

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.² 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 períodos.

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.^a). 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.^a):

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.^a, 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.^a, la sección total utilizada de cable ha sido de 143,4 mm.² ó

DISPOSICION GENERAL Y DISTANCIAS KILOMETRICAS.

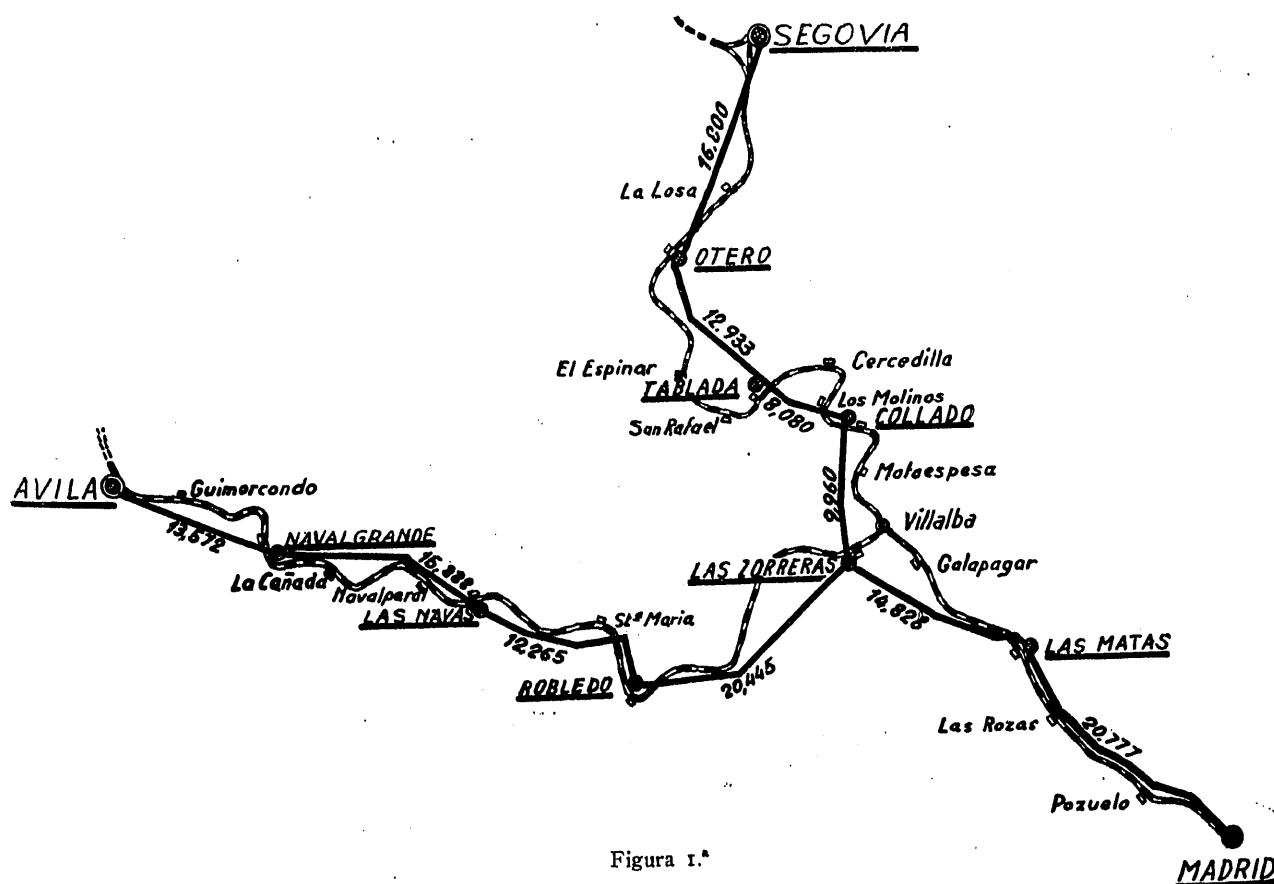


Figura 1.^a

116,6 m.², 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 Ávila:

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 "

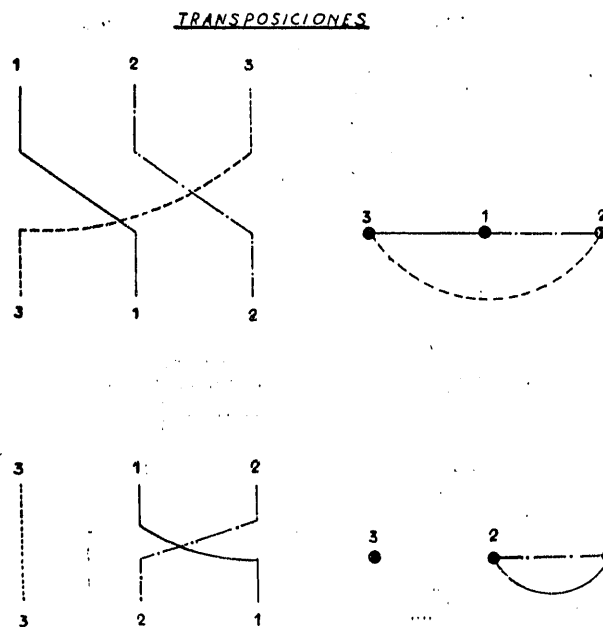


Figura 2.ª

LINEA EN Y

ESQUEMA GENERAL DE SECCIONES UTILIZADAS

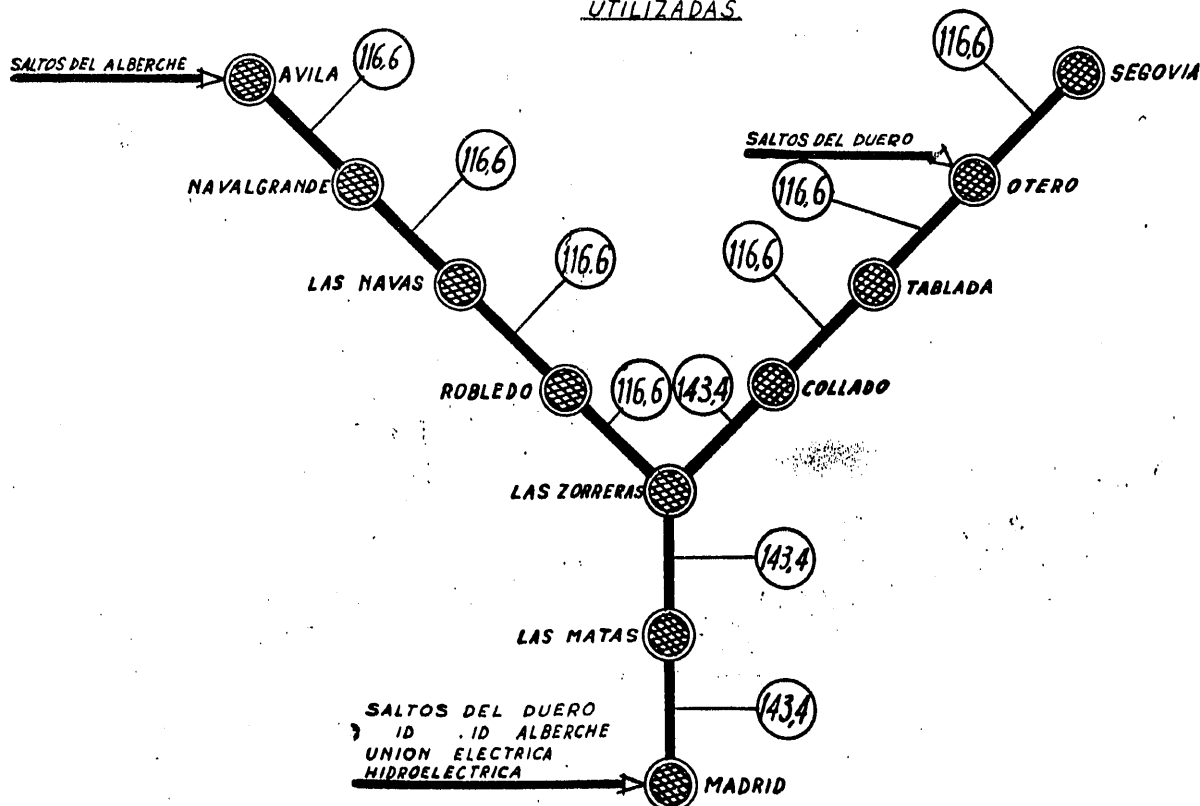


Figura 3.ª

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.² de sección total:

Composición:

Alma de acero, formada por 7 hilos de 1,73 mm. ϕ .	
Capa de aluminio, formada por 6 hilos de 5,19 mm. ϕ .	
Sección de aluminio	= 126,9 mm. ² .
Peso total del cable por kilómetro...	= 479,6 Kg.
Peso total del aluminio por kilómetro	= 349,6 "
Carga de rotura total del cable.....	= 3825 "
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.² de sección total.

Composición:

Alma de acero, formada por 7 hilos de 1,56 mm. ϕ .	
Capa de aluminio, formada por 6 hilos de 4,68 mm. ϕ .	
Sección de aluminio	= 103,2 mm. ² .
Peso total del cable por kilómetro...	= 389,9 Kg.
Peso total del aluminio por kilómetro	= 284,2 "
Carga de rotura total del cable.....	= 3110 "
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: $d = 0,75 \sqrt{f + \frac{v^2}{20000}}$, 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.² 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

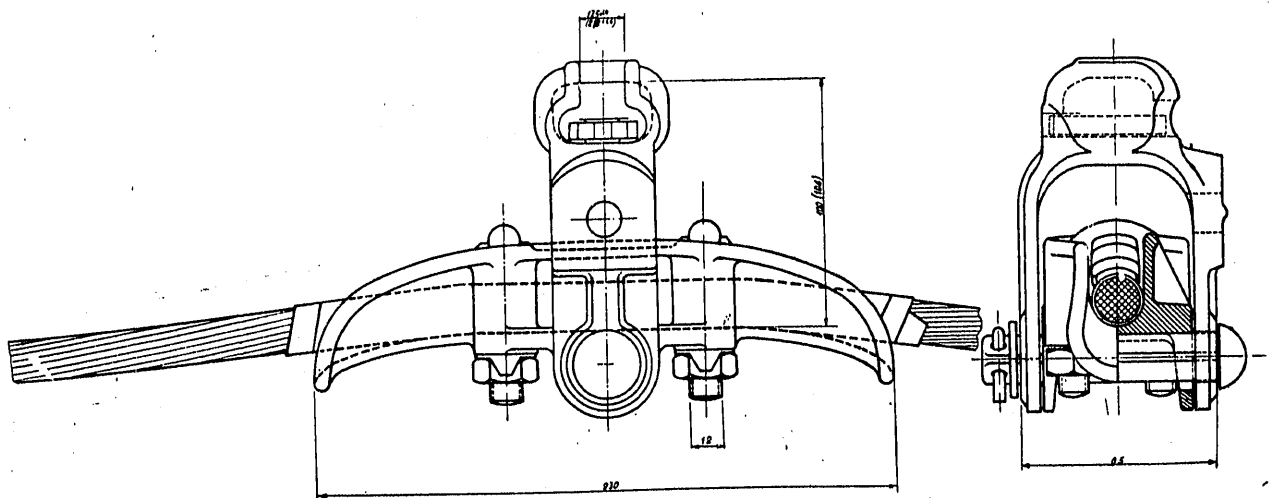


Figura 4.^a

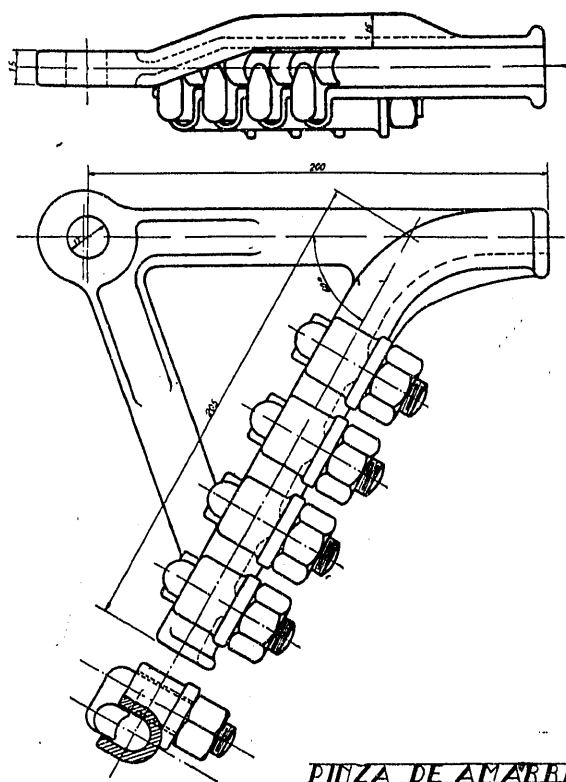
**PINZA DE AMARRE**

Figura 5.ª

resistencia en recocido de 50 Kg./mm.² 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.

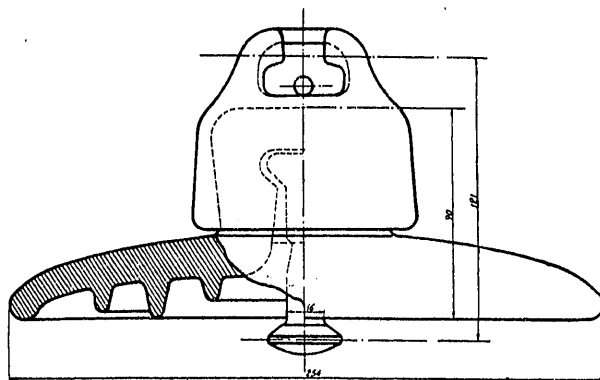
ALISADOR

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
Angulo	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.^a y 5.^a, 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.^a 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. $\left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ elemento.....} = 70 \text{ Kv.} \\ 2 \text{ "} = 120 \text{ " } \\ 3 \text{ "} = 170 \text{ " } \end{array} \right.$

Idem bajo lluvia $\left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ elemento.....} = 45 \text{ Kv.} \\ 2 \text{ "} = 95 \text{ " } \\ 3 \text{ "} = 145 \text{ " } \end{array} \right.$

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. $\left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ elemento.....} = 75 \text{ Kv.} \\ 2 \text{ "} = 125 \text{ " } \\ 3 \text{ "} = 170 \text{ " } \end{array} \right.$

Idem bajo lluvia $\left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ elemento.....} = 40 \text{ Kv} \\ 2 \text{ "} = 85 \text{ " } \\ 3 \text{ "} = 125 \text{ " } \end{array} \right.$

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.^a, 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

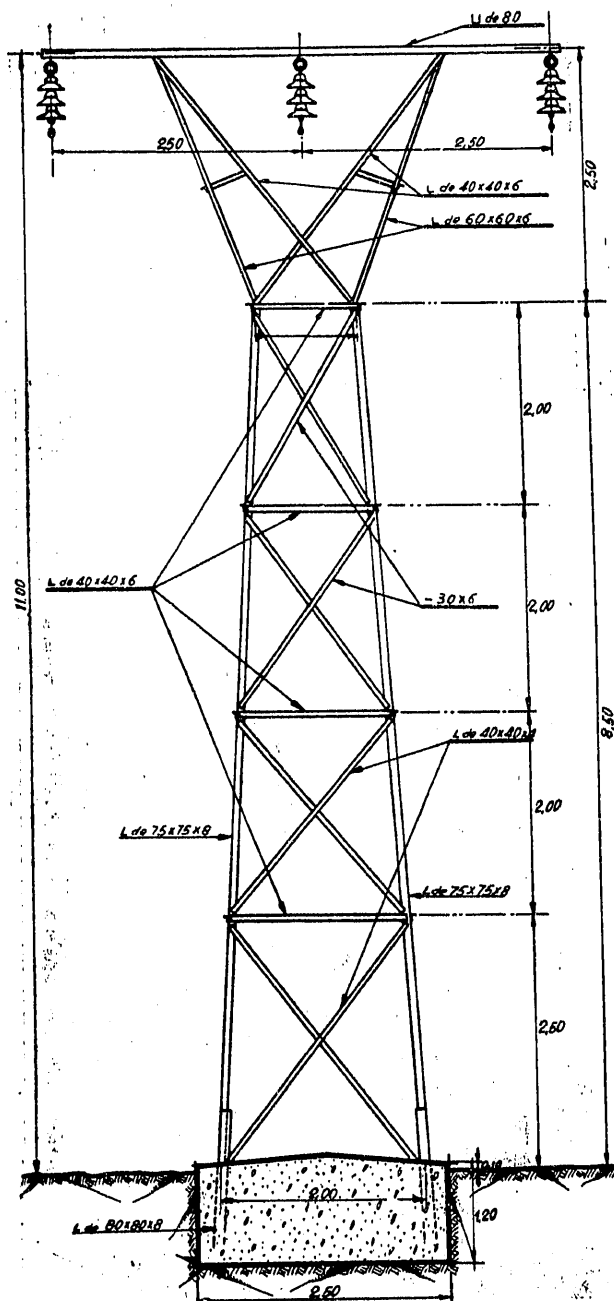
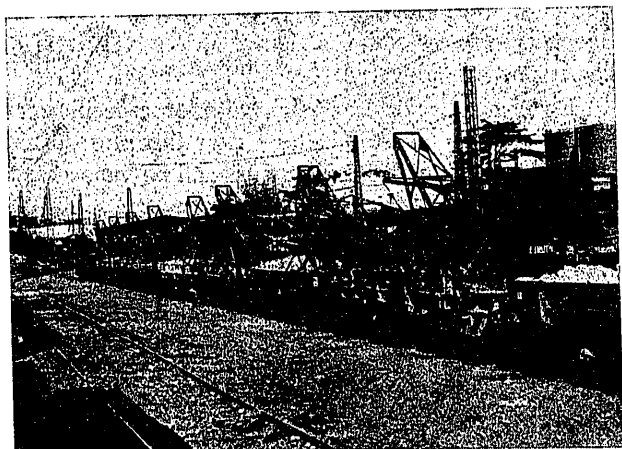
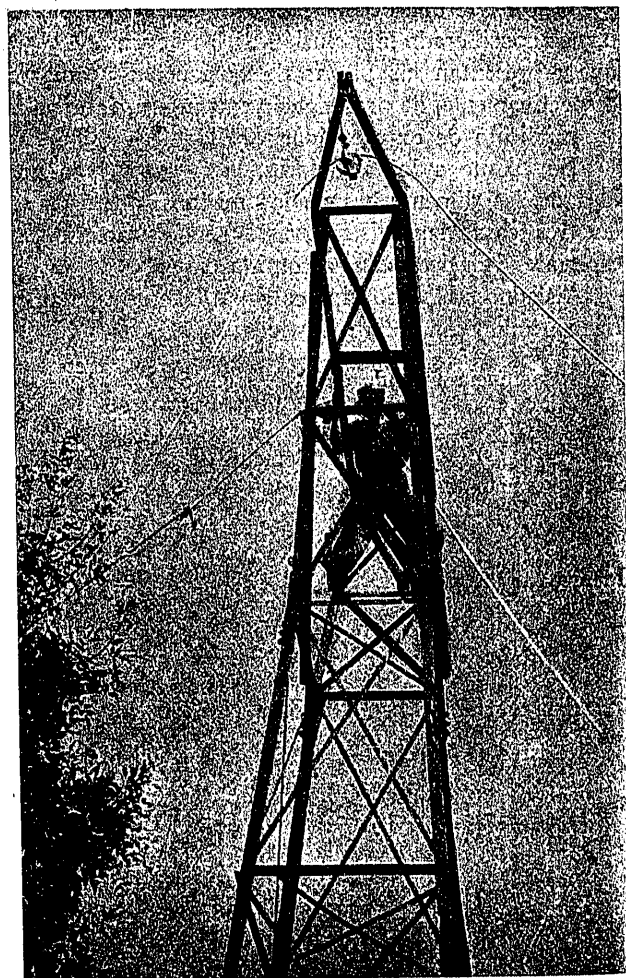


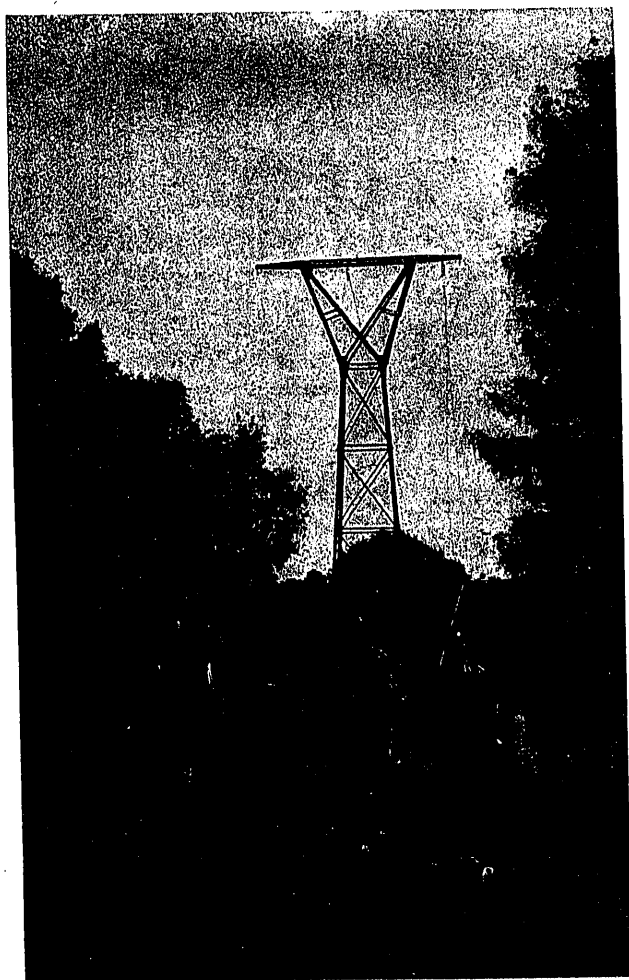
Figura 7.^a



Tren de acopio de postes.



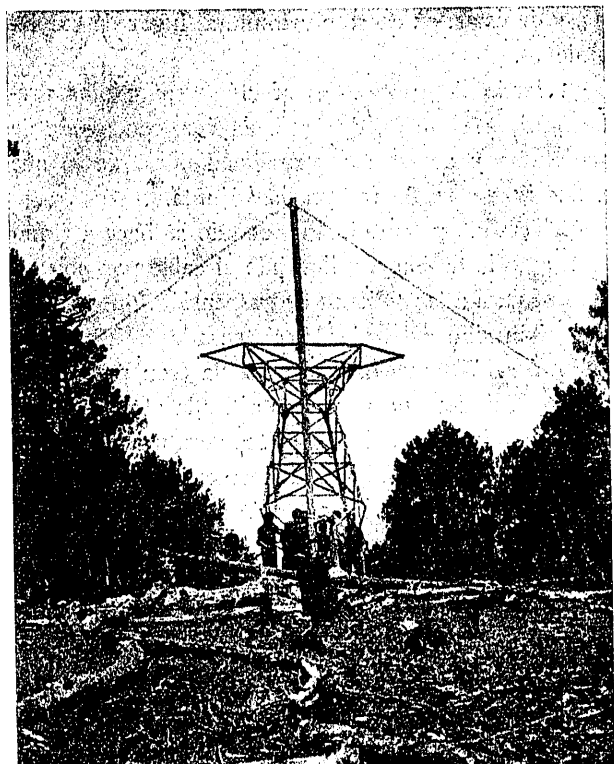
Tendido del cable.



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 $\perp$ 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
TOTAL . . .	682	144	72	53	951

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.³.

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.³.

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.