratista D. Bruno Fernández Ayán.

En 13 de Diciembre de 1898 se adjudicó en pública subasta á D. Domingo Taberner la ejecución del proyecto aprobado con cubierta mixta de fábrica y hierro.

El 5 de Octubre de 1900 comenzaron por administración los trabajos de consolidación del subsuelo.

En 24 de Noviembre de 1901 se aprobó la variante al proyecto entonces en vigor.

En 10 de Diciembre de 1901 acordó la Administración que no se ejecutara el proyecto de cubierta mixta de fábrica y hierro del Sr. Nicolau, subastado á D. Domingo Taberner, por decidirse á un nuevo sistema de cubierta que no había de ejecutarse por la contrata vigente. Fundándose en este acuerdo, el contratista solicitó la rescisión, que obtuvo en 1.º de Mayo de 1902, por cuya razón hubo que abonarle toda la obra ejecutada, todo el material y útiles que tenía acopiados para la realización de los trabajos.

En 18 de Agosto de 1902 se autorizó para que se hicieran por administración las obras para terminar la mitad Sur del depósito.