

# Electrificación de la rampa de Pajares <sup>(1)</sup>

por

Ricardo F. Hontoria y José María G. Lomas,

Ingenieros de Caminos

V

## Línea de trabajo. Datos generales

La línea aérea de trabajo adoptada es del tipo de suspensión catenaria simple, es decir que el hilo de trolley va colgado, por intermedio de péndolas, de

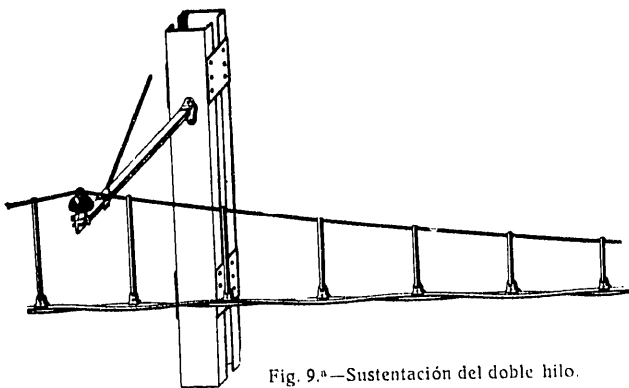


Fig. 9.ª—Sustentación del doble hilo.

un cable sustentador de acero, que a su vez se sujeta a los aisladores de los postes o soportes.

Para el retorno de la corriente se utilizan en prin-

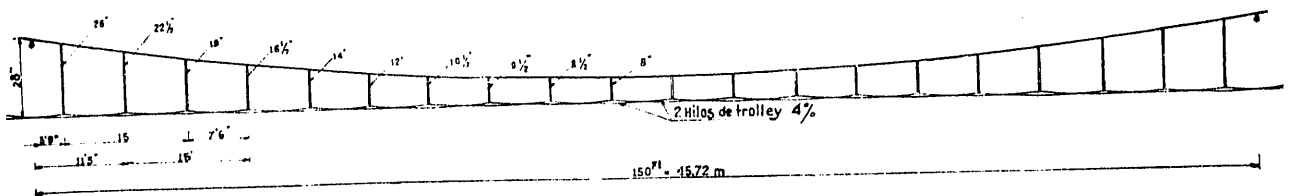


Fig. 10.—Vano de 150 Ft (45,72 m) (Cotas en pulgadas inglesas.)

cipio los carriles, colocándose en sus juntas conexiones de cobre, con objeto de disminuir su resistencia óhmica y garantizar el paso de aquélla; pero, además, existe, a todo lo largo de la línea, un feeder negativo o de retorno, formado por un cable de cobre del calibre  $\frac{1}{0}$  americano, equivalente a  $107 \text{ mm}^2$ , instalado sobre los mismos postes que sostienen la línea de trabajo y que se enlaza eléctricamente con los carriles cada 1 000 m aproximadamente.

La línea está constituida por dos hilos de contacto yuxtapuestos, de sección  $\frac{1}{0}$  cada uno, en total  $214 \text{ mm}^2$ , cuya disposición tiene por objeto, a la vez que reducir las caídas de tensión e importancia de los feeders, limitar la densidad de corriente en la línea de trabajo a 6 amperios por  $\text{mm}^2$  de sección y aumentar la superficie de frotamiento en los pantógrafos, para que, a las velocidades previstas, pueda, sin dificultad, captarse la intensidad de corriente ne-

cesaria (1), cuyo valor alcanza a 411 amperios para un tren de 330 t, arrancando sobre la rampa de 0,02; estos hilos se suspenden alternadamente del cable catenario en acero, con lo que se consigue que, en el punto duro formado por la sujeción de una péndola en uno de los hilos, presente el otro su máxima flexibilidad, aumentando, por tanto, la de la línea (figura 9.ª). Las péndolas, que deben ser libremente levantadas por el pantógrafo de las locomotoras, limitan, por su inercia, la longitud admisible para las mismas y, por tanto, el espaciamiento de los postes. Se han adoptado para éstos los tres tipos de vanos siguientes:

- 1.º De 150 pies = 45,72 m, para rectas y curvas de radio superior a 950 m.
- 2.º De 105 pies = 32 m, para curvas de radio comprendido entre 950 m y 450 m.
- 3.º De 90 pies = 27,43 m, para curvas de radio inferior a 450 m.

La altura de los hilos de contacto sobre los carriles es de 5,50 m, bajando a 4,65 m en los túneles y en el trayecto desde el túnel de la Perruca hasta Campomanes, en el que es muy grande el número de aquéllos, excepto en estaciones; la transición de una altura a otra se hace con un vano especial de

27,43 m, y de tal manera que la pendiente de los hilos de contacto no exceda de  $\frac{1}{100}$ .

La separación entre soportes en túnel es de 90 pies = 27,43 m, ya sea en recta o curva, consecuencia de la poca flecha que puede darse al cable sustentador, puesto que, como ya hemos dicho, la altura del gálibo de electrificación es de 5 m, con lo que queda reducida a 0,45 m la distancia mínima entre los hilos de trabajo y la bóveda del túnel.

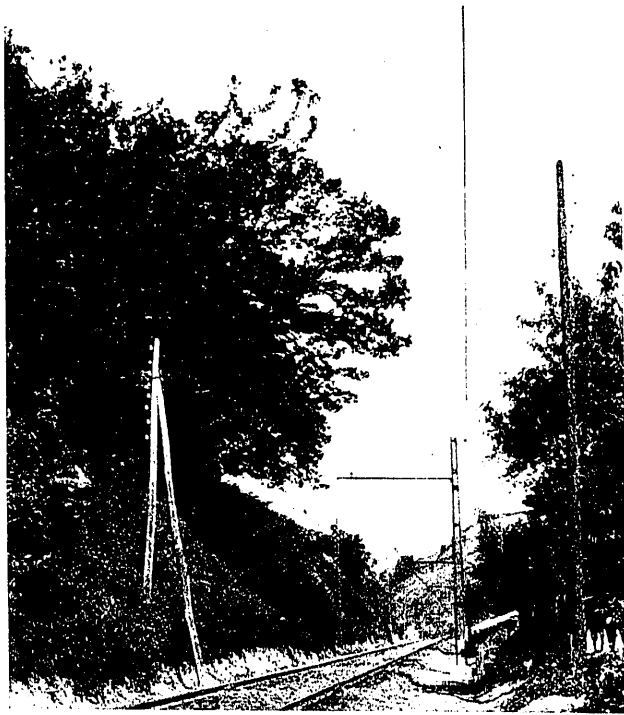
Las tolerancias admitidas en la separación de los postes y soportes son de 1,30 m para los vanos de 90 pies y de  $\pm 1,50$  m para los de 105 y 150 pies. En la figura 10 se representa el vano tipo de 150 pies, así como la distribución de péndolas y longitud de las mismas.

(2) La sección total de la línea es de 214 milímetros cuadrados, de modo que con la densidad admitida puede hacerse frente a una intensidad total de 1 284 amperios. Un tren de 600 toneladas remolcadas en doble tracción por cola consume 625 amperios sobre la rampa de 0,02, a la velocidad de 35 kilómetros por hora, quedando, por tanto, sobrado margen de seguridad para las arrancadas, aun siendo éstas en rampa.

1) Véanse los números 2 385, 2 380, 2 387 y 2 392 de la REVISTA.

### Distribución de «feeders»

Con objeto de disminuir la caída de tensión en la línea sin aumentar excesivamente la sección del hilo de trabajo, se han dispuesto unos *feeders* positivos o cables alimentadores, todos ellos de sección equiva-



Catenaria en recta.

lente a la de  $\frac{4}{10}$  y que se llevan, por lo general, como el *feeder* negativo, por los mismos postes o soportes de la línea de trabajo, excepto en los bucles del trazado, en los que se hacen acortamientos por medio de puentes sobre postes independientes. Para el estudio de la distribución de *feeders* y el cálculo de las caídas de tensión en la línea se ha supuesto ésta seccionada en la estación de Linares, situada aproximadamente en la mitad de la longitud a electrificar, alimentándose el trozo Busdongo-Linares por la subestación de Pajares y el trozo Linares-Ujo por la de Cobertoria; lo que en realidad ocurre es que las dos subestaciones trabajan en paralelo sobre la línea; pero, con objeto de simplificar los numerosos cálculos, se puede, sin mucho error, admitir la hipótesis citada.

Este estudio se ha hecho para la llamada primera época y, con objeto también de simplificar, se ha supuesto que la rampa es uniforme y de 20 milésimas entre Busdongo y la Cobertoria, y de 14 milésimas en el trayecto Cobertoria-Ujo. En la figura 5.<sup>a</sup> (artículo anterior) se indica la distribución de *feeders*, habiéndose dejado de representar el negativo, porque, como ya hemos dicho, se lleva paralelamente a la línea de trabajo. Según se ve en la citada figura, en el trozo alimentado por la subestación de Pajares hay un solo cable desde esta subestación a Busdongo, dos cables desde Pajares al kilómetro 69, un puente de tres cables desde el kilómetro 69 al 76 y dos cables del kilómetro 76 a Linares; en el trayecto

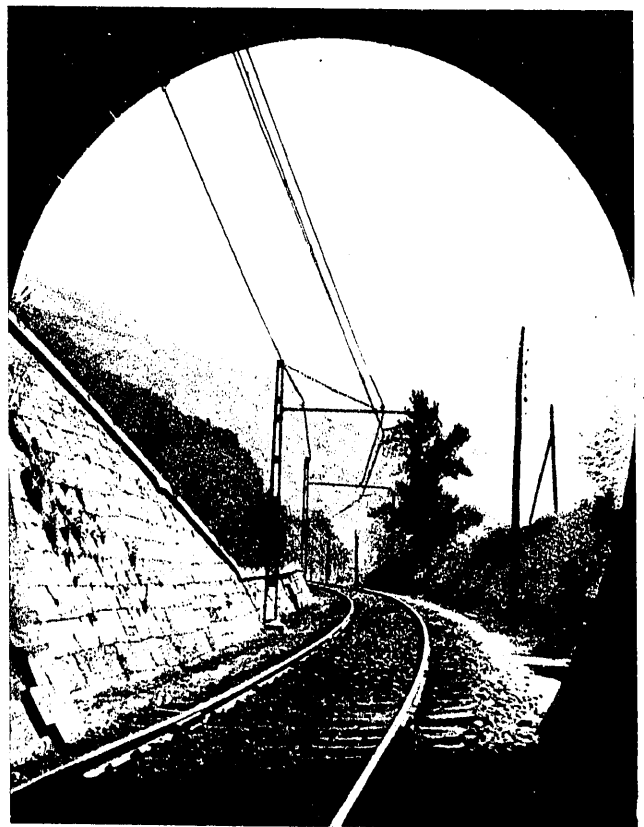
del kilómetro 69 al 76 sólo existe, por tanto, el doble hilo de la línea de trabajo.

En el trozo de Linares-Ujo se dispone un cable desde la Cobertoria hasta Ujo, otro desde la Cobertoria hasta el kilómetro 103, un puente de dos cables entre los kilómetros 103 y 86,700, otro, también de dos cables, entre los kilómetros 83 y 90 y, por último, un cable desde el kilómetro 90 a la estación de Linares. En los bucles que salvan los puentes de los *feeders*, la alimentación de la línea se hace por el hilo de trabajo.

Las caídas máximas de tensión en diferentes momentos del día oscilan entre el 8 y el 12 por 100, alcanzándose solamente una vez al día, y durante un tiempo muy breve, la cifra de 16,75 por 100. La caída media de tensión, obtenida de la media de las caídas medias de tensión tomadas en intervalos de treinta en treinta minutos, resulta ser de un 5,8 por 100, cifra reducida que mide también la pérdida de energía en la línea.

### Cables de «feeders». Hilo de trabajo. Cable sustentador

En la Real Orden aprobatoria del suministro de material para la electrificación se disponía que fuera reservado a la industria nacional el suministro de todo aquel material que, sin menoscabo de garantía alguna técnica o económica, pudiera construirse en España. En atención a esta cláusula, y de confor-



Catenaria en curva.

unidad el Estado con la Compañía del Norte y la S. I. C. E., se contrató con la Sociedad Española de Construcciones Electro-Mecánicas (Córdoba) el sumi-

nistro de todo el cable de *feeders* e hilo de *trolley*, que había de hacerse con arreglo a las especificaciones de la «American Society for Testing Materials», y de las cuales la «Serial designation B. 8-21» se refiere al cable de cobre duro, semiduro o blando, y la «Serial designation B. 1-15» al hilo de cobre duro estirado. Los ensayos se hicieron, con resultado satisfactorio, en el Laboratorio central de la Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. El cable elegido para *feeders* es de cobre duro y está constituido por treinta y siete hilos de 1,92 mm de diámetro, arrollados en hélice y formando una sección de 107 mm<sup>2</sup>; su peso es de 0,96 kg/m. La tensión de colocación es de 500 kgs, a unos 15° C.

El hilo de trabajo es ranurado y de cobre duro y estirado en frío; su sección, como ya hemos dicho, es de 107 mm<sup>2</sup>, admitiéndose para la misma una tolerancia de ± 4 por 100.

La densidad tipo es de 8,89 y el peso de 3 386 libras por milla, con tolerancia también de 4 por 100 (las pruebas acusaron 0,992 kgs por m, o sea 3 515 libras por milla de 1 609 m). La mínima carga de rotura admitida es de 49 000 libras por pulgada cuadrada, o sea 32,8 kg/mm<sup>2</sup>, habiéndose alcanzado en las pruebas cargas de 44,50 kg/mm<sup>2</sup>; los empalmes en forma de silbato con soldadura autógena dieron también las mismas elevadas cargas de rotura, rompiéndose siempre las probetas fuera de los mismos.

El alargamiento mínimo es de 3,75 por 100 sobre 10 pulgadas de longitud, medidas en ciertas condiciones, y, por último, el coeficiente de resistividad tipo es de 900,77 libras por milla-ohmio, lo que equivale a una resistencia eléctrica de 0,265 ohmios por milla (0,165 ohmios por km); la obtenida en los ensayos fué de 0,134 ohmios por km. El hilo de *trolley* se coloca a una tensión de 400 kgs a 15° C.

El cable sustentador es de acero emplomado, con objeto de evitar la acción corrosiva de los humos

centímetros. Su sección es de 88 mm<sup>2</sup>; el peso por metro, 0,78 kgs, y la carga de rotura 5 000 kgs. La tensión de colocación sin carga, y a unos 15° C,

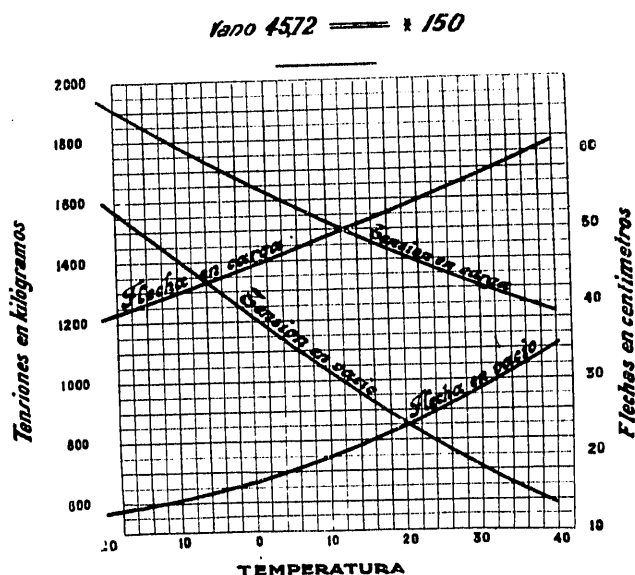


Fig. 11.---Curvas de montaje del cable sustentador.

durante el montaje, y está constituido por siete hilos de 4 mm de diámetro arrollados en hélice, formando un cable de diámetro aparente de 1/2'', o sea 1,27

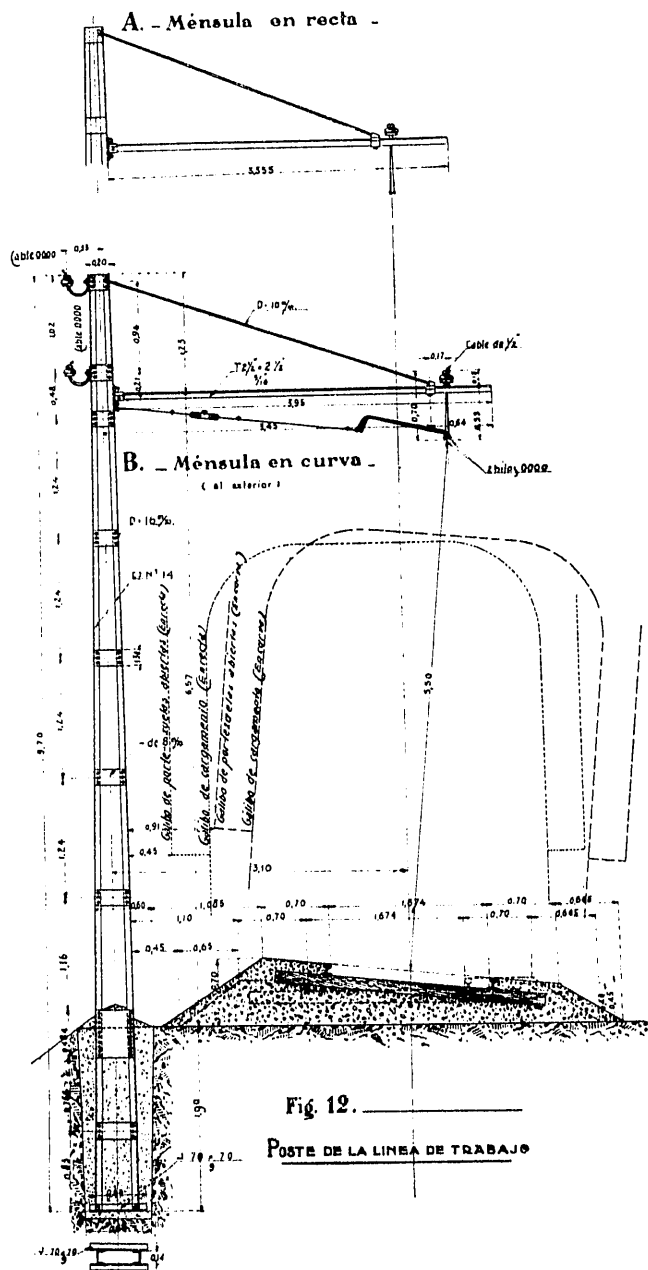


Fig. 12.

POSTE DE LA LINEA DE TRABAJO

es de 1 000 kgs, con lo que se asegura no pasar de 1 500 kgs en las condiciones más desfavorables de carga y temperatura, siendo, por tanto, de 3,33 el coeficiente de seguridad. En la figura 11 se representan las curvas de montaje de este cable.

### Postes y ménsulas

Para la suspensión de la línea de trabajo al aire libre se utilizan postes metálicos colocados en el paso de la vía, a unos 2 m del carril más próximo, y provistos de una ménsula, a la que se sujeta el aislador del cable sustentador (fig. 12).

En la parte superior del mástil del poste van también colocados los soportes para los *feeders* positivos,

si los hay, y el del *feeder* negativo, que va por detrás de aquél.

El tipo de poste estudiado está constituido por dos hierros en C de 14 cm de altura, separados

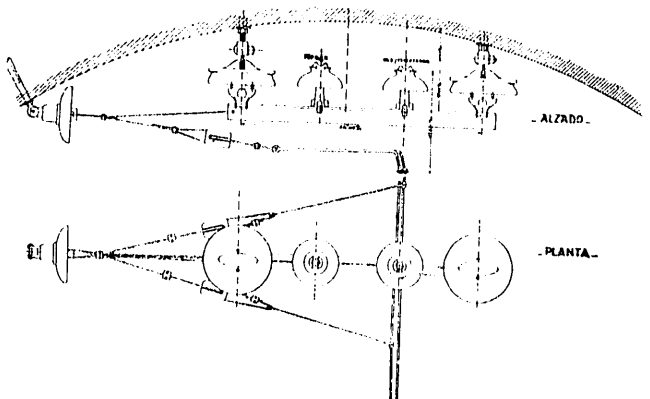


Fig. 13.---Soporte en túnel. Atrantado en curva.

40 cm en la sección de empotramiento y 20 cm en la coronación, unidos de trecho en trecho por platabandas; su altura total es de 9,70 m para el trayecto Campomanes-Ujo, en que la línea va a 5,50 m sobre el carril, y de 8,85 m para el resto de la misma.

El empotramiento en el terreno se consigue mediante un macizo de hormigón de 2 m de altura y  $0,70 \times 0,30$  m de sección. La comprobación del poste se ha hecho para las condiciones más desfavorables, es decir, caso de curva radio 300 m y poste al exterior con dos *feeders* positivos, además del negativo, y una presión de viento de  $125 \text{ kg/m}^2$  de superficie plana; en estas condiciones, la carga de trabajo en la sección peligrosa no pasa de  $11 \text{ kg/mm}^2$ . El peso del poste de 9,70 m de altura es de 404 kgs y de 368 kgs el de 8,85 m.

La ménsula, sujeta a la parte superior del poste por medio de una pieza especial y de un tirante de hierro redondo de 10 mm que la presta rigidez, se reduce a una pieza horizontal en forma de T y de sección equivalente a  $63,5 \times 63,5 \times 8$  mm; empleándose dos tipos, uno de 3,35 m de longitud para pos-

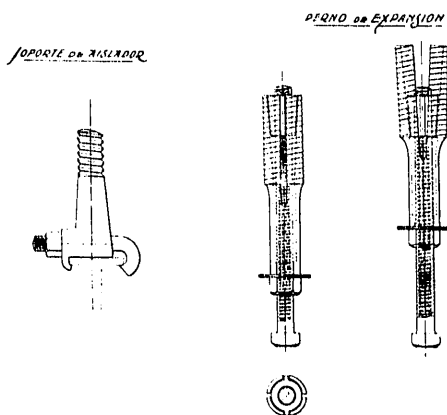


Fig. 14.---Soporte y perno.

tes en recta o en el interior de curvas, y otro de 3,95 m para los situados al exterior de éstas.

La comprobación de la ménsula se ha hecho para este último tipo en curva de 300 m de radio y teniendo en cuenta, en el cable sustentador e hilos de

trabajo, la carga producida por un manguito de nieve de 10 cm de diámetro, sin viento alguno (incompatible con esta carga); en estas condiciones, el trabajo unitario de compresión en la ménsula es de  $11 \text{ kg/mm}^2$  y el de extensión del tirante  $9 \text{ kg/mm}^2$ . El peso de ambos tipos de ménsula es, respectivamente, de 40 y 48 kgs.

### Soportes en túnel

La sustentación de la línea catenaria en túnel se hace por medio de unos soportes especiales (fig. 13), constituidos por una barra en T de la misma sección que las ménsulas y 1,02 m de longitud, en la que se fijan los aisladores del cable sustentador y *feeders* positivos, suspendida por medio de mordazas de acero maleable galvanizado y anillas de cobre, de dos aisladores de plato «Hewlett», los cuales, a su vez, cuelgan, merced a otras anillas y mordazas, de los pernos de expansión empotrados en la bóveda del túnel.

El perno de expansión (fig. 14) está constituido por un tornillo que lleva en uno de sus extremos

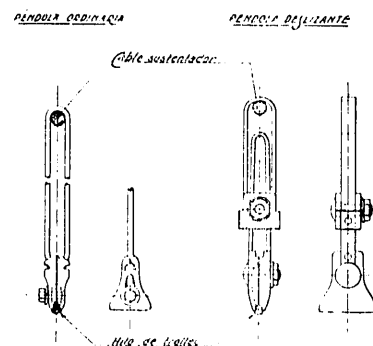


Fig. 15.---Péndolas.

una tuerca con su arandela correspondiente y en el otro una pieza fileteada, que no puede girar por impedírsele dos salientes diametralmente opuestos, que coinciden con dos de las cuatro aberturas que tiene la vaina expansible en que se aloja el tornillo; de este modo, una vez metido el perno, dispuesto como indica la parte izquierda de la figura 14, en la caja al efecto practicada en la bóveda, y que tiene que ser cilíndrica, de diámetro ligeramente superior al del perno, al que hace girar la tuerca, descende el tornillo, arrastrando la pieza fileteada, que hace el efecto de cuña y abre las patas de la vaina, que se adhieren fuertemente a la caja de la bóveda e impiden la salida del perno.

En los túneles, el *feeder* negativo se lleva independientemente de los soportes, sujeto a la bóveda de los mismos por medio de pernos de expansión con ojo y aisladores de campana.

El peso total de un soporte completo es de 20 kgs.

### Aisladores y soportes.

*Péndolas*.—El aislador de línea es «I.ocke», de soporte vertical, unido a la T de la ménsula o soporte en túnel por medio de un tornillo de presión (fig. 15),

la unión de aislador al soporte se hace con mortero de cemento, y la de aquél al cable sustentador con alambre de acero emplomado. Los aisladores para *feeders* son del mismo tipo que el de la línea, con soporte de gancho al aire libre y vertical para el túnel. Las retenciones de los *feeders* se hacen con alambre de cobre estañado.

Cada hilo de *trolley* va colgado del sustentador por medio de péndolas espaciadas 5 m, por lo que la separación entre dos consecutivas de un vano es de 2,50 m.

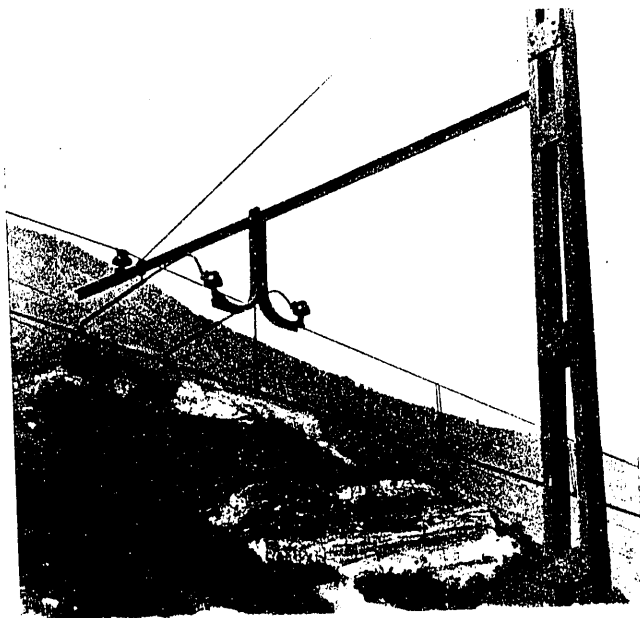
La péndola ordinaria (fig. 15) es de una gran ligereza, que permite sea fácilmente levantada al paso de los pantógrafos de las locomotoras, a la vez que opone una resistencia mínima a la acción del viento, y está constituida por un bucle de hierro galvanizado de 6,53 mm de diámetro, terminado en una grifa o mordaza de acero embutido que sujeta el hilo de *trolley*; la longitud de las péndolas varía mucho, oscilando entre 8" y 27" (20 cm y 70 cm).

Las dos péndolas inmediatas por cada lado a los soportes en túnel son de un tipo especial deslizante (fig. 15), lo que tiene por objeto, conservando la flexibilidad de la línea, evitar que puedan aquéllas tropezar con la bóveda al ser levantadas por los pantógrafos de las locomotoras.

*Atirantados.*—La línea de trabajo es poligonal en las curvas y, por tanto, en todos los ángulos se originan esfuerzos horizontales sobre los hilos de contacto que es preciso contrarrestar, ya que, aun cuando las péndolas fueran capaces de resistirlos, no es posible la construcción de una catenaria inclinada con doble hilo de contacto.

Para conseguir este objeto se emplean brazos de atirantado, constituidos por un tubo de hierro galvanizado, terminado en un extremo por una grifa, que sujeta el hilo de *trolley*, y por el otro en un ojo, por el que pasa un cable de hierro galvanizado de  $\frac{1}{4}$ " de diámetro. En los postes al exterior de curva (figura 12), dicho cable se sujeta al poste por intermedio de un rosario de dos aisladores de nuez; el atirantado en postes al interior de curva es análogo al anterior, con la diferencia de que el rosario de

aisladores se sujeta a una pieza especial o brazo, unido al extremo de la barra de T de la ménsula, según se advierte en la adjunta fotografía.



Brazo de estabilización.

Por último, en túnel se atirantan a la vez el soporte y el hilo de trabajo, y la sujeción del cable de atirantados al hastial del túnel se hace por medio de un aislador de nuez y otro de campana, colgado de un perno de expansión de ojo introducido en la fábrica de aquél (fig. 13).

En las alineaciones rectas de alguna longitud se construye la línea en zig-zags suaves, con objeto de evitar acañaladuras en los pantógrafos de las locomotoras. En los vértices de aquéllos al aire libre, la estabilidad transversal de la línea se asegura por medio de brazos de estabilización, constituidos por dos hierros en C fijos a la ménsula del poste y provistos de aisladores, a los que se unen los brazos de atirantado de los hilos de *trolley*; en los túneles se emplea el atirantado ordinario.

## Sobre el cemento fundido

Con gran competencia, y con alabanzas para mí, que no por ser inmerecidas agradezco menos, está escrito el artículo que, acerca de este nuevo cemento, publica el primer número de noviembre de la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS.

El autor se dirige principalmente a mí, sin duda por haber sido yo uno de los pocos que en nuestro país escribieron lo que pensaron acerca de tan interesante asunto. Al contestar ahora, quiero dejarme a mí a un lado, que la opinión mía poca importancia tiene ante tantas otras que más valen, y ante la enseñanza de los hechos, que vale más que todas las opiniones.

Hacia el cemento fundido se ha dirigido la atención de todos los ingenieros que en el mundo se ocu-

pan de estos estudios. Hacia él han vuelto los ojos, llenos de esperanza, todos los constructores de obras en el mar. Los puertos que se han destruido por la descomposición química del cemento, y las frecuentes averías en obras importantes de todos los mares, han llevado tal temor al ánimo, que no hay nadie hoy que esté seguro de la inalterabilidad de los hormigones con los que hizo sus obras.

Ante este temor nadie estaba tranquilo, y todos afanosamente buscaron lo que pudiera remediar el mal. Siguiéron en Italia con sus antiguos morteros de cal y puzolana, en los que una experiencia milenaria les hace confiar; en Alemania, después de los estudios de Michaelis, se acudió a las mezclas de cemento y *trass*; en Francia se emplearon los cemen-