

LABORATORIO DE INVESTIGACIONES FERROVIARIAS

SECCION DE ELECTRIFICACION

POSIBLES ECONOMIAS EN LAS LINEAS CATENARIAS DE LAS ELECTRIFICACIONES FERROVIARIAS

Por RAMON M.^a SERRET, Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

En el número de enero del presente año publicamos un artículo del mismo autor que el presente, que daba cuenta de la organización de este importante Laboratorio, uno de cuyos interesantes trabajos es el motivo de este artículo, que describe los ensayos realizados con los postes de una Línea Catenaria, proyectada por el Ingeniero de Caminos D. Antonio Angulo para la electrificación de la línea de Madrid-Alcázar. Estos ensayos confirman la posibilidad de obtener muy grandes economías, como puede ver el lector a continuación.

I. - POSTES

En todo país, más aún en los de economía pobre, es deber primordial del Ingeniero el estudiar, lo más a fondo posible, la constitución y comportamiento de los materiales que maneja, así como el cálculo y disposiciones de los elementos y conjuntos de las estructuras y mecanismos que debe construir y explotar.

Lo anterior se traduce siempre en economías en los gastos de primer establecimiento y en los de explotación, por disminuir la zona de desconocimiento de cómo se comportan materiales, estructuras y mecanismos, pudiendo por ello trabajar con menores coeficientes de seguridad, siendo posible el unificarlos en todo lo que integra cualquier explotación.

Tal idea sirvió de base a los estudios que el Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, D. Antonio Angulo, realizó al proyectar — en el Servicio Eléctrico de Obras Públicas —, con todo detalle, en cálculos y planos de construcción, una nueva Línea Catenaria que el Ministerio de Obras Públicas, creyéndola interesante, encomendó ensayar al Laboratorio de Investigaciones Ferroviarias. El presente artículo se ocupa — como se anunció en el número de enero de 1948 de esta REVISTA — de lo referente a los postes de tal línea.

Los postes de una Línea Catenaria son, por sí y por el armamento que soportan — especialmente aisladores —, elementos débiles y costosos que es preciso reducir al mínimo, con lo cual disminuyen los gastos de conservación (pintura y reposición de aisladores principalmente), así como los de adquisición y montaje. Tales postes deben soportar el peso y tensión mecánica de la Línea Catenaria y los esfuerzos que el viento, actuando sobre ellos y aquélla, les transmite. El aumento de la separación entre postes — o sea el vano que debe salvar la Línea Catenaria — hace necesario en los mismos un mayor momento resistente y, por lo tanto, un mayor volumen de material; volumen que, para los vanos, por otras razones admisibles, es siempre menor que el que supone los postes — por sí mis-

mos y por sus cimentaciones — que pueden suprimirse.

En todos los países donde existen ferrocarriles electrificados se han hecho estudios y ensayos de qué vanos pueden ser los más económicos, compatibles con una explotación ferroviaria normal, debiendo partir, para tal estudio, de esta parte de la Línea Catenaria, de las características eléctricas y del tráfico que precisa servir en el porvenir.

Por ello, el Servicio Eléctrico de Obras Públicas, cumpliendo órdenes de la Superioridad, encargó el estudio de la electrificación de la Sección del Ferrocarril de doble vía Madrid-Alcázar al Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos — afecto a tal Servicio — D. Jaime Badillo, el cual lo hizo suponiendo tensión de alimentación en las Subestaciones de 3 600 voltios, caídas máximas de tensión en línea del 30 por 100 y tráfico máximo el 2,23 del que se alcanzó en el año de máximo tráfico, que fué el 1928, obteniendo así un tráfico total supuesto de 2 113 millones de Tn./Km.-año, menor que el admitido por la Renfe en sus estudios (2 180 millones) en tan sólo 67 millones de Tn./Km.-año; con lo anterior, el proyecto citado cumple las Normas I C-VI A y IX F, aprobadas por Orden Ministerial de 27 de abril de 1946 y que rigen actualmente en los proyectos de electrificación de ferrocarriles.

Tanto o más que el tráfico total, influye en el proyecto de una Línea Catenaria la manera de realizarlo, y en el estudio del de la de Madrid-Alcázar se supuso que el tráfico máximo se hacía con 72 circulaciones diarias (36 en cada sentido), solamente 12 más que las realizadas con vapor — sin blok y con enclavamientos y comunicaciones imperfectas, en el año de pico 1928 —, suponiendo trenes de mercancías de 700 Tn. y 550 para los de viajeros (excluidos tractores).

Con tales hipótesis se comprobó que una Línea Catenaria de sección total 282 mm.² de cobre, constituida por un cable sustentador de 152 mm.² y un hilo de contacto de 130 mm.², era suficiente.

La sección total de los hilos de contacto de las electrificaciones de Madrid-Avila-Segovia, Irún-Alsa-

sua y Barcelona-Manresa, es de $2 \cdot 105 = 210 \text{ mm.}^2$, o sea 80 mm.^2 más que la deducida como necesaria y conveniente en la línea en estudio, es decir, el 38,1 por 100 menos de las empleadas en las electrificaciones citadas.

La altura o grueso del hilo de contacto que se preconiza es de 11,5 mm., y la de los hilos de las electrificaciones Madrid-Avila-Segovia e Irún-Alsasua y Barcelona-Manresa, de 12,6 mm., siendo muy achatada la primera y algo peraltada la segunda.

Antes de decidirse el Servicio Eléctrico de Obras Públicas a adoptar un solo hilo de contacto para la Línea Catenaria, compulsó los datos de captación de corriente y estudió a fondo la flexibilidad de la línea con uno y dos hilos de contacto. Para lo primero, comprobó que en las pruebas de recepción provisional, efectuadas el 11 de mayo de 1944, de las electrificaciones Madrid-Avila-Segovia, con locomotora 7 502, remolcando un tren cuyo peso (excluida la locomotora) fué de 545 toneladas, llegando a una velocidad media de 78 Km./h. entre Villalba y Mata Espesa, con motores en paralelo y shuntado 1, se captaron 2 000 A.; que entre Mata Espesa y Collado Mediano, a velocidad de 74 Km./h., con motores en paralelo y campo pleno, se captaron 2 400 A., siendo la máxima intensidad captada de 2 600 A. a 60 Km./h., con motores en paralelo y campo pleno entre Collado Mediano y Los Molinos. El mismo día, 11 de mayo de 1944, y con la misma locomotora, se remolcó un tren con peso (excluida la locomotora) de 1 065 Tn., a la velocidad de 66 Km./h. entre Las Rozas y Las Matas, llegándose a una captación máxima de corriente de 2 800 A. También se comprobó en el trayecto entre Villalba y Cercedilla, para el tren de 545 Tn. antes citado, que para una velocidad media efectiva de 51 Km./h., la captación media de corriente se mantiene en 2 000 A., con los máximos antes indicados. Puede, por lo tanto, tomarse como intensidad continua captada 2 000 A., y máxima, 2 800 A., siendo con estos datos con los que se trabajó para estudiar si era posible la captación de corriente con sólo un hilo de contacto, debiendo tener en cuenta para este estudio la Orden de la Renfe (normal, por otro lado, en toda explotación ferroviaria) de llevar tan sólo un pantógrafo levantado cuando la corriente captada, de un modo continuo, no rebasa los 1 300 A., debiendo levantar los dos en el caso contrario; también debe tenerse en cuenta que el pantógrafo unificado de la Renfe tiene dos mesillas y, por ello, cada pantógrafo supone dos puntos de contacto, existiendo, por consiguiente, con los dos pantógrafos levantados, 8 puntos de contacto en las Catenarias con dos hilos de contacto, y 4 en las que solamente tienen uno; para prever posibles olvidos o averías, y que, aunque la intensidad normal de captación rebase los 1 300 A., sólo se lleve un pantógrafo levantado, se estudiaron también las densidades de captación en 4 y 2 puntos de contacto respectivamente; al hacerlo en

la línea en estudio, se tuvo en cuenta que su tensión será 3 000 V., doble de la empleada en Madrid-Avila-Segovia, y que, por lo tanto, las intensidades captadas en iguales condiciones de cargas, rampas, velocidades y posiciones del combinador, serían como máximo la mitad de las antes indicadas, o sea 1 000 y 1 400 A. Resultan así las densidades de corriente en los puntos de captación, como sigue:

Tensión de 1 500 V. y 8 puntos de contacto = Normal, 2,38 A./mm.², y máxima, 3,33 A./mm.².

Tensión de 3 000 V. y 4 puntos de contacto = Normal, 1,92 A./mm.², y máxima, 2,69 A./mm.², con disminución, respectivamente, en valores absolutos, de 0,46 y 0,64 A./mm.², y en %, del 19,4 y 19,2. En el caso de un sólo pantógrafo levantado, los resultados, análogos a los anteriores, son:

Tensión de 1 500 V. y 4 puntos de contacto = Normal, 4,76 A./mm.², y máxima, 6,66 A./mm.².

Tensión de 3 000 V. y 2 puntos de contacto = Normal, 3,84 A./mm.², y máxima, 5,38 A./mm.², con diferencias absolutas en menos, respectivamente, de 0,92 y 1,28 A./mm.², y en %, de 19,4 y 19,2.

Lo anterior reduce a números lo que de manera intuitiva podíamos haber previsto al considerar que, al duplicar la tensión, la intensidad se divide por dos, e igualmente, al emplear un sólo hilo de contacto, los puntos de captación de corriente, y tan sólo se disminuye en un 38 por 100 la sección total de dicho hilo, con lo cual la densidad de corriente de captación será siempre menor en las electrificaciones a 3 000 V. y con Línea Catenaria con sólo un hilo de contacto, que en las de 1 500 V. y dos hilos de contacto.

Se juzgó que pocas secciones de líneas ferroviarias tendrían condiciones de perfil y explotación más duras que las existentes e impuestas en las pruebas antes reseñadas, pero para comprobarlo se vió la máxima intensidad captada por un tren normal de 466 Tn. remolcadas a 55 Km./h., entre Santa María y Navalperal, que fué de 1 900 A. que se reducirían a 950 A. para tensión de alimentación a 3 000 V., bastante menor aquella intensidad que la antes considerada de 1 400 A.; también se vió que la intensidad media en tal trayecto era de 1 200 A., lo que da, para las nuevas electrificaciones a 3 000 V., unos 600 A. de intensidad media, también bastante menor que los 1 000 A. antes tenidos en cuenta.

Por último se estudiaron dos proyectos de electrificación: uno, hecho por la Renfe, el de León-Ponferrada, y otro, redactado por Servicios Eléctricos de Obras Públicas, el de Madrid-Alcázar, y en la figura 1.^a pueden verse, para ambos, las curvas amperios-velocidades para tráficos iguales y mayores, respectivamente, que los que marcan las actuales Normas para electrificación de Ferrocarriles; en tales curvas se comprueba que las intensidades captadas son bastante menores que las tenidas en cuenta anteriormente.

Es, pues, para nosotros, indudable que, en cuanto a densidad de captación de corriente se refiere, en la casi totalidad de las electrificaciones españolas podrá utilizarse un solo hilo de contacto de 130 mm.² de sección. La sección del hilo que proponemos (figura 2.^a), comparada con las dos actualmente empleadas, se utilizó con éxito en España en la electrificación de los fe-

tales —, a tener en cuenta la superficie total del directamente expuesto al viento y la 0,7 del contiguo, y por ello la sección que debe considerarse para los dos hilos de 105 es $0,0125 + 0,7 \cdot 0,0125 = 0,02125 \text{ m.}^2$, y tan sólo 0,0115 m.² para un solo hilo de 130 mm.² de sección; según las citadas Normas, la presión por metro cuadrado para los hilos de contacto debe ser

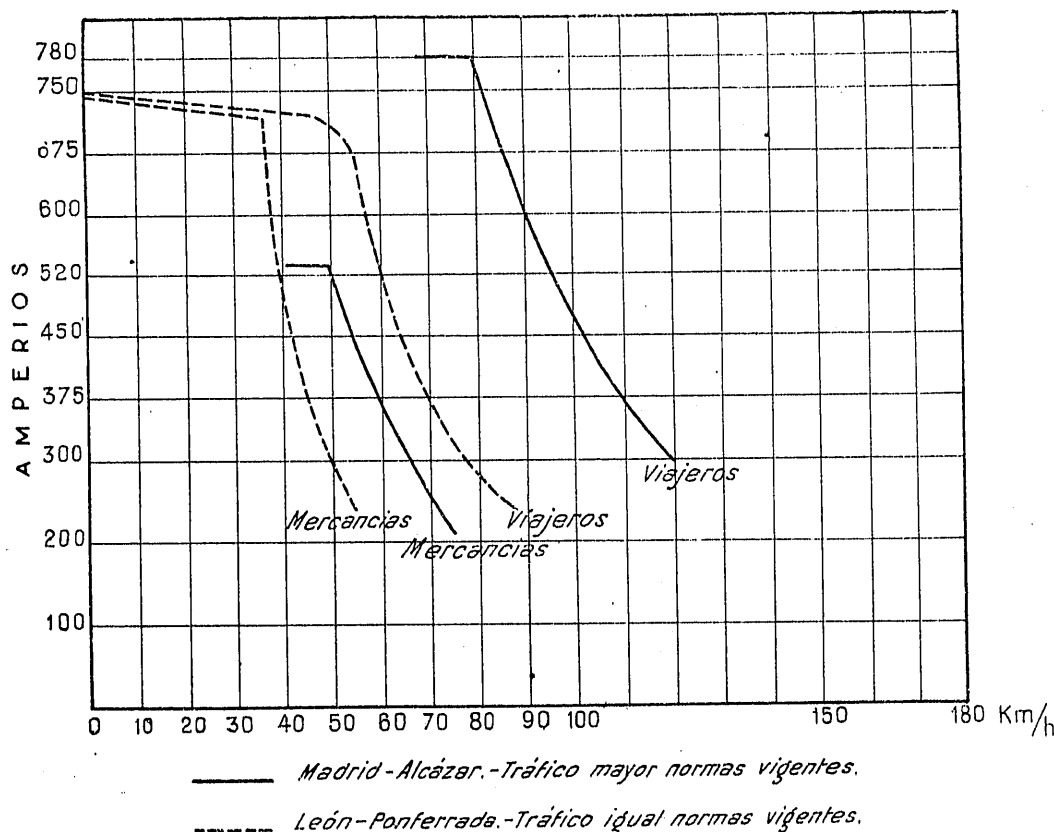


Figura 1.^a

rrrocarriles del Estado, de Vitoria a Estella y de Vitoria a Mecoalalde.

En relación con la flexibilidad de la línea, el estudio hecho (y que se detallará en el artículo que trate de ensayo de piezas de la línea) hace ver existe completa seguridad de que será, por lo menos, tan flexible como la de Madrid-Ávila-Segovia con dos hilos de contacto de 105 mm.².

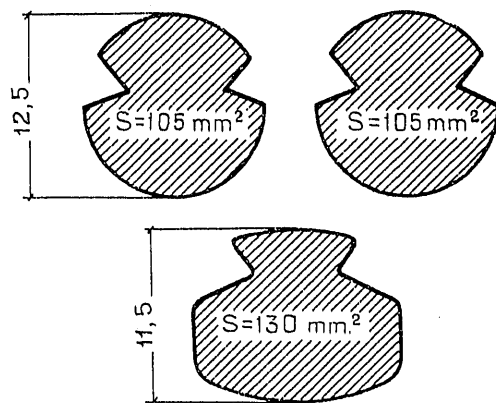
La importancia de utilizar un solo hilo de contacto estriba, principalmente, a más de disminuir las piezas de la catenaria y las dificultades de su montaje y conservación, en que los esfuerzos que el viento sobre él ejerce se aminoran notablemente comparándolos con los ejercicios sobre dos. Las Normas vigentes para el cálculo de las Líneas Catenarias (O. M. 6 julio 1945) obligan, al existir dos hilos de contacto — son sus superficies de frotamiento en diferentes planos horizon-

$72 \cdot 1,30 = 93,60 \text{ Kg./m.}^2$, o sea, por metro lineal de línea:

Con 2 hilos de contacto = $0,02125 \cdot 93,60 = 1,989 \text{ Kg.}$
 Con 1 hilo de contacto = $0,0115 \cdot 93,60 = 1,076 \text{ "}$
 Con diferencia de..... 0,913 "

es decir, el 45 por 100 del mayor y el 85 por 100 del menor; tantos por ciento que en valor absoluto tienen gran importancia, como se pone de manifiesto al considerar que con dos hilos de contacto y para postes a 50 m. de distancia (como en la electrificación Madrid-Ávila-Segovia), la presión del viento, actuando sobre un poste, representa 99,20 Kg. y para un solo hilo de contacto y postes 25 m. más alejados, vano de 75 m., tal presión por poste sólo es de 80,70 Kg., es decir, 18,5 menos (el 18,6 %), habiéndose aumentado la distancia entre postes el 50 por 100.

Establecido como suficiente un solo hilo de contacto de 130 mm.² (fig. 2.^a), y puestas de manifiesto sus ventajas en relación con la acción que sobre él ejerce el viento, deseó el Servicio Eléctrico de Obras Públicas comprobar el coeficiente de aumento de presión debida al viento, que para los hilos de contacto imponen las Normas vigentes, pues conocía que tales Normas, en este punto concreto, se habían establecido sin una copiosa información, no así el resto de aquéllas.

Figura 2.^a

Por ello solicitó del Instituto Nacional de Técnica Aeronáutica (INTA) un ensayo comparativo en su túnel aerodinámico; para tal ensayo, la Sociedad Comercial de Cobre y Metales, en su fábrica de Córdoba, trefiló un hilo de cobre de sección completamente circular de 11,5 mm. de diámetro, y el ensayo comparativo hecho en el túnel aerodinámico consistió en encontrar los esfuerzos que sobre tal hilo y uno de contacto de 130 mm.² (procedente de la electrificación Vitoria-Mecolalde y cedido por la Jefatura de Explotación de Ferrocarriles por el Estado), suponía un viento de 120 Km./h. (máximo que admiten las Normas vigentes), con inclinaciones $\pm 10^\circ$, que son las reglamentarias para el cálculo de otros elementos constructivos. (Normas de cálculo de estructuras metálicas.) La presión máxima correspondió a -10° y estuvo en relación de 0,911 entre la correspondiente al hilo de contacto y uno circular de diámetro igual a la altura o grueso de aquél, es decir, que es menor en el de contacto que en el circular, y no mayor, como se imponía en las Normas aprobadas por Orden Ministerial de 6 de julio de 1945; por ello, la fórmula que da la presión, en vez de ser $P = 1,30 \cdot 0,005 V^2 l \cdot d = 0,0065 V^2 l \cdot d$, deberá ser: $P_1 = 0,911 \cdot 0,005 V^2 l \cdot d = 0,004555 V^2 l \cdot d$, con lo cual el esfuerzo para un viento de 120 Km./h., en lugar de ser de 93,60 kilogramos/m.², pasa a ser $\frac{0,004555}{0,006500} 93,60 = 0,703 \cdot 93,60 = 65,80$ Kg./m.², es decir, que resulta una

minoración de presión de alrededor del 30 por 100 por el efecto de la forma afilada de salida del viento que las ranuras dan a la sección del hilo de contacto. Admitido lo anterior, el esfuerzo por metro lineal sobre poste y para dos hilos de contacto de 105 mm.² y vano de 50 m. y un hilo de contacto de 130 mm.² y vano de 75 m., valen, respectivamente, 1,398, 0,757 Kg./m., 69,90 y 56,77 Kg., con diferencia de 13,13 Kg., o sea, el 18,6 por 100 menor con un solo hilo de contacto y vano 50 por 100 mayor que cuando se consideran dos de aquéllos. Por todo lo expuesto anteriormente, en todo lo que sigue trabajaremos con presión del viento de 0,757 Kg. para cada metro lineal del hilo de contacto de 130 mm.² de sección.

Aunque no tanto como la sección total de los conductores que integran la Catenaria y la manera cómo tal sección se reparte entre sustentador e hilo de contacto (estudiado esto con todo detalle, como se dirá en el artículo dedicado a piezas de la catenaria), interviene, como consecuencia del vano admisible entre postes, la altura de éstos. Para fijar ésta, precisa partir de la altura normal del hilo de contacto sobre el carril, que hemos admitido — como es normal — sea 5,75 metros, lo que da, para altura sobre el plano superior del macizo de cimentación del poste (ver fig. 3.^a), 6,05 m. El armamento en la parte superior del poste, ménsula y atirantado, puede montarse o con el tirante inclinado tendido desde la parte superior del poste al travesaño horizontal de la ménsula (tipo Madrid-Ávila-Segovia), o con el tirante horizontal desde la parte superior del poste al travesaño inclinado de la ménsula (tipo Vitoria-Mecolalde); en el primer caso, el poste debe ser más alto que en el segundo — para iguales vanos y tensiones mecánicas en Catenaria —, en la distancia de su extremo al travesaño horizontal de la ménsula, que para iguales vanos, Catenaria y alturas del hilo de contacto, vale 1,17 m., que pueden ahorrarse con la disposición citada en segundo lugar, lo cual da por resultado que, aumentando en el 50 por 100 los vanos empleados, en relación con los de la electrificación Madrid-Ávila-Segovia, es decir, pasando de 50 a 75 m., la altura total de los postes sea mayor en 1,250 m. que la por nosotros proyectada para los postes de la línea en estudio (fig. 3.^a), o sea, 7,70 m. fuera de macizo y 9,00 m. en total, siendo de 10,25 m. la de los postes de Madrid-Ávila-Segovia.

Desechada, por las múltiples complicaciones que supone, principalmente en las agujas, y por consiguiente en las estaciones, la Catenaria inclinada, se estudió si convenía adoptar una Catenaria normal atirantada con regulación estacional o autorregulada. La suficiente permanencia que, en cuanto a altura, da al plano horizontal del hilo de contacto esta última, sin necesidad de actuar — dos o tres veces por año — sobre tensores, que por otro lado pueden suprimirse, nos inclinó a adoptar, para nuestros estudios y proyectos, la catenaria normal autorregulada, aunque esta auto-

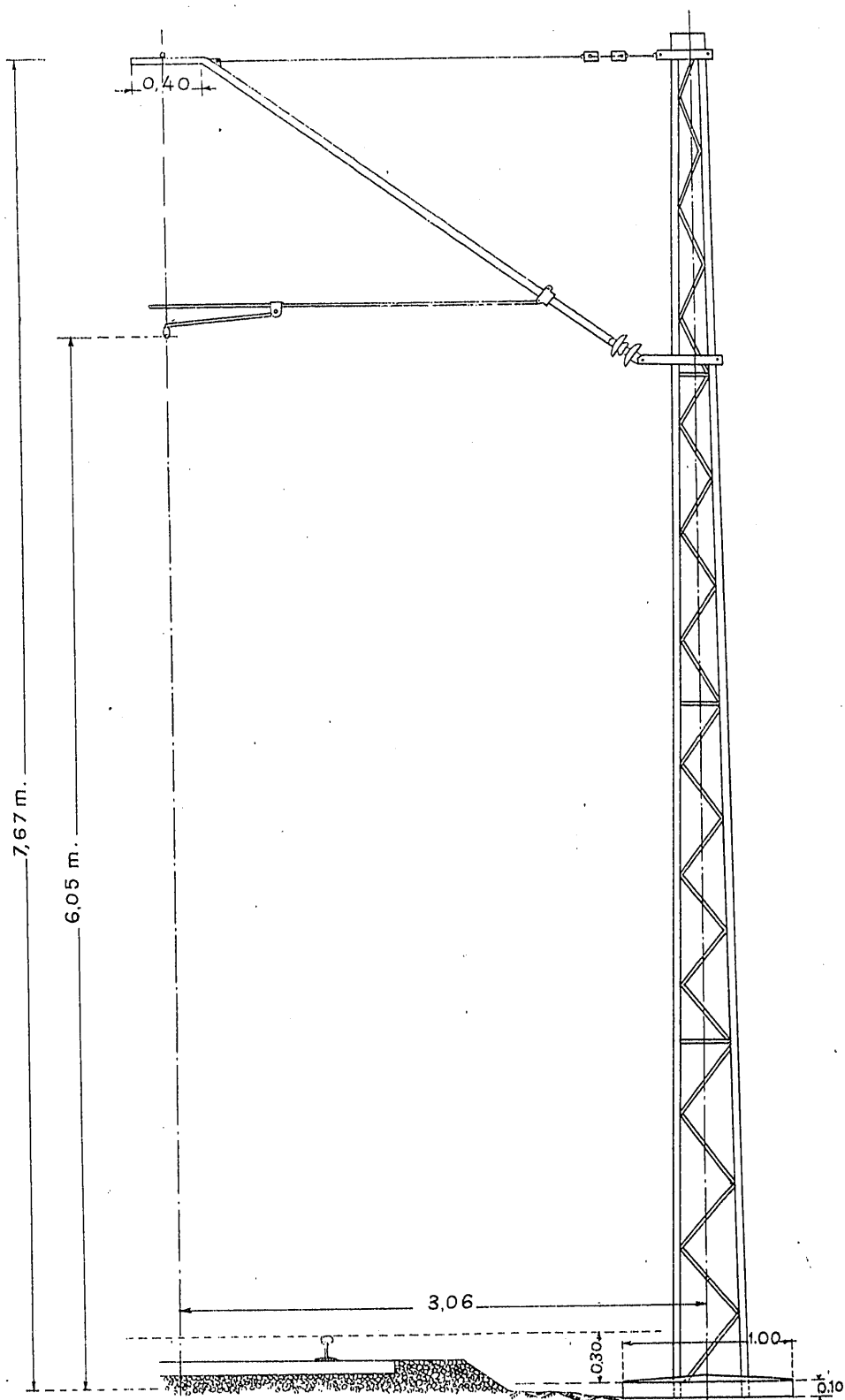


Figura 3.ª

regulación se redujera al hilo de contacto que se proyecta anclar en una serie de puntos y tensar con contrapesos en otros, uniendo rígidamente a los postes el cable sustentador. El detenido estudio de las variaciones de situación del hilo de contacto — flechas que originan en el hilo de contacto pendientes no mayores de 1,5 milésimas — que una Catenaria así constituida supone, comprobó lo acertado de la solución adoptada.

La mayor o menor distancia entre anclajes supone economía, tanto en postes como en cimentaciones y armamento, y por ello tal cuestión se estudió detalladamente. Para ello se fijó el desplazamiento máximo que se permite al hilo de contacto, desplazamiento limitado no por el del contrapeso, que puede ser teóricamente el que se quiera, sino el de los extremos de las péndolas fijas por un extremo al hilo de contacto que se desplaza, y por el otro extremo, al cable sustentador que está fijo. Dicho desplazamiento se supone igual a $\pm 0,30$ m. en la péndola más próxima al contrapeso — en la que se acumulan todos los desplazamientos —, por dar dicha longitud una inclinación de péndolas, y por consiguiente unos esfuerzos sobre el hilo de contacto, compatibles con el material y otras condiciones de trabajo a que aquél está sometido. Se suponen, para los estudios de determinación de distancia entre anclajes, las siguientes hipótesis: a), que el hilo de contacto se tiende con carga de 12 Kg./mm.², o sea, con tensión de 1 560 Kg.; b), que la oscilación de temperatura es de $\pm 30^\circ$ C. sobre la media de colocación; c), que el coeficiente de dilatación térmica del cobre es de 0,000 016 m./° C. m. Con tales hipótesis, y suponiendo que el hilo de contacto “flotara” en el espacio y el desplazamiento máximo fuera el anteriormente admitido, los contrapesos resultan situados a 1 250 m., con un anclaje en el punto medio de esta longitud. El comportamiento del hilo de contacto al formar parte de la estructura de una Línea Catenaria, es un poco más complicado que lo anteriormente supuesto, puesto que las péndolas sostienen al hilo de contacto pendiente del cable sustentador en el cual están rígidamente anclados los otros extremos de aquéllas y, por lo tanto, al dilatarse o contraerse el hilo de contacto, las péndolas salen de la vertical — en tal posición a la temperatura media — para inclinarse tanto más cuanto la variación de temperatura es mayor, y para una misma variación, cuanto más lejos estén del anclaje y más cerca del contrapeso. Lo anterior da lugar a que en cada vano entre péndolas, la carga de trabajo que soporta el hilo de contacto, en cada punto de unión con las péndolas, no sea la misma, siendo siempre mayor en el punto más cercano al anclaje; para sencillez en los cálculos — con aproximación suficiente — se supuso que dentro de cada vano entre postes las cargas en el hilo de contacto no varían de una a otra péndola, es decir, que se acumulan todas estas variaciones de un poste a otro poste. Lo que venimos diciendo da idea de que la diferencia de longi-

tud de las péndolas — en medio vano — tiene influencia en la carga de trabajo del hilo de contacto, y teniendo en cuenta al mismo tiempo que la flexibilidad de la Línea Catenaria, sin que nunca se despegue del pantógrafo, se estudió la péndola de dimensión mínima y máxima en un vano entre postes; lo anterior condujo a adoptar una péndola mínima de 0,500 metros de longitud, y al dar al cable sustentador una flecha de 1,120 m. (correspondiente a la carga dicha y vano de 75 m. de luz), se llega a una péndola máxima de 1,620 m.

El estar sometido el hilo de contacto en los diferentes vanos a distintas cargas, tiene por consecuencia que las deformaciones no son las tenidas anteriormente en cuenta — y que sirvieron para calcular la distancia entre anclajes — y las reales son debidas a deformaciones térmicas y elásticas. Estudiadas éstas detenidamente para una serie de vanos, hasta 12, partiendo de una supuesta de 0,300 en el punto A, medio del vano más cercano al contrapeso, se llegó por interpolación (fig. 4.^a), a que el punto distante 10,833 m. a la izquierda del punto K — vano II —, está en equilibrio; como el que debe estarlo es el de la línea correspondiente a un poste, que dista 26,667 m. del punto antes citado, si hacemos una traslación de todas las deformaciones, se llega a que el nuevo punto A' del vano I, corrido a la derecha del A 26,667 m., es el del máximo desplazamiento, y éste vale 0,313 m., que es aceptable, resultando por ello la distancia entre contrapesos de 1 650 m. (la mitad entre éstos y el anclaje), que supera en 400 m. a la calculada, teniendo únicamente en cuenta las dilataciones térmicas “libres” del hilo de contacto al suponer que tales dilataciones no eran contrariadas o favorecidas por el “vínculo” que supone el anclaje de las péndolas en el cable sustentador.

Es interesante calcular qué suponen de variación de carga en el hilo de contacto — aun cuando existe el juego de contrapeso de autorregulación — tales “vínculo”, y haciéndolo para oscilación $\pm 30^\circ$ sobre la temperatura de colocación, se llega a $\pm 1,50$ Kg./mm.² (exactamente 1,44) de variación de cargas en el hilo de contacto. El aumento de carga hace llegar a ésta a 13,50 Kg./mm.², y el descenso, a 10,50 Kg./mm.², siendo interesante estudiar una y otra; la máxima para comprobar, está dentro de lo normal, y la mínima, por el destensado que produce en el hilo de contacto. La carga de rotura de los cobres que normalmente se emplean en España para hilo de trabajo varía entre 36 y 39 Kg./mm.², lo que da como mínimo un coeficiente de seguridad de $36/13,5 = 2,66$, y máximo de 2,88, análogo al admitido en las estructuras metálicas — como puentes para ferrocarril — y mayor (2,5) que el fijado por las Normas para el cálculo de Líneas de Transporte de Energía a Alta Tensión que la Dirección General de Obras Hidráulicas impone para grandes líneas de Interconexión de Saltos de Pie de Presa.

La carga de $10,50 \text{ Kg./mm.}^2$, supone un destensado del hilo de contacto que puede tener por consecuencia el que la flecha horizontal que tome entre postes dicho hilo sea excesiva, ocasionando la pérdida de contacto con el pantógrafo, en el caso que coincida una máxima elevación de temperatura con un viento huracanado; las Normas vigentes para el cálculo de Líneas Catenarias imponen, para una máxima elevación de temperatura, que la acción del viento se reduzca, teniendo en cuenta lo hace la velocidad de aquél (Norma b) en un 60 por 100 de la máxima, siendo las presiones proporcionales al cuadrado de la velocidad, la presión del viento que deba tenerse en cuenta es $0,757 \cdot 0,60^2 = 0,273 \text{ Kg./m.}$, lo que origina una flecha, para vanos de 75 m., de 0,141 m.; siendo esta cifra muy inferior al semiancho del pantógrafo, no hay peligro abandone al hilo de contacto si éste se tendiera en ali-

paración de pantógrafo e hilo de contacto, pero antes estudiaremos otra hipótesis de viento y temperatura según ordenan las Normas vigentes (Norma c), que admite el viento máximo y una variación de temperatura de $+30 - 10 = +20$. Al variar la oscilación de temperatura varía el movimiento del hilo de contacto,

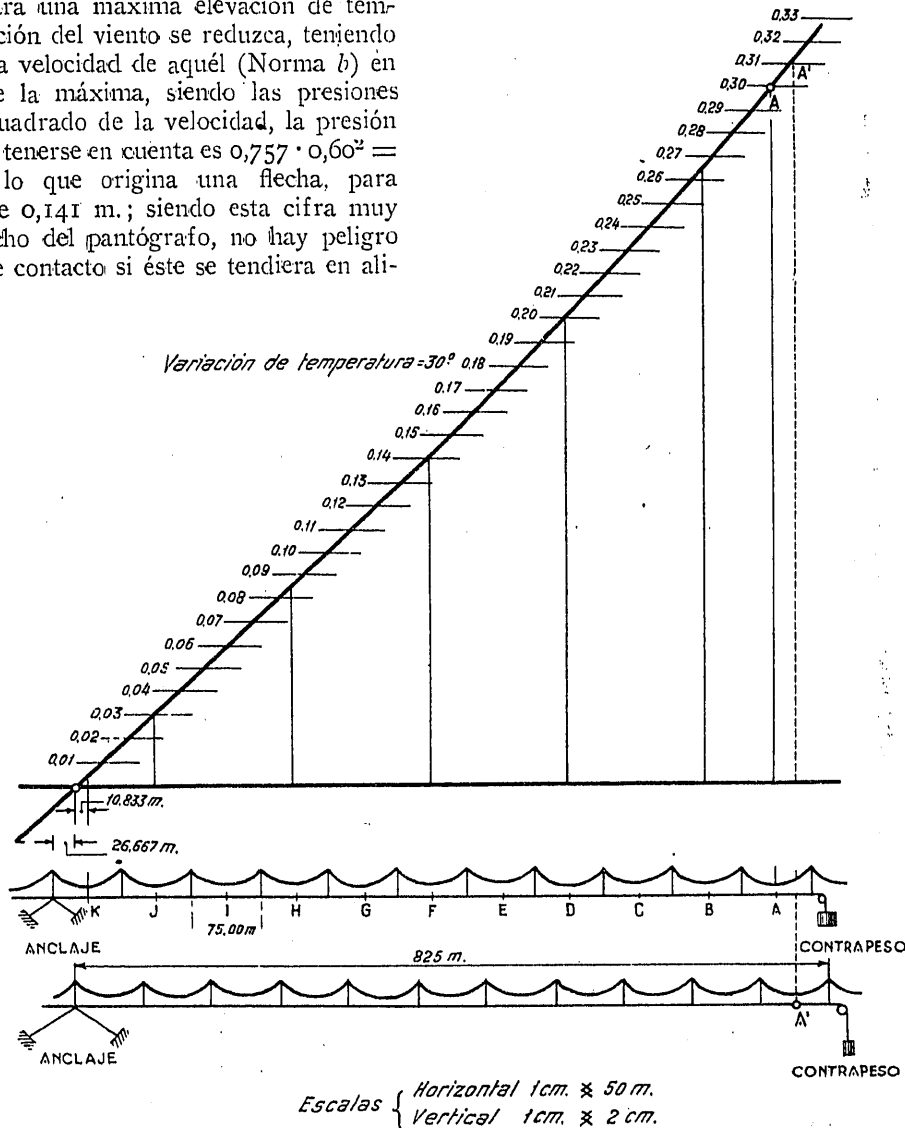


Figura 4.^a

neación recta, paralelo al eje de la vía. Para evitar que en las alineaciones rectas, al no existir viento, el hilo de contacto roce con el pantógrafo siempre en el mismo punto, con peligro de que quede seccionado, se monta aquel hilo con descentramiento respecto a la proyección del eje de la vía, de unos 25 a 30 cm., a uno y otro lado de tal proyección, y con arreglo a dicha disposición es como debe estudiarse la posible se-

debido a deformaciones térmicas y elásticas, y haciendo análogo estudio al antes considerado, se obtiene que el hilo de contacto en el punto más próximo al anclaje se descarga en $0,92 \text{ Kg./mm.}^2$, con lo cual, y viento de $0,757 \text{ Kg./m.}$, debe calcularse la máxima flecha horizontal — para vanos de 75 m. — que vale 0,419 m., admisible, pues el frotador del pantógrafo tipo unificado tiene de semiancho 0,579 5 m., y el se-

miancho total de aquél (que puede definir la pérdida total de contacto), es de 0,6095 m., siendo, por lo tanto, los márgenes de seguridad para que empiece a disminuir la superficie de contacto, de 16,5 cm., y de 19,5 cm. para que la pierda completamente, y ello habiendo supuesto viento de 120 Km./h., realmente excepcional aun en huracanes de gran intensidad.

Teniendo en cuenta el descentramiento en recta impuesto porque, al no existir viento, no sea siempre el mismo el punto de frotamiento del pantógrafo, y admitiendo para tal descentramiento ± 28 cm., se calculó el punto del vano (de 75 m.) en que la flecha o

a las alas, y otro de chapa, formando tubo de sección rectangular.

Las acciones consideradas paralelas a la vía son:

a) Las correspondientes al peso de la Línea Catenaria representado por $75 \cdot 2,590 = 194,6$ Kg., que producen un momento flector en empotramiento de $194,6 \cdot 3,06 = 594$ m. Kg.

b) Las correspondientes al viento, actuando sobre el hilo sustentador, de 120 Km./h., de $75 \cdot 1,176 = 88$ kilogramos, que ocasiona un momento flector en empotramiento de $88 \cdot 7,67 = 675$ m. Kg.

c) Las correspondientes al viento (de igual inten-

$$\xi = \frac{x}{\frac{1}{2}} = \frac{2x}{1}$$

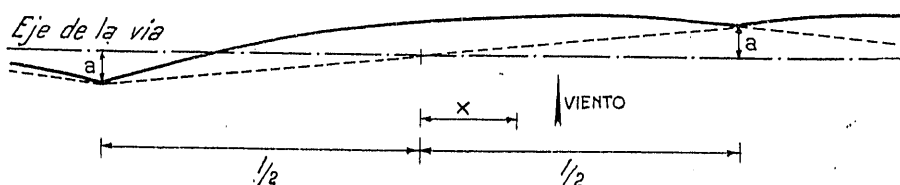


Figura 5."

descentramiento total es máximo y que dista de la derecha del centro del vano $\frac{75}{2} \frac{0,28}{0,419 \cdot 2} = 0,334 \cdot \frac{75}{2} = 8,775$ m. (ver fig. 5."), siendo el valor de tal descentramiento máximo de $0,419 (1 - 0,334^2) + 0,28 \cdot 0,334 = 0,465$ m., es decir, 4,6 cm. mayor que el anteriormente determinado, dejando márgenes de seguridad de 11,6 y 14,6 cm. para pérdida parcial y total de contacto.

Por todo lo anterior, vemos que un vano de recta de 75 m. entre postes es aceptable en condiciones de completa seguridad, ya que tal vano está definido porque el material que se se emplee en la Línea Catenaria trabaje, bajo todas las condiciones de temperatura que las Normas imponen, en buenas condiciones y que el pantógrafo no abandone al hilo de contacto en las condiciones que también las Normas imponen como más desfavorables. Resta estudiar, para las alineaciones rectas, la acción de la línea sobre los postes, el cálculo de éstos y sus macizos. Proporcionando postes y macizos a las acciones que les transmita la línea, será preciso determinar si las flechas que toman en los puntos de atirantado del hilo de contacto permiten a éste seguir con seguridad frotando en el pantógrafo.

Para proyectar los postes se han tenido en cuenta, como es normal, los esfuerzos paralelos a la vía, los normales a la misma y los verticales; con ello, y para vano de 75 m., se han calculado dos tipos de poste: uno de celosía, compuesto por [y pletinas soldadas

al antes considerado) actuando sobre el hilo de contacto de $75 \cdot 0,757 = 56,77$ Kg., produciendo un momento flector en empotramiento de $56,77 \cdot 6,05 = 343,45$ m. Kg.

d) Las correspondientes al viento actuando sobre el poste en la cara paralela a la vía, o sea, $100 \cdot 7,70 \cdot 0,14 = 100 \cdot 1,08 = 108$ Kg., que da lugar a un momento flector en el empotramiento de $108 \cdot 3,85 = 415$ m. Kg.

Las acciones b), c) y d), son siempre concordantes entre sí y ocasionan un momento flector de $1433,45$ m. Kg., que puede sumarse o restarse al momento flector a), que siempre tiende a producir el vuelco hacia la vía. Resultan así, como momentos flectores tendiendo a volcar el poste hacia la vía, $+2027,45$ m. Kg., y tendiendo a volcarlo fuera de la misma, $-839,45$ m. Kg.

El poste de celosía se ha proyectado con ésta soldada a las alas de las [con el fin de: a), tener menor longitud de pletinas y, por lo tanto, menor efecto de pandeo de las mismas; b), facilitar la soldadura por las dos caras; c), facilitar el galvanizado, metalizado o pintura; d), y por último, no proporcionar puntos donde pueda acumularse agua o hielo. En tales postes, para darles rigidez, se han proyectado unas diagonales de pletina, colocadas verticalmente, que solidarizan un ala de una [con la contraria de la otra.

El poste de chapa, de 4 mm. de grueso, se proyectó

para que tenga la forma de máximo momento de inercia y mínima masa, dentro de lo que permite la industria española, y por ello se piensa construir con dos planos, de los que se laminan normalmente, doblados en forma de L y con dos soldaduras longitudinales, estando tapado el poste por la parte superior. Con esta disposición solamente precisa galvanizar, metalizar o pintar la parte exterior del poste, que una vez colocado no es posible pueda oxidarse por su interior.

Las secciones de los postes proyectados son las que constan en la figura 6.^a, y dos pertenecen a los que en la serie estudiada se designan con A), de chapa, y B), de celosía. El A), de chapa, está proyectado para resistir los esfuerzos antes citados y pudiendo utilizarse en recta y parte interior de curva hasta 1 500 m. de radio, con vanos de 75 m. En la parte interior de la curva el momento flector vale 2 086 m · Kg. El poste B), de celosía, resiste con exceso los esfuerzos antes citados, y por ello puede emplearse en iguales ubicaciones, no habiéndose proyectado uno menor por no juzgar prudente al descender de [de 10.

Los postes de chapa, A), dan de peso, en báscula, 189 Kg., y los de celosía, B), 229 Kg.; como los postes de la electrificación Madrid-Ávila-Segovia, de me-

nor peso, alcanzan 337 Kg., y se utilizan en recta para varos de 50 m. de luz, es interesante el estudiar los esfuerzos máximos a que dichos postes están sometidos, clasificándolos de igual manera a lo antes hecho, o sea:

a₁) Los correspondientes a peso Línea Catenaria compuesta de un feeder de 228 mm.² (109 Kg.), un sustentador de 299 mm.² (140 Kg.), dos hilos de contacto de 105 mm.²/1 y péndolas (108 Kg.), o sea, 357 Kg., que originará en el empotramiento un momento flector de $357 \cdot 3 = 1\,071 \text{ m} \cdot \text{Kg.}$

b₁) Los correspondientes al viento de 120 Km./h., actuando sobre sustentador y feeder que da 168 Kg., que produce un momento en el empotramiento de $168 \cdot 7,50 = 1\,260 \text{ m} \cdot \text{Kg.}$

c₁) Los correspondientes a la acción del viento sobre los dos hilos de contacto de 95 Kg., que da lugar a un momento en el empotramiento de $95 \cdot 6,05 = 575 \text{ m} \cdot \text{Kg.}$

d₁) Los correspondientes al viento actuando sobre el poste, que ocasiona un momento flector en el empotramiento de 585 m · Kg.

El momento flector total positivo vale + 3 491 metros · Kg., y el negativo, — 1 349 m · Kg.

El poste por nosotros proyectado, tipo B), de celosía, está calculado para resistir 3 434 m · Kg., trabajando el material a 12 Kg./mm.², siendo el esfuerzo indicado ligeramente mayor al que deben soportar los postes colocados a 75,00 m. en el exterior de curvas hasta 1 500 m. de radio.

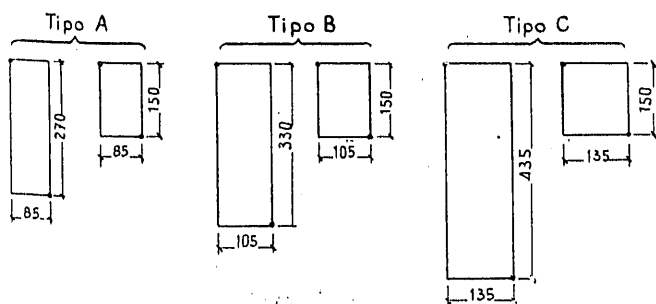
El poste tipo A), de chapa, antes citado, trabaja a 13,16 Kg./mm.² cuando se coloca con vanos de 75 m. en la parte interior de curvas hasta 1 500 m. de radio. La carga máxima de trabajo por tracción admitida en las Normas vigentes para el cálculo de los Puentes Metálicos para Ferrocarril es de 14 Kg./mm.², y por ello hemos creído prudente el aceptar la misma para el trabajo del material de los postes y elementos de las Líneas Catenarias.

Lo anterior supone un ahorro verdaderamente importante en el hierro utilizado en postes, puesto que en 1 050 metros de una alineación recta de Línea Catenaria se emplearon en las electrificaciones de Madrid-Ávila-Segovia 22 postes, con peso unitario de 337 Kg./1, o sea, 7 414 Kg. en total de perfiles; con los postes por nosotros proyectados se emplearían tan sólo 15 postes, con peso de 189 Kg./1, al ser de chapa, o sea, 2 825 Kg. en total, y al ser de perfiles de 229 Kg./1, 3 435 Kg. en total, con economía en hierro, respectivamente, de 4 589 Kg. (el 61,6 %) y 3 979 Kg. (el 53,6 %).

Tan enormes diferencias son debidas, principalmente, al empleo de tensión de 3 KV. en lugar de 1,5 KV. para alimentar la Catenaria, llevar los coefi-

— POSTES —

Chapa



Celosía

o Cordon de soldadura

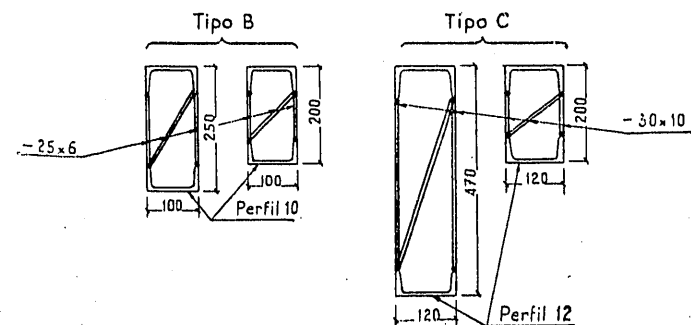


Figura 6.^a

cientes de seguridad en el trabajo del material a iguales valores que los admitidos en las Normas vigentes para cálculo de estructuras de igual o mayor importancia, en cuanto a seguridad de explotación se refiere, que los de una Línea Catenaria y proyectar disposiciones que se traducen en mínima altura total de los postes.

Como resultaban algo excepcionales las economías encontradas y aunque no sólo se calcularon los postes para tener seguridad en que resistían en buenas condiciones, sino que también se calcularon las flechas en los puntos de amarre de los atirantados para tener garantía de que tales flechas (sumadas a las antes calculadas y detalladas) no hacían perder al pantógrafo el contacto con la Catenaria, y dado que pueden discutirse algunas fórmulas aplicadas, especialmente con las que se estudió el pandeo de los postes, se propuso, para tener plena garantía y seguridad, al Consejo del Laboratorio de Investigaciones Ferroviarias, se ensayaran los tipos de poste que el Servicio Eléctrico de Obras Públicas había proyectado, lo cual fué aceptado por tal Consejo y por la Dirección General de Ferrocarriles, la que libró el oportuno crédito para realizar los referidos ensayos.

Para realizarlos, el Ingeniero del Laboratorio don Alberto de Granda, auxiliado por el Ayudante de Obras Públicas D. Luciano Campa, preparó, en terrenos próximos a la Escuela, una explanada en desmonte — serviría, por lo tanto, para ensayar en una cierta clase de terreno los macizos de cimentación — en donde se ubicaron los dos postes *B* y *C*, de perfiles, y los *A*, *B* y *C*, de chapa.

Tomadas las precauciones con relación a las cimentaciones, que se describirán en un próximo artículo a ellas dedicado, se procedió a tirar de los postes — con dinamómetro construido y tarado para tal fin —, de tal modo que los momentos flectores a que estarán sometidos puedan ser iguales y mayores que los que que los postes, como máximo, deberán resistir en línea, e igualmente en relación con las acciones a plomo que deberán soportar, importantes principalmente en cuanto a estabilidad de las cimentaciones se refiere. El esfuerzo se materializó por medio de cable unido con bridas al extremo del poste, a 7,50 m. de su base, estando el otro extremo del cable unido al dinamómetro y éste a un anclaje distante, en horizontal, 9,00 m. del poste; con esta disposición, el esfuerzo inclinado que precisa hacer para tener los 2,086 m · Kg.

de momento flector en la base es $\frac{2086}{75} : 0,768 = 278/0,768 = 362$ Kg. al ser 0,768 el coseno del ángulo que el cable forma con la horizontal; los esfuerzos leídos en el dinamómetro lo fueron variando de 100 en 100 Kg., y al mismo tiempo se leía — por me-

dio de un taquímetro y un clinómetro — la flecha del poste a 5,82 m. de la base y la inclinación del plano de coronación de la misma en relación con el horizontal; las lecturas de flechas a 300 Kg. y 400 Kg. de tiro inclinado, que corresponden, respectivamente, a 230 y 307 en horizontal, fueron 68 y 89 mm., correspondiendo a un tiro horizontal de 278 Kg. — obtenida por interpolación rectilínea — 81 mm.; no es ésta la flecha que debe tenerse en cuenta, puesto que el poste se montará con contraflecha para contrarrestar a la producida por el peso propio de la Catenaria, y por ello debe verse qué esfuerzo corresponda solamente a las acciones del viento, y éste es $\frac{1500}{7,5} = 200$

kilogramos en horizontal, estando comprendido, en inclinado, entre los tiros de 200 y 300 Kg., que dieron lugar a flechas de 49 y 68 mm., obteniendo por interpolación la de 60,5 mm., que es la que debe tenerse en cuenta; debe, pues, montarse el poste con contraflecha, a 5,82 m. de la base — punto de amarre del atirantado —, de 20 mm.; teniendo en cuenta las flechas anteriormente determinadas, que toma por sí mismo el hilo de contacto, los resguardos del pantógrafo para empezar a perder contacto o abandonar completamente a la Catenaria, son de $11,6 - 6 = 5,6$ cm., y $14,6 - 6 = 8,6$ cm., respectivamente. Aun resta tener en cuenta el aumento de flecha que supone el que al dilatarse el hilo de contacto 0,20 m. gira la ménsula un ángulo de $4^{\circ} 6'$, lo que supone un aumento de flecha de 0,7 cm., quedando los resguardos antes citados reducidos a 4,9 y 7,9 cm.

Con esfuerzo horizontal 90 por 100 mayor del que ocasiona el viento máximo que las Normas preconizan, o sea, con 384 Kg., el momento flector vale 2880 m · Kg., y la flecha que el poste toma a los 5,82 m. sobre su base, vale 11 cm.; es decir, que con tal esfuerzo no hubiera abandonado aún el pantógrafo a la Catenaria de manera total; dicho esfuerzo corresponde a un viento de $120 \frac{384}{200} = 168$ Km./h., verdaderamente excepcional en España, como también lo es el de 120 que las Normas fijan.

Las flechas del poste antes citadas son debidas en su mayor parte a la flexibilidad, y en una mínima parte, a la deformación del terreno, que, dentro de los esfuerzos citados, fué prácticamente elástico, e igualmente el poste de chapa ensayado.

Con lo anterior quedaba claramente de manifiesto que los postes de chapa tipo *A*), proyectados por Servicios Eléctricos de Obras Públicas, se comportaban como los cálculos habían predicho, y eran útiles para las ubicaciones previstas; pero para conocer hasta dónde se comportaban elásticamente, se cargaron y descargaron varias veces hasta comprobar que con 900

kilogramos de tiro inclinado, correspondiendo a 700 kilogramos de tiro horizontal y, por lo tanto, a un momento flector de 5 250 m · Kg. (2,5 veces lo que en las peores condiciones normalmente debe resistir el poste), eran aún elásticas sus deformaciones y que el poste se rompía con tiro inclinado entre 1 200 y 1 300 Kg. (horizontal entre 920 y 1 000 Kg.). o sea, 3,3 veces el esfuerzo que debe resistir en condiciones normales.

No creemos que pueda, ni deba, económicamente, exigirse más a un poste de una Línea Catenaria, y por ello el empleo de poste A), de chapa, economizaría, en alineaciones rectas y parte interior de curvas

a que se considera puesto dicho hilo a la temperatura media, y la mayor acción del viento compatible con la temperatura correspondiente, así como los esfuerzos que el tendido poligonal, para seguir la curva, introduce.

En recta, en las peores condiciones de temperatura y viento que el Reglamento vigente admite (cuyas probabilidades hemos visto anteriormente son muy pequeñas), el máximo descentramiento considerado fué de 532 mm.; en curva, por los mayores movimientos perturbadores que ellas ocasionan en el material, limitamos el máximo descentramiento del hilo de contacto a 400 mm. Teniendo lo anterior en cuenta — que

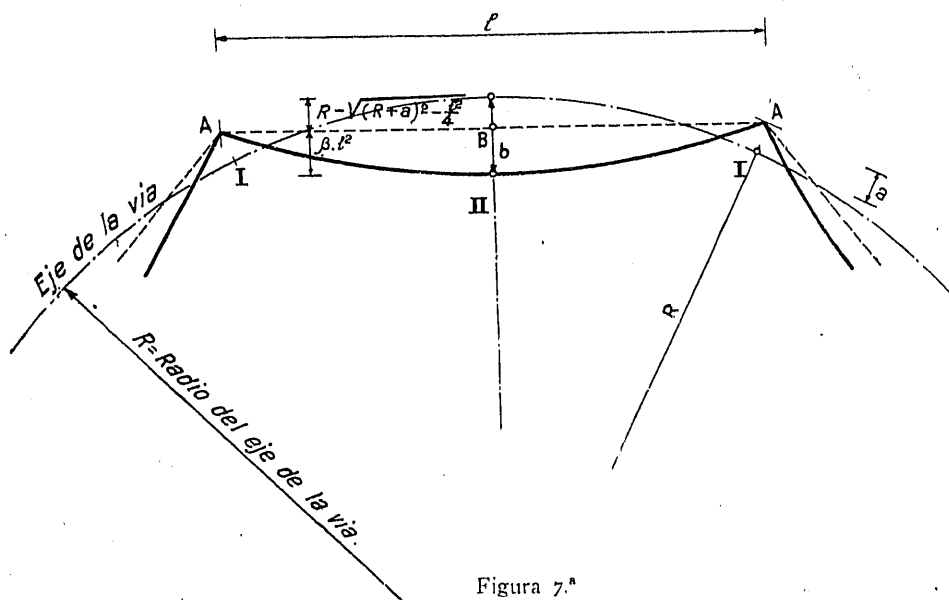


Figura 7.ª

hasta 1 500 m. de radio, el 61,6 por 100 de perfiles en relación con una línea electrificada a 1 500 V. y constituida como la de Madrid-Ávila-Segovia.

Para ver si se podían emplear, en lugar de postes tipo A, de chapa, postes tipo B, de celosía, se ensayaron éstos, y los mismos pusieron de manifiesto que las flechas son el 0,60 — y menores — que las del poste A, de chapa, y por ello pueden también utilizarse con toda seguridad, reduciéndose la economía en perfiles a 53,6 por 100.

Para curvas de radio menor que 1 500 m. es preciso proyectar otros tipos de poste distintos que el A, de chapa, y el B, de celosía, y para ello debe tenerse también en cuenta que sigue siendo económico el colocar los postes a la mayor distancia posible, compatible con que el hilo de contacto no deje de frotar con el pantógrafo, dada la carga de trabajo de 12 Kg./mm.²

la carga de trabajo del material del hilo de contacto, para las longitudes de péndolas y distancias entre anclajes antes fijados, es de 11,08 Kg./mm.², y que la acción del viento sobre dicho hilo vale 0,757 Kg./m.—, resulta que el descentramiento debido a la acción del viento, b (fig. 7.ª), valdrá:

$$b = \beta l^2 = \frac{0,757 \cdot l^2}{8 \cdot 130 \cdot 11,08};$$

siendo el descentramiento debido al radio R, en función del descentramiento máximo a, de valor

$\sqrt{(R+a)^2 - \frac{l^2}{4}}$, y el descentramiento total la suma de las dos expresiones antes escritas, al actuar el viento hacia el centro de la curva, que es el caso más desfavorable. De tal expresión, al fijar a en 0,400 m.,

puede deducirse el valor de R (radio de la curva) compatible con la separación que se fije entre postes, obteniendo así los radios de curva siguientes:

Curva de radio superior a 1 500 m., postes a 75,00 m.
" " entre 1 500 y 775 m., " 62,50 m.
" " " 775 y 400 m., " 50,00 m.
" " " 400 y 200 m., " 37,50 m.

Calculados los momentos flectores para los postes a las distancias escritas, resulta:

Distancia entre postes en curva	Postes exteriores a la vía — Momentos flectores m. Kg.		Postes interiores a la vía — Momentos flectores m. Kg.	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
75,00 m.	+ 3 274	+ 130	+ 1 136	— 2 086
62,50 "	+ 3 771	+ 796	+ 194	— 3 045
50,00 "	+ 4 604	+ 1 714	— 920	— 3 810
37,50 "	+ 59 11	+ 1 928	— 2 234	— 5 317

para resistir los cuales se han proyectado, como antes se dijo, dos series de postes: una, de chapa, A , B y C y otra de celosía, B y C , siendo de análogas características mecánicas los designados con la misma letra. Anteriormente vimos que, estrictamente para recta e interiores de curvas de radio 1 500 ó mayor, puede emplearse el poste A de chapa, y para el resto de las curvas se proyecta utilizarlos como sigue:

Radio curva — m.	Distancia entre postes — m.	Tipo de poste en curva		Poste	Peso en báscula — Kg.
		Interior	Exterior		
∞ a 1 500	75,00	A	B	A (chapa)	189
775 a 1 500	62,50	B	C	B "	220
400 a 775	50,00	C	C	C "	277
200 a 400	37,50	C	C	B (perfil)	229
				C "	306

Los postes B , C , de chapa, y B , C , de celosía, se ensayaron de análoga manera a lo descrito para el A de chapa, y los resultados fueron los siguientes:

El poste B de chapa, en las peores condiciones, normalmente debe resistir un tiro horizontal en la punta de $\frac{3\,274}{7,5} = 430$ Kg., dando una flecha para dicho tiro (500 Kg. inclinado) de 73 mm. a 5,82 m. de altura del empotramiento, es decir, que el descentramiento, en las peores condiciones, vale 47,2 cm. y, por lo tanto, el resguardo, antes de empezar el pantógrafo a perder contacto, es de 10,75 cm., y para perderlo totalmente, de 13,75 cm. Descargado y cargado

el poste hasta 600 Kg. de tiro horizontal en la punta (o sea 1,40 el tiro, máxima que normalmente debe resistir), se comportó elásticamente, alcanzando flechas de 9,8 cm., es decir, que aun el pantógrafo no empezaría a perder contacto con la Catenaria. Para determinar con qué esfuerzo se rompía, se aumentaron aquéllos, llegándose hasta una tensión horizontal en la punta de 1 300 Kg., rompiéndose poco después de aplicarla al poste; la tensión aplicada fué 3,15 mayor que la que normalmente, en las peores condiciones, debe aguantar el poste.

La flecha que dió el poste C , de chapa, para el tiro normal en la punta, que en las peores condiciones debe resistir $\left(\frac{5\,911}{7,5} = 788 \text{ Kg.}\right)$, fué de 7,9 cm. a 5,82 metros, es decir, 7 mm., más que el poste B , de chapa, a la tensión que le correspondía, y por ello los resguardos para empezar a perder contacto, o perderlo totalmente el pantógrafo y la Catenaria, son 10 y 13 centímetros, respectivamente. El poste se rompió con tensión horizontal en la punta, entre 2 300 y 2 400 kilogramos, es decir, entre 2,90 y 3,03 veces la tensión normal máxima.

La flecha a 5,82 m. del empotramiento en el poste B de perfiles para el tiro normal, en la punta, que debe aguantar en las peores condiciones $\left(\frac{3\,274}{7,5} = 430 \text{ Kg.}\right)$, es de 9,0 cm., lo que da para los resguardos del contacto 9 y 12 cm., respectivamente. Este poste se rompió con tensiones horizontales en la punta, comprendidas entre 870 y 930 Kg., es decir, entre 1,65 y 1,85 veces la tensión normal máxima a que debe estar sometido.

El poste C de perfiles da una flecha, a 5,82 m. del empotramiento, bajo la sollicitación normal más desfavorable $\left(\frac{5\,911}{7,5} = 788 \text{ Kg.}\right)$, de 3,9 cm., lo que da para los resguardos del contacto 14,0 y 17,0 cm. Dicho poste no pudo ser roto con los elementos de que dispone el Laboratorio, que suponían una tensión 1,2 mayor que el normal; es de suponer que rompería con esfuerzo análogo al B de perfiles, o sea unas 1,70 veces la tensión normal en las peores condiciones.

De lo anterior deducimos que todos los postes se han comportado, en los ensayos, como los cálculos habían previsto y que pueden emplearse con absoluta seguridad en línea.

Pudiera pensarse que los resguardos que antes hemos calculado existen antes de que el pantógrafo abandone el hilo de contacto son pequeños y efectivamente así es, y ello es consecuencia de haber calculado teniendo en cuenta todas las acciones exteriores que actúan sobre la Línea, las características del material

de que se compone y la estructura de aquélla, no dejando en el estudio nada que sea previsible al azar; a análogos resultados, de márgenes pequeños, se llega siempre que así se procede en cualquier estudio de una estructura ingenieril, y como tal puede considerarse la Catenaria.

Con una vía bien conservada, como es preciso lo sea la de una electrificación, puesto que siempre será tal línea de gran tráfico (denso y veloz), en donde no puede admitirse una conservación defectuosa, que pueda cambiar las características en planta y perfil de aquélla, aunque sólo sea en detalles — que puedan parecer — pequeños, del trazado, los resguardos antes encontrados son suficientes.

Por otro lado la velocidad del viento, de 120 kilómetros/hora, no sabemos se diera en España más que en algún ciclón como el que devastó últimamente Santander, fenómeno siempre imprevisible. De los datos por nosotros conocidos deducimos que rara vez la velocidad del viento en España llega a 100 Km./h., y es extraordinario alcance 110 Km./h. Si consideramos esta última velocidad, la flecha del hilo de contacto en alineaciones rectas, teniendo en cuenta el zigzag de aquél, vale 0,369 m., a la que debe sumarse la del poste, de 5,7 cm. — en esta hipótesis —, y la debida al giro de las ménsulas, de 0,7 cm.; en total, la flecha vale 0,433 m., y por lo tanto los resguardos, análogos a los antes considerados, son 14,65 cm. y 17,65 cm. Con igual viento de 110 Km./h., los resguardos en curva — con poste *B* de chapa —, colocados a 75 m., son de 16,75 y 19,75 cm. De igual manera, en las curvas donde los postes estén a 62,5 m. y se utilice poste *C* de chapa, los resguardos valen 13,2 y 16,2 centímetros, y para curvas donde los postes se coloquen a 50 y 37,5 m., tales valores son, respectivamente, 12,20, 15,20, 11,00 y 14,00 cm.

El que las velocidades que se han tomado para el viento — cumpliendo las Normas vigentes — son excepcionales, lo demuestra un estudio hecho, tomando los datos de la Catenaria Madrid-Avila-Segovia. En ella, los postes para la suspensión de la Catenaria están a 50 m., y los atirantados del hilo de contacto, a 100 m.; bajo la acción del viento, de 110 Km./h., el cable sustentador, rígidamente anclado con vanos de 50 m., se inclina de tal modo que su plano queda en equilibrio bajo la acción del peso total de la Catenaria y la acción del viento; la flecha horizontal que así resulta para el cable sustentador es de 0,330 m. El hilo de contacto puede considerarse está anclado sobre el cable sustentador en los centros de dos vanos contiguos y, por lo tanto, salvando uno de 50 m.; como la Catenaria es de regulación estacional, debe suponerse que hacia principio de la primavera se regula y, por ello, que el hilo de contacto queda con la tensión límite

admisible (carga de 14 Kg./mm.²) a la temperatura mínima que puede presentarse en tales épocas — finales de abril, primeros de mayo — de 0° C.; siguiendo las Normas vigentes, precisa calcular la flecha que el hilo de contacto, así regulado, toma con máximo viento y variación de 20° C. sobre la media, o sea, en total, 35° C.; en lugar de tomar el viento de 120 Km./h., admitimos solamente el de 110 Km./h., y así se obtiene una flecha para el hilo de contacto — calculado como suspendido del cable portador — de 0,281 m., o sea en total de 0,614 m.; al tener el frotador del pantógrafo — tipo unificado — 0,609 5 m., resulta que la Catenaria perdería el contacto con el pantógrafo. Como los trenes circulan sin incidencias, tanto sobre la línea M.-A.-S. como sobre las de I.-A., B.-M. y S. de los A., precisa admitir una de estas dos hipótesis: una, que tal viento de 110 Km./h. no se ha dado nunca; otra, que aunque se dé, no coincide con el paso de un tractor, o coincidiendo, las pérdidas de contacto son instantáneas (viento en rachas) y siempre sin la consecuencia fatal de un “enganchón” entre pantógrafo y Catenaria.

En recta es fácil fijar — y anteriormente se hizo — con exactitud los postes tipo *A*, de chapa, o *B*, de perfiles, por nosotros calculados, que son necesarios para una longitud determinada de Línea Catenaria, e igualmente para los postes *P*₁, tipo M.-A.-S. Es más difícil, por no decir imposible, de no hacer un proyecto de replanteo comparado en una serie de secciones de líneas que se piense electrificar, el fijar el número de postes, de una y otra serie, que puedan ser necesarios en longitudes — recta y curva — de la total electrificación proyectada en España. Sin embargo, no estará muy lejos de la realidad el admitir que la distancia media a que resultarán los postes de la serie proyectada por el Servicio Eléctrico de Obras Públicas, y cuyos resultados de ensayos anteriormente quedan descritos, será de 50 m. y de 40 m. la distancia para los de la serie M.-A.-S.; esto quiere decir que por kilómetro de la primera son necesarios 20 y 25 de la segunda; el tipo medio de poste — para un cálculo de pesos — que resultará casi seguramente de la primera, es el *B*, de chapa, con peso en báscula de 220 Kg./1, y para poste medio de la segunda debe tomarse uno ficticio con peso teórico, media aritmética entre el del *P*₁ y *P*₂, o sea $723/2 = 361,5$ Kg./1; resulta así el peso del kilómetro de postes en la serie S. E. O. P. de $20 \cdot 220 = 4\,400$ Kg., y para la serie M.-A.-S., de $25 \cdot 361,5 = 9\,037,5$ Kg., con diferencia de 4\,637 Kg., o sea el 51,3 por 100 de economía en peso, que significa para los 5\,263 Km. de vía del plan de electrificación — aprobado por Decreto de 25 de enero de 1946 — un ahorro a la Economía nacional de 24\,400 toneladas de hierro laminado. En el último Concurso celebrado para postes

de Línea Catenaria (línea de ensayo Las Matas-Río Manzanares), el precio-medio de postes (74,585 toneladas en total; de ellas, 5,751 de postes de chapa tipos A, B y C), fué 2,95 ptas./Kg.; si admitimos esta cifra para las 24 400 toneladas de ahorro de hierro en postes, el ahorro en pesetas significaría aproximadamente la muy importante cifra de 71 980 000 pesetas; como el precio del hierro en postes ha subido desde la fecha de dicho Concurso, la cifra anterior será seguramente mayor. Sin embargo, para tener en cuenta la posible diferencia entre postes de chapa y celosía, aunque los de chapa construídos en grandes series — se trata de 105 260 postes para toda la electrificación proyectada si se utilizan los de la serie S. E. O. P., o 121 575 si se hacen de la serie M.-A.-S. — son sensillísimos de fabricar, mantenemos la anterior cifra, es decir, que la Orden del Ministerio de Obras Públicas de que Servicios Eléctricos de Obras Públicas estudiara una Línea Catenaria primeramente, y con posterioridad la de que el Laboratorio de Investigaciones Ferroviarias la ensayara, empezando por los postes, ha tenido como consecuencia el que se ofrezca al Estado la posibilidad de economizar, cifrada en material, 24 400 toneladas

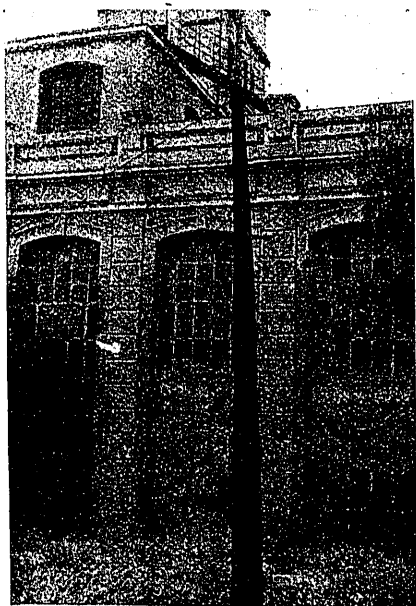


Figura 8.ª

de hierro laminado, y cifrada en pesetas, aproximadamente, 72 millones. El coste que tales estudios y experimentos significa para el Estado no rebasa el 0,127 por 100 de la economía posible, ya que la cantidad librada por la Dirección General de Ferrocarriles al Laboratorio de Investigaciones Ferroviarias, para en-

sayo de postes y sus cimentaciones, fué de 136 800 pesetas, y puede admitirse que se repartan por mitad entre una y otra cosa, y que se pueda estimar en 67 000 pesetas las que del presupuesto del S. E. O. P. se han invertido en el estudio de la Línea Catenaria, y que de ellas un tercio, o sea 22 300 pesetas, corres-

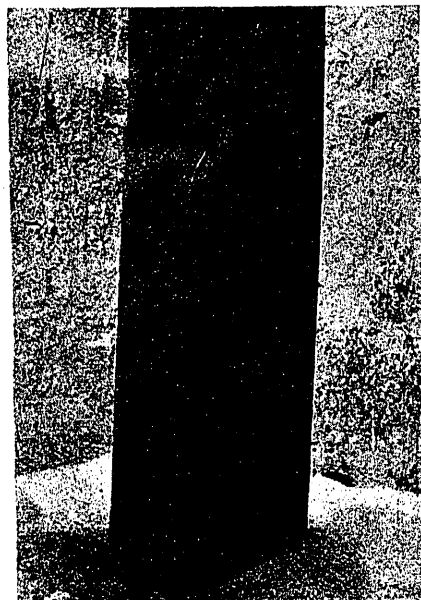


Figura 9.ª

ponde al estudio específico de los postes, lo cual da un total de 90 700 pesetas, invertidas en proyecto y ensayo de los postes.

Lo anterior fué posible:

- A) Por pasar de una electrificación de 1,5 KV. a una de 3,0 KV.
- B) Por adoptar como máximas caídas de tensión las fijadas en la Norma IX-F de las vigentes (aprobada en 27 de abril de 1946).
- C) Por proyectar un gráfico de marcha lo más denso posible, igual al teórico de los libros-itinerarios de las antiguas Compañías (realmente imposibles con tracción de vapor, pero que son factibles con tracción eléctrica), que pueden efectuarse con una buena señalización y comunicaciones perfectas. Lo anterior da curva de carga, en subestaciones y Línea, sensiblemente sin "picos".
- D) Por haber tenido en cuenta las acciones externas con todo detalle, según Normas vigentes (aprobadas en 6 de julio de 1945), estudiando las reales en el hilo de contacto en túnel aerodinámico.

- E) Por obligar al material, empleado en el conjunto de la Catenaria, a trabajar con cargas iguales a las admitidas en Normas de estructuras de igual o mayor importancia.
- F) Por haber estudiado, con todo el detalle posible, la organización y forma más adecuada de la estructura que constituye la Línea Catenaria.
- G) Por haber comprobado todo lo anterior, en cuanto a postes se refiere, con ensayos realizados en modelo a escala natural.
- H) Todo lo anterior ha sido posible gracias a la preocupación que siente el Ministerio de Obras Públicas, y especialmente la Dirección General de Ferrocarriles, por lo que a las electrificaciones de ferrocarriles se refiere, preocupación que se tradujo en encargar al Servicio Eléctrico de Obras Públicas los pertinentes estudios, y hacer que el Laboratorio de Investigaciones Ferroviarias los comprobara.

En el resumen anterior, al comparar las series de postes M.-A.-S. y S. E. O. P., hemos prescindido de la serie de postes constituidos con perfiles por este Servicio calculada, pues creemos los de chapa mejores y más económicos.

Cabe pensar si no sería más económica una serie

de postes de hormigón armado, fabricados con hormigón vibrado o centrifugado, y en uno y otro caso curados, y con armaduras pretensadas o no. Aunque juzgamos más económicos los postes de chapa, se piensa calcular y proponer se prueben modelos de hormigón armado para reducir a números lo que actualmente sólo es una impresión, aunque creemos que bien fundada.

El presente artículo es largo y pesado, y le falta aún toda la justificación matemática de los procedimientos reseñados. Como tal justificación, establecida elegantemente por el Ingeniero de Caminos del Laboratorio de Investigaciones Ferroviarias y del Servicio Eléctrico de Obras Públicas, D. Antonio Angulo, la creemos sumamente interesante, se insertará en una publicación del Laboratorio de Investigaciones Ferroviarias, en la que se detallarán, aún más que en el presente artículo, los ensayos realizados, y se propondrán las normas que de todo el estudio se deducen; tal publicación pueden solicitarla del Director del Laboratorio de Investigaciones Ferroviarias las personas en ello interesadas.

En las figuras 8.^a y 9.^a puede verse la flexibilidad de uno de los postes de chapa, el C, y cómo rompió por pandeo, sin que fallara — como debiera ser — ninguna soldadura.