

ESTUDIO SOBRE LOS POSTES I LAS PILAS

PARA LA TRASMISION DE LA ENERJÍA ELÉCTRICA

POR

LÉON GRIVEAUD

Traducido de la *Revue de la Construcccion Metallique*

POR

FRANCISCO MARDONES

Ingeniero Civil

En el primer número de la *Revue générale de la Construcccion Metallique et de la serrurerie*, empezó el señor Léon Griveaud la publicacion de un interesante trabajo sobre los postes, pilas i pilarejos para la trasmision de enerjía eléctrica.

Como esta nueva revista es poco conocida en el pais por una parte, i como, por otra parte, empieza aquí a preocuparnos el problema de la trasmision eléctrica de potencia que alguna vez hemos de ver resuelto en grande escala, dada la configuracion de nuestro territorio i su prodijiosa dotacion de cursos de agua de gran pendiente, hemos creido de utilidad ocuparnos en la traduccion de aquel estudio para proporcionar así a nuestros lectores el medio de conocer muchas enseñanzas que solo se pueden encontrar parcial i aisladamente en diferentes obras, algunas de gran valor i otras que son escasas o no se encuentran en nuestras bibliotecas.

I. JENERALIDADES

Las aplicaciones nuevas i la estension siempre creciente que toma en nuestros dias la electricidad, ha obligado a buscar, desde hace ya algunos años, los medios propios de sustituir el metal a los soportes de madera jeneralmente empleados para el establecimiento de las líneas aéreas.

Los postes de madera son evidentemente económicos, como costo de implantacion, se entiende, pero su duracion es menor que la del metal; ademas son aquellos mui sensibles a las influencias climatéricas, son atacados por los insectos, se deterioran en el vértice i, lo que es mas grave, se pudren rápidamente en la parte empotrada, precisamente en los puntos en que se producen los mayores esfuerzos. Ademas, se ve frecuentemente en líneas de alguna estension, postes derribados o quebrados a causa de tempestades o vientos un poco violentos.

Los gastos de conservacion son, pues, mucho mas elevados en los soportes de madera que en los de hierro; así, las líneas nuevas que se establecen en las colonias o en el extranjero, i que deben atravesar grandes estensiones de terrenos inhabitados o accidentados, se construyen casi esclusivamente con postes de hierro, precisamente para reducir los gastos de explotacion i exactamente por las mismas razones que hacen adoptar a veces, los travesaños de hierro para el establecimiento de las vías férreas, en lugar de los travesaños de madera.

Si los postes de madera se utilizan aun para la construccion de líneas telegráficas o telefónicas que transmiten corrientes de débil intensidad, i en los paises en que los transportes son fáciles, ellos no son casi nunca empleados en canalizaciones industriales que son atravesadas por corrientes de alto voltaje, pues en estas instalaciones se requiere una gran seguridad, i la ruptura de una línea por la caída de un poste, podria ser de consecuencias mui graves i mui perjudiciales bajo todos los puntos de vista.

Agreguemos, finalmente, para terminar esta rápida esposicion, que las formas irregulares i el aspecto macizo del soporte de madera no armonizan con las líneas lijeras o racionales de nuestras construcciones modernas i a las cuales nuestro espíritu se habitúa; no queremos decir con esto que el soporte de metal sea bonito, sin embargo sus formas son simétricas i mas racionales, i si su silueta delgada puede asombrar, ella no producirá la misma impresion desagradable que la vista del poste de madera.

Estas consideraciones esplican la estension mas i mas grande que toman los soportes de hierro en el establecimiento de las canalizaciones eléctricas aéreas; es esta una cuestion que se encuentra a la órden del dia i forma ya, en la industria de la construccion metálica, una rama mui importante. Las soluciones adoptadas son numerosas, i nos proponemos, describiéndolas e indicando los métodos de cálculo de resistencia, facilitar la tarea del electricista que proyecta estas instalaciones i del constructor que se encarga del estudio de los soportes.

La composicion de una línea aérea depende de consideraciones que son del resorte del electricista; la intensidad de la corriente por transmitir, la pérdida de carga admitida, el calentamiento del conductor, etc., son datos mui interesantes del problema, pero que no analizaremos, pues no podríamos decir sobre esta materia mas que jeneralidades que se pueden encontrar en todos los tratados de electricidad, sin ninguna novedad, i por consiguiente, sin ningun interes.

El trazado de una línea no puede someterse a ninguna regla fija, pues habrá en cada caso particular consideraciones especiales o locales que harán preferir tal trazado sobre tal otro. Estando determinados los puntos por reunir, se da a la línea el desarrollo mínimo, procurando, tanto como sea posible, satisfacer las consideraciones siguientes:

1.º Seguir el desarrollo de un camino accesible a carruajes, para facilitar el aprovisionamiento de material i las reparaciones.

2.º Evitar los puntos espuestos a accidentes, tales como derrumbes, hundimientos del terreno, inundaciones, ventarrones, etc., i, segun la naturaleza de los suelos, estudiar i comparar los diversos modos de plantacion.

3.º Darse cuenta de la importancia de las limpias (roces) que hai que hacer al principio o en seguida, para conservar el aislamiento de los hilos.

4.º Buscar las alineaciones rectas, pues las curvas i los ángulos bruscos exigen so-

portes mas resistentes; por otra parte, las líneas sinuosas producen un efecto ménos gracioso que los trazados rectilíneos.

Las distancias entre postes son mui variadas; dependen de la resistencia mecánica de los hilos o cables, del espaciamento entre los hilos, del peso de la línea, etc. La circular del 24 de Abril de 1894, del Director Jeneral de Correos i Telégrafos, recomienda adoptar en la construccion de las líneas del Estado, un apartamiento uniforme de 75 metros; los hilos son de bronce silicioso i espaciado de 0,50 metro, tanto en el plano vertical como en el plano horizontal; sin embargo los hilos de las compañías de ferrocarriles, que se fijan sobre los mismos postes que los hilos del Estado, van espaciados de 0,30 metro solamente.

Una vez fijo el trazado de la línea, es necesario, evidentemente, colocar soportes en los ángulos i en los orígenes de las curvas, o en las vecindades de estos últimos puntos. La ubicacion de los otros postes se determina por la consideracion del apartamiento máximo que se ha impuesto, procurando tener intervalos sensiblemente regulares en los diversos trozos de la línea, con el objeto de tener el mayor número de piezas semejantes, de mismas dimensiones i misma resistencia.

Si las curvas tienen un gran desarrollo, es a menudo ventajoso adoptar en ellas un apartamiento menor que en las rectas i estudiar este apartamiento de manera que la resultante de los esfuerzos soportados por estos postes sea igual a la que solicita los soportes en línea recta, a fin de adoptar el mismo material.

La altura de los postes sobre el suelo depende del número de hilos, de su espaciamento, de la flecha tolerada i de la elevacion exigida para el hilo mas bajo; los espaciamentos de los hilos son funcion del apartamiento de los postes i de la intensidad de la corriente por transmitir, i, si para las líneas telegráficas o telefónicas se puede admitir una débil distancia entre los hilos, hemos visto en el establecimiento de ciertas líneas industriales exigir espaciamentos de 0,60 a 0,80 metro.

La circular ministerial del 15 de Setiembre de 1893 reglamenta así el establecimiento de las canalizaciones eléctricas en la gran red de caminos nacionales (*voirie*) (1).

El apartamiento máximo de los postes será de 100 metros; los hilos que siguen longitudinalmente la vía pública estarán a lo ménos a 6 metros sobre el suelo i el punto de union a 6,50 metros; todo conductor que atravesase la calzada deberá mantenerse a 8 metros a lo ménos sobre la calle. Al atravesar rios o canales navegables las partes mas bajas de los conductores deben quedar a 17 metros, a lo ménos, sobre aguas altas, pero puede prescribirse una mayor altura mínima en los decretos de autorizacion cuando se trate de atravesar un rio habitualmente recorrido por navíos de mar.

En la travesía por lugares habitados, la misma circular prescribe colocar los conductores a 1 metro de las fachadas i a 0,50 metro, a lo ménos encima de las ventanas mas altas; si deben pasar encima de una terraza deben quedar a una altura de 2,50 metros a lo ménos sobre el punto mas alto.

La construccion de las líneas telegráficas i telefónicas del Estado i de las compañías de ferrocarriles está reglamentada por una instruccion del Director Jeneral de Correos i

(1) Estas disposiciones se encuentran en el decreto prefectoral de 15 de Setiembre de 1893, anexo a las circulares ministeriales de 1.º i 2 del mismo mes i año, i pueden consultarse en la obra: *Electricité* por Ed. Dacremont, tomo II, páj. 587 i siguientes. N. del T.

Telégrafos del 24 de Abril de 1894. A lo largo de las vías férreas, el hilo mas bajo puede estar a 2.50 metros sobre el suelo, pero si la línea atraviesa la via la altura será de 6.50 metros a lo ménos, encima de los rieles.

Si la línea sigue una carretera, la altura mínima del hilo mas bajo debe ser de 3 metros sobre el suelo cuando es paralela al camino, i de 6.50 metros en los puntos en que la línea atraviesa la calzada; es esta altura de 6.50 metros la misma que se exige para franquear los pasos a nivel i, en este caso, los hilos pueden aproximarse a 0,30 metro i aun a 0,25 metro en lugar de 0,50 metro que tienen en línea corriente.

El establecimiento de los conductores en que los trenes, tranvías o barcos movidos por la electricidad recojen directamente la corriente que acciona el motor, está sometido en cada caso particular, a una reglamentacion especial dictada por la autoridad que acuerda las concesiones i autorizaciones particulares; podemos decir sin embargo, a título de indicacion, que la mayor parte de las líneas de trolley se encuentran a 6 metros sobre el suelo, i que el punto de suspension del hilo está jeneralmente a 6.50 metros de altura.

Apuntadas estas jeneralidades, vamos a abordar el estudio del poste metálico examinando, desde luego, cuáles son los esfuerzos que lo solicitan i, por consiguiente, qué resistencia deberá presentar, describiendo en seguida los tipos jeneralmente empleados, tales como los postes de fundicion, de hierro laminado, tubulares, enrejados, birolados, etc. Indicaremos, al mismo tiempo, algunas formas i disposiciones nuevas, que nos parecen económicas, i que podrian emplearse en muchos casos cuando el soporte está solicitado por débiles esfuerzos.

Las pilas no difieren de los postes mas que en sus dimensiones que son mayores, i en los esfuerzos que soportan que son mas considerables; así el tipo mas económico es el enrejado, que es teóricamente el mas racional i al cual se puede dar las mayores alturas i la mayor resistencia.

II. ESFUERZOS QUE SOPORTAN LOS POSTES

Un poste es un sólido de forma cualquiera plantado verticalmente en el suelo; la estremidad inferior está, pues, empotrada, mientras que el vértice está libre, i los esfuerzos que soporta i a los cuales debe resistir son:

- 1.º Un esfuerzo horizontal aplicado en el punto de suspension del hilo i que proviene de la tension de éste;
- 2.º La presion del viento sobre la línea cuyas reacciones se aplican en los mismos puntos que el esfuerzo anterior;
- 3.º El esfuerzo del viento sobre el soporte mismo;
- 4.º El peso del hilo que se concentra en el punto de suspension i el peso propio del soporte repartido sobre toda su altura.

Tension de los hilos. — La curva de equilibrio de un hilo, considerado como una línea pesada i homogénea sometida a la accion de la gravedad, es una catenaria; pero la ecuacion de esta curva es compleja, lo que escluye su uso en la práctica corriente. Siendo jeneralmente mui pequeña la flecha de los hilos con relacion a su luz, podemos suponer,

sin error sensible, que el peso del hilo o del cable está uniformemente repartido segun la cuerda ADB , en lugar de estarlo segun la curva ACB del hilo (fig. 1).

La curva de equilibrio del hilo es, en este supuesto, una parábola, i sabemos que *la subtangente queda dividida en dos partes iguales por el vértice de la curva*, es decir, que si desde el punto A trazamos la tangente AE hasta el eje MM de la curva, tendremos: $CD = CE$.

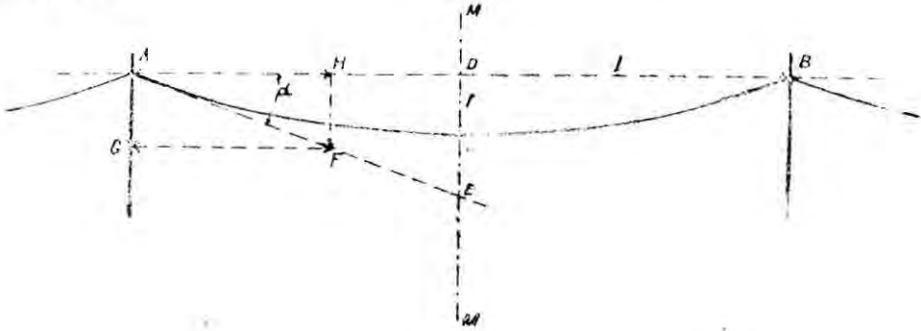


Fig. 1

La línea AE es la dirección segun la cual se ejerce la tracción AF del hilo en el punto de suspensión; podemos descomponer este esfuerzo segun la vertical AG del apoyo i segun la horizontal AH .

La componente AG es la carga vertical soportada por el poste, es decir $\frac{P}{2}$ o $\frac{pl}{2}$, llamando P el peso total del hilo entre los puntos A i B , o bien p su peso por metro corrido i l la distancia entre soportes; el triángulo AHF nos da:

$$AH = \frac{HF}{\text{tg. } \alpha} = \frac{HF \times AD}{DE}$$

o bien, llamando T la tensión horizontal AH i notando que $HF = AG = \frac{pl}{2}$, que $AD = \frac{l}{2}$ i que $DE = 2f$ o dos veces la flecha DC , podemos escribir, haciendo todas las reducciones:

$$T = \frac{pl^2}{8f} \dots \dots \dots (1)$$

Tal es la relación que nos da el valor de la tensión horizontal T cuando los puntos de unión A i B del hilo están a nivel.

Este esfuerzo es también la tensión del hilo en el punto más bajo, es decir en el punto C , pero a medida que el hilo se eleva, su tensión aumenta para llegar al máximo en los puntos de unión A i B . En estos puntos, en efecto, la tensión C queda medida por la diagonal AF , es decir que tenemos:

$$AF = \sqrt{AG^2 + AH^2} = \sqrt{\left(\frac{P}{2}\right)^2 + T^2}$$

o bien, sustituyendo:

$$Q = \frac{pl}{2} \sqrt{1 + \frac{l^2}{16f^2}} \dots\dots\dots (2)$$

Pero, en la práctica corriente, siendo la flecha relativamente pequeña con respecto a la luz, la tensión Q calculada con la fórmula (2) no difiere sensiblemente de la tensión T calculada con la fórmula (1); es, pues, la primera relación, más sencilla que la segunda, la que se emplea exclusivamente para calcular la tensión del hilo y el esfuerzo horizontal que se produce en su punto de suspensión. Se nota que la tensión del hilo es directamente proporcional a su peso p por metro corrido, el cual está en razón directa del área de la sección transversal; podemos, pues, expresar la tensión por unidad de área en función de la luz y la flecha, para un conductor desnudo del cual conoceremos su peso específico. Es así como para el hilo de bronce, tal cual se le emplea en la construcción de líneas industriales, admitiendo una densidad de 8.91, la tensión t por milímetro cuadrado es:

$$t = \frac{0.00891l^2}{8f} = 0.001114 \frac{l^2}{f} \dots\dots\dots (3)$$

La tabla A contiene los valores de t , calculados para los apartamientos de postes y flechas que se observan corrientemente en el establecimiento de instalaciones eléctricas.

TABLA A.—Tensión de un hilo de bronce, por milímetro cuadrado, en función de su luz y de la flecha

| FLECHA f | Apartamiento l de los postes, en metros | | | | | | | | |
|---------------|---|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 75 | 80 |
| m. | kg. | kg. | kg. | kg. | kg. | kg. | kg. | kg. | kg. |
| 0.30 | 5.95 | 7.52 | 9.26 | — | — | — | — | — | — |
| 0.35 | 5.08 | 6.45 | 7.95 | 9.62 | — | — | — | — | — |
| 0.40 | 4.45 | 5.64 | 6.96 | 8.41 | 10.00 | — | — | — | — |
| 0.45 | 3.96 | 5.02 | 6.18 | 7.47 | 8.89 | 0.43 | — | — | — |
| 0.50 | 3.57 | 4.52 | 5.58 | 6.73 | 8.00 | 19.40 | 10.90 | — | — |
| 0.55 | 3.23 | 4.10 | 5.05 | 6.12 | 7.27 | 8.55 | 9.90 | 11.35 | — |
| 0.60 | 2.97 | 3.76 | 4.63 | 5.61 | 6.67 | 7.83 | 9.07 | 10.42 | 11.85 |
| 0.65 | — | 3.47 | 4.28 | 5.18 | 6.16 | 7.24 | 8.37 | 9.61 | 10.95 |
| 0.70 | — | 3.22 | 3.97 | 4.81 | 5.72 | 6.71 | 7.78 | 8.94 | 10.15 |
| 0.75 | — | — | 3.70 | 4.48 | 5.33 | 6.27 | 7.26 | 8.35 | 9.47 |
| 0.80 | — | — | 3.48 | 4.20 | 5.00 | 5.88 | 6.80 | 7.81 | 8.87 |
| 0.85 | — | — | — | 3.95 | 4.71 | 5.53 | 6.41 | 7.36 | 8.36 |
| 0.90 | — | — | — | 3.73 | 4.45 | 5.21 | 6.05 | 6.95 | 7.90 |
| 0.95 | — | — | — | — | 4.22 | 4.94 | 5.73 | 6.58 | 7.48 |
| 1.00 | — | — | — | — | 4.00 | 4.70 | 5.45 | 6.26 | 7.12 |

Esta tabla puede aun servir para flechas superiores a 1 metro, notando que la tension es la mitad menor para una flecha doble, suponiendo que se conservan todas las demas condiciones.

Si la línea está constituida por un cable, las cifras anteriores deberán incrementarse en:

- 5 por ciento para cables formados por un haz de hilos (à un toron).
- 10 » » » » » » varios haces de hilos (à plusieurs torons).
- 16 » » » » » » (en grelin).

Así la tension total ejercida por un cable de bronce silicioso de 50 milímetros cuadrados, de un solo haz de hilos, cuando la luz es de 70 metros i la flecha de 1m. 10, es de:

$$T = \left(\frac{9.90}{2} \times 50 \right) 1.05 = 260 \text{ kgrm.}$$

Cuando la línea se establece en un terreno accidentado, los puntos de suspension A i B no pueden quedar sobre un plano horizontal i, si llamamos i la pendiente del suelo

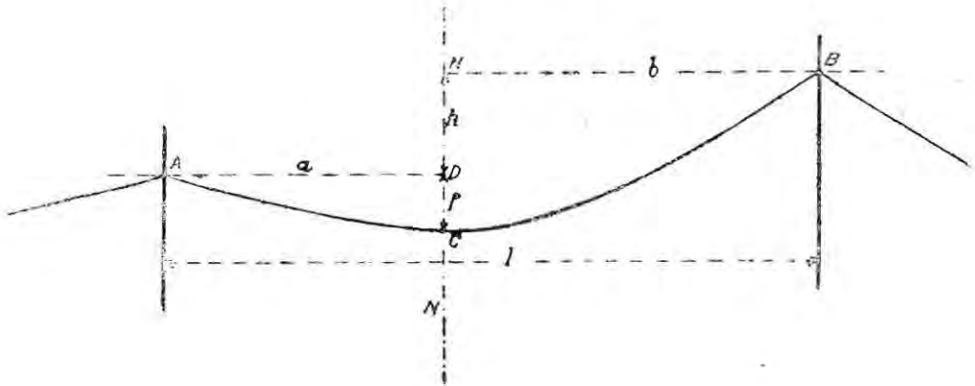


Fig. 2

por metro, la diferencia de nivel h entre los puntos de suspension es evidentemente igual a: $h = i l$. Si admitimos siempre que el peso está uniformemente repartido segun la horizontal, la curva de equilibrio del hilo es aun una parábola de eje vertical NN' (fig. 2), pero el vértice C de esta parábola se aproxima al punto mas bajo A .

La fórmula (1) puede aun servir para calcular la tension horizontal en las dos ramas de la parábola, i esta componente es, a todas luces, constante sobre toda la estension de la curva.

Podemos, pues, escribir:

$$T = \frac{pu^2}{2f} = \frac{p b^2}{2(h+f)} \quad (4)$$

de donde deducimos:

$$\frac{a^2}{b^2} = \frac{f}{h+f} \quad (5)$$

i reemplazando b por su valor $(l-a)$, desarrollando i trasformando, encontramos:

$$a = \frac{l}{h} \left(\sqrt{f(h+f)} - f \right) \quad (6)$$

En los puntos de suspension del hilo las componentes verticales no son iguales; en A ella representará el peso de la porcion AC de la línea i en B el de la porcion CB . Las resultantes, que miden la tension segun la tangente a la curva son, pues, desiguales; las diferencias son mui pequeñas pero suficientes, con todo, para exigir que el hilo sea ligado a cada aislador.

Cuando la línea es recta i ella posee una composicion absolutamente regular, las tensiones que acabamos de calcular se anulan en cada poste; estas fórmulas no son, pues, aplicables mas que para los postes de los vértices o los extremos.

Si tenemos dos fuerzas iguales OS i OT que diverjen del vértice de un ángulo AOB (fig. 3), podemos obtener gráficamente la resultante OR construyendo el paralelogramo de las fuerzas; podríamos tambien calcular analíticamente, escribiendo:

$$R = 2 T \cos \frac{\alpha}{2} \quad (7)$$

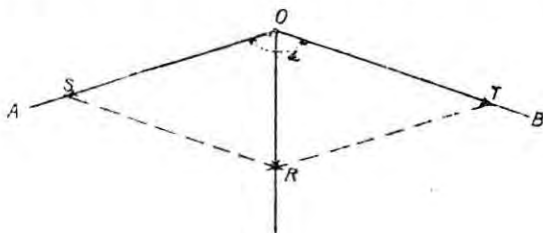


Fig. 3

La tabla B contiene los coeficientes de T calculados para diferentes valores del ángulo α ; ella permite determinar rápidamente la magnitud de la resultante R cuando las dos tensiones T son iguales.

TABLA B

| α | $2 \cos \frac{\alpha}{2}$ | α | $2 \cos \frac{\alpha}{2}$ | α | $2 \cos \frac{\alpha}{2}$ | α | $2 \cos \frac{\alpha}{2}$ | α | $2 \cos \frac{\alpha}{2}$ |
|----------|---------------------------|----------|---------------------------|----------|---------------------------|----------|---------------------------|----------|---------------------------|
| 0 | 2.000 | 40 | 1.879 | 80 | 1.532 | 120 | 1.000 | 160 | 0.347 |
| 5 | 1.998 | 45 | 1.848 | 85 | 1.475 | 125 | 0.923 | 165 | 0.261 |
| 10 | 1.992 | 50 | 1.813 | 90 | 1.414 | 130 | 0.845 | 170 | 0.174 |
| 15 | 1.983 | 55 | 1.774 | 95 | 1.351 | 135 | 0.765 | 175 | 0.087 |
| 20 | 1.970 | 60 | 1.732 | 100 | 1.286 | 140 | 0.684 | 180 | 0.000 |
| 25 | 1.953 | 65 | 1.687 | 105 | 1.218 | 145 | 0.601 | | |
| 30 | 1.932 | 70 | 1.638 | 110 | 1.147 | 150 | 0.518 | | |
| 35 | 1.907 | 75 | 1.587 | 115 | 1.075 | 155 | 0.433 | | |

Así, en el vértice de un ángulo de 135° si cada lado de la línea ejerce una tensión de 650 kilogramos, la resultante de estos esfuerzos considerados solos, está, a todas luces, dirigida según la bisectriz del ángulo i tiene por valor:

$$R=650 \times 0,765=497 \text{ kgrm.}$$

Si varios hilos o cables concurren al mismo soporte (fig. 4), la resultante se obtendría trazando el polígono de las fuerzas; es decir que, partiendo de la estremidad *S* de una cualquiera de las rectas que representan las diversas tensiones, se trazará *SQ* igual i paralela a *OT* despues *QR* igual i paralela a *OV*. El punto final *R* permite trazar *OR* que representa en magnitud i dirección, la resultante de las fuerzas *S*, *T* i *V*.

Este procedimiento gráfico será siempre el mas espedito i, aunque no presenta el rigor de los métodos analíticos, proporciona muy rápidamente i con una exactitud práctica siempre suficiente el resultado que se busca.

Acción de la temperatura.—Las variaciones de temperatura obran sobre los hilos o cables provocando su contracción si la temperatura baja o su alargamiento si la temperatura sube.

Estos cambios en la longitud primitiva modifican necesariamente la magnitud de la flecha, de donde resulta un acrecentamiento de tensión en el hilo cuando la temperatura desciende de la inicial, a la cual se efectuó la instalación, o por el contrario una disminución de tensión si la temperatura se eleva.

Los aumentos de tensión bajo la acción del frío son los que deben considerarse para el establecimiento de una canalización aérea; pero notemos inmediatamente que el fenómeno es complejo, pues al mismo tiempo que la tensión aumenta, el metal, obedeciendo a su natural elasticidad, se alarga, tendiendo así a aumentar la flecha, i, por consiguiente, a reducir la tracción del hilo.

Así, adoptando las mismas notaciones que en las fórmulas anteriores, i designando además por:

- δ la variación o diferencia de temperatura;
- α el coeficiente de dilatación lineal, i
- λ el coeficiente de alargamiento.

La longitud primitiva *L* se trasforma, bajo la acción única de la variación de temperatura, en:

$$L' = L (1 + \alpha \delta)$$

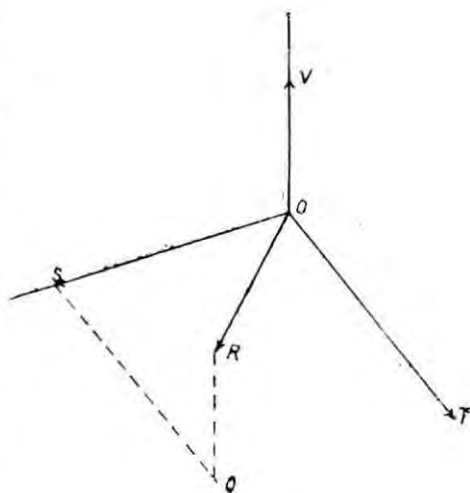


Fig. 4

Pero interviniendo la elasticidad, a su turno, esta longitud L' se convierte en:

$$L'' = L' [1 + \lambda (T'' - T)]$$

o bien, reemplazando L' por su valor:

$$L'' = L (1 + \alpha \delta) [1 + \lambda (T'' - T)] \quad (7)$$

Por otra parte, las longitudes desarrolladas L i L'' estan ligadas a las flechas, i por consiguiente, a las tensiones correspondientes, por las relaciones:

$$\begin{aligned} L &= l + \frac{p^2 l^3}{24 T^2} \\ L'' &= l + \frac{p^2 l^3}{24 T''^2} \end{aligned} \quad (8)$$

De la expresion (7') se deduce:

$$L'' - L = L [\alpha \delta + \lambda (T'' - T)]$$

despreciando el término $\alpha \delta \lambda (T'' - T)$ por muy pequeño.

Se deduce tambien de las relaciones (8):

$$L'' - L = \frac{p^2 l^3}{24} \left(\frac{1}{T''^2} - \frac{1}{T^2} \right)$$

Igualando estas dos últimas relaciones i notando que se puede, sin error sensible confundir L con l , se obtiene:

$$\alpha \delta + \lambda (T'' - T) = \frac{p^2 l^2}{24} \left(\frac{1}{T''^2} - \frac{1}{T^2} \right)$$

de donde deducimos:

$$\delta = \frac{1}{\alpha} \left[\frac{p^2 l^2}{24} \left(\frac{1}{T''^2} - \frac{1}{T^2} \right) - \lambda (T'' - T) \right] \quad (9)$$

El hilo telegráfico de bronce de una resistencia de ruptura de unos 45 kgr. por milímetro cuadrado, posee las constantes siguientes:

Coefficiente de dilatacion lineal $\alpha = 0.0000175$

Coefficiente de alargamiento $\lambda = 0.0000780$

Introduciendo estas cifras en la ecuacion (9) se puede confeccionar una vez por todas una tabla que permita darse cuenta de la influencia del frío sobre las flechas i las tensiones de los hilos i que será de un uso corriente para determinar la traccion inicial que conviene no sobrepasar segun la temperatura a la cual se efectúa la colocacion de la línea.

Hé aquí esa tabla:

TABLA C.—*Flechas i tensiones correspondientes a diversas luces i temperaturas para el hilo de bronce.*

| Luces | Temperaturas i flechas correspon. | TENSION POR MILÍMETRO CUADRADO | | | | | | | | | | | | | |
|-------|-----------------------------------|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| | | 4.29 | 4.50 | 4.74 | 5.00 | 5.29 | 5.62 | 6.00 | 6.43 | 6.92 | 7.50 | 8.18 | 9.00 | 10.00 | 11.25 |
| 40 | temp. | 29.2 | 26.6 | 24.0 | 21.1 | 18.3 | 15.2 | 11.9 | 8.4 | 4.5 | 0 | 5.2 | 11.5 | 19.4 | 29.4 |
| | flecha | 0.42 | 0.40 | 0.38 | 0.36 | 0.34 | 0.32 | 0.30 | 0.28 | 0.26 | 0.24 | 0.22 | 0.20 | 0.18 | 0.16 |
| 50 | temp. | 31.9 | 31.4 | 28.0 | 24.5 | 21.0 | 17.3 | 13.4 | 9.3 | 4.9 | 0 | 5.6 | 12.2 | 20.6 | 30.8 |
| | flecha | 0.66 | 0.62 | 0.59 | 0.56 | 0.53 | 0.50 | 0.47 | 0.44 | 0.41 | 0.37 | 0.34 | 0.31 | 0.28 | 0.25 |
| 60 | temp. | 41.6 | 37.2 | 32.9 | 28.5 | 24.3 | 19.8 | 15.2 | 10.5 | 5.5 | 0 | 6.1 | 13.2 | 21.9 | 32.5 |
| | flecha | 0.94 | 0.90 | 0.85 | 0.81 | 0.76 | 0.72 | 0.67 | 0.63 | 0.58 | 0.54 | 0.49 | 0.45 | 0.40 | 0.36 |
| 70 | temp. | — | 49.7 | 44.1 | 38.8 | 33.3 | 28.2 | 22.7 | 17.3 | 11.8 | 6.1 | 0 | 6.7 | 14.3 | 23.4 |
| | flecha | — | 1.22 | 1.16 | 1.10 | 1.04 | 0.98 | 0.92 | 0.86 | 0.80 | 0.73 | 0.67 | 0.61 | 0.55 | 0.49 |
| 80 | temp. | — | — | 52.1 | 45.4 | 38.9 | 32.6 | 26.2 | 19.8 | 13.4 | 6.9 | 0 | 7.4 | 15.6 | 25.3 |
| | flecha | — | — | 1.52 | 1.44 | 1.36 | 1.28 | 1.20 | 1.12 | 1.04 | 0.96 | 0.88 | 0.80 | 0.72 | 0.64 |
| 90 | temp. | — | — | — | 53.1 | 45.2 | 37.6 | 30.1 | 22.5 | 15.2 | 7.7 | 0 | 8.1 | 17.0 | 27.4 |
| | flecha | — | — | — | 1.82 | 1.72 | 1.62 | 1.52 | 1.42 | 1.32 | 1.21 | 1.11 | 1.01 | 0.91 | 0.81 |
| 100 | temp. | — | — | — | — | 52.2 | 43.3 | 34.4 | 25.7 | 17.2 | 8.7 | 0 | 9.0 | 18.6 | 29.6 |
| | flecha | — | — | — | — | 2.12 | 2.00 | 1.87 | 1.75 | 1.62 | 1.50 | 1.37 | 1.25 | 1.12 | 1.00 |
| | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | | 10.5 | 10 | 9.5 | 9 | 8.5 | 8 | 7.5 | 7 | 6.5 | 6 | 5.5 | 5 | 4.5 | 4 |

Coeficiente de seguridad correspondiente a la tension

Así, para una luz de 80 metros, por ejemplo, si la colocacion se hace a la temperatura de 20° sobre cero, la flecha del hilo debe ser al rededor de 1 m. 12, i su tension inicial de 6,43 kgrm. por milímetro cuadrado, o sea $\frac{4}{7}$ de la carga de ruptura. Si la temperatura bajase a 25° bajo cero, la flecha se reduciria a 0 m. 64 i la tension se elevaria a 11,25 kgrm. por unidad de seccion; esta traccion no comprometeria la estabilidad de la línea, pues se ve que ella no es mas que la cuarta parte del límite de ruptura i el límite de elasticidad no seria aun alcanzado.

Influencia de la nieve i del hielo.—La nieve i el hielo se acumulan sobre los conductores en masas, a menudo considerables, e importa tomar en cuenta esta circunstancia, sobre todo para las líneas establecidas en rejiones montañosas, a fin de prevenir los peligros que podrian resultar de estos fenómenos metereológicos.

Estas sobrecargas, que son uniformemente repartidas sobre la longitud del hilo, se agregan al peso propio del conductor i obran absolutamente como él aumentando, por con-

siguiente, su tension. Pero esta sobrecarga es mui variable i no se tiene sobre este punto enseñanzas bien precisas; convendrá, pues, apreciarla con el mayor cuidado, segun las rejiones atravesadas, procurando basarse sobre observaciones anteriores. Es incontestable, por lo demas, que estas acumulaciones tienen una importancia mayor sobre los hilos finos que sobre los de un diámetro medio o los cables, i es por esto que las líneas telefónicas de hilo inferior a 3 milímetros de diámetro se rompen mas frecuentemente cuando hai nevazones.

Durante el invierno de 1897-1898 se ha podido constatar, cerca de Saint- Etienne, 0,05 metro de diámetro de hielo sobre un hilo de 0.005 metro; tales cifras son probablemente escepcionales i es casi imposible precaverse contra sus efectos. En nuestras rejiones templadas se admite jeneralmente que la sobrecarga de nieve puede llegar a 10 veces el volúmen de cobre, i la del hielo a 5 veces solamente la misma capacidad; la mayor tension del hilo se alcanzará, pues, con una acumulacion de hielo que da, con una densidad de 0.9, una sobrecarga por metro corrido igual a la mitad del peso del hilo de bronce.

Esta sobrecarga coexiste con el frio i su accion debe combinarse con la de la temperatura. Pero se puede admitir que el viento fuerte no obra al mismo tiempo que los dos primeros fenómenos atmosféricos, i que el hielo es arrancado de la línea por un viento de 10 metros por segundo, produciendo una presion de 12 kgrm. por metro cuadrado sobre una superficie plana normal a su direccion. Podemos notar, sin embargo, que estas condiciones desfavorables, que deben tomarse en cuenta en el cálculo de un conductor, son escepcionales para las líneas en funcionamiento constante, pues el calentamiento del hilo por causa de la corriente tiene un efecto de proteccion mui marcado.

Si suponemos un hilo de 60 metros de luz, la tabla C indica una tension de 10 kilos por milímetro cuadrado para una temperatura de 21.º 9 bajo cero, admitiendo que haya sido establecido segun las hipótesis del cuadro, es decir, que la tension de instalacion, a la temperatura de unos 10º, dé una flecha de 0.63 m. Si multiplicamos la cifra 10 kilogramos por el coeficiente 1.5 para tomar en cuenta la accion del hielo, llegamos a una tension máxima de 15 kgrm. por milímetro cuadrado, igual al límite de elasticidad del hilo de bronce. Pero, esta cifra es mui alta, pues supone que bajo la carga del hielo la flecha queda igual a 0.40 m; i es bien evidente que el hilo se alargará, obedeciendo a su propia elasticidad, aumentando así la flecha lo que disminuirá la tension; se podria obtener un resultado exacto reemplazando en la fórmula (9) la cantidad p por $p' = 1.5 p$; pero parece inútil hacer un cálculo laborioso para buscar esta precision, cuando la hipótesis que consiste en admitir una sobrecarga de hielo igual a la mitad del peso propio del hilo, puede ser mas o ménos exacta i el cálculo sumario anterior dándonos un exceso de seguridad, bastará en la mayoría de los casos ordinarios.

En cuanto a la accion simultánea de un viento de 10 metros por segundo, es insignificante i puede ser despreciada sin error sensible.

Accion del viento.—El viento obra sobre los hilos produciendo una presion, análoga a una carga uniformemente repartida sobre el hilo o cable i tiende así a aumentar su tension. Este esfuerzo, que sin error sensible puede suponerse horizontal, se compone con el peso del conductor dando una resultante que basta considerar sola para calcular la tension producida por la accion simultánea del peso i del viento; en otras palabras, el esfuerzo total de traccion al cual queda sometido el hilo es el que se obtendria suponiendo

do que lo solicita una carga ficticia igual a la resultante del peso propio i de la presión del viento.

Los conductores de electricidad se encuentran en jeneral a poca altura sobre el suelo; se admite que pueden ser solicitados por un viento, denominado «tempête violente», que tiene una velocidad de unos 30 metros por segundo i produce una presión de 150 kgrm. sobre una superficie plana normal a su dirección. Es esta presión la que se adopta, corrientemente para el cálculo de estabilidad de las carpinterías ordinarias, reservándose los esfuerzos mayores, el de 270 kgrm. por ejemplo, indicado por la circular ministerial del 29 de Agosto de 1891, para las obras de arte ubicadas en los valles, i en las cuales el volcamiento tendria consecuencias desastrosas.

Pero estas presiones son las que se observan sobre las superficies planas i normales a la dirección del viento; si se admite para las superficies oblicuas la proporcionalidad al cuadrado del seno del ángulo de inclinación, se encuentra, integrando, que la presión sobre una superficie cilíndrica es exactamente los dos tercios de la que se ejercería sobre la sección diametral del cilindro. Sin embargo, esperiencias hechas por Borda han dado el coeficiente de reducción 0.57, menor que $\frac{2}{3}$; pero en razón de la incertidumbre que aun parece reinar sobre los resultados de esas esperiencias, creemos que es preferible dar la preferencia al coeficiente teórico hasta que nuevas esperiencias sobre este fenómeno, o mejor sobre el conjunto de fenómenos debidos al viento, nos den indicaciones mas precisas. Adoptaremos con tanta mayor voluntad este coeficiente de $\frac{2}{3}$ cuanto que nos parece que la presión varia con el estado mas o ménos rugoso de la superficie del cilindro i si para un hilo desnudo la reducción real es mayor que la dada por la aplicación de este coeficiente teórico, ella puede ser menor si se trata de un conductor cubierto.

Aplicando inmediatamente esta reducción a la presión de 120 kgrm., que hemos admitido, vemos que es necesario contar finalmente con un esfuerzo de:

$$120 \times \frac{2}{3} = 80 \text{ kgrm. por metro cuadrado,}$$

siendo la superficie la sección diametral del cilindro, es decir, un rectángulo de largo igual al del hilo i de ancho igual a su diámetro. Este esfuerzo que suponemos horizontal, i que llamaremos Q , se compone con el peso P del hilo, de manera que se obtiene una resultante R igual a:

$$R = \sqrt{Q^2 + P^2} \quad (10)$$

Pero cada una de estas cantidades es directamente proporcional a la luz L ; podemos pues, considerar un elemento de línea de 1 metro de longitud i escribir que la resultante r sobre esta porción de conductor es:

$$r = \sqrt{q^2 + p^2}$$

La resultante total R , si queremos obtenerla, será igual a $r l$.

La tabla siguiente contiene, para algunos diámetros de hilos o cables de bronce, las secciones trasversales i los pesos p por metro de longitud, el esfuerzo del viento q así como la resultante r , determinados como se ha dicho para el caso de un viento de velocidad de 30 metros por segundo.

TABLA D. — *Esfuerzo del viento sobre los hilos i cables (à un toron)*

| KILOS | | | | | | CABLES | | | | | |
|-------------------|--------------------|----------------|---------------------|------------|----------------------------|--------------------|--------------------|----------------|---------------------|------------|----------------------------|
| Diámetro del hilo | Seccion corresp. | Peso del metro | Esfuerzo del viento | Resultante | Coefficiente de mayoracion | Diámetro del cable | Seccion corresp. | Peso del metro | Esfuerzo del viento | Resultante | Coefficiente de mayoracion |
| d | s | p | q | r | $k = \frac{r}{p}$ | d | s | p | q | r | $k = \frac{r}{p}$ |
| m. m. | m. m. ² | kg. | kg. | kg. | | m. m. | m. m. ² | kg. | kg. | kg. | |
| 2.00 | 3.14 | 0.028 | 0.160 | 0.162 | 5.80 | 5.08 | 15.72 | 0.140 | 0.406 | 0.430 | 3.07 |
| 2.25 | 3.98 | 0.035 | 0.180 | 0.183 | 5.25 | 6.10 | 22.66 | 0.201 | 0.488 | 0.528 | 2.63 |
| 2.50 | 4.91 | 0.044 | 0.200 | 0.205 | 4.65 | 7.10 | 30.91 | 0.274 | 0.568 | 0.631 | 2.30 |
| 2.75 | 5.94 | 0.053 | 0.220 | 0.227 | 4.28 | 8.12 | 40.25 | 0.358 | 0.650 | 0.742 | 2.07 |
| 3.00 | 7.07 | 0.063 | 0.240 | 0.248 | 3.94 | 9.14 | 50.96 | 0.453 | 0.731 | 0.860 | 1.90 |
| 3.25 | 8.30 | 0.074 | 0.260 | 0.271 | 3.65 | 10.1 | 62.77 | 0.559 | 0.808 | 0.983 | 1.76 |
| 3.50 | 9.62 | 0.086 | 0.280 | 0.293 | 3.40 | 11.3 | 78.60 | 0.699 | 0.904 | 1.142 | 1.64 |
| 3.75 | 11.04 | 0.098 | 0.300 | 0.316 | 3.22 | 12.8 | 99.58 | 0.885 | 1.024 | 1.353 | 1.53 |
| 4.00 | 12.57 | 0.112 | 0.320 | 0.339 | 3.03 | 14.2 | 122.9 | 1.093 | 1.136 | 1.576 | 1.44 |
| 4.25 | 14.19 | 0.126 | 0.340 | 0.363 | 2.88 | 16.3 | 162.6 | 1.445 | 1.304 | 1.947 | 1.35 |
| 4.50 | 15.90 | 0.141 | 0.360 | 0.387 | 2.75 | 18.4 | 207.7 | 1.847 | 1.472 | 2.362 | 1.28 |
| 4.75 | 17.72 | 0.158 | 0.380 | 0.412 | 2.61 | 21.0 | 268.7 | 2.389 | 1.680 | 2.921 | 1.23 |
| 5.00 | 19.63 | 0.175 | 0.400 | 0.437 | 2.50 | 23.7 | 343.4 | 3.052 | 1.896 | 3.595 | 1.17 |

El uso de esta tabla se comprende fácilmente i la columna que da el coeficiente k o razon $\frac{r}{p}$, permite darse cuenta inmediatamente del aumento de tension en un hilo de diámetro dado, para un viento de 30 metros por segundo. Segun el apartamiento de los postes i las flechas de los hilos, las tensiones indicadas en la tabla A se multiplicarán por el coeficiente k correspondiente al diámetro del conductor, el producto dará así el esfuerzo total, por milímetro cuadrado, que se desarrolla en el hilo o cable con la aparicion de una tempestad.

Se admite en la práctica, que el viento de tempestad no puede obrar al mismo tiempo que el frio, pues es muy raro en efecto, que estos dos fenómenos coexistan con su máximo de intensidad. Segun que la línea esté establecida en rejiones llanas o montañosas,

los excesos de tension pueden provenir del viento o del frio i se estudiarán separadamente, i, lo mas amenudo, para una sola de estas acciones segun el grado de probabilidad de aparicion de estas causas destructoras.

En ciertas localidades, sometidas a un clima especial, puede estarse obligado a estudiar la accion simultánea del frio i del viento, pero importa entónces, para quedar dentro de límites razonables de seguridad i de economía, darse cuenta lo mas exactamente posible de los máximos contra los cuales es necesario precaverse.

Estas tensiones así calculadas se aplican al hilo o al cable, i sirven para determinar la flecha o la tension de instalacion; ellas servirán tambien para fijar otros elementos importantes de la construccion de las líneas eléctricas, tales como el apartamiento de los postes i el espaciamiento que conviene adoptar entre los hilos. La discusion de estos diversos elementos inducirá mui amenudo, a adoptar para las líneas industriales apartamientos entre postes relativamente pequeños, que no pasarán sino escepcionalmente de 50 metros.

Para el cálculo de los esfuerzos trasmitidos a los postes, i a los cuales ellos deben resistir, basta buscar las reacciones en los puntos de union; así, si la línea es recta, i los entre-postes iguales, cada uno de éstos queda solicitado por una fuerza vertical: $P = p l$ que representa el peso del conductor entre dos postes; ademas, obrando el viento normalmente a la línea produce en el punto de union del hilo un esfuerzo horizontal: $Q = q l$.

Si de cada lado del soporte considerado, los entre-postes son desiguales, tendremos:

$$P = p \left(\frac{l + l'}{2} \right) \quad \text{i} \quad Q = q \left(\frac{l + l'}{2} \right)$$

Por otra parte si el conductor ha sido tendido al dinamómetro adoptando una tension constante, lo que se hace jeneralmente, habrá, bajo la accion del frio, una resultante dirigida segun la línea i del lado del tramo menor, pero este esfuerzo es jeneralmente de pequeña magnitud i no se le toma en cuenta en la práctica.

Podemos notar, igualmente, que si los postes de ángulo o de terminacion estan calculados para resistir a las mayores tensiones que se producen bajo la accion del frio, del hielo o del viento, determinadas como ha quedado dicho, tendremos un exceso de resistencia. En efecto, el punto de suspension del hilo ya no es fijo, i si el esfuerzo aumenta el soporte se flexiona, lo que tiende a aumentar la flecha del conductor i, por consiguiente, a reducir la traccion; esta flexibilidad del poste reducirá tanto mas la luz cuanto que el ángulo formado por los dos lados de la línea sea menor.

(Continuará)

F. M.

