

# LA ELECTRIFICACIÓN MADRID - ÁVILA Y VILLALBA - SEGOVIA

Por ANTONIO ANGULO y JAIME BADILLO, Ingenieros de Caminos.

*Estando próxima a inaugurarse una parte de la importante electrificación que se indica en el título del presente artículo, ha de ser de interés para nuestros lectores el conocer la gestación y las vicisitudes por que ha pasado este asunto, que servirá de preparación para la lectura de otros artículos próximos, en los que se recogerán diversas particularidades técnicas del mismo.*

## Generalidades.

La llamada "línea general" de la antigua Compañía de los Caminos de Hierro del Norte de España, parte de Madrid hacia la frontera francesa de Irún. Se encuentra electrificada desde el año 1929, en su último trozo Alsasua-Irún. La primera parte de su trazado, desde Madrid hasta Medina del Campo, presenta un perfil difícil, debido a las fuertes pendientes que necesita para pasar la divisoria Tajo-Duero, a través de la Cordillera Carpetana. También en este trozo, montañoso, los radios de las curvas son pequeños, lo que aumenta la resistencia al avance del material móvil, con la consiguiente dificultad de explotación.

Lo mismo ocurre al trozo Villalba-Medina del Campo, por Segovia, construido con una sola vía.

Con objeto de apreciar las dificultades del trazado, en la figura 2.<sup>a</sup> se detallan las pendientes máxima y media que existen entre cada dos estaciones consecutivas del trozo Madrid-Medina.

Lo mismo se expone en la figura 3.<sup>a</sup>, para la línea de Villalba a Medina, por Segovia.

Existe, pues, una dificultad real, importante, para el paso de los trenes desde Madrid a Medina del Campo, que exige máquinas potentes, frecuentes dobles tracciones, y, a pesar de todo, las velocidades de subida son pequeñas y el desgaste y la conservación del material motor son también de importancia.

Un primer paso en la solución de la explotación de estos perfiles, es la electrificación de los trozos Madrid-Ávila y Villalba-Segovia.

Por la línea general, la electrificación solamente hasta Ávila, abarca la parte más dura del perfil, y en Ávila es fácil establecer la reserva suficiente de máquinas de vapor para que el cambio de tracción se haga sin dificultad mayor.

No ocurre lo mismo con la línea de Segovia, pues electrificando hasta esta ciudad, si bien es verdad que se consigue cruzar la divisoria, queda para explotar con vapor una rampa muy fuerte entre Hontanares y Segovia, que obliga al empleo de dobles tracciones y se consiguen velocidades muy escasas. No se ha pre-

visto la electrificación hasta Hontanares, por la dificultad de establecer el cambio de tracción en una estación de tan poca importancia.

Hay, además, otra dificultad de explotación de esta línea, que radica en la misma estación de Segovia, pues en ese punto la vía termina formando lo que, en el argot ferroviario, se denomina una "topera".

En la figura 1.<sup>a</sup> se ve la disposición de este trozo de línea, así como el "triángulo" que permite a los trenes ir de Villalba a Medina sin pasar por la estación de Segovia.

El problema del trozo Segovia-Hontanares se aliviaría electrificándolo, y en tal sentido se piensa como primera solución.

Independiente de la electrificación, hay una solución que resuelve totalmente este problema. Consiste en hacer una prolongación efectiva de la vía Villalba-Segovia, de modo que empalme cerca de Hontanares con la vía actual. En la figura 1.<sup>a</sup> se indica este trazado, con línea discontinua. La adopción de esta solución, que ha sido sugerida por el Ingeniero de Caminos D. Carlos Alcón, evitaría la fuerte pendiente máxima que existe entre Segovia y Hontanares, pues todo este trozo tendría una pendiente uniforme del 9 por 100 aproximadamente. Además, se evitan los inconvenientes inherentes a la existencia de la "topera".

Insistimos, por tanto, en que la electrificación Madrid-Ávila y Villalba-Segovia resuelve, con su mayor rapidez y facilidad de explotación, el paso de la Cordillera Carpetana, entre ambas mesetas, de gran importancia, pues hay que situar los trenes hasta altitudes de 1 358 m. sobre el nivel del mar, cual es la de la estación de La Cañada.

Otro fin de la electrificación es la captación y aumento del tráfico de cercanías.

Actualmente, el tráfico de cercanías se compone, principalmente, de excursionistas que se desplazan a la Sierra de Guadarrama, en donde practican deportes de nieve en invierno, y en verano se disfrutan agradables temperaturas y paisaje. Este tráfico es, efectivamente, importante, pero sólo tiene lugar los días festivos y sus inmediatos.

La carretera de La Coruña, la de Las Rozas a El Escorial y la de Villalba a Segovia, por el puerto de Navacerrada, conservadas cuidadosamente y con agradables perspectivas, atraen a los viajeros de cercanías hacia los servicios de autobuses, haciendo que, en circunstancias normales, sea importante la cantidad de autobuses que circulan en estos trayectos, además de los vehículos particulares.

Gracias a la electrificación, gran parte de este tráfico utilizará el ferrocarril, con sus rápidas "unidades de tren" o "automotores eléctricos", establecidos con pequeños intervalos de tiempo.

Sobre esto, habrá otro tipo de tráfico creado a la sombra de la electrificación, y que es clásico de las inmediaciones de las grandes ciudades, formado por personas que viven en los pueblecitos próximos, y que atienden a sus obligaciones en la gran ciudad merced al rápido y frecuente transporte facilitado por las unidades de tren.

En Madrid, teniendo electrificadas las líneas de la Sierra, ha de incrementarse mucho este modo de vivir, en atención a lo sano y agradable de su región.

En resumen, dos son los fines concretos de la electrificación citada: poder remolcar eléctricamente hasta Ávila y Segovia los trenes de largo recorrido, facilitando el paso de la Sierra, y aprovechar el tráfico de cercanías, que se extenderá, hasta Navalperal, por la línea de Ávila, y San Rafael, por la de Segovia, y cuyos centros principales son El Escorial y Cercedilla, respectivamente.

**Descripción general.**

Son tres los puntos de entrega de energía eléctrica, a saber:

Ávila, suministrada por "Saltos del Alberche"; Otero, suministrada por "Saltos del Duero"; Madrid, suministrada mancomunadamente por ambas empresas y, además, la Hidroeléctrica Española y la Unión Eléctrica Madrileña.

En dichos puntos se recibe la energía en forma de corriente alterna, trifásica, a 46 000 voltios y 50 p. p. s. Esta energía se distribuye, a lo largo de la vía,

desde Madrid a Ávila y Segovia, por medio de una línea trifásica, que, por analogía de su planta con la letra Y, se la denomina "Línea en Y".

La energía transportada por esta línea se recoge en 11 subestaciones, situadas: siete en la línea de Ávila (Madrid, Las Matas, Las Zorreras, Robledo, Las Navas, Navalgrande y Ávila), y cuatro en la de Segovia (Collado Mediano, Tablada, Otero y Segovia).

Las subestaciones convierten la energía citada, en corriente continua, a 1 500 voltios. Esta operación se realiza mediante transformadores y grupos de dos conmutatrices exafásicas, acopladas en serie, o sea, que cada una es de 750 voltios en continua. Cada subestación tiene dos grupos, estando previsto sitio para el tercero.

La corriente continua, a 1 500 voltios, se lanza a la línea de contacto, situada sobre la vía, y constituida por conductores de cobre duro, colgados mediante péndolas, de un cable sustentador, también de cobre. En algunos trozos existen alimentadores de cobre con objeto de disminuir la caída de tensión.

El material motor está constituido por tres grupos distintos:

- 12 locomotoras de gran velocidad, para trenes de viajeros. Serie, 7 500, y tipo, 2—3 A = 3 A — 2.
- 24 locomotoras de pequeña velocidad, para trenes de mercancías. Serie, 7 400, y tipo, 3 A = 3 A.
- 30 automotores eléctricos o "unidades de tren".

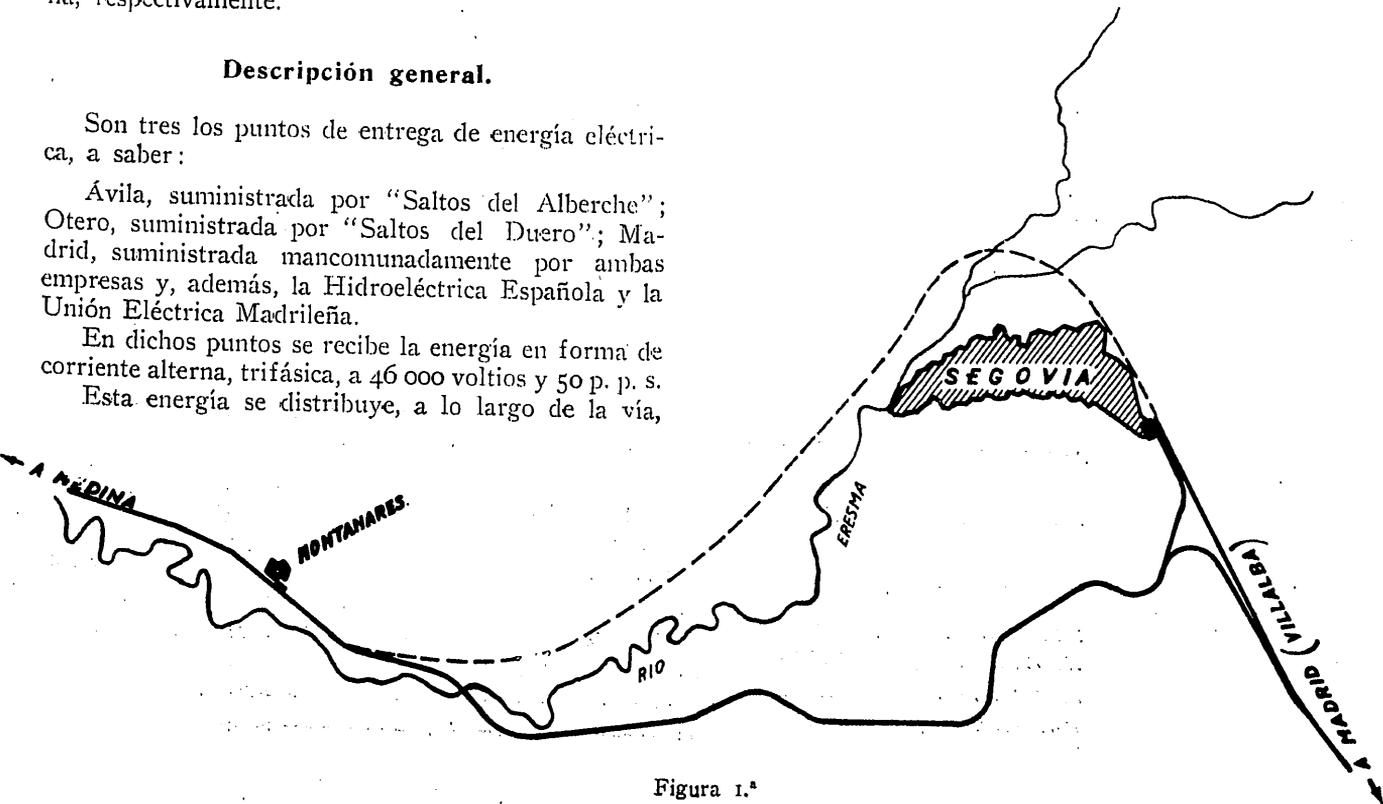
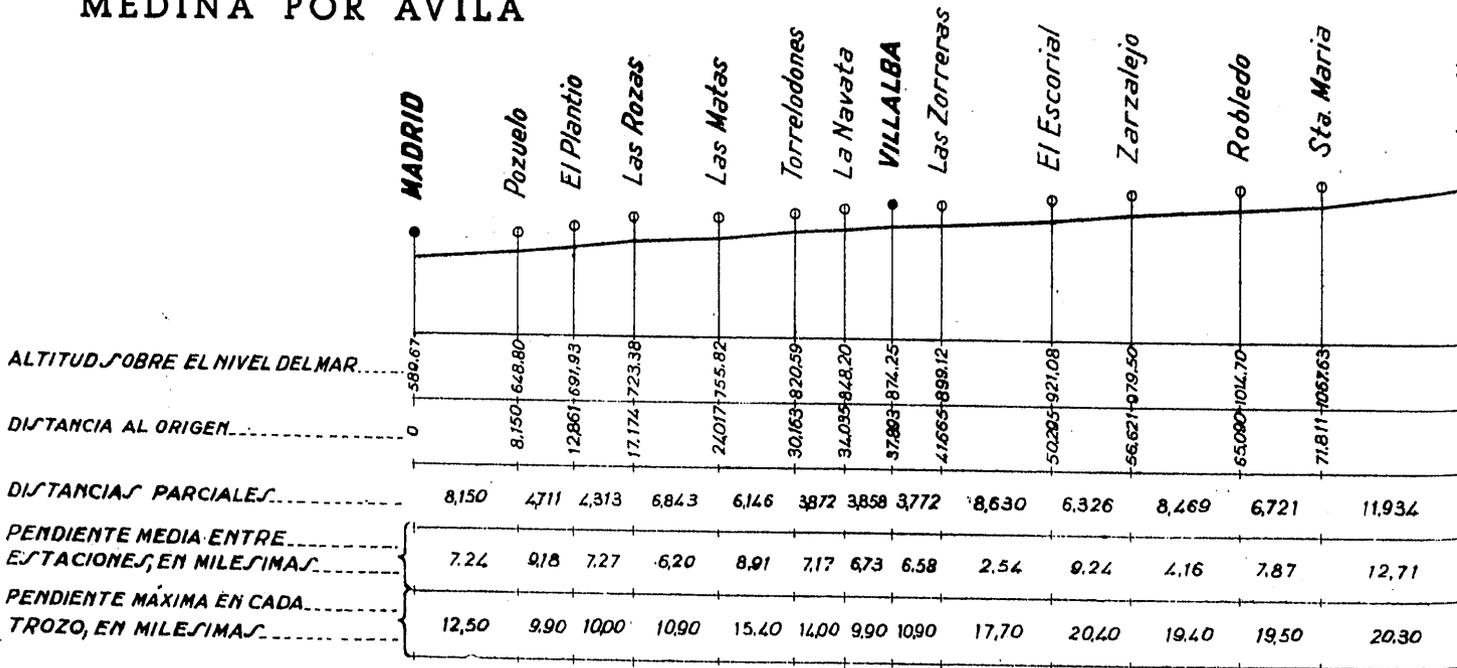
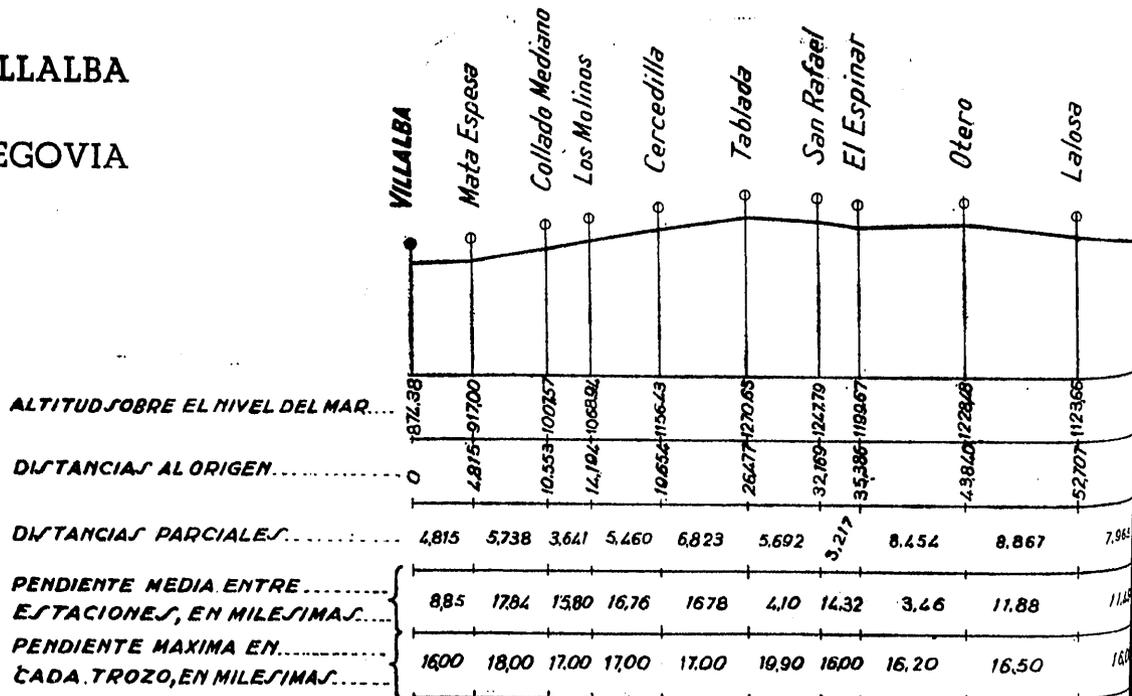


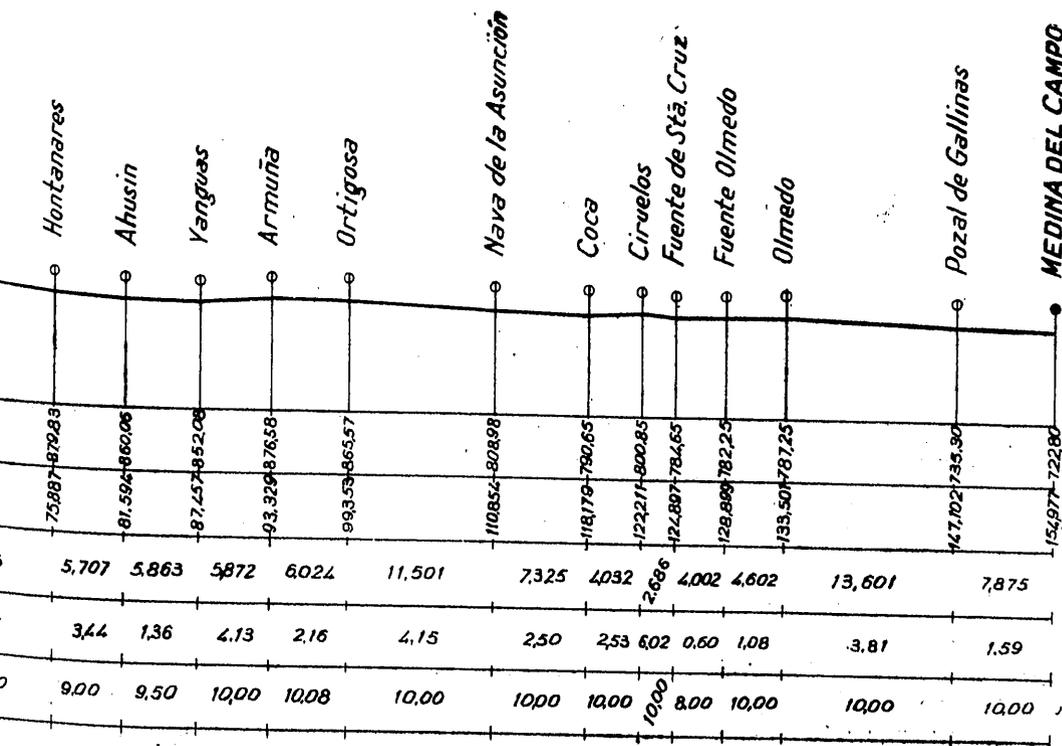
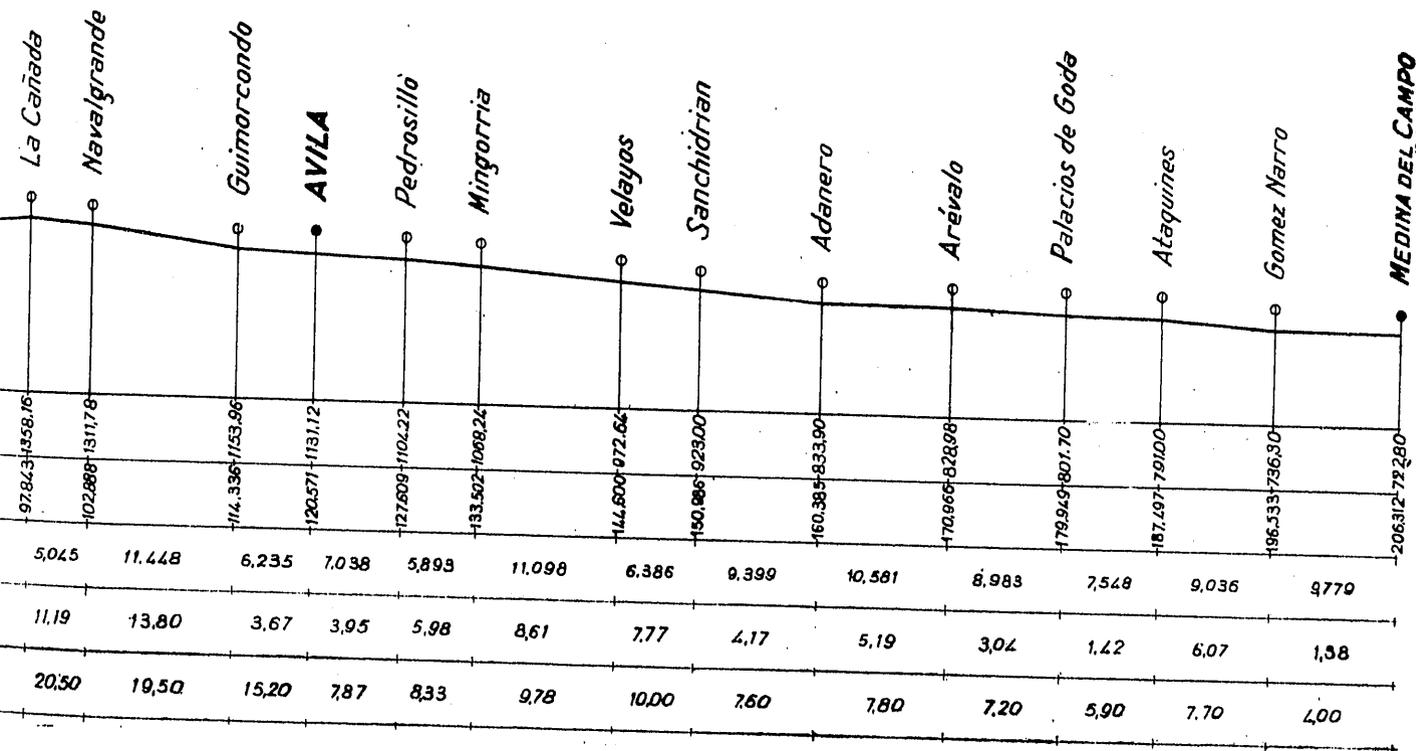
Figura 1.ª

# PERFIL DE MADRID A MEDINA POR ÁVILA



# PERFIL DE VILLALBA A MEDINA POR SEGOVIA





El retorno de la corriente a las subestaciones se hace por los carriles, estableciendo su continuidad eléctrica mediante conexiones flexibles, soldadas a los extremos de los carriles que permiten el paso de la corriente y no impiden el libre juego de las dilataciones de los carriles.

En el trozo Madrid-Escorial, provisto de la instalación eléctrica de señalización "block-system", alimentada con corriente alterna, se hace necesaria la existencia de juntas inductivas, con una reactancia importante, situadas en los extremos de cada cantón del "block", que permiten el paso de la corriente de retorno sin afectar al funcionamiento de las señales.

**Antecedentes y vicisitudes.**

Los primeros pasos sobre este proyecto se dieron por la entonces Compañía del Norte, en el año 1929,

**LÍNEA EN Y DE ALIMENTACIÓN**

**AVILA**



Figura 4.ª

**MADRID**

ascendiendo su presupuesto a 62,5 millones de pesetas. Tras diversas modificaciones, el considerado como definitivo fué presentado por dicha Compañía el 16 de febrero de 1933, a la Comisaría del Estado, y fué aprobado por Orden ministerial de 7 de abril de 1933. El Consejo Superior de Ferrocarriles autorizó, el 28 de abril de 1933, a que la Compañía del Norte llevase a efecto las obras y adquisición de material, con un presupuesto de 77 994 000 pesetas.

Los contratos con los suministradores fueron firmados por la Compañía del Norte, con el visto bueno de la Comisaría del Estado, en el año 1935, después de diversas anulaciones y rectificaciones.

La dirección de la obra la llevaba el Norte, y el

abono de la misma lo efectuaba la Comisaría del Estado en la referida Compañía; a tal fin, el Estado autorizó un crédito de 80 millones de pesetas.

La guerra paralizó las obras de la electrificación, habiendo sufrido la Compañía del Norte la expoliación de gran parte del material que tenía acopiado en la zona a electrificar; efectivamente, más de 1 078 toneladas de cobre desaparecieron, así como gran cantidad de ménsulas y otros accesorios de la línea de contacto.

Posteriormente, tras el final victorioso de la gue-

rra, y con objeto de realizar las obras, se celebró una entrevista con todos los contratistas para estudiar la situación general de los contratos. Dada la situación económica española, el valor real de las obras y suministros era superior a los precios señalados en dichos contratos, creándose una situación verdaderamente difícil.

El Estado, ante este problema de carácter general, autorizó un aumento del 13 por 100, por Decreto del 26 de octubre de 1939, y posteriormente, otro del 17,5 por 100, por Ley del 30 de julio de 1940, que resultaban insuficientes para las obras de la electrificación, por lo que fué admitida la oferta hecha por la Dirección del Norte (a cuyo frente, en aquella fecha, estaba D. Javier Marquina), de que dicha entidad pagara por su cuenta la diferencia entre el coste real y lo abonado por el Estado.

En resumen: la parte que el Estado ha tomado a su cargo directamente, podemos calcularla teniendo en cuenta que los contratos ascendían a casi 86 millones de pesetas; que en marzo de 1943, se aprobó el proyecto de línea en "Y", de interconexión de las subestaciones, por un presupuesto de casi 6 millones de pesetas; que el aumento por pérdida de cobre asciende a unos 9 millones; que los aumentos citados del 13 y 17,5 por 100, suman unos 15 millones, y que el aumento por variación en la cotización de la peseta oro, correspondiente a los pagos de los elementos que se han importado del extranjero, asciende a unos 11 millones de pesetas, resultando necesitarse para estas obras, 127,8 millones de pesetas.

Por otra parte, se encuentran también en ejecución obras complementarias de envergadura, tales como la renovación de parte de la vía general, la modificación de vías en Las Rozas, Las Matas, Torrelodones, Ávila, etc.; la conversión, en apartaderos, de los apeaderos de Mataespesa, Los Molinos, El Planío, etc., para las que se precisan 24,5 millones de pesetas; estas obras vienen motivadas por el aumento de tráfico previsible con la electrificación, así como

por las mayores velocidades que se alcanzan con dicho sistema de tracción.

En resumen, y a reserva de algunas modificaciones que surgirán por estar en tramitación otras obras complementarias y subidas de precios ocasionadas por las nuevas disposiciones sociales del Ministerio del Trabajo, tramitación global con carácter de reformado del proyecto, en el momento actual, el presupuesto a cargo del Estado asciende a 154 746 906,21 pesetas, ampliación que ha sido aprobada por Ley del 13 de diciembre del pasado año.

Hemos detallado, ligeramente, las vicisitudes económicas, con idea de resaltar que han sido la preocupación constante de los organismos de Obras Públicas, en particular de la División Inspector de la RENFE.

Paralelamente a estas dificultades de tipo económico, existen otras muchas, de todo orden, que van siendo vencidas por la eficacia del Servicio de Electrificación creado por la RENFE, acertadamente dirigido por el Ingeniero del I. C. A. I., Sr. Jusa, y a la ayuda prestada por la Dirección de la Red, en particular la del Subdirector, Sr. Viani. Algunas de estas dificultades se refieren a la adquisición de materiales, que han sido superadas, en gran parte, merced a la ayuda prestada por la Comisaría de Material Ferroviario, organismo dependiente de la Presidencia del Gobierno.

No queremos terminar sin destacar el esfuerzo efectuado por las distintas Empresas contratistas, que van consiguiendo llevar a cabo su cometido dentro de las dificultades actuales.

# LA ELECTRIFICACIÓN MADRID-ÁVILA Y VILLALBA-SEGOVIA

Por ANTONIO ANGULO, Ingeniero de Caminos.

*Después de la introducción que sobre el tema del epígrafe publicamos en nuestro número anterior, damos en éste una descripción completa de la línea aérea de contacto, en cuya construcción colaboraron eficazmente los autores del presente artículo.*

## II.-LÍNEA AÉREA DE CONTACTO

### Generalidades.

La electrificación comprende las dos vías de la línea general Madrid-Irún, desde la primera de dichas estaciones hasta Avila, incluyendo esta última, y todas las estaciones intermedias, así como la estación de clasificación de Las Matas. Se electrificarán las vías de circulación y apartaderos de las estaciones, a excepción de algunas, muy escasas, que, por su poca importancia, no se ha previsto.

En la estación de Avila se electrificará la salida por el lado de Irún, de modo que los trenes puedan maniobrar con tracción eléctrica, fuera de las agujas de aquella dirección.

También se electrificará la vía general y estaciones de Villalba a Segovia, incluyendo el "triángulo" de esta última, para que pueda ser utilizado por los trenes eléctricos, previendo a este fin una longitud de unos 700 metros más allá de la última aguja de la línea de Segovia-Medina.

Teniendo en cuenta todas las previsiones, se resumen a continuación las longitudes de vías a electrificar.

LÍNEA DE	Vía general (única) fuera de estaciones Km.	VÍAS EN ESTACIONES			Longitudes totales Km.
		Vías generales Km.	Vías secundarias Km.	Suma Km.	
Madrid-Ávila . . .	219,55	27,70	40,80	68,50	288,05
Villalba-Segovia . .	58,45	4,80	9,20	14,00	72,45
TOTALES . . . . .	278,00	50,00	50,00	82,50	360,50

### Esquema eléctrico.

En el caso de vía única (Villalba-Segovia), la línea de contacto constituye un circuito que une cada dos subestaciones, presentando una solución de con-

tinuidad en cada una de las estaciones intermedias, uniéndose eléctricamente mediante seccionadores.

Cuando se trata de doble vía (Madrid-Avila), las dos líneas de contacto pueden unirse entre sí en las estaciones intermedias. El objeto de esta disposición es que se aprovechen simultáneamente ambas líneas de contacto para conducir la corriente, pues así se disminuye la resistencia óhmica del conjunto. Por ello, se ha podido proyectar la línea de menor sección de cobre que si se hubiese prescindido de la puesta en paralelo, consiguiendo un ahorro importante en dicho material.

Otra ventaja de la puesta en paralelo es la recuperación de energía efectuada por las máquinas de los trenes cuando bajan pendientes. Para que esta recuperación sea eficaz, actuando como freno, conviene que se haga hasta pequeña velocidad; pero como en este caso la máquina actúa como generador de corriente, si dicha corriente se lanza a las subestaciones, obliga a que la tensión engendrada en la máquina sea superior a la que existe en las subestaciones, y para conseguir que la máquina engendre esta tensión, es preciso que circule a velocidad elevada.

En cambio, con la puesta en paralelo, la corriente engendrada por las máquinas que bajan por una vía, pasa a la vía contraria, en rampa, en la cual los trenes que suben tienen menor tensión en línea que la que existe en las subestaciones, o sea que las máquinas que bajan no necesitan engendrar tanta tensión como en el caso anterior, pudiendo, por ello, bajar frenando con recuperación a velocidad más moderada.

El esquema eléctrico simplificado del conjunto de la línea de contacto en el trozo Madrid-Las Matas se detalla en la figura 1.ª, en el cual puede apreciarse que, merced a los seccionadores de las estaciones, pueden ponerse las líneas en paralelo, y aislar algún trozo de estación o de vía general, por si hubiere que reparar una avería, sin que ello afecte al funcionamiento normal del resto de la instalación.

En las estaciones se dispone, como criterio general, que las vías generales sean independientes eléctricamente, tanto entre sí como de las vías secunda-

# MADRID

# POZUELO

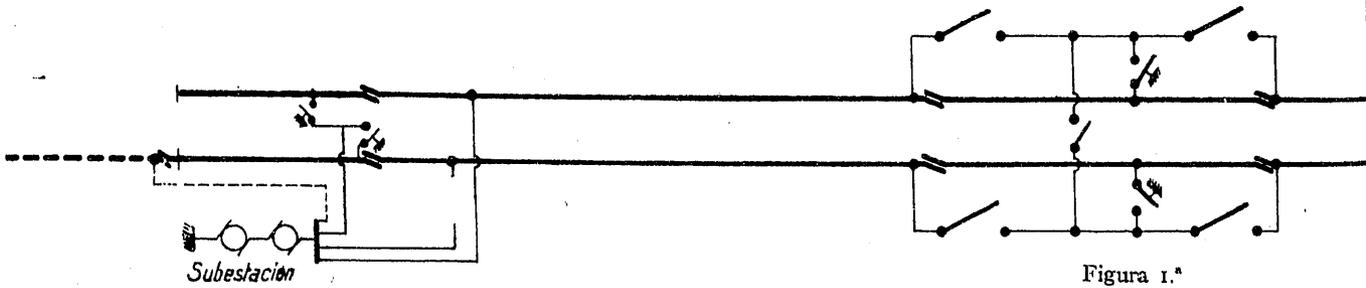


Figura 1.ª

rias. Éstas, en cambio, se agrupan formando haces, los cuales pueden estar con tensión o puestos a tierra, según la posición del conmutador correspondiente.

Como ejemplo de esquema eléctrico de estación de doble vía, tenemos en la figura 2.ª el de la estación de La Cañada.

En la figura 3.ª está el esquema eléctrico de la estación de Cercedilla, en vía única.

Por su mayor importancia, se representa en la figura 4.ª el esquema eléctrico de la estación de Madrid (Príncipe Pío). En él puede verse que los haces de vías están separados mediante aislamientos, de

modo que constituyen zonas de alimentación independiente. El objeto de estas separaciones es evitar que una avería, ocurrida en alguno de estos haces, afecte a toda la estación, haciendo imposible la circulación de trenes eléctricos.

### Conductores.

La línea de contacto en vía general tiene dos hilos de contacto, de cobre duro, ranurado, para que pueda ser colgado sin que el paso de los frotadores que captan la corriente sea entorpecido por los soportes del hilo de contacto.

# La Cañada

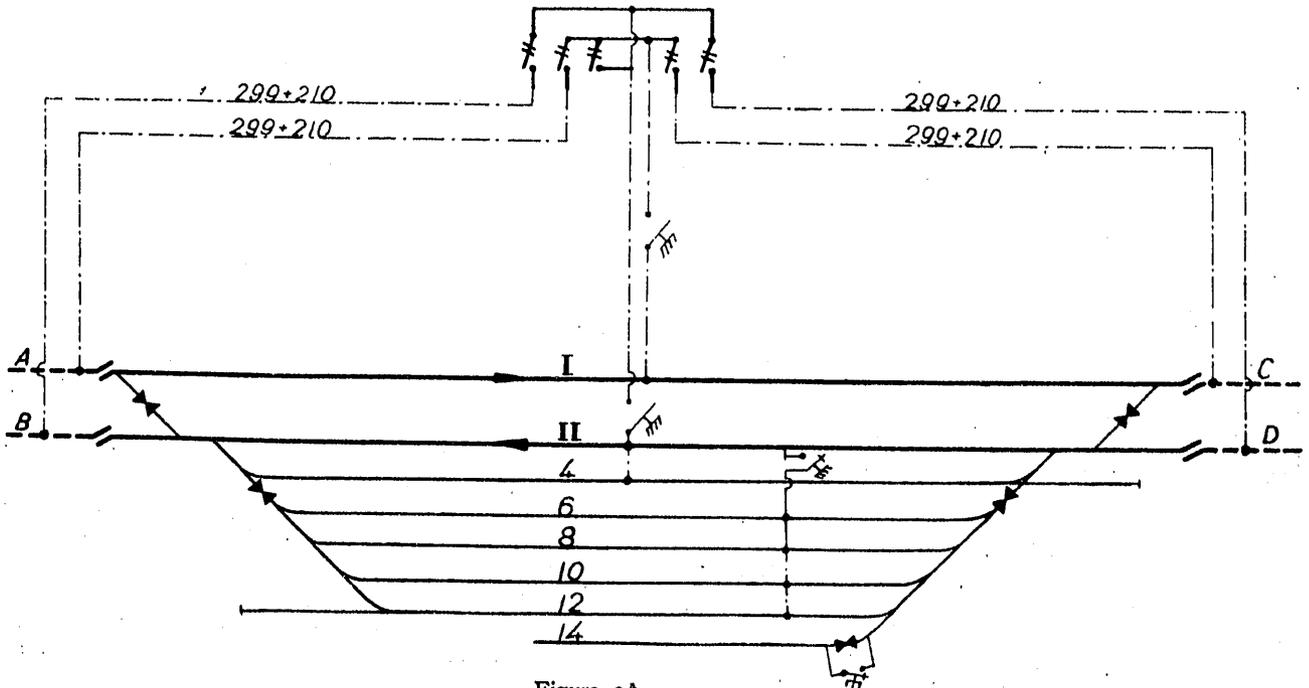
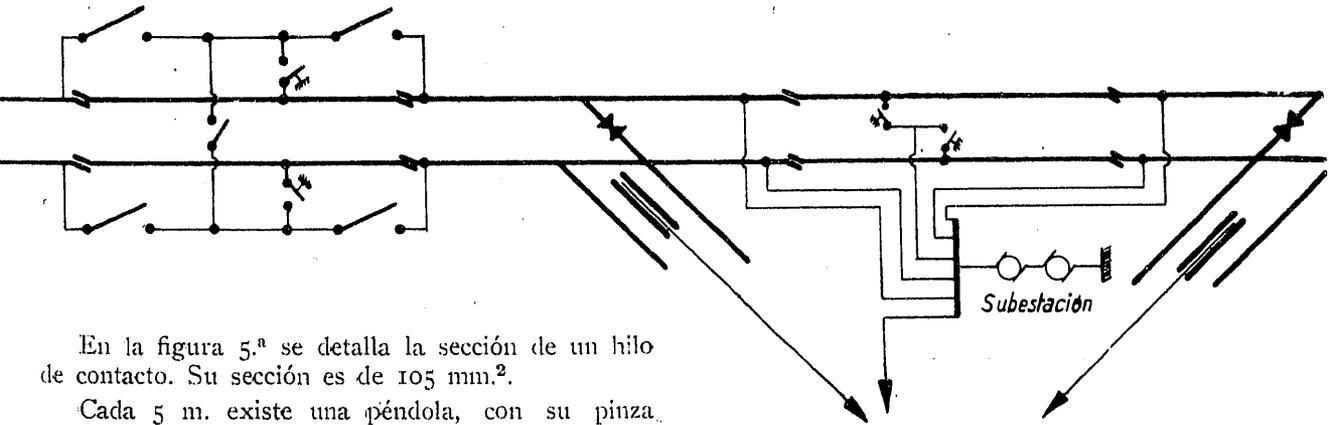


Figura 2.ª

# LAS ROZAS

# LAS MATAS



En la figura 5.<sup>a</sup> se detalla la sección de un hilo de contacto. Su sección es de 105 mm.<sup>2</sup>.

Cada 5 m. existe una péndola, con su pinza correspondiente, y en vía general, como hay dos hilos de contacto y las péndolas soportan alternadamente uno u otro hilo de contacto, resulta que las péndolas están distanciadas 2,50 m. entre sí.

También tienen dos hilos de contacto las vías generales de estaciones, pero el resto, o sea en las vías secundarias y apartaderos, no hay más que un hilo de contacto.

Las péndolas relacionan mecánicamente los hilos de contacto al cable sustentador.

El hilo de contacto debe quedar horizontal, por lo que las péndolas tienen distintas longitudes, según hayan de ser colocadas en el centro del vano o en las proximidades de los apoyos. Debido a esta diversidad de longitudes, se han adoptado tres tipos distintos de péndolas, que se detallan en la figura 6.<sup>a</sup>. Todos ellos son flexibles y permiten que el hilo de

*'A Clasificación'*

contacto se desplace verticalmente, por la presión de los pantógrafos del material motor, lo cual asegura el contacto eléctrico entre la línea y el pantógrafo.

El sustentador en plena vía es de cobre, cumpliendo la misión mecánica de soportar los hilos de contacto y la eléctrica de conducir corriente. Su sección es de 299 mm.<sup>2</sup>, a excepción del trozo de vía descendente comprendido entre Navalgrande y Avila, en el cual los trenes han de absorber poca intensidad, estando previsto que el sustentador tenga una sección de 182 mm.<sup>2</sup>.

En las estaciones no hace falta disponer de más sección de cobre que la de los hilos de contacto, pues las distancias que recorre la corriente dentro de las

# Cercedilla

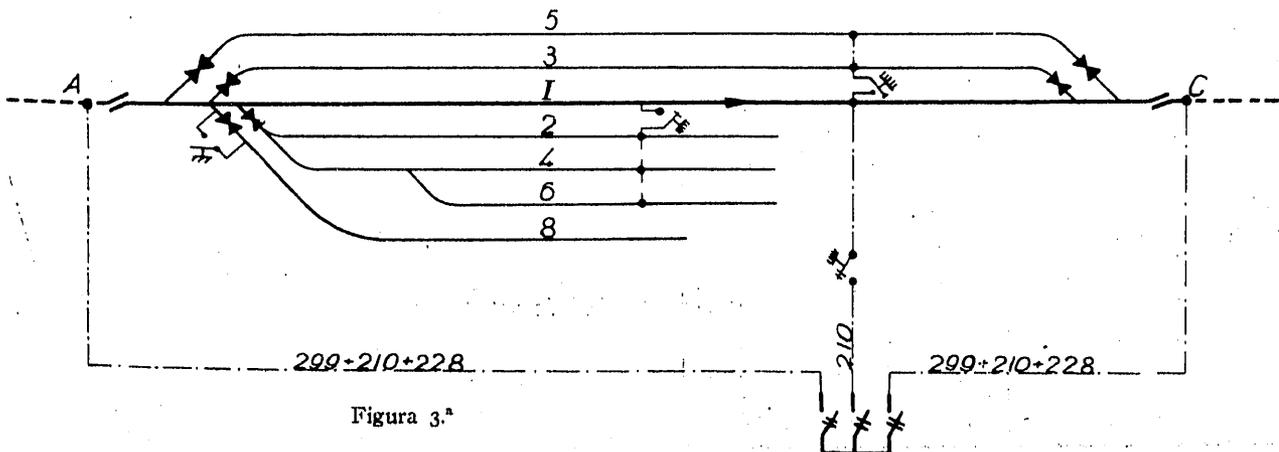


Figura 3.<sup>a</sup>

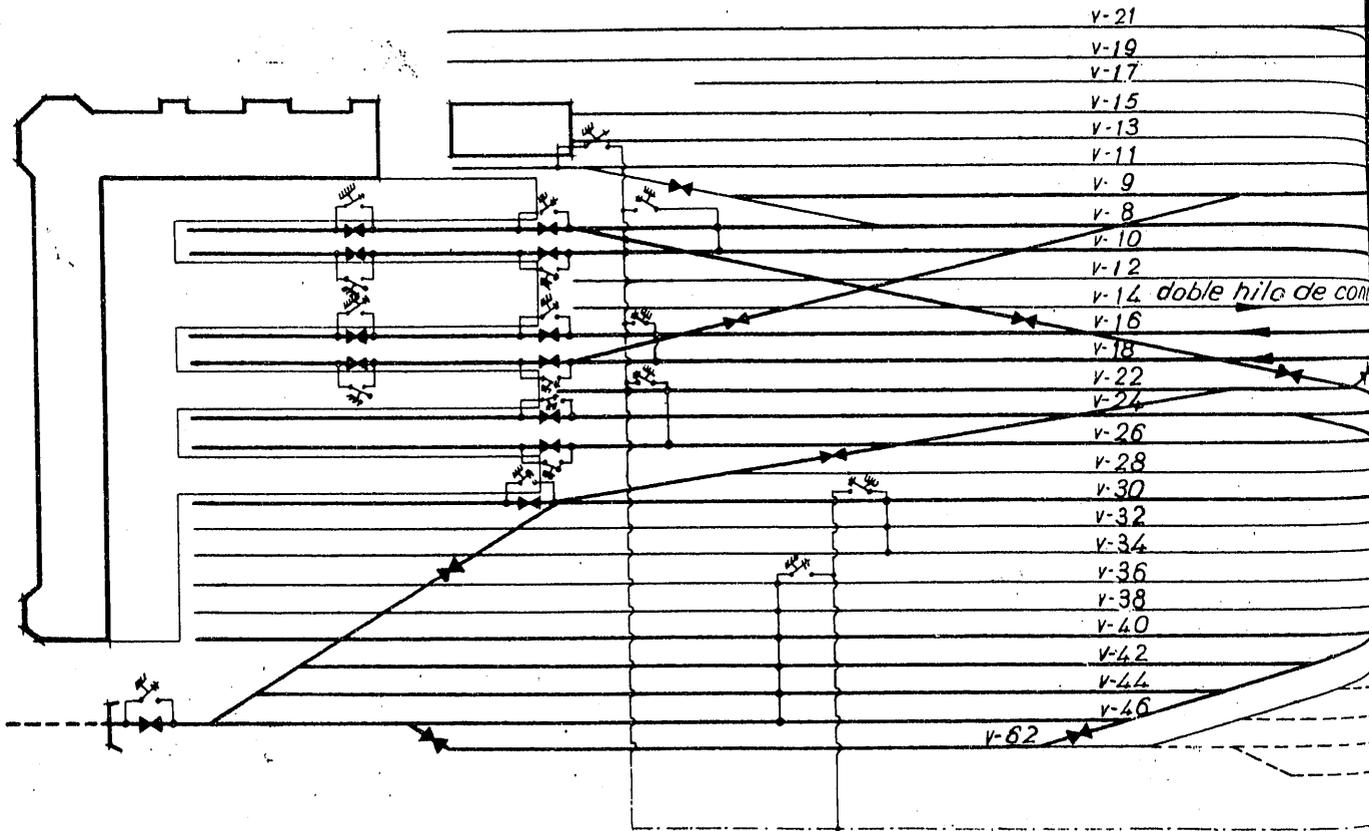


Figura 4.<sup>a</sup>

estaciones son pequeñas. Por esto los sustentadores son de acero, de 48 mm.<sup>2</sup> de sección, y no cumplen otra condición que la mecánica de soportar los hilos de contacto.

Consecuencia del cálculo eléctrico verificado para que las caídas de tensión medias sean del orden del 10 por 100, se han adoptado las secciones de cable que se detallan en el cuadro siguiente; para este cálculo se ha tenido en cuenta la existencia de alimentadores en diversos trozos, necesarios cuando la sección de los hilos de contacto y del sustentador resulta insuficiente.

	PESO EN TONELADAS NECESARIO PARA		
	el trayecto Madrid - Avila	el trayecto Villalba - Segovia	toda la electrificación
Hilo de cont. <sup>o</sup> de 105 mm. <sup>2</sup>	584,2	149,1	733,3
Cable de 299 mm. <sup>2</sup> . . . . .	633,6	237,2	870,8
»  228  »  . . . . .	53,2	96,6	149,8
»  210  »  . . . . .	75,6	19,2	94,8
»  182  »  . . . . .	29,5	—	29,5
»  152  »  . . . . .	58,7	27,1	85,8
SUMA . . . . .	1 434,8	529,2	1 964,0

El consumo medio de cobre, por kilómetro, en la línea Madrid-Avila, es de unas 5 toneladas, y en el trayecto Villalba-Segovia, de 7,3 toneladas. El pro-

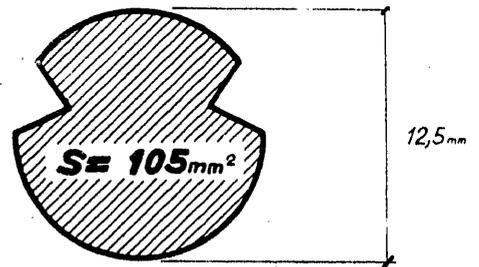


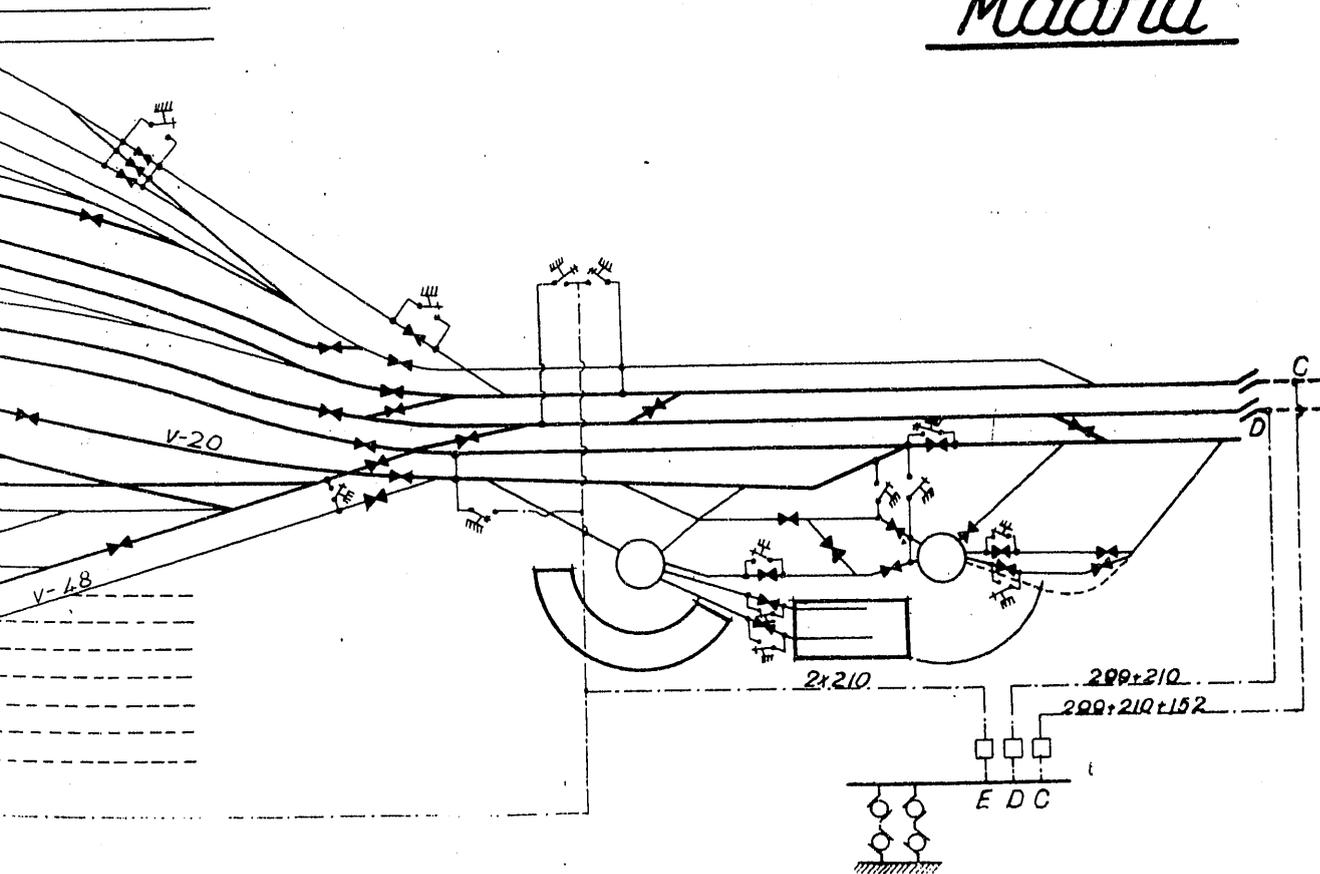
Figura 5.<sup>a</sup>

medio de toda la electrificación es de 5,44 toneladas por kilómetro.

Puede apreciarse cómo la doble vía, con la facilidad de puesta en paralelo, reduce el gasto específico de cobre.

La distribución de las distintas secciones de cobre se detalla en los cuadros siguientes, por trayectos.

# Madrid



Composición de la línea de contacto MADRID - AVILA.

SUBESTACIONES	Distancias parciales — Km.	COMPOSICIÓN		SECCIÓN TOTAL DE COBRE EN		
		Vía ascendente	Vía descendente	Vía ascendente	Vía descendente	Suma de ambas vías
Madrid . . . . .	20,85	2 H. C. - 105 mm. <sup>2</sup> 1 sust. - 299 mm. <sup>2</sup>	2 H. C. - 105 mm. <sup>2</sup>	509 mm. <sup>2</sup>	661 mm. <sup>2</sup>	1 170 mm. <sup>2</sup>
			1 sust. - 299 mm. <sup>2</sup> 1 alim. - 152 mm. <sup>2</sup>			
Las Matas . . . . .	20,70	Ídem.	Ídem.	509 mm. <sup>2</sup>	661 mm. <sup>2</sup>	1 170 mm. <sup>2</sup>
Las Zorreras . . . . .	23,40	Ídem.	2 H. C. - 105 mm. <sup>2</sup>	509 mm. <sup>2</sup>	737 mm. <sup>2</sup>	1 246 mm. <sup>2</sup>
			1 sust. - 299 mm. <sup>2</sup> 1 alim. - 299 mm. <sup>2</sup>			
Robledo . . . . .	18,65	Ídem.	2 H. C. - 105 mm. <sup>2</sup> 1 sust. - 299 mm. <sup>2</sup>	509 mm. <sup>2</sup>	509 mm. <sup>2</sup>	1 018 mm. <sup>2</sup>
Las Navas . . . . .	19,10	Ídem.	Ídem.	509 mm. <sup>2</sup>	509 mm. <sup>2</sup>	1 018 mm. <sup>2</sup>
Navalgrande . . . . .	17,70	Ídem.	2 H. C. - 105 mm. <sup>2</sup>	509 mm. <sup>2</sup>	392 mm. <sup>2</sup>	901 mm. <sup>2</sup>
			1 sust. - 182 mm. <sup>2</sup>			
Ávila . . . . .						

**Composición de la línea de contacto VILLALBA-  
SEGOVIA.**

SUBESTACIONES	Distancias parciales Km.	COMPOSICIÓN	Sección de cobre
C. Mediano . . .	A Villalba 10,53	2 H. C. - 105 mm. <sup>2</sup> 1 sust. - 299 mm. <sup>2</sup> 1 alim. - 228 mm. <sup>2</sup>	737 mm. <sup>2</sup>
	15,92	Ídem	737 mm. <sup>2</sup>
Tablada . . . . .	17,36	2 H. C. - 105 mm. <sup>2</sup> 1 sust. - 299 mm. <sup>2</sup> 1 alim. - 299 mm. <sup>2</sup>	808 mm. <sup>2</sup>
	18,83	2 H. C. - 105 mm. <sup>2</sup> 1 sust. - 299 mm. <sup>2</sup> 1 alim. - 228 mm. <sup>2</sup>	889 mm. <sup>2</sup>
Segovia . . . . .		1 alim. - 152 mm. <sup>2</sup>	

**Características mecánicas de la línea  
de contacto.**

Los vanos normales son de 50 m., en rectas, y en curvas, de radio mayor de 1 000 metros. Las curvas de radio comprendido entre 600 y 1 000 m. obligan a que la distancia entre postes sea de 40 m., para que el descentramiento no sea excesivo, ya que la planta de la línea de contacto es una poligonal con vértices en los apoyos. Por la misma razón, en las curvas cuyo radio está comprendido entre 300 y 600 m., la distancia entre postes debe ser de 30 m., y en aquellas cuyo radio es inferior a 300 m., la separación entre postes debe ser de 20 m.

En túneles, el vano es menor y oscila entre 20 y 25 m., siendo más frecuente el de 20 m.

En las curvas, el descentramiento máximo del

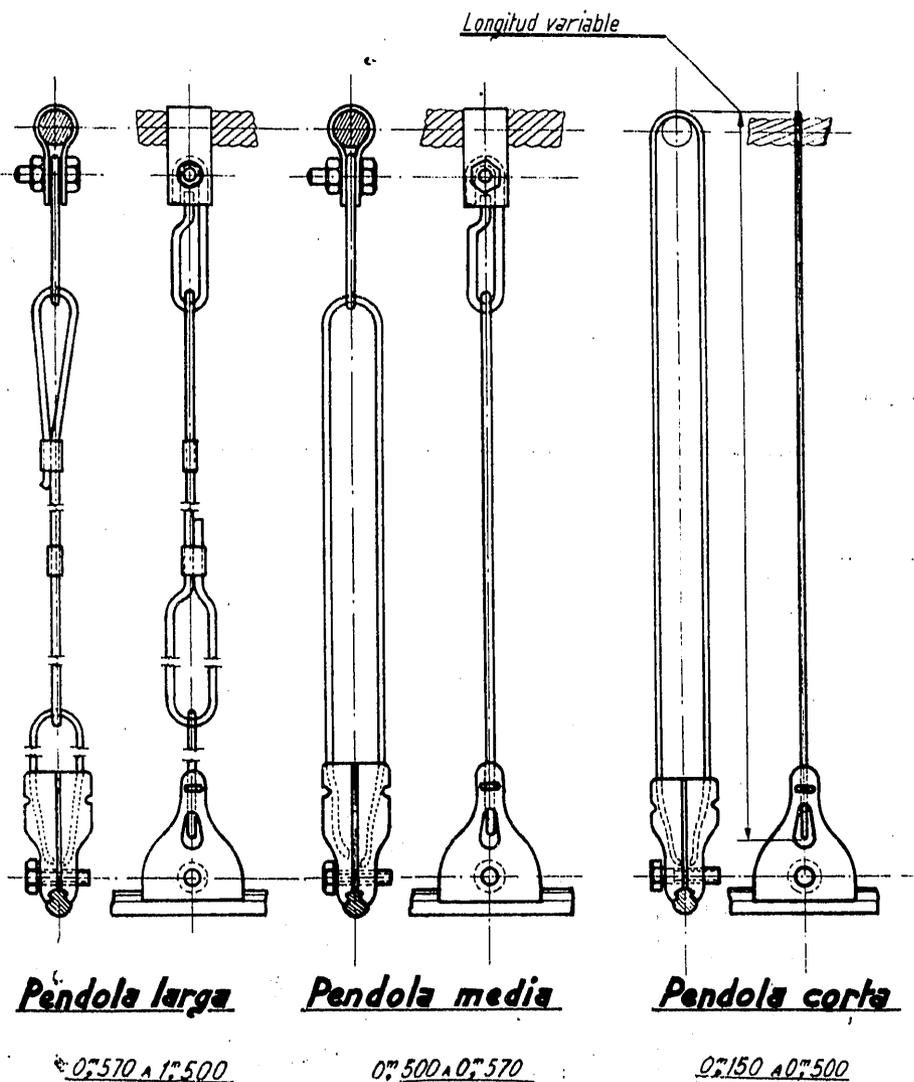


Figura 6.ª

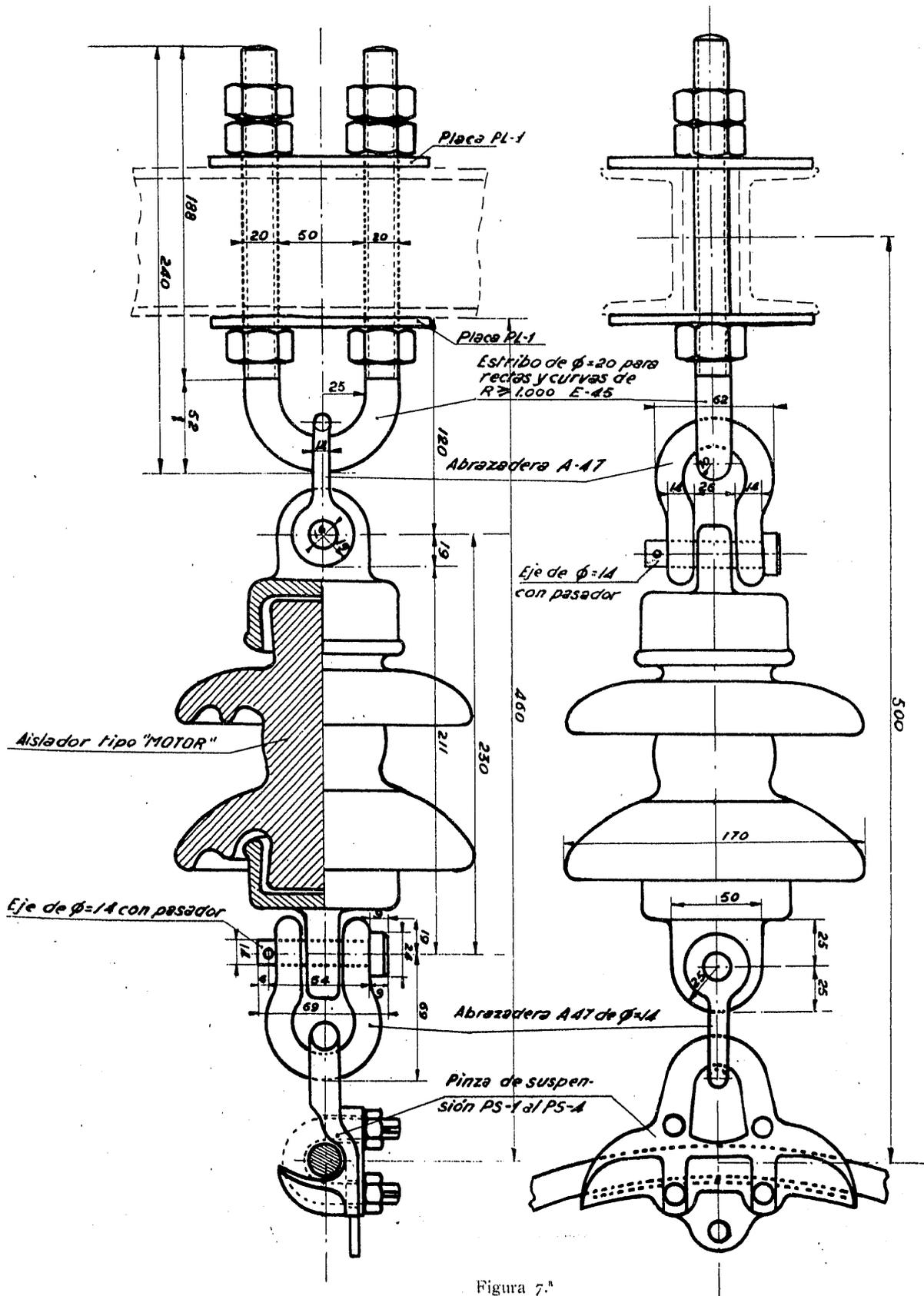


Figura 7.ª

hilo de contacto frente a los apoyos es del orden de los 25 cm., y en el centro del vano, de unos 12 cm.

En recta, para que el pantógrafo no frote siempre en el mismo punto, lo cual desgastaría desigualmente las pletinas de cobre que tiene en su parte superior para captar la corriente, se establece un zigzag en la planta de los hilos de contacto.

La altura normal de los hilos de contacto es de 5,75 m. sobre la superficie de rodadura de los carriles, pero puede reducirse hasta 4,60 m. en los sitios donde la altura es escasa, tales como pasos superiores y túneles.

En tales casos, el alzado de la línea de contacto debe presentar una variación suave de la altura, desde la que se fijan las condiciones locales del paso o túnel a la normal de 5,75 metros. El objeto de esta variación suave es que no se separe el pantógrafo de la línea de contacto después de haber pasado el paso de altura obligada, cuando circule el material motor a elevada velocidad. Si hubiere esta pérdida de contacto, se formaría un arco eléctrico con graves consecuencias. La forma normal de este enlace, en alzado, es de una curva en S, que se forma con dos parábolas de eje vertical tangentes en un punto de contacto, en el cual la pendiente es la máxima y no debe pasar del 1 por 100 respecto a los carriles.

### Cadena aislante de suspensión.

La línea de contacto, que se la suele nombrar "catenaria" en el léxico ferroviario, formada por el hilo o los hilos de contacto, el cable sustentador y las péndolas, cuelga de sus soportes mediante una cadena aislante.

En principio se proyectó esta cadena con dos aisladores modelo Vedovelli, que es el tipo empleado en las electrificaciones de Alsasua-Irún y Barcelona-Manresa-San Juan de las Abadesas.

Este tipo de cadena presenta muchos inconvenientes para su adecuada conservación, por lo que en el año 1935 se decidió que esta electrificación utilizase un aislador tipo "Motor" (fig. 7.<sup>a</sup>), que reúne importantes ventajas, pues es prácticamente imperforable y tiene gran solidez.

Las características de este aislador son las siguientes:

Tensión disruptiva en seco, mayor de 70 000 voltios.

Tensión disruptiva bajo lluvia, mayor de 25 000 voltios.

Carga de rotura a tracción, mayor de 4 500 Kg.

Si tenemos en cuenta que la tensión de servicio es de 1 500 voltios y que el máximo esfuerzo a que está sometido el aislador es de 600 Kg., puede deducirse el elevado margen de seguridad que existe, tanto mecánica como eléctricamente.

Merece la pena observar que la decisión de instalar aislador tipo "Motor" en la electrificación Madrid-Avila-Segovia, tomada en 1935, fué la primera que conocemos de utilizarlo en electrificaciones. Posteriormente, en varias extranjeras se ha empleado el referido aislador.

La consistencia de este tipo de cadena ha permitido colocar el cable alimentador colgado de los mismos apoyos que el sustentador. A este efecto, la pinza, que en la parte inferior de la cadena tiene una canal en la que se aloja el sustentador, está cons-

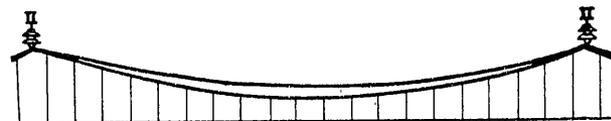


Figura 8.<sup>a</sup>

truída con otra para soportar en ella el alimentador.

El aspecto de esta catenaria con alimentador es un poco extraño, como puede apreciarse en la figura 8.<sup>a</sup>, pues sustentador y alimentador coinciden en sus apoyos, separándose en la parte central del vano.

Esta disposición resulta ventajosa, pues al estar colgados sustentador y alimentador de las mismas cadenas, se necesita menos cantidad de éstas.

El paso de la corriente entre el sustentador y los hilos de contacto se realiza mediante conexiones que se colocan en el centro del vano y separadas entre sí unos 100 m.

El contacto entre alimentador y sustentador se verifica en las pinzas de suspensión, a través de las cuales pasa la corriente que se traslada de un cable a otro. Con objeto de asegurar este contacto se estudió minuciosamente el efecto de unas conexiones que enlazasen eléctricamente ambos cables. Este estudio demostró la escasísima eficacia de dichas conexiones, por lo cual no se ha previsto su instalación.

(Continuará.)

# LA ELECTRIFICACIÓN MADRID - ÁVILA Y VILLALBA - SEGOVIA

Por ANTONIO ANGULO, Ingeniero de Caminos.

*Continúa en este tercer artículo, sobre el tema del epígrafe, el estudio de la línea aérea de contacto, iniciado en el número anterior, y en el presente se hace una detallada descripción de los distintos tipos de soportes adoptados.*

## III. - LÍNEA AÉREA DE CONTACTO

### Soportes en vía general.

*Postes y ménsulas.* — Para el proyecto de los soportes de la línea de contacto en vía general ha prevalecido el criterio de que exista absoluta independencia, tanto mecánica como eléctrica, entre ambas vías ascendente y descendente. Por ello, la doble vía se puede considerar como dos vías simples. Prueba de ello es la fotografía de la figura 9.<sup>a</sup>

La ventaja de esta disposición consiste en que, si se produce una avería en una vía, quede la otra sin ser afectada, pudiendo utilizarse para la circulación.

La cadena aislante está colgada de la ménsula, pieza horizontal formada por dos perfiles en U, la cual se sujeta directamente al poste en un extremo, y en el otro se ancla, mediante un tirante a la parte superior del poste. Este tirante tiene un tensor para ajustar la ménsula en posición horizontal.

El poste en vía general está constituido por dos perfiles en U, arriostrados con pletina, como puede verse, tanto en la fotografía 9.<sup>a</sup> como en la figura 10.

Hay seis tamaños de poste en vía general, que se diferencian en el tamaño de la U.

El menor, utilizado en rectas y en zonas donde no bate mucho el viento, está construido con perfiles de 120 mm. El mayor, empleado en curvas de pequeño radio y sometido a esfuerzos importantes, se forma con perfiles en U de 220 mm.

En toda la electrificación hay previstos 7 588 postes de este tipo, con un peso aproximado de unos 3 264 000 Kg.

*Macizos.* — Los postes se alojan en macizos de hormigón confeccionados con poca dosificación de cemento. Estos macizos se construyen dejando un hueco en su interior, en el que se sitúa la parte inferior del poste. Una vez aplomados éstos, se llena de hormigón el hueco.

En la figura 10 se observa la diferencia que existe en la forma de los macizos, según hayan de construirse en un desmonte o en un terraplén.

La parte superior de los macizos se enlucce con mortero rico en cemento, dándole forma de "punta de diamante" para que las aguas pluviales escurran con facilidad, sin oxidar al poste.

Para la totalidad de postes del tipo descrito, que también hay en las estaciones, es preciso construir unos 26 000 m.<sup>3</sup> de hormigón, con un gasto de unas 5 300 toneladas de cemento.

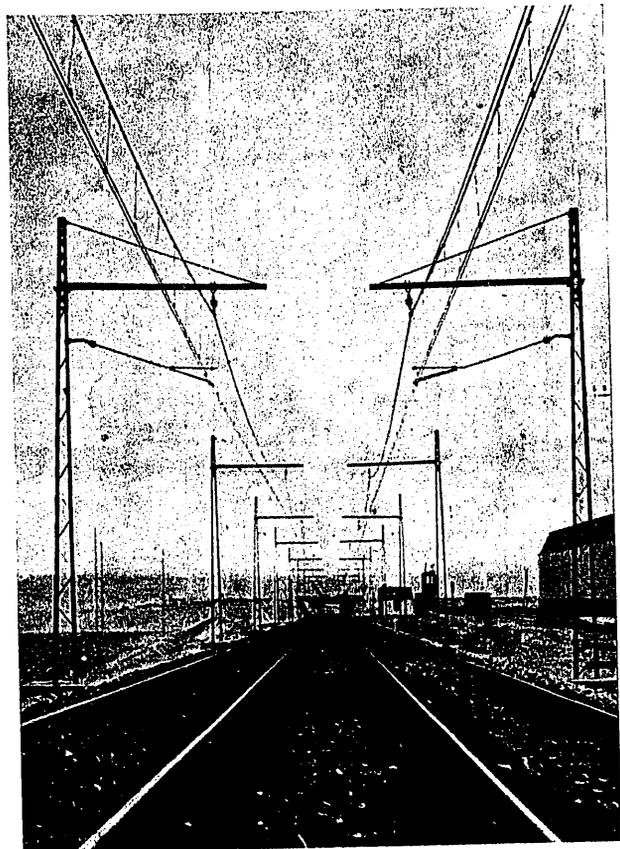


Figura 9.<sup>a</sup>

*Estabilizadores y atirantados.*— El hilo de contacto debe relacionarse con los postes cada 100 metros cuando la vía está en recta, con el fin de que aquél no se pueda desplazar lateralmente por la acción del viento.

Para ello se disponen en los postes, alternada-

Los estabilizadores se colocan de modo que la línea de contacto no caiga en el eje de la vía, sino descentrada, para que forme en planta una línea en zigzag, como ya se ha indicado.

En las curvas es preciso atirantar los hilos de contacto en todos los postes. Se presentan dos casos,

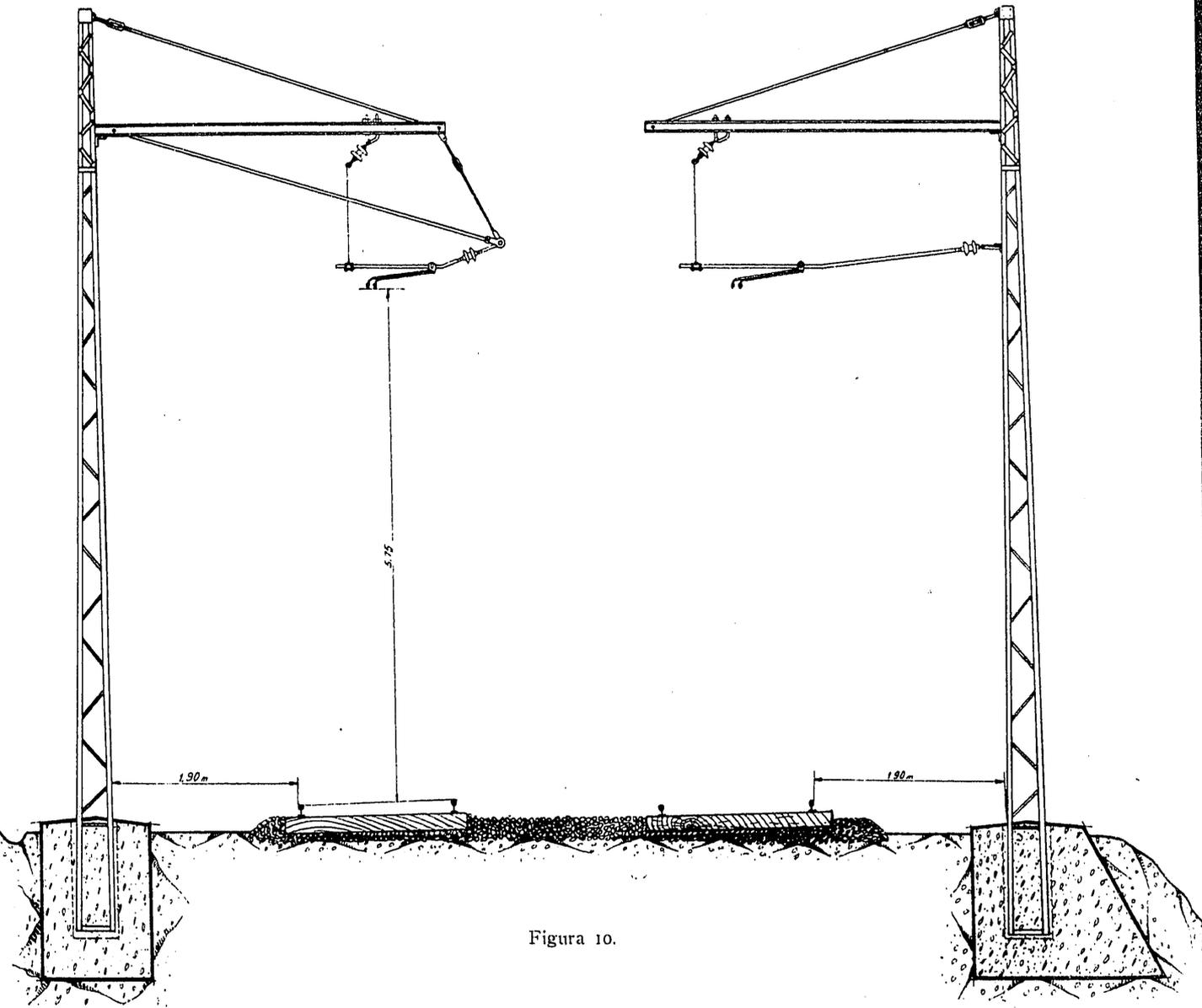


Figura 10.

mente, los "estabilizadores", lo cual puede observarse en la fotografía 9.<sup>a</sup> En estos estabilizadores se ha utilizado también el aislador "Motor", a causa de sus excelentes características mecánicas, habiéndose verificado pruebas de flexión con varios de estos aisladores, llegando a momentos flectores de 180 m. Kg. sin rotura.

según que la vía sea interior a la línea de postes o exterior a ella.

Si la vía es interior a la línea de postes, el atirantado se resuelve de manera análoga al estabilizador de recta, con la única diferencia de su mayor robustez. Puede apreciarse este equipo en la parte derecha de la figura 10.

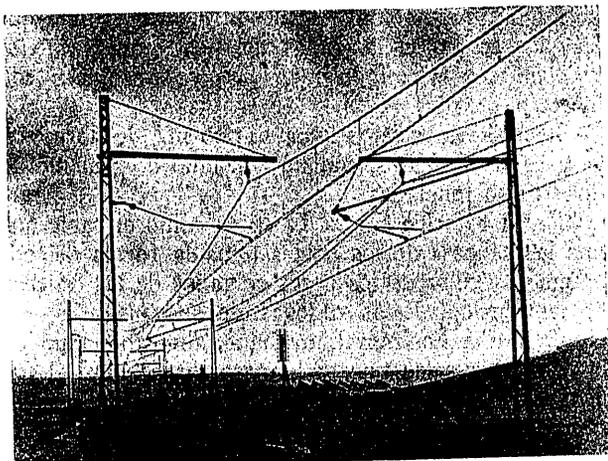


Figura 11.

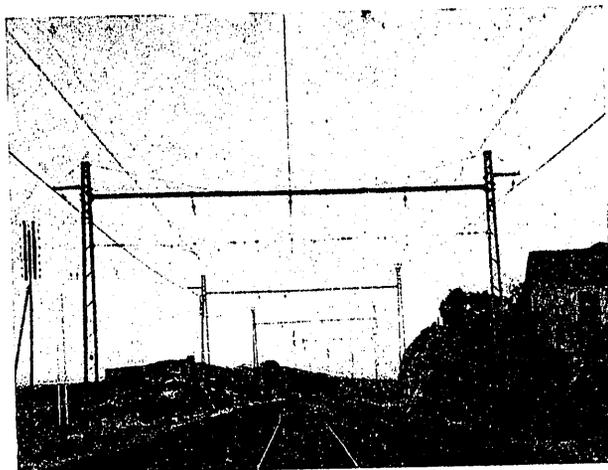


Figura 12.

Cuando la vía es exterior a la línea de postes que soportan la catenaria correspondiente, se recurre al montaje que se ve en la parte izquierda de la figura 10, empleando una pieza inclinada, soportada bajo la ménsula y colgada del extremo de ella mediante un tirante. Al extremo de esta pieza inclinada se une el atirantado, que es análogo al que se coloca en el caso de que la vía sea interior, sólo que más corto.

Un aspecto de conjunto de una curva, con sus accesorios, está en la fotografía de la figura 11, pudiéndose apreciar ambos tipos de atirantados.

En la unión del aislador con el soporte (bien sea poste o ménsula) se ha dispuesto una pieza con dos ejes perpendiculares, formando una especie de "cardán", con objeto de que no se rompa por flexión si hay alguna avería mecánica en la línea.

**Soportes en estaciones.**

Los postes de vía general no permiten situar la catenaria más que cuando las vías están próximas a ellos. En las estaciones estorbarían mucho los postes colocados en la misma forma que en vía general, por lo cual se establecen pórticos con apoyos colocados a ambos lados de las vías.

Claro es que al colgarse de un pórtico varias líneas de contacto no quedan éstas independientes mecánicamente, como ocurre en vía general.

Se han utilizado dos tipos de pórtico. El pórtico rígido consta de dos postes análogos a los de vía general, unidos por un dintel de perfiles laminados, que prolongan las ménsulas. En la fotografía 12 se aprecia este tipo de pórtico.

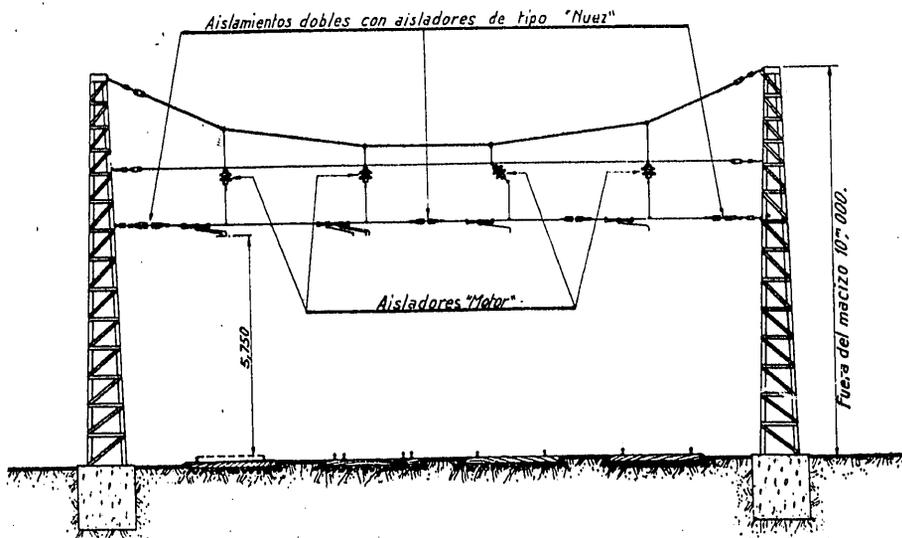


Figura 13.

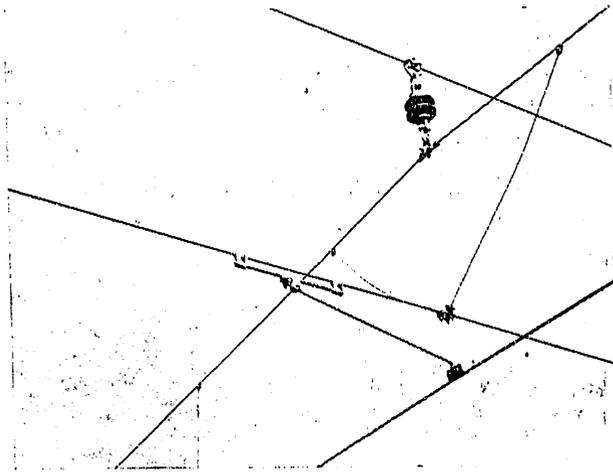


Figura 14.

Cuando el número de vías es superior a 3, se emplea el pórtico funicular (fig. 13), pues si se utilizase pórtico rígido, el dintel que trabaja a flexión y compresión tendría dimensiones importantes.

El pórtico funicular está constituido por dos postes cuadrangulares, de gran robustez, y cables de acero que les unen.

Hay 7 tamaños distintos de postes cuadrangulares, contruídos con angulares de diferentes secciones.

En toda la electrificación hay previstos 1.009 postes cuadrangulares, con un peso de 1 862 000 Kg.

El apoyo de estos postes se hace en macizos de

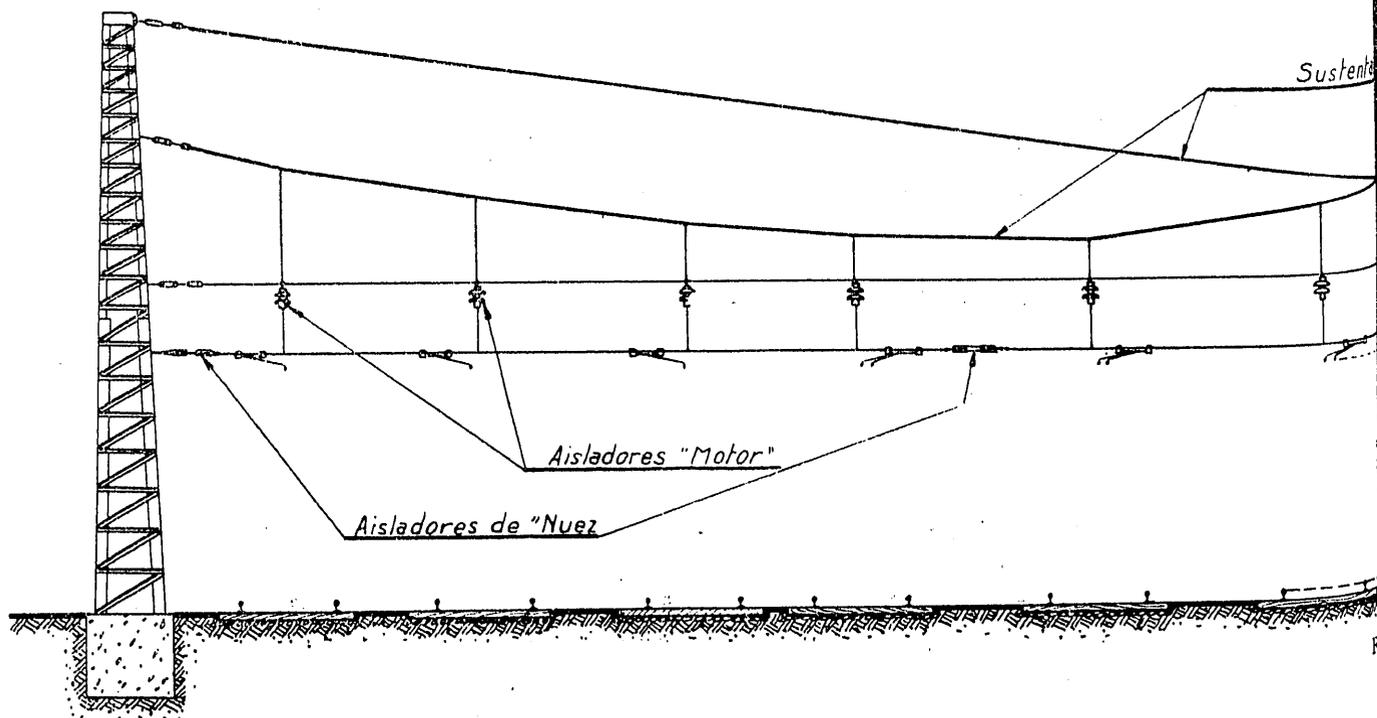
hormigón, que se construyen con 4 huecos, para que en ellos se alojen las patas del poste, que luego se rellenan con hormigón más rico y se enlucen con mortero.

Han sido previstos unos 14 000 m.<sup>3</sup> de hormigón para estos cimientos, con un consumo de cemento de unas 2 900 toneladas.

En la referida figura 13 se ve cómo el cable que une las cabezas de los postes toma la forma del polígono funicular de los pesos colgados de las cadenas de suspensión. Estas cadenas de suspensión se sitúan en una horizontal, mediante un cable también horizontal que las une, y su peso actúa sobre el funicular mediante una péndola, que tiene longitud distinta en cada caso. Por último, hay otro cable horizontal situado más bajo que el anterior, el cual fija la posición, en planta, de los hilos de contacto, mediante las piezas que se detallan en la fotografía de la figura 14. Para que haya uniformidad de piezas, las de este atirantado sobre cable transversal son las mismas de los atirantados en recta y curva, en vía general.

Como este cable está en comunicación eléctrica con los hilos de contacto, se establecen aislamientos entre los diversos hilos de contacto, y en su unión a los postes, mediante dos aisladores tipo "nuez", en serie.

Si el número de vías que comprende el pórtico es mayor de 9, se emplean postes de grandes dimensiones, y con objeto de que las péndolas que unen verticalmente las cadenas de suspensión con el cable funicular no sean excesivamente grandes, se recurre a



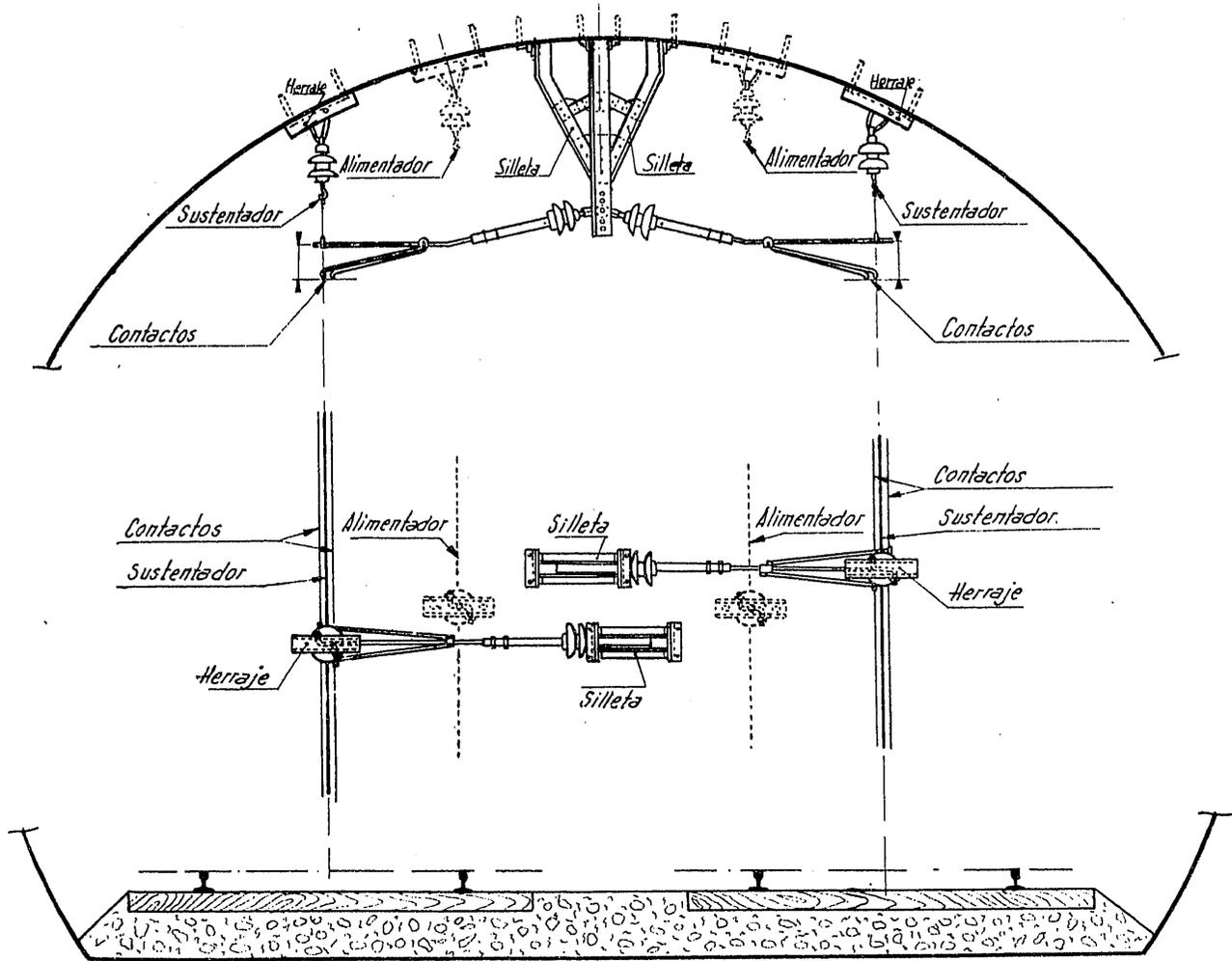
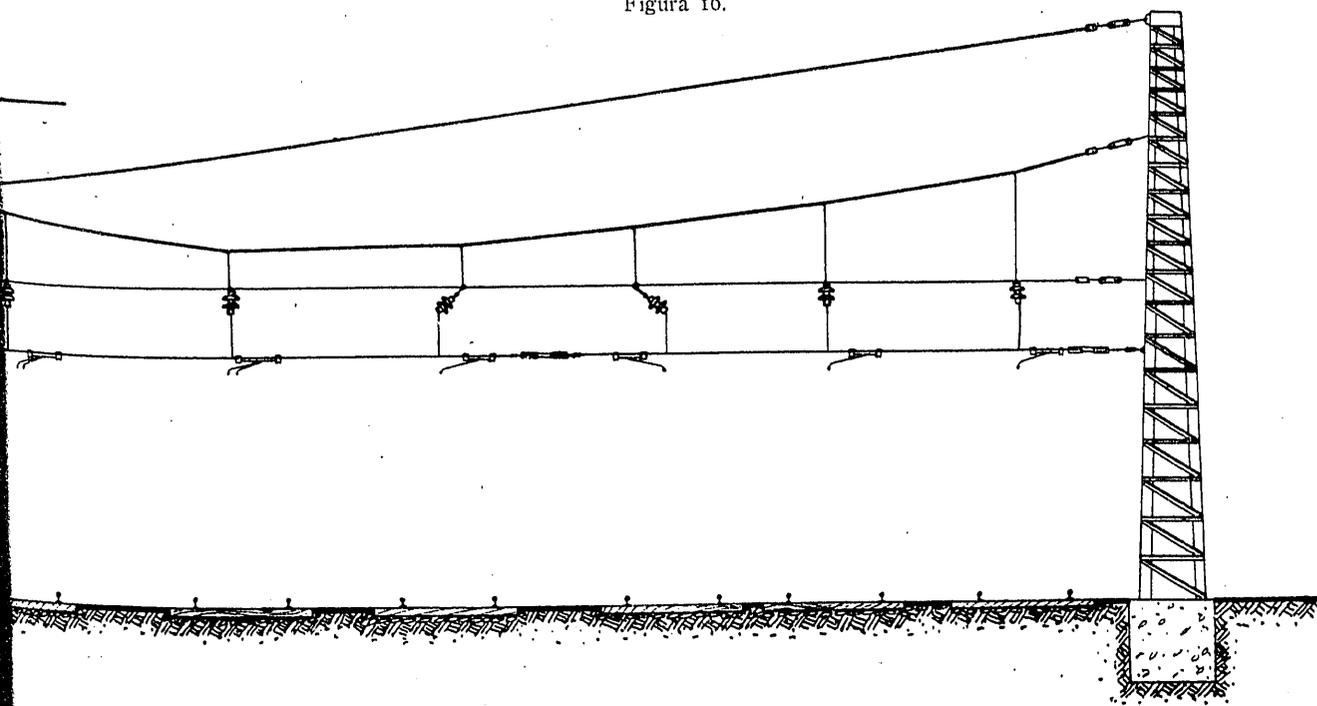


Figura 16.



la construcción de pórticos funiculares dobles, con dos cables funiculares, de cada uno de los cuales cuelga la mitad de las líneas. También se duplica la cantidad de cables horizontales, resultando suspensiones y atirantados independientes para cada mitad de líneas. Esta disposición tiene la ventaja que limita la

posible avería ocurrida en una línea, a la mitad de las que comprende el pórtico, sin afectar a todas.

La disposición de pórtico funicular doble se puede examinar en la figura 15.

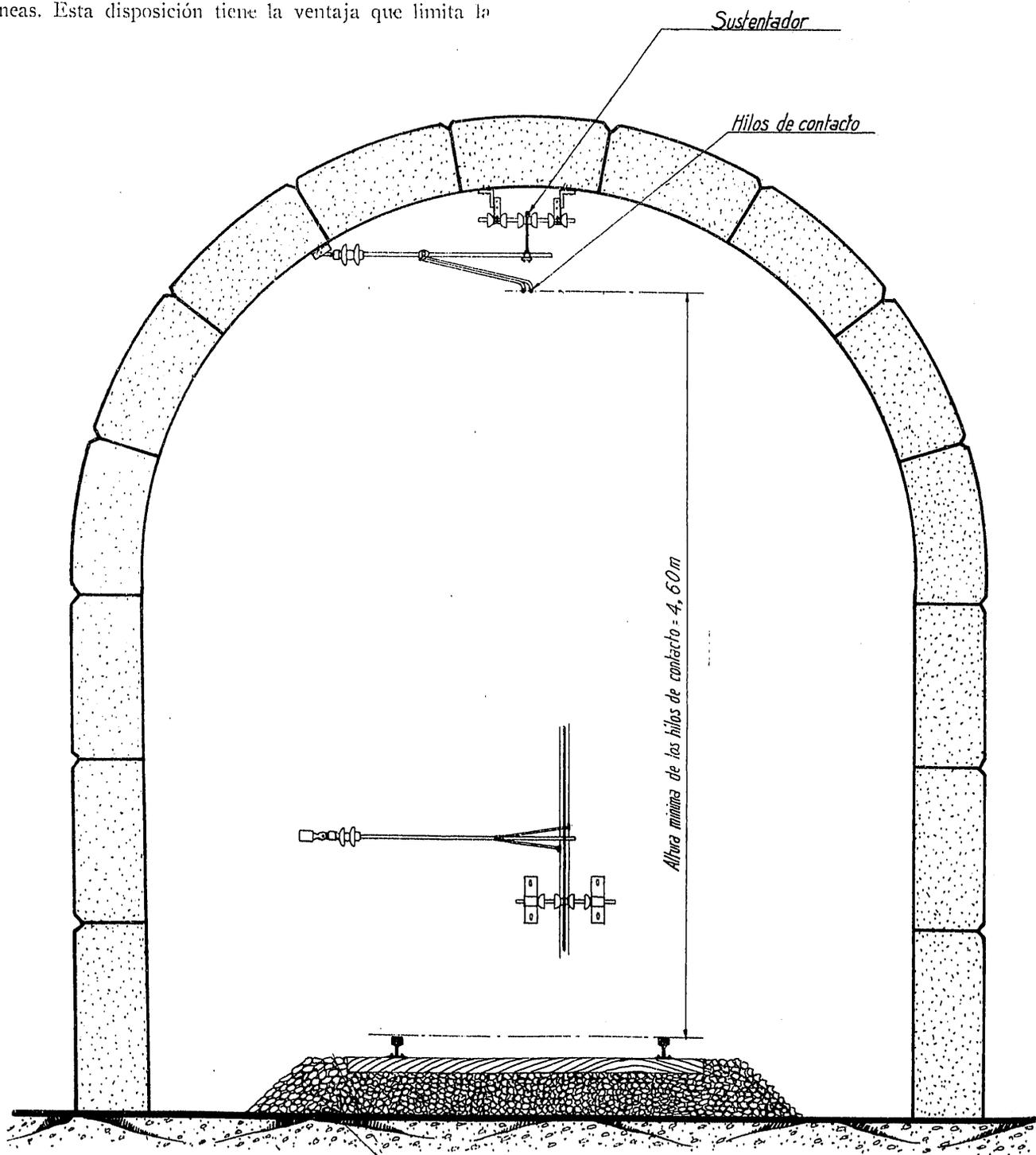


Figura 17.

**Suspensiones en túneles y pasos superiores.**

En los túneles de vía doble, se cuelga la línea de contacto mediante los herrajes que se detallan en la figura 16, que, lo mismo que en vía general, se han previsto independientes para una y otra vía. En el centro del dibujo figura una planta que aclara dicha independencia. También se han indicado de puntos las cadenas de suspensión de alimentadores independientes de las líneas de contacto, y que corresponden a los casos en que por la proximidad del túnel a la estación, las vías del túnel son de estación, no de vía general, sirviendo para ésta los alimentadores independientes.

En los túneles de simple vía, el problema que se presenta es la escasez de altura en el eje de la vía, por

lo cual no se puede usar la cadena con aislador "Motor" para soportar el cable sustentador.

El aislamiento de la catenaria se consigue con aisladores tipo "diábolo", con objeto de ganar altura, empleando el doble aislamiento que detalla la figura 17.

Los atirantados en túneles no coinciden con la situación de los apoyos de los vanos, sino que existe una pequeña distancia entre ellos, prevista de modo que no se estorben ni estáticamente ni cuando suba o baje el hilo de contacto con el atirantado, por la presión ascensional de los pantógrafos.

La forma de los atirantados puede observarse en

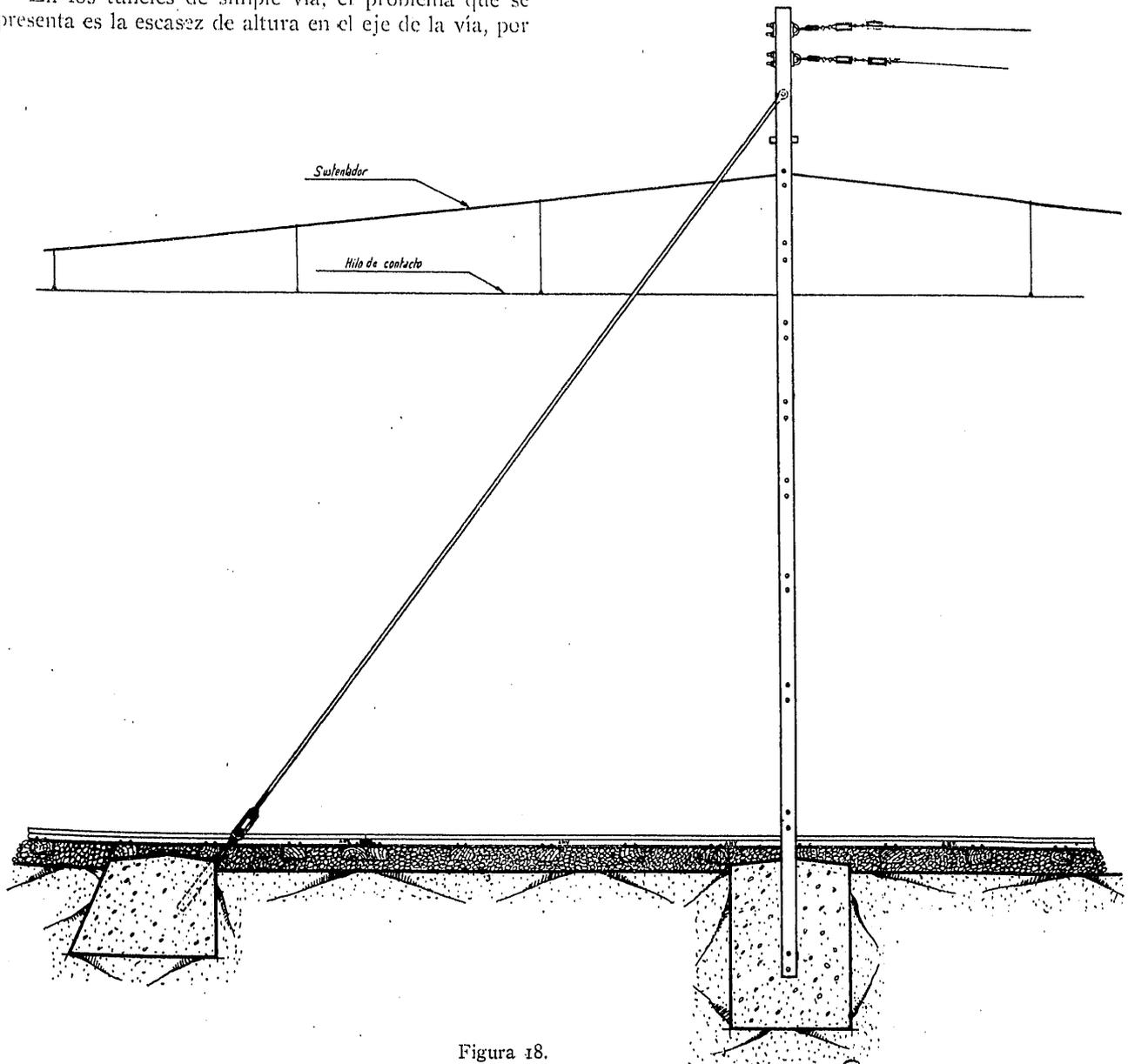


Figura 18.

las mismas figuras, en el centro de las cuales se ha indicado una planta de los conductores y atirantados.

En los pasos superiores, como el problema es de falta de altura, se resuelve análogamente a como se hace en los de simple vía.

### Anclajes.

Los extremos de los hilos de contacto y de los cables sustentadores y alimentadores, debidamente aislados mediante dos aisladores tipo "nuez" colocados en serie para que exista doble aislamiento, se sujetan a los postes de amarre.

Los esfuerzos ocasionados en los postes son muy elevados, pues se trata de cables de gran sección, bastante tensados, y situados a cierta altura (de 6 a 7 m. del suelo).

La importancia de los esfuerzos de flexión que ha de soportar el poste obliga a acudir a disposicio-

nes especiales para no proyectar los postes demasiado robustos, pues son antiestéticos y costosos.

Los anclajes utilizados en la electrificación Madrid-Ávila-Segovia, son:

- a) Con tirante de anclaje.
- b) Con tirante en carril alto.
- c) Postes tipo *R* para una sola catenaria.
- d) Postes de final de dos líneas, en andenes.

Los postes con tirante de anclaje se emplean en sitios poco frecuentados, en los que importa poco que

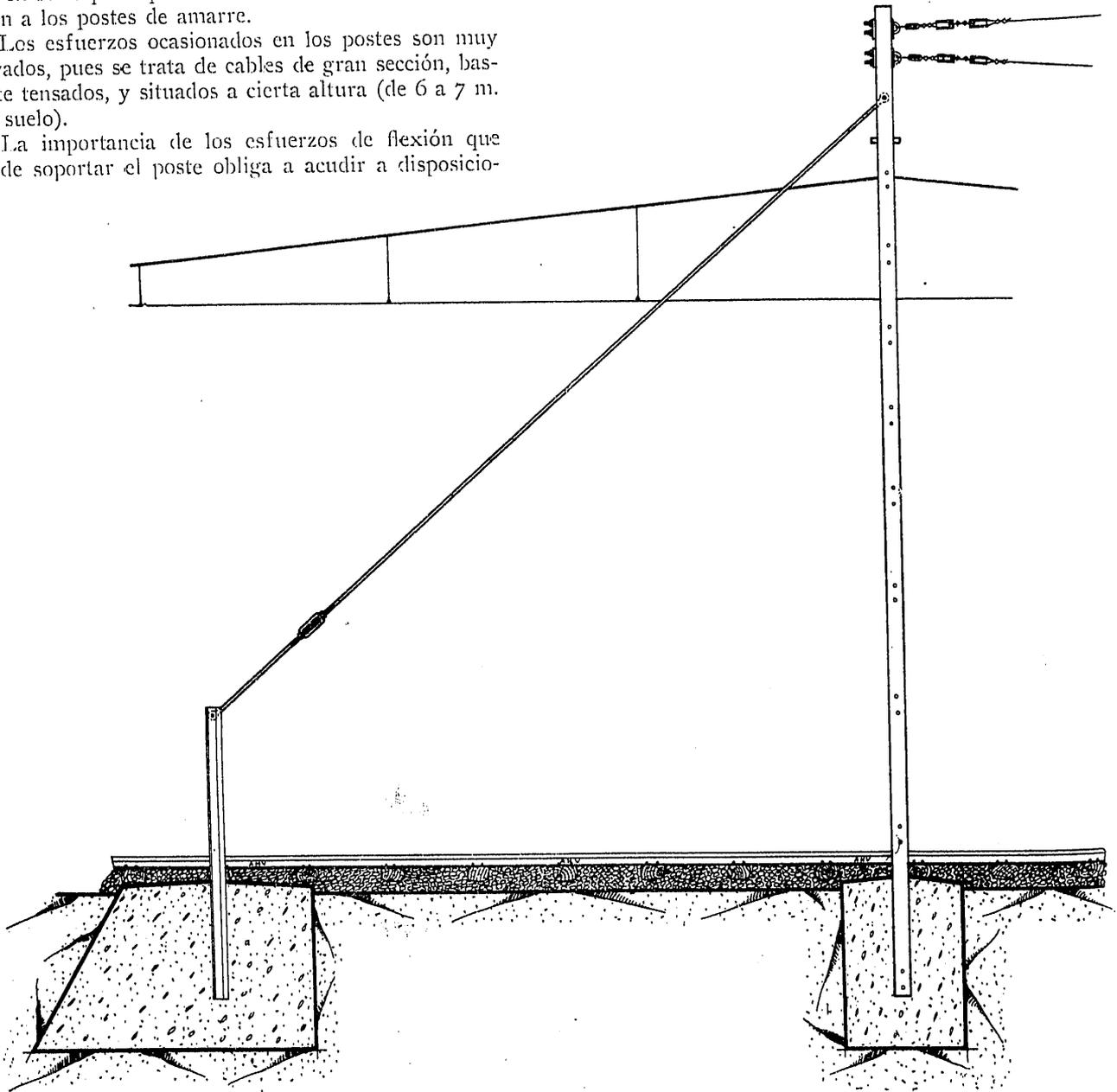


Figura 19.

estorbe el tirante. En la figura 18 puede verse la disposición del tirante, que se amarra a un macizo de hormigón. De este modo, la existencia del anclaje sólo supone para el poste un incremento en su esfuerzo de compresión que puede resistir ampliamente sin necesidad de construir postes más robustos.



Figura 20.

Los anclajes con tirante en carril alto, tienen aquél sujeto al extremo de un trozo de carril vertical, que se empotra en un macizo de hormigón. El objeto de esta disposición es que no quede el tirante inclinado a una altura en que pueda estorbar al paso de personas y se emplee en sitios concurridos por personal de la Red, o viajeros. El conjunto se detalla en la figura 19.

Los postes tipo R, como el que se ve en la fotografía de la figura 20, se emplea para las vías en donde no cabe el poste de vía general con su tirante de anclaje. Se usa en algunas vías de estaciones.

Por último, los postes de final de línea para dos catenarias se han utilizado en la estación de Madrid, y tienen resistencia suficiente para soportar los esfuerzos de anclaje de los cuatro hilos de contacto de las dos catenarias (que son dobles por ser generales) y sus dos sustentadores de acero. La figura 21 es una fotografía de estos postes.

**Resumen.**

De un modo aproximado, a continuación se mencionan las cifras que expresan las cantidades de diversos materiales que entran en la construcción de los soportes de esta electrificación, no detallando valores medios por kilómetro por haber causas que modifican grandemente la existencia de valores medios. Entre éstas contamos con las importantes estaciones de Madrid y Las Matas-Clasificación, y respecto a la vía general, gran parte de los postes que se coloquen en la línea de Segovia habrán de ser más fuertes que de ordinario, a causa del fuerte viento que existe entre El Espinar y La Losa.

Cemento para macizos.....	8 500 Trf.
Postes de vía general.....	3 264 000 Kg.
Postes cuadrangulares .....	1 862 000 "
Ménsulas .....	800 000 "
Postes de anclaje.....	58 000 "
Herrajes para túncles.....	14 000 "

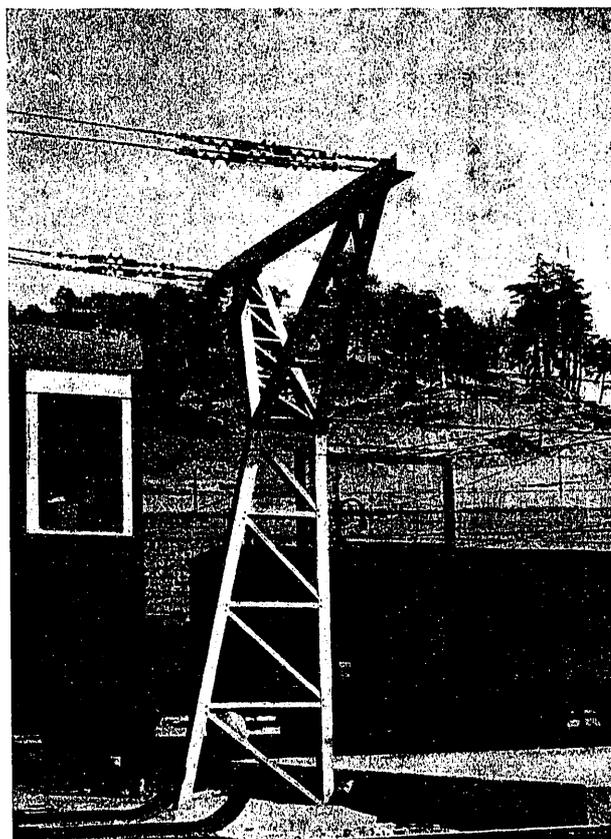


Figura 21.

# LA ELECTRIFICACIÓN MADRID - ÁVILA Y VILLALBA - SEGOVIA

Por ANTONIO ANGULO, Ingeniero de Caminos.

*Termina, en este cuarto artículo, la descripción general de la línea de contacto de la electrificación citada, haciendo una somera descripción de accesorios y detalles de la misma.*

## IV. - LÍNEA AÉREA DE CONTACTO

### Seccionamientos.

Las líneas de contacto de vía general, hemos visto que son independientes entre sí, tanto mecánica como eléctricamente, y también deben serlo de las líneas de contacto de las estaciones.

Por ello se precisan disposiciones que permitan la circulación normal del material motor, captando corriente de la línea, y que ésta presente una solución de continuidad en lo que a alimentación se refiere.

El medio más perfecto de obtener los seccionamientos consiste en establecer las dos líneas de contacto que alimentan una misma vía, no a tope, sino con cierta longitud común, a modo de solape. En planta, debe existir cierta separación, que actúa como aislante de ambas líneas. Por ello, en el léxico ferroviario es corriente denominar a estas disposiciones

“seccionamientos de lámina de aire”, pues es éste el aislante.

Este tipo de seccionamientos da magníficos resultados, pues el material motor puede circular por ellos a gran velocidad.

En la figura 22 se detalla el seccionamiento de entrada de una vía general en una estación. La misma vía se representa llena o de trazos, según su alimentación.

Puede apreciarse claramente en el alzado cómo en sus partes extremas se levanta la línea de contacto suavemente, para que los pantógrafos no tengan ningún punto duro en la línea.

Estos seccionamientos, cuyo excelente funcionamiento hemos indicado, presentan dos inconvenientes: complicación y amplitud del conjunto del seccionamiento.

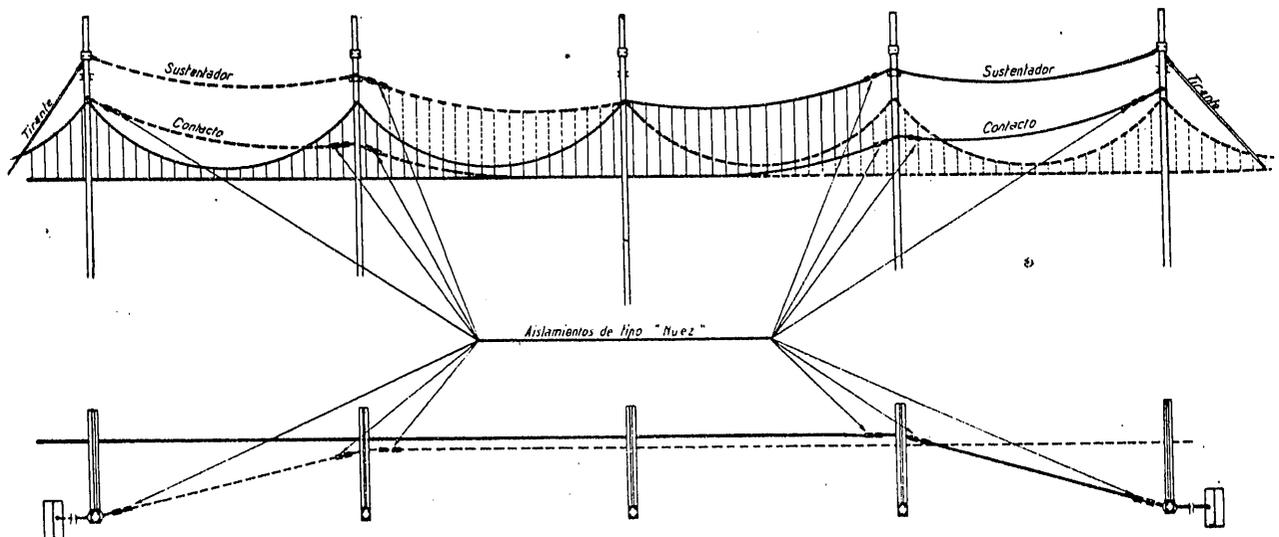


Figura 22.

Se utilizan entre las vías generales de plena vía y de estación, permitiendo que los trenes entren y pasen por una estación en que no tengan parada, sin tener que aminorar la velocidad por causa del seccionamiento. En las estaciones en las que los trenes no pueden circular con gran velocidad, tales como Madrid, Villalba, Las Matas-Clasificación, etc., se han colocado en las vías generales algunos seccionamientos con "aisladores de sección". También se han colocado estos aparatos a las vías de escape, de alcance y de apartado que precisan independencia eléctrica, en todas las estaciones.

Los aisladores de sección constan de dos piezas debidamente aisladas, en las que se fijan dos hilos de contacto de cada trozo de línea de contacto, unidas a un bastidor metálico. A los lados del aislador de sección hay unos trozos de hilo de contacto, en forma de patín, que constituye la continuidad mecánica de la línea. Cada patín está conectado eléctricamente a un trozo de línea, por lo cual, cuando el pantógrafo pasa bajo la parte central del aparato, toma corriente de ambos trozos de línea por los dos patines.

En la fotografía de la figura 23 puede apreciarse un aislador de sección, así como el aislamiento correspondiente del cable sustentador, constituido por dos aisladores de nuez, en serie.

La conexión eléctrica de los haces de líneas de contacto, bien sean de estaciones o de plena vía, se establecen mediante seccionadores de cuchilla.

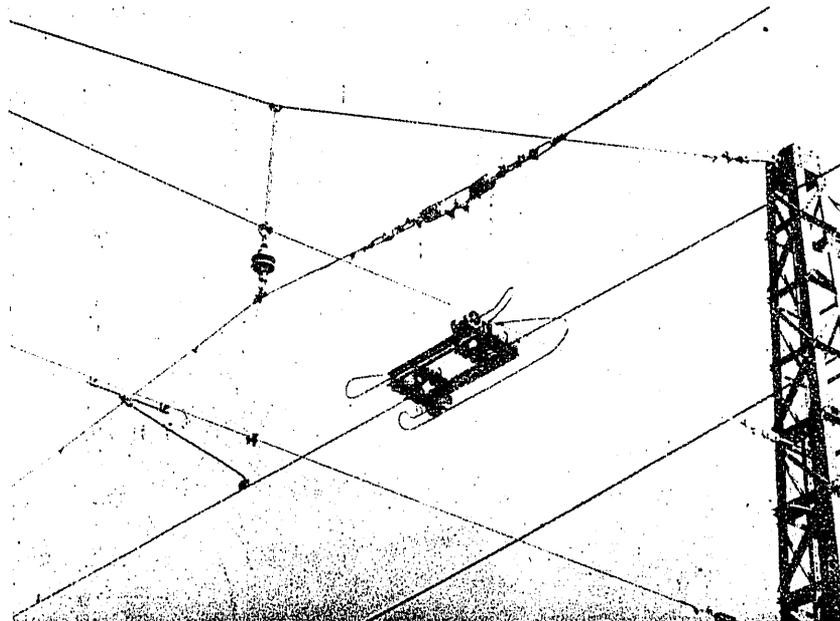


Figura 23.

Las características de estos seccionadores, son: estar dispuestos para soportar la intemperie y que su accionamiento pueda hacerse a mano, por personas inexpertas que actúen desde el suelo. También debe existir enclavamiento, de modo que una equivocación personal del agente que lo maneje no trascienda a la realidad de la maniobra.

El seccionador empleado tiene doble aislamiento, constituido por aisladores tipo "Diábolo". Su proyecto y construcción ha sido realizado por la Sociedad "Material Auxiliar de Electrificaciones". En la figura 24 se ve, invertida, la parte eléctrica del seccionador, con el bastón de accionamiento dirigido hacia arriba.

Según alimente a las vías generales o a las secundarias, se disponen dos o una cuchillas, respectivamente, pudiendo pasar de una intensidad de 2 000 ó 1 000 amperios. También hay una variante de los seccionadores, y se refiere al caso de vías secundarias, que de no tener tensión, deben estar puestas a tierra. En ese caso, el aparato es un conmutador. El de la figura 24 es de este tipo, y en él se ve la cuchilla de puesta a tierra, que no está encajada en sus mordazas.

El accionamiento se efectúa desde el suelo, aun cuando el seccionador se coloca a cierta altura, mediante una barra vertical, que termina en un bastón de madera que hace de aislante. La maniobra se verifica mediante un mando de fundición maleable, y se agrupan en pórticos cuando se trata del esquema general (fig. 25), o bien se disponen independientes,

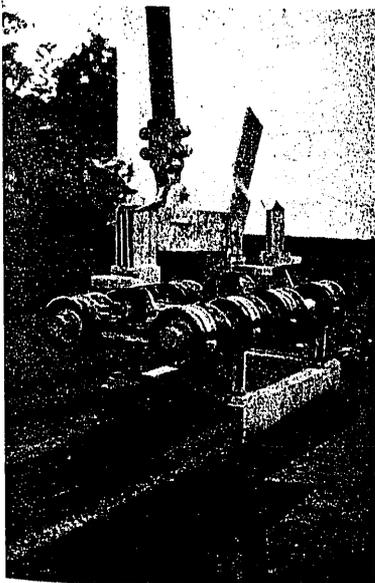


Figura 24.

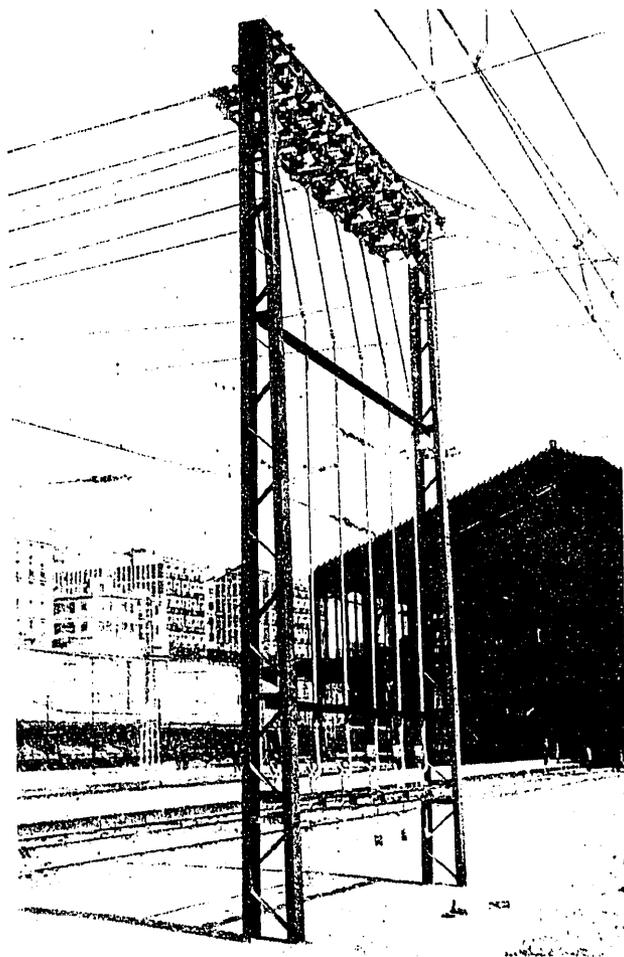


Figura 25.

cuando alimentan algún haz de vías en las estaciones.

En el cuadro siguiente se totalizan los seccionadores y aisladores de sección que son precisos para la electrificación:

TROZO	SECCIONAMIENTOS			SECCIONADORES		
	De lámina de aire.	Con aislador de sección		De 2.000 Amp.	Con puesta a tierra (conmutadores) de	
		De 1 hilo	De 2 hilos		1000 amp.	2000 amp.
Madrid - Avila . .	60	116	49	51	49	56
Villalba - Segovia.	19	29	—	10	10	10
TOTAL . .	79	145	49	61	59	66

**Protecciones.**

En los pasos superiores de carretera que cruzan la vía es preciso colocar protecciones, de modo que las personas que circulen por la carretera tengan di-

ficultad para tocar los cables de la electrificación, mediante palos, cintas o cadenas conductoras de electricidad, pues se ocasionarían accidentes.

Se ha adoptado una protección formada por una pantalla curva, que cubre cierta longitud de catenaria, suficiente para que no pueda alcanzarse fácilmente su extremo desde el puente o paso superior. En la figura 26 puede apreciarse la forma de estas viseras; son de zinc y la armadura es de perfiles laminados.

Hay una excepción, en un paso superior que existe en la estación de Villalba, bajo el que cruzan gran cantidad de cables de las líneas de contacto, así como alimentadores de las vías generales. La protección con viseras que se ha descrito, exigiría colocar gran cantidad de ellas, por lo cual se ha instalado una protección vertical a ambos lados del puente, formada por paneles de tela metálica. En la fotografía de la figura 27 puede verse el efecto de estas pantallas verticales.

Otra protección es la puesta a tierra de los postes y demás instalaciones metálicas de las estaciones, con objeto de que no queden con tensión si se produce una avería en el aislamiento de las líneas de contacto.



Figura 26.

Por ello se ha previsto la instalación de alambres galvanizados, de 6 mm.  $\phi$ , que se sueldan, en un extremo, al poste o estructura metálica correspondiente, y por el otro, al carril más próximo.

**Montaje.**

El hormigón que forma las bases de los postes se ha confeccionado al pie mismo de cada macizo, acopiando los materiales por medio de vagonetas ligeras que circulan por las vías, con muy poco esfuerzo.

La maniobra de izar los postes se ha hecho con auxilio de un cabrestante, en los postes de vía general y en algunos de estaciones de no mucho peso. En cambio, en los postes grandes de las estaciones se ha utilizado una grúa sobre plataforma, accionada a mano, pues algunos tipos de poste llegan a pesar hasta 4300 Kg.

El tendido de los conductores, en vía general, se ha efectuado con un tren preparado para este objeto, que por tal razón se le llama "tren de tendido".

Consta (fig. 28) de una locomotora que remolca varios vagones, en uno de los cuales están las bobinas de conductores, que se van desarrollando a medida que avanza el tren. Cada cable que se tiende pasa sobre la plataforma elevada de otro vagón, en donde se coloca el personal. Cada vez que esta plataforma pasa delante de un poste, se detiene el tren, y el personal que está en aquélla cuelga el conductor, o los



Figura 29.

conductores, de la ménsula, por medio de una polea. Inmediatamente de colgar los conductores en un poste, el tren marcha a realizar igual operación en el siguiente.

El tren se compone de locomotora, tender, furgón, vagón con bobinas y vagón con plataforma elevada, para trabajo. Entre estos dos últimos se coloca una plataforma para que el conductor, al desarrollarse, no tenga pendientes exageradas. Además, en todos los bordes de los vagones que roza el cable, se han dispuesto rodillos o superficies lisas para que no haya esfuerzos de rozamiento importantes y se tienda con suavidad.

Primero se tiende el sustentador, o el sustentador y alimentador, simultáneamente, cuando coexisten en la misma vía. Luego se procede al tensado de estos conductores, lo cual puede realizarse por existir po-

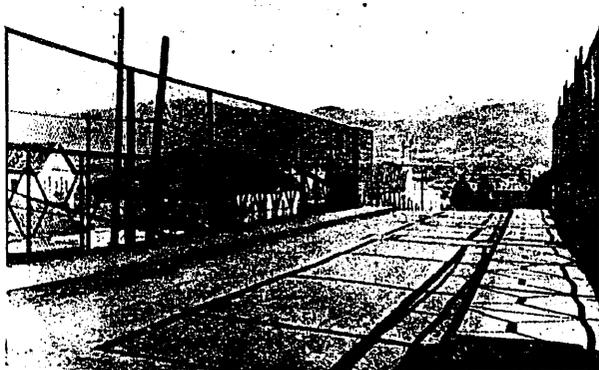


Figura 27.

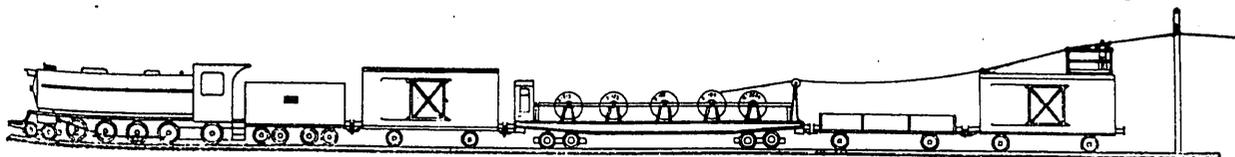


Figura 28.

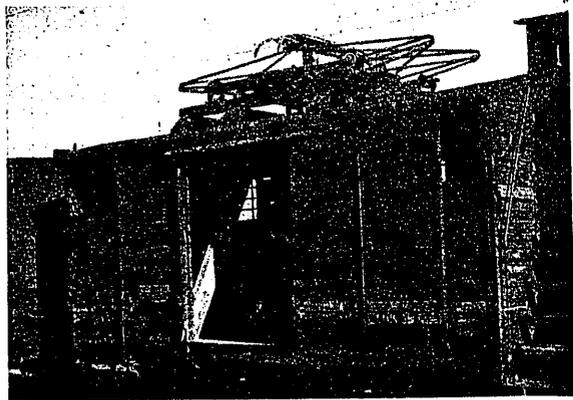


Figura 30.

leas en los apoyos. Una vez tensados, se procede a colgarlos de la cadena aislante en lugar de las poleas.

Más tarde se tienden los hilos de contacto con el tren, y se dejan colgados, con ganchos, del sustentador. Una vez tensados los hilos de contacto, se colocan las péndolas, debidamente distanciadas, suprimiendo los ganchos.

Esta operación de colocar péndolas, como las posteriores de ajuste, colocación de agujas, aisladores de sección, etc., se realiza con escaleras de tijera, provistas de ruedas, que permiten que corran sobre la vía (fig. 29).

En las estaciones el trabajo comienza por colocar los cables transversales de los pórticos. Luego se tienden los sustentadores, que por ser de acero de 48 milímetros cuadrados de sección, pesan bastante menos que los de cobre de 299 mm.<sup>2</sup>, que tienen las líneas de contacto en plena vía. Por esta causa, y por no ser muy grandes longitudes, en las estaciones no se tiende con el tren, sino a mano. Las péndolas de los pórticos funiculares se colocan de alambre, provisionalmente, y después de tendidos todos los conductores, se sustituyen por las definitivas de platinina.

Con objeto de comprobar la posición de la línea de contacto, se ha construido un registrador de la altura de la línea de contacto. Sobre un vagón se ha colocado un pantógrafo de los empleados por el material motor (fig. 30), con una varilla que desciende hasta el interior del vagón, en cuyo extremo inferior se ha puesto un lápiz. También en el interior del vagón se ha construido

una transmisión que mueve un papel a medida que avanza el vagón sobre la vía, en cuyo papel queda dibujado el perfil longitudinal de la línea de contacto sobre los carriles.

Antes de poner en servicio la electrificación ha sido preciso pasar bastantes veces el referido vagón por toda la línea, pues se encontraba muy sucia por el polvo de carbón procedente de las máquinas de vapor, que, estando adherido a los hilos de contacto, impide que se capte la corriente con los pantógrafos del material motor. El paso del vagón, con el pantógrafo levantado, limpia de carbonilla los hilos de contacto.

La figura 31 es una curiosa fotografía obtenida a la entrada del túnel de Torrelodones, por el lado Madrid, tomada unos instantes después del paso de un tren de vapor. Puede apreciarse cómo el humo que quedaba en el túnel se acumuló en la parte superior del mismo.

La entidad contratista del montaje de la línea de contacto y del suministro del material de línea, es la Sociedad Española de Montajes Industriales, en colaboración con la "Société Parisienne pour l'Industrie des Chemins de Fer et des Tranways Électriques". Merece su actuación el mayor elogio, pues ha vencido infinidad de dificultades, que, dadas las actuales circunstancias y la magnitud de la obra realizada, no es preciso destacar.

El comportamiento de la línea de contacto, desde el mes de diciembre de 1943, en que se comenzaron las primeras circulaciones con material motor eléctrico, hasta la fecha, ha sido excelente.

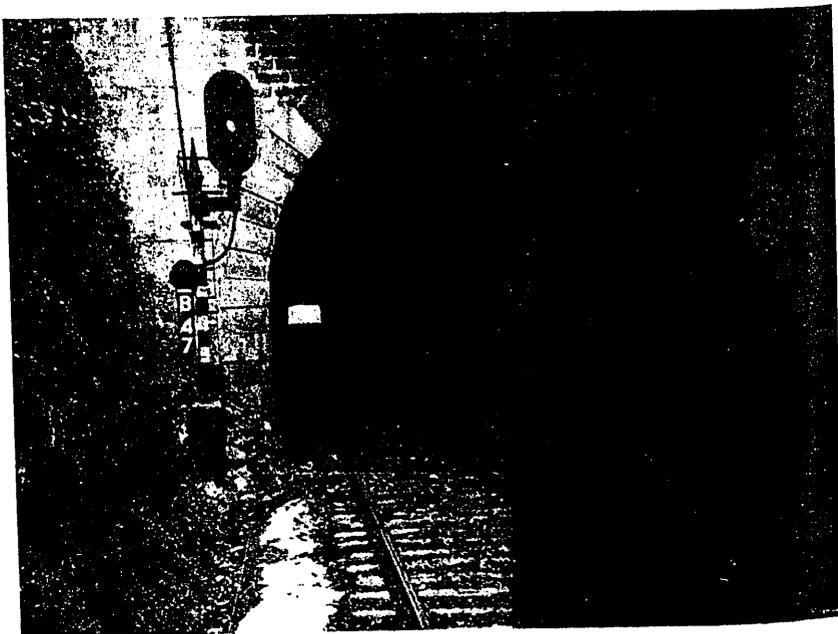


Figura 31.

# LA ELECTRIFICACIÓN MADRID - ÁVILA Y VILLALBA - SEGOVIA

Por JAIME BADILLO, Ingeniero de Caminos.

*Presentamos en este número otro capítulo de la completa descripción que nos proponemos hacer de esta importante electrificación de las cercanías de nuestra Capital.*

## V. - SUMINISTRO DE ENERGÍA Y LÍNEA EN "Y" DE INTERCONEXIÓN

### Suministro de energía.

Las primeras gestiones realizadas sobre posibles suministros de energía con destino a la electrificación Madrid-Ávila-Segovia, comenzaron en el año 1933; de resultados de las mismas se redactó un Proyecto de Bases, aprobado por la Comisaría del Estado en abril de dicho año. El concurso correspondiente se celebró el 18 de julio, también en 1933, presentándose únicamente una proposición, suscrita mancomunadamente por las Sociedades "Unión Eléctrica Madrileña", "Saltos del Duero", "Hidroeléctrica Española" y "Saltos del Alberche".

Dicha proposición, que contenía, en realidad, dos ofertas, suministro de energía a 30 000 voltios, o bien una tensión comprendida entre 43 000 y 47 000, fué rechazada por el Consejo de Administración por motivos económicos, presentando, a su vez, dos contrapropuestas, que tampoco fueron admitidas íntegramente por las Sociedades citadas, durando el estudio de proposiciones y la discusión de las mismas hasta el 19 de mayo de 1934, que pudo enviarse a la Comisaría del Estado un proyecto de contrato.

Dicho proyecto fué trasladado al Comité Ejecutivo del Consejo Superior de Ferrocarriles, el cual lo devolvió para que fuera reformado con varias prescripciones, de las que las más importantes eran: Fijación del voltaje a 46 000 voltios. Entrega de la energía en Madrid, Ávila y Otero. Obligación de los suministradores de ejecutar las líneas y subestaciones necesarias, a excepción de la línea en "Y" de interconexión, que lo habría de ser por la entonces Compañía del Norte.

Después de grandes trabajos y tras la publicación de una Orden ministerial en 4 de octubre de 1934, se presentó un nuevo contrato, que fué nuevamente devuelto, presentándose el definitivo en febrero de 1935, que fué aprobado el 29 de marzo de dicho año.

Como resultados del mismo, y dado que la alimen-

tación ha de hacerse en Madrid, Ávila y Otero, las Sociedades citadas han procedido a la construcción de una línea provisional que une la Central de Melancólicos con la subestación de Madrid (en sustitución del doble cable subterráneo previsto, por falta, en su día, del material preciso y para no ocasionar retrasos en la marcha general de la obra), compuesta de tres conductores de cobre de 70 mm.<sup>2</sup> de sección. Por otra parte, la Sociedad "Saltos del Duero" prepara su central de Otero para la transformación de 132 000-46 000 voltios, y la Sociedad "Saltos del Alberche" tiene en construcción una línea y una central en Ávila con igual motivo.

Todo ello permitirá tener a disposición de los utilizadores una potencia continua mínima de 10 000 kilovatios, con máximas de 16 000 y 22 000 en duraciones de cinco y dos minutos, respectivamente. Haciéndose el suministro, como queda dicho, a 46 000 voltios, en forma de corriente alterna trifásica a 50 periodos.

Para el pago de la energía se fijó un precio de 6 y 6,5 céntimos Kw./h., según el consumo que, al parecer, fué impuesto por el Gobierno; sin embargo, actualmente se tiene en estudio la elevación a 9,5 céntimos Kw./h., cualquiera que sea el consumo.

### Línea en "Y".

*Generalidades.* — También sufrió varias vicisitudes el proyecto que, en virtud de lo anterior, se redactó para la construcción de la línea en "Y" de interconexión, que recibía este nombre por la forma geográfica de su planta (fig. 1.<sup>a</sup>). En efecto, en marzo de 1936 se envió un primer proyecto, que fué devuelto para que se aumentara la parte de concurso y la parte de fabricación nacional, y que, al ser nuevamente enviado, fué otra vez devuelto, quedando interrumpida la tramitación durante la guerra de liberación.

Transcurrida ésta y reanudadas las actividades de la electrificación, se modificó el antiguo proyecto, que fué aprobado el 10 de marzo de 1943, declarándose sus obras de urgente ejecución por Decreto de 2 de abril del mismo año.

Al proyectar dicha línea se ha procurado que su trazado sea el más corto posible, y de fácil vigilancia, por lo que se ha procurado que, dentro de lo posible, siga el trazado del ferrocarril. Su longitud asciende a 145,548 kilómetros, descompuesta de la manera siguiente (fig. 1.<sup>a</sup>):

Madrid-Las Matas .....	20,777 Km.
Las Matas-Las Zorreras .....	14,828 "
Las Zorreras-Robledo .....	20,445 "
Robledo-Las Navas .....	12,265 "
Las Navas-Navalgrande .....	15,888 "
Navalgrande-Ávila .....	13,572 "
Las Zorreras-Collado Mediano.....	9,960 "
Collado-Tablada .....	8,080 "
Tablada-Otero .....	12,933 "
Otero-Segovia .....	16,800 "

Estas distancias, relativamente cortas entre subestaciones, ha permitido establecer en ellas los aparatos de protección, y, además, considerar innecesarias las transposiciones, que sólo se han hecho en tres trozos: Las Matas-Las Zorreras, Las Navas-Navalgrande y Tablada-Otero, por exigencias del montaje de las subestaciones. Realizándose, como indica la figura 2.<sup>a</sup>, en dos veces, efectuando primeramente una permutación circular, y, posteriormente, un cambio de dos hilos, consiguiéndose así que la disposición 1-2-3 pase a ser 3-2-1.

**Conductores.** — Son cables mixtos de aluminio-acero, como compensación al extraordinario consumo de cobre para línea de contacto.

La fabricación de los mismos es española, siendo suministrados por la "Comercial de Cobre y Metales, S. A.", según destajo aprobado por la Dirección General de Ferrocarriles con fecha 20 de agosto de 1943.

De acuerdo con el esquema de la figura 3.<sup>a</sup>, la sección total utilizada de cable ha sido de 143,4 mm.<sup>2</sup> ó

DISPOSICION GENERAL Y DISTANCIAS KILOMETRICAS.

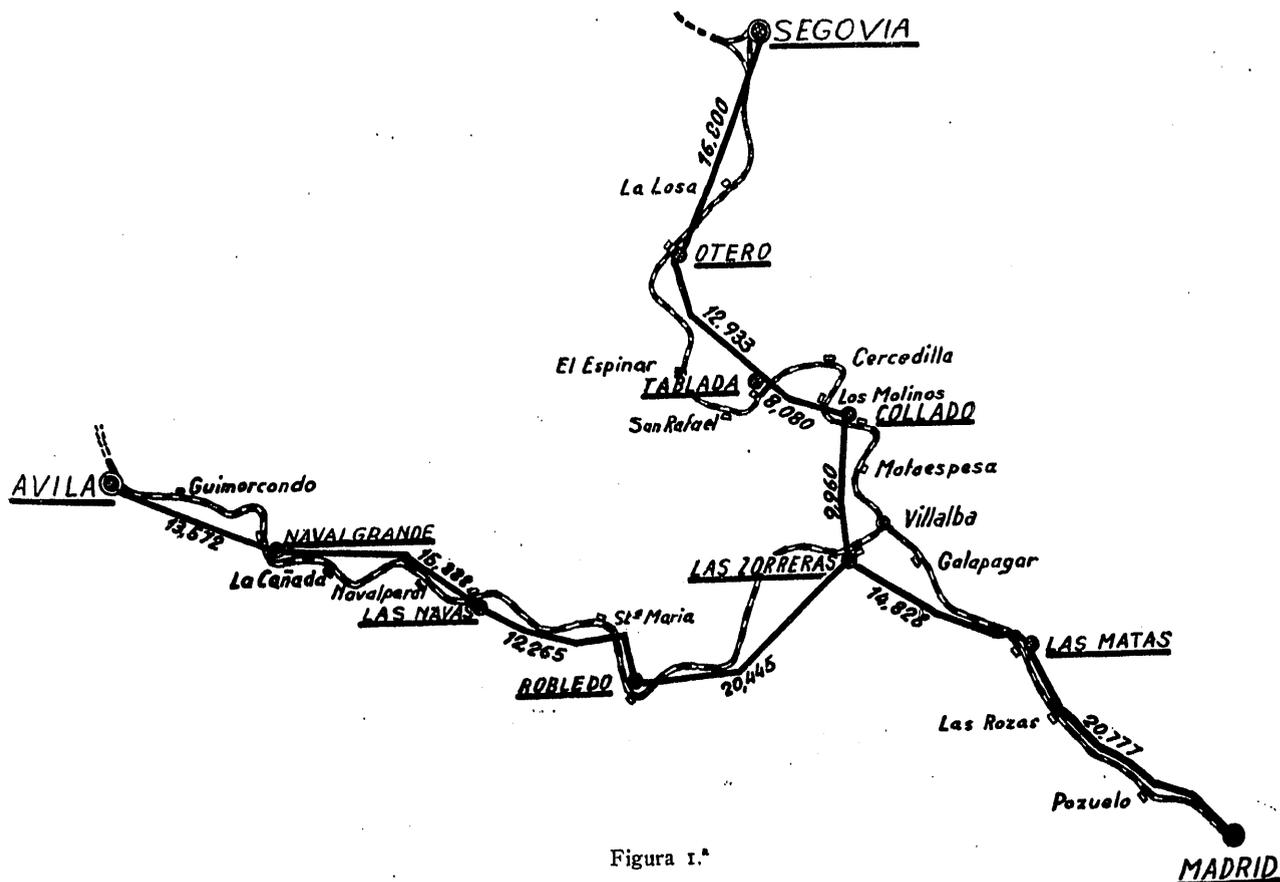


Figura 1.<sup>a</sup>

116,6 m.<sup>2</sup>, con las cuales las caídas de tensión, en régimen normal, es decir, con alimentación en Madrid, Ávila y Otero, calculadas sin tener en cuenta la capacitancia por tratarse de una línea de escasa longitud, y partiendo de que en la subestación receptora más alejada de la alimentación la tensión es 46 000 voltios compuestos (26 560 simples), son las siguientes:

*Alimentación en Madrid:*

Caída de tensión en Las Matas ..... = 1,56 %  
 " " Las Zorreras ..... = 1,94 "

*Alimentación en Avila:*

Caída de tensión en Robledo ..... = 3,48 %  
 " " Las Navas ..... = 3,17 %  
 " " Navalgrande ..... = 2,01 %

*Alimentación en Otero:*

Caída de tensión en Collado ..... = 1,15 %  
 " " Tablada ..... = 0,91 %  
 " " Segovia ..... = 0,84 %

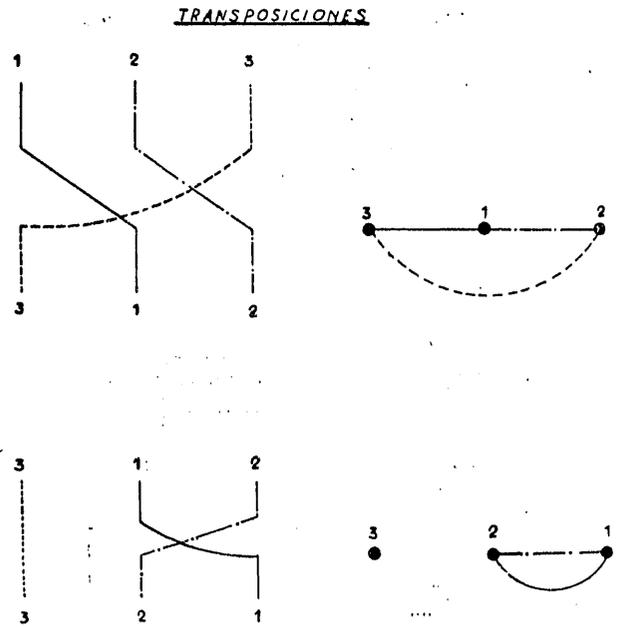


Figura 2.<sup>a</sup>

**LÍNEA EN Y**

ESQUEMA GENERAL DE SECCIONES UTILIZADAS

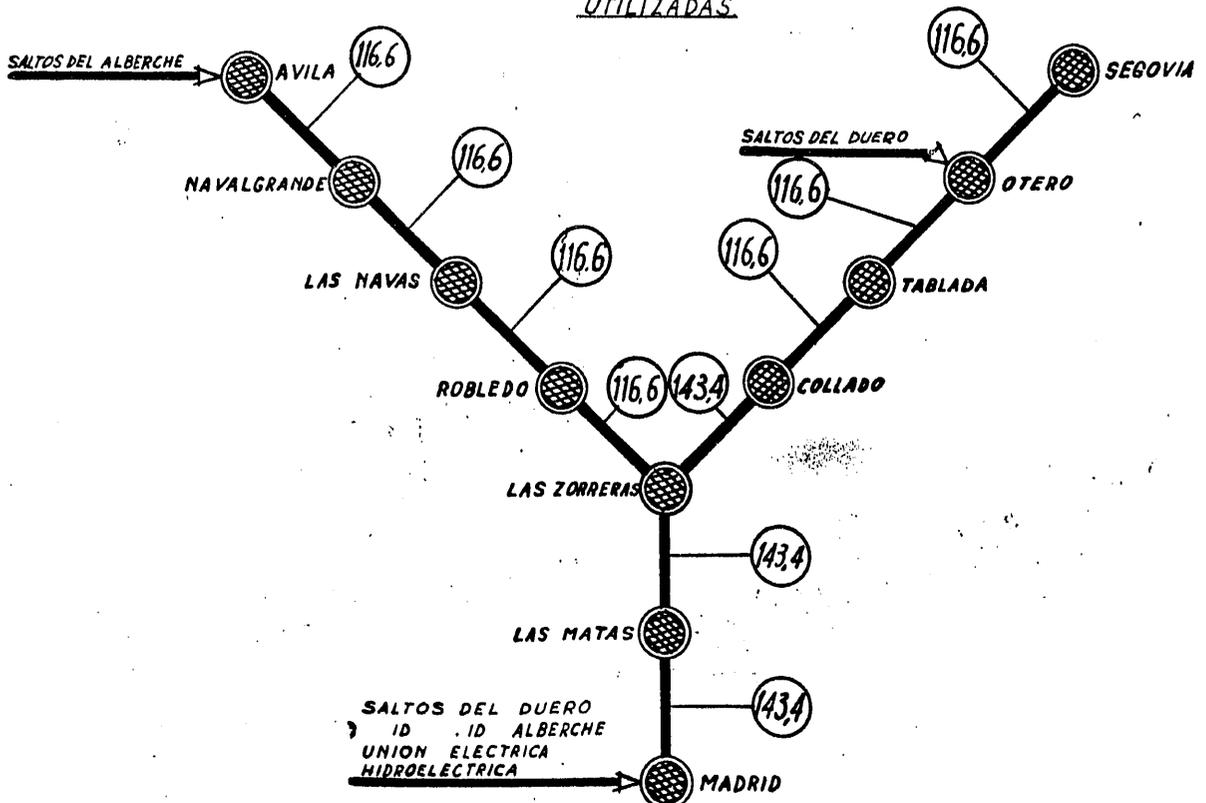


Figura 3.<sup>a</sup>

También se prevé el caso de avería en alguna alimentación, y entonces la caída máxima de tensión es del orden del 13 % para la línea de Ávila, y del 9 % para la de Segovia.

Las características de los cables son las siguientes:

*Cable de 143,4 mm.<sup>2</sup> de sección total:*

Composición:

Alma de acero, formada por 7 hilos de 1,73 mm. $\phi$ .	
Capa de aluminio, formada por 6 hilos de 5,19 mm. $\phi$ .	
Sección de aluminio .....	= 1 26,9 mm. <sup>2</sup> .
Peso total del cable por kilómetro...	= 479,6 Kg.
Peso total del aluminio por kilómetro	= 349,6 "
Carga de rotura total del cable.....	= 3 825 "
Resistencia eléctrica por Km., a 20°.	= 0,227 ohmios.
Conductibilidad media, a 20°, de los hilos de aluminio componentes ...	= 61 %.

*Cable de 116,6 mm.<sup>2</sup> de sección total.*

Composición:

Alma de acero, formada por 7 hilos de 1,56 mm. $\phi$ .	
Capa de aluminio, formada por 6 hilos de 4,68 mm. $\phi$ .	
Sección de aluminio .....	= 103,2 mm. <sup>2</sup> .
Peso total del cable por kilómetro...	= 389,9 Kg.
Peso total del aluminio por kilómetro	= 284,2 "
Carga de rotura total del cable.....	= 3 110 "
Resistencia eléctrica por Km., a 20°.	= 0,279 ohmios.
Conductibilidad media, a 20°, de los hilos de aluminio componentes ...	= 61 %.

Con dichas características y considerando un coeficiente de seguridad 2,5 para los trozos Madrid-Zorreras, Zorreras-Las Navas y Zorreras-Tablada, y un coeficiente 3 para los de los puertos Navas-Ávila y Tablada-Segovia, se ha calculado la colocación de postes aproximando la separación de los mismos a vanos de 200 m., en el primer caso, y de 150 m., en el segundo.

En cuanto a separación de conductores, se ha utilizado la fórmula:  $d = 0,75 \sqrt{f + \frac{v^2}{20\,000}}$ , siendo  $f$  la

flecha y  $v$  la tensión, que con los vanos medios anteriores y aun hasta longitudes de 300 m., hace admisible la separación de 2,5 m. admitida. En sólo tres casos de vanos mayores hemos considerado insuficiente tal separación y hemos logrado una separación doble por la colocación en dos postes, formando uno doble mediante una cruceta especial.

Para el total de la línea se han considerado necesarios 67 815 Kg. de cable de 143,4 mm.<sup>2</sup> y 123 989 de cable de 116,6, que son suministrados en bobinas de 1 500 m. por término medio, lo que origina la utilización de manguitos de empalme. Los utilizados son del tipo Joint-Union, compuestos de dos: uno de acero y otro de aluminio, y que efectúan su misión por aplastamiento sobre el material correspondiente, al ser estirados por medio de una hilerera. Los hay de dos tamaños para los diámetros de 15,57 y 14,4 mm. en los dos tipos de cable, y después de ser vencidas algunas dificultades iniciales por la excepcional calidad del material siderúrgico preciso, que debe tener una

**PINZA DE SUSPENSION**

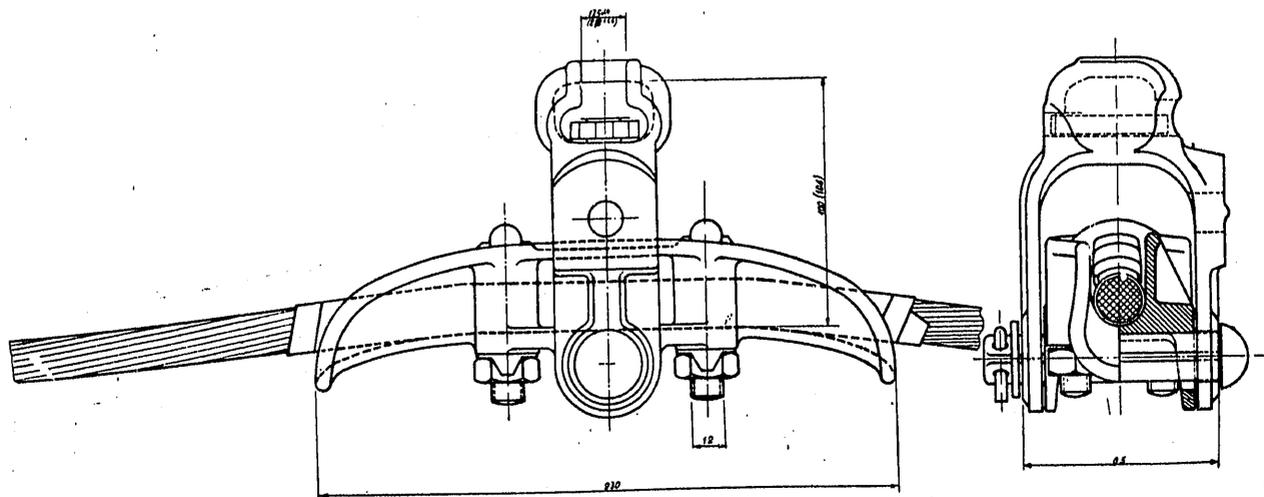
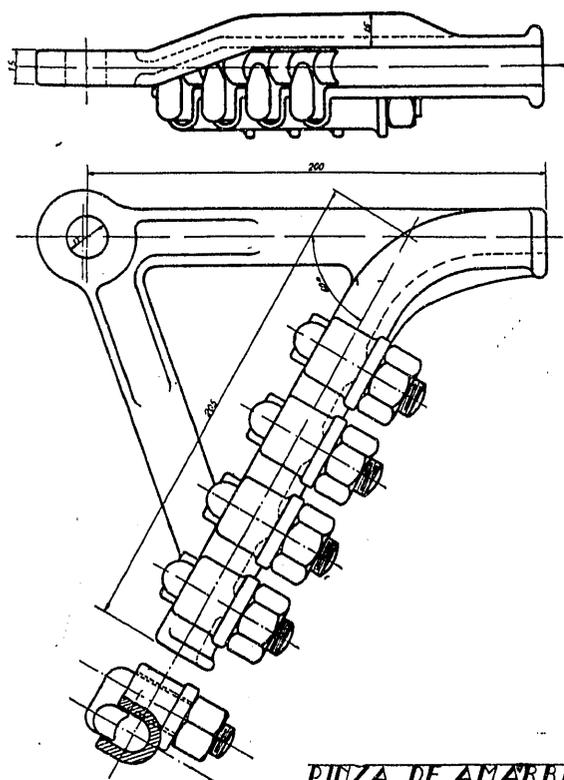


Figura 4.<sup>a</sup>



**PINZA DE AMARRE**

Figura 5.ª

resistencia en recocido de 50 Kg./mm.<sup>2</sup> y un alargamiento de 12 a 17 por 100, han dado un resultado excelente, tanto los colocados en obra como los ensayados, en los cuales la rotura se ha producido en el hilo, sin que sufriera la unión.

*Herrajes y accesorios.* — Para su suministro se celebró un concurso, adjudicándose los distintos ele-

mentos de la manera que a continuación se detalla, aprobada oficialmente el 29 de diciembre de 1943:

Anillos de suspensión:

3 200 piezas, Casa Norden, de Dinamarca.

Aisladores:

6 200 piezas, tipo "Hescho", a Walter Waggener, concesionario de los productos Hermsdorf-Schouburg y Hoffmann, de Alemania.

1 000 piezas, Casa Norden.

4 870 piezas, Manufacturas Cerámicas, S. A.

Pinzas de suspensión:

2 600 piezas, a Walter Waggener.

650 piezas, a Talleres Olma.

Pinzas de anclaje:

600 piezas, a Casa Norden.

500 piezas, a Talleres Olma.

**AISIADOR**

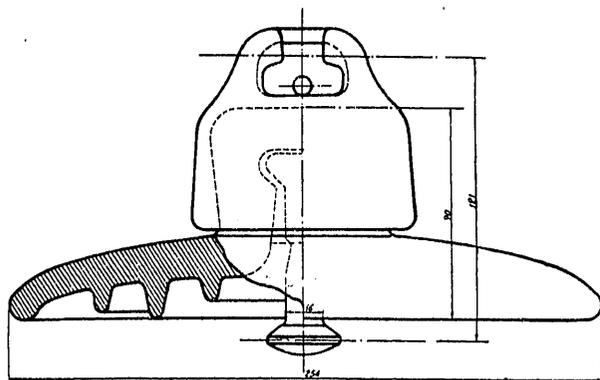


Figura 6.ª

Tipo del poste	Anclajes	Cuerpo inferior	Cuerpo 2.ª	Cabeza
Alineación .....	L 80 × 80 × 8	L 75 × 75 × 8 L 40 × 40 × 4 L 40 × 40 × 6	L 75 × 75 × 8 L 40 × 40 × 6 pletina 30 × 6	L 60 × 60 × 6 L 40 × 40 × 6 └ de 80
Anclaje .....	L 80 × 80 × 8	L 90 × 90 × 9 L 40 × 40 × 4 L 40 × 40 × 6	L 90 × 90 × 9 L 40 × 40 × 6 pletina 30 × 6	L 70 × 70 × 7 L 40 × 40 × 6 └ de 80
Ángulo .....	L 80 × 80 × 8	L 100 × 100 × 10 L 40 × 40 × 4 L 50 × 50 × 7	L 100 × 100 × 10 L 50 × 50 × 7 pletina 40 × 6	L 70 × 70 × 7 L 40 × 40 × 6 └ de 80
Final .....	L 120 × 120 × 11	L 120 × 120 × 11 L 40 × 40 × 4 L 50 × 50 × 7	L 120 × 120 × 11 L 50 × 50 × 7 pletina 40 × 6	L 80 × 80 × 8 L 40 × 40 × 6 └ de 80

Mejor que una descripción detallada de las piezas, hemos considerado la inclusión de las figuras 4.<sup>a</sup> y 5.<sup>a</sup>, que representan las pinzas de suspensión y amarre, respectivamente, de procedencia extranjera, fabricadas en fundición de extraordinaria calidad.

En cuanto a los aisladores, la figura 6.<sup>a</sup> da una idea de las dimensiones de los mismos, análogas en las tres casas suministradoras, y sus características especiales van detalladas a continuación:

Aisladores Hescho, tipo colgante, badajo tipo americano, unido con anillos elásticos:

Resistencia mecánica .....	5 500	Kg.
Peso de una pieza.....	3,85	"
Salto de chispa en seco. {	1 elemento.....	= 70 Kv.
	2 " .....	= 120 "
	3 " .....	= 170 "
Idem bajo lluvia .....	1 elemento.....	= 45 Kv.
	2 " .....	= 95 "
	3 " .....	= 145 "
Longitud de la cadena de 3 elementos.....	= 558 mm.	

Aislador Holocon, de la Casa Norden:

Resistencia a rotura.....	7 500	Kg.
" mecánica asegurada...	5 500	"
Peso de una pieza.....	4,1	"
Salto de chispa en seco. {	1 elemento.....	= 75 Kv.
	2 " .....	= 125 "
	3 " .....	= 170 "
Idem bajo lluvia .....	1 elemento.....	= 40 Kv.
	2 " .....	= 85 "
	3 " .....	= 125 "
Longitud de la cadena de 3 elementos.....	= 572 mm.	

Aislador modelo 2 222, de Manufacturas Cerámicas, S. A.:

Resistencia a rotura.....	6 000	Kg.
Peso de una pieza.....	5,3	"
Tensión de formación del arco en seco.....	90	K.
Idem id. (3 elementos).....	210	"
Idem bajo lluvia .....	75	"
Idem id. (3 elementos).....	165	"

Resumiendo: la cadena de suspensión se compone de estribo, anillo de suspensión, aisladores y pinza.

Postes. — Son metálicos y están clasificados en 4 tipos: alineación, anclaje, ángulo y final de línea, utilizándose el primero con cadena vertical de 3 elementos, y los tres restantes con pinza de amarre y cadena horizontal de 4 aisladores.

Como indica la figura 7.<sup>a</sup>, constan de tres cuerpos,

que se enlazan entre sí y a los anclajes por tornillos, mientras que las uniones dentro de cada cuerpo se hacen por soldadura.

En el cuadro de la página anterior especificamos los tipos de perfiles utilizados en los distintos postes. Los postes de alineación se utilizan en vanos hasta

**POSTE NORMAL DE ALINEACION**

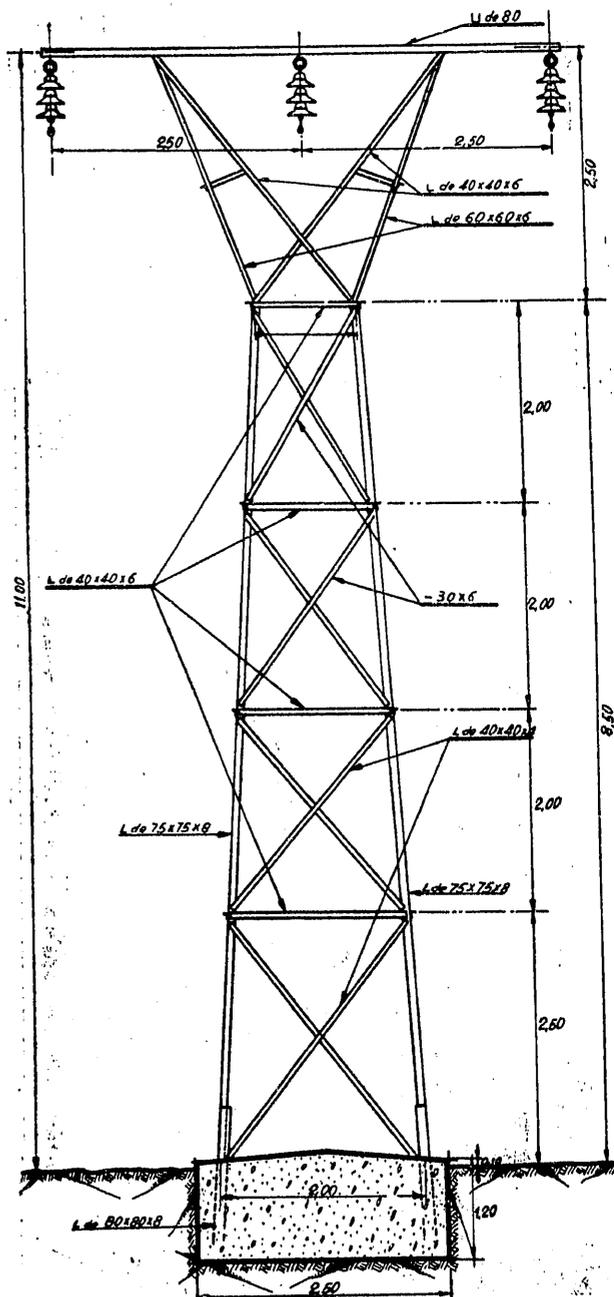
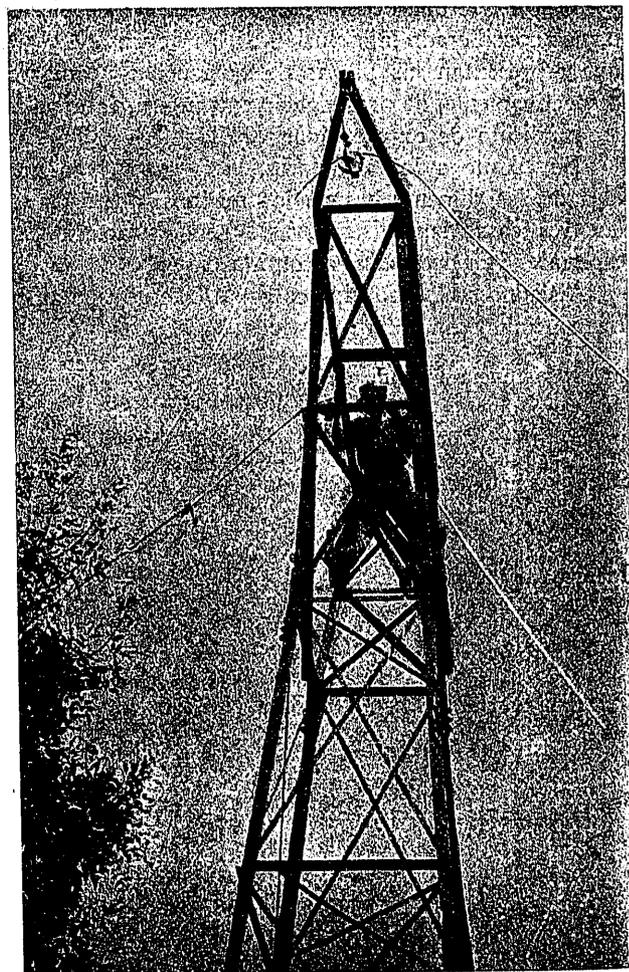


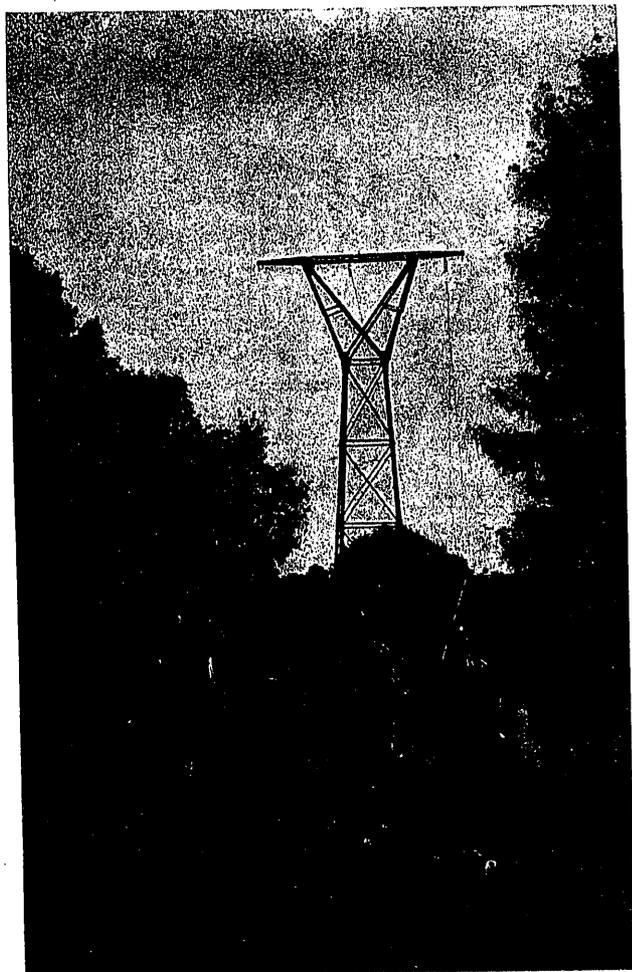
Figura 7.<sup>a</sup>



Tren de acopio de postes.



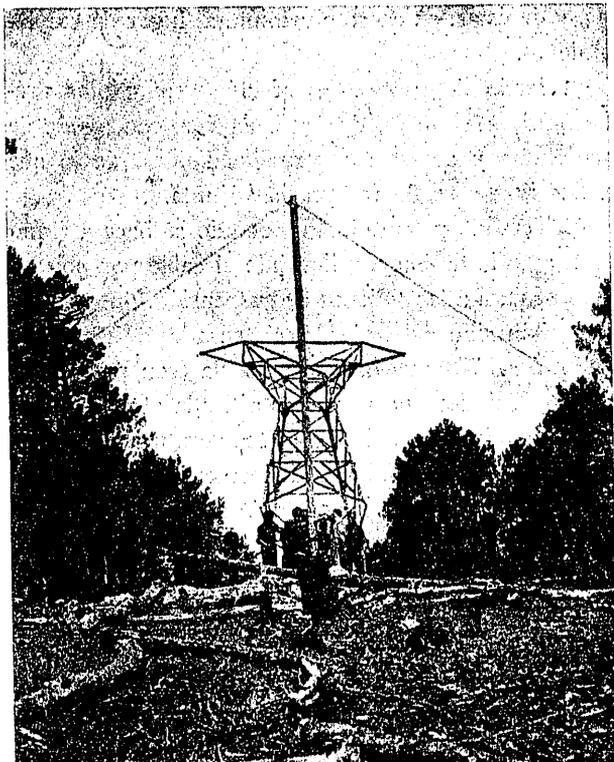
Tendido del cable.



Tendiendo el cable.



Preparativos para el izado.



Izado de un poste.

200 m. y ángulos menores de 3°; los de anclaje, en vanos hasta 350 m. y cruces de carreteras; los de ángulo, para ángulos comprendidos entre 3 y 24°, y los de final de línea, en los puntos cuyo nombre indica y en ángulos mayores de 24°. Como antes indicamos, mantenemos el tipo de poste hasta vanos de 350 m., y para los mayores, colocamos dos postes unidos por una cruceta especial de L de 120.

A continuación exponemos un cuadro con el número de postes precisos en los diferentes trayectos, clasificados por tipos:

TRAYECTO	Alineación	Anclaje	Ángulo	Final	TOTAL
Madrid-Las Matas . . .	101	14	9	5	129
Las Matas-Las Zorreras	54	19	12	4	89
Las Zorreras-Robledo.	85	26	5	3	119
Robledo-Las Navas . .	45	15	17	3	80
Las Navas-Navalgrande	86	16	6	13	121
Navalgrande-Ávila . .	72	15	3	8	98
Las Zorreras-Collado .	46	4	3	5	58
Collado-Tablada . . .	35	7	6	3	51
Tablada-Otero . . . .	74	16	5	3	98
Otero-Segovia . . . .	84	12	6	6	108
<b>TOTAL . . .</b>	<b>682</b>	<b>144</b>	<b>72</b>	<b>53</b>	<b>951</b>

Este total de 951 postes supone unas 1 200 toneladas de material siderúrgico, ya que el peso de los postes de alineación, sin anclajes, es del orden de 1 044 Kg.; el de los de anclaje, 1 253 Kg.; el de los de ángulo, 1 497 Kg., y el de los de final, 1 777 Kg.

Para el cálculo de los postes se han adoptado, dada la misión de la línea, coeficientes de seguridad y normas de cálculo del mayor rigor; así se ha tenido en cuenta, en parte, el proyecto de Reglamento publicado en la *Gaceta* de 10 de agosto de 1931, completándolo con el Reglamento italiano. En su virtud, se han tenido en cuenta, por una parte, las condiciones normales de trabajo del poste (viento y demás circunstancias que se tuvieron en cuenta para el cálculo de conductores), y por otra, añadir a estas condiciones los esfuerzos producidos por una carga longitudinal igual a un tercio de la tensión de todos los conductores. En la primera hipótesis, con coeficiente de trabajo reducido, y en la segunda, que sólo se verifica en el caso de la rotura improbable de algún conductor, se ha



Vista general de uno de los postes.

suavizado el criterio aumentando los coeficientes de trabajo unitario; así, en la primera hipótesis el coeficiente adoptado es el de 3, y en la segunda, 1,5.

*Montaje.* — Es efectuado por la "Sociedad Española de Montajes Industriales", por concurso aprobado en 18 de noviembre de 1943.

A continuación reseñamos las distintas unidades de obra de que consta el contrato con dicha Sociedad, que es tanto como indicar las operaciones necesarias para el mismo.

1. Replanteo y estaquillado para la colocación de los postes. Afecta a los 145,548 Km., longitud total de la línea.

2. Excavación de los hoyos para los postes. Se hace a mano, y el volumen ascenderá, aproximadamente, a 9 500 m.<sup>3</sup>.

3. Hormigonado de las cimentaciones de los postes. Se hace a mano, colocando con plantilla los anclajes para la sujeción de los postes. El volumen de hormigón ascenderá, aproximadamente, a 11 000 m.<sup>3</sup>.

4. Acopio de postes. Se hace en ferrocarril hasta la estación más próxima, formando verdaderos trenes de postes, como indica una de las fotografías inclu-

das, y de éstas, en carro o camión, al lugar de emplazamiento.

5. Izado de postes. Se efectúa armándolos previamente en el suelo, de una sola vez, con ayuda de una pluma y accesorios correspondientes, de lo que da una idea clara la fotografía adjunta.

6. Tendido y tensado. El tendido se hace a mano o con auxilio de bueyes, llevando el cable por poleas; luego se pasa a las cadenas de suspensión, que previamente han sido colocadas, y el tensado se hace obligando al cable tenga la flecha debida (con reglones y banderas), flecha que viene especificada al capataz en cuadros en función del vano y temperatura ambiente. La operación se hace simultáneamente en los vanos comprendidos entre dos postes de amarre.

7. Colocación de tomas de tierra. Ya que está prevista la puesta a tierra de todos los postes.

8. Pintura. Que se realiza con pintura de aluminio.

Para terminar, puede señalarse que si bien el presupuesto aprobado asciende a 5 926 000 pesetas, habrá que incrementar esta cifra por estar en estudio algunas modificaciones de precios, y de dicho total, sólo el 6 por 100 es de origen extranjero, fabricándose ya en España parte de los materiales comprendidos en ese tanto por ciento.

# LA ELECTRIFICACIÓN MADRID-ÁVILA Y VILLALBA-SEGOVIA

Por JUAN M. OLIVARES GATELL, Ingeniero de Caminos.

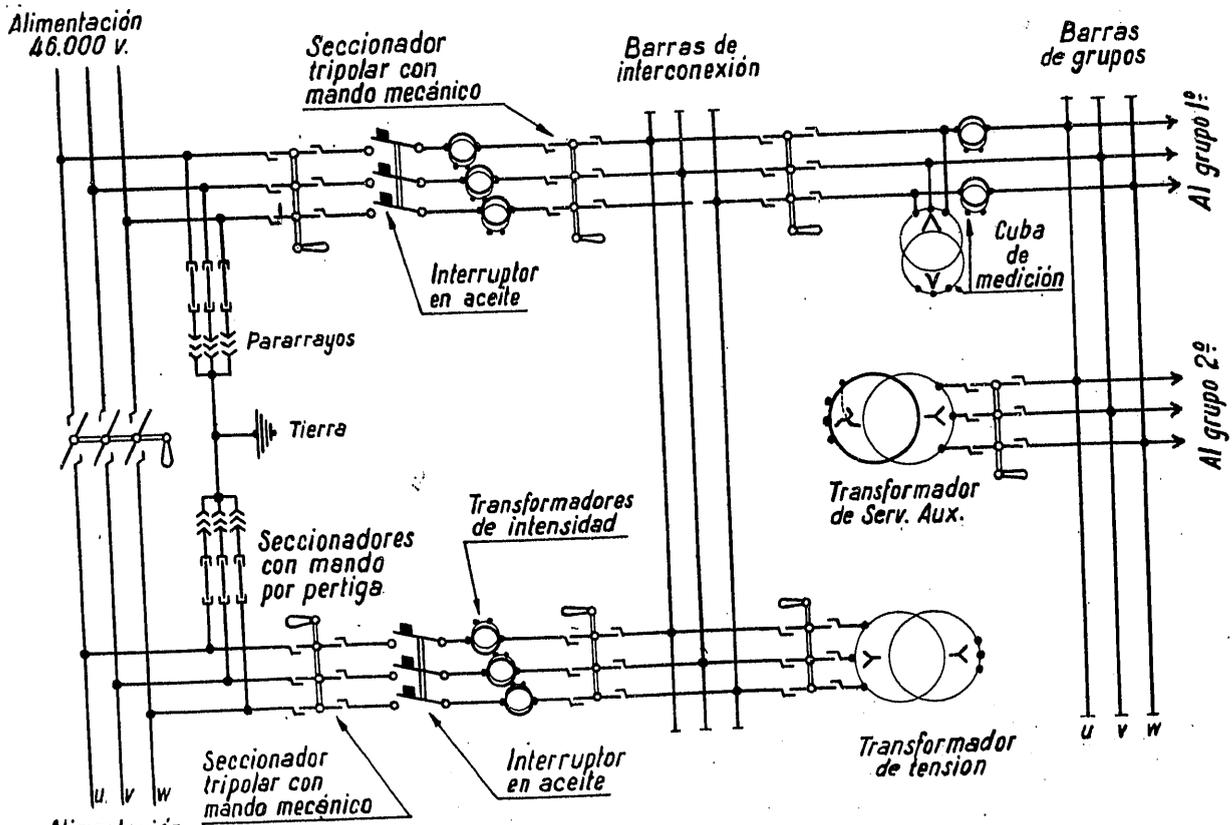
*Continuamos la completa descripción que venimos haciendo de la importante obra de ingeniería que se reseña en el epígrafe, en la que varios compañeros nuestros que han intervenido en la construcción, redactan los correspondientes artículos; y así, pasamos a continuación a presentar las particularidades más interesantes de las subestaciones.*

## VI. - LAS SUBESTACIONES.

En todas las subestaciones convertidoras de la electrificación Madrid-Avila-Segovia, existen dos partes bien diferenciadas, tanto por su aspecto como por su función eléctrica: el puesto exterior y el equipo del interior del edificio. En aquél se reúnen todos los aparatos y conexiones a 46 000 voltios, mientras que en el interior de la subestación no existen tensiones superiores a la de la línea de contacto.

Entre las once subestaciones, que se hallan distri-

buidas a lo largo de las líneas electrificadas, hay diferencias más o menos considerables de unas a otras. Algunos puestos exteriores se distinguen notablemente de los demás por su función especial — por ejemplo, el de Las Zorreras, como punto común de las tres ramas de la línea “en Y”, o de alimentación —, y en otros sólo hay pequeños detalles de disposición que varían de unos a otros. En los interiores de edificio no existe más diferencia, desde el



Esquema núm. 1.—Conexiones del puesto exterior hasta las barras del grupo.

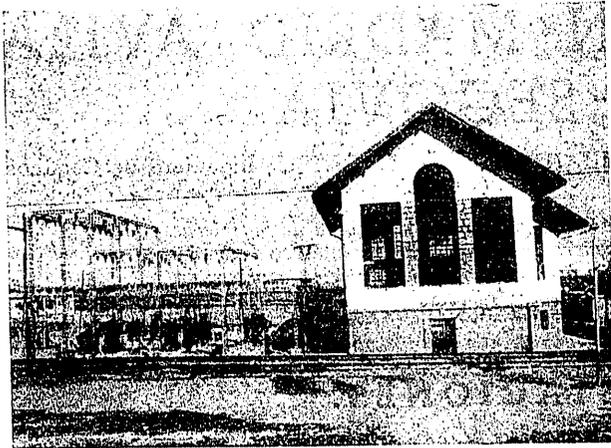


Fig. 1.ª — Vista general de la subestación.

punto de vista eléctrico, que el número variable de salidas de *feeder*; todo lo demás son variaciones en la disposición. Los cuadros, claro está, se diferencian tanto por el número de llegadas de alta tensión como por el de salidas de *feeder*.

En el presente artículo nos limitaremos a describir el tipo más general de subestación, al que se ajustan las de Las Matas, Robledo, Las Navas, Navalgrande, Collado Mediano, Tablada y, con pequeñas variaciones, Segovia. La de Las Zorreras se distingue por la razón dicha, y las de Madrid, Avila y Otero, por ser puntos de llegada de la energía a la línea "en Y".

En el puesto exterior, la disposición de los aparatos sobre el terreno corresponde casi exactamente a su situación en el esquema eléctrico (esquema nú-

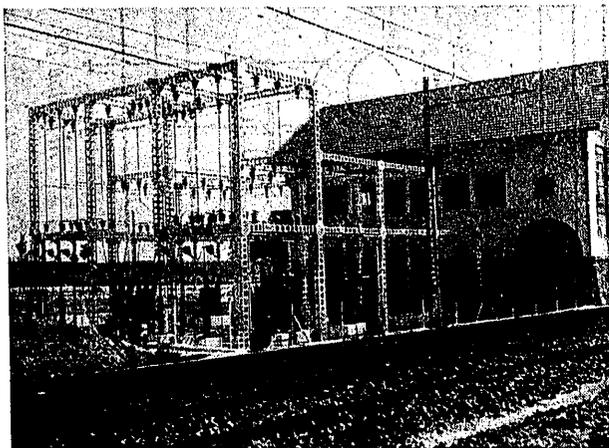


Fig. 2.ª — Vista de la subestación por el lado del puesto exterior.

mero 1). No sucede lo mismo en el interior, donde la disposición del edificio en dos plantas y el obligado aprovechamiento del espacio han exigido conexiones eléctricas menos directas.

La función de una subestación convertidora es, como se sabe, transformar la corriente alterna de alta tensión, que suministra la central hidroeléctrica, en corriente de las características adecuadas para la alimentación, a través de la línea de contacto, de los motores de las locomotoras eléctricas y automotores. En el presente caso, las centrales suministradoras son varias, proporcionando todas ellas corriente trifásica a 46 000 voltios 50 periodos, y la corriente que necesita el material tractor es continua y a 1 500 voltios. Ahora bien: como se cuenta con una



Fig. 3.ª — Vista de la subestación por el lado de la fachada de salida de continua.

caída media de un 10 por 100 en la línea de contacto, la tensión en barras de la subestación ha de ser de 1 650 voltios.

Esta función convertidora se lleva a cabo, principalmente, por los dos elementos más importantes de cada grupo: el transformador de potencia, que rebaja la tensión trifásica de 46 000 voltios a la precisa para la alimentación de las máquinas, y la conmutatriz, que convierte la corriente que recibe del transformador anterior en corriente continua a la tensión requerida. El resto del equipo está constituido por una serie de elementos de distribución, protección y control.

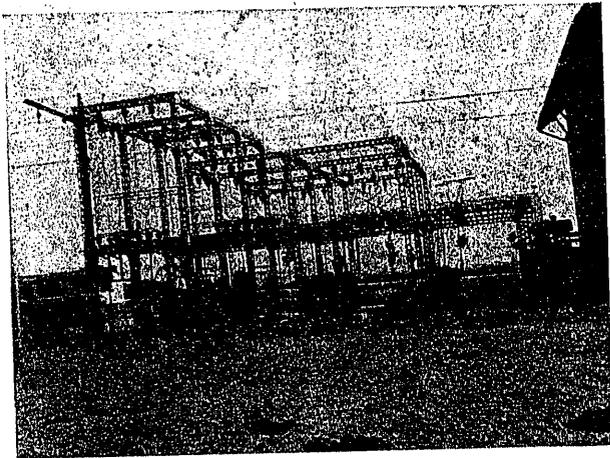


Fig. 4.ª — Puesto exterior.

### Puesto exterior.

Sobre el esquema núm. 1 vamos a describir sucintamente los elementos del puesto exterior y su instalación.

Las conexiones del mismo se han realizado con tubo de cobre, suspendido de la estructura metálica mediante aisladores adecuados y realizando las uniones con piezas de latón de diversas formas, según su misión.

Como elementos más sencillos de la instalación están los seccionadores. Los hay unipolares, con mando por pértiga, en las bajadas a los pararrayos, y tripolares, con mando mecánico a distancia, repartidos en todo el puesto exterior. Estos seccionadores permiten aislar elementos o conjuntos de las conexiones bajo tensión para realizar alguna intervención en ellos, o, en algún caso, pueden intervenir en la conexión eléctrica de funcionamiento. Por ejemplo: el seccionador de paso que aparece abierto en el esquema número 1, está normalmente en esta posición, y, al cerrarse, puede establecer directamente la continuidad de la línea de alimentación, sin la intervención de los interruptores en aceite, que normalmente la llevan a cabo a través de las barras de interconexión.

En el frente del puesto exterior más alejado del edificio de la subestación, se hallan dos pararrayos tripolares de alta tensión, conectados directamente, como puede verse en el esquema, a la entrada de cada alimentación, con la sola interposición de los seccionadores unipolares a que nos hemos referido antes. Estos aparatos protegen las instalaciones de la subestación contra las sobretensiones de origen atmos-

férico que pudieran llegar a ella al descargar sobre la línea de alimentación. Están previstos para red con neutro a tierra, lo que exige esta disposición en la línea "en Y". La tierra precisa para los pararrayos se consigue en pozos especialmente dispuestos para este objeto, con las mejores garantías de un contacto con el suelo eléctricamente eficaz.

Al acercarnos al edificio de la subestación encontramos, en primer lugar, dos interruptores en aceite que, según podemos ver en el esquema, permiten la conexión de cada una de las llegadas con las barras de interconexión, estableciendo a través de ellas la continuidad de la línea de alimentación y dejando paso a la energía que necesita la subestación, o simplemente esto último desde una sola de las llegadas. La posición de estos interruptores ha de estar relacionada con los de las demás subestaciones, ya que, por medio de ellos, queda limitada la zona servida por cada una de las tres hidroeléctricas que suministran la energía, o incluso se puede establecer la interconexión de las mismas a través de la línea "en Y".

El accionamiento de los interruptores a que nos referimos se realiza eléctricamente, por un aparato de maniobra constituido por un potente electroimán que, al ser excitado, mueve directamente el eje de accionamiento del interruptor; la bobina de este electroimán se alimenta con corriente continua a 115 voltios, que se tomó de la fuente general de esta clase de corriente de que se dispone en la subestación para todos los servicios auxiliares. Como quiera que este electroimán absorbe intensidades muy grandes en el momento de excitarse, sólo se interpone en su circuito un contador auxiliar, incluido en el mismo aparato de maniobra, que cierra o abre aquél y que es accionado, a su vez, por un segundo electroimán,

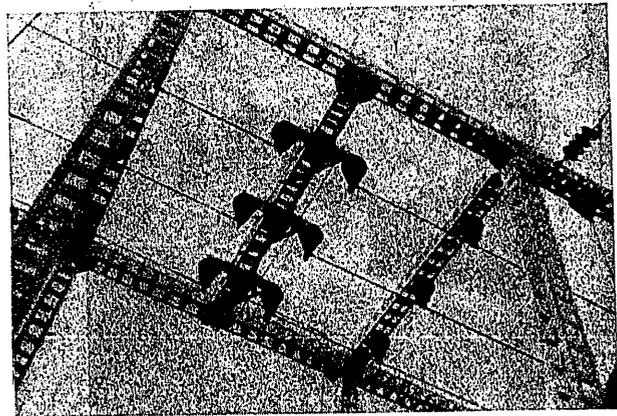


Fig. 5.ª — Seccionador tripolar de 46.000 voltios (abierto).

cuya bobina toma una intensidad pequeña que puede hacerse pasar sin peligro por todos los contactos auxiliares que convienen a la seguridad y prevención de falsas maniobras; entre éstos se incluye el de mando, situado en el conmutador correspondiente del panel, y que es el que produce el funcionamiento del aparato de maniobra cuando se trata de cerrar el interruptor.

El electroimán principal no ha de permanecer excitado una vez que se ha cerrado completamente el interruptor, ya que entonces se mantiene en la posición final gracias a un pestillo de fin de carrera; por ello, entre los contactos insertados en el circuito de la bobina auxiliar, se encuentra uno, del mismo aparato de maniobra, que se abre al completarse el cierre del interruptor y da lugar a la apertura del contacto auxiliar y la interrupción de la corriente en el electroimán principal. Este mismo contacto previene la falsa maniobra de intentar cerrar el interruptor estando ya cerrado.

Para abrir el interruptor existe un tercer electroimán que desengancha el pestillo de fin de carrera al ser alimentado; en su circuito se inserta un contacto que sólo está cerrado cuando lo está el interruptor, evitando la falsa maniobra al mismo tiempo que impide que la corriente continúe circulando por la

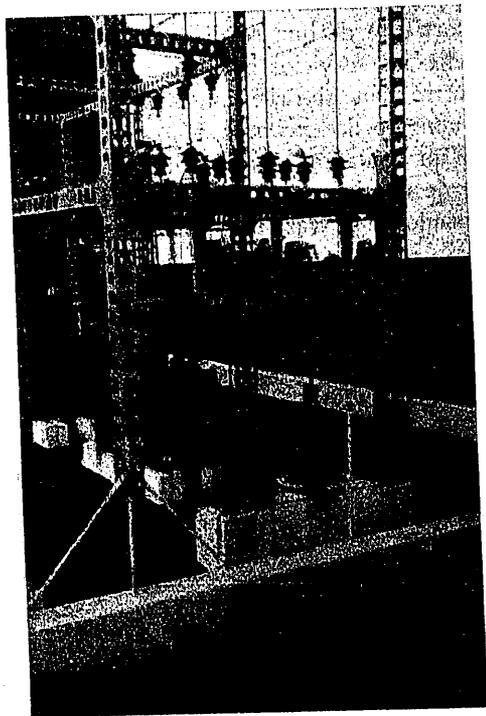


Fig. 6.<sup>a</sup> — Pararrayos tripolar de alta tensión.



Fig. 7.<sup>a</sup> — Interruptor en aceite y grupo de tres transformadores de intensidad.

bobina de desenganche una vez producido el efecto. Exteriormente se cierra este circuito por el contacto correspondiente del conmutador del panel, o por alguno de los contactos de seguridad que producen la desconexión automática del interruptor en caso de presentarse alguna circunstancia anómala.

Más allá de cada interruptor se halla un grupo de tres transformadores de intensidad, cuya misión es actuar sobre los interruptores anteriores, a través de los correspondientes relés de sobrecarga, para proteger la línea de alimentación. La función conjunta de los diversos interruptores de línea de las distintas subestaciones exige ciertas características de selectividad en esta protección, que la diferencian notablemente de las que existen en la misma subestación. No nos vamos a referir a ella por poder considerarse en cierto modo, independiente de la subestación en sí.

De los anteriores transformadores de intensidad pasamos ya a las barras de interconexión a través de un seccionador tripolar con accionamiento mecánico que, con el que se encuentra antes del interruptor de línea, permite aislar el conjunto de interruptor y grupo de transformadores de las conexiones bajo tensión para poder manipular libremente en ellos, en caso de avería o revisión.

De las barras de interconexión se alimenta, también con su correspondiente seccionador, un grupo de tres transformadores monofásicos de tensión, en cuba común, cuyo efecto recae sobre la protección de la línea de alimentación antes citada; su conexión es estrella-estrella, y la relación de tensiones, 46 000/100 voltios.

Por el otro lado de las barras de interconexión

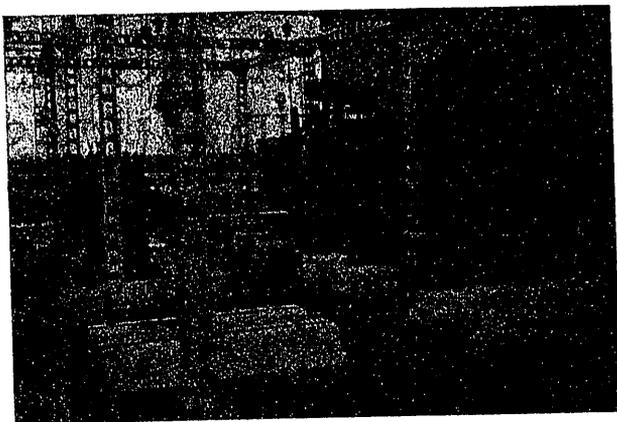


Fig. 8.ª — Interruptores y transformadores de grupo.

se toma la energía que necesita la subestación, a través de un seccionador, y haciéndola pasar por una cuba de medición, compuesta por dos transformadores de intensidad y dos de tensión para alimentar los aparatos de medida del papel de medición. Son éstos: cuatro contadores para medir energías activas y reactivas, consumidas y recuperadas; un vatímetro registrador y un voltímetro y un fasímetro, también registradores.

Y nos encontramos en las barras de grupo, donde la energía, ya medida y controlada, pasa a los grupos convertidores, que la disponen para ser utilizada por el material tractor.

Antes de describir uno de dichos grupos, y para no dejarnos nada atrás en el puesto exterior, citaremos el transformador de servicios auxiliares, que se encuentra entre el de tensión y la cuba de medición últimamente citados, y que, alimentándose de las mismas barras de grupos a 46 000 voltios, suministra corriente a 200 voltios para todos los servicios auxiliares, que la emplean en forma alterna, así como para el motor del grupo de carga que produce la corriente continua que en otros casos es requerida. Este transformador tiene una potencia de 30 KVA. y una relación de transformación de 46 000/200-115 voltios, y un dispositivo de conmutación en alta, aná-

logo al que luego citamos al referirnos a los transformadores principales.

Al otro lado de las barras de grupo se encuentran dos interruptores, en todo análogos a los ya descritos, salvo que llevan además, dentro de los tres aisladores de entrada y uno de los de salida, cuatro transformadores de paso o *bushings*, cuya misión veremos más adelante.

Detrás de los interruptores se hallan los transformadores principales, de 1 620 KVA. cada uno, cuya descripción hacemos al referirnos a las conexiones del lado alterna de los grupos. A uno de los lados queda espacio para la colocación de un tercer transformador de potencia, precedido de su interruptor correspondiente, y que constituirían, con las máquinas y demás aparatos que también tienen su sitio previsto en el interior del edificio, el tercer grupo que se prevé como futura ampliación. En el esquema núm. 1 sólo se han representado las conexiones del puesto exterior hasta las barras de grupo, por lo que no aparecen en él los interruptores y transformadores de potencia que corresponden ya a los grupos.

(Continuará.)

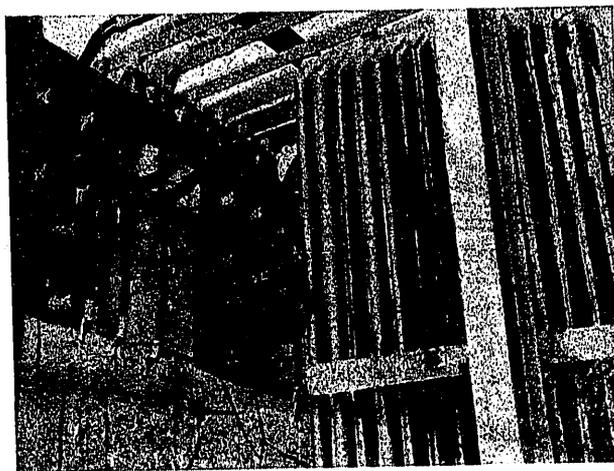


Fig. 9.ª — Salidas de baja tensión del transformador principal y paramuros de entrada en el edificio.

# LA ELECTRIFICACION MADRID - AVILA Y VILLALBA - SEGOVIA

Por JUAN M. OLIVARES GATELL, Ingeniero de Caminos.

*Continúa el detalle de la descripción de las subestaciones de esta importante electrificación, que iniciamos en nuestro número anterior.*

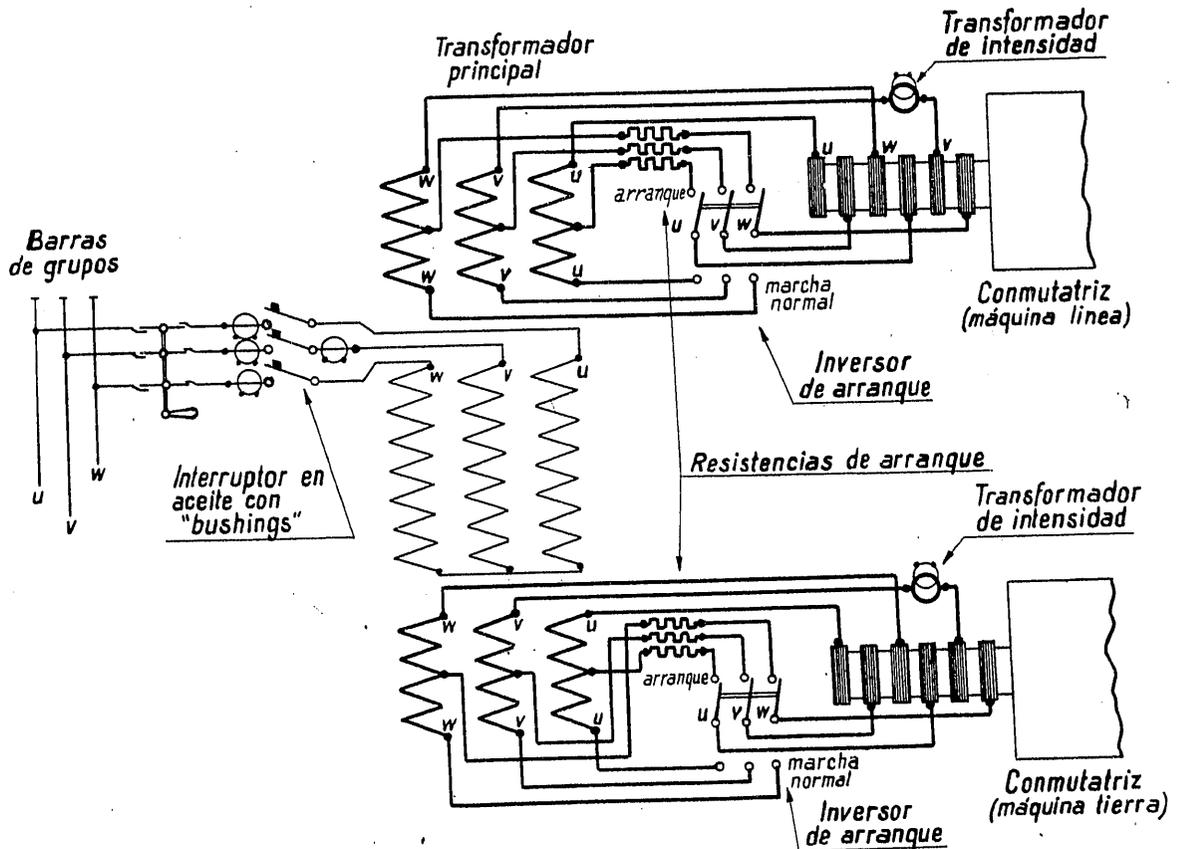
## VII. - LAS SUBESTACIONES

### Grupos, lado alterna.

Los dos grupos convertidores que existen en cualquiera de las subestaciones de Madrid-Ávila-Segovia, así como el de futura ampliación, tienen eléctricamente idéntica disposición, y están previstos, como es lógico, para trabajar en paralelo. Vamos a describir uno de ellos, cuyo esquema hemos dividido en dos partes: el esquema número 2 representa las conexiones del lado corriente alterna de grupo; mientras que el

número 3 corresponde a las conexiones del lado corriente continua.

En el primero de dichos esquemas se ha representado una parte de las barras de grupo para enlazar con el esquema núm. 1 (véase el artículo anterior sobre este tema). El interruptor con bushings, ya citado, se alimenta desde las mismas a través de un seccionador tripolar con mando mecánico y deja paso a la energía al transformador de potencia representado en el esquema con todos sus arrollamientos.



Esquema núm. 2. — Conexiones de un grupo por su lado corriente alterna.

El interruptor de grupo lleva un aparato de maniobra idéntico al descrito al hablar de los de línea. Sus circuitos de control se han dispuesto de modo que sólo puede cerrarse cuando el inversor de arranque esté en la posición "arranque", y las escobillas del lado corriente continua de las máquinas, levantadas. Para ello existen los correspondientes contactos, en serie en el circuito que produce el cierre, que sólo están cerrados cuando se cumplen las condiciones dichas.

También el circuito de apertura o desenganche comprende una serie de contactos, en paralelo con el que produce el desenganche voluntario, para producirlo automáticamente en cualquiera de los casos siguientes:

Cuando falta tensión alterna en las barras de grupo.

Cuando funciona — por sobreintensidad en cualquiera de las fases — el relé de intensidad que se halla en la parte baja del panel de grupo, y que está alimentado por los tres *bushings* de los pasamuros de entrada del interruptor. Este relé es visible desde la parte delantera del panel para comprobar fácilmente su regulación.

Cuando actúa el relé Buchholz del transformador principal.

Al funcionar el relé *antiflash* de alguna de las dos máquinas.

El transformador principal tiene, como puede verse en el esquema, el primario en estrella y el secundario doble exafásico independiente con tomas a media tensión. La tensión entre fases, en alta, es de 46 000 voltios, existiendo, además, un conmutador sobre el primario que permite ajustarlo para cuatro tensiones más bajas, hasta 40 480 voltios. La tensión exafásica del secundario es de 620 voltios.

Sobre el transformador se halla un depósito de expansión de gases con un relé Buchholz, intercalado en su unión con la cuba, que actúa al producirse gases en el aceite o al descender el nivel de éste por alguna fuga o avería, haciendo funcionar la señal de alarma o motivando el disparo automático del interruptor, según la importancia y duración de la avería. Hay también un termómetro que hace funcionar la señal de alarma al sobrepasar cierto límite la temperatura del aceite.

De las 18 salidas de secundario que tiene el transformador de potencia parten otras tantas barras, que se unen en su extremo, por cables flexibles desnudos, a los pasamuros de entrada al edificio.

En el interior de la subestación nos damos cuen-

ta en seguida que no nos será tan fácil seguir, como en el puesto exterior, las conexiones de los aparatos que aparecen en el esquema; aquí las barras se multiplican y se superponen en varias capas, y la situación relativa de los aparatos las hace ir y venir en aparente complicación.

El edificio de la subestación está distribuido en dos plantas, de las que la superior comprende la sala de máquinas y control, sin que aparezcan en ella conexiones o aparatos fuera de las conmutatrices y los paneles; la planta inferior contiene gran parte del aparellaje y todas las barras de conexión.

En la planta baja, junto a la fachada más próxima al puesto exterior, encontramos los armazones que contienen los inversores de arranque y las resistencias; los primeros se mandan desde arriba, donde está el panel de arranque, por medio de una transmisión mecánica. De este armazón parten las barras que llevan la energía a las máquinas por su lado de corriente alterna. Las máquinas están colocadas sobre huecos existentes en el piso de la planta supe-

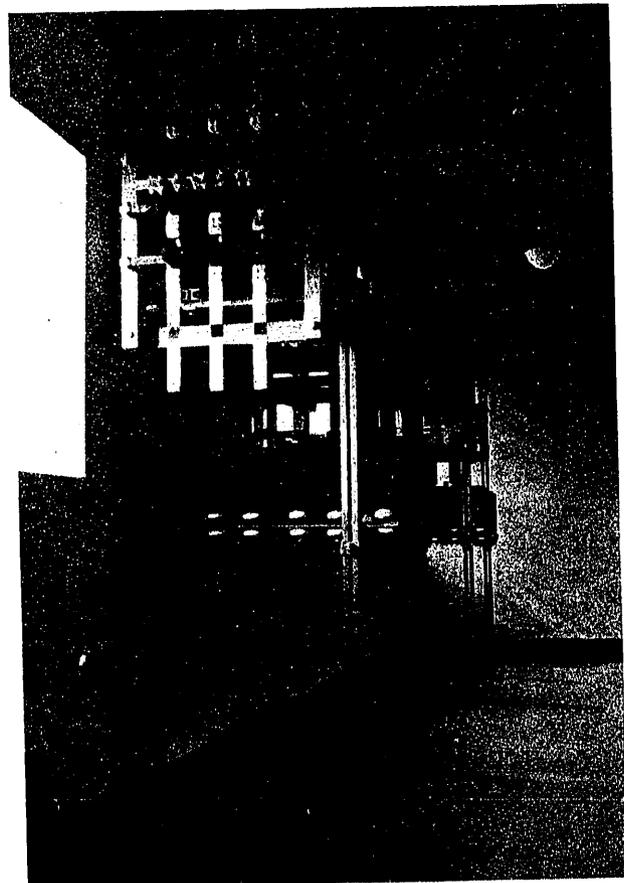


Fig. 10. — Armazones de inversores y resistencias de arranque.



Fig. 11. — Sala de máquinas.

rior, por lo que sus conexiones se realizan por debajo sin ningún inconveniente.

Las dos máquinas que constituyen un grupo, aun siendo esencialmente iguales entre sí, presentan pequeñas diferencias que las caracterizan, respectivamente, como "máquina tierra" y "máquina línea", según esté prevista para trabajar con uno de sus polos a tierra, y el otro a la otra máquina o entre la primera y la línea. Queda así formado el grupo por dos máquinas alimentadas por su lado alterna, cada una, por uno de los secundarios exafásicos de un transformador único, y conectadas en serie por su lado continua entre la tierra y la línea de contacto.

La potencia de cada conmutatriz es de 750 kilovatios por su lado continua, resultando la del grupo, de 1 500, y la de la subestación, de 3 000 kilovatios, con la instalación actual, y de 4 500 una vez que se hubiera montado el grupo que se prevé.

Sabido es que una conmutatriz es, en esencia, un generador de corriente continua, cuyo bobinado está unido desde una serie de puntos fijos del mismo a los anillos del lado alterna, y muy conocido el esquema en el que un círculo representa las fuerzas electromotrices elementales que se engendran en las bobinas del inducido (en sustitución de un polígono de tantos lados como bobinas); un diámetro fijo, la tensión entre escobillas del lado continua, y una cuerda que gire con el círculo, la tensión alterna, en su representación vectorial, existente entre dos puntos fijos del inducido; todo ello aplicable a una máquina bipolar, si el círculo gira a la velocidad de la máquina, o a una máquina de  $n$  pares de polos, si el círculo gira a  $n$  veces la velocidad de la máquina. En esta representación el vector que corresponde a la tensión alterna tiene por longitud el valor máximo de

la misma, y no el eficaz, como generalmente sucede en la representación vectorial usual.

En nuestro caso se trata de máquinas de ocho polos y 750 revoluciones por minuto, por lo que la velocidad virtual del círculo representativo será de 3 000 vueltas por minuto, y la frecuencia de la corriente alterna, la misma, o sea 50 períodos por segundo. Las tensiones alternas exafásicas se aplican diametralmente (180 grados eléctricos), con 120 grados eléctricos de diferencia de fase entre cada dos. La tensión continua será el valor máximo de la alterna aplicada, menos las pérdidas en la máquina, o sea  $620 \times \sqrt{2}$  aproximadamente, que corresponde a los 825 voltios nominales de las máquinas.

El arranque de cada una de estas máquinas se lleva a cabo como motor asíncrono, alimentándola a media tensión por su lado alterna. Con la máquina parada, al ser recorrido su inducido por la corriente alterna, se produce un campo magnético giratorio que engendra corrientes en un devanado de "jaula de ardilla" existente en su estator, las cuales producen un par de rotación que tiende a que el campo giratorio quede fijo respecto a la jaula, o sea a hacer girar el inducido en sentido contrario al campo y a la misma velocidad que él.

Si medimos la diferencia de potencial entre escobillas del lado continua en el momento del arranque, veremos que se trata de una tensión alterna cuya frecuencia decrece al acelerarse el movimiento del inducido, hasta llegar a ser una corriente continua cuando se llegue al sincronismo; si no existiera una excitación fija, que aparece al acercarse el movimiento al sincronismo, éste no se alcanzaría nunca, por tener que haber siempre un cierto desliza-

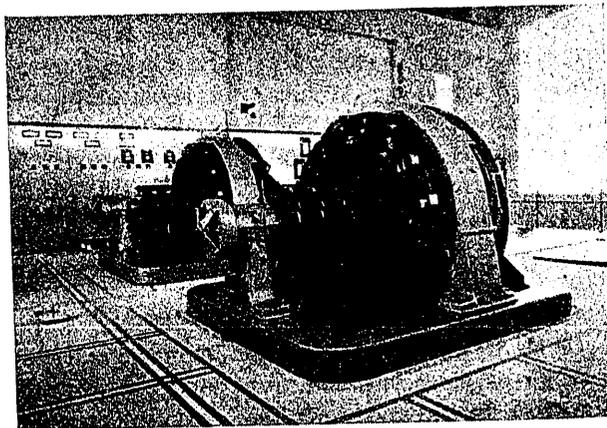
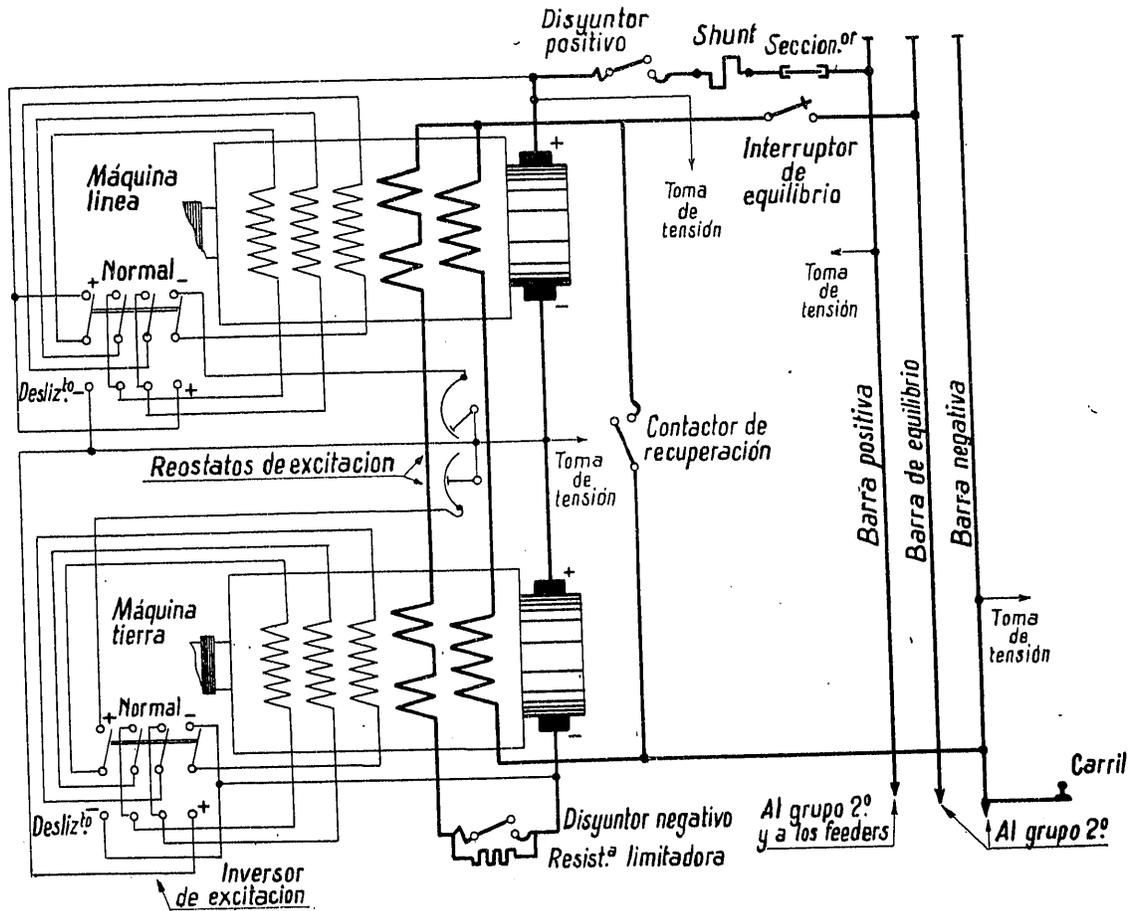


Fig. 12. — Las dos máquinas de un grupo vistas por el lado de corriente alterna.

miento, como en todo motor asíncrono. Dicha excitación existe, alimentándose desde las escobillas de corriente continua de la misma máquina; la corriente que la produce no tiene importancia hasta que la velocidad del inducido se acerca a la de régimen; pues, aparte de que el primer momento del arranque se hace con las escobillas de continua levantadas, la elevada autoinducción de las bobinas de excitación

citación independiente para el arranque; pero se corrige también por el sistema de provocar un deslizamiento posterior. Para ello se invierte, una vez alcanzado el sincronismo con polaridad desfavorable, la corriente en la excitación, gracias a un inversor que cambia la conexión; con ello, el campo del inducido, que ya estaba fijo respecto al de excitación, se encuentra en oposición a él, neutralizándose y que-



Esquema núm. 3.— Conexiones de un grupo por su lado corriente continua.

limita mucho la corriente que las atraviesa hasta que la frecuencia de la misma ha decrecido lo suficiente. Entonces la máquina puede llegar a funcionar como motor síncrono, alcanzando exactamente la velocidad de sincronismo; antes de llegar a él, y siendo ya pequeña la frecuencia de la tensión en las escobillas de corriente continua, la excitación cambia de polaridad a cada alternancia; por ello se da a veces el caso de que la máquina alcance el sincronismo en un momento en que la polaridad sea inversa de la necesaria. Este inconveniente puede evitarse por una ex-

dando virtualmente el rotor abandonado a su propia inercia. Su marcha se retardará y se conseguirá el deslizamiento de 180 grados eléctricos que se necesita; una vez obtenido esto, se vuelve el inversor a su posición primitiva y se tiene la máquina en marcha con su polaridad correcta.

Las máquinas van provistas de un contacto auxiliar enclavado con las escobillas de corriente continua, para impedir el arranque con las mismas bajadas, y un relé *antiflash* que funciona al aparecer diferencia de tensión entre la carcasa de la máquina

y la tierra, así como de un limitador de velocidad que produce la desconexión por el lado continua, para evitar el embalamiento.

Como se ve en el esquema número 2, en una fase de cada máquina va intercalado un transformador de intensidad, que alimenta cada uno un amperímetro del panel de grupo; un tercer amperímetro del mismo panel va alimentado por el cuarto *bushing* del interruptor en aceite.

### Grupos, lado continua.

En el esquema número 3 aparecen, como ya hemos dicho, las conexiones de un grupo por el lado de corriente continua. Se ven en él los inversores de excitación a que antes nos hemos referido; estos inversores son tetrapolares, por estar divididas las bobinas inductoras en tres secciones para disminuir las tensiones alternas que aparecen en las mismas durante el arranque. Con los inversores tetrapolares se disminuyen, al mismo tiempo, los inconvenientes de las chispas al manejarlos, por quedar dividida la autoinducción. Puede verse que en la posición de deslizamiento los reóstatos quedan eliminados del circuito, ya que entonces conviene que la excitación sea máxima. Estos inversores se hallan situados en el panel de arranque, maniobrándose desde su frente. Los reóstatos están en la planta inferior, junto a la fachada más alejada del puesto exterior, con lo que

quedan debajo del cuadro, y se manejan desde el panel de grupo por transmisiones de cadena.

En el esquema se sigue fácilmente la conexión de las dos máquinas por su lado continua, viéndose que los dos inducidos van conectados directamente, y luego, en serie con ellos, la excitación serie normal de cada máquina y las excitaciones en oposición o *anticompound*, así como las de los polos de conmutación.

La existencia de la excitación *anticompound* responde a las necesidades de la recuperación para la que están previstas las máquinas.

El contactor de recuperación cortocircuita al cerrarse la excitación serie normal, con lo que, una vez invertida la corriente al recuperar, la excitación *anticompound* obra como única excitación serie, reforzando el campo de la excitación *shunt*. La inversión del campo de conmutación está de acuerdo con la inversión de la corriente en el inducido, ya que entonces cambia el sentido de la deformación del campo por la reacción del inducido, así como el de la autoinducción de las bobinas.

Del polo positivo de la máquina línea pasa la corriente a la barra positiva, común para los dos grupos, a través de un disyuntor extrarrápido, un *shunt* y un seccionador con mando por pértiga.

El primero es un aparato de precisión de gran importancia, que vamos a describir rápidamente: Es un interruptor de ruptura rápida, con soplo magné-

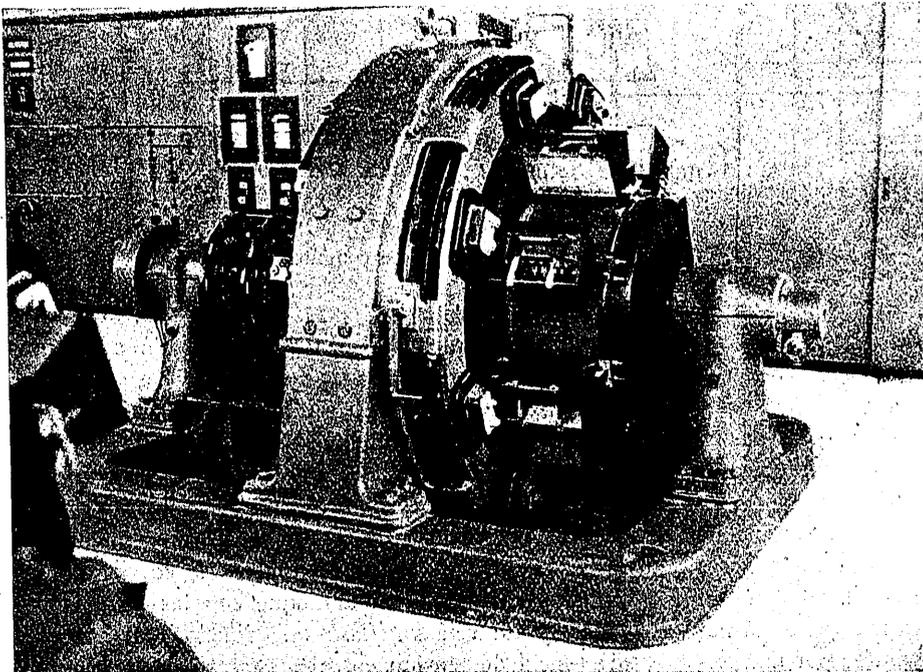


Fig. 13. — Una de las conmutatrices, vista por su lado de corriente continua.

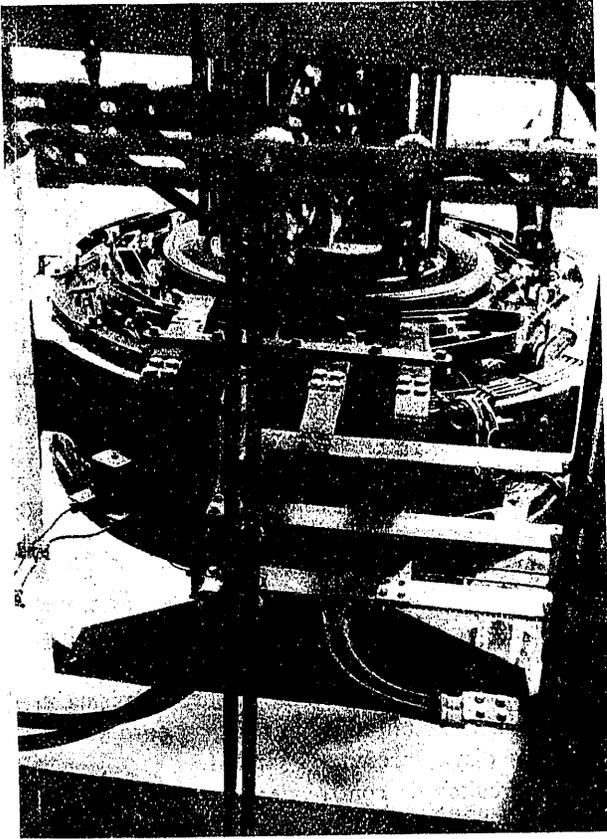


Fig. 14. — Vista interior de una de las máquinas desde la planta baja de la subestación.

tico del arco y apagachispas de material aislante y refractario; se cierra por un electroimán, que, como el principal del interruptor en aceite, absorbe intensidades demasiado grandes para hacerla pasar por los dispositivos de seguridad, por lo que lleva en su circuito un contactor auxiliar único, cuya bobina de accionamiento puede ser conectada en serie con los contactos de protección y enclavamiento, sin peligro para éstos; una vez cerrado el disyuntor, se mantiene en esta posición por medio de una tercera bobina, llamada de retención, cesando, en cambio, la excitación de la de cierre; realmente, el contacto eléctrico principal no se produce hasta que la bobina de cierre ha dejado de alimentarse, con lo que se evita que, por seguir cerrado el contacto de control durante cierto tiempo, se obligue al disyuntor a cerrar cuando alguna circunstancia anómala requiera el disparo instantáneo. La apertura se produce interrumpiendo la corriente en la bobina de retención, bien voluntariamente, por el contacto del conmutador de mando, o automáticamente, por medio de otros contactos incluidos en serie en el mismo circuito. Úni-

camente el disparo por sobreintensidad se produce independientemente por medio de una espira atravesada por la corriente principal cuyo campo se opone al de la bobina de retención, y, en caso de sobrecarga, lo reduce suficientemente para que se abra el disyuntor; el momento de la desconexión es regulable por variación de la permeancia del circuito magnético de la bobina de retención. El disyuntor positivo a que nos referimos puede regularse para disparar con intensidades comprendidas entre 800 y 2.000 amperes; no llevando *shunt* inductivo, su velocidad de ruptura es independiente de la de crecimiento de la intensidad.

El *shunt* alimenta en paralelo el cuarto amperímetro del panel de grupo, el circuito de intensidad del contador de corriente continua que aparece en el mismo panel y un relé de dirección, visible también junto al contador anterior, que actúa sobre el contactor de recuperación, cerrándolo cuando se inicia una corriente de sentido contrario a la normal.

El seccionador permite aislar los anteriores aparatos de la barra positiva.



Fig. 15. — Disyuntor extrarrápido negativo.

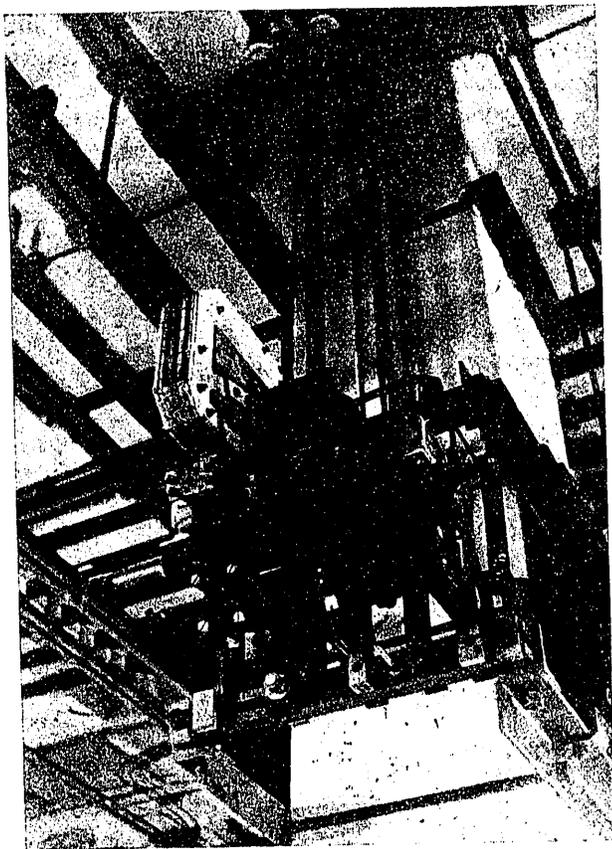


Fig. 16. — Contactor de recuperación.

De la unión directa entre el polo positivo de la máquina tierra y el negativo de la máquina línea parten derivaciones para la alimentación de las excitaciones *shunt* y para la medida de la tensión.

Entre el polo negativo de la máquina tierra y todas las excitaciones serie se interpone otro disyuntor extrarrápido análogo al descrito anteriormente, pero *shuntado* por una resistencia de limitación de carga. Además, este disyuntor lleva un *shunt* inductivo en paralelo con la espira que produce la desconexión por sobreintensidad; en caso de variación lenta de la intensidad, ésta se reparte entre la espira y el *shunt*, según las respectivas resistencias, y el disyuntor dispara para la intensidad a que se haya regulado, que puede ser de 2 000 a 5 000 amperes; pero si el crecimiento de la intensidad es rápido, como corresponde al caso de cortocircuito, el *shunt* inductivo presenta una gran impedancia a la corriente, por lo que ésta recorre íntegramente la espira de desconexión y el disparo se produce antes de que se alcance el valor de regulación. En este caso de cortocircuito, el disyuntor negativo dispara antes que el positivo,

cortando sólo una parte de la corriente, puesto que sigue estando cerrado el circuito por la resistencia de limitación de carga hasta que se abre también el disyuntor positivo. Todo esto ha de suceder en un tiempo pequeñísimo, ya que la corriente ha de cortarse antes de que se produzca el arco en el colector de las máquinas, lo que tendría lugar si la delga que está en una escobilla en el momento del cortocircuito llegara a la siguiente escobilla antes de que se empiece a reducir la corriente; con 750 r. p. m. y 8 escobillas, este tiempo es de  $60 : (750 \times 8) = 0,010$  segundos. Los disyuntores empiezan a reducir la corriente a las 8 milésimas de segundo, y a las 12 milésimas queda ya limitada a su valor normal.

Del punto situado entre la excitación *compound* y la *anticompound* parte otra conexión que va al contactor de recuperación antes citado y a la barra de equilibrio, que, como se sabe, tiene por misión asegurar una distribución uniforme de la carga entre los grupos por medio de una compensación de intensidades en la excitación serie. El interruptor de equilibrio, que se encuentra montado sobre la misma máquina línea, lleva un contacto auxiliar para enclavar con él los disyuntores antes citados.

Los circuitos de control de los disyuntores están dispuestos de modo que el negativo sólo puede cerrarse cuando se haya cerrado antes el interruptor de aceite del grupo y el interruptor de equilibrio, abriéndose automáticamente al cesar alguna de estas condiciones. El disyuntor positivo no se cierra, o se abre automáticamente cuando existe o aparece alguna de las siguientes circunstancias:

No está cerrado, o se abre el interruptor del grupo.

No está cerrado, o se abre el disyuntor negativo.

Funciona el relé *antiflash* de una de las máquinas.

Funciona el limitador de velocidad de una de las máquinas.

No están bajadas las escobillas del lado corriente continua.

Como se deduce de lo dicho respecto a los circuitos de control de los distintos aparatos, en cada caso se abre primero un aparato distinto, y, cuando conviene, los demás como consecuencia. Por ejemplo: la falta de tensión alterna en las barras de grupo produce directamente el disparo automático del interruptor en aceite del grupo, y, como consecuencia, los dos disyuntores abren simultáneamente; lo mismo ocurre en caso de sobreintensidad por el lado alterna o funcionamiento del relé Buchholz del transformador principal. Cuando actúa un relé *antiflash*,

se abren al mismo tiempo el interruptor del grupo y el disyuntor positivo, y luego el negativo, por abrirse el primero.

Si hay sobrevelocidad, sólo se abre el disyuntor positivo, que no se podrá volver a cerrar hasta que la velocidad baje a su valor normal.

En cuanto a los enclavamientos de los aparatos entre sí, se ve que sólo podrá realizarse la maniobra en un orden determinado, puesto que en caso contrario no obedecen los aparatos al accionamiento del conmutador de mando. Para arrancar un grupo hay que asegurarse primero de que las escobillas de corriente continua están levantadas y el inversor de arranque en la posición correspondiente, cerrar el interruptor, bajar las escobillas cuando las máquinas giren a suficiente velocidad, medir la tensión y producir el deslizamiento de cambio de polaridad cuando haya lugar a ello, llevar el inversor de arranque a su posición normal, cerrar el interruptor de equilibrio, cerrar el disyuntor negativo, y, finalmente, el

positivo. De todas estas operaciones, las únicas no enclavadas son las relacionadas con la polaridad correcta y la vuelta del inversor de arranque a su posición normal, que son las más difíciles de equivocarse por exigir la observación del voltímetro; en los demás casos, un olvido o error se ve neutralizado al no obedecer los aparatos y funcionar las señales de alarma.

Tanto los disyuntores como los contactores de recuperación se hallan situados en la planta inferior. Los disyuntores positivos están en las celdas que hay bajo el cuadro; cada uno de ellos lleva junto a sí el *shunt* de medida, y, en la parte superior de la celda, el seccionador. Los disyuntores negativos están dispuestos fuera de las celdas, cada uno de ellos junto al pilar situado entre las dos máquinas del grupo a que pertenece. Los contactores de recuperación están montados a cierta altura sobre estos mismos pilares.

(Continuará.)

# LA ELECTRIFICACION MADRID - AVILA Y VILLALBA - SEGOVIA

Por JUAN M. OLIVARES GATELL, Ingeniero de Caminos.

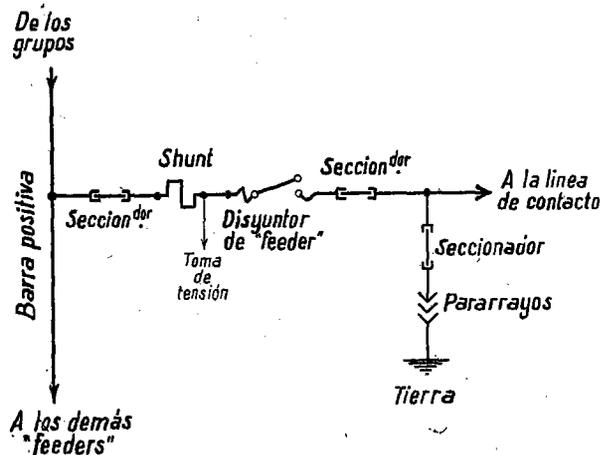
Termina con el presente artículo la completa descripción que hemos venido haciendo de la gran obra que se reseña en el epígrafe.

## VIII. - LAS SUBESTACIONES

(Conclusión.)

### Salidas de corriente continua.

Terminamos con los circuitos principales refiriéndonos a las salidas de corriente continua o *feeders*, cuya conexión puede verse representada en el esquema núm. 4.



Esquema núm. 4.— Salida de feeder.

Se limita el equipo de salida a un disyuntor, que pone en comunicación la barra positiva con la línea de contacto, a un *shunt*, que alimenta en paralelo un amperímetro que mide la intensidad en cada *feeder*, y los dos seccionadores, que permiten aislar este conjunto, tanto de la barra positiva como de la línea de contacto. Junto al *shunt*, se toma también una derivación para medir la tensión en el *feeder*.

Para proteger la instalación de las sobrecargas de origen atmosférico que pudieran descargar sobre la línea de contacto, se dispone un pararrayos; este aparato puede separarse también de las conexio-

nes sometidas a tensión por medio de un seccionador con mando por pértiga.

Todos estos aparatos se hallan en el interior del edificio; los disyuntores, con sus *shunts* y seccionadores, en celdas junto a las de los de grupo, y los seccionadores de salida y pararrayos, así como estos mismos aparatos, en celdas de salida situadas en la planta superior, detrás del cuadro.

### Paneles.

En todo lo anterior hemos hecho frecuentes referencias a los paneles, por lo que ahora nos limitaremos a completar lo dicho para no repetir inútilmente.

Se utiliza mucho en el cuadro un aparato de control, el *turn-push*, o conmutador de mando, que describimos a continuación en líneas generales.

Por delante del panel se ve este aparato como una maneta cromada, que abraza una pantallita roja, tras la cual se halla una lámpara que se enciende en determinadas condiciones; esta maneta tiene dos posiciones, a 90 grados entre sí, que corresponden a las de cerrado y abierto del aparato principal — interruptor, disyuntor o contador — que manda, y que se reconocen fácilmente por establecer en la primera la maneta del *turn-push* la continuidad del esquema figurativo que aparece sobre el cuadro, y que no es más que la simplificación del esquema eléctrico de los circuitos principales. En cada cuarto de vuelta del conmutador de mando se cierra o abre momentáneamente uno de los dos contactos de control que lleva este aparato, haciendo circular una corriente, o cortándola por el circuito en que va insertado. Los conmutadores de mando para interruptor en aceite tienen dos contactos de cierre, ya que, tanto la maniobra de cerrar el interruptor como la de abrirlo se realizan enviando corrientes de excitación a las respectivas bobinas de cierre o desenganche; los que corresponden a disyuntores tienen uno de cierre y otro de apertura, pues, como hemos visto, para abrir el disyuntor hay que cortar la corriente de la bobina de retención.

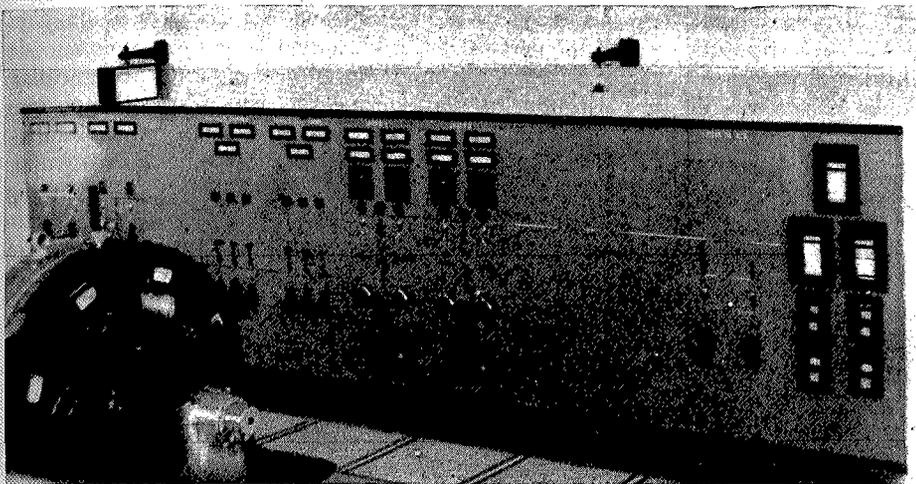


Fig. 17. — Vista general del cuadro.

Al mismo tiempo que se produce el cierre o la apertura de estos contactos principales del conmutador de mando, el giro de un cuarto de vuelta en el mismo produce la inversión de conexiones en otros cuatro contactos auxiliares, dos de los cuales están cerrados para una de las posiciones y los otros dos para la otra. Estos contactos, combinados con otros análogos del aparato controlado y cuya posición depende directamente de la de éste, producen la señalización. Cuando la posición del *turn-push* coincide con la del aparato principal, los contactos se encuentran cambiados y no se cierra ninguno de los circuitos de señal; cuando dichas posiciones no se corresponden, los circuitos de señal se cierran por uno u otro camino y suena el timbre, al mismo tiempo que se enciende la lámpara del mismo *turn-push*.

Para cada llegada de alta tensión hay en el panel de llegadas los siguientes aparatos: un interruptor de cuchillas, en la parte inferior, que alimenta de corriente continua todos los circuitos de control correspondientes a la llegada; un conmutador de mando para la maniobra del interruptor en aceite, y, en el conjunto del panel, una representación convencional unifilar, hecha con pletina cromada, de las conexiones principales de las llegadas, incluyendo las barras del seccionador de paso, las barras de interconexión y las barras de grupo, estas últimas prolongándose a los otros paneles.

Junto al papel de llegadas se encuentra siempre el de medición, del que ya hemos hablado al tratar del puesto exterior.

En el panel de grupo aparecen, en la parte superior, los cuatro amperímetros a que ya nos hemos referido: uno, para medir la intensidad del lado alta tensión del transformador del grupo; otro, para medir la intensidad continua, y otros dos, para la alterna a baja tensión, de cada máquina. Debajo, el contador de corriente continua y el *relé* de dirección

también citados. Inmediatamente debajo de estos últimos aparatos, hay tres *plots*, que permiten medir las tensiones continuas con los voltímetros que aparecen reunidos en una caja común y pendientes de

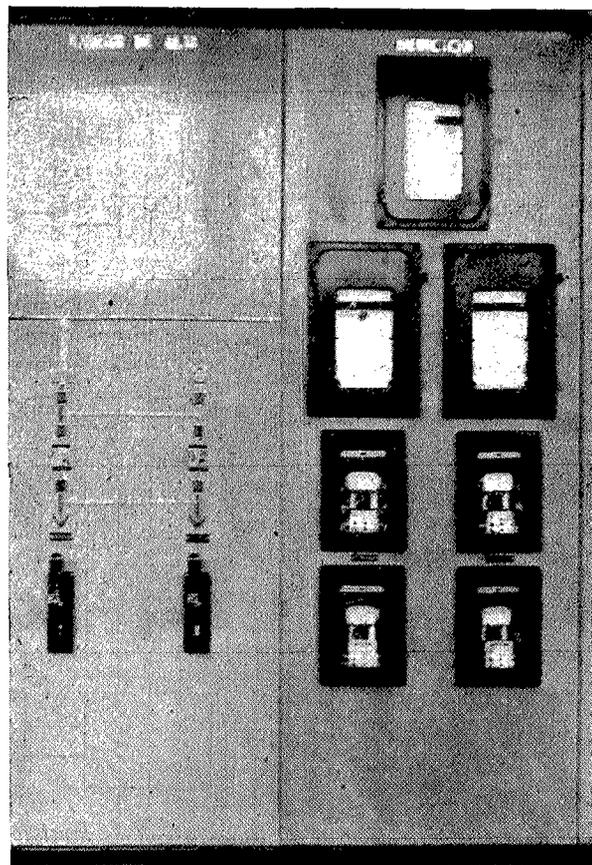


Fig. 18. — Panel de llegadas de líneas de alta tensión y panel de medida.

un brazo sobre el cuadro. El *plot* central es bipolar, e introduciendo en él la ficha única de este tipo que hay en la subestación, los dos voltímetros superiores de la caja citada miden las tensiones respectivas de la máquina línea y máquina tierra; los *plots* laterales son unipolares y permiten medir la tensión del grupo en uno de ellos, y la de la barra positiva, en el otro, con el tercer voltímetro de la caja.

En los esquemas se han señalado los puntos de que parten las derivaciones a los citados *plots* como tomas de tensión. Para evitar averías, en cada subestación hay una sola ficha de cada clase, con lo que no es posible establecer conexión a un mismo tiempo en dos *plots* análogos, lo que, probablemente, daría lugar a que se quemaran las conexiones de los voltímetros.

La pletina que representa las barras de grupo viene al panel de grupo desde el de llegadas de alta. En una línea vertical, en el centro del panel, encontramos los tres *turn-push* que controlan, respectivamente, de arriba a abajo, el interruptor en aceite del grupo, el disyuntor negativo y el disyuntor positivo.

A los lados del *turn-push* del interruptor se encuentran dos lámparas de señal que se encienden,

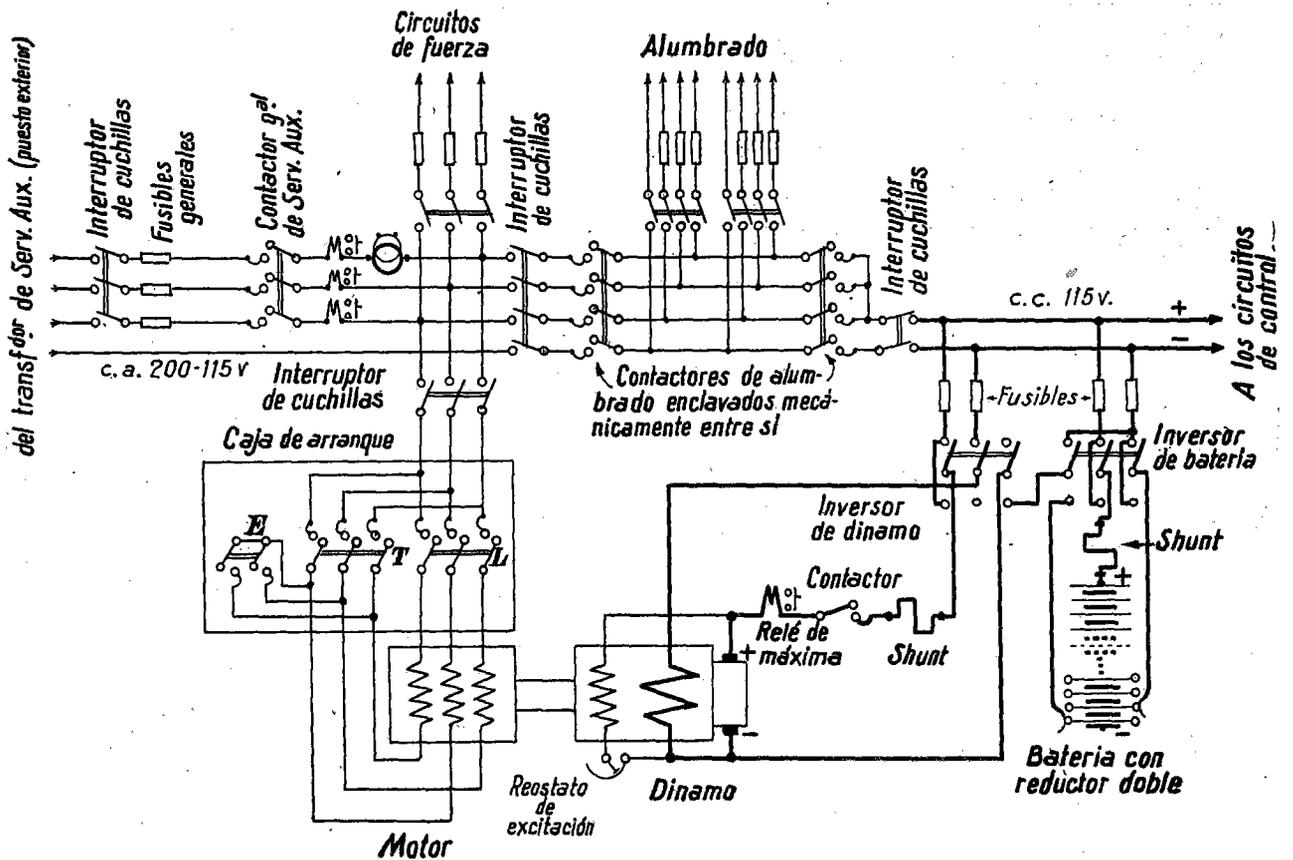
respectivamente, al funcionar el *relé* Buchholz y el termómetro del transformador principal, y debajo de ellas, sendos conmutadores que permiten hacer callar el timbre de alarma, que suena al mismo tiempo que se encienden las lámparas, y poder continuar trabajando con señalización completa con el otro grupo.

Más abajo del mismo panel de grupo están los volantes que sirven para la maniobra de los réostatos de excitación de las máquinas, y, entre ellos, el interruptor de palanca general de alimentación de los circuitos de control del grupo.

Finalmente, en la parte inferior aparece el *relé* amperimétrico de máxima, citado al hablar de la protección del grupo por su lado alterno.

En los paneles de *feeders* hay, por cada salida, un amperímetro alimentado sobre el *shunt* del esquema núm. 4, un *plot* unipolar para medida de tensión con el voltímetro inferior de la caja de voltímetros, el *turn-push* correspondiente al disyuntor de salida y un interruptor de palanca para la alimentación de los circuitos de control del disyuntor.

Están, además, los paneles de servicios auxiliares, a los que nos referiremos en el párrafo siguiente.



Esquema núm. 5.— Circuitos de servicios auxiliares.

Los paneles de arranque están situados fuera del cuadro, al otro lado de la sala de máquinas, y sólo contienen los accionamientos por palanca de los inversores de arranque y de los de excitación.

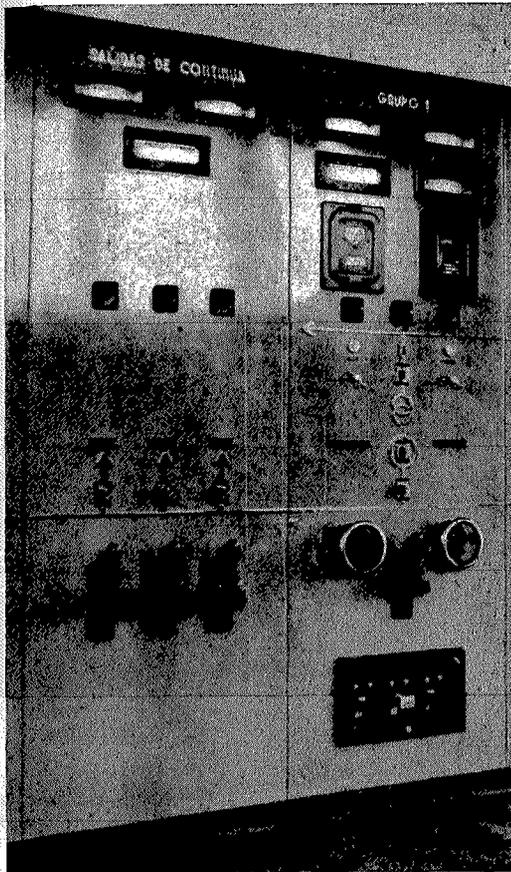


Fig. 19.— Panel de grupo y panel de salidas de feeder.

**Servicios auxiliares.**

Para la alimentación de todos los circuitos de control, alumbrado de la subestación y demás servicios auxiliares, se dispone de una instalación de corriente, a baja tensión, en sus dos formas, alterna y continua, con cuya descripción, a grandes rasgos, terminamos la de la subestación.

Al hablar del puesto exterior nos hemos referido ya al transformador de servicios auxiliares, de 30 kVA., que se alimenta a 46 000 voltios sobre las mismas barras de grupo. El secundario de este transformador, con neutro accesible, tiene una tensión entre fases de 200 voltios, y de 115 entre fase y neutro. Junto al transformador, y en el mismo puesto exterior, hay un armario blindado, para interperie, que contiene el interruptor tripolar y los

fusibles que se ven en primer lugar en el esquema núm. 5, correspondiente a los circuitos de servicios auxiliares. De este armario parte un cable que lleva la energía al interior de la subestación hasta un armazón donde se encuentran los siguientes aparatos: el contactor general de servicios auxiliares que se ve en el esquema, los tres relés de máxima que le siguen, el transformador de intensidad, intercalado en una de las fases, los dos contactores tetrapolares de alumbrado y los interruptores de cuchillas, tetrapolar y bipolar, que van en el esquema junto a dichos contactores. Del mismo armazón parten los cables que corresponden a las derivaciones que se ven en el esquema, así como otros que llevan las conexiones de los circuitos de control de los aparatos citados.

El contactor general de servicios auxiliares citado en primer lugar se acciona eléctricamente desde el panel de servicios auxiliares, corriente alterna, por medio de un *turn-push*, como los de interruptor en aceite; sus circuitos de control se alimentan excepcionalmente de corriente alterna para poder maniobrar aun cuando no se tenga cargada la ba-

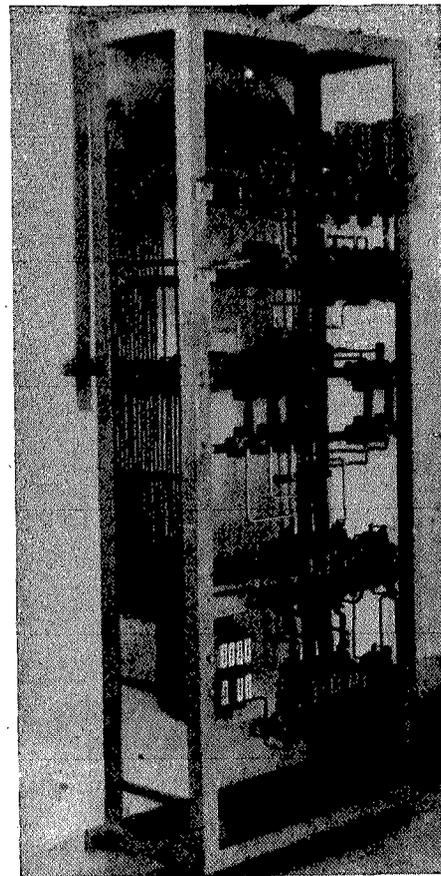


Fig. 20.— Armazón de servicios auxiliares.

tería. Este contactor se abre automáticamente por sobreintensidad en cualquiera de las fases o por falta de tensión alterna.

El transformador de intensidad alimenta un amperímetro del panel citado más arriba. El voltímetro que se encuentra junto al amperímetro mide la tensión entre las diversas fases, gracias a un conmutador de tres posiciones, y se alimenta antes del contactor general, de donde también parten derivaciones para la alimentación de los circuitos de mando del mismo contactor y para la marcha de los aparatos de relojería del panel de medición (no representada ninguna de estas derivaciones en el esquema).

Uno de los cables que sale del armazón de que hablamos corresponde a la doble derivación de los circuitos de fuerza y motor del grupo de carga; va al panel de servicios auxiliares, corriente alterna, donde se encuentran los dos interruptores de cuchillas, y de uno de ellos va la energía a todos los circuitos de fuerza — motores del compresor, del puente grúa, etc. —. Del otro interruptor de cuchillas va un cable al grupo de carga, pasando por la caja de arranque, que hace automáticamente el arranque es-

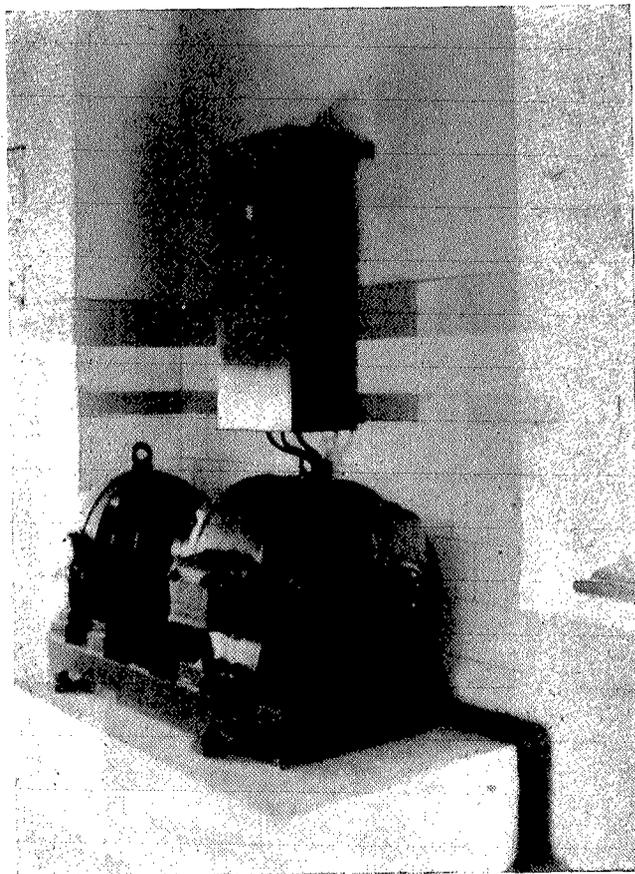


Fig. 21. — Grupo de carga con su caja de arranque.

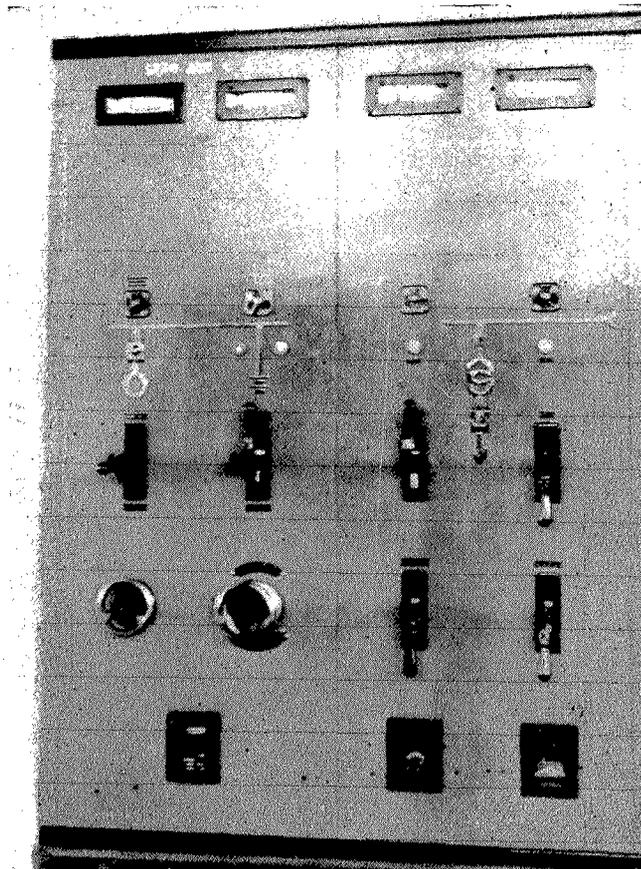


Fig. 22. — Paneles de servicios auxiliares.

trella-triángulo. Esta caja contiene, en primer lugar, un *relé* magnetotérmico (no representado en el esquema), que desconecta el grupo de carga en caso de sobreintensidad; luego están los tres contactores señalados con las letras *L*, *T* y *E*. Al cerrar el interruptor de cuchillas, se establece automáticamente la conexión en estrella por el cierre de los contactores *L* y *E* y se pone en marcha un mecanismo de relojería, que al cabo de cierto tiempo produce el paso a la conexión triángulo por apertura del contactor *E* y cierre del *T*.

El motor del grupo de carga es asíncrono, con rotor en cortocircuito, de 18 caballos de potencia y 1 440 revoluciones por minuto. La dínamo da una tensión regulable entre 115 y 170 voltios, y tiene una intensidad nominal de 54 amperes.

Los contactores de alumbrado, también incluidos en el armazón, están enclayados mecánicamente entre sí para que no puedan estar cerrados ambos al mismo tiempo, y sirven para alimentar todos los circuitos de alumbrado de la subestación por corriente alterna o por corriente continua. Sobre el panel de servicios auxiliares, corriente alterna, y debajo del amperímetro, se halla un conmutador que permite

este cambio; en la posición normal del mismo y existiendo tensión alterna en los servicios auxiliares, el alumbrado se alimenta con corriente de esta clase; pero al faltar la misma, se produce el cambio automático a corriente continua, cerrándose un contactor y abriéndose el otro. También puede pasarse al alumbrado por corriente continua, aunque no falte la tensión alterna, por maniobra del conmutador citado.

Las dos palancas que aparecen en la parte inferior del mismo panel son los interruptores de alumbrado que se ven en el esquema, correspondiendo uno de ellos al puesto exterior, y el otro, al interior de la subestación. Debajo de estas palancas están dos *relés* de precisión, que no corresponden directamente a los servicios auxiliares, sino que son los que producen la desconexión de los grupos cuando falta tensión alterna en las barras de grupo, y están alimentados desde la cuba de medición.

Sobre el panel de servicios auxiliares, corriente continua, se ven, en su parte superior, un amperímetro y un voltímetro, con sus dos conmutadores, que permiten medir: el primero, la intensidad del circuito de la dinamo o la del de la batería — alimentándose sobre los dos *shunts* que se representan en el esquema —; y el segundo, la tensión de la dinamo, la de carga de la batería o la de descarga de la misma.

El contactor que protege el circuito de la dinamo está montado dentro del mismo panel, y se manda por un *turn-push*, produciéndose el desenganche automático en caso de sobreintensidad, gracias al *relé* de máxima previsto para el caso, o en el de funcionamiento de un *relé* de dirección, conectado sobre el *shunt* del mismo circuito, que evita que la batería pueda descargarse sobre la dinamo por falta de tensión en ésta.

Hay, sobre el panel, dos lámparas indicadoras, cuya misión es anunciar un mal aislamiento de las conexiones de la batería con tierra cuando su iluminación es desigual.

Los dos interruptores de palanca que aparecen también sobre el mismo panel son los inversores de

carga y descarga de la batería, por cuya maniobra pueden hacerse varias combinaciones para cargar la batería y alimentar los circuitos de control. Los volantes que aparecen debajo de estos inversores accionan: los de la derecha, los dos reductores de la batería, y el de la izquierda, el reóstato de excitación de la dinamo.

Finalmente, el *relé* de la parte inferior de este panel es el de dirección a que nos hemos referido, y que evita la descarga de la batería sobre la dinamo.

\* \* \*

Al cumplir nuestra intención de describir una subestación, dando un vistazo general a toda ella, no nos queda lugar para referirnos a otros interesantes detalles que podían haberse citado, especialmente las dificultades que ha habido que resolver para llegar a la realidad actual, y el progreso que ha resultado para la industria nacional. En este último aspecto, citaremos solamente que los únicos elementos importados del puesto exterior son los pararrayos, y que del coste total de las subestaciones, que, al contratarlas en 1935, era un 50 por 100 para material extranjero, hoy sólo alcanzan las importaciones al 25 por 100, habiendo realizado el resto la industria nacional.

Actualmente, los trabajos de montaje se encuentran terminados en todas las subestaciones de la línea Madrid-Ávila, en la que se ya se efectúa la tracción eléctrica. Las restantes subestaciones se terminarán también dentro de muy poco tiempo.

Como contratista general del suministro y montaje del material eléctrico de las subestaciones, actúa la General Eléctrica Española, que ha realizado el estudio y proyecto detallado de la instalación, empleando para el montaje material de importación en la proporción indicada, y valiéndose para el resto de fabricaciones propias y de otras casas españolas, en un esfuerzo conjunto de toda la industria nacional de este ramo.