

CALCULO MECANICO DE LOS CONDUCTORES DE LINEAS ELECTRICAS AEREAS

Por ANTONIO ANGULO ALVAREZ
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Presenta el autor un trabajo que se llevó a cabo durante su colaboración en la Jefatura de Servicios Eléctricos de Obras Públicas en el año 1948, ya que tiene analogías con las soluciones adoptadas en electrificaciones ferroviarias de trenes y aéreas, publicadas en las revistas especiales. Por su extensión lo dividimos en dos artículos, quedando para el próximo lo referente al "Comportamiento elástico-plástico de los cables", la comparación de resultados, comentario y conclusiones.

Accidentes.

Una vez más hago uso de las amables páginas de la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS, aprovechando la ocasión de que ya se han publicado diversos trabajos en ella sobre el tema de estas líneas.

En su número de julio último, la Revista publicó un interesantísimo artículo de nuestro querido compañero José Carrasco, gran especialista en líneas eléctricas, detallando una serie de medidas efectuadas en las líneas de Iberduero y destacando la existencia de deformaciones lentas, por fluencia, que motivan los incrementos de la flecha, en los conductores de las líneas eléctricas, con el transcurso del tiempo. En este trabajo, que se fundamenta en un estudio estadístico y utiliza la parábola como figura geométrica del conductor, llega a la conclusión de que, a título orientativo y en tanto no se realicen más observaciones, puede estimarse que la fluencia de los conductores da lugar a un incremento de la flecha equivalente a su 4,55 por 100.

Otro trabajo, original del que suscribe (siendo alumno de la Escuela), fué igualmente publicado por la Revista en su número de agosto de 1935 y en él se estudiaba un método exacto para el cálculo mecánico de hilos suspendidos, utilizando la catenaria como curva definida por los conductores y desarrollando un gráfico para su más fácil aplicación. En este trabajo no se consideraron las deformaciones plásticas de los conductores.

También la Revista aportó otro dato importante, publicando en su número de febrero de 1943 una traducción, realizada igualmente por el que suscribe, de un artículo sobre las deformaciones elástico-plásticas de los cables utilizados en líneas de contacto de ferrocarriles eléctricos, original de los ingenieros italianos F. Donati y P. de Nicola, que publicaron en la *Rivista Tecnica delle Ferrovie Italiane* en marzo de 1942.

No se glosa el contenido del artículo, pues más adelante se hará uso de sus conceptos.

Una última aportación (esta es la única no aparecida en la Revista) es el estudio de una línea de contacto para electrificación de ferrocarriles, llevado a cabo por la *Jefatura de Servicios Eléctricos* del Ministerio de Obras Públicas en la que también el que suscribe intervino activamente, en colaboración con el entonces Ingeniero Jefe de la misma, D. Ramón M.^a Serret.

Este trabajo, llevado a cabo con gran minuciosidad y pulcritud, no llegó a ser considerado por la Superioridad, y por ello no se ha visto plasmado en realidad, lo cual, al modo de ver del que suscribe, fué un desacierto, ya que dicha línea, conce-

bida hacia 1948 para el Plan de Electrificación de Ferrocarriles, presenta una estructura análoga a la utilizada en las electrificaciones ferroviarias recientes, entre las que se cuentan las francesas, inglesas, alemanas, portuguesas e incluso japonesas, según puede comprobarse fácilmente en las revistas especializadas, que han publicado el detalle de las mismas.

Al estudiar dicha línea de contacto, se desarrolló un sistema de cálculo, en el que se consideró la hipótesis de catenaria (más aproximada que la de parábola, aún en este caso de línea de contacto de ferrocarriles) y se tuvo en cuenta la fluencia de los conductores. Este hecho demuestra la gran atención que se dedicó al mencionado proyecto de línea de contacto.

Objeto.

Considerando los hechos que Carrasco ha estudiado de un modo estadístico, se trata de aplicar el sistema de cálculo gráfico reseñado a las líneas aéreas de transporte de energía eléctrica, teniendo en cuenta las deformaciones plásticas de los conductores y, por supuesto, considerando la hipótesis más exacta, es decir, la de catenaria.

Como las flechas de los conductores tienen su máxima importancia en los cruces con vías de comunicación, y la vigente reglamentación de líneas eléctricas asigna su vigilancia al Ministerio de Obras, es evidente el gran interés que el tema tiene para los Ingenieros de Caminos que a ello se dedican dentro del mismo.

MONOGRAMA PARA CÁLCULO MECÁNICO.

A) CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LA CATENARIA.

La catenaria tiene por ecuación, cuando se toman dos ejes cartesianos, la siguiente:

$$z = \frac{a}{2} \left[e^{\frac{x}{a}} + e^{-\frac{x}{a}} \right].$$

En la cual, z es la cota, x la abscisa, e la base de los logaritmos neperianos, y a un valor paramétrico, cuyo significado se detalla en la figura 1.ª.

La curva es simétrica respecto al eje de las z y, en cualquier punto, la inclinación de su tangente sobre la horizontal vale:

$$\frac{dz}{dx} = \frac{e^{\frac{x}{a}} - e^{-\frac{x}{a}}}{2} = \operatorname{tg} \varphi,$$

y el coseno de este ángulo tiene por expresión:

$$\cos \varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{e^{\frac{2x}{a}} - 2 + e^{-\frac{2x}{a}}}{4}}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{e^{\frac{2x}{a}} + 2 + e^{-\frac{2x}{a}}}{4}}} = \frac{a}{z}.$$

El desarrollo del arco, desde el centro hasta el punto de abscisa x , tiene por expresión:

$$s = \int_0^x \sqrt{1 + \left[\frac{dz}{dx} \right]^2} \cdot dx = \int_0^x \frac{e^{\frac{x}{a}} + e^{-\frac{x}{a}}}{2} \cdot dx = \frac{a}{2} \left[e^{\frac{x}{a}} - e^{-\frac{x}{a}} \right]. \quad [3]$$

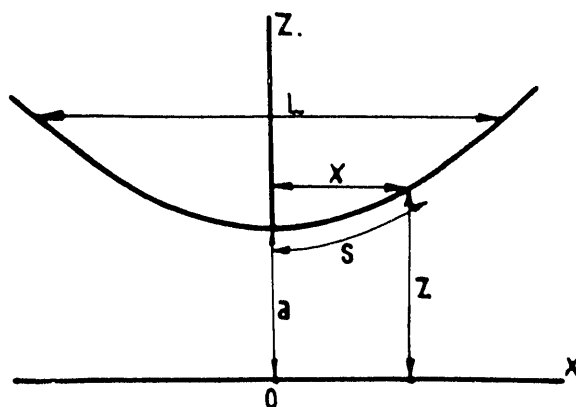


Figura 1.

B) CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LA CATENARIA.

La propiedad fundamental de esta curva es que, si designamos por p el peso por unidad de longitud del cable o cadena que la constituye, el esfuerzo de tracción que sufre en cada punto, es el producto de este peso unitario p por la cota z . Si designamos por T al esfuerzo de tracción que existe en el cable, se puede escribir:

$$T = p \cdot z, \quad [4]$$

lo cual, dicho de otro modo, se puede expresar de la siguiente manera: La tracción que soporta la catenaria en cualquier punto es igual al peso de una longitud de cable (o cadena), igual a su cota.

Si consideramos un trozo de catenaria de vano L , estando sus extremos en la misma horizontal, podemos asimilar con toda exactitud el trozo de curva así determinado, al conductor de una línea eléctrica aérea.

Son datos:

T = esfuerzo de tracción en el conductor.

p = carga por unidad de longitud.

L = luz entre apoyos.

con estos datos, podremos determinar el parámetro a de la curva, pero resultará más fácil fijar el cociente:

$$t = \frac{L}{a}.$$

En efecto, según la ecuación [4]:

$$z = \frac{T}{p},$$

y sustituyendo estos valores en la [1] tenemos:

$$\frac{T}{p} = \frac{a}{2} \left[e^{\frac{l}{2a}} + e^{-\frac{l}{2a}} \right] = \frac{L}{l} \cdot \frac{1}{2} \left[e^{\frac{l}{2}} + e^{-\frac{l}{2}} \right],$$

y pasando L al primer miembro, llegamos a la ecuación que fija l en función de T , p y L :

$$\frac{T}{p \cdot L} = \frac{1}{2 \cdot l} \left[e^{\frac{l}{2}} + e^{-\frac{l}{2}} \right].$$

Conociendo este nuevo dato, podemos calcular la relación $\frac{\text{arco}}{\text{luz}}$ y la relación $\frac{\text{flecha}}{\text{luz}}$ puesto que la primera de ellas vale:

$$\frac{\text{arco}}{\text{luz}} = \frac{2 \cdot S}{L} = \frac{2}{L} \cdot \frac{L}{2 \cdot l} \left[e^{\frac{L}{2a}} - e^{-\frac{L}{2a}} \right] = \frac{1}{l} \left[e^{\frac{l}{2}} - e^{-\frac{l}{2}} \right].$$

La flecha es la diferencia entre la cota z y a , por lo tanto:

$$\frac{\text{flecha}}{\text{luz}} = \frac{L}{2 \cdot l} \left[e^{\frac{L}{2a}} + e^{-\frac{L}{2a}} \right] - \frac{L}{l} = \frac{1}{l} \left[e^{\frac{l}{2}} + e^{-\frac{l}{2}} - 1 \right].$$

Encontradas las tres ecuaciones [5] [6] y [7], podemos dar por terminados los cálculos mecánicos de las catenarias, pues mediante ellas se conocen todas las relaciones existentes entre luz, esfuerzo, flecha y desarrollo del arco de la catenaria.

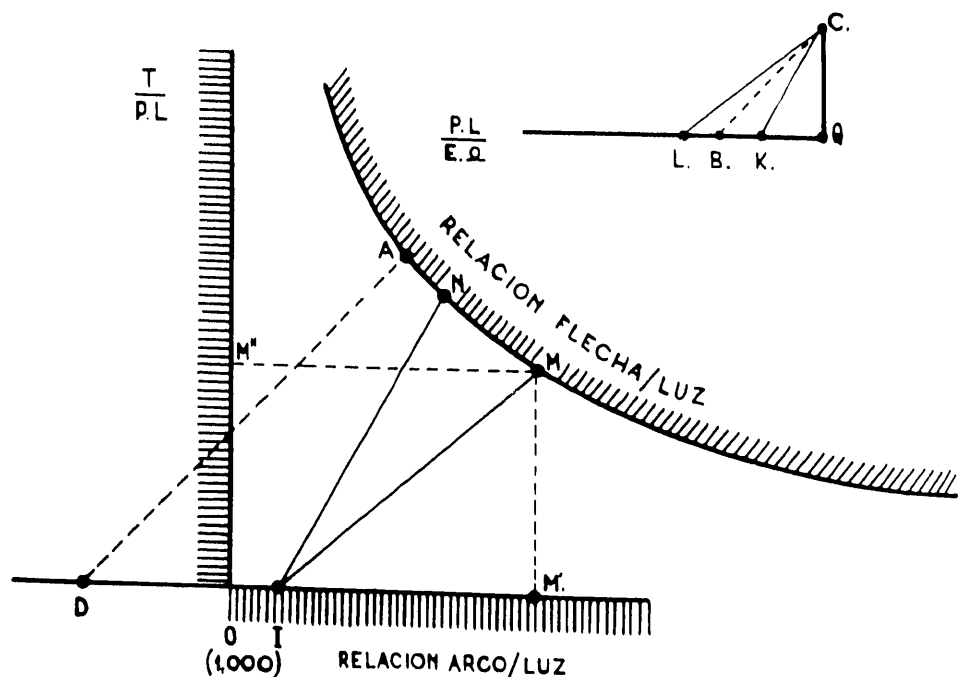


Figura 2.

Bien es verdad que en todas ellas interviene un parámetro, el valor de l , que no tiene aplicación directa a los cálculos de catenarias. Por ello recurrimos al artificio de calcular, en función de diversos valores de este parámetro, las correspondientes relaciones de arco/luz, flecha/luz y $T/p \cdot L$. Con las cifras obtenidas, constituimos el gráfico que se indica en la figura 2.ª, en el cual las abscisas representan la relación arco/luz y las ordenadas, el coeficiente $T/p \cdot L$. Es decir, el valor OM' es la relación arco/luz para un valor arbitrario de l y OM'' la relación $T/p \cdot L$ correspondiente a la misma magnitud del parámetro. Por último, en la curva así definida (que es el lugar geométrico de los puntos M) anotamos los distintos valores de la relación flecha/luz, estableciendo sobre la mencionada curva una escala, en la que están marcados los distintos números que, en cada punto, corresponden a la relación flecha/luz.

Como la relación arco/luz es muy próxima a la unidad, situamos tal valor en el punto O , contando hacia la derecha los valores superiores a la unidad que pudiéramos denominar "exceso de la longitud del arco sobre la luz".

De este modo, y de una manera fácil, pueden conocerse las características de una catenaria, estando en posesión de una cualquiera de las relaciones mencionadas, pues con una basta para definir en el plano la posición del punto F . Bien puede ser la abscisa, ya la ordenada, o la relación flecha/luz, que está marcada sobre la curva.

C. CARACTERÍSTICAS ELÁSTICAS DE LA CATENARIA.

Con objeto de simplificar el problema, calcularemos el acortamiento que se produce en el hilo colgado cuando sobre él dejan de actuar las fuerzas exteriores e interiores.

Un hilo colgado tiene una determinada longitud de arco, que se define por la relación arco/luz, cuando está en situación de trabajo. Supongamos que descolgamos este hilo y lo extendemos sobre una superficie horizontal, de modo que no sufra ningún esfuerzo mecánico. Este conductor habrá experimentado un acortamiento, ya que estando colgado, trabajaba a tracción.

Tratemos de calcular la magnitud de este acortamiento.

En cada punto del hilo de contacto existe cierta tracción que equivale precisamente al peso de conductor, de una longitud igual a su cota teórica, respecto a los ejes tomados en la figura 1.ª.

Expresando algebraicamente la anterior propiedad mecánica de la catenaria, obtenemos la expresión:

$$T \text{ (tracción en cada punto)} = p \cdot Z.$$

En una longitud diferencial, el acortamiento elástico ocurrido al descargar el hilo de contacto, será:

$$\frac{p \cdot Z \cdot ds}{E \cdot \Omega}$$

Siendo:

ds , la longitud diferencial del arco.

E , el módulo de elasticidad del cable.

Ω , la sección del cable.

Refiriendo el arco a la abscisa, tenemos que $ds = \frac{dx}{\cos \varphi}$ y según la igualdad [2]

$$ds = dx \cdot \frac{Z}{a}.$$

Sustituyendo en la anterior, resulta que el acortamiento diferencial vale:

$$\frac{p \cdot Z^2 \cdot dx}{E \cdot Q \cdot a} = \frac{p}{E \cdot Q} \cdot \frac{a^2}{4} \left[e^{\frac{x}{a}} + e^{-\frac{x}{a}} \right]^2 \cdot \frac{1}{a} \cdot dx,$$

y el acortamiento total:

$$s = \int_{-x}^x \frac{p}{E \cdot Q} \cdot \frac{a^2}{4} \left[e^{\frac{x}{a}} + e^{-\frac{x}{a}} \right]^2 \cdot \frac{1}{a} \cdot dx = \frac{p \cdot a}{E \cdot Q} \cdot \frac{1}{4} \left[a \left(e^{\frac{2x}{a}} - e^{-\frac{2x}{a}} \right) + 4x \right].$$

Limitando el valor de x al de la semiluz $\frac{L}{2}$, y teniendo en cuenta que el parámetro l está definido por ser $l = \frac{L}{a}$, tenemos que el acortamiento elástico total del vano tiene por expresión:

$$\frac{p \cdot L^2}{2 \cdot E \cdot Q} \left[\frac{e^l - e^{-l}}{2l} + 1 \right],$$

y la relación entre este acortamiento, y la luz:

$$\frac{\Delta S}{L} = \frac{1}{2} \cdot \frac{p \cdot L}{E \cdot Q} \cdot \left[\frac{e^l - e^{-l}}{2l} + 1 \right].$$

En vez de trabajar con la expresión anterior, admitiremos que vale:

$$\frac{\Delta S}{L} = \frac{T}{E \cdot Q}.$$

Antes de seguir, veamos qué error supone adoptar la expresión [9] en lugar de la [8].

La ecuación [9] podemos ponerla de la forma:

$$\frac{\Delta S}{L} = \frac{T}{p \cdot L} \cdot \frac{p \cdot L}{E \cdot Q},$$

pero teniendo en cuenta la ecuación [5]

$$\frac{\Delta S}{L} = \frac{1}{2 \cdot l} \left[e^{\frac{l}{2}} + e^{-\frac{l}{2}} \right] \cdot \frac{p \cdot L}{E \cdot Q}.$$

Iguando las ecuaciones [10] y [8] nos encontramos con que hemos admitido que las expresiones $\frac{e^l - e^{-l}}{2 \cdot l} + 1$ y $e^{\frac{l}{2}} + e^{-\frac{l}{2}}$ son iguales.

Para que efectivamente lo fueran debería verificarse que:

$$\frac{\frac{e^l - e^{-l}}{2 \cdot l} + 1}{\frac{l}{e^2} + e^{-\frac{l}{2}}} = 1.$$

Con objeto de averiguar el error que se comete, al no ser cierta la expresión anterior, veamos cómo varía, y para ello se ha calculado el cuadro de valores que se indica a continuación:

- Si la relación flecha/luz vale 0,012 5, dicha relación es 0,999 6.
- Si la relación flecha/luz vale 0,025 0, dicha relación es 0,998 4.
- Si la relación flecha/luz vale 0,037 6, dicha relación es 0,996 3.
- Si la relación flecha/luz vale 0,050 2, dicha relación es 0,993 5.

es decir, que aun cuando la flecha llegue a ser el 5 por 100 de la luz, el error cometido al calcular la deformación es del 0,65 por 100. Esta cifra es muy reducida, ya que no se puede aspirar a que los otros valores que intervienen en la fórmula (como el módulo de elasticidad, o la sección) tengan una exactitud comparable. Se deduce, pues, que la aproximación inherente a la fórmula es bastante superior a la propia de los datos, por lo que puede aplicarse sin reserva alguna.

Una vez admitida la referida hipótesis, veamos cómo se puede aplicar con facilidad al gráfico que se describió anteriormente. Para ello volvamos a la figura 2.ª, en la cual también utilizamos ahora los ejes cartesianos dibujados en la parte superior derecha. El de ordenadas tiene fijado el punto de ordenada unidad (punto C) y el de abscisas está graduado según la relación $\frac{p \cdot L}{E \cdot Q}$.

Esto nos permite calcular gráficamente el acortamiento elástico de una catenaria, cuando desaparecen las cargas que la soliciten. Basta para ello marcar en este eje de abscisas el punto L que representa el valor que tenga la relación $\frac{p \cdot L}{E \cdot Q}$ y unirlo con el punto C.

Después por el punto M. que representa la situación de la catenaria, trazamos una recta paralela a la CL, cuya recta MI, corta en I al eje de abscisas que fija la relación arco/luz. El trozo IM' representa el acortamiento elástico.

En efecto, tengamos en cuenta que el trozo MM' representa el valor $\frac{T}{p \cdot L}$, que el LQ equivale a la magnitud $\frac{p \cdot L}{E \cdot Q}$ de modo que estableciendo la proporcionalidad debida a la semejanza de los triángulos IMM' y LCQ, tenemos:

$$M'I = QL \cdot \frac{MM'}{CQ} = \frac{p \cdot L}{E \cdot Q} \cdot \frac{\frac{T}{p \cdot L}}{1} = \frac{T}{E \cdot Q},$$

o sea, el acortamiento elástico aproximado, según se demostró anteriormente.

Esto quiere decir que si un hilo suspendido tiene sus características representadas en el punto M, cuando se le descuelga y se le tiende horizontalmente sobre el suelo, sin soportar carga alguna, su longitud está definida por el punto I.

Con este dato se pueden calcular con suma facilidad los cambios de condiciones de sollicitación de un hilo colgado, bien sea por variación de temperatura o por cambios de los pesos que ha de soportar.

1.° *Cambio de las cargas verticales.* — Corresponde al caso real de un hilo que se calcula teniendo en cuenta ciertos pesos, y que posteriormente debe comprobarse para otros distintos de los anteriores. Este suele ser el camino seguido al calcular los conductores; se empieza teniendo en cuenta la carga máxima, incluyendo las sobrecargas, y más tarde se prescinde de éstas para poder deducir el cuadro de montaje.

Lo anterior puede obtenerse fácilmente con el gráfico, refiriéndonos siempre a la longitud que tendría el hilo desarrollado en un plano horizontal. Supongamos que, con arreglo a los pesos primeramente considerados, se fija la posición del punto L y por las condiciones de la catenaria establecemos la posición del punto M . Trazamos por este punto M la paralela a la recta LC y obtenemos el punto I .

Supongamos que varían las cargas por metro lineal que actúan sobre el cable. En este caso deberíamos buscar unas condiciones tales que la longitud del cable, disminuída en su acortamiento elástico, venga representada por el mismo punto I .

Este problema lo resolveremos fácilmente determinando el punto K que corresponde al nuevo estado de carga y trazado por el punto I una paralela IN a la recta CK , que determina sobre la curva el punto N . Resulta evidente que este punto N caracteriza la nueva situación de la catenaria, toda vez que disminuída en su acortamiento elástico nos conduce a la misma longitud del hilo desarrollado sobre el suelo (punto I).

2.° *Cambio de temperatura.* — Un cambio de temperatura supone una variación en la longitud del hilo que tiene por valor.

$$\Delta S = L \cdot \alpha \cdot \Delta t,$$

de modo que la variación de la relación arco/luz tiene por expresión:

$$\frac{\Delta S}{L} = \alpha \cdot \Delta t,$$

en la que α es el coeficiente de dilatación lineal del material que constituye el hilo, y Δt , la variación de temperatura.

Si esta expresión $\alpha \cdot \Delta t$ tiene por medida la longitud ID , tendremos que partir para todos los casos posteriores a la nueva temperatura del punto D , no del I , como representación de la longitud del hilo desarrollado. Los aumentos de longitud deben contarse hacia la derecha, puesto que en este sentido está el incremento de la relación arco/luz, y hacia la izquierda cuando es disminución. Una vez conocido el punto D podemos determinar los representativos de la catenaria trazando por este punto D rectas con las inclinaciones correspondientes a las distintas sollicitaciones.

Como el cálculo mecánico de los conductores de una línea eléctrica deben tener en cuenta variaciones de carga y de temperatura, que corresponden a los casos que se acaban de estudiar, el nomograma mencionado se adapta perfectamente a toda clase de cálculos de líneas, como se puede apreciar en el ejemplo que se detalla seguidamente.

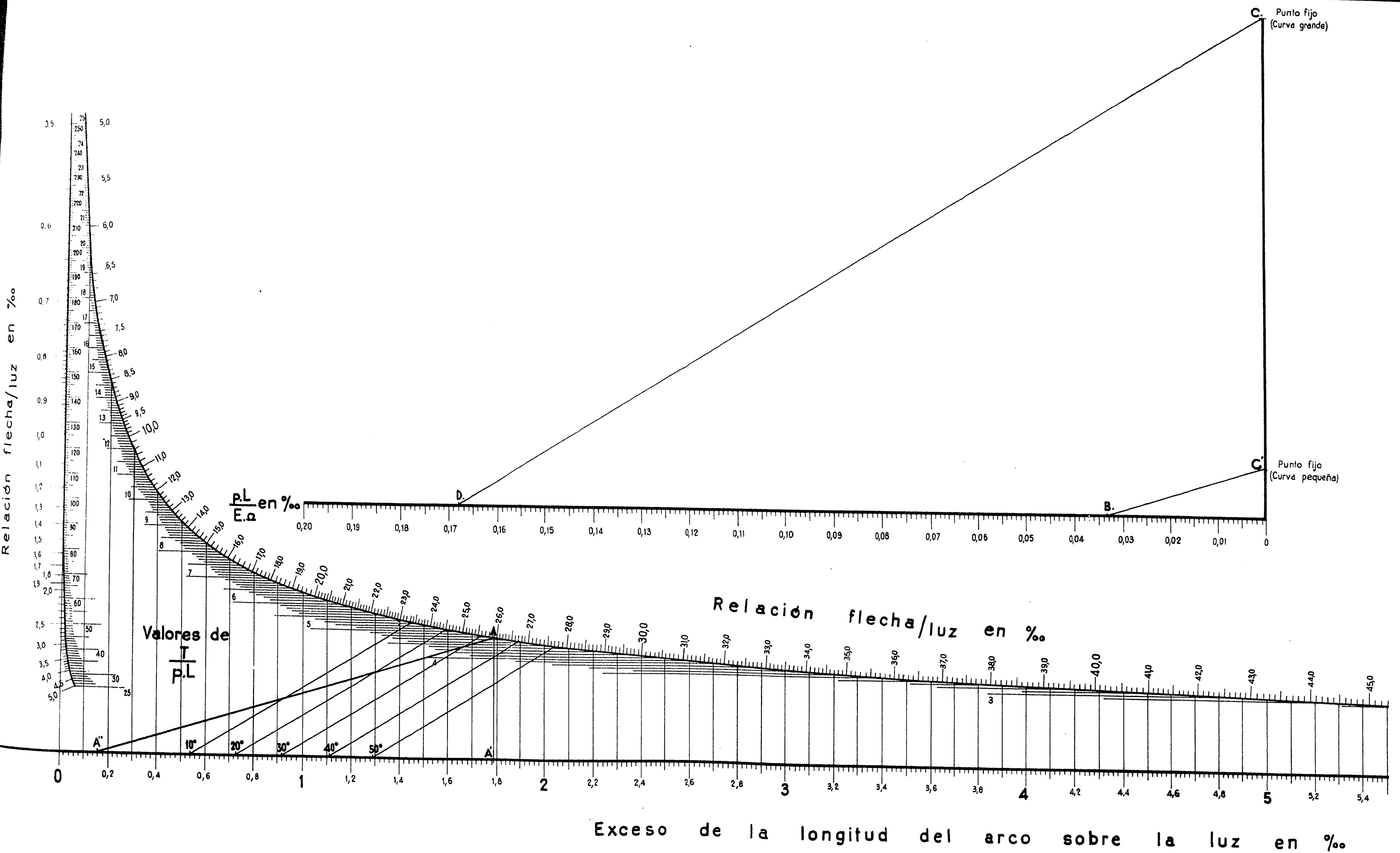


Figura 3.

EJEMPLO DE CALCULO ELASTICO DE UN CONDUCTOR

Para poder establecer comparaciones, utilizamos como conductor uno de los estudiados por Donati y de Nicola, cuyas características (citadas en la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS, febrero de 1943, página 78) son las siguientes:

Sección de Aluminio	191,21 mm. ² .
Sección de Acero	31,14 mm. ² .
Sección total	222,35 mm. ² .
Diámetro circunscrito	19,38 mm.
Peso por metro lineal	0,788 Kg.
Carga de rotura	6 600 Kg.

Obtenemos el módulo de elasticidad del conjunto del cable, haciendo uso de las fórmulas normales y suponiendo que los módulos de elasticidad del acero y del aluminio son de 19 000 y de 5.500 Kg./mm.², de acuerdo con los datos insertos en el artículo 7.º en el vigente reglamento de Líneas Eléctricas. Resulta ser de 7 360 kilogramos/mm.².

El coeficiente de dilatación del conjunto del cable es de $18,9 \times 10^{-6}$. También para obtener esta cifra se han considerado los coeficientes de dilatación del acero y del aluminio fijados en el mismo artículo del Reglamento. De $11,5 \text{ por } 10^{-6}$ para el acero, y de 23×10^{-6} para el aluminio.

Comenzamos por considerar la hipótesis pésima que produzca las máximas cargas en el conductor. Según el artículo 13 de dicho Reglamento se impone un coeficiente de seguridad de 2,5 y resulta una carga máxima admisible de

$$\frac{6\,600}{2,50} = 2\,640 \text{ Kg.}$$

Esta cifra es inferior a la que resultaría de aplicar la carga autorizada por el Reglamento, de 13 Kg./mm.².

Estudiadas las hipótesis de máxima carga, resulta que ésta se produce para la sobrecarga de hielo (0,800 Kg./m.), dando una carga máxima lineal de $p = 1,588$ kilogramos/m. coincidente con la temperatura de -9° .

Se ha supuesto que la línea está ubicada en la Meseta de Castilla la Vieja y a una altitud de 800 m.

Se ha escogido un vano de 350 m., que es el mismo citado por Carrasco en su artículo de julio.

Por tanto, conocemos la máxima tensión admisible en las condiciones pésimas (2 640 Kg.), el vano (350 m.) y la carga unitaria (1,588 Kg./m.).

Con estos datos calculamos la expresión:

$$\frac{T}{p \cdot L} = \frac{2\,640}{1,588 \times 350} = \frac{2\,640}{556} = 4,73.$$

Con esta cota definimos en la figura 3.ª el punto A. Ahora procede averiguar el acortamiento elástico que se produciría en estas condiciones si se liberase de carga al conductor. Pero ello, determinamos el punto B en la escala de $\frac{p \cdot L}{E \cdot \Omega}$ (dividiendo por diez, pues no cabe en la escala, y por ello tomamos como referencia el punto C', situado a la décima parte de altura que el C).

Trazamos por A la paralela a la recta B C', y obtenemos el punto A'' sobre el eje de abscisas.

La determinación gráfica de este punto no resulta muy exacta, por lo que re-
currimos a trazar la vertical AA' , y tomamos a la izquierda de este punto A' la de-
formación elástica, que vale:

$$\frac{T}{E \cdot \Omega} = \frac{2640}{7360 \times 222,35} = \frac{2640}{1\,640 \times 10^3} = 1,61 \times 10^{-3}.$$

Obtenido el punto A'' , con bastante exactitud, consideramos el aumento de tem-
peratura

La hipótesis pésima antes citada correspondía a una temperatura de -9° .

Situamos sobre la horizontal de A'' , y a su derecha, las longitudes correspon-
dientes a las temperaturas de 10, 20, 30, 40 y 50° , multiplicando el coeficiente de di-
latación ($18,9 \times 10^{-6}$), por los grados comprendidos entre -9 y la temperatura con-
siderada, quedando marcados sobre el eje de abscisas los puntos correspondientes a
las temperaturas de 10, 20, 30, 40 y 50° .

Para calcular la tabla de tendido debemos considerar que la carga unitaria es
solamente el peso propio, por lo que la expresión:

$$\frac{p \cdot L}{E \cdot \Omega} \text{ vale } \frac{0,788 \times 350}{1\,640 \times 10^3} = 0,168 \times 10^{-3}.$$

Con este valor se marca el punto D , que une con el C , y trazamos rectas pa-
rales por los puntos recién marcados en el eje de abscisas para las diferentes tem-
peraturas, hasta su intersección con la curva, resumiendo en el cuadro siguiente los
valores de la relación flecha/luz obtenidos en el gráfico. Las magnitudes, en me-
tros, de la flecha, obtenidas multiplicando por la luz (350 m.) los citados valores de
la relación flecha/luz, cierran el estudio elástico, pues de ellas puede deducirse la
flecha a dar a la línea según la temperatura que tenga el conductor en el momen-
to del montaje y también la flecha máxima, que corresponde a la temperatu-
ra de 50° .

Temperatura	Relación flecha/luz	Flecha
10°	23,35 ‰	8,16 m.
20°	24,5 ‰	8,56 ‰
30°	25,6 ‰	8,95 ‰
40°	26,7 ‰	9,33 ‰
50°	27,7 ‰	9,69 ‰