

Electrificación de la rampa de Pajares⁽¹⁾

por

Ricardo F. Hontoria y José María G. Lomas,

Ingenieros de Caminos

IV

Líneas aéreas. Gráfico de potencias. Alimentación de la línea de trabajo.

La energía recibida en las subestaciones de Pajares y Cobertoria bajo forma de corriente alterna trifásica a 50 p. p. s. y 30 000 voltios (aproximadamente)

Para determinar la potencia que precisan tener las subestaciones de transformación, así como para saber con exactitud el consumo de energía en la línea, es necesario conocer, además de las potencias máxima y media de la instalación, la variación de la potencia en las distintas horas del día, es decir, el gráfico de potencias instantáneas requeridas en los pantógrafos de las locomotoras.

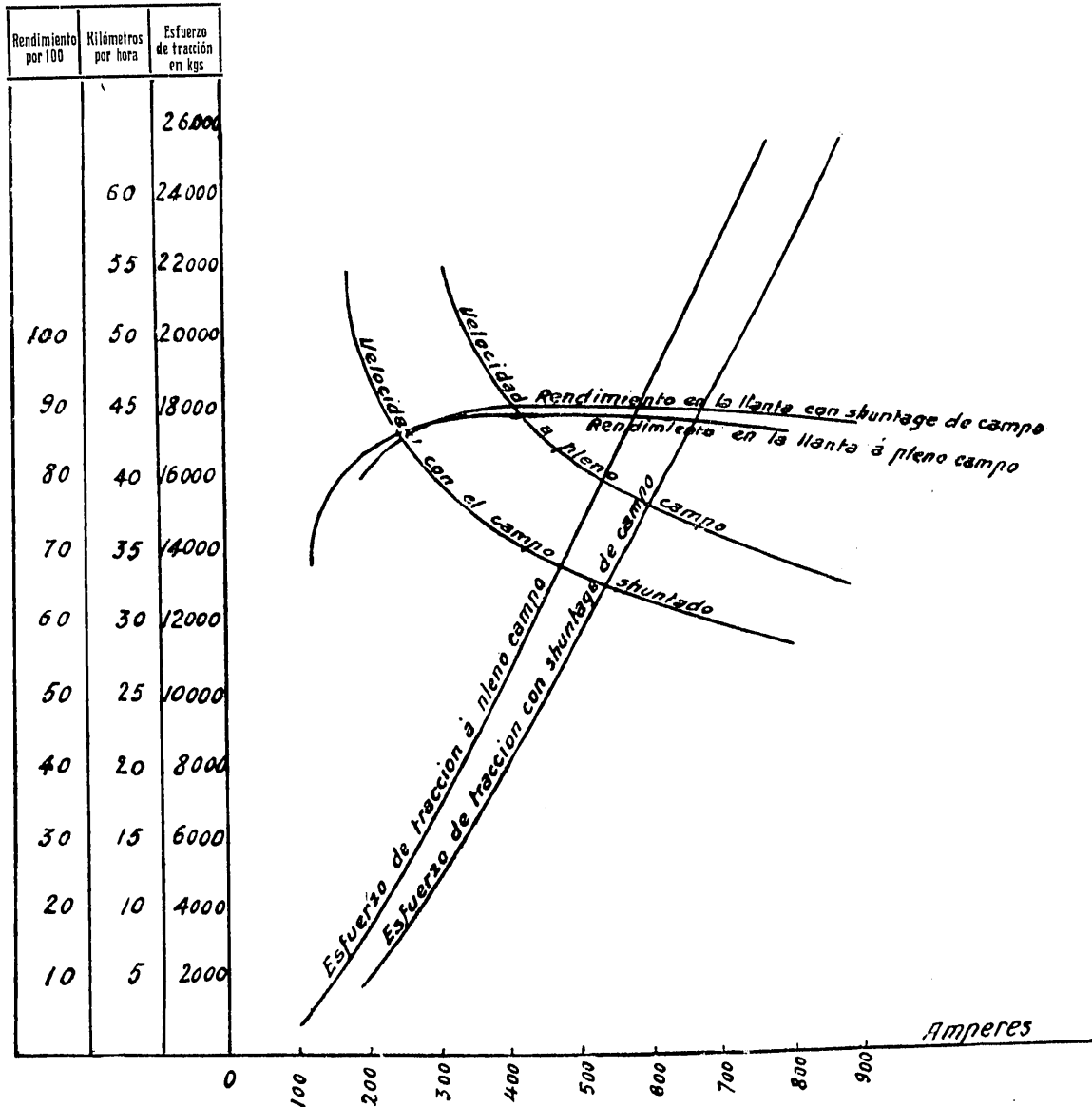


Fig. 1.ª: Curvas características de la locomotora.

es transformada en aquellas en corriente continua a 3 000 voltios, con la que, por medio de *feeders*, se alimenta la línea de trabajo.

Ello se obtiene partiendo del gráfico de trenes ya dado a conocer y de las curvas características de los motores de tracción (fig. 1.ª). Del primero se ha tomado la posición de los trenes cada quince minutos, calculando el esfuerzo de tracción correspondiente

(1) Véanse los números 2 385, 2 386 y 2 387 de la REVISTA.

teniendo en cuenta su respectiva situación en la rampa y la velocidad de régimen o aceleración de arranque; deduciéndose en cada caso el amperaje consumido según el acoplamiento de los motores y obte-

En el citado gráfico se observa que la potencia máxima en los pantógrafos de las locomotoras es de 5 600 kilovatios, de los cuales corresponde un 42,5 por 100 a la subestación de Pajares y un 57,5 por 100

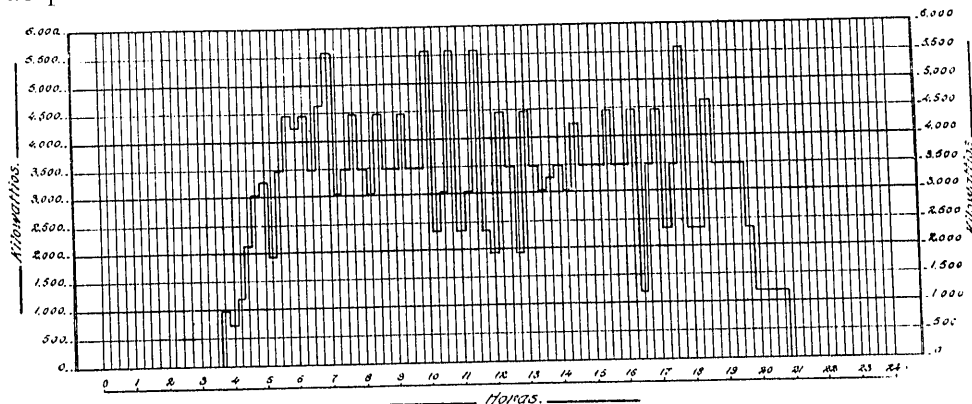


Fig. 2.a: Gráfico de potencias instantáneas en los pantógrafos.

niéndose así el gráfico de la figura 2.a, determinado con arreglo a los siguientes datos:

1.º Programa correspondiente a la llamada primera época, o sea veinte trenes ascendentes de 408 toneladas, prescindiéndose de considerar la recuperación de energía en los descendentes.

2.º La tensión en el hilo de trabajo se ha supuesto es la normal, deducida la caída media de tensión en la línea que, como más adelante veremos, es de 6 por 100, resultando, por tanto, aquella de

$$3\,000 \frac{6 \times 3\,000}{100} = 2\,820 \text{ voltios.}$$

a la de Cobertoria (estos picos, de corta duración, se repiten cinco veces al día).

La potencia necesaria en Cobertoria, que es donde se recibe la total energía requerida por la instalación, se deduce teniendo en cuenta los rendimientos medios de los distintos elementos transformadores y conductores, que son: línea de trabajo, 94 por 100; transformadores, 98 por 100; grupos motores-generadores, 90 por 100; línea de alta tensión entre Cobertoria y Pajares, 94,5 por 100, resultando para dicha potencia máxima

$$\frac{0,425 \times 5\,600}{0,94 \times 0,90 \times 0,98 \times 0,945} + \frac{0,575 \times 5\,600}{0,94 \times 0,90 \times 0,98} = 3\,038 + 3\,883 = 6\,921 \text{ kw.}$$

3.º La resistencia media a la tracción en horizontal y curva se ha tomado de 6 kg./ton., siendo pre-

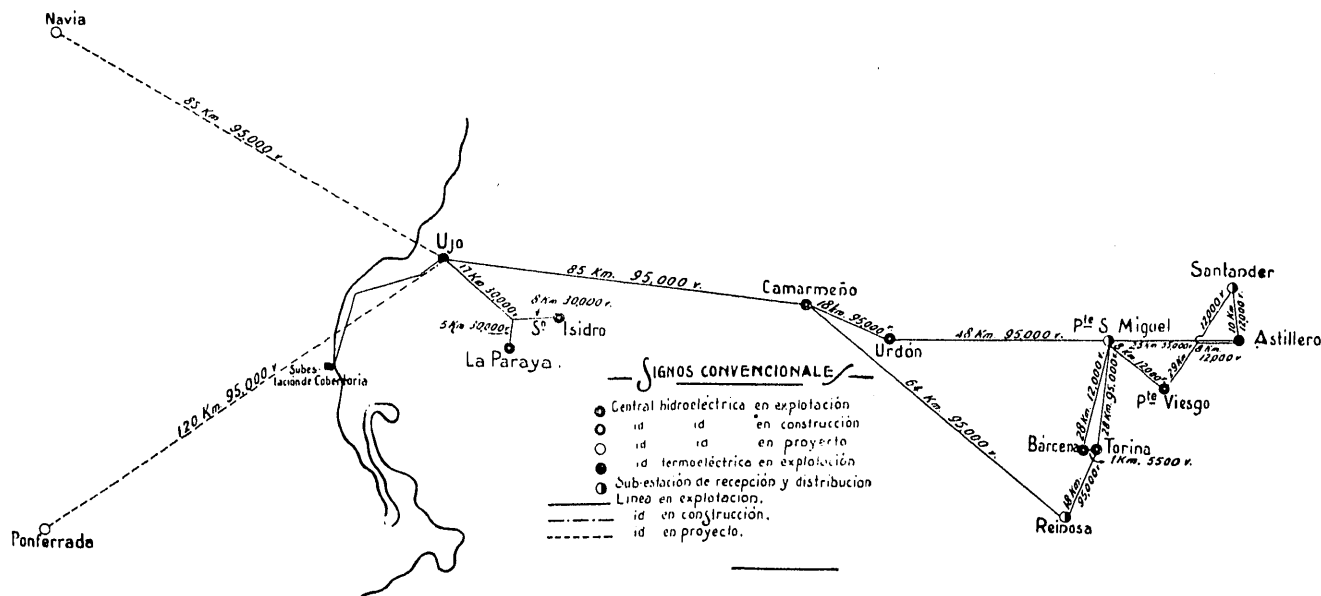


Fig. 3.a: Esquema de la red de alta tensión de la S. A. Electra de Viesgo.

ciso aumentarla para las rampas en tantos kilogramos como milésimas tengan éstas.

4.º Para tener en cuenta la energía consumida por los servicios auxiliares de las locomotoras, se ha aumentado en un 5 por 100 la potencia obtenida en cada caso.

Estos sumandos representan, respectivamente, las potencias instantáneas requeridas en las subestaciones de Pajares y Cobertoria.

Ahora bien: para regularizar la curva de consumo, disminuyendo sus picos, con lo que puede obtenerse la energía en mejores condiciones económicas y me-

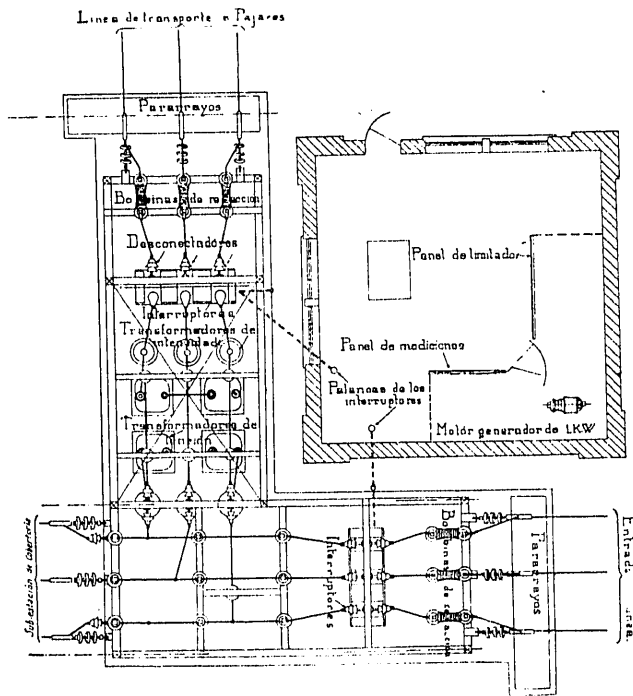


Fig. 4.ª: Instalación para aparatos de medidas. Planta.

jorar también el régimen de marcha de los motores, reduciendo el valor de las sobrecargas accidentales, se instalará un dispositivo especial «limitador e indicador de potencia», que más adelante describiremos, y cuyo objeto es limitar el máximo valor de las mencionadas sobrecargas a uno fijo y determinado de antemano, sin que por ello se introduzcan perturbaciones sensibles en la marcha de los trenes. Con este dispositivo se podrá conseguir que la máxima potencia consumida en los pantógrafos de las locomotoras no exceda de 4 500 kilovatios, con lo que la necesaria en Cobertoria será de 5 560 kilovatios.

A pesar de las ventajas que, en cuanto a economía y seguridad en la explotación, reportaría a la Compañía de los Caminos de Hierro del Norte el establecimiento de una central térmica en Cobertoria con carácter, no ya de reserva, sino permanente, y en la que se podrían quemar a bocamina carbones de calidad inferior, dicha Compañía, en cumplimiento de lo dispuesto en la Real orden aprobatoria del concurso, encaminó sus pasos hacia una inteligencia con la Sociedad Anónima Electra de Viesgo, única entidad hidroeléctrica de la región que, por la importancia de sus concesiones, así como por la situación de sus fuentes productoras de energía y la intercomunicación de todas ellas, que constituye una extensa red (fig. 3.ª), parecía estar en condiciones de atender un suministro de la importancia del que se trata con la regularidad exigida.

En el contrato celebrado con la mencionada Sociedad, se fijan dos épocas: una primera, de suministro permanente, que es la que comenzará a regir desde la vigencia del contrato, y otra, para caso de instalación de una central térmica de reserva por cuenta de la Compañía del Norte, en que la energía suministrada es puramente hidroeléctrica (y, por consiguiente, más económica), y en cuya segunda época la Electra de Viesgo sólo se obliga a suministrar ener-

gía durante doscientos cincuenta días al año, pudiendo dicha Sociedad fijar los días en que suspenda el suministro, distribuyéndolos en el año según le convenga por el régimen de sus saltos, con la única condición de agruparlos a lo sumo en cuatro periodos por año. La potencia máxima que tiene obligación de servir la Electra de Viesgo es de 6 000 kilovatios, que ya hemos visto es suficiente, aunque puede la Compañía del Norte pedir un aumento hasta de 50 por 100, comprometiéndose aquella a comenzar el suministro en el plazo de seis meses.

Para el pago mensual de la energía consumida se usará de una fórmula binomial, afectada de distintos coeficientes para cada una de las dos épocas antes citadas; interviniendo también de modo esencial la potencia máxima consumida, que se deducirá de la curva de consumo mensual con arreglo a la frecuencia, duración e intensidad de los picos, y fijándose, además, para ella un mínimo de 4 500 kilovatios. Se comprende, por tanto, y dada la forma de hacer el pago, que sea sumamente interesante la limitación a que antes hicimos referencia de los picos de la curva de consumo, ya que ello redundaría en el abaratamiento del precio medio por kilovatio de energía consumida.

Asimismo se limita el número de cortocircuitos francos que, fuera del período de pruebas, se pueden anualmente admitir.

La Electra de Viesgo se obliga, por su parte, a ad-

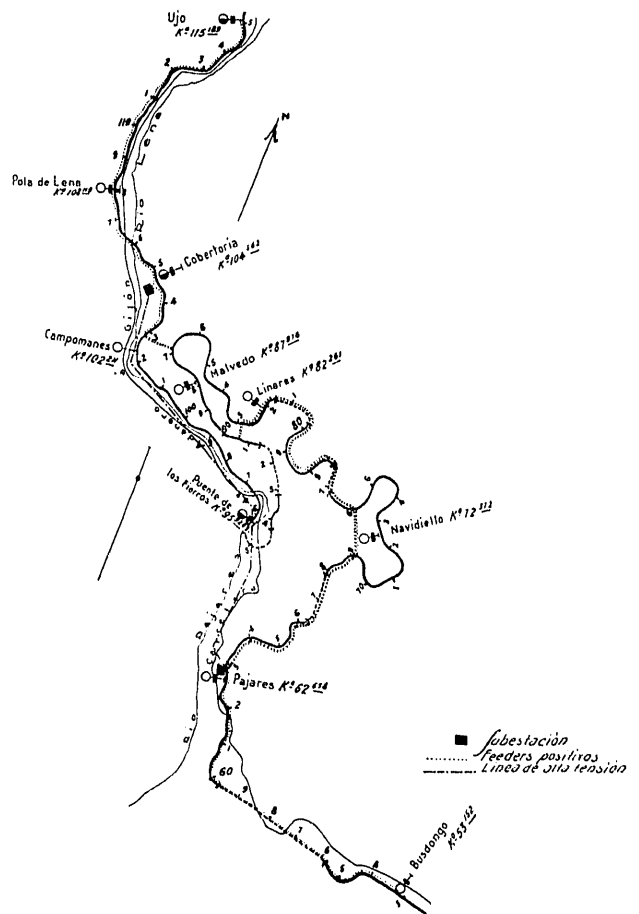


Fig. 5.ª: Plano general de líneas.

mitir en sus redes la energía recuperada por los trenes en la rampa, hasta un máximo de 2 500 kilova-

tios, así como a tener, durante la primera época del contrato, afecta especialmente al servicio de la Compañía, la central térmica de 12 000 kilovatios que está instalando en Ujo y, mientras termina su construcción, la de 2 000 kilovatios actualmente en marcha.

El centro de la red de la Electra de Viesgo más próximo a la rampa es Ujo, y desde este punto deberá llegar con su línea hasta Cobertoria, que es donde entregará la energía, bajo forma de corriente trifásica a 50 p. p. s. y a la tensión compuesta de 28 750 voltios, admitiéndose una tolerancia de un 5 por 100 en más o en menos para la tensión y de un 2,5 por 100 para la frecuencia. (El voltaje no alcanza a los 30 000 voltios primitivamente supuesto para los cálculos, por razón de la pérdida en línea hasta Cobertoria.) La línea de alta tensión llega en las proximidades de la subestación de Cobertoria a un puesto de transformación al aire libre (fig. 4.^a) para los aparatos contradictorios de medición de la energía consumida, los que van instalados en un pe-

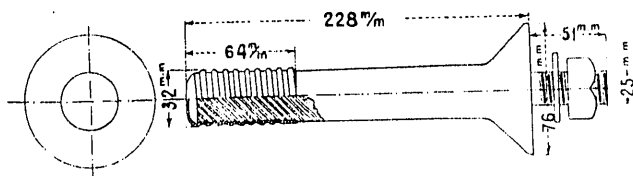
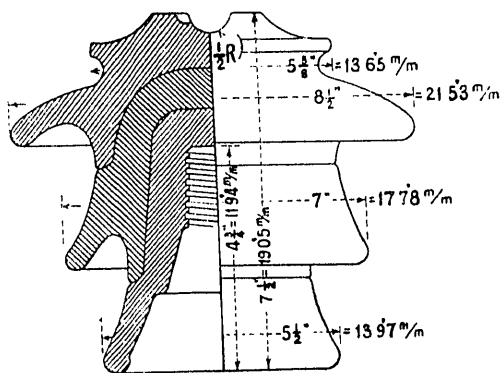


Fig. 6.^a

queño edificio anejo al mismo. En este puesto se bifurca la línea, entrando una rama directamente a la subestación de Cobertoria y siguiendo la otra a la subestación de Pajares sobre la línea de transporte, propiedad de la Compañía, que vamos a describir.

Línea de transporte a 30 000 voltios entre Cobertoria y Pajares.

Al proyectar esta línea, que enlaza eléctricamente ambas subestaciones, se ha procurado que su trazado sea el más corto posible y de fácil vigilancia, por lo que, desechada la solución de llevarlo por la explanación del ferrocarril, a causa de los muchos zigzags y túneles, se decidió instalar la línea siguiendo el trazado de la carretera y procurando que la distancia mínima a ésta sea de unos 30 m., con lo que no son de temer los efectos de inducción so-

bre las líneas telefónicas y telegráficas próximas. La longitud del trazado es aproximadamente de 14 km (fig. 5.^a).

Como la línea no estará en tensión durante las horas nocturnas de cierre de Puerto, que son precisamente aquellas en que con más dificultad se ejerce la vigilancia, con objeto de evitar los robos se han adoptado para conductores cables de aluminio con alma de acero. Esto obliga a una disminución del vano normal para tener flechas aceptables, lo que queda compensado en relación con los conductores de cobre por el menor coste de adquisición de los cables de aluminio.

La separación corriente entre postes es de 50 m, salvo para atravesar grandes barrancadas, en las que se emplean vanos de 150 m. El ángulo entre dos alineaciones consecutivas no es nunca menor de 150°.

Para facilitar la comunicación entre las dos subestaciones se instalará una línea telefónica, cuyos conductores se llevan por los mismos postes que la de alta.

Características eléctricas.

Para el cálculo eléctrico de la línea se ha partido de la potencia necesitada en la subestación de Pajares para la llamada segunda época (veinte trenes de 600 toneladas en doble tracción por cola), pues la economía de aluminio que en otro caso pudiera obtenerse no compensa los gastos de variación de la línea el día en que el tráfico así lo exigiera.

Las características eléctricas y mecánicas de los conductores de alumi-

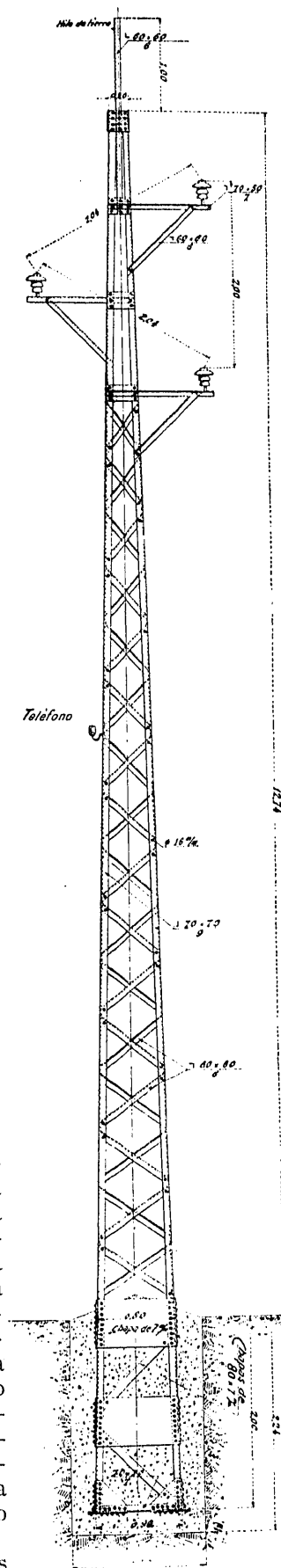


Fig. 7.^a Poste para vano de 150 metros.

nio núm. 2A. C. S. R. (Aluminium Company of Souths America), son:

Sección de aluminio.....	33,61 mm. ²
Diámetro.....	8,02 mm.
Resistencia eléctrica por kilómetro....	0,850 ohmios.
Diámetro del alma de acero.....	2,66 mm.
Carga de rotura.....	1 200 kg.
Límite elástico.....	835 kg.
Peso por metro.....	0,148 kg.

Las condiciones de trabajo de la línea son las siguientes:

Corriente.....	Trifásica.
Potencia máxima a transportar.....	4 500 kw.
Tensión en el origen (Cobertoria).....	30 000 v.
Frecuencia.....	50 000 p. p. s.
Tensión en Pajares.....	27 280 v.
Factor de potencia en Pajares.....	0,85
Intensidad.....	112,5 amperes.
Regulación de tensión.....	9,1 por 100.
Pérdida de potencia en la línea.....	10,8 por 100.

Los aisladores de las fases son del tipo «Locke», de soporte (fig. 6.^a), y sus características son:

Tensión de trabajo.....	35 000 v.
» crítica en seco.....	120 000 v.
» » con lluvia.....	90 000 v.
Resistencia mecánica.....	1 350 kg.
Peso neto aproximado.....	5,5 kg.

valores todos que garantizan condiciones de trabajo muy superior a los normales.

Postes.

Se han proyectado cuatro tipos de postes: primero, para alineaciones rectas y vanos de 50 m.; segundo, para ángulos hasta de 150° y vanos también de 50 m.; tercero, para vanos de 150 m. y alineación recta, y cuarto, postes especiales para cruces de carreteras.

Todos los postes son de sección cuadrada y están constituidos por cuatro angulares principales, arriostros por otros más sencillos en forma de celosía (fig. 7.^a); los aisladores de fase van colocados sobre ménsulas también angulares, mientras que los de la línea telefónica se sujetan directamente a los principales del poste.

Para la protección de la línea contra los fenómenos electrostáticos, se ha previsto un hilo de tierra en toda la longitud de la misma, que se sujeta a un angular vertical cosido a las pletinas de la cabeza del poste.

En el siguiente cuadro se reúnen algunos datos de los postes y línea:

NATURALEZA DEL VANO	Altura total — m.	Idem fuera del suelo — m.	Ancho del poste a nivel del suelo — m.	Flecha máxima vertical — m.	Sección de los angulares principales — mm.	Idem de los de celosía — mm.	Cubo de hormigón en cimientos — m ³ .	Peso del poste — Kgs.
De 50 m en recta.....	9,70	7,50	0,50	0,61	50 × 50 × 5	50 × 50 × 5	2,800	470
De 50 m en curva.....	9,70	7,60	1,00	0,61	70 × 70 × 9	60 × 60 × 6	6,300	870
De 150 m en recta.....	13,75	11,70	0,80	6,82	70 × 70 × 9	60 × 60 × 6	4,400	1 210
Postes especiales de cruce.....	13,20	11,20	0,80	»	70 × 70 × 9	60 × 60 × 6	4,400	1 135

El número total de postes es 275, y para facilitar su transporte se han construido en dos piezas que se unen después con cubrejuntas angulares roblonadas a una de ellas, sujetándose a la otra por medio de tornillos. Los postes de ángulo tienen resistencia suficiente para soportar la tensión de los tres conductores de un vano si se rompieran a un tiempo todos los del contiguo, y sirven, por tanto, de anclajes de línea.

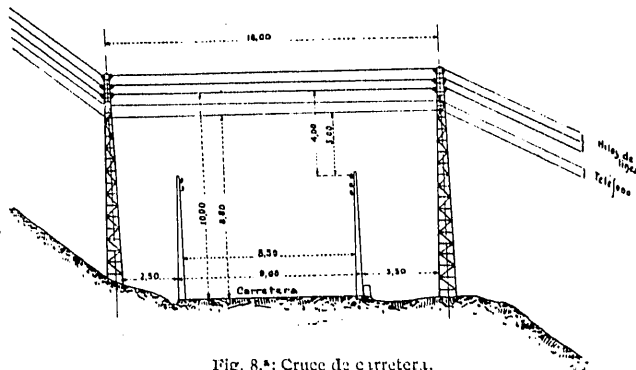


Fig. 8.^a: Cruce de carretera.

La tensión máxima admitida para los conductores

de fase es de 650 kg. en las condiciones más desfavorables de viento o nieve, con lo que el coeficiente de seguridad es de 1,88, perfectamente admisible si se tiene en cuenta que rara vez se llegará a trabajar en dichas condiciones límites. El conductor más bajo de la línea telefónica queda siempre a más de 6 m. de altura sobre el suelo, que es la mínima prescrita por el Reglamento Español de Instalaciones Eléctricas.

La línea cruza dos veces la carretera de Adanero a Gijón, una en el kilómetro 392,098, a poca distancia de la subestación de Pajares, y otra en el kilómetro 399,246, cerca del pueblo de las Puentes. Los postes que limitan los cruces son extraordinariamente resistentes y están colocados fuera de la carretera, dejando a ésta en el centro de un vano de 16 m. El tramo de cruce constituye una solución de continuidad en la línea, estando unido eléctricamente a los contiguos por puentes sin tensión, necesiéndose dos aisladores por fase. La distancia del hilo más bajo de la línea telefónica al más alto de los que van por la carretera, es de 2 m, siendo de 4 m la que hay del conductor de la fase más baja al citado hilo (fig. 8.^a).

En los cruzamientos con caminos municipales o de herradura, no se ha previsto protección alguna.