

FORMACION

DE LOS CABLES EN LOS PUENTES SUSPENDIDOS

La operacion de formar los grandes cables para los puentes suspendidos presenta a la vista un grave inconveniente, cual es uniformar la tension de trabajo de las diversas hebras que lo componen.

A *priori* parece ser imposible llegar a una precision matemática, i en realidad es esto lo que sucede, cualquiera que sea el procedimiento que se adopte. Sea en cancha, sea en la obra misma, no hai medio para comprobar que la tension de los alambres es igual para todos, por lo que hai que convenir en encerrarse dentro de ciertos límites.

Las experiencias hasta hoi efectuadas llevan a fijar la tension con que deben trabajar los alambres de fierro a razon de 16 kg por mm², i así *Lavoigne* i *Pontzen*, estudiando los puentes americanos, fijan en 19.6 i 26.7 la tension máxima de los cables en los puentes del Niágara i del Ohio, siendo 35.2 i 35.33 el límite de elasticidad de los alambres de fierro i 70 i 71 el de ruptura.

En un manual de conductores de trabajos publicado en 1887 he encontrado algunos detalles sobre el puente de la Roche-Bernard, construido en 1836 sobre el Vilaine, i entre ellos está el que se relaciona con el trabajo del metal, siendo de 16½ kilogramos por mm² para alambre núm. 18, tipo frances, de 9.08 mm² de seccion.

M. Collignon, en su tratado de *Resistencia de Materiales*, fija en 12 la carga práctica para el alambre de fierro i en una nota establece que suele ser llevada hasta 18; pero no encontrándola prudente.

Los constructores son, mientras tanto, lójicos al tomar como tipo de carga 16 kilogramos por milímetro cuadrado, tanto porque el metal adquiere homojeneidad i consistencia en la operacion de estiramiento, cuanto porque la experiencia da subidos límites de elasticidad i de ruptura para los alambres de fierro.

Así, mientras el fierro comun tiene 15 i 40 para estos coeficientes en alambre sube a 35 i 71, i si para el primero se acepta un trabajo hasta de 8 kilogramos por mm² en proporcion para el segundo seria:

$$35 \times \frac{8}{15} = 18\frac{2}{3}$$

De modo que no es exajerado llegar a 19 kilogramos en la carga por milímetro cuadrado, i en casos escepcionales puede aun llegarse a 26, i como pasa en el puente del Ohio en Cincinnati (E. U.)

Pero para no exajerar puede estimarse que una carga máxima de 20 kilogramos es aceptable i puede considerársele como un límite superior.

I si se toma como carga tipo 14 kilogramos se tiene que en un haz de alambre es posible cargar hebras con 8 a 20 kilogramos para obtener el promedio de 14 kilogramos.

Un haz así formado recibe primeramente el esfuerzo en las hebras que van a sufrir mayor carga, i a medida que éstas se estiran van cargando las que trabajan con menor esfuerzo, hasta recibir todas el que les corresponde: esto es, en el caso de no tener todas las hebras el mismo largo, lo que, como he dicho, es lo natural, tanto por la diferencia de longitud debida a la diferente tension de colocacion de las hebras como a la variacion por temperatura. Para formar los cables la cuestion es entónces colocar hebras cuya diferencia de longitud no salga entre ciertos límites.

He podido observar que el sistema mas práctico de formar grandes cables es el de hacerlos en el lugar en que deben quedar con cables simples de 18 o 20 hebras colocadas en haz i sin torcerlas.

En haz i sin torcerlas porque presentan para el cálculo un factor ménos de perturbaciones desde que para el estudio de las deformaciones o determinacion de la flecha no hai que tomar en cuenta la torcion que se produciria si las hebras fueran enrolladas unas en otras.

Colocadas en haz puede estirarse hebra por hebra, amarrarlas en argollas por sus estremidades, i siendo un número pequeño no hai tiempo para que variaciones considerables de temperatura puedan influir en la longitud de ellas.

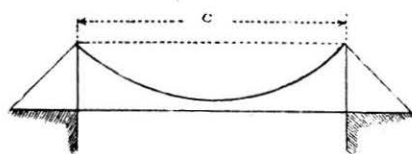
A mas, cables simples de pocas hebras pueden colocarse a tensiones determinadas por medio de poleas diferenciales, acercándose al ideal de dejar todas las hebras a la misma tension.

¿Cuáles son las variaciones aceptables en la flecha de las hebras para que en el trabajo en conjunto queden dentro de los límites indicados?

He adoptado como flecha tipo de los cables la relacion 1/12.5 del claro, o sea un 8 por ciento: es éste un término medio de las flechas aceptadas.

De modo que $C=12.5 F$.

La fórmula jeneral que da la longitud de un cable parabólico:



$$L=C\left(1+\frac{8}{3}\frac{f_2}{C^2}-\frac{32}{5}\frac{f_4}{C^4}\right)$$

i si se toma para $\frac{f}{C}$ el valor 0.08 se tiene:

$$L=1.01680453 C.$$

El alargamiento del cable por la tension se deduce de la fórmula:

$$l=\frac{P L}{E \Omega}$$

Si en 1) en este caso $P=11$, $E=20000$ i $\Omega=1$, se tiene:

$$l=0.0007 \quad L=0.00071176 \quad C.$$

¿Cuál será la diferencia de flecha primitiva en las hebras extremas que van a trabajar a 8 i 20 klgr o sea la diferencia de altura límite a que pueden quedar los cables simples para que sus hebras trabajen dentro de estas tensiones?

Para una diferencia de tension de doce kilogramos en la posición de una hebra hai una diferencia de longitud dada por la fórmula:

$$l = C \left(\frac{8}{3} \frac{f^2}{C^2} - \frac{8}{3} \frac{f^2}{C^2} - \frac{32}{5} \frac{f^4}{C^4} + \frac{32}{5} \frac{f^4}{C^4} \right)$$

i siendo $f/c=1/12.5=0.08$, se tiene:

$$l = C \left(-0.01680453 + \frac{8}{3} \frac{f^2}{C^2} - \frac{32}{5} \frac{f^4}{C^4} \right)$$

Esta ecuacion se transforma en:

$$f^4 - \frac{40}{96} C^2 f^2 + \frac{5}{32} C^4 l + 0.01680453 C^4 \times \frac{5}{32} = 0$$

de donde

$$f^2 = \frac{20}{96} C^2 - \sqrt{\frac{40}{9216} C^4 - 0.01680453 \times \frac{5}{32} C^4 - \frac{5}{32} C^4 l}$$

$$y \quad f^2 = C^2 \left(0.20833333 - \sqrt{0.04077707 - 0.15625 \frac{l}{C}} \right)$$

El factor $\frac{l}{C}$ es muy aproximadamente igual a 0.0006, i dándolo por igual se tendria

$$f = 0.08145 \quad C.,$$

i siendo $f = 0.08 \quad C$ se tiene por fin:

$$f' - f = 0.00145 \quad C$$

De modo que en un puente de 100 m de claro pueden distar 15 centímetros los cables simples en el punto mas bajo, 29 en uno de 200 i así sucesivamente, trabajando las hebras entre los límites de 8 i 20 kgs. por milímetro cuadrado cuando cargue todo el peso.

Como se ve, mientras mayor es el claro mas fácilmente se llega a aproximar la tasa de trabajo de las hebras i se comprende que no es difícil quedarse entre estos límites,

porque 15 centímetros de diferencia para un puente de 100 metros es una distancia mas que apreciable i es seguro llegar a límites mas estrechos poniendo cuidado en la operacion.

Para el valor máximo de elasticidad la diferencia de flecha es:

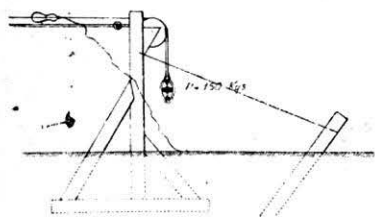
$$f' - f = 0.0044 C.,$$

en un puente de 100 metros pueden colocarse los cables simples con 44 centímetros de diferencia en la altura de la comba i aun no salirse del límite de elasticidad cuando trabajan con toda la carga.

Se ve, pues, que la operacion de formar un cable en haz con cables simples de veinte a mas hebras no presenta graves inconvenientes para llegar a un trabajo mas o ménos homogéneo de las hebras.

La formacion de los cables simples se hace fácilmente, preparando previamente una cancha i poleas de tension que trabajan uniformemente.

En el acueducto de Río Claro se formó la cancha en un terreno accidentado, plantando postes en línea recta a distancias de 10 metros (unos de otros, i atravesando tablas clavadas que quedaban todas en una misma inclinacion i que recibian los alambres). En un extremo un poste grueso sólidamente enterrado recibia en un fierro una argolla en que eran amarradas las hebras, argolla que era votada cuando estaba terminado el cable.



En la otra estremidad un poste enterrado sobresaliendo 1.50 metros i fuertemente amarrado a postes profundamente enterrados, recibia por delante otra argolla mantenida en un garfio i por la parte posterior una polea permitia cargar pesos que sumaban 150 kg i que se colocaban por partes.

Una uña del diablo tomaba el alambre i por medio de un cordel, que atravesaba el poste por un agujero, se unia al peso P pasando por la polea i produciéndose así en el alambre una tension solo de 125 kg porque lo demas era perdido en el rozamiento.

Estirado un alambre en esta forma se amarraba sólidamente a la argolla para soltar el peso i seguir así colocando los demas alambres hasta completar los 18 o 20 que formaban el cable simple. Tenidos éstos en posicion, se embarrilaban las veinte hebras con un alambre fino a distancia de 1.50 centímetros i en seguida se alquitranaba el conjunto con alquitran bien caliente para que penetrara en su interior. Con esta medida estos cables simples quedan colocados en el cable definitivo en medio de capas interiores de alquitran que impiden la oxidacion.

Depositados estos cables al costado de la cancha quedaban prontos para ser colocados en el cable del puente.

Armado éste i suspendido sobre seis cables simples, se pasaba de uno i otro lado por entre las barras de suspension que son dobles i quedan a caballo sobre el cable, otros dos cables simples cuyas argollas de un extremo se amarraban de los anclajes correspondientes y del otro lado se tiraban con una polea hasta dejar los cables simples en cuestion, formando comba igual con los ya colocados. En esta posicion i dándoles a mano estira-

mientos parciales para unificar el estiramiento, se amarraban las argollas a los anclajes con cuarenta hebras en grupos de a cuatro.

Colocados todos los cables simples se embarrilaron en conjunto a distancias de 40 centímetros i con dos vueltas de alambre, i vino, por fin, el último alquitranado a completar el trabajo.

Este procedimiento de formacion de los cables es espedito i económico i dejó constancia de que en el acueducto de Rio Claro ha dado buen resultado.

Santiago, Mayo de 1902.

ENRIQUE VERGARA MONTT.

