

REVISTA EXTRANJERA

Las líneas aéreas trifásicas de los ferrocarriles eléctricos italianos.

El desarrollo de los ferrocarriles eléctricos en Italia es verdaderamente interesante. Numerosas ó importantes líneas explotadas precedentemente por vapor en la Liguria, el Piamonte y la Lombardia, han sido electrificadas, lo que les ha permitido hacer frente á aumentos de tráfico que no hubieran podido realizarse de otro modo. Por otra parte, la adquisición y explotación de los ferrocarriles por el Estado italiano han permitido á la nueva administración estudiar un sistema de tracción uniforme para todo el reino. Entre los estudios hechos con este objeto, los relativos al aislamiento y á la suspensión de las líneas de contacto, principalmente, podrán ser de una cierta utilidad general, si bien no han dado todavía resultados definitivos.

En las primeras electrificaciones hechas por los ferrocarriles del Estado italiano, su administración explotaba la instalación completa, comenzando por la estación central que suministraba la energía. Después la explotación por el Estado empezaba en las subestaciones de transformación y, finalmente, en las últimas instalaciones, la explotación se ha limitado á la de la línea secundaria comprando el Estado la energía á fábricas particulares, á la salida de las subestaciones.

A causa de esta disposición, los elementos que tienden á unificarse son, sobre todo, los referentes á las líneas de contacto y á las locomotoras. En la actualidad, sobre los 700 kilómetros de vías electrificados, circula un tipo casi único de locomotora, del que 150 unidades, próximamente, están en servicio, representando una potencia total de 300.000 caballos.

Para la suspensión de la línea de contacto secundario se ha adoptado el sistema de suspensión transversal, pues, si bien se ha experimentado también el de suspensión longitudinal, su precio elevado, 50.000 liras por kilómetro, ha hecho que se dé la preferencia al primer sistema, que, por otra parte, se imponía para las secciones en túnel y que permitía fácilmente asegurar la solidez necesaria para resistir á los huracanes.

El gasto previsto no era más que de 25.000 liras por kilómetro de vía, variando el intervalo entre los soportes de 20 á 33 metros. En estas condiciones, la velocidad máxima de las locomotoras es de 50 kilómetros por hora.

Vamos á examinar los resultados obtenidos durante más de diez años de explotación, extractando el artículo que publica en *Le Génie Civil* el Ingeniero M. Carlo Maurilio Lerici.

El cuadro siguiente da las características actuales de las líneas electrificadas en Italia:

LÍNEAS	Fecha de la inauguración.	Longitud kilométrica.				Número de estaciones.	Número de cambios de vía.	Conductores aéreos, número y sección. mm ²
		Vías únicas.	Vías dobles.	Vías de maniobra.	Longitud total.			
Valtellina.....	1902	105	»	20	125	17	49	1 × 50
Giovi: Antigua	1910	»	50	60	110	12	400	2 × 50
Giovi: Sucursal.....	1914							
Mont-Cenis.....	1912	24	36	20	80	8	108	2 × 50
Savona-Ceva.....	1914	45	»	25	70	9	91	2 × 50
Mouza-Lecco.....	1915	30	7	10	50	9	100	2 × 100
Turin-Pinerolo.....	1916	37	»	23	60	8	72	1 × 50
Sampierdarena-Savona.	1916	46	»	15	55	9	50	»

SUSPENSIÓN PARA LAS VÍAS AL AIRE LIBRE.—Para esta suspensión se han adoptado los postes tubulares Mannesmann, formados de dos ó más tubos cilíndricos de diámetro decreciente. Esta forma no era la más económica, pero se han escogido estos postes á causa de su sencillez y de su menor volumen, que permite una visibilidad mayor de las señales.

Se han empleado, próximamente, diez tipos de postes circulares, de magnitud y resistencia diversas, según que se tratase de vías en alineación recta ó curva, de ramales, de vías múltiples ó de postes que llevasen interruptores.

En las líneas normales se han empleado los postes del tipo más débil, con una ménsula de suspensión para una sola vía. En las pequeñas estaciones se emplean postes más fuertes, para dos vías, con postes especiales para los cambios de vía. En las estaciones más importantes, en fin, se emplean postes sencillos, acoplados con la ayuda de largas ménsulas, para soportar varios cambios de vía. Las ménsulas pueden alcanzar la longitud de 16 á 18 metros, pero éstas tienen inconvenientes que expone detalladamente el autor.

Para las primeras líneas electrificadas se tomó como intervalo máximo entre los postes 30 á 33 metros en alineación recta al aire libre, y 20 á 25 metros en túnel. En las curvas, el intervalo se modificó de manera que la flecha del arco subtendido por la línea entre dos postes no excediera de 20 centímetros, lo que correspondía á un intervalo de 20 metros para las curvas de 400 metros de radio. Basándose en estos intervalos se evaluó en 25 000 liras por kilómetro de vía el gasto de establecimiento de la línea eléctrica, siendo de 50 milímetros cuadrados la sección de los conductores y la tensión de colocación de 300 kilogramos por conductor.

Pero los inconvenientes que se presentaron bien pronto llevaron á reducir notablemente el intervalo entre los soportes y á aumentar la presión del trole contra los conductores y la tensión mecánica de colocación de los hilos. En las líneas recientemente construidas ó en vías de construcción, se ha decidido conservar un intervalo uniforme de 20 metros entre los soportes, tanto al aire libre como en túnel. Esta modificación ha elevado el precio de costo de la línea eléctrica á 35.000 liras por kilómetro de vía.

Arco de suspensión.—Los aisladores que soportan los conductores están fijados á un arco, llevado el mismo por una ménsula formada por un tubo sostenido por dos ó varios tirantes (fig. 1.^a). La parte superior es curva, lo que permite inclinar el arco lige-

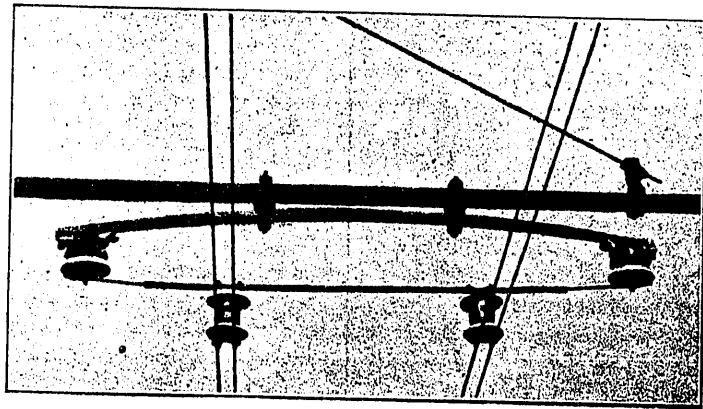
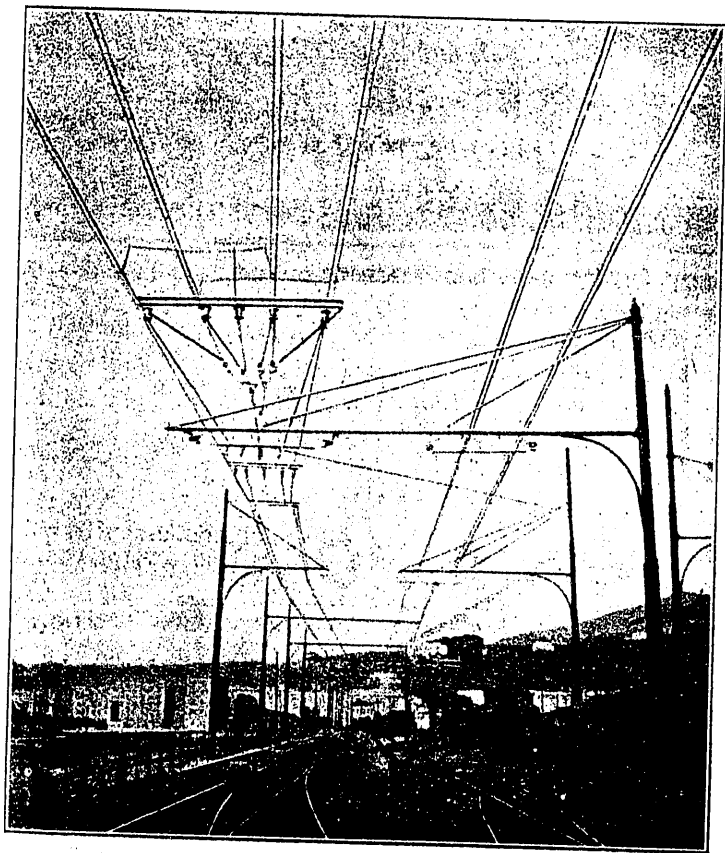


Fig. 1.^a

ramente en las curvas, por ejemplo, moviendo los anillos que le fijan en la ménsula.

La base del arco está constituido por un cable ligero tendido entre dos aisladores y llevando él mismo los aisladores de soporte de los conductores (fig. 1.^a).

Suspensiones en las estaciones.—En las estaciones se han adoptado soportes tubulares, con una ménsula, algunas veces para dos vías (fig. 2.^a). En algunas estaciones se han unido las ménsulas opuestas, constituyendo un puente sobre las vías, lo que tiene la ventaja de reducir las oscilaciones. En otros puntos se han acoplado unos postes tubulares para el soporte de largas ménsulas, sirviendo á varias vías. También en algunas estacio-

Fig. 2.^a

nes se han adoptado suspensiones catenarias transversales, á pesar de sus inconvenientes.

Suspensiones en los túneles.—Las suspensiones en los túneles se han estudiado especialmente para resistir á la oxidación, principalmente en aquellos que son recorridos simultáneamente por trenes eléctricos y trenes de vapor.

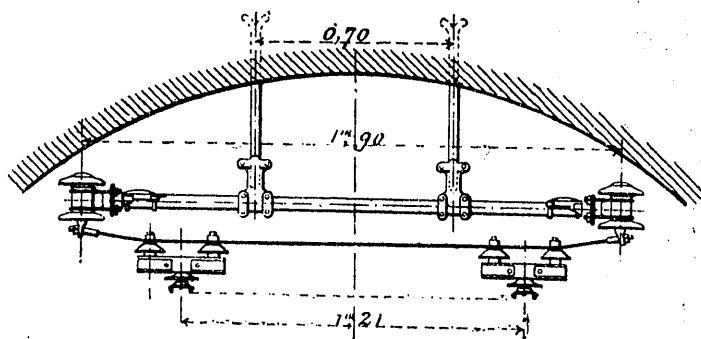
En la antigua línea de los Giovi, principalmente, se ha notado el deterioro rápido de todas las partes de hierro fileteadas, especialmente en los puntos de contacto entre metales diferentes. En las líneas siguientes no se ha empleado más que el cobre ó sus aleaciones, salvo, sin embargo, las que contienen cinc, lo que ha hecho muy costoso el equipo de los túneles.

La suspensión adoptada para los túneles de la antigua línea de los Giovi ha sido abandonada por ser demasiado débil, y en las líneas recientes se han equipado los túneles con soportes más resistentes.

El aparato de soporte está fijado á la bóveda por dos pernos principales. Las figuras 3.^a y 4.^a muestran la disposición de la suspensión en las galerías de una y de dos vías. En el primer caso, los pernos llevan directamente la barra de soporte de los aisladores, por el intermedio de un hilo aislado. En los túneles de dos vías los pernos principales llevan una especie de armadura que sostiene dos ménsulas laterales, colocadas sobre cada una de las vías (fig. 4.^a). Este último tipo ha dado buenos resultados, principalmente en el túnel del Mont-Cenis (14 kilómetros) y en el de Ronco (8 kilómetros).

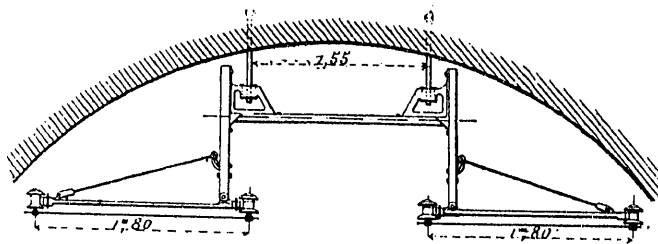
Aisladores.—La elección de un tipo de aislador que presentase todas las cualidades necesarias era difícil, tanto más cuanto que había casi siempre que tener en cuenta la acción del humo y del vapor producidos por las locomotoras de vapor que circulan por la misma línea. Respecto á este punto se ha notado

que era más fácil obtener un buen aislamiento con un aislador mantenido primero bajo tensión y expuesto en seguida á la acción del humo que con un aislador sometido al humo antes de estar puesto bajo tensión. Este efecto es debido, sobre todo, á la

Fig. 3.^a

acción térmica de las corrientes de pérdida provocadas por los depósitos de carbón sobre los aisladores.

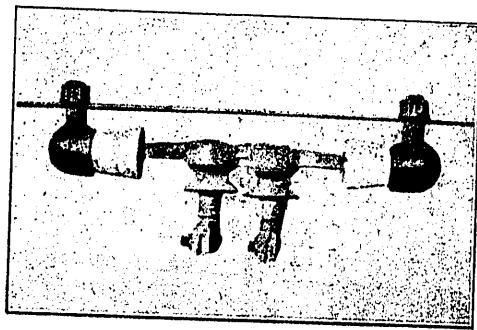
En la actualidad, en las instalaciones de las líneas eléctricas italianas, se someten los aisladores una vez montados á la acción

Fig. 4.^a

de la tensión y en seguida se les protege cubriéndoles con paja ó tela hasta que se ponen en servicio.

Los aisladores deben soportar una tensión de 3.000 á 3.500 voltios, y las sobretensiones llegan á 4.000 voltios. Los esfuerzos mecánicos á que están expuestos son muy variables, principalmente por la temperatura. A continuación exponemos algunos de los tipos empleados.

Aislador Brown-Boveri.—Este aislador (fig. 5.^a) se empleó por vez primera en la línea de los Giovi. Está constituido por dos campanas de porcelana de eje horizontal, que comprenden entre sí la armadura que lleva los dos sujetadores de hilo, aislados á su vez por medio de dos bloques de ebonita. La armadura de hierro ó de bronce está fijada á la porcelana por medio de

Fig. 5.^a

una composición especial que confiere al aislador la elasticidad necesaria para que no sufra deterioro por las fuertes variaciones de temperatura ó por esfuerzos mecánicos anormales.

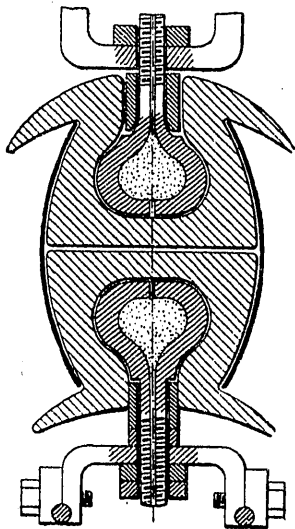
En las curvas y en las estaciones, el aislador está provisto de dos sujetadores separados, de modo que los dos hilos de cada fase estén distantes 6 centímetros, próximamente; en las secciones en alineación recta, por el contrario, los dos hilos están unidos y sostenidos por un sujetador doble. La fijación del aislador está establecida de manera de permitir una buena dispo-

sición de los esfuerzos de la línea. La resistencia mecánica y el poder aislante son muy satisfactorios, y este tipo ha dado buenos resultados en las líneas al aire libre en donde aisladores de este tipo están todavía en servicio desde hace seis años. En los túneles, los resultados no han sido siempre tan perfectos.

El precio elevado de este tipo de aislador ha hecho que la Administración de los ferrocarriles estudiase un tipo especial.

Aislador tipo «F. S.».—Este aislador es una imitación de Brown-Boveri. Se compone de tres campanas de porcelana dispuestas en triángulo y unidas entre sí por medio de una armadura de hierro ó de bronce. La campana inferior lleva un doble sujetador de hilo de tipo único para todos los aisladores, en alineación ó en curva. Este aislador, aplicado por la primera vez en la línea de Cenisio en 1912, fué bien pronto modificado tanto en la armadura como en las piezas de porcelana; á pesar de estas modificaciones este aislador no ha dado buenos resultados.

Aislador tipo «Sucursal».—Este tipo, llamado así por el nombre de la línea en que se empleó por primera vez (línea sucursal de los Giovi), está constituido por dos aisladores superpuestos, unidos por una envolvente de fundición. Los dos elementos presentan cada uno una cavidad en la cual está incrustado, en cemento, un gancho de hierro, con una varilla de tornillo al exterior. El tornillo superior (fig. 6.^a) sirve para fijar la

Fig. 6.^a

pieza de unión á la ménsula de suspensión y el inferior sirve para la unión del sujetador doble para el hilo de contacto.

Las varillas fileteadas presentan una hendidura longitudinal que les asegura la elasticidad necesaria, para evitar el deterioro del aislador en el caso de fuertes variaciones de temperatura.

El empleo de este aislador se extendió á otras líneas en servicio ó en construcción antes de que una experiencia suficiente hubiese venido á confirmar sus cualidades. Este apresuramiento

das las secciones en curva. Esta solución no será, por otra parte, económica, si se generalizase, porque, en las vías italianas, el 50 por 100 de los aisladores están colocados en curvas.

Aisladores de sección.—Se emplean estos aisladores en los cambios de vía y en las estaciones, en los puntos en que la línea está protegida por secciones «tapones», es decir, trozos de línea de contacto alimentados por *feeders* independientes, y en los cuales se puede suprimir la corriente, estando seccionados los conductores en los extremos del trozo por medio de los aisladores de sección. El empleo de estos aisladores se multiplica al mismo tiempo que aumenta la complicación de las estaciones; permiten, principalmente, aislar una sección en la que se ha hecho constar algún defecto sin interrumpir el funcionamiento de las líneas próximas.

Los aisladores de sección son de madera muy resistente, tratada por procedimientos especiales, de manera de conservar durante largo tiempo una buena resistencia mecánica unida á un fuerte poder aislante.

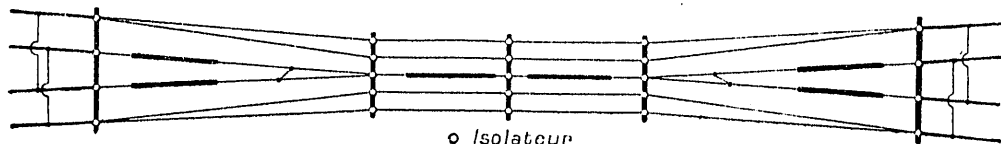
Los cambios de vía simple contienen dos ó tres aisladores de sección. Los cambios «ingleses» (cruce de vías) contienen, por lo menos, seis (figuras 7.^a y 8.^a). Cada sección tapón contiene, por lo menos, cuatro aisladores de sección.

APARATOS ELÉCTRICOS DE CAMBIO DE VÍA.—El establecimiento de los aparatos de cambio de vía, en las estaciones ó en las bifurcaciones, presenta dificultades especiales en el caso de la tracción trifásica, á causa de la presencia, para cada vía, de dos conductores aéreos de tensión diferente.

Los conductores deben disponerse de manera de evitar que se produzcan cortocircuitos entre las fases durante las oscilaciones comunicadas á los conductores por la acción de los arcos colectores, cuando las locomotoras toman las agujas con velocidad. El número de aisladores debe, por lo tanto, reducirse al mínimo, para no hacer excesivo el peso del conjunto de los aparatos. El experimento realizado en la sección Lecco-Calolzio, de la línea Monza Lecco, con una suspensión catenaria, había ya mostrado la necesidad de adoptar aparatos de suspensión muy sencillos, que redujesen al minimum el número de conductores, de aisladores y de interruptores. El cambio de vía del tipo «inglés» instalado en esta sección contenía, próximamente, 36 aisladores de sección de madera; el peso del aparato era considerable y su entretenimiento difícil. La tensión mecánica de los conductores debe poder conservarse regular durante bastante tiempo. Los defectos de los aisladores pueden producir roturas de los conductores ó cortocircuitos.

Puede también producirse una interrupción en la alimentación de una de las fases, lo que produce en la locomotora un «golpe monofásico», llamado así por el personal á causa del choque que se produce entonces en las transmisiones mecánicas, á consecuencia de la variación del par motor.

Los cruces y bifurcaciones importantes que comprenden un número considerable de cambios de vías eléctricas están pro-

Fig. 7.^a

fué de sentir, porque bien pronto pudo observarse que el fuerte poder aislante inicial disminuía rápidamente. Gran número de aisladores tuvieron que reemplazarse en todas las líneas después de algunos meses de servicio.

Se hicieron algunas modificaciones en este tipo de aislador, y ahora se emplean ampliamente en la mayor parte de las líneas construidas ó en vías de electrificación. El poco tiempo que hace que se usa no permite todavía expresar un juicio definitivo sobre su resistencia eléctrica. Se ha podido remediar el defecto de resistencia mecánica acoplando dos aisladores en paralelo en to-

gidos por un gran número de interruptores automáticos de dos tensiones, que cortan automáticamente la corriente en caso de defecto de aislamiento.

Antes de describir los diversos cambios de vía eléctrica en servicio de las líneas italianas, recuerda el autor cómo se hace la alimentación de los motores de las locomotoras trifásicas.

Las primeras locomotoras de la línea de la Valtelina estaban provistas de dos troles, una para cada sentido, con un colector de ruedecilla, siendo de 8 kilogramos la presión sobre el conductor. El empleo de un solo trole en marcha es una ventaja desde

el punto de vista de la sencillez, pero el paso bajo los aisladores de sección se hace difícil, debiendo pasarles la locomotora con los motores fuera de circuito.

Las locomotoras de todas las otras líneas están provistas del trole Brown-Boveri, del tipo adoptado para las locomotoras del Simplón. Este trole puede funcionar en los dos sentidos de marcha. La armadura está unida directamente a la masa de la locomotora; el aparato comprende cuatro tomas de corriente, dos para cada fase, unidas al conjunto de aparatos de la locomotora

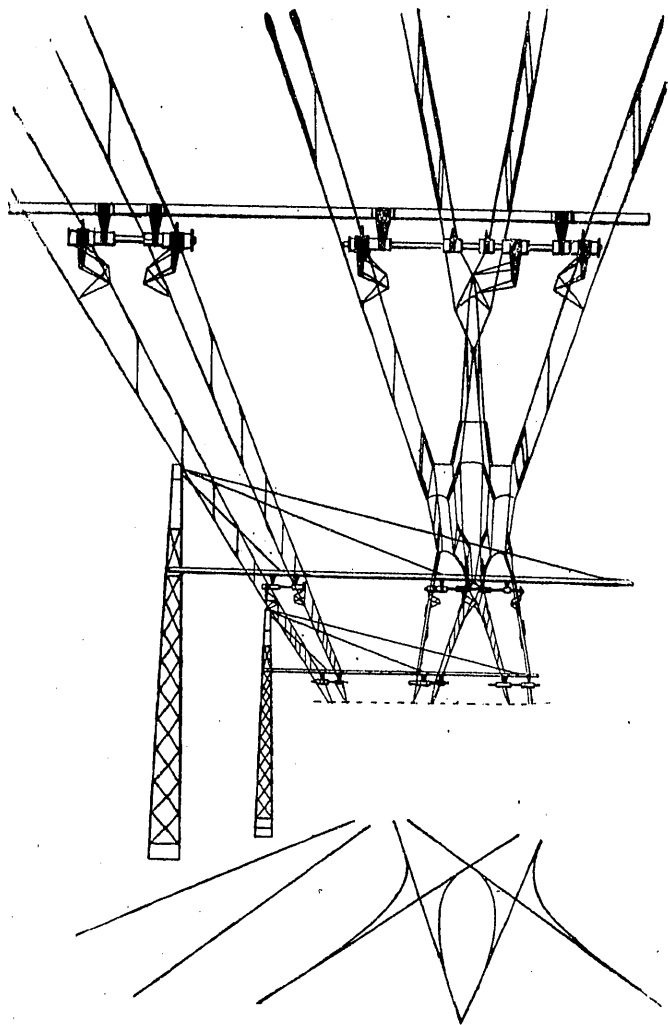


Fig. 8.ª

por unos cables aislados y protegidos. Las tomas de corriente están constituidas por unos arcos frotantes de latón. Para obtener una alimentación continua de la locomotora, basta, por tanto, que el trozo de conductor aislado que se encuentra a cada cambio de vía tenga una longitud inferior al intervalo entre los dos pares de colectores de los troles.

Aparato de cambio de vía tipo «F. S.».—Este aparato (figura 9.ª), llamado también tipo aeroplano, es el más empleado actualmente en los ferrocarriles italianos. Sin embargo, no se ha extendido su empleo a las nuevas líneas en vías de electrificación. En efecto, es bastante pesado, las tensiones mecánicas son difícilmente regulables y no se conservan muy largo tiempo. El alargamiento de los hilos puede causar interrupciones de contacto durante el paso de las máquinas a gran velocidad. El peso del aparato y el tipo de suspensión le hacen propenso a oscilaciones que pueden alcanzar una gran amplitud, principalmente en las líneas expuestas a grandes vientos (en el Mont-Cenis, por ejemplo). La armadura de un cambio de vía de este tipo lleva 25 aisladores de porcelana y dos ó tres aisladores de sección de madera.

Aparato de cambio de vía inglés.—Este aparato (fig. 7.ª) es sensiblemente más sencillo que el precedente. Los conductores pueden tenderse con facilidad y el funcionamiento es suficientemente seguro, aun a velocidades elevadas. El aparato compren-

de 20 aisladores ordinarios y seis de sección. Este aparato, que ha dado buenos resultados, ha sido, sin embargo, abandonado en las últimas líneas en vías de construcción.

Aparato de cambio de vía Donati.—Este sistema ha reemplazado a los precedentes en todas las nuevas líneas (fig. 2.ª). Su característica principal es la de no necesitar un emplazamiento especial para los postes de suspensión, lo que facilita la instalación en las estaciones principalmente.

El trozo de línea que lleva los aisladores de sección está reemplazado por un conductor completamente aislado, con aisladores del tipo «Sucursal» que sirve para guiar los colectores de corriente. Este sistema acaba de adoptarse para el equipo aéreo de un grupo de bifurcaciones de las dos líneas de los Giovi, a Torbella, en donde se encuentran doce cambios de vía recorri-

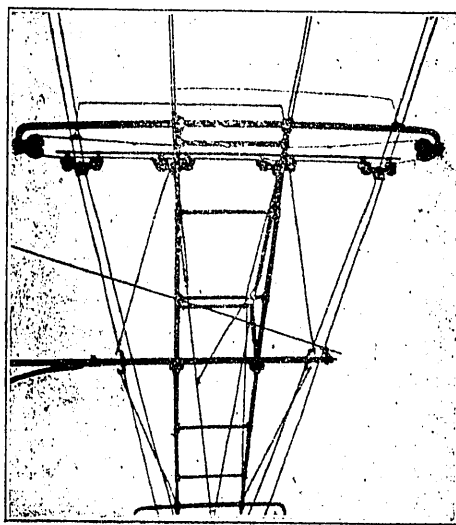


Fig. 9.ª

dos normalmente por trenes a toda velocidad ó en arranque. Este nudo de vías constituía, hasta hace un año, próximamente, uno de los puntos débiles de la electrificación de los Giovi.

Los aisladores empleados con este sistema, del tipo «Sucursal», son en número de 25 a 30. En algunas líneas los aparatos son soportados por una serie de suspensiones catenarias longitudinales, tendidas entre postes.

Ahora el nuevo equipo funciona en muy buenas condiciones desde hace varios meses. Su empleo se ha extendido a nuevas líneas, y aumentándose así los experimentos, dentro de poco podrá darse un fallo definitivo acerca de su valor.

Aparato Spinelli.—En la línea Monza-Lecco se ha adoptado un tipo de aparato de cambio de vía más sencillo que el precedente, el aparato Spinelli, que no tiene más que un pequeño número de aisladores y cuyo equipo eléctrico está reducido al minimum.

Concluye el autor del artículo diciendo que las importantes líneas eléctricas construidas en Italia desde hace unos quince años han producido una serie de investigaciones constantes con objeto de determinar las mejores características de los aparatos de las vías. Estas investigaciones han conducido a la eliminación de un cierto número de disposiciones y han permitido una selección interesante entre las diversas soluciones propuestas. Los resultados obtenidos, una vez que sean sancionados por una práctica bastante larga, permitirán determinar los tipos de aparatos que respondan de una manera perfecta a las exigencias de una explotación cada vez más intensa.

Estudio sobre el cálculo de las máquinas eléctricas.

El cálculo de una dinamo ó de un motor de corriente continua ó alterna se funda en la determinación:

1.º De la corriente magnetizante.