

ELECTRIFICACION DE FERROCARRILES LA ALTURA DE LA LINEA DE CONTACTO

Por ANTONIO ANGULO,
Ingeniero de Caminos.

Se hace en el presente artículo un estudio de la posibilidad de rebajar la altura de la línea aérea de contacto en la electrificación de ferrocarriles y se cifran aproximadamente las enormes economías que con ello se obtendrían.

Generalidades.

Es sabido que las obras públicas son fundamentalmente costosas por afectar a gran cantidad de unidades de obra. Muchos son los kilómetros que tienen las Redes Nacionales de Carreteras y Ferrocarriles, y muchos los metros cúbicos de las obras hidráulicas y marítimas.

Por ello, cualquier perfeccionamiento técnico que abarate o simplifique alguna unidad de obra repercute de modo muy importante en el coste de la misma, si no de modo relativo, sin duda en valor absoluto.

La electrificación de los ferrocarriles tiene las mismas características que el resto de las obras públicas, por lo que también es del mayor interés introducir en su construcción una técnica depurada.

Destacamos una vez más (REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS, febrero de 1949) que la técnica de la electrificación de los ferrocarriles no está lograda con carácter de doctrina, por lo cual las disposiciones adoptadas obedecen más a los criterios de las naciones, empresas ferroviarias o firmas suministradoras del material para las mismas, que a razones de índole técnica.

El tema que se trata a continuación presenta, pues, las características citadas. La cantidad de tipos de línea de contacto para ferrocarriles eléctricos es enorme, y todas ellas funcionan más o menos correctamente, pero funcionan.

Con frecuencia, la adopción de un determinado tipo o característica de una línea de contacto se realiza, por inercia, adoptando disposiciones de funcionamiento correcto, pero que no son las óptimas.

Entre estas características se cuenta la altura del hilo de contacto, sobre los carriles, objeto del presente comentario.

También sobre este tema, cuya importancia económica se apreciará al final de estas notas, la Jefatura de Servicios Eléctricos del Ministerio de Obras Públicas ha aportado sus trabajos, que de un modo sucinto se indican a continuación.

Antecedentes.

La altura normal del hilo de contacto en las líneas electrificadas españolas es de 5,75 m. sobre los carriles.

En sitios de gálibo muy escaso, se admite que la altura mínima del hilo de contacto baje hasta 4,60 m. sobre carriles.

Destacamos que, al ser electrificado un trozo, es corriente realizar obras importantes para que el gálibo mínimo de 4,60 m. antes citado "quepa" en los túneles y pasos superiores. Recordemos que la longitud de vía que para este fin hubo que rebajar en la rampa de Pajares fué superior a los 18 Km., en 62 Km. de línea electrificada.

La citada altura mínima no puede reducirse, pues si se colocara el hilo de contacto más bajo, tropezaría mecánicamente con los techos de locomotoras y vagones, de los cuales debe quedar a cierta distancia para que no se produzcan cortocircuitos. También ha de preverse la circunstancia anormal de que hayan de circular locomotoras de vapor por el trozo de línea electrificado y ha de guardarse un margen prudencial sobre la altura de su chimenea. Las chimeneas de las locomotoras serie 062/0401 (antiguas 601 de los Ferrocarriles Andaluces) miden 4,63 m. sobre carriles.

Se desconocen las razones por las que se fijó la altura del hilo de contacto en 5,75 m. sobre carriles, suponiendo ser un caso de inercia respecto a electrificaciones pretéritas.

Puede ser que, estableciéndose las primitivas electrificaciones en las líneas de cercanías de las grandes urbes, fuese grande el número de pasos a nivel con que se haya contado, obligando por ello a que la altura en la línea, en su parte más baja, que es el hilo de contacto, tuviese determinada altura sobre la carretera (cuyo nivel es el mismo de la parte superior de los carriles).

Si las cosas han sucedido como se indica, no cabe duda que la altura mencionada de 5,75 m. sobre carriles es correcta. En España, el vigente Código de la Circulación establece, en su artículo 221, que po-

drán concederse autorizaciones especiales de circulación a vehículos cuya altura máxima, incluida la carga, sea de 5,50 m. Queda, pues, un margen de 25 cm. para prever no sólo los movimientos del vehículo, sino también una distancia entre la parte alta del mismo y el hilo de contacto, que evite la posibilidad de una derivación eléctrica.

Ahora bien: las circunstancias actuales del ferrocarril son muy distintas. Los pasos a nivel, si no totalmente suprimidos, representan una pequeñísima fracción de las líneas, por lo que no resulta lógico acomodar la altura de la línea de contacto a circunstancias que afectan tan poco al conjunto de las líneas.

Por el contrario, resulta absurdo que, electrificaciones de montaña cuyo trazado incluye muchos túneles (la rampa de Pajares tiene 70 túneles en 62 kilómetros) el hilo de contacto suba y baje continuamente a lo largo de la línea, a medida que sale de un túnel y entra en el siguiente.

Contra el criterio sustentado por la Jefatura de Servicios Eléctricos, pueden oponerse razones que no encontramos de peso, ya que en los túneles actuales la línea de contacto está a la altura mínima y no se encuentran dificultades en su utilización; lo mismo ocurre en algunas estaciones, que tienen puentes o pasos superiores muy próximos, de gálibo escaso (Barcelona-Vilanova, Ujo, Villalba...).

Un valioso antecedente de este modo de encajar el problema se encuentra en la electrificación del ferrocarril de Vitoria-Estella y Vitoria-Mecolalde, proyectada y dirigida por nuestro compañero D. Alejandro Mendizábal, quien con gran acierto ha logrado este ferrocarril, modelo en España no sólo en el aspecto de su electrificación, sino en muchos otros.

En el ferrocarril Vitoria-Estella y Vitoria-Mecolalde, la altura normal del hilo de contacto es de 4,75 metros sobre carriles.

Altura propuesta.

La Jefatura de Servicios Eléctricos está orientando sus estudios sobre la base de que la línea de contacto sea de 4,75 m. sobre carriles en vía general, debiéndose elevar hasta 5,75 m. en los pasos a nivel, y reduciéndose en los túneles, si es preciso, por consideraciones de gálibo, ya que lo ideal sería que la altura fuese en toda la línea de 4,75 m.

Se ha adoptado tal cifra, entre otras razones, por disponer de un pequeño margen (15 cm.) sobre la altura mínima a que pueden funcionar los pantógrafos (4,60 m.), evitando que la circulación esporádica de locomotoras de vapor de chimenea alta cause alguna perturbación. Ya se ha citado que algunas locomotoras españolas tienen su chimenea a 4,63 m. sobre carriles.

Una ventaja directa de esta disposición prevista es la menor altura que es preciso dar a los postes, que pueden ser más cortos, salvo los muy escasos que se

han de colocar en los pasos a nivel, los cuales deberán tener la altura suficiente para que el hilo de contacto esté a 5,75 m. sobre los carriles.

Por el hecho de ser los postes más cortos, se reducen también los momentos flectores debidos a fuerzas horizontales, que son las ocasionadas por el viento y por el tensado de los conductores cuando se trata de curvas.

Los hechos apuntados anteriormente suponen una economía de material y mano de obra precisos para construir los postes y sus cimientos; pero, además de estas ventajas, de índole económica, hay otra de orden técnico, cuya repercusión es también de mayor economía.

Como los pantógrafos del material motor han de funcionar también cuando este material circule a la velocidad máxima, deben tenerse en cuenta los movimientos laterales producidos por la marcha. Estos movimientos laterales del frotador del pantógrafo han de ser forzosamente mayores cuando está el pantógrafo elevado que cuando funciona a poca altura. Por lo tanto, en el cálculo de la línea de contacto, considerada en planta y sometida a la fuerza del viento horizontal y perpendicular a la misma, habrá que prever menos margen para estos desplazamientos laterales que en el caso de tener la línea alta. Este hecho tiene una repercusión en la mayor distancia admisible entre postes, lo que trae como consecuencia una mayor economía.

La importancia de estos tres motivos de economía nos obliga a estudiar, aunque sea ligeramente, el

Funcionamiento de los pantógrafos.

Como es sabido, los pantógrafos de captación de corriente, accionados por resorte o bien por aire comprimido, deben efectuar una determinada fuerza ascensional, cualquiera que sea la altura a que se encuentren.

Para cada altura de funcionamiento de un pantógrafo hay dos fuerzas que lo caracterizan: una es la fuerza ascensional del mismo, y otra, la fuerza que es preciso efectuar sobre él para obligarlo a que comience a descender. Evidentemente, esta última fuerza será superior a la primera, y la diferencia entre ambas será una indicación del estado de funcionamiento del pantógrafo. Si está mal engrasado, sucio y descuidado, la diferencia entre ambas fuerzas será grande. Por el contrario, si está proyectado con toda corrección, limpio y bien engrasado, la diferencia entre ambas fuerzas ha de ser pequeña.

Será, pues, perfecto un pantógrafo en el cual la fuerza ascensional sea igual a la precisa para obligarle a descender, y estas fuerzas, a su vez, constantes para cualquiera altura de funcionamiento del pantógrafo. Su representación gráfica se indica en la figura 1ª.

Como ocurre siempre en la realidad, las condicio-

ELECTRIFICACION DE FERROCARRILES LA ALTURA DE LA LINEA DE CONTACTO

Por ANTONIO ANGULO,
Ingeniero de Caminos.

Se hace en el presente artículo un estudio de la posibilidad de rebajar la altura de la línea aérea de contacto en la electrificación de ferrocarriles y se cifran aproximadamente las enormes economías que con ello se obtendrían.

Generalidades.

Es sabido que las obras públicas son fundamentalmente costosas por afectar a gran cantidad de unidades de obra. Muchos son los kilómetros que tienen las Redes Nacionales de Carreteras y Ferrocarriles, y muchos los metros cúbicos de las obras hidráulicas y marítimas.

Por ello, cualquier perfeccionamiento técnico que abarate o simplifique alguna unidad de obra repercute de modo muy importante en el coste de la misma, si no de modo relativo, sin duda en valor absoluto.

La electrificación de los ferrocarriles tiene las mismas características que el resto de las obras públicas, por lo que también es del mayor interés introducir en su construcción una técnica depurada.

Destacamos una vez más (REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS, febrero de 1949) que la técnica de la electrificación de los ferrocarriles no está lograda con carácter de doctrina, por lo cual las disposiciones adoptadas obedecen más a los criterios de las naciones, empresas ferroviarias o firmas suministradoras del material para las mismas, que a razones de índole técnica.

El tema que se trata a continuación presenta, pues, las características citadas. La cantidad de tipos de línea de contacto para ferrocarriles eléctricos es enorme, y todas ellas funcionan más o menos correctamente, pero funcionan.

Con frecuencia, la adopción de un determinado tipo o característica de una línea de contacto se realiza, por inercia, adoptando disposiciones de funcionamiento correcto, pero que no son las óptimas.

Entre estas características se cuenta la altura del hilo de contacto, sobre los carriles, objeto del presente comentario.

También sobre este tema, cuya importancia económica se apreciará al final de estas notas, la Jefatura de Servicios Eléctricos del Ministerio de Obras Públicas ha aportado sus trabajos, que de un modo sucinto se indican a continuación.

Antecedentes.

La altura normal del hilo de contacto en las líneas electrificadas españolas es de 5,75 m. sobre los carriles.

En sitios de gálibo muy escaso, se admite que la altura mínima del hilo de contacto baje hasta 4,60 m. sobre carriles.

Destacamos que, al ser electrificado un trozo, es corriente realizar obras importantes para que el gálibo mínimo de 4,60 m. antes citado "quepa" en los túneles y pasos superiores. Recordemos que la longitud de vía que para este fin hubo que rebajar en la rampa de Pajares fué superior a los 18 Km., en 62 Km. de línea electrificada.

La citada altura mínima no puede reducirse, pues si se colocara el hilo de contacto más bajo, tropezaría mecánicamente con los techos de locomotoras y vagones, de los cuales debe quedar a cierta distancia para que no se produzcan cortocircuitos. También ha de preverse la circunstancia anormal de que hayan de circular locomotoras de vapor por el trozo de línea electrificado y ha de guardarse un margen prudencial sobre la altura de su chimenea. Las chimeneas de las locomotoras serie 062/0401 (antiguas 601 de los Ferrocarriles Andaluces) miden 4,63 m. sobre carriles.

Se desconocen las razones por las que se fijó la altura del hilo de contacto en 5,75 m. sobre carriles, suponiendo ser un caso de inercia respecto a electrificaciones pretéritas.

Puede ser que, estableciéndose las primitivas electrificaciones en las líneas de cercanías de las grandes urbes, fuese grande el número de pasos a nivel con que se haya contado, obligando por ello a que la altura en la línea, en su parte más baja, que es el hilo de contacto, tuviese determinada altura sobre la carretera (cuyo nivel es el mismo de la parte superior de los carriles).

Si las cosas han sucedido como se indica, no cabe duda que la altura mencionada de 5,75 m. sobre carriles es correcta. En España, el vigente Código de la Circulación establece, en su artículo 221, que po-

drán concederse autorizaciones especiales de circulación a vehículos cuya altura máxima, incluida la carga, sea de 5,50 m. Queda, pues, un margen de 25 cm. para prever no sólo los movimientos del vehículo, sino también una distancia entre la parte alta del mismo y el hilo de contacto, que evite la posibilidad de una derivación eléctrica.

Ahora bien: las circunstancias actuales del ferrocarril son muy distintas. Los pasos a nivel, si no totalmente suprimidos, representan una pequeñísima fracción de las líneas, por lo que no resulta lógico acomodar la altura de la línea de contacto a circunstancias que afectan tan poco al conjunto de las líneas.

Por el contrario, resulta absurdo que, electrificaciones de montaña cuyo trazado incluye muchos túneles (la rampa de Pajares tiene 70 túneles en 62 kilómetros) el hilo de contacto suba y baje continuamente a lo largo de la línea, a medida que sale de un túnel y entra en el siguiente.

Contra el criterio sustentado por la Jefatura de Servicios Eléctricos, pueden oponerse razones que no encontramos de peso, ya que en los túneles actuales la línea de contacto está a la altura mínima y no se encuentran dificultades en su utilización; lo mismo ocurre en algunas estaciones, que tienen puentes o pasos superiores muy próximos, de gálibo escaso (Barcelona-Vilanova, Ujo, Villalba...).

Un valioso antecedente de este modo de encajar el problema se encuentra en la electrificación del ferrocarril de Vitoria-Estella y Vitoria-Mecolalde, proyectada y dirigida por nuestro compañero D. Alejandro Mendizábal, quien con gran acierto ha logrado este ferrocarril, modelo en España no sólo en el aspecto de su electrificación, sino en muchos otros.

En el ferrocarril Vitoria-Estella y Vitoria-Mecolalde, la altura normal del hilo de contacto es de 4,75 metros sobre carriles.

Altura propuesta.

La Jefatura de Servicios Eléctricos está orientando sus estudios sobre la base de que la línea de contacto sea de 4,75 m. sobre carriles en vía general, debiéndose elevar hasta 5,75 m. en los pasos a nivel, y reduciéndose en los túneles, si es preciso, por consideraciones de gálibo, ya que lo ideal sería que la altura fuese en toda la línea de 4,75 m.

Se ha adoptado tal cifra, entre otras razones, por disponer de un pequeño margen (15 cm.) sobre la altura mínima a que pueden funcionar los pantógrafos (4,60 m.), evitando que la circulación esporádica de locomotoras de vapor de chimenea alta cause alguna perturbación. Ya se ha citado que algunas locomotoras españolas tienen su chimenea a 4,63 m. sobre carriles.

Una ventaja directa de esta disposición prevista es la menor altura que es preciso dar a los postes, que pueden ser más cortos, salvo los muy escasos que se

han de colocar en los pasos a nivel, los cuales deberán tener la altura suficiente para que el hilo de contacto esté a 5,75 m. sobre los carriles.

Por el hecho de ser los postes más cortos, se reducen también los momentos flectores debidos a fuerzas horizontales, que son las ocasionadas por el viento y por el tensado de los conductores cuando se trata de curvas.

Los hechos apuntados anteriormente suponen una economía de material y mano de obra precisos para construir los postes y sus cimientos; pero, además de estas ventajas, de índole económica, hay otra de orden técnico, cuya repercusión es también de mayor economía.

Como los pantógrafos del material motor han de funcionar también cuando este material circule a la velocidad máxima, deben tenerse en cuenta los movimientos laterales producidos por la marcha. Estos movimientos laterales del frotador del pantógrafo han de ser forzosamente mayores cuando está el pantógrafo elevado que cuando funciona a poca altura. Por lo tanto, en el cálculo de la línea de contacto, considerada en planta y sometida a la fuerza del viento horizontal y perpendicular a la misma, habrá que prever menos margen para estos desplazamientos laterales que en el caso de tener la línea alta. Este hecho tiene una repercusión en la mayor distancia admisible entre postes, lo que trae como consecuencia una mayor economía.

La importancia de estos tres motivos de economía nos obliga a estudiar, aunque sea ligeramente, el

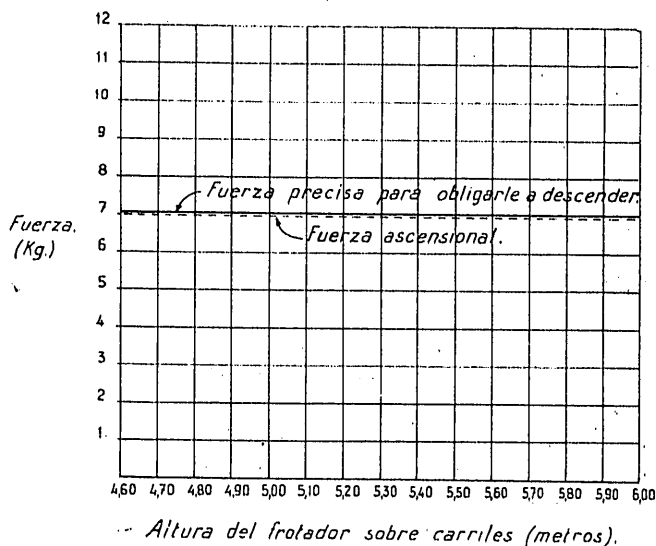
Funcionamiento de los pantógrafos.

Como es sabido, los pantógrafos de captación de corriente, accionados por resorte o bien por aire comprimido, deben efectuar una determinada fuerza ascensional, cualquiera que sea la altura a que se encuentren.

Para cada altura de funcionamiento de un pantógrafo hay dos fuerzas que lo caracterizan: una es la fuerza ascensional del mismo, y otra, la fuerza que es preciso efectuar sobre él para obligarlo a que comience a descender. Evidentemente, esta última fuerza será superior a la primera, y la diferencia entre ambas será una indicación del estado de funcionamiento del pantógrafo. Si está mal engrasado, sucio y descuidado, la diferencia entre ambas fuerzas será grande. Por el contrario, si está proyectado con toda corrección, limpio y bien engrasado, la diferencia entre ambas fuerzas ha de ser pequeña.

Será, pues, perfecto un pantógrafo en el cual la fuerza ascensional sea igual a la precisa para obligarlo a descender, y estas fuerzas, a su vez, constantes para cualquiera altura de funcionamiento del pantógrafo. Su representación gráfica se indica en la figura 1ª.

Como ocurre siempre en la realidad, las condicio-

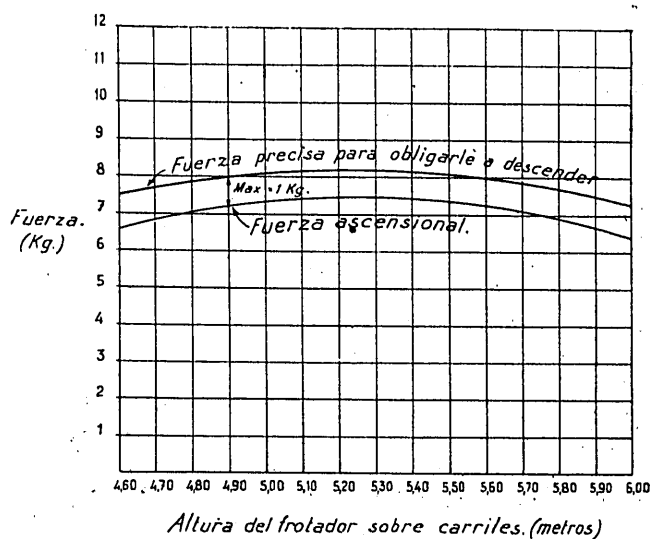


nes ideales no llegan a cumplirse, y a causa de los rozamientos, ajustes y otras imperfecciones inevitables, las dos líneas coincidentes de la figura 1.ª no representan las de un pantógrafo real. Realizando medidas experimentales, las curvas que se obtienen son análogas a las indicadas en la figura 2.ª.

Es frecuente imponer la condición, al ensayar un pantógrafo, que la diferencia de ordenadas que en cualquier abscisa puede existir, no sobrepase una fuerza determinada. Por ejemplo, un kilogramo.

Por esto es errónea la práctica seguida por algunos maquinistas, de forzar la presión ascensional de los pantógrafos para evitar las eventuales pérdidas de contacto entre el frotador del pantógrafo y el hilo de contacto.

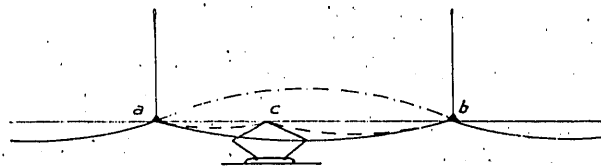
La presión correcta que, en sentido ascensional,



debe efectuar el frotador de un pantógrafo, depende del peso del hilo de contacto, por metro lineal, y de la distancia entre péndolas. El fundamento de esta orientación se ha detallado en las páginas 53, 54 y 55 de la publicación núm. 4 del Laboratorio de Investigaciones Ferroviarias, que funciona en el seno de la Escuela Especial de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Resumiendo el razonamiento allí indicado, citaremos que si el pantógrafo tiene una presión ascensional igual a la mitad del peso del hilo de contacto comprendido entre dos péndolas, el recorrido del frotador del pantógrafo es una recta paralela a la vía en el caso normal de que los pies de las péndolas estén a la misma altura sobre los carriles.

En efecto: sea el hilo de contacto indicado en línea seguida en la figura 3.ª, suspendido por las dos péndolas inmediatas, cuyas basés están marcadas por las letras *a* y *b*. Este hilo, por efecto de su propio peso, tiene normalmente la forma convexa hacia abajo que ofrece la línea gruesa continua. Al paso de un pantógrafo tarado correctamente, su frotador tomará la posición marcada en el punto *c*, pues de este modo la altura del frotador del pantógrafo se conservará cons-



tante a lo largo de la vía (ya que *a*, *b* y *c* están en una horizontal, como corresponde a la solución óptima de funcionamiento).

Ahora bien: para que esto ocurra, la fuerza ascensional del pantógrafo debe equivaler a la mitad del peso del hilo de contacto (cuya forma es la indicada de trazos) entre *a* y *c*, más la mitad del peso del hilo de contacto comprendido entre *c* y *b*, es decir, la mitad del peso comprendido entre *a* y *b*.

Destacamos que el razonamiento anterior es correcto para cualquier estado de tracción del hilo de contacto.

Supongamos, por ejemplo, que la presión dada al pantógrafo sea superior a la determinada por el razonamiento anterior. En este caso, el recorrido del frotador del pantógrafo será una línea con la convexidad hacia arriba, como la indicada de trazo y punto en la figura 3.ª.

Como es lógico, cuando un pantógrafo incorrectamente tarado circula bajo una línea de contacto, sufre una serie de movimientos de elevación o descenso para acompañar los movimientos correspondientes del hilo de contacto. No es preciso destacar que estos movi-

mientos anormales pueden ocasionar la pérdida de contacto, en algunos instantes, entre el frotador del pantógrafo y la línea.

Con este motivo se considera aconsejable determinar las características dinámicas de los pantógrafos (estando previamente tarados de un modo correcto) obtenidas experimentalmente y que responden a las diferentes alturas y velocidades obtenidas cuando el pantógrafo asciende libremente.

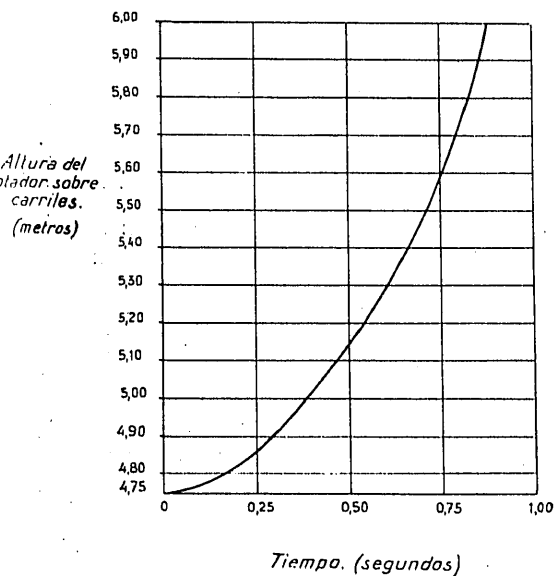


Figura 4.^a

En el caso que nos ocupa, convendría que se dibujase la curva altura-tiempo correspondiente a un pantógrafo que se suelta desde una altura de 4,75 m. sobre carriles. Este movimiento ascensional se podrá representar por la curva dibujada en la figura 4.^a.

Esta curva debe tenerse en cuenta al establecer las curvas de subida del hilo de contacto cuando éste haya de alcanzar una altura superior a la normal, como ha de ocurrir en las proximidades de un paso a nivel. Teniendo en cuenta la velocidad del tren, debe ocurrir que en todo momento la velocidad ascensional del pantógrafo (supuesto libre) sea superior a la del hilo de contacto para que no se separen ambos elementos.

La inobservancia de las normas anteriores, establecidas mediante un razonamiento lógico, suele sustituirse por una presión excesiva de los pantógrafos, con la consecuencia obligada de un calentamiento y desgaste excesivo de los hilos de contacto y de los frotadores de los pantógrafos, también de un modo exagerado. También, como queda indicado, se pueden presentar casos de pérdida de contacto entre el pantó-

grafo y la línea, con las perniciosas consecuencias de la formación de un arco.

Conclusión.

Vistas las ventajas de la altura reducida y no encontrando inconveniente fundamental para su adopción después de conocer el funcionamiento de los pantógrafos, es por lo que la Jefatura de Servicios Eléctricos de Obras Públicas ha adoptado tal criterio y estudia y trata de ensayar postes de hormigón pretensado a altura reducida.

Con tal motivo, y recordando las razones dadas al principio de estas notas, se han de obtener economías de verdadera importancia, tanto en dinero como en tonelaje de hierro y hormigón necesario para la construcción de los postes.

Tomando las cifras indicadas por el Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos Sr. Serret, en el artículo publicado en la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS de junio de 1948, el peso de postes por kilómetro de línea a electrificar es de 4 400 Kg. Los postes a que se alude tienen una longitud de 9,00 m. (en total). La superficie de chapa que necesita el poste medio es de 6,08 m.². Descontando de su parte inferior 1 m. de longitud para que, en igualdad de circunstancias, el hilo de contacto quede 1 m. bajo la posición normal (a 5,75 sobre carriles), la superficie de chapa se ha reducido en 0,85 m.², y estableciendo la proporcionalidad, ya que el espesor de la chapa es el mismo, resulta un ahorro por kilómetro de línea de

$$4\,400 \cdot \frac{0,85}{6,08} = 615 \text{ Kg.};$$

el cual, referido a los 5 263 Km. de línea que comprende el Plan de Electrificación aprobado por Decreto de 25 de enero de 1946, supone una economía de más de *tres mil trescientas toneladas* de chapa. Si valoramos este material al mismo precio de 2,95 pesetas/Kg., que cita el Sr. Serret, encontramos una economía en dinero próxima a los *diez millones de pesetas*.

La simple enumeración de las cifras antedichas ha de bastar para apreciar la ventaja de adoptar el criterio de línea de contacto baja; pero hemos de destacar que tales economías se han calculado partiendo de los postes estudiados por la Jefatura de Servicios Eléctricos, los cuales tienen peso mínimo por haber sido proyectados con suma minuciosidad.

A la anterior economía debemos añadir la que se obtendrá en los cimientos y en la adopción de una mayor distancia entre postes.