

REVISTA DE OBRAS PUBLICAS

PUBLICACIÓN TÉCNICA 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 CON CORRIENTE MONOFÁSICA ⁽¹⁾

La Memoria de Messrs. W. M. Mordey y B. M. Jenkin, leída ante la Institución de Ingenieros civiles de Inglaterra en Febrero de 1902, estudiaba los principales sistemas de tracción eléctrica aplicables á los ferrocarriles, llegando sus autores á la conclusión de que el sistema monofásico era el único que podía satisfacer las exigencias de la tracción, aunque en aquella época no existía todavía aplicación alguna de aquel sistema, ni motor apropiado para tracción que trabajase con corriente monofásica. Hoy día existen varios tipos de motores monofásicos que funcionan satisfactoriamente, así como más de 10 ó 12 líneas de ferrocarriles eléctricos con corriente monofásica (2).

El objeto de la presente Memoria es dar á conocer de una manera breve los progresos realizados en los sistemas de tracción eléctrica, las modificaciones que deben sufrir las conclusiones sentadas por Messrs. Mordey y Jenkin en 1902 en vista de los resultados de la experiencia, y, por último, y muy especialmente, describir los principales aparatos empleados en la tracción monofásica, discutiendo todos los problemas á que da lugar su funcionamiento.

Progresos en la tracción eléctrica desde 1902.

Corriente continua.—Aunque es muy poco lo que se ha perfeccionado el sistema de tracción con corriente continua, son numerosas las aplicaciones que de él se han hecho, tanto en Europa como en América. El principal inconveniente de los motores le constituían las chispas en el colector, porque éstas limitaban el voltaje, inconveniente que en la actualidad ha perdido importancia gracias al estudio minucioso que de aquellos motores se ha hecho y al empleo de polos conmutadores. Por esta circunstancia, el voltaje de la línea ha podido elevarse hasta 750 voltios, y en algunos casos especiales se ha llegado hasta 1.000 y 3.000 con dos motores en serie de 1.500, ó con cuatro de 750 en el segundo caso. Con objeto de poder aumentar la longitud que limita el empleo económico de la corriente continua para tracción, se ha recurrido á la instalación de baterías de acumuladores en el extremo de la línea.

Corriente trifásica.—Los hechos más importantes en relación con la aplicación de esta corriente á la tracción ocurridos du-

rante los últimos cuatro años y medio, son los experimentos de Zossen, la apertura de la línea de Valtellina en el otoño de 1902, y la adopción del mismo sistema para el túnel del Simplón.

En los experimentos de Zossen (1), el voltaje nominal en los conductores aéreos fué 10.000 voltios, habiéndose llegado á la conclusión de que por medio de conductores aéreos se podían transmitir sin grandes dificultades potencias hasta de 2.000 kilovatios á locomotoras con velocidad de 193 kilómetros por hora.

En la línea de Valtellina, cuya longitud es 108 kilómetros, se emplea corriente trifásica á 20.000 voltios, que se transforma de manera que el voltaje sea 3.000 voltios en los hilos de trabajo. Este ferrocarril eléctrico ha obtenido un resultado completamente satisfactorio, tanto desde el punto de vista técnico como por lo que se refiere á los gastos de explotación, consignándose en el cuadro núm. I del Apéndice los datos más importantes relativos á dicho ferrocarril. Los gastos de conservación no han sido excesivos á pesar de ser dos los hilos de trabajo, ni el pequenísimo entrehierro de los motores ha producido dificultades extraordinarias. El éxito alcanzado en esta línea ha sido el motivo de que se aplicara el mismo sistema en el túnel del Simplón.

Corriente monofásica.—En los cuadros II y III se consignan los ferrocarriles que hacen uso de la corriente monofásica, de los cuales no existía alguno cuando se publicó la Memoria de Messrs. Mordey y Jenkin. En la línea Seebach-Wettingenline se emplearon en un principio locomotoras construidas según el sistema de Ward Leonard, del que se habla en aquella Memoria, cuyos motores trabajaban con corriente de 50 periodos por segundo; actualmente se han sustituido con otros que reciben corriente monofásica de 15 periodos por segundo, á cuyo tipo pertenecen las empleadas en las líneas citadas en los cuadros. El perfeccionamiento con que actualmente se construyen los motores monofásicos constituye el motivo principal del desarrollo que ha adquirido el sistema de tracción con corriente monofásica.

Desde hace mucho tiempo se sabía que un motor serie de corriente continua podía funcionar con corriente alterna siempre que los núcleos de los campos estuvieran laminados; pero debido al gran desarrollo adquirido por la corriente continua, así como á la frecuencia elevada de las alternas, la aplicación de éstas á los motores no pasó del período experimental. Esta cuestión adquirió de nuevo interés en 1902 con la Memoria de Mr. B. G. Lamme (2), leída en Septiembre de aquel año ante el

(1) Memoria presentada por Carlos Frewen Jenkin en la Institución de Ingenieros civiles de Inglaterra y publicada en *The Minutes of Proceedings*, de la misma Institución.

(2) Electrical Traction in Railways, *Minutes of Proceedings Inst., C. L.*, volumen CXLIX, pág. 40.

(1) Ver A. Siemens, «High Speed Electric Railway Experiments on the Martenfelde-Zossen Line». *Journal of the Institution of Electrical Engineers*, vol. 33, (1904), pág. 849.

(2) «Washington, Baltimore and Annapolis Single-Phase Railway», *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers*, vol. XX, pág. 15.

Instituto Americano de Ingenieros electricistas, y con el éxito que alcanzó el coche para tranvía con motores monofásicos, ideado por el Dr. Fruri, que circuló por las líneas de Milán en Junio de 1903. En Agosto del mismo año la Sociedad «Union Company» de Berlín (actualmente incorporada a la Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft) realizó varios experimentos sobre un ramal de vía construido expresamente para este fin por la Administración de los ferrocarriles con un coche provisto con motores de repulsión compensados, inventados simultáneamente por M. Latour en Francia, y por los Sres. Winter y Eichberg en Alemania. La Compañía Westinghouse en América ha dedicado atención preferente al motor serie compensado; la Compañía general de Electricidad al motor de repulsión, y las de Siemens Schuckertwerke y Oerlikon también han estudiado detenidamente el primero, en el cual han introducido los polos conmutadores y otros perfeccionamientos.

La conclusión en favor de la corriente monofásica a que llegaron los Sres. Gordey y Jenkin en su Memoria de 1902, la fundaron principalmente en la importancia tan grande que tiene en la tracción eléctrica el conductor que ha de llevar la energía a los motores. Dicho conductor ha de estar sometido a un potencial elevado, debe ser aéreo y lo más sencillo posible, es decir, que ha de estar constituido por un solo alambre; y, por último, para facilitar la producción y la transformación de la energía la corriente debe ser alterna.

La experiencia ha demostrado que el sistema monofásico es práctico y posee las condiciones que se acaban de enumerar; las ventajas de un solo conductor aéreo se han confirmado plenamente, y como se puede pasar de voltajes de 3.000 voltios en el hilo de trabajo, la inferioridad del doble conductor aéreo es más marcada. En las aplicaciones del sistema monofásico no se han presentado dificultades de importancia que anulen los argumentos sentados en un principio para demostrar que es el único que puede cumplir de una manera satisfactoria las exigencias de la tracción eléctrica en los ferrocarriles.

El objeto de la presente Memoria no es describir con todo detalle el sistema de tracción monofásico, sino únicamente los elementos que le caracterizan; así es que no se dirá nada sobre la disposición de las locomotoras, colocación de los aparatos en los coches, frenos, calefacción, etc., porque todas estas cosas son independientes del sistema de tracción.

Motores monofásicos para tracción.

Para poder adquirir un conocimiento exacto sobre las condiciones y particularidades de los diferentes tipos de motores monofásicos aplicables a la tracción, es necesario describir, aunque sea brevemente, los principios en que se funda su funcionamiento.

Es sabido que el sentido en que gira un motor serie de corriente continua es independiente de la dirección de ésta, y que, por lo tanto, girará también cuando a sus terminales se aplique una fuerza electromotriz alterna.

Un motor que trabaje en estas condiciones presentará varios inconvenientes. En primer lugar, los inductores se calentarán de una manera excesiva por efecto de las alternancias del campo magnético, lo cual puede remediarse con el empleo de núcleos constituidos con chapas delgadas. El factor de potencia será muy pequeño a consecuencia del gran número de amperios-vueltas que son necesarios en los campos, número que puede reducirse cuando el entrehierro es muy pequeño, solución que a su vez tiene el inconveniente de aumentar la importancia de los campos transversales producidos por la armadura, efecto que a su vez puede destruirse con devanados compensadores.

Con estas modificaciones el motor se convierte en un *motor serie compensado*, cuyo único inconveniente le constituye el chispeo entre las escobillas y el conmutador producido por la intensa corriente de corto circuito que se desarrolla en el carrrete en que ha de verificar la conmutación por efecto de la ac-

ción análoga a la de un transformador que sobre él ejercen los campos. Para disminuir la intensidad de esta corriente se han propuesto varios medios, entre los cuales los más satisfactorios son: primero, el que consiste en la introducción de resistencias entre los carretes y el conmutador, las cuales únicamente están en circuito cuando en el carrrete correspondiente se verifica la inversión de corriente, de tal manera que con un pequeño gasto de energía se limita el valor de la intensidad de la corriente de corto circuito; segundo, el constituido por el empleo de polos conmutadores, los cuales eliminan por completo estas corrientes cuando el motor marcha con la velocidad máxima, siempre que su devanado sea tal que los campos correspondientes guarden una cierta relación de fase con el principal a fin de conseguir el efecto deseado; el devanado serie sencillo de los motores de corriente continua no resuelve el problema.

Los motores provistos con las modificaciones indicadas funcionan también con corriente continua, de tal manera que este tipo de motor monofásico es asimismo un buen motor de corriente continua.

El motor compensado que se ha descrito puede constituirse de diversas maneras desde el momento en que las corrientes y los campos son alternos.

(a) El devanado compensador puede estar cerrado en corto circuito en lugar de enlazarse en serie con el circuito principal, adquiriendo la corriente de una manera automática la intensidad precisa para anular los campos transversales. El motor así constituido recibe el nombre de *motor compensado de inducción*.

(b) Si las escobillas se enlazan entre sí de tal manera que estén en corto circuito y no en serie, la intensidad de la corriente en la armadura se adaptará automáticamente a la del devanado compensador, formándose así el *motor de repulsión*.

Tiene interés la consideración de los devanados del motor desde otro punto de vista. Sobre el rotor y el estator existen tres devanados: el de los Campos (E), el de la Armadura (A) (en serie con el primero) y el Compensador (C), que se supone en corto circuito, los cuales pueden combinarse de seis maneras (1):

Estator.	Rotor.	Tipo del motor.
F. A.....	C.	Motor de repulsión.
F. C.....	A.	Motor serie compensado.
A. C.....	E.	Imposible.
C.....	E. A.	Motor de repulsión invertido.
A.....	E. C.	Motor de repulsión compensado.
F.....	A. C.	Imposible.

Los grupos tercero y sexto son imposibles, porque el devanado de la armadura y el compensador no pueden estar juntos. Es posible formar aún más grupos, puesto que los devanados correspondientes al estator pueden enlazarse, y entre los que forman circuitos en serie puede intercalarse un transformador.

Aunque en realidad las diferentes soluciones indicadas pueden considerarse como simples modificaciones de un mismo tipo, cuando se estudia su teoría con detalle se observa que los resultados son diferentes. En la actualidad, los dos únicos tipos que se aplican de una manera general son el motor serie y el de repulsión, ambos compensados.

Motor serie compensado.—La figura 1.* representa el esquema de este motor: A es un carrrete que produce un campo paralelo a yy, B es el carrrete compensador cuyo número de vueltas es el mismo que el del devanado del rotor entre las escobillas

(1) K. Pichelmayer, «Über Einphasenkommutator motoren». *Electrotechnische Zeitschrift*, vol. XXV (1904), pág. 464.

aa , de manera que el campo según xx es nulo. Cuando pasa la corriente por los carretes y por el rotor se desarrollará un par y el motor arrancará con un voltaje que depende de la autoinducción de los carretes, y cuyo valor es la mitad aproximadamente del que corresponde a la velocidad normal.

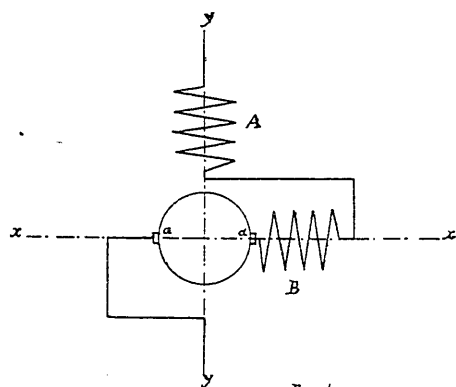


Fig. 4.

ducción de los carretes, y cuyo valor es la mitad aproximadamente del que corresponde a la velocidad normal.

El chispeo en el colector es debido principalmente al flujo variable cortado por el carrete del rotor que las escobillas ponen en corto circuito, pudiendo adquirir mucha importancia en el momento del arranque. Cuando el motor está en marcha, la fuerza electromotriz producida en el carrete en corto circuito por las variaciones del campo puede equilibrarse con polos conmutadores, dispuestos en forma tal que produzcan su efecto máximo a una cierta velocidad, ó a varias si el número de carretes en acción se puede variar.

La velocidad de isocronismo no corresponde a condición particular alguna, pudiendo funcionar el motor con velocidad doble y triple que aquella. En la figura 2.^a se han dibujado las curvas

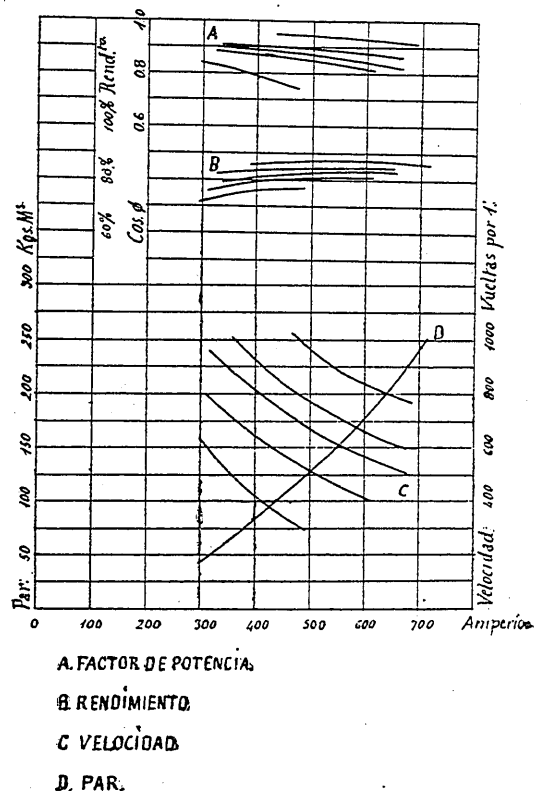


Fig. 2

características de un motor serie compensado construido por Siemens-Schuckert, deducidas de los resultados que dieron los ensayos.

Motor de repulsión compensado.—El funcionamiento de un motor de esta clase puede explicarse de diversas maneras, sien-

do la más sencilla la que se funda en la teoría de los transformadores, suponiendo que el carrete A, que constituye el estator (figura 3.^a), es el primario, y que el devanado del rotor entre las escobillas aa es el secundario puesto en corto circuito por el conductor c .

Cuando comienza a pasar la corriente por el carrete A se producirá una corriente inducida en el devanado aa del rotor, cuyos respectivos valores dependen de la relación que exista entre los números de vueltas de éste y del estator. Como el se-

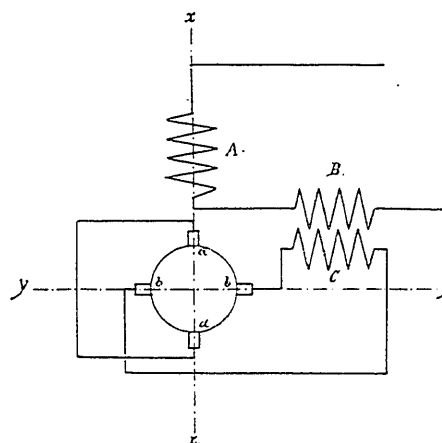


Fig. 5.

cundario (rotor) está en corto circuito, el campo producido por los devanados, según el eje xx , será sumamente pequeño, casi nulo, lo mismo que sucede en un transformador en corto circuito. Ahora bien; la corriente que circula por A pasa también por el carrete B del transformador BC, é induce una corriente en C que recorre el devanado del rotor entre las escobillas bb ; esta corriente se denomina *magnetizante* y produce un campo según el eje yy , cuya intensidad puede ser muy grande. En estas condiciones arrancará el motor, porque la corriente que circula entre aa se encuentra bajo la influencia del campo yy .

Cuando el motor está en marcha se producen las siguientes reacciones:

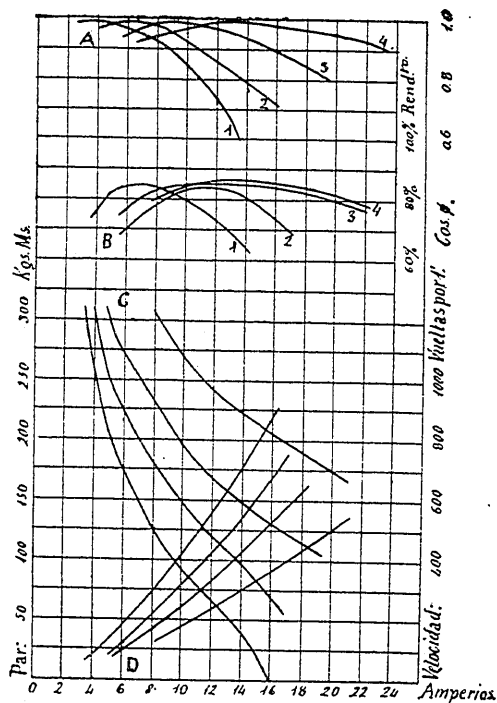
(1) Al girar el rotor en el campo yy se desarrolla una fuerza electromotriz entre las escobillas aa , por virtud de la cual el secundario del transformador antes considerado deja de estar en corto circuito. Si la corriente ha de permanecer constante, hay que contrarrestar dicha fuerza electromotriz, lo cual se consigue aumentando la intensidad del campo xx , que en un principio es prácticamente nula con la elevación del voltaje entre las terminales del carrete A.

(2) La rotación del rotor en el campo xx crea una fuerza electromotriz entre las escobillas bb , la cual reduce la necesaria para producir la corriente magnetizante, puesto que disminuye la autoinducción del circuito correspondiente, cuyo factor de potencia puede llegar a valer la unidad. Si aquella fuerza electromotriz aumentara hasta anular por completo la autoinducción de todo el circuito, podría llegar a valer la unidad el factor de potencia del motor. Este efecto compensador es el que ha dado nombre al motor, efecto que es distinto del que produce el carrete compensador en el motor serie, siendo de lamentar que con la misma palabra se califiquen los dos tipos de motor.

Las chispas en el colector son producidas, según ya se ha indicado, por el efecto que las variaciones del campo producen sobre el carrete del rotor que ponen en corto circuito las escobillas. En el momento del arranque, el campo xx puede considerarse como nulo, por cuya razón las chispas en las escobillas bb tendrán muy poca importancia; en cambio, como el campo yy tiene que ser de mucha intensidad para que el par de arranque sea grande, el chispeo en las escobillas aa puede ser considerable, siendo directamente proporcional a la frecuencia. Cuando el motor gira con la velocidad de sincronismo, el efecto del cam-

po variable se equilibra muy aproximadamente con la fuerza electromotriz producida por la rotación y las chispas desaparecen.

En la figura 4.^a se representan las curvas correspondientes á los motores de repulsión comparados, construidos por la Compa-



A. FACTOR DE POTENCIA.

B. RENDIMIENTO.

C. VELOCIDAD.

D. PAR.

Fig. 4.

ñía Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft, para la línea Hamburgo-Altona.

Para hacer un estudio completo de los motores que se han considerado sería necesario fijarse muy detenidamente en las fases y magnitudes de las corrientes, fuerzas electromotrices y campos, lo cual sale del objeto de esta Memoria. Las explicaciones dadas no han tenido otro objeto que el de sentar los principios generales del funcionamiento de aquellos motores, cuyos dos tipos son aplicables á la tracción.

El motor de repulsión compensado tiene las siguientes ventajas:

- (1) Puede funcionar con frecuencias elevadas.
- (2) Puede devanarse para voltajes altos, en cuyo caso sólo necesita un pequeño transformador.
- (3) Su factor de potencia es un poco mayor que el del motor serie.

Las del motor serie compensado son:

- (I) Tiene menos escobillas que el anterior.
- (II) Puede funcionar con corriente continua y alterna.
- (III) El chispeo en el conmutador se evita entre límites de velocidad bastante amplios.
- (IV) No necesita transformador magnetizante.

Á primera vista parece que el primer motor es superior al segundo; pero un estudio detallado de ambos enseña que el motor serie compensado es más conveniente que el de repulsión cuando se consideran desde el punto de vista de su aplicación á la tracción.

(1) *Frecuencias elevadas.*—El motor de repulsión compensado puede funcionar satisfactoriamente con corrientes de frecuencia más elevada que la de las que puede recibir el motor serie compensado. Esta propiedad, sin embargo, no tiene gran importan-

cia cuando se trata de la tracción, porque en el momento del arranque los dos tipos de motor son análogos por lo que se refiere á su facultad para recibir corrientes de mucha frecuencia, y es en aquel momento cuando se presentan las condiciones que limitan el empleo de estas corrientes. Por otra parte, las corrientes de frecuencia elevada no son convenientes para la tracción porque aumentan la resistencia aparente de los carriles, la pérdida de energía en éstos, la caída de voltaje en el circuito de vuelta y en las terminales del motor, cuyo rendimiento disminuyen y dificultan la regulación de los generadores; además, ejercen efectos de inducción sobre las líneas telegráficas y telefónicas inmediatas.

(2) *Voltajes altos.*—Cuando el motor puede devanarse para resistir el voltaje de la línea no hace falta transformador, como sucede con el motor de repulsión compensado, en el cual el estator es el único elemento enlazado directamente con la línea. En las aplicaciones de estos motores á la tracción, tal propiedad no constituye una ventaja por las dos razones siguientes: 1.^a, porque no es conveniente aplicar voltajes elevados á un aparato sometido á un trabajo tan rudo como es el que hace un motor de tracción; 2.^a, porque sin un gran transformador es imposible que el arranque sea satisfactorio, pu esto que entonces sería necesario regular exclusivam ente por variación de la corriente magnetizante, lo cual produciría un gran chispeo entre las escobillas y el colector en el momento del arranque, á menos de emplear resistencias adicionales, que se retiran á medida que aumenta la velocidad del motor. En las aplicaciones siempre se han empleado transformadores (líneas de Hamburgo-Altona y de Londres, Brighton y Costa del Sur), lo cual facilita el empleo de estos motores en fábricas y talleres, donde tan peligroso es el empleo de voltajes elevados.

(3) *Factor de potencia.*—Á igualdad de condiciones, el factor de potencia del motor de repulsión compensado es mayor que el del motor serie compensado; pero como el de éste puede llegar á 0,95, la ventaja de aquél no puede ser muy grande. Se debe recordar que el factor de potencia interno del motor de repulsión compensado no es mayor que el del serie compensado; la corriente del rotor no está en fase con el campo, de manera que las pérdidas en el cobre del motor no disminuyen con la elevación del factor de potencia de todo el motor. El rendimiento del motor de repulsión compensado es teóricamente un poco menor que el correspondiente al motor serie compensado.

Por lo que se refiere á las ventajas del motor serie compensado, resulta lo siguiente:

(I) *Menor número de escobillas.*—Esta ventaja no deja de tener importancia, porque el enfriamiento del conmutador ofrece bastantes dificultades.

(II) *Funcionamiento con corriente continua.*—En las líneas interurbanas y en las ampliaciones de las de tranvías por los alrededores de las grandes poblaciones esta propiedad ha prestado muchos servicios, y permitirá la circulación por las líneas urbanas del material de los ferrocarriles con objeto de facilitar el movimiento de viajeros.

(III) *La disminución del chispeo á diferentes velocidades* es cosa que no puede afirmarse todavía si será práctica ó no.

(IV) *Transformadores.*—Ya se ha indicado antes que tanto uno como otro tipo de motor requieren el empleo de un transformador para rebajar el voltaje de la línea, pero el de repulsión compensado necesita además un segundo transformador para la corriente magnetizante.

Podría creerse que el par periódico que se desarrolla en los motores monofásicos constituiría un inconveniente por el deslizamiento que se produce cuando aquél pasa por su valor máximo, así como que la adherencia de una locomotora monofásica sería mucho menor que la de otra del mismo peso que funcionara con corriente continua. Mr. G. Ossanna (1) ha demostrado

(1) Elektrische Bahnen und Betriebe, 4 May, 1906.

teóricamente y la experiencia ha confirmado (1) que la inercia del motor (principalmente la de rotación del rotor) combinada con la elasticidad de los demás elementos es suficiente para conservar prácticamente constante el par motor, reduciendo el deslizamiento sobre los carriles á una cantidad despreciable.

Rendimiento de los motores monofásicos.—El hecho de que el rendimiento de los motores monofásicos es algo menor que el de los de corriente continua, constituye una de las desventajas que se atribuye á los primeros, por llevar consigo el empleo de motores de mayor tamaño, y, por lo tanto, más caros. El rendimiento del motor es solamente un elemento de la serie de rendimientos que determinan el total del sistema, cuya elección depende de multitud de consideraciones y no exclusivamente del rendimiento del motor, según se explica en la Memoria de 1902 de Messrs. Mordey and Jenkin.

Si bien es verdad que en el tamaño de un motor para tracción influyen sus pérdidas interiores, no se debe olvidar que su elevación de temperatura depende, en último término, de la ventilación, y como ésta verificada artificialmente ha sido adoptada desde un principio para los motores monofásicos, no es probable que se la considere como una desventaja cuando se compara aquéllos con los de corriente continua.

Ensayo de los motores monofásicos.—Los motores monofásicos para tracción deben ensayarse con corriente de la misma frecuencia que aquella para la que han sido construídos, siguiendo procedimientos análogos á los adoptados para los de corriente continua. El ensayo durante una hora ha sido universalmente aceptado y no hay motivo alguno para alterarlo.

Regulación y aparatos auxiliares.

Los motores monofásicos se regulan económica y satisfactoriamente por la variación del voltaje en sus terminales, lo cual puede hacerse sin pérdidas en resistencias, por cuyo motivo en todos los puntos del regulador puede funcionar el motor sin inconveniente alguno.

Motor serie compensado.—El regulador de inducción de condiciones tan admirables á primera vista para variar el voltaje de este tipo de motor posee dos inconvenientes serios; su gran autoinducción, y la necesidad de un motor para funcionar. Este y otros reguladores análogos han sido abandonados hoy día, teniendo mucha aceptación el método sencillo de poner en circuito un número más ó menos grande de vueltas del secundario del transformador, lo cual en un principio se conseguía con reguladores cilindricos dispuestos en forma análoga á los de baterías de acumuladores; es decir, sin formar corto circuitos, modelo que actualmente se ha sustituido por otro de contactos, semejante á los empleados para los motores de corriente continua. Pueden construirse de manera que modifiquen el voltaje sin abrir el circuito del motor; pero la experiencia ha demostrado que esto no es esencial, siempre que el paso de uno á otro voltaje se haga pasando sucesivamente por los valores intermedios, porque procediendo en esta forma no se producen sacudidas bruscas en los vehículos ó en las locomotoras. La figura 5.^a es el esquema de un regulador construído por Siemens-Schuckert, en el cual los contactos están enlazados entre sí con un mecanismo de enclavamiento que impide cerrar el circuito sobre dos de ellos al mismo tiempo, y es también un auxiliar poderoso para abrir cualquier contacto que ofrezca resistencia.

Motor de repulsión compensado.—Este tipo de motor se puede regular variando la relación de los voltajes aplicados al estator y al rotor; este último, que es quien recibe la corriente magnetizante, dispone siempre de un pequeño transformador cuyo número de vueltas en circuito puede variarse con objeto de regular

el motor, lo cual puede facilitarse también con el empleo de carretes de inducción en el circuito principal y con el de la agrupación serie-paralelo. Todos estos procedimientos evitan el uso de un gran transformador que permita transmitir toda la potencia.

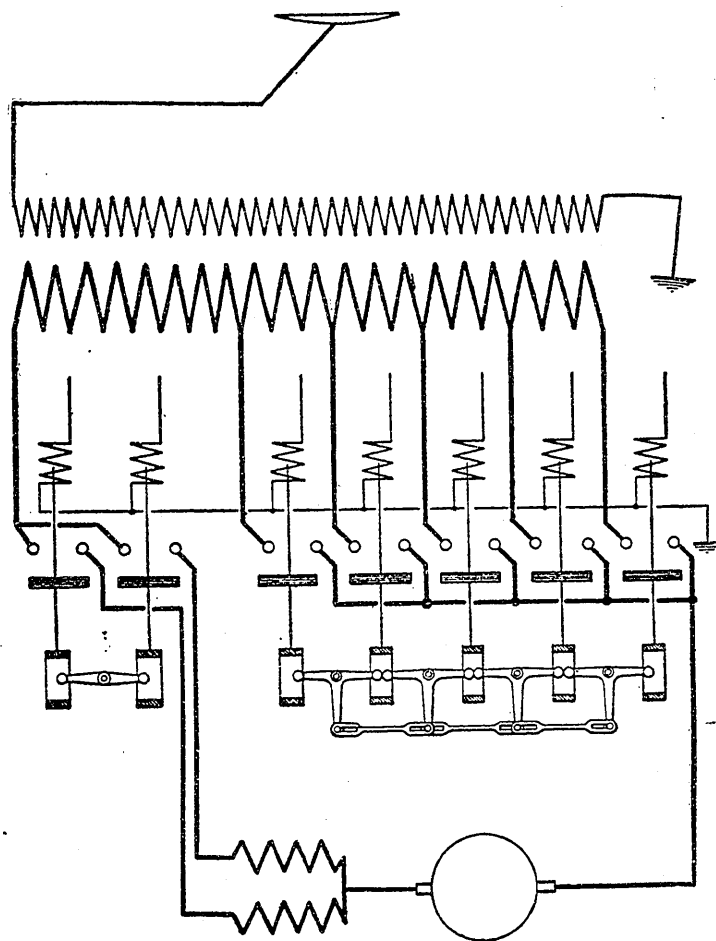


Fig. 5.^a

cia, pero exigen que el rotor y el estator se devanen para resistir el voltaje total de la línea, dando lugar á algunas dificultades la cuestión de las chispas en el colector, por los campos intensos que se producen en el momento del arranque. Por estas y por otras razones los motores de repulsión compensados para tracción no se enlazan directamente á la línea, sino que entre ellos y ésta se coloca un gran transformador, por medio del cual se varía el voltaje aplicado al motor, en la misma forma que se ha descrito para los motores serie compensados.

En la línea Hamburgo-Altona se regula con la variación del voltaje de la línea principal y del correspondiente al rotor (figura 6.^a); pero al parecer, este sistema no es mejor que el de regular con un gran transformador, y los resultados serían aún mucho mejores si los campos pudieran mantenerse constantes; en este caso y con un voltaje conveniente en el secundario del transformador grande, podría prescindirse del pequeño.

Contactos.—Contactos eléctricos y electro-pneumáticos se han empleado, pero los segundos son muy complicados, sin ofrecer grandes ventajas. Es relativamente sencillo idear un electroimán monofásico autoregulator que produzca una fuerte atracción con gran carrera (fig. 7.^a); las curvas representadas en las figuras 8.^a y 10 corresponden á un electroimán de esta naturaleza. Para anular las vibraciones que se producen cuando el electroimán está cerrado, se coloca sobre una parte de la armadura un pequeño anillo en corto circuito, el cual facilita la continuidad de la fuerza.

Transformadores.—El transformador principal, cuyo enfriamiento se verifica por cualquiera de los procedimientos conocidos, puede tener independientes los devanados primario y secundario, ó puede estar constituido formando lo que se llama un

(1) En los ensayos verificados en la línea de Murnau, una locomotora monofásica con 20 toneladas de peso adherente arrastró 250 sin patinar, mientras que otra de vapor con 26 toneladas de peso adherente únicamente pudo arrastrar 221 sin patinar.

Mr. J. J. Thomson ha demostrado que haciendo ciertas hipótesis la resistencia equivalente de una barra redonda de hierro por la que circula una corriente alterna es igual a la verdadera

mente el mismo espesor que la correspondiente a una barra redonda y una circunferencia igual a la periferia del carril; la reactancia será también igual a la resistencia, como se indicó antes. Estudios hechos con carriles demuestran que los espesores de las chapas equivalentes son las siguientes:

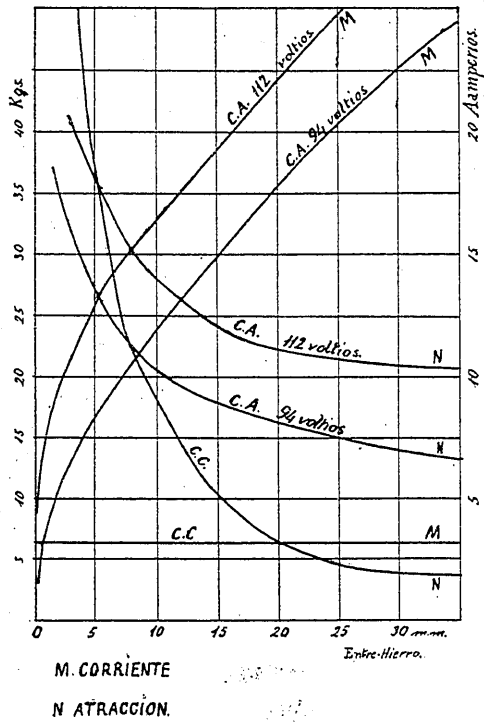


Fig. 8.

resistencia de una chapa del mismo diámetro exterior, cuyo espesor es independiente de la corriente. Admitiendo las mismas hipótesis, puede demostrarse (1) que la reactancia interna de la

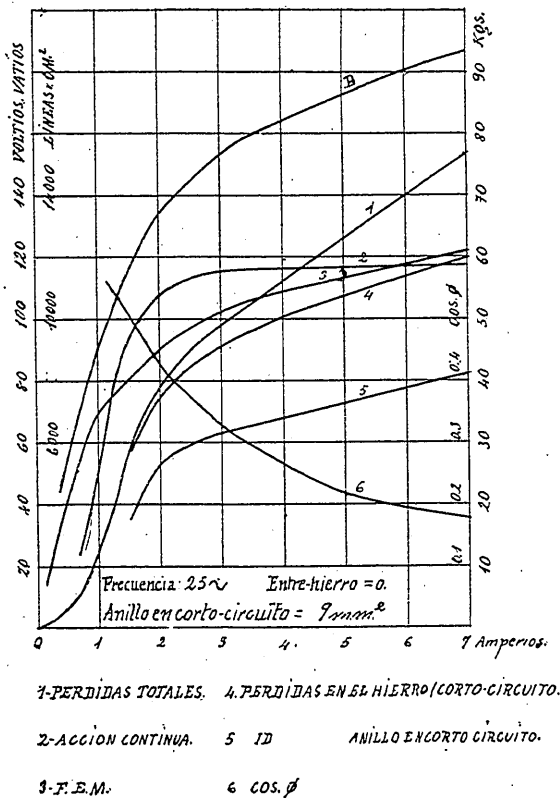


Fig. 9.

barra es igual a la resistencia de la chapa equivalente. Si se trata de un carril, la chapa equivalente tendrá aproximada-

(1) El autor cree que este resultado no se ha publicado hasta ahora, debiendo a Mr. F. Lydall el conocimiento de este teorema, sobre el cual se funda todo el método.

Frecuencia.	Espesor de la chapa equivalente.
18 períodos por segundo.....	2,9 milímetros.
25 idem id.....	2,7 idem.
50 idem id.....	1,7 idem.

Con estos números la resistencia, y, por lo tanto, la reactancia interna, puede calcularse con bastante aproximación para cualquier tipo carril. Para obtener números más exactos, basta hacer pasar una corriente alterna de la frecuencia que se desee por una longitud conocida de carril y medir la energía absorbida para cada intensidad de corriente, de la cual se deducirá la resistencia (y la reactancia que le es igual). Dividiendo

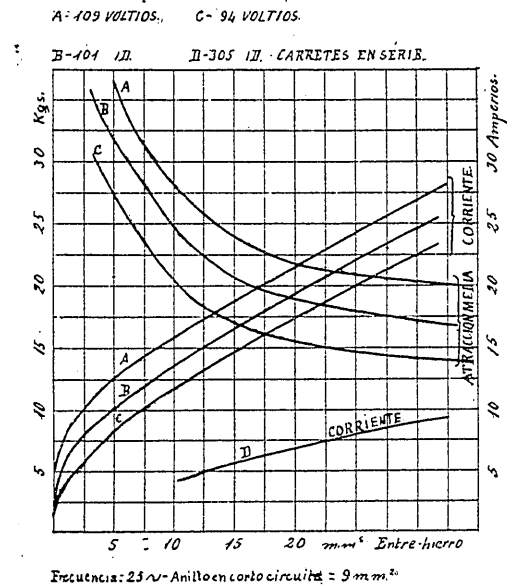


Fig. 10.

la reactancia interna por $2\pi f$ (f siendo la frecuencia), se calculará el coeficiente de inducción L para el interior del carril. Con este número pueden deducirse los coeficientes de inducción correspondientes a cada parte del circuito.

Para el hilo de trabajo el coeficiente de autoinducción es (1):

$$L_1 = 2l \left\{ \log_e \frac{2l}{r} - 1 + \frac{\mu}{4} \right\} \mu = 1.$$

El coeficiente de inducción mutua entre dos conductores cualesquiera es:

$$M = 2l \left\{ \log_e \frac{2l}{d} - 1 \right\}.$$

Y el coeficiente de autoinducción del carril es:

$$L_2 = 2l \left\{ \log_e \frac{2l}{r} - 1 \right\} + L,$$

(1) El autor adopta la fórmula de Clerk Maxwell empleada por el Dr. H. Behn-Eschenburg. «Spannungsabfall von Wechselströmen in Eisenbahnschienen» *Elektrotechnische Zeitschrift*, vol. XXV (1904), pág. 311.

en cuyas fórmulas

l representa la longitud del conductor ó del carril,
 r el radio del conductor ó el de la chapa equivalente al carril
 $= \frac{\text{periferia}}{2\pi}$,
 d la distancia entre conductores.

La impedancia total, y, por lo tanto, la caída de voltaje para cualquier sección del circuito constituido por el hilo de trabajo y por los carriles se puede calcular con auxilio de las fórmulas anteriores, cuyos resultados cuando se aplicaron á la línea sobre que se hicieron los experimentos de Zossen, estuvieron bastante conformes con las medidas verificadas en aquélla. (Apéndice, cuadro IV.)

Las ventajas que lleva consigo el empleo de corrientes de pequeña frecuencia y de voltajes elevados en el hilo de trabajo son: que tanto la resistencia aparente del carril, como las pérdidas de energía y de voltaje en él son pequeñas, lo mismo que la caída de voltaje en los terminales del motor; ahora bien, como á pesar de que la longitud de la línea sea pequeña, puede ser muy grande la caída del voltaje en el carril que cierra el circuito, conviene estudiar otros procedimientos para disminuirla todo lo posible, entre los cuales se encuentran los siguientes:

(I) Por reducción de la longitud de la sección alimentada por cada transformador, solución que tiene el inconveniente de ser cara.

(II) El empleo de un conductor de cobre enlazado con los carriles en puntos determinados reduce mucho la caída de voltaje en fase con la corriente, y, por lo tanto, la energía perdida en la vuelta, pero influye muy poco en la caída total de voltaje.

(III) Si se forman los *feeders* con cables concéntricos enlazados á secciones aisladas constituidas por el hilo de trabajo y el carril, la caída inductiva en el cable será nula, y la caída total será la producida por la impedancia de la sección sobre la que el tren circula y por la resistencia del *feeder*. Si el cable se sustituyera por conductores aéreos montados sobre postes, sería preciso tener en cuenta la caída inductiva en ellos, en cuyo caso las ventajas que se obtuvieran serían de muy poca importancia.

(IV) Mr. G. Kapp ha propuesto el empleo de pequeños transformadores montados en la forma representada en la figura 11 (a), cuya acción depende en parte de las derivaciones entre los

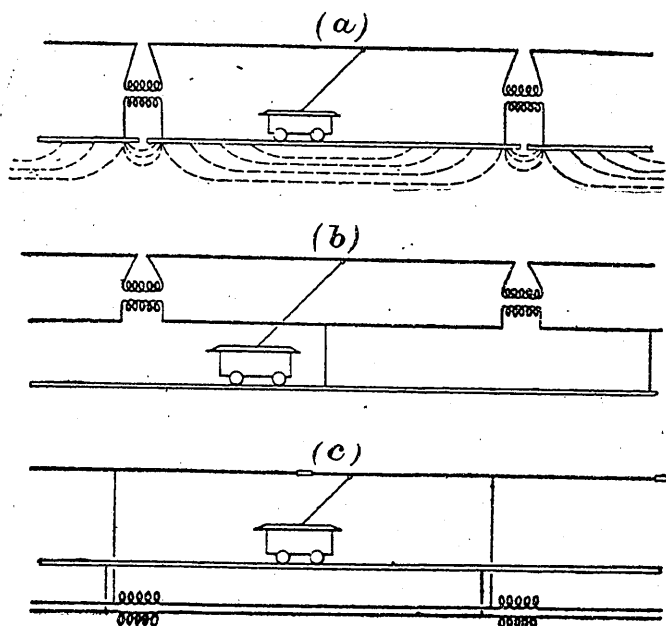


Fig. 11.

carriles y la tierra; están dispuestos de tal manera que sean iguales la corriente que sale de ellos á través del hilo de trabajo que la que retrocede por los carriles, exigiendo una pequeña corriente magnetizante que pase por tierra. Si los carriles están

cortados, la corriente principal de vuelta circulará por aquéllos y por la tierra entre los transformadores, mientras que la corriente magnetizante circulará entre los carriles de los extremos opuestos del transformador. En tanto que los carriles estén cortados no habrá, por regla general, caída de voltaje entre los extremos de la línea, la caída máxima tendrá lugar en cada sección; cuando los carriles están completamente aislados de tierra el sistema no puede funcionar. Si únicamente se establecen conexiones con tierra en los extremos más apartados, la caída de voltaje entre éstos será producida por la impedancia del carril y por la corriente magnetizante, produciéndose también algún efecto de inducción por el hilo de trabajo.

(V) La Compañía Oerlikon ha perfeccionado el sistema anterior en la forma representada en la figura 11 b. Puede decirse en este caso que los transformadores aspiran la corriente de los carriles y la envían al *feeder* de cobre, quedando en éstos únicamente una pequeña corriente magnetizante cuya intensidad es aproximadamente el 4 por 100 de la correspondiente á la principal, por cuya razón también la caída de voltaje en los carriles es el 4 por 100 de la que habría si circulase por ellas toda la corriente; pero en cambio de esta ventaja, se producen fuerzas electromotrices de inducción por la acción de las corrientes del hilo de trabajo y de los *feeders*.

(VI) La figura 11 c representa una ligera modificación de la disposición anterior, que consiste en la instalación de un par de *feeders* que permiten el aislamiento de una sección cualquiera del hilo de trabajo sin afectar á las demás, disminuyendo el efecto inductivo de todo el circuito sobre los carriles y sobre otros conductores próximos. En los dos últimos casos, la caída de voltaje entre un vehículo y el transformador más próximo puede tener importancia y debe sumarse á la que existe en el resto de la línea hasta la central.

Por medio de cualquiera de una de las dos últimas disposiciones puede reducirse todo lo que se quiera la caída de voltaje sin otro límite que el fijado por la corriente magnetizante y si necesitase de emplear *feeders* de pequeña resistencia, cuya sección puede fijarse entonces por consideraciones económicas exclusivamente.

Los inconvenientes que tiene una gran caída de voltaje en el carril de vuelta son los siguientes:

- (1) Dar lugar á corrientes derivadas por tierra de gran intensidad que pueden producir efectos electrolíticos perjudiciales.
- (2) Producir sacudidas peligrosas á las personas que se pongan en contacto con los carriles ó con elementos metálicos en conexión con ellos.
- (3) Crear perturbaciones sobre las líneas telegráficas y telefónicas, así como sobre todos aquellos circuitos que empleen la tierra como conductor de vuelta.

Electrolisis.—Es muy poco lo que se sabe hoy día sobre las leyes que rigen la electrolisis producida por corrientes alternas, y menos aún sobre los efectos que producen estas últimas en las tuberías enterradas (1). Mr. S. M. Kintner ha descrito (2) la serie de interesantes experimentos por él realizados durante un año con tubos de hierro y de plomo enterrados y enlazados con una red alimentada con corriente alterna de 25 períodos por segundo; al lado de dichos tubos colocó otros sin conexión alguna con la red. También hizo experimentos con corriente continua, pero solamente durante dos semanas. Tanto los experimentos de Mr. Kintner como otros verificados con placas han demostrado que no existen efectos que con toda seguridad se puedan atribuir á la electrolisis producida por corrientes alternas, mientras que cuando la corriente es continua durante el período tan corto de dos semanas se produjo una conexión de mucha importancia. Sin embargo, Mr. A. P. Trotter, miembro de la

(1) Un resumen de la teoría de esta cuestión y una biografía bastante completa se han publicado en la revista *Elektrotechnische Zeitschrift*, vol. XXVII (1906), pág. 221.

(2) «Alternating-Current Electrolysis», *The Electric Journal*, vol. II (1905), página 663.

Institución de Ingenieros civiles, ha dado cuenta de un ensayo, en el cual la electrolisis producida por una corriente alterna ha llegado á adquirir un desarrollo próximamente la mitad del correspondiente al caso en que la corriente es continua.

Con objeto de estudiar lo que sucede en una escala grande, el Ingeniero de la línea de Murnau, á ruego del autor, reconoció la placa de tierra y no observó que en ella se hubiera producido efecto alguno de electrolisis; la placa estaba colocada en la arcilla del fondo del canal de salida de la Casa de Máquinas, expuesta á la acción de un agua rica en carbonatos de cal y de magnesia, así como en materia orgánica; había estado prestando servicio desde Octubre de 1904 hasta Mayo de 1906, durante cuyo tiempo se calcula que pasaron por ella 90.000 amperios-hora, corriente suficiente para disolver como sal de cobre una cantidad de este metal cuyo peso fuera catorce veces el de la placa de tierra.

Sacudidas.—No son temibles cuando el voltaje es inferior á 100 voltios, así como tampoco cuando á los carriles se les da tierra cada 750 metros, porque de esta manera se evita que puedan establecerse diferencias de potencial de alguna importancia entre aquéllos y tierra. Será conveniente dar tierra á los alambres de las señales y á las agujas de los cambios, aunque lo mejor es que tanto unas como otras se maniobren eléctricamente. No se debe olvidar que las diferencias de potencial de importancia se producen entre puntos situados á algunos kilómetros de distancia, por cuya razón no son de temer.

Efectos sobre las líneas telegráficas y telefónicas.—Es conveniente estudiar todas las causas que pueden producir perturbaciones sobre estas líneas, aunque de las que se van á considerar únicamente la primera se relaciona con la caída de voltaje en los carriles.

Las perturbaciones que el circuito de un ferrocarril eléctrico monofásico produce sobre las líneas telegráficas y telefónicas próximas son debidas:

1.—A las corrientes que procedentes de los carriles se derivan por tierra.

2.—A la inducción electromagnética del hilo de trabajo y de los carriles.

3.—A la inducción electrostática del hilo de trabajo.

1.—Los efectos de las corrientes terrestres sobre las líneas telegráficas y telefónicas se evitan con el empleo en éstas de un conductor metálico y aislado para circuito de vuelta. Caso de no aceptar esta solución se pueden reducir aquellos efectos adoptando un voltaje elevado para el hilo de trabajo y una frecuencia pequeña, porque aquellos efectos son proporcionales á la caída de voltaje en el circuito constituido por los carriles.

2.—Los efectos de inducción electromagnética sobre las líneas telegráficas y telefónicas de gran longitud se pueden evitar con el uso de circuitos metálicos dobles, los cuales no son necesarios cuando aquéllas son cortas. Experimentos realizados recientemente con aparatos modernos han demostrado que éstos no son sensibles á las corrientes alternas, así como que los voltajes inducidos en un circuito constituido por dos conductores sobre los mismos postes que el hilo de trabajo no son suficientes, en condiciones ordinarias, para perturbar los aparatos á menos que el circuito tenga varios kilómetros de longitud.

Con modificaciones ligeras en los aparatos telegráficos ordinarios es posible continuar con el uso de la tierra para circuito de vuelta y evitar así el gasto que supone la instalación de un segundo conductor metálico. Mr. Dahlander, Ingeniero Jefe del servicio de tracción eléctrica en los ferrocarriles del Estado en Suiza, ha tenido la atención de permitir al autor la publicación de dos métodos que él emplea con éxito para aquel objeto.

Consiste el primero en colocar el núcleo de hierro del electroimán del aparato telegráfico dentro de un estuche de cobre constituido por un cilindro y dos discos, cuyo circuito amortiguador reduce á una cantidad tan pequeña el magnetismo desarrollado en el núcleo de hierro por las corrientes alternas, que no se perturba el funcionamiento del aparato telegráfico.

El segundo método se reduce al empleo de un condensador en derivación con relación al aparato telegráfico. La experiencia ha demostrado que tres elementos de un pequeño condensador de líquidos son suficientes, siendo de esperar que en la Memoria que se publique sobre estos experimentos se den toda clase de detalles sobre los mismos y sobre las consecuencias prácticas que de ellos se deducen.

Los circuitos de los teléfonos son muy sensibles á los efectos de las corrientes alternas, las cuales suelen producir un moscone que únicamente se evita colocando la línea telefónica dentro de cables.

Los efectos inductivos son proporcionales á la intensidad de la corriente en el hilo de trabajo y á la frecuencia; por lo tanto, se reducirán aquéllas adoptando un voltaje elevado para el hilo de trabajo y una corriente de frecuencia pequeña.

3.—El potencial del hilo de trabajo es alternativamente positivo y negativo á cada alternancia, y producirá efectos inductivos estáticos sobre los conductores próximos, por los cuales, si están en comunicación con tierra, pasará una carga de electricidad en uno y otro sentido durante cada periodo, cuyo valor depende de la capacidad de aquéllos y del potencial inducido, que puede ser muy grande. Según cálculos hechos, las líneas telegráficas de Hamburgo adquieren un potencial de 1.200 voltios con relación á la tierra, alternativamente positivo y negativo; en Suiza dicho potencial llega á 4.500 voltios cuando el del hilo de trabajo es 20.000. Ahora bien; como la capacidad de los conductores telegráficos es generalmente muy pequeña, las corrientes tienen muy poca intensidad; en Hamburgo se ha calculado que ésta es 0,05 amperios, suficiente para producir una sacudida peligrosa. El establecer un conductor metálico para circuito de vuelta tiene el inconveniente de que se duplica la capacidad. Para evitar la creación de voltajes elevados, la mejor solución consiste en dar tierra á los circuitos; cuando se trata de líneas telefónicas se instala un carrito de inducción enlazado con las terminales del aparato telefónico y á su punto central se le da tierra, solución que deriva á tierra las corrientes de frecuencia pequeña, mientras que no establece corto circuito para las telefónicas de alta frecuencia y la cual ha dado un resultado muy satisfactorio en Suiza.

Á los circuitos telegráficos se les debe dar tierra en varias puntas por medio de grandes resistencias que deriven una parte muy pequeña de la corriente, pero que permitan reducir el voltaje de los conductores á un valor tal que no ofrezca peligro alguno. El autor ignora si este procedimiento ha sido aplicado.

Los efectos producidos por la inducción estática se pueden evitar enterrando los conductores.

Cuanto mayor es el voltaje del hilo de trabajo mayores son también las perturbaciones sobre los conductores inmediatos; pero como hay medios de anularlas ó por lo menos de reducirlas en gran parte, no puede decirse que constituyan un obstáculo para el empleo de voltajes elevados.

Señales automáticas.—Se ha afirmado que cuando se emplea un sistema de señales automáticas es necesario el uso de un cuarto carril para circuito de vuelta; pero en realidad no es indispensable, porque se pueden evitar los efectos del circuito de trabajo sobre el de las señales, haciendo que cada uno de ellos sea recorrido por corrientes de especies distintas. En el ferrocarril subterráneo de Nueva York se emplea corriente continua para la tracción, dedicando uno de los carriles para circuito de vuelta y el otro para los circuitos de los aparatos de la vía; para las señales se hace uso de corriente monofásica de 60 periodos por segundo. Los interruptores magnetoeléctricos de los circuitos de los aparatos de la vía pueden proyectarse de tal manera que obedezcan tan sólo á las corrientes de la misma frecuencia que la de las señales; la disposición adoptada en el ferrocarril de New York, y que funciona muy satisfactoriamente, puede aplicarse con el mismo éxito cuando la corriente de la línea es monofásica de 25 periodos por segundo. Un sistema mucho más sencillo es el que consiste en hacer uso de corriente continua

para los circuitos de los aparatos de la vía, cuyos interruptores estén dispuestos de tal manera que no sean sensibles á la corriente alterna.

De todo lo expuesto se deduce que la caída de voltaje en el carril tiene una gran importancia en las líneas monofásicas, así como que el límite que debe asignársele es un problema que requiere mucho estudio, en cuya resolución hay que tener muy presente todos los intereses con él relacionados. En los ferrocarriles que emplean corriente continua el uso de un cuarto carril para circuito de vuelta es prácticamente indispensable, por la razón de que el límite fijado por el Ministerio del Comercio es 7 voltios, límite que es resultado de la experiencia y que carece de base racional; sería una contrariedad tener que aceptar para las líneas monofásicas un límite que exige el cuarto carril. Cuando cerca del trazado de un ferrocarril eléctrico existen tuberías ó construcciones metálicas susceptibles de sufrir desperfectos por las acciones electrolíticas, deben tomarse toda clase de precauciones para evitar que se establezcan corrientes entre aquéllas y los carriles, pero en campo abierto la experiencia ha demostrado que no hay para qué preocuparse por aquellas acciones. De las noticias que ha podido adquirir el autor, en la línea de Murnau es en la única que se ha procurado reducir la caída de voltaje en los carriles con frecuentes conexiones de éstos con tierra.—Ω.

(Se continuará.)

CANAL DE ISABEL II

(CONTINUACIÓN)

La baja que experimentaban sus recursos y el nunciar á subido coste de las obras le ponían en el doloroso caso de tanta honra. En su vista, el Gobierno tuvo necesidad de adoptar una resolución, á cuyo fin se dictó el Real decreto de 24 de Mayo de 1850. En él se aprobaban las bases de una concesión provisional de la conducción de aguas del río Lozoya á Madrid, para distribuir las en la población y en sus alrededores, á la Empresa representada por el Conde del Retamoso y D. Manuel Marliani. Las condiciones principales de la concesión eran las siguientes:

a) Traer y distribuir en Madrid las aguas del río Lozoya (sirviendo de base los estudios presentados por los Ingenieros Rafo y Ribera) en la cantidad mínima de 25.000 reales fontaneros (81.125 metros cúbicos en veinticuatro horas), concluyendo las obras en el plazo de tres años.

b) La concesión sería por noventa y nueve años, pasados los cuales, la propiedad de las obras sería del pueblo de Madrid.

c) Los precios máximos del real fontanero serían los siguientes:

Agua á domicilio.....	10.000 pesetas.
» en jardines y huertas.....	2.500
» en tierras (de secano).....	1.000
» en fuerza motriz.....	(convencional).

El Ayuntamiento sólo pagaría el agua para sus servicios al precio mínimo que la abonasen los particulares para los usos domésticos.

d) El Ayuntamiento, además de quedar con la propiedad de las aguas con que entonces se abastecía Madrid, podría adquirir y conducir á la Corte todas las aguas potables que tuviere por conveniente y no procediesen del río Lozoya.

CONDUCCIÓN DEL RÍO LOZOYA Á MADRID

II. Canal de Isabel II.—Construcción por el Estado 1851 á 1865.

22. Más de un siglo iba transcurrido formando proyectos para dotar á Madrid de abundantes aguas potables. Su necesi-

dad se hacía apremiante porque la escasez no sólo amenazaba detener el crecimiento rápido que se observaba en la población, sino que comprometía la existencia de la Corte con enormes pérdidas para la riqueza urbana, y aun para la general del país. Se había demostrado la posibilidad de traer las aguas del río Lozoya á Madrid, y habían resultado estériles los esfuerzos hechos por el Ayuntamiento, por los particulares y Empresas para realizar las obras. Era indispensable llevarlas á cabo con decisión y energía. El ya citado D. Juan Bravo Murillo, siendo Presidente del Consejo de Ministros, ha tenido la gloria de emprenderlas, sometiendo á la aprobación de la Corona el Real decreto de 18 de Junio de 1851, en el que se dispone que el Estado procediese directamente á la ejecución de las obras necesarias para abastecer á Madrid de aguas saludables por medio de un canal derivado del río Lozoya, que se denominará Canal de Isabel II.

23. Tan grandioso pensamiento se desarrolla de un modo claro y terminante en la citada disposición, de la que se extraerán aquí los principales artículos.

Artículo 1.º Se admite la participación del Ayuntamiento y particulares para la ejecución de las obras.

Art. 2.º Para reunir los 20 millones de pesetas que aproximadamente se calculan necesarios para traer á Madrid 10.000 reales fontaneros de agua por lo menos (32.450 metros cúbicos en veinticuatro horas), el Gobierno hará uso de los siguientes medios:

1.º De la cantidad de 500.000 pesetas concedidas como crédito extraordinario en el año de 1851 y de las sumas que anualmente se comprendan y aprueben en el presupuesto general del Estado.

2.º Suscripción voluntaria del Ayuntamiento de Madrid por 4 millones de pesetas, valor de 2.000 reales fontaneros de agua para satisfacer las necesidades comunes del vecindario, al precio de 2.000 pesetas cada real fontanero.

3.º Suscripción voluntaria pública á reintegrar (concluidas que sean las obras) en reales de agua al precio indicado, ó en efectivo (con interés del 6 por 100 anual en este último caso), á voluntad de los suscriptores.

Art. 3.º Para la administración de las obras habrá:

Un Consejo de Administración.

Un Director facultativo y económico de las obras, elegido por el Gobierno, á propuesta en terna del Consejo de Administración.

El Consejo se compondrá de:

Tres Vocales nombrados por el Gobierno, uno de los cuales será Presidente del Consejo.

Tres Concejales del Ayuntamiento de Madrid, uno de los cuales será el Alcalde.

Tres suscriptores voluntarios, elegidos por los mismos suscriptores.

El Director facultativo y económico de las obras.

Art. 8.º Las obras se concluirán necesariamente en el término de cuatro años, y distribuidas las aguas, el Gobierno procederá á la formación de un Sindicato, que tendrá á su cargo la conservación de las obras y la distribución de las aguas.

Art. 9.º Con el producto total de las aguas se reintegrará el Tesoro público de los fondos que hubiere adelantado y de sus intereses.

Art. 14. Se dará principio á las obras dentro del término de dos meses.

24. Como complemento del importantísimo Real decreto que se acaba de extraer, se dictaron inmediata y sucesivamente, con actividad y celo muy laudables, varias disposiciones para llevar á debido efecto en breve plazo la construcción de obras tan extraordinarias, muy por encima de lo usual y corriente en aquellos tiempos. Se citarán, entre otras, las siguientes:

Real decreto de 18 de Junio de 1851.—Concediendo un crédito extraordinario de 500.000 pesetas para atender en dicho año al pago de interés de anticipos voluntarios y al de la ejecución de las obras para la traída de aguas á Madrid.