



LINEAS DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA

VOLUMEN I ASPECTOS MECÁNICOS Y CONDUCTORES PRE EDICION 2001

Ing° Juan Bautista Ríos.
Profesor Asociado de la Universidad
Nacional de Ingeniería. LIMA - PERU

PROLOGO

El presente libro titulado **LINEAS DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA VOLUMEN I : ASPECTOS MECANICOS Y CONDUCTORES – PRE EDICIÓN 2001**, ha sido elaborado con la finalidad de complementar las clases teóricas de curso de Líneas de Transmisión dictado por el suscrito en la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad Nacional de Ingeniería. El texto recoge la experiencia del autor obtenida en campo en la Ejecución, Inspección,

Supervisión y Administración de Contratos de Ejecución de Líneas de Transmisión realizadas en el Perú.



Pretendo seguir creando inquietud y deseo de superación en el conocimiento detallado de la apasionante especialidad de la Ingeniería de Líneas de Transmisión, por ello estoy todavía escribiendo los volúmenes referidos a otros aspectos tales como Diseño del Aislamiento, Cálculo de Estructuras, etc. que este año publicaremos.

Por supuesto, mucho estimaré si mis colegas o alumnos tienen alguna sugerencia de adición y/o modificación me lo hagan saber en la Facultad o de lo contrario en la dirección electrónica: jubautista@terra.com.pe, o a través de la Página Web del Curso ubicada en: <http://fieee.uni.edu.pe> en donde publico el Contenido del Curso y artículos importantes referidos al Diseño, Construcción, Supervisión y Administración de Proyectos de Líneas de Transmisión.

No deseo perder la oportunidad de agradecer a mi amigo **Ing° Carlos Medina R.** actual Decano de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad Nacional de Ingeniería de Lima - Perú, por su asesoramiento.

JUAN BAUTISTA R.

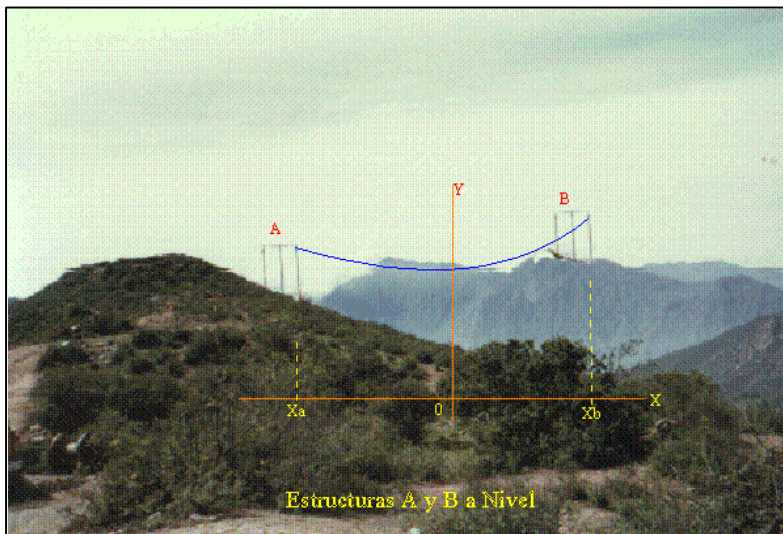
Lima Enero 2001

CAPITULO 1

DISCUSION MATEMATICA DEL CONDUCTOR A NIVEL

1.1 CATENARIA DEL CONDUCTOR

El conductor para Líneas de Transmisión de potencia, es un tipo particular de miembro estructural y que los ingenieros de estructuras estudian con fines de aplicación en puentes, conductors pasantes, etc.



Sin embargo, para la Ingeniería Eléctrica interesa mas el comportamiento libre del conductor sometido a lo sumo por efectos de sobrecargas de viento y/o hielo; siendo la flecha, saeta y tiros, etc., las incógnitas más usuales.

Un conductor libremente suspendido entre dos soportes describe una curva que es fácilmente deducible y denominada catenaria.

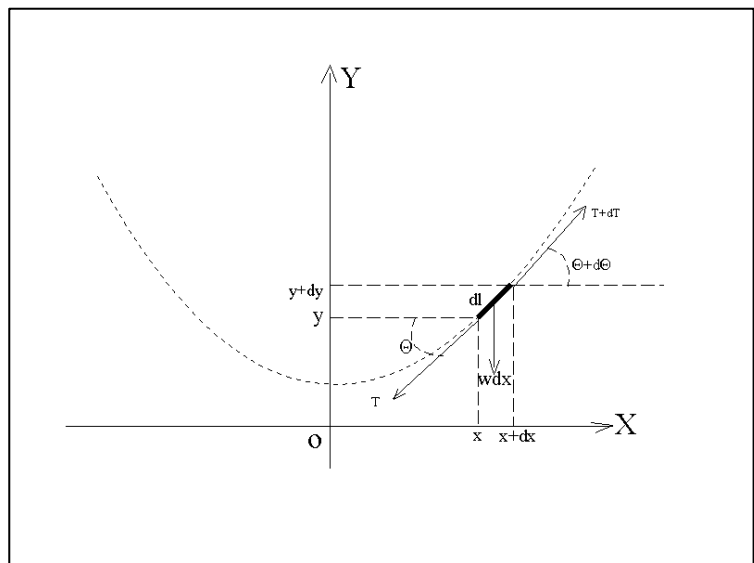
La figura adjunta representa un conductor suspendido de los puntos A y B. Si asumimos que el conductor es perfectamente flexible, homogéneo e inextensible bajo la

acción de las fuerzas de gravedad con carga continua distribuida a lo largo de él. Podemos tomar un diferencial del conductor y efectuar al análisis correspondiente.

Sea el pequeño conductor de longitud dl , de peso unitario w (kg/m), con proyecciones en los ejes dx y dy .

Supongamos que en el punto de abscisa x se tiene un tiro de T kG; entonces al desplazarnos un dx en la abscisa el tiro en $(x+dx)$ deberá ser de $(T+dT)$ kG. De la misma forma si el ángulo con la horizontal es de θ grados sexagesimales, el ángulo de la fuerza $(T+dT)$ con la horizontal, será de $(\theta+d\theta)$ grados.

Por otra parte, siendo w el peso unitario del conductor (en Kg/m) y asumiendo que muy aproximadamente el conductor es de longitud dx metros; entonces el peso del trozo de conductor será de $w dx$ kG.



Por tanto, estando el conductor en equilibrio, la suma de las fuerzas resultantes en los ejes X e Y respectivamente serán nulas; es decir:

$$\Sigma F_x=0 \quad \text{y} \quad \Sigma F_y=0$$

que son representadas por las ecuaciones:

$$(T+dT)\cos(\theta+d\theta)= T.\cos\theta$$

$$(T+dT)\sin(\theta+d\theta)= T.\sin\theta + w_c dx$$

al desarrollar el coseno y seno trigonométricos de la suma $(\theta+d\theta)$, obtenemos:

$$(T+dT)(\cos\theta.\cos d\theta - \sin\theta.\sin d\theta)= T.\cos\theta$$

$$(T+dT)(\sin\theta.\cos d\theta + \cos\theta.\sin d\theta)= T.\sin\theta + w_c dx$$

siendo la variación del ángulo θ ($\theta \rightarrow 0$) muy pequeño, entonces podemos aproximar y escribir:

$$\cos d\theta = 1$$

$$\sin d\theta = d\theta$$

por lo que las igualdades se transforman en:

$$(T+dT)(\cos\theta - \sin\theta d\theta) = T.\cos\theta$$

$$(T+dT)(\sin\theta + \cos\theta d\theta) = T.\sin\theta + w_c dx$$

efectuando el producto indicado en las ecuaciones, obtenemos:

$$T.\cos\theta - T.\sin\theta d\theta + d\theta.\cos\theta - dT.\sin\theta d\theta = T.\cos\theta$$

$$T.\sin\theta + T.\cos\theta d\theta + dT.\sin\theta + dT.\cos\theta d\theta = T.\sin\theta + w_c dx$$

en donde eliminando términos iguales y tomando en cuenta que:

$$-T.\sin\theta d\theta + dT.\cos\theta = d(T.\cos\theta)$$

$$T.\cos\theta d\theta + dT.\sin\theta = d(T.\sin\theta)$$

entonces:

$$d(T.\cos\theta) - dT.\sin\theta d\theta = 0$$

$$d(T.\sin\theta) + dT.\cos\theta d\theta = w_c dx$$

en el límite, para una muy pequeña variación de T; entonces $dT \rightarrow 0$, por tanto:

$$d(T.\cos\theta) = 0 \dots\dots\dots(1)$$

$$d(T.\sin\theta) = w_c dx \dots\dots\dots(2)$$

Siendo T el tiro (KG) en el punto del conductor de abscisa x, formando un ángulo de θ grados con la horizontal; la ecuación (1) nos indica que el valor $T \cos \theta$ es una constante, por cuanto su diferencial es nulo; y entonces podemos afirmar que:

" El tiro horizontal (en KG) en cualquier punto del conductor es constante a lo largo de él".

Sea, entonces T_o ese valor constante, es decir:

$$T \cos \theta = T_o \dots\dots\dots(3)$$

de donde: $T = \frac{T_o}{\cos \theta}$

Si esta ecuación, la reemplazamos en la ecuación (2) obtenemos:



$$d \left(\frac{T_o \operatorname{sen} \theta}{\cos \theta} \right) = w_c dx$$

o también:

$$d (T_o \operatorname{tg} \theta) = w_c dx \dots\dots\dots(4)$$

pero como:

$$\frac{dy}{dx} = \operatorname{tg} \theta \dots\dots\dots(5)$$

entonces:

$$d \left(T_o \frac{dy}{dx} \right) = w_c dx \dots\dots\dots(6)$$

Siendo T_o constante y pasando dx al primer miembro de la ecuación (6) obtenemos:

$$\frac{d}{dx} \left(\frac{dy}{dx} \right) = \frac{w_c}{T_o}$$

que es lo mismo que:

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{w_c}{T_o} \dots\dots\dots(7)$$

Siendo w_c y T_o constantes, entonces supongamos que:

$$C = \frac{T_o}{w_c} \dots\dots\dots(8)$$

por lo que la ecuación (7) se transforma en:

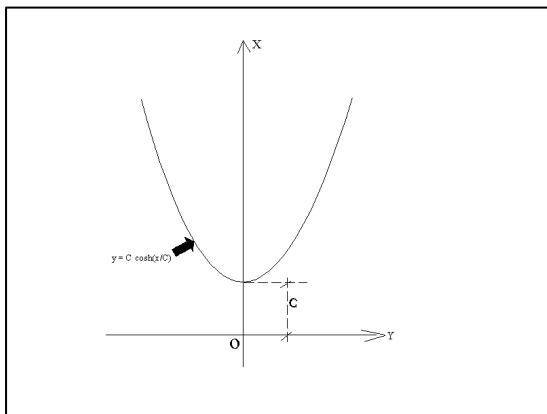
$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{1}{C} \dots\dots\dots(9)$$

y al resolver esta ecuación diferencial de segundo orden, fácilmente obtenemos:

$$\cosh\left(\frac{x}{C}\right) = \frac{y}{C} \dots\dots\dots(10)$$

por tanto:

$$y = C \cosh\left(\frac{x}{C}\right) \dots\dots\dots(11)$$



que es la ecuación de la catenaria que describe al conductor suspendido.

Siendo C el parámetro de la catenaria cuyas dimensiones son en metros.

Por otra parte, si $x=0$, entonces $y=C$, lo que significa que el punto más bajo ó vértice de la catenaria se encuentra a C unidades lineales (metros) del origen de ejes coordenadas cartesianas.

La figura adjunta muestra la Catenaria, cuyo vértice se encuentra a C metros por encima del Origen de Coordenadas.

También si recordamos que desarrollando por Serie de Taylor:

$$\cosh p = 1 + \frac{p^2}{2!} + \frac{p^4}{4!} + \frac{p^6}{6!} + \dots\dots\dots$$

por lo que la catenaria o ecuación (11), se puede escribir:

$$y = C \left(1 + \frac{\left(\frac{x}{C}\right)^2}{2!} + \frac{\left(\frac{x}{C}\right)^4}{4!} + \dots\dots \right)$$

si sólo tomamos dos términos:

$$y = C \left(1 + \frac{\left(\frac{x}{C}\right)^2}{2!} \right)$$

o también:

$$y = C + \frac{x^2}{2C} \dots\dots\dots(12)$$

Esta ecuación corresponde a la parábola, generalmente utilizada en estudios de Distribución Urbana o Líneas de Electrificación Rural, a tensiones medias (por ejemplo en 22,9 Kv). Si consideramos el valor del parámetro obtenemos.

$$y = \frac{T_o}{w_c} + \frac{x^2 w_c}{2T_o}$$



1.2 ECUACION DE LONGITUD



En Líneas de Transmisión de Potencia, es necesario conocer la longitud del conductor suspendido entre dos puntos, por cuanto la longitud total se empleará para estimar el costo inicial del proyecto.

Anteriormente hemos deducido que, para la pequeña longitud de conductor (dl):

$$dl = \sqrt{(dx)^2 + (dy)^2} \dots\dots\dots(13)$$

pero también de la ecuación de la catenaria (11), deducimos el dy :

$$dy = \sinh\left(\frac{x}{C}\right)dx \dots\dots\dots(14)$$

que reemplazando en la ecuación (13):

$$dl = \sqrt{(dx)^2 + \left[\sinh\left(\frac{x}{C}\right)dx\right]^2}$$

o también:

$$dl = \left[\sqrt{1 + \left[\sinh\left(\frac{x}{C}\right)\right]^2} \right] dx \dots\dots\dots(15)$$

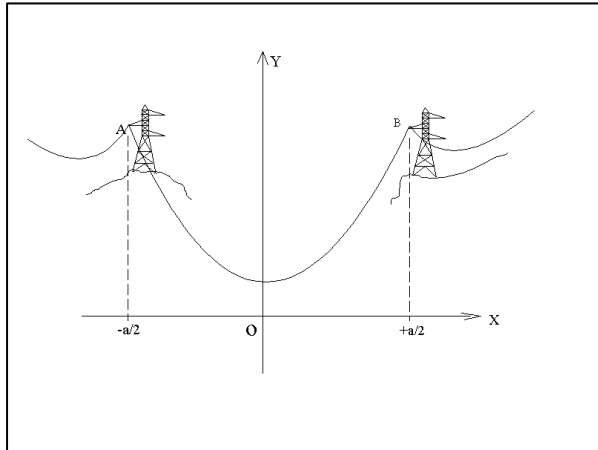
pero como:

$$\cosh^2\left(\frac{x}{C}\right) - \sinh^2\left(\frac{x}{C}\right) = 1 \dots\dots\dots(16)$$

entonces la ecuación (15) se transforma en:

$$dl = \cosh\left(\frac{x}{C}\right)dx \dots\dots(17)$$

En la figura inferior, se muestran las abscisas de los extremos del conductor que son $-a/2$ y $+a/2$, siendo "a" el vano o distancia horizontal entre los dos puntos de suspensión.



Por lo que será necesario integrar en el intervalo $[-a/2, +a/2]$, que representan el centro de las bases de las estructuras de los extremos:

$$dl = \int_{-a/2}^{+a/2} \cosh\left(\frac{x}{C}\right) dx \dots\dots\dots(18)$$

que es igual a:

$$dl = 2 \int_0^{+a/2} \cosh\left(\frac{x}{C}\right) dx$$

por tanto:

$$L' = 2C \sinh\left(\frac{a}{2C}\right) \dots\dots\dots(19)$$

que representa la longitud total del conductor

instalado con sus extremos al mismo nivel.

Podemos encontrar una ecuación de longitud aproximada, obtenido en base a la expansión de Taylor:

$$\sinh p = p + \frac{p^3}{3!} + \frac{p^5}{5!} + \frac{p^7}{7!} + \dots\dots\dots$$

por lo tanto la ecuación (19) se transforma en:

$$L' = a + \frac{a^3}{24C^2} \dots\dots\dots(20)$$

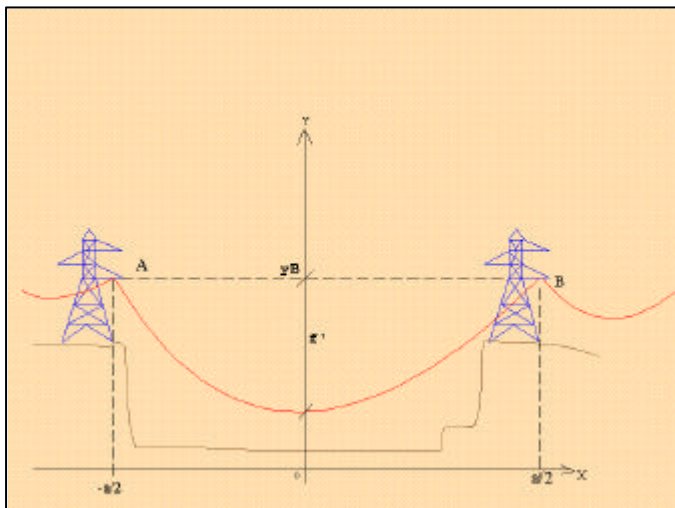
si consideramos la ecuación (8), entonces:

$$L' = a + \frac{a^3 w_c^2}{24T_o^2} \dots\dots\dots(21)$$

Las ecuaciones (20) y (21) son sólo aproximadas y muy utilizadas en Líneas de Distribución Urbana o Electrificación Rural. Por otra parte observe que la Longitud L' del conductor es de la forma $L' = a + \Delta a$, por lo que necesariamente las ecuaciones muestran que $L' > a$



1.3 ECUACION DE FLECHA



Vértice del conductor.
Por tanto:

$$f' = y_B - C$$

ó también:

$$f' = C \cosh\left(\frac{x_a}{C}\right) - C \dots\dots\dots(22)$$

pero:

$$x_a = +a/2 \dots\dots\dots (23)$$

que al reemplazar en la ecuación (22), obtenemos:



$$f' = C \cosh\left(\frac{a}{2C}\right) - C$$

entonces:

$$f' = C \left(\cosh\left(\frac{a}{2C}\right) - 1 \right) \dots\dots\dots(24)$$

que representa la ecuación o fórmula que determina la flecha de un conductor suspendido con vano "a" metros y parámetro de catenaria igual a "C" metros.

Podemos encontrar una fórmula aproximada que calcule la flecha, si tenemos en cuenta la expansión de Taylor

para el coseno hiperbólico, antes utilizada y que luego de simplificar obtenemos:



$$f' = \frac{a^2}{8C} \dots\dots\dots(25)$$

y con la ecuación (8), también:

$$f' = \frac{a^2 w_c}{8T_o} \dots\dots\dots(26)$$

Si consideramos que el peso unitario w_c es constante, entonces deducimos que si el tiro T_o (en KG) aumenta, entonces la flecha disminuye; esto también se dice que a mayor tensión entonces menor flecha, de la misma forma que a mayor parámetro.

1.4 TIRO Y ESFUERZO EN EL CONDUCTOR



Cualquier punto del conductor está sometido a un tiro (en KG), cuyo valor se puede determinar.

De la ecuación (11), la catenaria del conductor:

$$y = C \cosh\left(\frac{x}{C}\right)$$

pero como la ecuación (8) es: $C = \frac{T_o}{w_c}$

entonces también:

$$y = \frac{T_o}{w_c} \cosh\left(\frac{x}{C}\right) \dots\dots\dots(27)$$

que es lo mismo que:

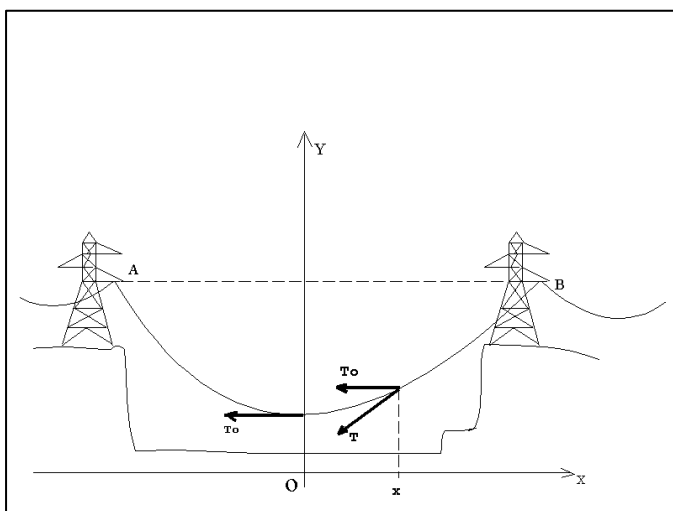
$$yw_c = T_o \cosh\left(\frac{x}{C}\right) \dots\dots\dots(28)$$

La expresión $y.w_c$ es el producto de la ordenada del punto de abscisa x del conductor por el peso unitario cuyo valor resulta en kG y representa el tiro en el punto de abscisa x ; es decir:

$$T_x = yw_c \dots\dots\dots(29)$$

entonces finalmente:

$$T_x = T_o \cosh\left(\frac{x}{C}\right) \dots\dots\dots(30)$$



Cuando $x = 0$; entonces $T_x = T_o$, pero como T_o es la componente horizontal del tiro en cualquier punto del conductor, entonces el tiro en el vértice es T_o kG.

En la figura adjunta se muestra que en Tiro en kg en el Vértice es T_o y el Tiro T_x en cualquier punto del conductor de abscisa x tiene como componente horizontal constante igual a T_o .

En consecuencia el Tiro Vertical T_v deberá ser igual a:

$$T_v = \sqrt{T_x^2 - T_o^2}$$



Otro concepto que es necesario definir es el esfuerzo, el cual frecuentemente es utilizado en reemplazo del Tiro, en razón que sus valores son más pequeños. El esfuerzo del conductor, lo definimos como el cociente de dividir el tiro por la sección.

$$s = \frac{T}{A} \dots\dots(31)$$

Siendo A la sección transversal del conductor en mm² y T el tiro en kG en cualquier punto del conductor.

Interpretando la ecuación (29): $T_x = yw_c$

Se puede afirmar que: "El tiro en un punto cualquiera del conductor extendido, es igual al peso del conductor de longitud igual a su ordenada".

Por otra parte; determinemos el tiro vertical T_{vx} en un punto cualquiera del conductor:

Sabemos que $T_v = \sqrt{T_x^2 - T_o^2}$
Y como el Tiro en un punto x es:

$T_x = T_o \cosh\left(\frac{x}{C}\right)$, entonces reemplazemos esta ecuación en el T_v

Por lo que obtendremos:

$$T_v = \sqrt{\left[T_o \cosh\left(\frac{x}{C}\right)\right]^2 - T_o^2} = \left(\sqrt{\left[\cosh\left(\frac{x}{C}\right)\right]^2 - 1}\right) T_o = T_o \sinh\left(\frac{x}{C}\right)$$

Como el desnivel es nulo: para $x = +a/2$, entonces $T_v = T_b$

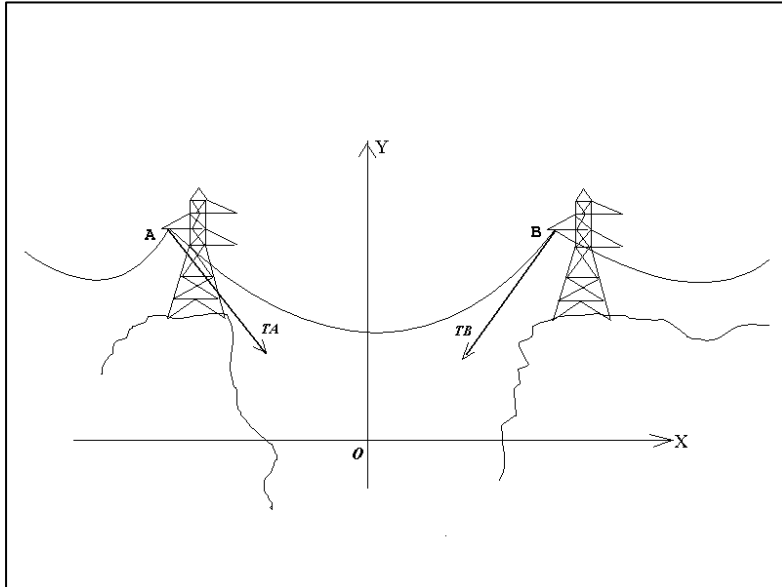
Por lo que: $T_v = T_o \sinh\left(\frac{a}{2C}\right) = Cw_c \sinh\left(\frac{a}{2C}\right) = \frac{w_c}{2} \left[2C \sinh\left(\frac{a}{2C}\right)\right] = \frac{w_c}{2} L'$

Es decir:

$$T_v = \frac{w_c}{2} L' = \frac{w_c L'}{2} = w_c \left(\frac{L'}{2}\right)$$

"En el vano AB, el Tiro Vertical en la estructura B es el Peso del conductor suspendido de ese punto B y de una longitud igual a la mitad del conductor suspendido en el vano AB"

1.5 TIRO Y ESFUERZO EN EL EXTREMO



Conocer el valor del tiro en el extremo del conductor, es necesario por que permite conocer el máximo valor de Kilogramos a que se verá sometido el soporte y como se sabe, la componente horizontal de este Tiro es T_o , valores indispensables para realizar el diseño de estructuras.

Para conductores a nivel, el tiro en los extremos del conductor son iguales, por que se encuentran ubicados en la misma ordenada. Por lo que es deseable que las estructuras estén instaladas a la misma "cota" para aprovechar este efecto. El tiro en un punto cualquiera está dado por la ecuación (30), y para:

$$x = x_b = +a/2$$

entonces:

$$T_b = T_o \cosh\left(\frac{a}{2C}\right) \dots\dots\dots(32)$$

que es el tiro en el extremo derecho del conductor con unidades en kG, y evidentemente:

$$T_a = T_b \dots\dots\dots(33)$$

Por otra parte, si la ecuación (32), la dividimos por la sección A en mm² del conductor:

$$\frac{T_b}{A} = \frac{T_o}{A} \cosh\left(\frac{a}{2C}\right) \dots\dots\dots(34)$$

que podemos escribir como:

$$s_b = s_a \cosh\left(\frac{a}{2C}\right) \dots\dots\dots(35)$$

Siendo entonces, σ_b (kg/mm²) el esfuerzo en el conductor en el extremo y σ_o (kg/mm²) el esfuerzo en el vértice.

Por otra parte también es evidentemente para el conductor a nivel:

$$\sigma_b = \sigma_o \dots\dots\dots(36)$$

1.6 PARAMETRO EN FUNCION DEL TIRO MAXIMO



Físicamente, el máximo tiro que es probable aplicar al conductor (y que a su vez es transmitido a la estructura), deberá ser menor que el Tiro de Rotura obtenido por pruebas y dado por el fabricante.

Dicho valor máximo se obtiene dividiendo el Tiro de Rotura por un coeficiente de seguridad generalmente asignado por el diseñador o dispuesto por Normas, es decir:

$$T_{max} = \frac{TR}{CS} \dots\dots\dots(37)$$

donde, TR es el tiro de rotura de conductor en kg y CS es el coeficiente de seguridad y T_{max} es el tiro máximo aplicado al conductor.

El tiro máximo a aplicar al conductor deberá ubicarse en el punto mas desfavorable, es decir en el extremo del conductor.

Deduciremos una ecuación que permita calcular el parámetro de la catenaria (y con él el tiro T_o en el vértice) teniendo

como dato el tiro en el extremo:

$$T_b = T_{max} \dots\dots\dots (38)$$

Sabemos de la ecuación (32) que el tiro T_b está dado por:

$$T_b = T_o \cosh\left(\frac{a}{2C}\right)$$

Si dividimos por w_c , entonces:

$$\frac{T_b}{w_c} = \frac{T_o}{w_c} \cosh\left(\frac{a}{2C}\right) \dots\dots\dots(39)$$

y con la ecuación (8), se transforma en:

$$\frac{T_b}{w_c} = C \cosh\left(\frac{a}{2C}\right) \dots\dots\dots(40)$$

En la ecuación (40), la incógnita será el parámetro C, teniendo conocidos los valores de $T_b = T_{max}$, w_c , y el vano a.

Por tanto es posible calcular el valor de C por tanteos o utilizando algún método iterativo de solución (por ejemplo el de Newton-Raphson), sin embargo aplicaremos el método siguiente:

Si utilizamos la expansión de Taylor, la ecuación (40) se transforma en:



$$\frac{T_b}{w_c} = C + \frac{a^2}{8C}$$

que es una ecuación de segundo grado en C, y a al resolver y tomar la raíz cuadrada positiva, se obtiene finalmente:

$$C = \frac{1}{2} \left(\frac{T_b}{w_c} + \sqrt{\left(\frac{T_b}{w_c} \right)^2 - \frac{a^2}{2}} \right) \dots\dots\dots(42)$$

Fórmula que determina el parámetro de la catenaria.

Con el valor de C, podemos obtener de la ecuación (8), el valor del tiro en el vértice:

$$T_o = Cw_c \dots\dots\dots(43)$$

La ecuación (42) sólo tendrá sentido si:

$$\left(\frac{T_b}{w_c} \right)^2 - \frac{a^2}{2} \geq 0$$

$$\frac{T_b}{w_c} \geq \frac{a}{\sqrt{2}}$$

Es decir que:

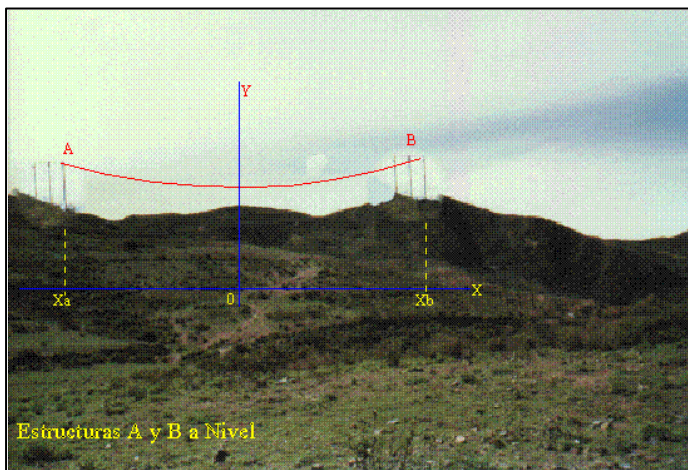
$$T_b \geq w_c \frac{a}{\sqrt{2}} \dots\dots\dots(44)$$

1.7 APLICACIONES PRACTICAS

Los siguientes problemas ayudan a dar mayor profundidad al sistema de cálculo que se efectúa normalmente en conductores para Líneas de Transmisión, pero es necesario puntualizar que estos problemas aún no consideran el efecto de sobrecargas en el conductor tales como el viento y hielo.

Problema N° 1. -

El parámetro de la catenaria de un conductor es 2000 m, tendido en un vano 600m. Determinar la longitud y flecha del mismo.



Solución:

De la ecuación (19):

$$L' = 2C \sinh\left(\frac{a}{2C}\right)$$

siendo: $a = 600\text{m}$, $C = 2000\text{m}$

entonces:

$$L' = 602.2525\text{m}$$

Utilizando la ecuación (24):

$$f' = C \left(\cosh\left(\frac{a}{2C}\right) - 1 \right)$$

siendo: $a = 600\text{m}$, $C = 2000\text{m}$

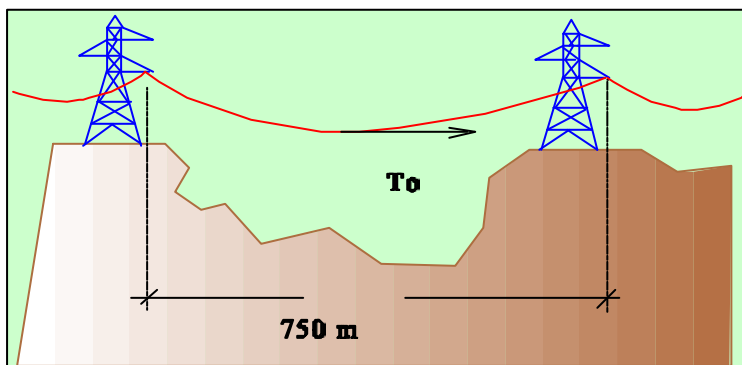
Se obtiene entonces: $f' = 22.542\text{m}$

Si utilizamos la fórmula (25) aproximada:

$$f' = \frac{a^2}{8C}$$

$$f' = 22.5$$

Obsérvese que la flecha aproximada es muy cercana al valor calculado con la fórmula hiperbólica (24).



Problema N° 2. -

En el gráfico adjunto, el peso unitario del conductor suspendido es 2.2Kg/m, siendo el tiro en el vértice 1800Kg. Determinar la flecha del conductor.

Solución:

De la ecuación (8), obtenemos el parámetro:

$$C = \frac{T_o}{w_c}$$

y con los valores datos:

$$\begin{aligned}T_o &= 1800\text{Kg} \\w_c &= 2.2\text{Kg/m}\end{aligned}$$

entonces:

$$C = 818.18182\text{m}$$

de la ecuación (24),

$$f' = C \left(\cosh\left(\frac{a}{2C}\right) - 1 \right)$$

obtenemos la flecha, y como $a = 750$ m

$$f' = 87.452\text{m}$$

Si calculamos con la fórmula (25) aproximada:

$$f' = \frac{a^2}{8C}$$

$$f' = 85.9375\text{m}$$

Observar la diferencia de exactitud en el cálculo.

Problema N° 3 .-

La flecha de un conductor tendido en un vano de 1200m, es 50.2 m, si el peso unitario del mismo es 2.82 kg/m. Determinar el tiro máximo del conductor.

Solución:

De la ecuación (24) tenemos que:

$$f' = C \left(\cosh\left(\frac{a}{2C}\right) - 1 \right)$$

reemplazando datos:

$$50,2 = C \left(\cosh\left(\frac{1200}{2C}\right) - 1 \right)$$

de donde podemos, por tanteos, obtener el valor del parámetro.

Si utilizamos, con fines prácticos, la ecuación aproximada (25), obtenemos:

$$f' = \frac{a^2}{8C}$$

$$50,2 = \frac{1200^2}{8C}$$

por tanto:

$$C = 3585.6574\text{m}$$

y en consecuencia el tiro en el vértice será:

$$T_o = Cw_c$$

$$T_o = 3585.6574 \times 2.82$$

$$T_o = 10111.554 \text{ Kg}$$

entonces el tiro máximo en el conductor a esta condición será:

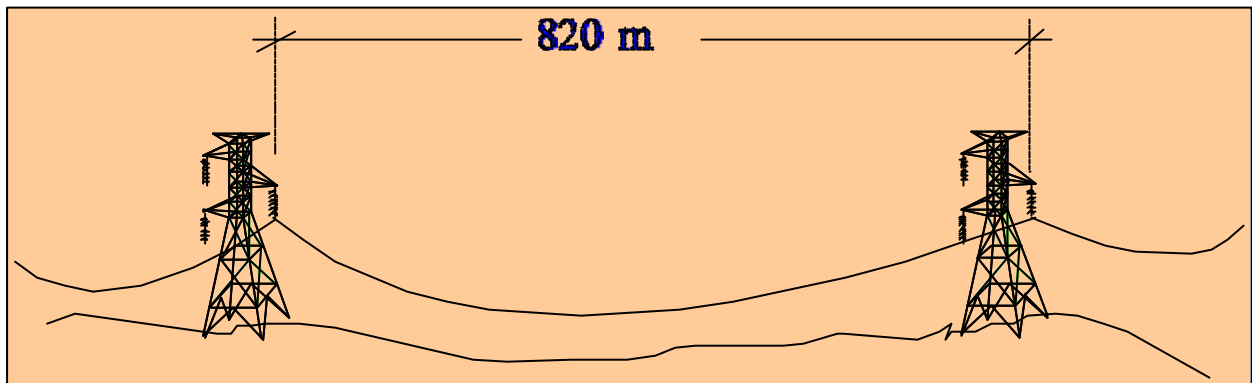
$$T_b = T_o \cosh\left(\frac{a}{2C}\right)$$

$$T_b = 10111,554 \cosh\left(\frac{1200}{2 \times 3785,6574}\right)$$

$$T_b = 10253.449 \text{ Kg}$$

Problema N° 4.-

En el gráfico adjunto, determinar la ecuación del conductor siendo su peso unitario 2.8kg/m y el tiro en el extremo B de 3200kg.



Solución:

La ecuación (42) nos permite calcular el parámetro:

$$C = \frac{1}{2} \left(\frac{T_b}{w_c} + \sqrt{\left(\frac{T_b}{w_c} \right)^2 - \frac{a^2}{2}} \right)$$

$$C = \frac{1}{2} \left(\frac{3200}{2,8} + \sqrt{\left(\frac{3200}{2,8} \right)^2 - \frac{820^2}{2}} \right)$$

$$C = 1063.85 \text{ m}$$

por tanto la ecuación del conductor será:

$$y = C \cosh\left(\frac{x}{C}\right)$$

$$y = 1063,85 \cosh\left(\frac{x}{1063,85}\right)$$

Si utilizamos la ecuación parabólica aproximada, entonces:

$$y = C + \frac{x^2}{2C}$$

$$y = 1063,85 + \frac{x^2}{2 \times 1063,85}$$

$$y = 1063,85 + \frac{x^2}{2127,7}$$

Problema N°.5 .-

El tiro en el extremo superior de un conductor suspendido, es de 3100 Kg , siendo el peso unitario 2.82 Kg/m, determinar la longitud del conductor, para un vano de 1200m.

Solución:

El parámetro de la catenaria será:

$$C = \frac{1}{2} \left(\frac{T_b}{w_c} + \sqrt{\left(\frac{T_b}{w_c} \right)^2 - \frac{a^2}{2}} \right)$$

$$C = \frac{1}{2} \left(\frac{3100}{2,82} + \sqrt{\left(\frac{3100}{2,82} \right)^2 - \frac{1200^2}{2}} \right)$$

$$C = 899.088\text{m}$$

la longitud será:

$$L' = 2C \sinh\left(\frac{a}{2C}\right)$$

$$L' = 2 \times 899,088 \sinh\left(\frac{1200}{2 \times 899,088}\right)$$

$$L' = 1291.074\text{m}$$

Problema No.6 .-

La ecuación de un conductor suspendido es: $y = 1100 \cosh\left(\frac{x}{1100}\right)$
si su flecha es de 15.6 m. Calcular la longitud del conductor.

Solución:

Si utilizamos la ecuación (25) aproximada:

$$f' = \frac{a^2}{8C}$$

despejamos el valor del vano:

$$a = \sqrt{8f'C} \quad a = \sqrt{8 \times 15,6 \times 1100} \quad a = 370,513 \text{ m}$$

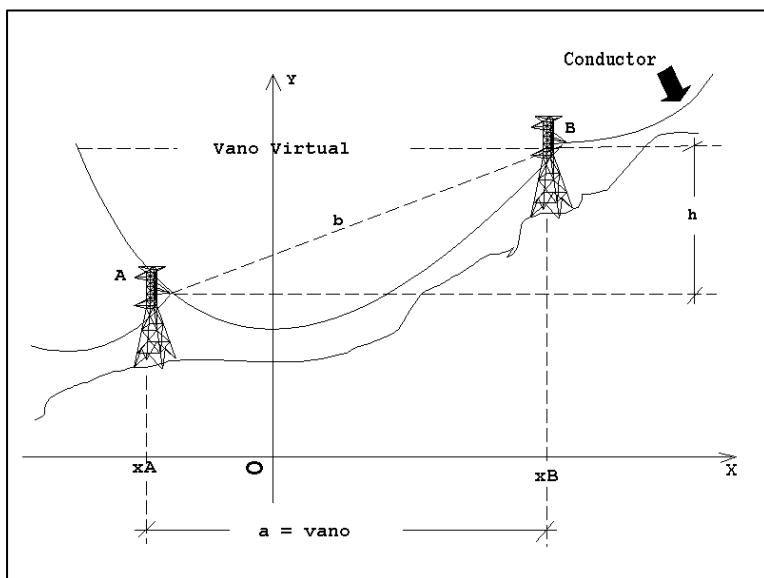
$$\text{y la longitud del conductor será: } L' = 2C \sinh\left(\frac{a}{2C}\right) \quad L' = 2 \times 1100 \sinh\left(\frac{370,513}{2 \times 1100}\right)$$

$$L' = 372.267 \text{ m}$$

CAPITULO 2

DISCUSION MATEMATICA DEL CABLE DESNIVELADO

2.1 ECUACION DE LA CATENARIA



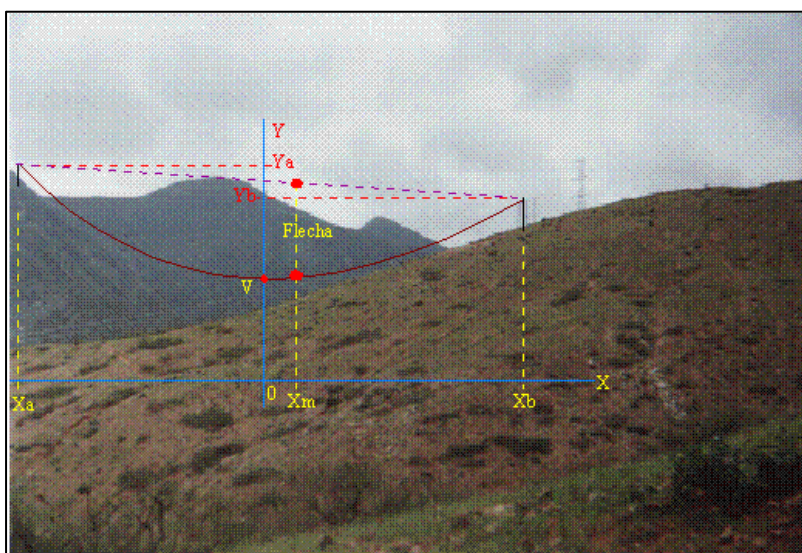
En el perfil topográfico de una línea de transmisión de potencia, los vanos no necesariamente son a nivel, incluso por las características geográficas (por ejemplo en zonas rurales del Perú), pueden diseñarse líneas que obligan a calcular por separado vanos contiguos con marcados desniveles.

El presente capítulo analizaremos el comportamiento de un cable en condiciones de desnivel y deducir los parámetros adicionales que deberán tomarse en cuenta para un análisis exacto.

La ecuación de la catenaria evidentemente es la misma, pero en este caso los puntos de suspensión

(extremos del cable A y B) se encuentran desplazados verticalmente dentro de la misma curva.

Por tanto la ecuación del cable será siempre: $y = C \cosh\left(\frac{x}{C}\right)$



Siendo el parámetro: $C = \frac{T_o}{w_c}$

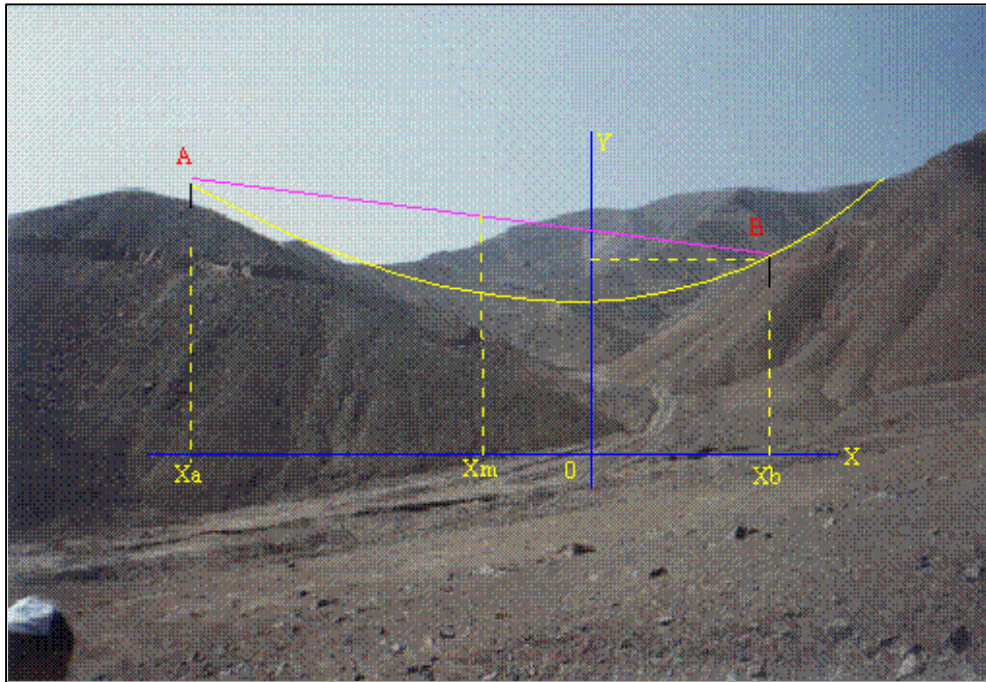
A fin de establecer uniformidad en cuanto a la simbología a utilizar, la figura adjunta nos indica los parámetros necesarios y sus ubicaciones, los cuales emplearemos.

En la figura, x_a representa la abscisa en donde se encuentra el punto de suspensión izquierdo del cable; en forma análoga x_b representa la abscisa del extremo derecho, respecto al sistema de ejes coordenados cartesianos.

Así mismo, h es el desnivel (en metros) y b el vano real

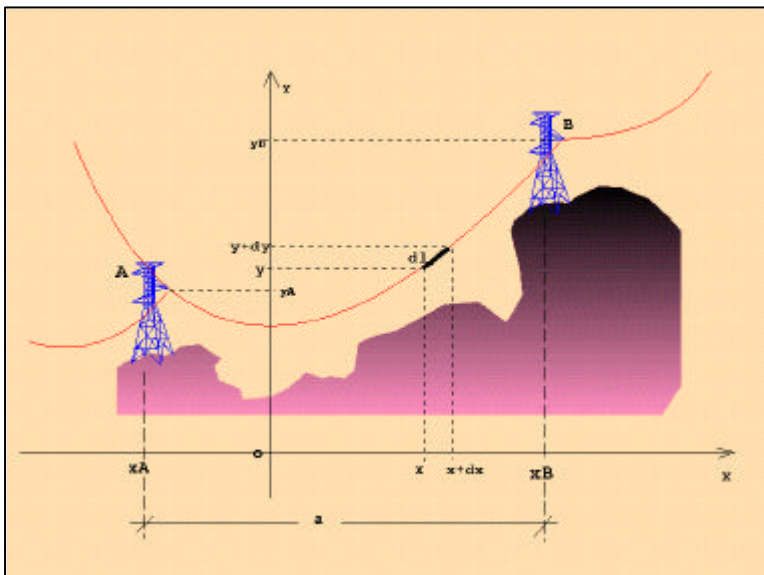
inclinado, que es igual a la distancia del segmento AB.

Llamaremos vano virtual al segmento A'B que es el vano si el soporte en A estaría en la posición A' a nivel con el soporte en B.



Como siempre la ubicación del vértice es C unidades (metros) sobre el eje de las ordenadas y desde el origen.

2.2 ECUACION DE LONGITUD



Determinar la longitud del cable desniveado es una de las tareas ms importantes durante el proceso de diseo.

Para calcular su valor utilizaremos la notación grfica de la figura adjunta, que muestra un Pequeño trozo de cable (dl) desniveado con proyecciones dx y dy sobre los ejes coordenados.

Tomando un diferencial de longitud (dl) del cable, la longitud del mismo ser : $dl = \sqrt{(dx)^2 + (dy)^2}$

pero como: $y = C \cosh\left(\frac{x}{C}\right)$

entonces: $dy = \sinh\left(\frac{x}{C}\right)dx$

por tanto obtenemos la ecuación (17) del Capítulo 1:

$$dl = \cosh\left(\frac{x}{C}\right)dx$$

La cual ser necesario integrar entre las abscisas del cable a desnivel xa y xb, es decir:

$$dl = \int_{x_a}^{x_b} \cosh\left(\frac{x}{C}\right)dx$$

de donde finalmente:

$$L = C \left[\sinh\left(\frac{x_b}{C}\right) - \sinh\left(\frac{x_a}{C}\right) \right] \dots\dots\dots(1)$$

Al observar la ecuación (1), se verifica que para encontrar la longitud del cable es necesario conocer las abscisas de los extremos y el par metro C (o tiro en el vértice).



2.3 ECUACION DE DESNIVEL

En la figura adjunta, se muestra el desnivel h en un cable suspendido de los extremos A y B y en las condiciones dadas de instalación, dicho desnivel h resulta ser la diferencia de ordenadas:

$$h = y_b - y_a \dots\dots\dots(2)$$

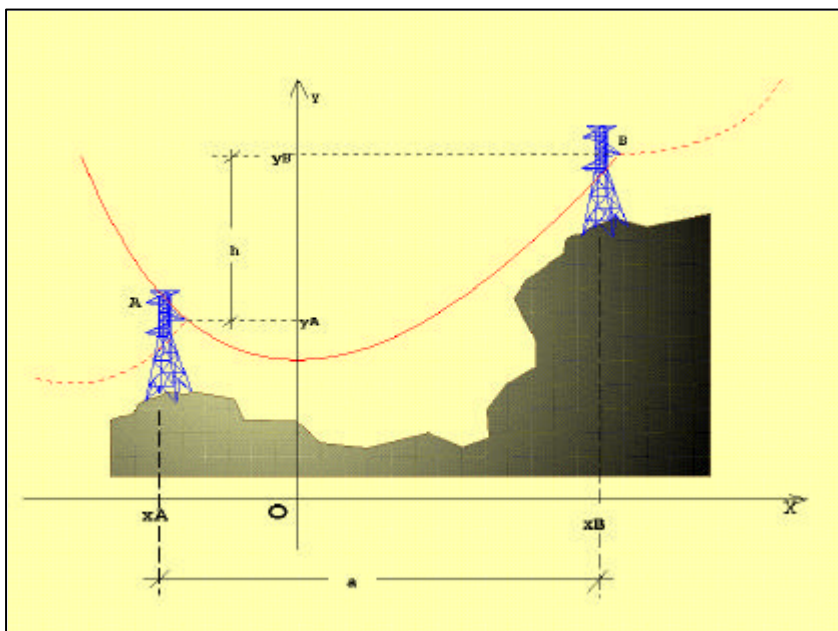
que en función de las abscisas:

$$h = C \cosh\left(\frac{x_b}{C}\right) - C \cosh\left(\frac{x_a}{C}\right) \dots\dots\dots(3)$$

por tanto finalmente:

$$h = C \left[\cosh\left(\frac{x_b}{C}\right) - \cosh\left(\frac{x_a}{C}\right) \right] \dots\dots\dots(4)$$

En esta fórmula de cálculo de longitud, la diferencia:



$$\cosh\left(\frac{x_b}{C}\right) - \cosh\left(\frac{x_a}{C}\right)$$

puede ser positiva o negativa, es decir si sabemos que:

$$\cosh(x) = \cosh(-x) = \cosh|x| \dots\dots (5)$$

por tanto tenemos que deducir que:

Si $|x_b| > |x_a|$ entonces $h > 0$ (6)

Si $|x_b| < |x_a|$ entonces $h < 0$ (7)

Si $|x_b| = |x_a|$ entonces $h = 0$ (8)

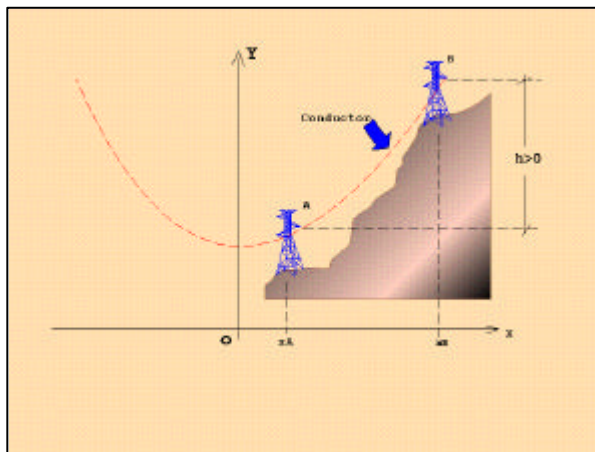
Gráficamente podemos interpretar por ejemplo que en la Fig 2.4 el extremo B se

encuentra en elevación respecto al extremo A, y en este caso $x_b > x_a$ y por tanto consideramos que el desnivel es positivo.

En la figura de la derecha, Cuando $|x_b| > |x_a|$, entonces el desnivel h es positivo.

En la última figura, el extremo se encuentra en depresión respecto al extremo en A, y en este caso $|x_b| < |x_a|$ y por tanto al efectuar el cálculo del desnivel h , este será negativo.

Naturalmente si $|x_b| = |x_a|$, se trata del caso de cable a nivel y por tanto el desnivel es nulo.



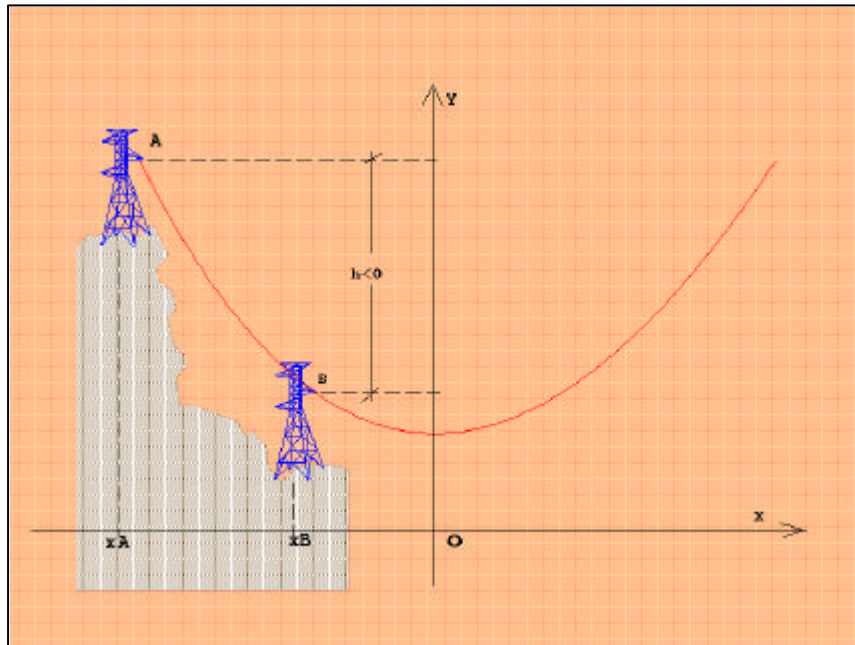
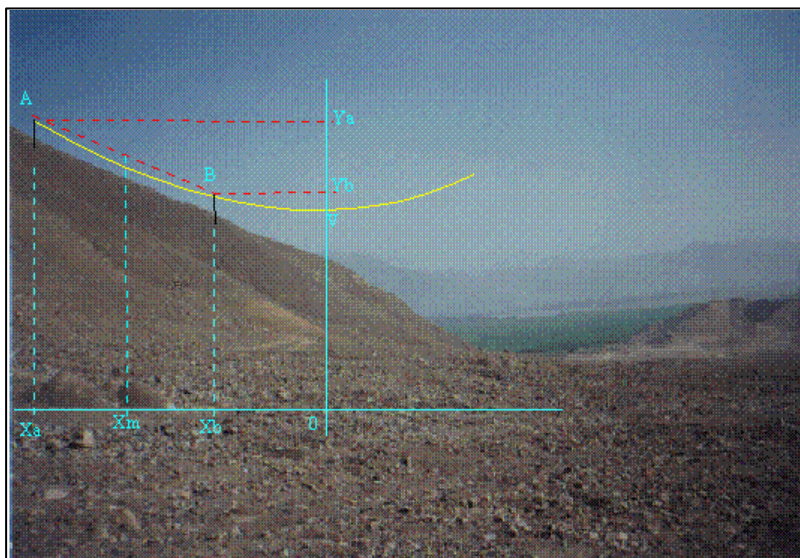


Figura que muestra que cuando $|x_B| < |x_A|$, entonces el desnivel es negativo.

2.4 LONGITUD EN FUNCION DEL DESNIVEL



Si se conocen físicamente el vano y el desnivel (además del tiro-vértice T_0 ó el par metro de la catenaria C), es posible determinar la longitud del cable.

Para ello emplearemos las transformaciones siguientes:

Sumemos las ecuaciones (1) y (4) de longitud y desnivel obteniendo:

$$L + h = C \left(\sinh\left(\frac{X_b}{C}\right) + \cosh\left(\frac{X_b}{C}\right) - \sinh\left(\frac{X_a}{C}\right) - \cosh\left(\frac{X_a}{C}\right) \right)$$

Restemos las ecuaciones (1) y (4) de longitud y desnivel obteniendo:

$$L - h = C \left(\sinh\left(\frac{X_b}{C}\right) - \cosh\left(\frac{X_b}{C}\right) - \sinh\left(\frac{X_a}{C}\right) + \cosh\left(\frac{X_a}{C}\right) \right)$$

estas dos últimas relaciones pueden ser transformadas si tenemos en cuenta las relaciones hiperbólicas:

$$\cosh p + \sinh p = e^p$$

$$\cosh p - \sinh p = e^{-p}$$

por tanto obtenemos:

$$L + h = C \left(e^{\frac{X_b}{C}} - e^{\frac{X_a}{C}} \right) \dots\dots\dots(9)$$

$$L - h = C \left(-e^{\frac{X_b}{C}} + e^{\frac{X_a}{C}} \right) \dots\dots\dots(10)$$

multiplicando las ecuaciones(9) y (10) tendremos: $L^2 - h^2 = C^2 \left(-e^0 + e^{\frac{-(X_b-X_a)}{C}} + e^{\frac{X_b-X_a}{C}} - e^0 \right)$
que al simplificar:

$$L^2 - h^2 = C^2 \left(e^{\frac{-(X_b-X_a)}{C}} + e^{\frac{X_b-X_a}{C}} - 2 \right) \dots\dots\dots(11)$$

pero como $x_b - x_a = a$ (vano), entonces la ecuación (11) se convierte en:

$$L^2 - h^2 = C^2 \left(e^{\frac{a}{C}} + e^{-\frac{a}{C}} - 2 \right)$$

y la expresión entre corchetes es un trinomio cuadrado:

$$L^2 - h^2 = C^2 \left(e^{\frac{a}{2C}} - e^{-\frac{a}{2C}} \right)^2 \dots\dots\dots(12)$$

obteniendo la raíz cuadrada positiva de esta última ecuación (12), tenemos:

$$\sqrt{L^2 - h^2} = C \left(e^{\frac{a}{2C}} - e^{-\frac{a}{2C}} \right) \dots\dots\dots(13)$$

que multiplicando y dividiendo por 2 la ecuación (13) ser igual a:

$$\sqrt{L^2 - h^2} = 2C \frac{\left(e^{\frac{a}{2C}} - e^{-\frac{a}{2C}} \right)}{2} \dots\dots\dots(14)$$

entonces esta se transforma en:

$$\sqrt{L^2 - h^2} = 2C \sinh\left(\frac{a}{2C}\right)$$

donde si despejamos la longitud L obtendremos:

$$L = \sqrt{\left(2C \sinh\left(\frac{a}{2C}\right)\right)^2 + h^2} \dots\dots\dots(15)$$

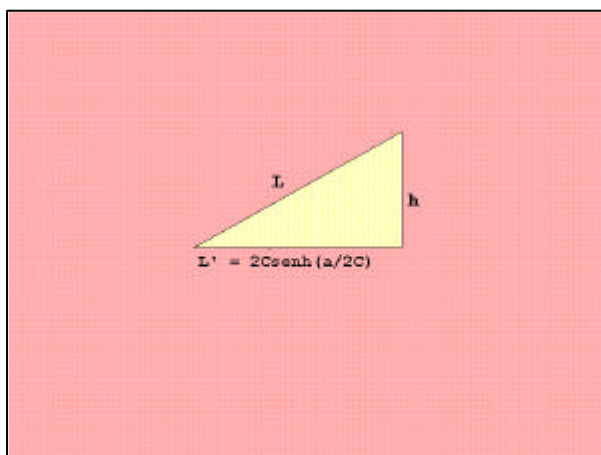
que es la fórmula que representa la longitud del cable desnivelado con desnivel h.

Si $h=0$, entonces la ecuación (15) se transforma en:

$$L = L' = 2C \sinh\left(\frac{a}{2C}\right)$$

que es la ecuación (19) del Capítulo 1 para cables a nivel; por tanto podemos escribir:

$$L = \sqrt{L'^2 + h^2} \dots\dots\dots(16)$$



que es una relación pitagórica, representada por el triángulo de la figura mostrada.

Los catetos son respectivamente, la longitud del cable si estuviera a nivel (con el mismo vano) y el desnivel.

Del triángulo, podemos deducir que:

$$L = L' \sec d \dots\dots\dots(17)$$

siendo:

$$d = \text{atang}\left(\frac{h}{L'}\right) \dots\dots\dots(18)$$

Como se observa, la fórmula (17) se interpreta como:

"La longitud del cable desnivelado es igual a la longitud del cable nivelado multiplicado por un factor de corrección igual a $\sec d$ "

El ángulo d es el ángulo trigonométrico de desnivel cuyo valor es dado por la fórmula (18).

No pocos proyectistas hacen la aproximación siguiente:

$$L' = 2C \sinh\left(\frac{a}{2C}\right) = a \dots\dots\dots(19)$$

que significa decir que la longitud del cable a nivel es igual a su vano, entonces la ecuación (18), se transforma en:

$$d = a \tanh\left(\frac{h}{a}\right) \dots\dots\dots(20)$$

y por tanto la ecuación (17) será :

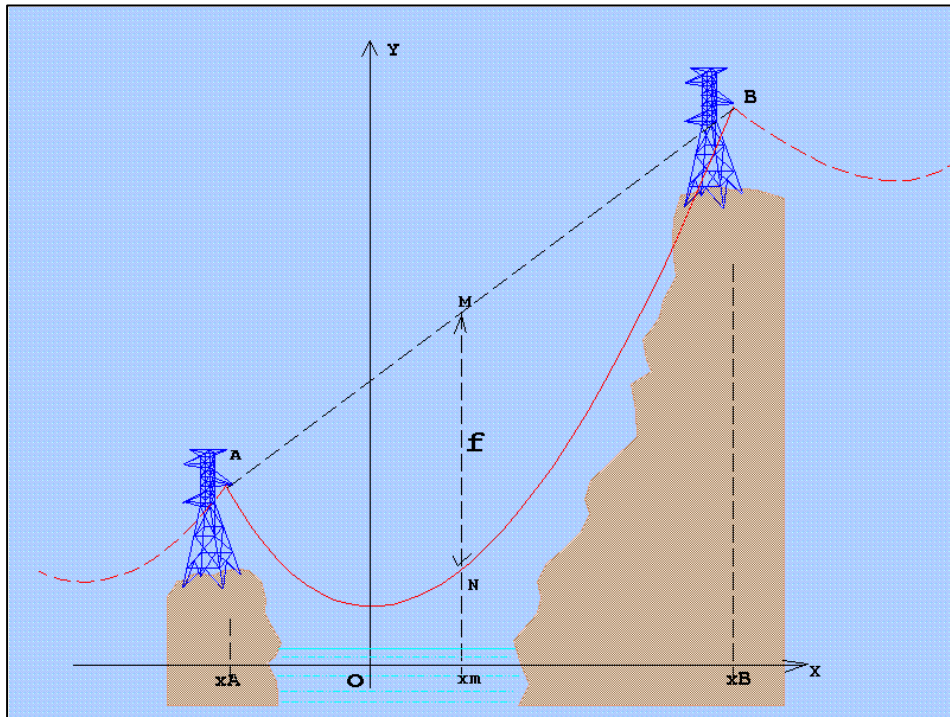
$$L = L' \sec d = L' \sec\left(\arctan\left(\frac{h}{a}\right)\right) \dots\dots(21)$$

en donde el factor de corrección $\sec\left(\arctan\left(\frac{h}{a}\right)\right)$ es constante durante todo el proceso de estudio.

2.5 FLECHA Y SAETA

FLECHA .- La definición dada en el apartado 1.3, es también válida para el cable a desnivel.

Consideremos la ubicación del cable, dada en la figura adjunta, en la que se muestra que La flecha se ubica en la la abscisa x_m del medio vano



La magnitud del segmento NM representa la flecha del cable, la cual se ubica en una abscisa x_m a medio vano, es decir:

$$x_m = \frac{1}{2}(x_a + x_b) \dots\dots\dots(22)$$

De la misma forma el punto N se ubica en el punto medio del segmento AB (vano real).

El valor de la flecha, es entonces la diferencia de ordenadas de los puntos N y M; es decir:

$$f = y_N - y_M \dots\dots\dots(23)$$

pero como N es punto medio de AB:

$$f = \frac{1}{2}(y_a - y_b) - y_M \dots\dots\dots(24)$$

que en función de las abscisas se transforman en:

$$f = \frac{1}{2}(C \cosh(\frac{x_a}{C}) + C \cosh(\frac{x_b}{C})) - C \cosh(\frac{x_m}{C})$$

o también:

$$f = \frac{C}{2} (\cosh(\frac{x_a}{C}) + \cosh(\frac{x_b}{C})) - C \cosh(\frac{x_m}{C})$$

que al reemplazar el equivalente de la suma de los cosenos hiperbólicos tenemos:

$$f = \frac{C}{2} (2 \cosh(\frac{x_b + x_a}{2C}) \cosh(\frac{x_b - x_a}{2C})) - C \cosh(\frac{x_m}{C})$$

y si tenemos en cuenta simultáneamente la ecuación (22) y que $x_b - x_a = a$, entonces la flecha será:

$$f = \frac{C}{2} (2 \cosh(\frac{x_m}{C}) \cosh(\frac{a}{2C})) - C \cosh(\frac{x_m}{C}) \dots\dots\dots(25)$$

donde fácilmente se obtiene:

$$f = C \cosh(\frac{x_m}{C}) (\cosh(\frac{a}{2C}) - 1) \dots\dots\dots(26)$$

y que es lo mismo que:

$$f = C (\cosh(\frac{a}{2C}) - 1) \cosh(\frac{x_m}{C}) \dots\dots\dots(27)$$

Si reemplazamos en la ecuación (27), ecuación (24) del capítulo 1, se obtiene:

$$f = f' \cosh(\frac{x_m}{C}) \dots\dots\dots(28)$$

Esta fórmula nos dice que "la flecha del cable a desnivel es igual a la flecha del cable a nivel multiplicada por un factor de corrección igual a $\cosh(\frac{x_m}{C})$ ".



Mas adelante, con la ecuación (60) demostraremos que para conductores instalados con desnivel, la flecha aproximada es:

$$f = \frac{ab}{8C}; \text{ siendo } b \text{ el vano real, es decir } b = \sqrt{a^2 + h^2};$$

entonces la flecha con desnivel será:

$$f = \frac{a\sqrt{a^2 + h^2}}{8C} = \frac{a\sqrt{a^2 + h^2}}{8C} \frac{a}{a} = \frac{a^2}{8C} \frac{\sqrt{a^2 + h^2}}{a}$$

$$f = \frac{a^2}{8C} \frac{1}{\left(\frac{a}{\sqrt{a^2 + h^2}} \right)} = \frac{a^2}{8C} \frac{1}{\cos d}$$

Como la flecha aproximada para conductores a nivel es $f' = \frac{a^2}{8C}$

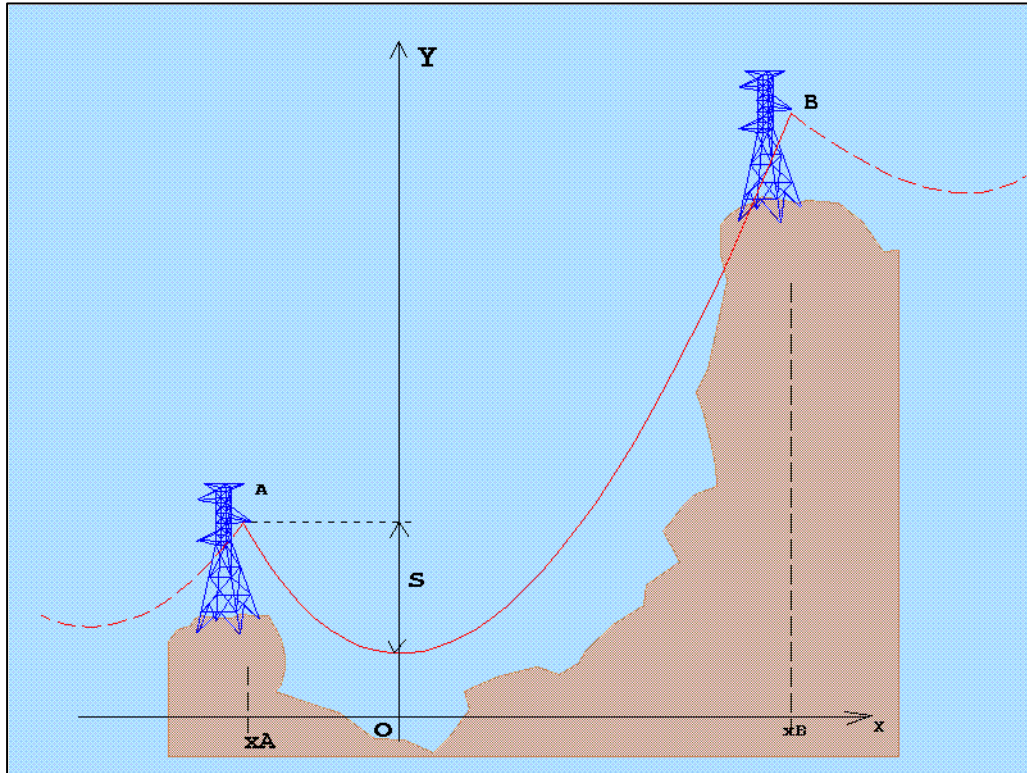
En consecuencia, la flecha del conductor a desnivel es:

$$f = f' \sec d$$

Ecuación que confirma que la Flecha (aproximada) del conductor instalado a desnivel, es igual a la flecha del conductor si estuviera a nivel multiplicado por un factor de corrección igual a $\sec \delta$, siendo δ el ángulo

de desnivel tal que : $\tan d = \frac{h}{a}$

SAETA.- La saeta se define como la distancia vertical entre el punto de suspensión más bajo del cable y su vértice. Su ubicación física es mostrada en la figura adjunta.



En concordancia con la definición, el valor de la saeta es la diferencia de ordenadas del punto A de suspensión y el vértice. Por tanto:

$$s = y_a - y_v$$

pero como la ordenada del vértice es el parámetro C, entonces:

$$s = y_a - C$$

que en función de la abscisa x_a :

$$s = C \cosh\left(\frac{x_a}{C}\right) - C \dots\dots\dots(29)$$

de donde finalmente:

$$s = C\left(\cosh\left(\frac{x_a}{C}\right) - 1\right) \dots\dots\dots(30)$$

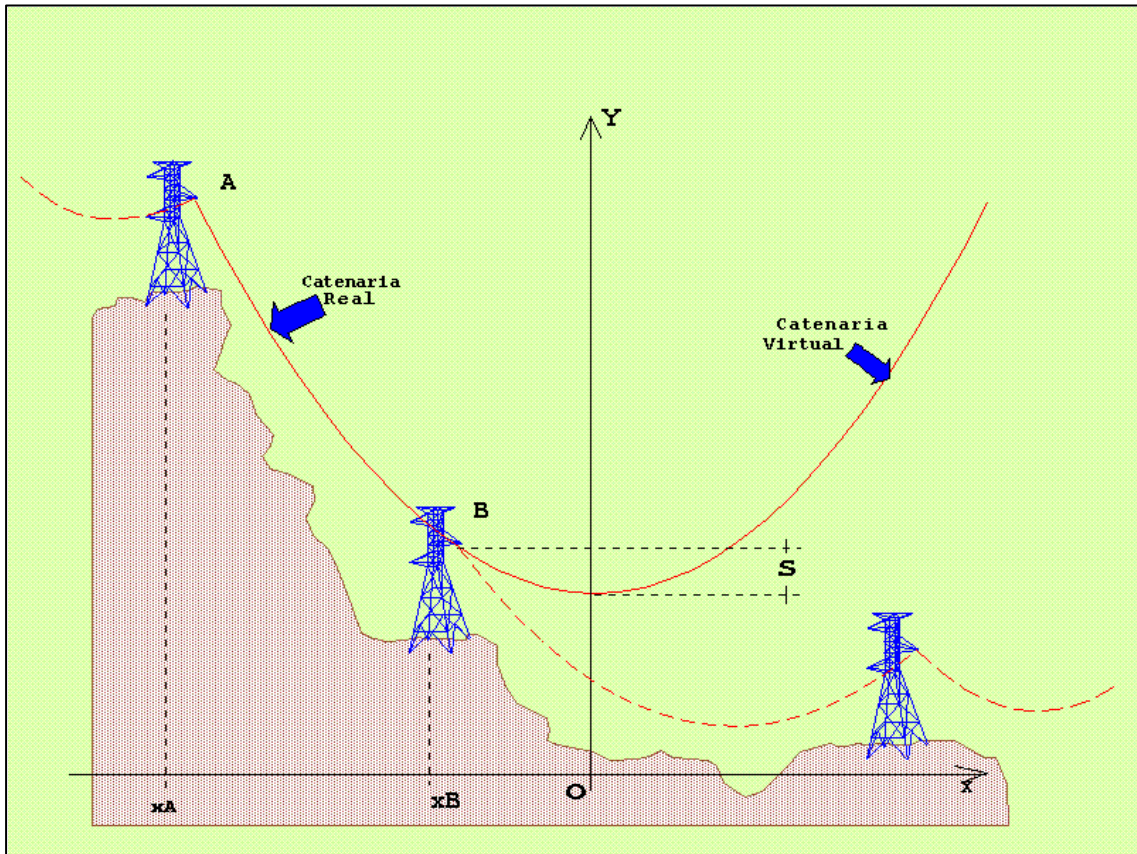
De la ecuación (30), puede deducirse una fórmula aproximada, tomando en cuenta la expansión de Taylor para el coseno hiperbólico y tomando solo dos términos de esa expansión, obtendremos:

$$s = \frac{x_a^2}{2C} \dots\dots\dots(31)$$

y con la ecuación (8) del Capítulo 1, también podemos obtener:

$$s = \frac{x_a^2 w_c}{2T_o} \dots\dots\dots(32)$$

Si las abscisa de los extremos (x_a y x_b) tienen el mismo signo, entonces el vértice de la catenaria cae fuera del vano y en este caso se dice que el vértice es virtual, así como la saeta, esta situación se muestra en el ejemplo de la figura inferior.



2.6 PARAMETRO EN FUNCION DE LA LONGITUD

Si disponemos de los datos físicos de vanos y desnivel, así como el dato adicional de longitud del cable; es posible calcular el par metro de la catenaria y con él el vértice del cable.

De la ecuación (16), de longitud, podemos escribir:

$$L' = \sqrt{L^2 - h^2}$$

y de la ecuación (19):

$$L' = 2C \sinh\left(\frac{a}{2C}\right) = \sqrt{L^2 - h^2}$$

Si dividimos por "a" ambos miembros:

$$\frac{2C}{a} \sinh\left(\frac{a}{2C}\right) = \frac{\sqrt{L^2 - h^2}}{a} \dots\dots\dots(33)$$

el segundo miembro de la ecuación (33) es conocido, de modo que si hacemos:

$$q = \frac{\sqrt{L^2 - h^2}}{a} \dots\dots\dots(34)$$

entonces la ecuación (33) se convierte en:

$$\frac{2C}{a} \sinh\left(\frac{a}{2C}\right) = q \dots\dots\dots(35)$$

Si hacemos el cambio de variable:

$$z = \frac{a}{2C} \dots\dots\dots(36)$$

entonces la relación (35) se transforma en:

$$\frac{\sinh z}{z} = q \dots\dots\dots(37)$$

ecuación hiperbólica fraccionaria que será necesario resolver.

Para hacerlo, utilizemos la expansión de Taylor para el senhz:

$$\frac{z + \frac{z^3}{3!} + \frac{z^5}{5!} + \frac{z^7}{7!} + \dots}{z} = q \dots\dots\dots(38)$$

utilizando solo hasta el término z^5 y luego de simplificar obtenemos:

$$1 + \frac{z^2}{6} + \frac{z^4}{120} = q \dots\dots\dots(39)$$

que resulta ser una ecuación bicuadrada, que al resolver y tomar la raíz real positiva obtenemos finalmente:

$$z = 3,162278 \sqrt{\sqrt{1,2q - 0,2} - 1} \dots\dots\dots(40)$$

y por tanto tenemos ya el par metro:

$$C = \frac{a}{2Z} \dots\dots\dots(41)$$

así como el tiro en el vértice:

$$T_0 = Cw_c$$

La ecuación (40) tiene sentido si:

$$\sqrt{1,2q - 0,2} - 1 > 0$$

y por tanto:

$$\sqrt{1,2q - 0,2} > 1$$

de donde fácilmente deducimos:

$$q > 1$$

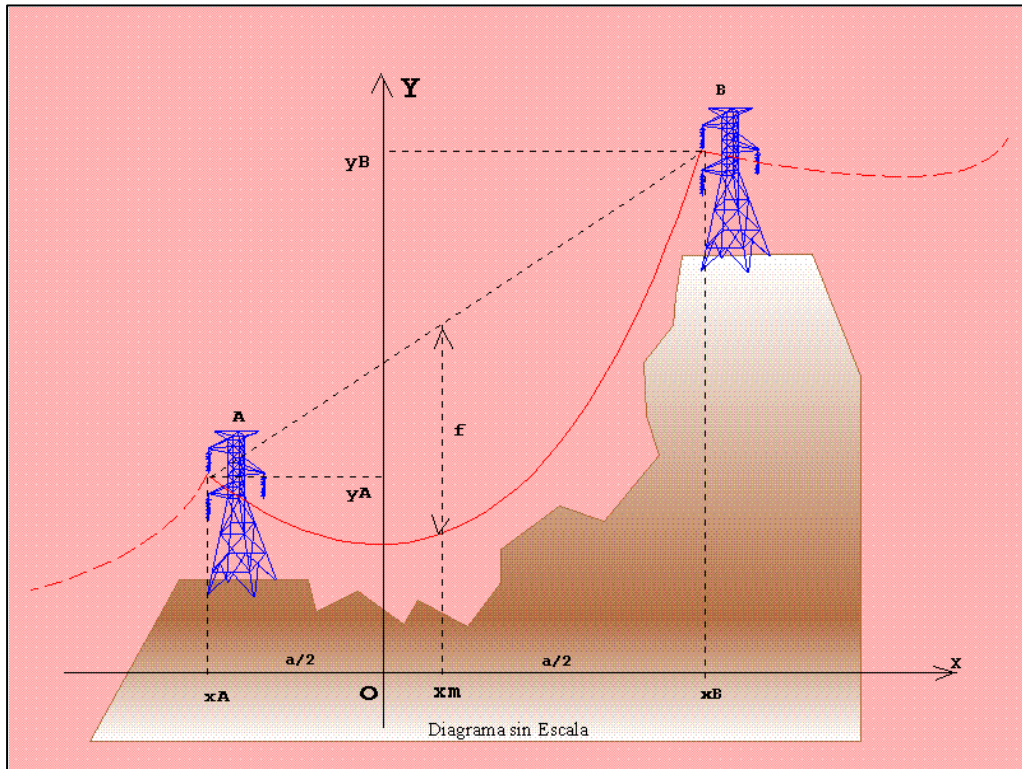
y de la ecuación (34):

$$\frac{\sqrt{L^2 - h^2}}{a} > 1$$

por tanto: $L^2 > a^2 + h^2$ lo cual es cierto.

2.7 UBICACION CARTESIANA DE LOS EXTREMOS

Conocidos el parámetro de la catenaria, así como el vano y desnivel, es posible calcular las ubicaciones cartesianas de los extremos y con ellos evaluar los tiros respectivos.



Tomemos como referencia, para la deducción, la figura adjunta superior, que muestra la ubicación de los extremos del vano, así como la abcisa del medio vano.

De la ecuación (4), el desnivel es:

$$h = C(\cosh(\frac{x_b}{C}) - \cosh(\frac{x_a}{C}))$$

además siendo x_m la abcisa del medio vano, entonces:

$$x_a = x_m - \frac{a}{2}$$

$$x_b = x_m + \frac{a}{2}$$

por tanto, la ecuación de desnivel se transforma en:

$$h = C(\cosh \frac{x_m + \frac{a}{2}}{C} - \cosh \frac{x_m - \frac{a}{2}}{C}) \dots\dots\dots(42)$$

que al emplear las identidades hiperbólicas obtenemos:

$$h = C(\cosh \frac{x_m}{C} \cosh \frac{a}{2C} + \sinh \frac{x_m}{C} \sinh \frac{a}{2C} - \cosh \frac{x_m}{C} \cosh \frac{a}{2C} + \sinh \frac{x_m}{C} \sinh \frac{a}{2C})$$

simplificaremos las expresiones iguales y obtenemos:

$$h = 2C \sinh \frac{x_m}{C} \sinh \frac{a}{2C}$$

y tomando en cuenta la ecuación (19) del Capítulo 1, tendremos:

$$h = L' \sinh \frac{x_m}{C} \dots\dots\dots(43)$$

Esta ecuación permite conocer que el desnivel es el producto de la longitud del conductor a Nivel por un factor de corrección igual a $\sinh \frac{x_m}{C}$

despejando el valor de x_m :

$$x_m = C.a \sinh \frac{h}{L'} \dots\dots\dots(44)$$

La ecuación (44) ha sido deducida a partir de la ecuación de desnivel; es decir la ubicación de la abscisa del medio vano se determina teniendo como dato el desnivel.

A continuación, deduciremos una fórmula que determine la misma abscisa (x_m), teniendo como dato la longitud del conductor.

De la ecuación (1):

$$L = C(\sinh(\frac{x_b}{C}) - \sinh(\frac{x_a}{C}))$$

que análogamente a la deducción anterior, obtenemos:

$$L = C(\sinh \frac{x_m + \frac{a}{2}}{C} - \sinh \frac{x_m - \frac{a}{2}}{C})$$

que utilizando las identidades hiperbólicas:

$$L = C(\sinh \frac{x_m}{C} \cosh \frac{a}{2C} + \cosh \frac{x_m}{C} \sinh \frac{a}{2C} - \sinh \frac{x_m}{C} \cosh \frac{a}{2C} + \cosh \frac{x_m}{C} \sinh \frac{a}{2C})$$

y simplificando resulta:

$$L = 2C \cosh \frac{x_m}{C} \sinh \frac{a}{2C} \dots\dots\dots(45)$$

y entonces:

$$L = 2C \sinh \frac{a}{2C} \cosh \frac{x_m}{C} \dots\dots\dots(46)$$

y con la ecuación (19) del capítulo 1, tendremos:

$$L = L' \cosh \frac{x_m}{C} \dots\dots\dots(47)$$

que despejando la abscisa x_m :

$$x_m = C.a \cosh \frac{L}{L'} \dots\dots\dots(48)$$

y desde luego:

$$x_a = x_m - \frac{a}{2} \dots\dots\dots(49)$$

$$x_b = x_m + \frac{a}{2} \dots\dots\dots(50)$$

Si tomamos en cuenta la aproximación:

$$L' = 2C \sinh\left(\frac{a}{2C}\right) \approx a$$

entonces muy aproximadamente, las ecuaciones (44) y (48), se convierten en:

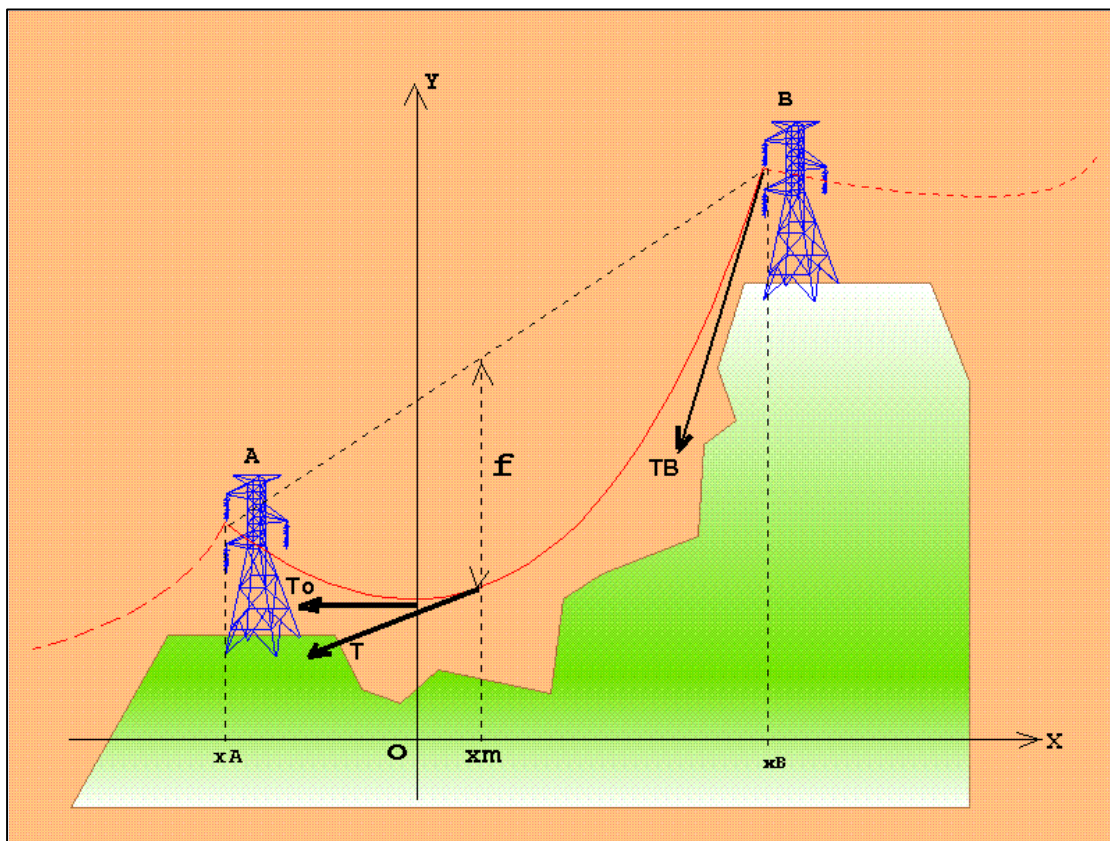
$$x_m = C \operatorname{arcsen} h\left(\frac{h}{a}\right) \dots\dots\dots(51)$$

$$x_m = C \operatorname{arccos} h\left(\frac{L}{a}\right) \dots\dots\dots(52)$$

2.8 PARAMETRO EN FUNCION DEL TIRO MAXIMO

Consideramos que el tiro máximo del cable una vez instalado se encuentra en el extremo superior.

A fin de asegurar un tiro máximo adecuado para el cable a desnivel, los proyectistas prefieren asignarlo y a partir de él encontrar el parámetro y tiro en el vértice de la catenaria. La figura, muestra la ubicación de los 3 tiros: máximo, de medio vano y en el vértice en un cable a desnivel de vano a.



Podemos plantear que el tiro máximo en B ser :

$$T_b = T_m + w_c \left(f + \frac{h}{2} \right) \dots\dots\dots(53)$$

en donde T_m es el tiro (kg) a medio vano.

Por otra parte, de la ecuación (28); la flecha es:

$$f = f' \cosh \frac{x_m}{C}$$

y tomando la ecuación (25) del Capítulo 1, tenemos que la flecha se transforma en:

$$f = \frac{a^2}{8C} \cosh \frac{x_m}{C} \dots\dots\dots(54)$$

así mismo de la ecuación (51) obtenemos la expresión:

$$\frac{x_m}{C} = \operatorname{arcsen} h\left(\frac{h}{a}\right) \dots\dots\dots(55)$$

reemplazando esa última en la ecuación (54) tenemos:

$$f = \frac{a^2}{8C} \cosh\left(\operatorname{arcsen} h\left(\frac{h}{a}\right)\right) \dots\dots\dots(56)$$

pero también:

$$\cosh\left(\operatorname{arcsen} h\left(\frac{h}{a}\right)\right) = \sqrt{1 + \left(\frac{h}{a}\right)^2} \dots\dots\dots(57)$$

$$\cosh\left(\operatorname{arcsen} h\left(\frac{h}{a}\right)\right) = \sqrt{\frac{a^2 + h^2}{a^2}}$$

y por tanto la ecuación (56) se convierte en:

$$f = \frac{a^2}{8C} \frac{\sqrt{a^2 + h^2}}{a} \dots\dots\dots(58)$$

pero el vano real "b" es igual a la expresión:

$$b = \sqrt{a^2 + h^2} \dots\dots\dots(59)$$

entonces la ecuación (58) se convierte en:

$$f = \frac{a^2}{8C} \frac{b}{a}$$

$$f = \frac{ab}{8C} \dots\dots\dots(60)$$

reemplazemos la ecuación (60) en la ecuación (53):

$$T_b = T_m + w_c \left(\frac{ab}{8C} + \frac{h}{2} \right) \dots\dots\dots(61)$$

Calculemos ahora el tiro a medio vano, igual a:

$$T_m = T_o \cosh\left(\frac{x_m}{C}\right) \dots\dots\dots(62)$$

y tomando dos términos de la expansión de Taylor para el coseno hiperbólico, la ecuación (62) se transforma en:

$$T_m = T_o \left(1 + \frac{\left(\frac{x_m}{C}\right)^2}{2} \right) \dots\dots\dots(63)$$

pero como de la ecuación (51):

$$x_m = C \operatorname{arcsen} h \left(\frac{h}{a} \right)$$

y si lo reemplazamos en (63):

$$T_m = T_o \left(1 + \frac{(\operatorname{arcsen} h (\frac{h}{a}))^2}{2} \right)$$

y entonces:

$$T_m = T_o \left(1 + \frac{1}{2} (\operatorname{arcsen} h (\frac{h}{a}))^2 \right) \dots\dots\dots(64)$$

tomando en cuenta que el desnivel (h) y el vano (a) son conocidos, entonces la expresión:

$$K = 1 + \frac{1}{2} (\operatorname{arcsen} h (\frac{h}{a}))^2 \dots\dots\dots(65)$$

es también conocida.

Por lo que la ecuación (64) es también igual a:

$$T_m = T_o K \dots\dots\dots(66)$$

Si reemplazamos (66) en la (61) tenemos:

$$T_b = T_o K + w_c \left(\frac{ab}{8C} + \frac{h}{2} \right) \dots\dots\dots(67)$$

dividiendo por w_c :

$$\frac{T_b}{w_c} = \frac{T_o}{w_c} K + \left(\frac{ab}{8C} + \frac{h}{2} \right) \dots\dots\dots(68)$$

reemplazando el parámetro C:

$$\frac{T_b}{w_c} = CK + \frac{ab}{8C} + \frac{h}{2} \dots\dots\dots(69)$$

La ecuación (69) es de segundo grado con incógnita C, que al despejar y tomar la raíz cuadrada positiva en las raíces, se tiene:

$$C = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{K} \left(\frac{T_b}{w_c} - \frac{h}{2} \right) + \sqrt{\left(\frac{1}{K} \left(\frac{T_b}{w_c} - \frac{h}{2} \right) \right)^2 - \frac{ab}{2K}} \right) \dots\dots\dots(70)$$

2.9 APLICACIONES PRACTICAS

Los problemas ejemplo que se exponen tienen similitud con aquellos que normalmente se utilizan en desarrollo de proyectos o cálculos de verificación en trabajos de mantenimiento correctivo.

Sin embargo es necesario precisar que no se toman en cuenta aún los efectos de sobrecargas (por ejemplo de viento y hielo).

Problema N° 1. -

Un cable de 1225m. Se encuentra tendido en un vano de 1060 m con desnivel 580m. Determinar la saeta del cable.

Solución. - Determinaremos primero el parámetro de la catenaria utilizando la fórmula (40)

$$q = \frac{\sqrt{L^2 - h^2}}{a} \quad \text{Siendo } L = 1225\text{m}; a = 1060; h = 580; \text{ se obtiene: } q = 1.018$$

Por otra parte:

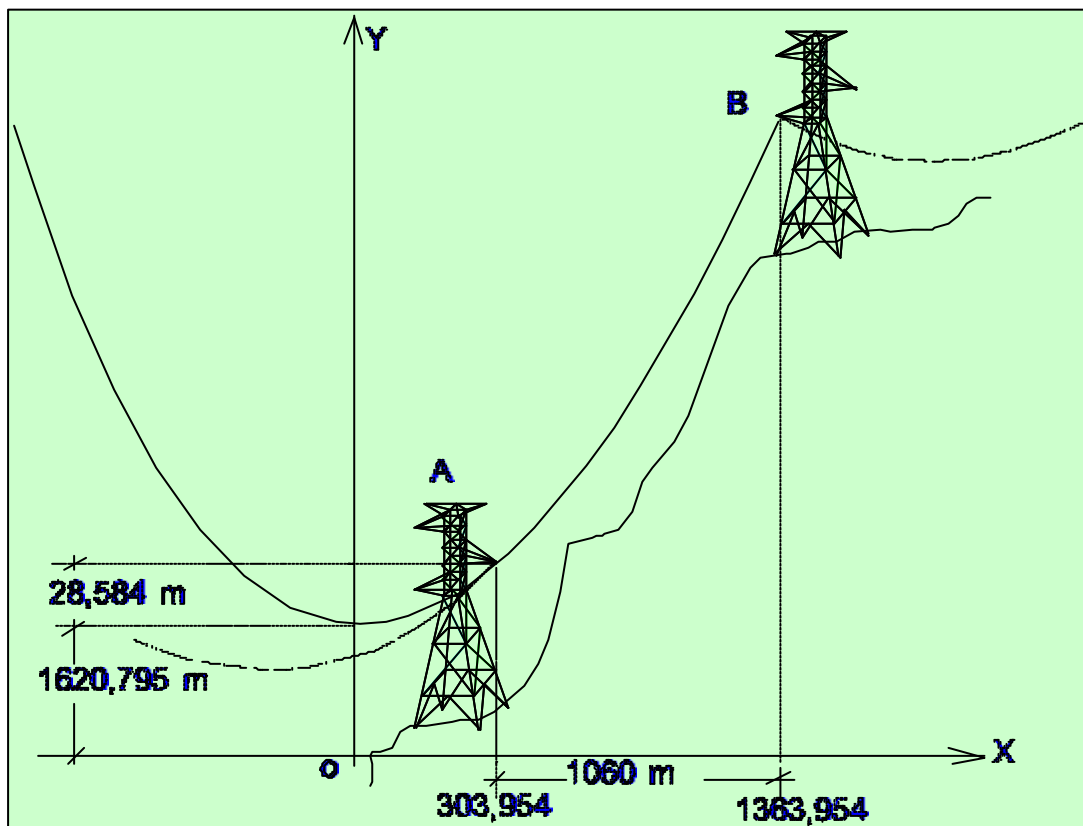
$$z = 3,162278 \sqrt{\sqrt{1,2q - 0,2} - 1}$$

$$z = 3,162278 \sqrt{\sqrt{1,2 \times 1,018 - 0,2} - 1}$$

$$z = 0.327$$

Por tanto:

$$C = \frac{a}{2z} \quad C = \frac{1060}{2 \times 0,327} = 1620,795 \text{ m}$$



Longitud del cable si estuviera a nivel:

$$L' = 2C \sinh\left(\frac{a}{2C}\right) \quad L' = 2 \times 1620,795 \sinh\left(\frac{1060}{2 \times 1620,795}\right) = 1078,992m$$

Abscisa del medio vano:

$$x_m = C \operatorname{arccosh}\left(\frac{L}{L'}\right) \quad x_m = 1620,795 \operatorname{arccosh}\left(\frac{1225}{1078,992}\right) = +833,9540m$$

y las abscisas de los extremos serán

$$x_a = x_m - \frac{a}{2} \quad x_a = +833,9540 - \frac{1060}{2} = +303,9540 m$$

$$x_b = x_m + \frac{a}{2} \quad x_b = +833,9540 + \frac{1060}{2} = +1667,9080 m$$

El valor de la saeta ser entonces:

$$s = C \left(\cosh\left(\frac{x_a}{C}\right) - 1 \right) \quad s = 1620,795 \left(\cosh\left(\frac{303,9540}{1620,795}\right) - 1 \right) = 28,584m$$

Observe que la saeta y el vértice de la catenaria son virtuales.

Problema N° 2.-

El parámetro de la catenaria de un cable es 2000m; si se encuentra tendido en un vano de 900m con desnivel 180m. Si el peso unitario es 1.8Kg/m, determinar:

- La longitud del cable.
- Ubicación cartesiana de los extremos.
- La flecha y saeta del cable.
- Tiro máximo en el cable.

Solución:

a) Longitud del cable si estuviera a nivel:

$$L' = 2C \sinh\left(\frac{a}{2C}\right) \quad L' = 2 \times 2000 \sinh\left(\frac{900}{2 \times 2000}\right) = 907,61299 m$$

La longitud del conductor es:

$$L = \sqrt{L'^2 + h^2} \quad L = \sqrt{907,61299^2 + 180^2} = 925,2899 m$$

b) Ubicación cartesiana del medio vano:

$$x_m = C \operatorname{arccosh}\left(\frac{L}{L'}\right) \quad x_m = 2000 \operatorname{arccosh}\left(\frac{925,2899}{907,61299}\right) = +394,08967 m$$

Ubicación cartesiana de los extremos:

$$x_a = x_m - \frac{a}{2} \quad x_a = +394,08967 - \frac{900}{2} = -55,9103 m$$

$$x_b = x_m + \frac{a}{2} \quad x_b = +394,08967 + \frac{900}{2} = +844,08967 m$$

c) Flecha del cable si estuviera a nivel:

$$f' = C \left(\cosh\left(\frac{a}{2C}\right) - 1 \right) \quad f' = 2000 \left(\cosh\left(\frac{900}{2 \times 2000}\right) - 1 \right) = 50,839 \text{ m}$$

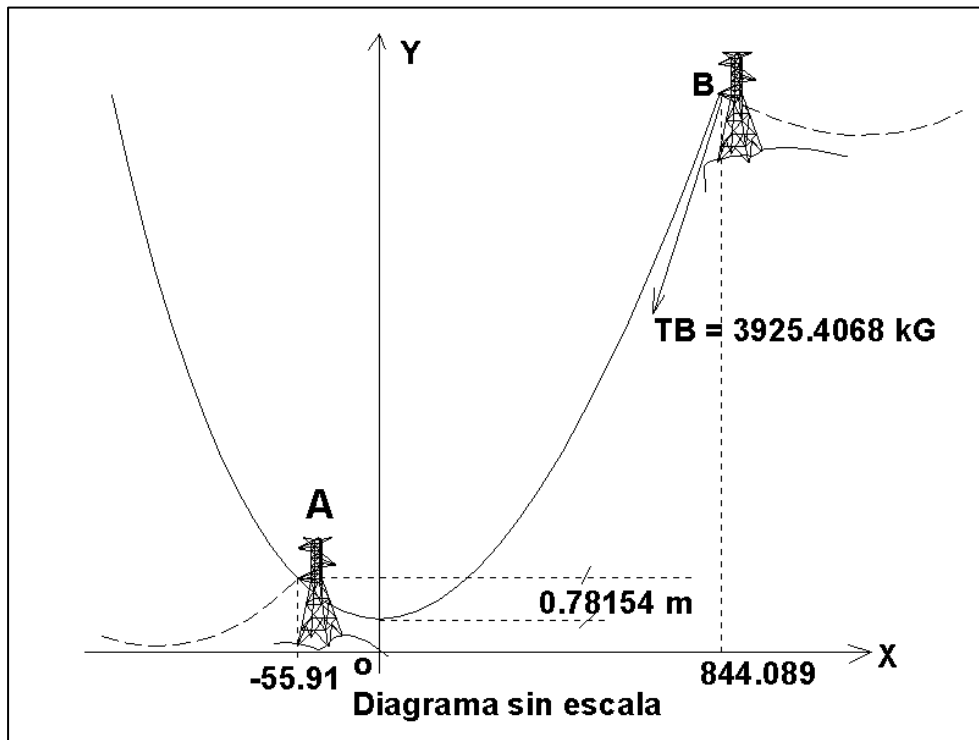
Flecha real del cable:

$$f' = f' \cosh\left(\frac{x_m}{C}\right) \quad f' = 50,839 \cosh\left(\frac{394,08967}{2000}\right) = 51,8291 \text{ m}$$

Saeta del cable:

$$s = C \left(\cosh\left(\frac{x_a}{C}\right) - 1 \right) \quad s = 2000 \left(\cosh\left(\frac{-55,91033}{2000}\right) - 1 \right) = 0,78154 \text{ m}$$

d) Tiro máximo en el cable el cual se ubica en el extremo superior:



$$T_b = T_o \cosh\left(\frac{x_b}{C}\right) \quad T_b = 2000 \times 1,8 \cosh\left(\frac{844,08967}{2000}\right) = 3925,4068 \text{ Kg}$$

Problema N° 3. -

Determinar el valor de la flecha de un cable tendido en un vano de 900m con desnivel 180m, si la longitud del mismo es 930m con peso unitario de 0,329Kg/m.

Solución :

Con la expresión:

$$q = \frac{\sqrt{L^2 - h^2}}{a} \quad q = \frac{\sqrt{930^2 - 180^2}}{900} = 1,01379$$

determinamos el valor de z:

$$z = 3,162278\sqrt{\sqrt{1,2q - 0,2} - 1} \quad z = 3,162278\sqrt{\sqrt{1,2 \times 1,01379 - 0,2} - 1} = 0,28709$$

Por lo tanto el parámetro de la catenaria será: $C = \frac{a}{2Z} \quad C = \frac{900}{2 \times 0,28709} = 1567,4317 \text{ m}$

el vano real b será:

$$b = \sqrt{a^2 + h^2} \quad b = \sqrt{900^2 + 180^2} = 917,8235 \text{ m}$$

finalmente, la flecha (aproximada para instalaciones a desnivel) es:

$$f = \frac{ab}{8C} \quad f = \frac{900 \times 917,8235}{8 \times 1567,4317} = 65,87537 \text{ m}$$

En adición a lo calculado, determinemos la flecha del cable si el desnivel fuera nulo:

$$f' = C \left(\cosh\left(\frac{a}{2C}\right) - 1 \right) \quad f' = 1567,4317 \left(\cosh\left(\frac{900}{2 \times 1567,4317}\right) - 1 \right) = 65,041017 \text{ m}$$

Longitud del cable con desnivel nulo:

$$L' = 2C \sinh\left(\frac{a}{2C}\right) \quad L' = 2 \times 1567,4317 \sinh\left(\frac{900}{2 \times 1567,4317}\right) = 912,41438 \text{ m}$$

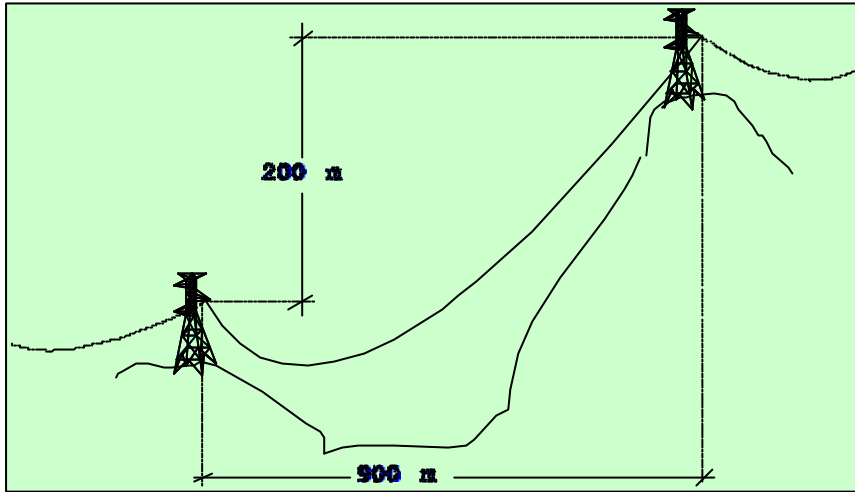
La abscisa del medio vano ser :

$$x_m = C \operatorname{arcsen} h\left(\frac{h}{L'}\right) \quad x_m = 1567,4317 \operatorname{arcsen} h\left(\frac{180}{912,41438}\right) = 307,24961 \text{ m}$$

y entonces, la flecha exacta:

$$f' = f' \cosh\left(\frac{x_m}{C}\right) \quad f = 65,041017 \cosh\left(\frac{307,24961}{1567,4317}\right) = 66,2945998 \text{ m}$$

Problema N° 4.-



En el gráfico adjunto, el tiro en el extremo superior del cable es 3500Kg; si el peso unitario del mismo es 2.4Kg/m y su sección 155.4mm²; determinar:

- a.- La longitud del cable.
- b.- La flecha y saeta.
- c.- El tiro en el extremo inferior.

Solución. -

El vano real es: $b = \sqrt{a^2 + h^2}$

$$b = \sqrt{900^2 + 200^2} = 921,954 \text{ m}$$

de la ecuación (65), tenemos:

$$K = 1 + \frac{1}{2} \left(\operatorname{arcsen} h \left(\frac{h}{a} \right) \right)^2 \quad K = 1 + \frac{1}{2} \left(\operatorname{arcsen} h \left(\frac{200}{900} \right) \right)^2 = 1,0243$$

y del problema dado:

$$T_b = 3500 \text{ Kg}$$

$$w_c = 2.4 \text{ Kg/m}$$

En la ecuación (70), tenemos:

$$C = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{K} \left(\frac{T_b}{w_c} - \frac{h}{2} \right) + \sqrt{\left(\frac{1}{K} \left(\frac{T_b}{w_c} - \frac{h}{2} \right) \right)^2 - \frac{ab}{2K}} \right)$$

$$C = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{1,0243} \left(\frac{3500}{2,4} - \frac{200}{2} \right) + \sqrt{\left(\frac{1}{1,0243} \left(\frac{3500}{2,4} - \frac{200}{2} \right) \right)^2 - \frac{900 \times 921,954}{2 \times 1,0243}} \right) = 1244,7605 \text{ m}$$

Longitud si estuviera a Nivel:

$$L' = 2C \operatorname{senh} \left(\frac{a}{2C} \right) \quad L' = 2 \times 1244,7605 \operatorname{senh} \left(\frac{900}{2 \times 1244,7605} \right) = 919,7325 \text{ m}$$

a) entonces la longitud real del cable (ecuación 16) será :

$$L = \sqrt{L'^2 + h^2} \quad L = \sqrt{919,7325^2 + 200^2} = 941,2270 \text{ m}$$

Por otra parte la abscisa del medio vano; (ecuación 44):

$$x_m = C \operatorname{arcsen} h \left(\frac{h}{L'} \right) \quad x_m = 1244,7605 \operatorname{arcsen} h \left(\frac{200}{919,7325} \right) = 268,5897 \text{ m}$$

por tanto las abscisas de los extremos:

$$x_a = x_m - \frac{a}{2} \quad x_a = 268,5897 - \frac{900}{2} = -181,4103 \text{ m}$$

$$x_b = x_m + \frac{a}{2} \quad x_b = 268,5897 + \frac{900}{2} = +718,5897 \text{ m}$$

b) De la ecuación (24) del Capítulo 1:

$$f' = C \left(\cosh\left(\frac{a}{2C}\right) - 1 \right) \quad f' = 1244,7605 \left(\cosh\left(\frac{900}{2 \times 1244,7605}\right) - 1 \right) = 82,2307 \text{ m}$$

por lo que la flecha del cable (ecuación 28) será :

$$f' = f' \cosh\left(\frac{x_m}{C}\right) \quad f = 82,2307 \cosh\left(\frac{268,5897}{1244,7605}\right) = 83,325 \text{ m}$$

Así mismo, de la ecuación (30):

$$s = C \left(\cosh\left(\frac{x_a}{C}\right) - 1 \right) \quad s = 1244,7605 \left(\cosh\left(\frac{-181,4103}{1244,7605}\right) - 1 \right) = 13,24 \text{ m}$$

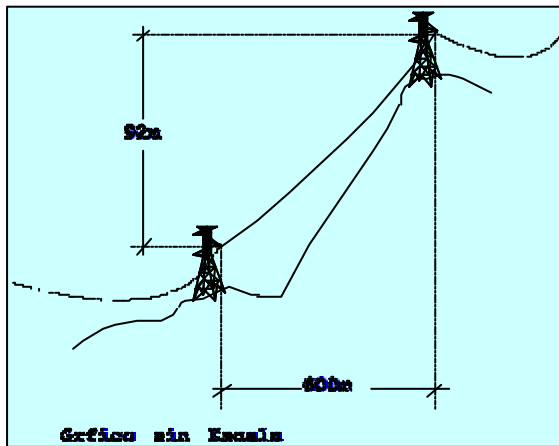
c) El tiro en el vértice es:

$$T_o = C w_c \quad T_o = 1244,7605 \times 2,4 = 2987,4253 \text{ kg}$$

por tanto el tiro en el extremo inferior será:

$$T_a = T_o \cosh\left(\frac{x_a}{C}\right) \quad T_a = 2987,4253 \cosh\left(\frac{-181,4103}{1244,7605}\right) = 3019,21 \text{ kg}$$

Problema N° 5. -



En el gráfico adjunto, el tiro en el soporte B es 1079.15Kg, si el peso unitario del cable es de 0.435Kg, calcular el tiro en el extremo inferior.

Solución. -

$$\text{El vano real será: } b = \sqrt{a^2 + h^2}$$

$$b = \sqrt{600^2 + 92^2} = 607,012 \text{ m}$$

por otra parte, la constante K (ecuación 65) para este problema es:

$$K = 1 + \frac{1}{2} \left(\operatorname{arcsen} h \left(\frac{h}{a} \right) \right)^2$$

$$K = 1 + \frac{1}{2} \left(\operatorname{arcsen} h \left(\frac{92}{600} \right) \right)^2 = 1,0116$$

Por lo que el par metro del cable se obtiene de la ecuación (70):

$$C = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{K} \left(\frac{T_b}{w_c} - \frac{h}{2} \right) + \sqrt{\left(\frac{1}{K} \left(\frac{T_b}{w_c} - \frac{h}{2} \right) \right)^2 - \frac{ab}{2K}} \right)$$

$$C = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{1,0116} \left(\frac{1079,15}{0,435} - \frac{92}{2} \right) + \sqrt{\left(\frac{1}{1,0116} \left(\frac{1079,15}{0,435} - \frac{92}{2} \right) \right)^2 - \frac{600 \times 607,012}{2 \times 1,0116}} \right) = 2387,8931 \text{ kg}$$

$$T_o = C w_c \quad T_o = 2387,8931 \times 0,435 = 1038,7335 \text{ kg}$$

Longitud del cable si estuviera a nivel:

$$L' = 2C \sinh\left(\frac{a}{2C}\right) \quad L' = 2 \times 2387,8931 \sinh\left(\frac{600}{2 \times 2387,8931}\right) = 601,5796 \text{ m}$$

y por tanto, de la ecuación (44):

$$x_m = C \operatorname{arcsen} h\left(\frac{h}{L'}\right) \quad x_m = 2387,8931 \operatorname{arcsen} h\left(\frac{92}{601,5796}\right) = 363,7735 \text{ m}$$

y entonces el extremo inferior será:

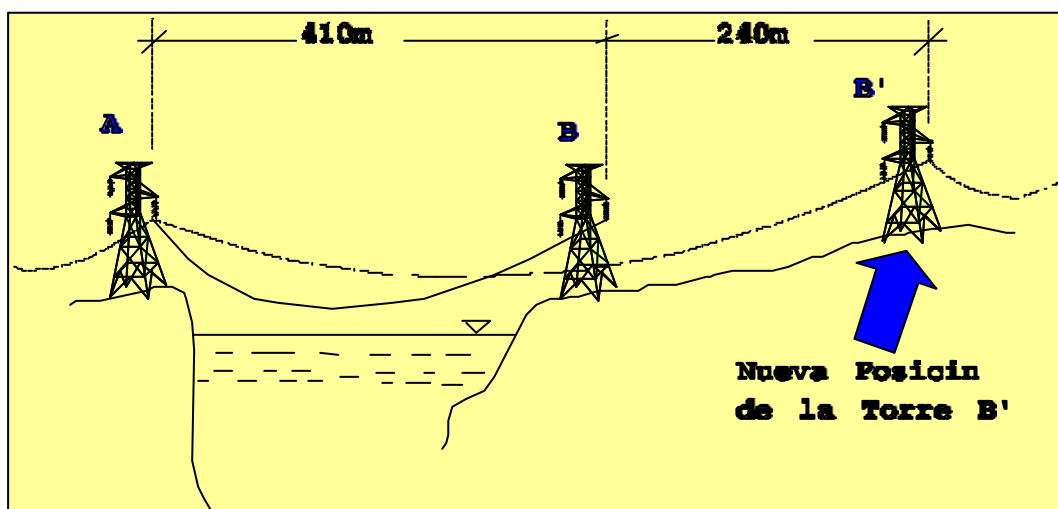
$$x_a = x_m - \frac{a}{2} \quad x_a = 363,7735 - \frac{600}{2} = 63,7735 \text{ m}$$

y el tiro inferior:

$$T_a = T_o \cosh\left(\frac{x_a}{C}\right) \quad T_a = 1038,7335 \cosh\left(\frac{63,7735}{2387,8931}\right) = 1039,104 \text{ kg}$$

Problema N° 6. -

En el gráfico siguiente:



Estando el cable tendido en el vano AB, se decide trasladar la torre B a la posición B' (240m en sentido longitudinal a línea). Si en el vano AB, el coeficiente de seguridad de trabajo del cable es 2.9. Calcular el nuevo en el vano AB'.

Datos del cable:

Peso unitario: 1.517Kg/m

Tiro de rotura: 12925Kg

Solución. -

El tiro en el extremo B será:

$$T_b = \frac{TR}{cs} \quad T_b = \frac{12925}{2,9} = 4456,897 \text{ kg}$$

como se trata de cables a nivel, determinamos el par metro de la catenaria utilizando la ecuación (42) del primer capítulo:

$$C = \frac{1}{2} \left(\frac{T_b}{w_c} + \sqrt{\left(\frac{T_b}{w_c} \right)^2 - \frac{a^2}{2}} \right) \quad C = \frac{1}{2} \left(\frac{4456,897}{1,517} + \sqrt{\left(\frac{4456,897}{1,517} \right)^2 - \frac{410^2}{2}} \right) = 2930,798 \text{ m}$$

por tanto el tiro-vértice será:

$$T_o = Cw_c \quad T_o = 2930,798 \times 1,517 = 4446,020 \text{ kg}$$

Con este tiro será tendido también el vano AB' (410+240= 650m).

entonces el tiro en B' será:

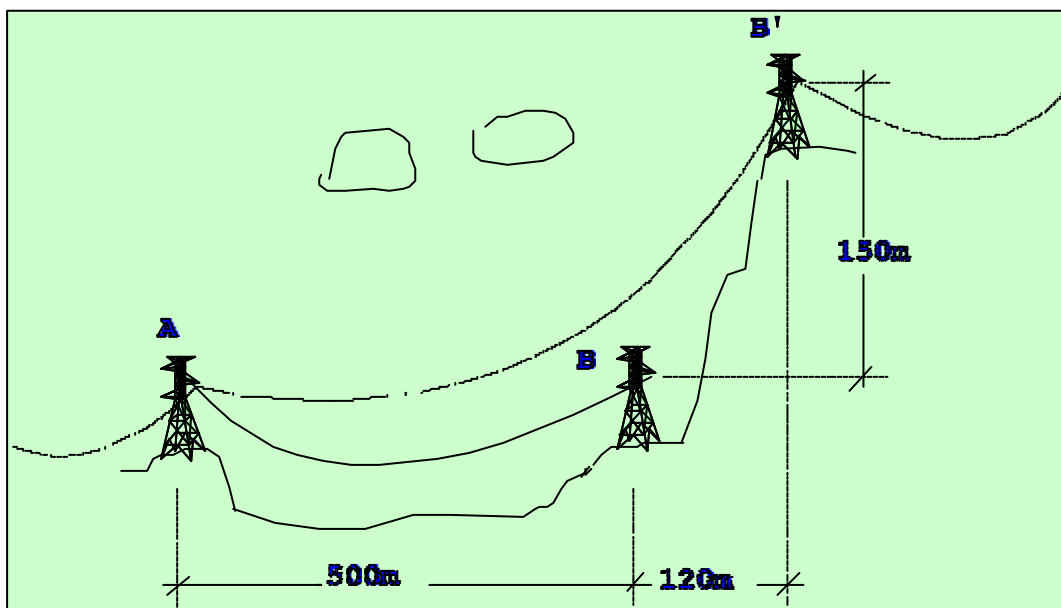
$$T_{B'} = T_o \cosh \left(\frac{a}{2C} \right) \quad T_{B'} = 4446,020 \cosh \left(\frac{650}{2 \times 2930,798} \right) = 4473,384 \text{ kg}$$

finalmente el nuevo coeficiente de seguridad, en la posición B' :

$$cs = \frac{TR}{T_{B'}} \quad cs = \frac{12925}{4473,384} = 2,88$$

Problema Nº 7. -

En el gráfico siguiente:



La torre B es trasladada a la posición B', templándose el cable con el mismo tiro; si el coeficiente de seguridad (cs) en B es 2.8, calcular el cs en B' siendo el cable de características:

Peso unitario: 0.435Kg/m

Tiro de rotura: 3778.000Kg.

Solución. -

Tiro en B:

$$T_b = \frac{TR}{cs} \quad T_b = \frac{3778}{2,8} = 1349,285 \text{ kg}$$

estando el cable a nivel en el vano AB:

$$C = \frac{1}{2} \left(\frac{T_b}{w_c} + \sqrt{\left(\frac{T_b}{w_c} \right)^2 - \frac{a^2}{2}} \right) \quad C = \frac{1}{2} \left(\frac{1349,285}{0,435} + \sqrt{\left(\frac{1349,285}{0,435} \right)^2 - \frac{500^2}{2}} \right) = 3091,697 \text{ m}$$

y el tiro en el vértice: $T_o = Cw_c \quad T_o = 3091,697 \times 0,435 = 1344,88 \text{ kg}$

con el que será tendido en vano AB.

Además para el cable desnivelado:

Longitud del cable si estuviera a nivel:

$$L' = 2C \sinh\left(\frac{a}{2C}\right) \quad L' = 2 \times 3091,697 \sinh\left(\frac{500+120}{2 \times 3091,697}\right) = 621,039 \text{ m}$$

por tanto la abscisa del medio vano será:

$$x_m = C \operatorname{arcsen} h\left(\frac{h}{L'}\right) \quad x_m = 3091,697 \operatorname{arcsen} h\left(\frac{150}{621,039}\right) = 739,663 \text{ m}$$

y la ubicación del extremo B' será:

$$x_b = x_m + \frac{a}{2} \quad x_b = 739,663 + \frac{500+120}{2} = 1049,663 \text{ m}$$

por tanto el tiro $T_{B'}$ en este extremo será:

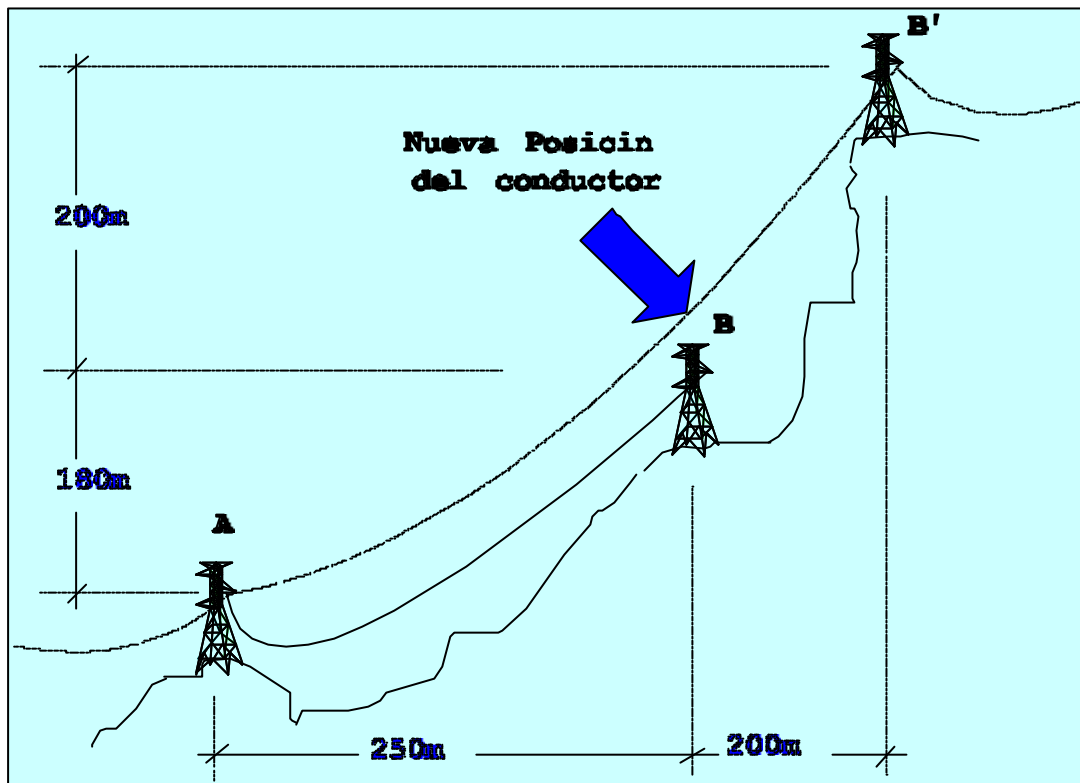
$$T_b = T_o \cosh\left(\frac{x_b}{C}\right) \quad T_b = 1344,888 \cosh\left(\frac{1049,663}{3091,697}\right) = 1423,1462 \text{ kg}$$

finalmente el coeficiente de seguridad será:

$$cs = \frac{TR}{T_{B'}} \quad cs = \frac{3778}{1423,1462} = 2,65$$

Problema N° 8. -

En la figura adjunta:



El coeficiente de seguridad en B es 2.8, determinar el nuevo, si la torre B es trasladada a la posición B'. El cable es de peso unitario 1.517Kg/m, con tiro de rotura de 12925Kg.

Solución. -

En la posición AB:

Vano real: $b = \sqrt{a^2 + h^2} \quad b = \sqrt{250^2 + 180^2} = 308,058 \text{ m}$

de la ecuación (65):

$$K = 1 + \frac{1}{2} \left(\operatorname{arcsen} h \left(\frac{h}{a} \right) \right)^2 \quad K = 1 + \frac{1}{2} \left(\operatorname{arcsen} h \left(\frac{180}{250} \right) \right)^2 = 1,223$$

además el tiro en el extremo B es :

$$T_b = \frac{TR}{cs} \quad T_b = \frac{12925}{2,8} = 4616,071 \text{ kg}$$

por tanto, en la ecuación (70):

$$C = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{K} \left(\frac{T_b}{w_c} - \frac{h}{2} \right) + \sqrt{\left(\frac{1}{K} \left(\frac{T_b}{w_c} - \frac{h}{2} \right) \right)^2 - \frac{ab}{2K}} \right)$$

$$C = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{K} \left(\frac{T_b}{w_c} - \frac{h}{2} \right) + \sqrt{\left(\frac{1}{1,223} \left(\frac{4616,071}{1,517} - \frac{180}{2} \right) \right)^2 - \frac{250 \times 308,058}{2 \times 1,223}} \right) = 2411,203 m$$

con el tiro-vértice de: $T_o = Cw_c \quad T_o = 2411,203 \times 1,517 = 3657,795 kg$

Por otra parte, en la posición B' vano real:

$$b = \sqrt{a^2 + h^2} \quad b = \sqrt{(250 + 280)^2 + (180 + 200)^2} = 652,150 m$$

Longitud del cable, si fuera a nivel:

$$L' = 2C \sinh\left(\frac{a}{2C}\right) \quad L' = 2 \times 2411,203 \sinh\left(\frac{250 + 280}{2 \times 2411,203}\right) = 531,067 m$$

Por tanto la ubicación del medio vano es:

$$x_m = C \operatorname{arcsen} h\left(\frac{h}{L'}\right) \quad x_m = 2411,203 \operatorname{arcsen} h\left(\frac{380}{531,067}\right) = 1604,295 m$$

por lo que la ubicación cartesiana de B' es:

$$x_b = x_m + \frac{a}{2} \quad x_b = 1604,295 + \frac{530}{2} = 1869,295 m$$

lo que significará que el tiro $T_{B'}$ será:

$$T_b = T_o \cosh\left(\frac{x_b}{C}\right) \quad T_b = 3657,795 \cosh\left(\frac{1869,295}{2411,203}\right) = 4813,166 kg$$

y el coeficiente de seguridad: $cs = \frac{TR}{T_{B'}} \quad cs = \frac{12925}{4813,166} = 2,68$

Problema N° 9. -

Un cable tendido y desnivelado (vano de 1200m y desnivel de 200m), tiene una longitud de 1246m. Calcular el tiro en el extremo superior si su peso unitario es de 1.826Kg/m. Solución. -

Determinaremos primero la catenaria del cable:

$$q = \frac{\sqrt{L^2 - h^2}}{a} \quad q = \frac{\sqrt{1246^2 - 200^2}}{1200} = 1,02487$$

por tanto:

$$z = 3,162278 \sqrt{\sqrt{1,2q - 0,2} - 1} \quad z = 3,162278 \sqrt{\sqrt{1,2 \times 1,02487 - 0,2} - 1} = 0,38486$$

Y el parámetro de la catenaria: $C = \frac{a}{2Z} \quad C = \frac{1200}{2 \times 0,38486} = 1558,98 m$

Con el tiro en el vértice de: $T_o = Cw_c \quad T_o = 1558,98 \times 1,826 = 2846,697 kg$

si el cable estuviera a nivel:

$$L' = 2C \sinh\left(\frac{a}{2C}\right) \quad L' = 2 \times 1558,98 \sinh\left(\frac{1200}{2 \times 1558,98}\right) = 1229,845m$$

por tanto la abscisa del medio vano será:

$$x_m = C \operatorname{arcsen} h\left(\frac{h}{L'}\right) \quad x_m = 1558,98 \operatorname{arcsen} h\left(\frac{200}{1229,845}\right) = +252,420m$$

y la ubicación del extremo derecho:

$$x_b = x_m + \frac{a}{2} \quad x_b = 252,420 + \frac{1200}{2} = 852,420m$$

Finalmente el tiro en este extremo será:

$$T_b = T_o \cosh\left(\frac{x_b}{C}\right) \quad T_b = 2846,697 \cosh\left(\frac{852,420}{1558,98}\right) = 3282,942kg$$

CAPITULO 3

CARACTERÍSTICAS ADICIONALES DEL CONDUCTOR TENDIDO. NUEVOS CONCEPTOS**3.1 INTRODUCCION**

Los Conceptos que a continuación se exponen son propuestos por el autor a fin de posibilitar un manejo más ágil de las ecuaciones del cable.

Asimismo, se deducen nuevas relaciones que permitirán entender con más profundidad la interdependencia que existe entre todas las características (flecha, saeta, etc.) típicas de un cable tendido entre dos puntos.

3.2 ANGULO HIPERBOLICO DE NIVEL (β)

Definiremos este ángulo por la relación:

$$\beta = \frac{a}{2C}$$

Donde, como sabemos, **a** es el vano y **C** es el **parámetro** de la catenaria y **β** en radianes hiperbólicos.

Por tanto, las ecuaciones de longitud y flecha del 1er. Capítulo, para el cable nivelado, se transforma en:

$$L' = 2C \sinh \beta$$

$$f' = C.(\cosh \beta - 1)$$

Asimismo, el tiro en el extremo del cable a nivel:

$$T_B = T_0 \cosh \beta$$

3.3 ANGULO HIPERBOLICO DE DESNIVEL (α)

Definiremos este ángulo por la relación:

$$\alpha = \operatorname{arcsen} h \left(\frac{h}{L'} \right)$$

En donde, para un cable en desnivel, **L** es la longitud del cable si estuviera instalado a nivel, **h** es el desnivel y **α** el ángulo hiperbólico de desnivel en radianes hiperbólicos.

Por tanto, la ecuación (44) del Capítulo 2, se transforma en:

$$x_m = C \alpha$$

que es la abscisa del medio vano, siendo C el parámetro de la catenaria.

Como consecuencia de la ecuación (6), las ubicaciones de los extremos, respecto a los ejes coordenados cartesianos serán:

$$x_A = x_m - \frac{a}{2}$$

$$x_A = C\alpha - \frac{a}{2}$$

$$x_B = x_m + \frac{a}{2}$$

$$x_B = C\alpha + \frac{a}{2}$$

3.4 ANGULO HIPERBOLICO DE SOBRETIRO

Si T_0 es el tiro (en Kg) en el vértice del cable y T_B es el tiro en el extremo superior del mismo, entonces, la relación T_B/T_0 podemos determinarlo: *Factor de Sobretiro*.

Luego podemos asumir que:

$$\varepsilon = \text{arcCosh}\left(\frac{T_B}{T_0}\right)$$

es el ángulo hiperbólico de sobretiro

3.5 RELACION ENTRE LOS ANGULOS DE DESNIVEL, HIPERBOLICO Y TRIGONOMETRICO.

La ecuación (18) del Capítulo 2 es:

$$\delta = \text{arctg}\left(\frac{h}{L'}\right)$$

de donde, se deduce que:

$$\frac{h}{L'} = \text{tg} \delta$$

esta igualdad la sustituimos en la ecuación (5) y así obtenemos:

$$\alpha = \text{arcsenh}(\text{tg} \delta)$$

finalmente

$$\text{senh} \alpha = \text{tg} \delta$$

donde α es el ángulo hiperbólico de desnivel y δ es el ángulo trigonométrico de desnivel para un mismo conductor instalado con un vano "a" y desnivel "h".

3.6 SAETA EN FUNCION DEL DESNIVEL Y LONGITUD.

La ecuación (30) del Capítulo 2 es:

$$S = C \cdot \left[\cosh\left(\frac{x_A}{C}\right) - 1 \right]$$

además, de la ecuación (7) obtenemos:

$$\frac{x_A}{C} = \alpha - \frac{a}{2C}$$

entonces, deducimos que:

$$S = C \cdot \left[\cosh\left(\frac{\alpha - a}{2C}\right) - 1 \right]$$

además, teniendo en cuenta la ecuación (1) obtenemos:

$$S = C \cdot [\cosh(\alpha - \beta) - 1]$$

desarrollando el coseno hiperbólico tenemos:

$$S = C \cdot [\cosh \alpha \cosh \beta - \sinh \alpha \sinh \beta - 1]$$

siendo: $\alpha = \operatorname{arcsen} h\left(\frac{h}{L'}\right)$

entonces:

$$\cosh \alpha = \sqrt{1 + \left(\frac{h}{L'}\right)^2} = \frac{L}{L'}$$

$$\sinh \alpha = \frac{h}{L'}$$

Sustituyendo las ecuaciones (17) y (18) en la (16), tendremos:

$$S = C \cdot \left[\frac{L}{L'} \cosh \beta - \frac{h}{L'} \sinh \beta - 1 \right]$$

pero la ecuación (2) es:

$$L' = 2C \cdot \sinh \beta$$

que al sustituir en la (19)

$$S = C \cdot \left[\frac{L}{2C \cdot \sinh \beta} \cosh \beta - \frac{h}{2C \cdot \sinh \beta} \sinh \beta - 1 \right]$$

o también

$$S = C \cdot \left[\frac{L}{2C} \operatorname{ctgh} \beta - \frac{h}{2C} - 1 \right]$$

de donde, finalmente:

$$S = \frac{L}{2} \operatorname{ctgh} \beta - \frac{h}{2} - C$$

Esta ecuación (20) puede interpretarse gráficamente:

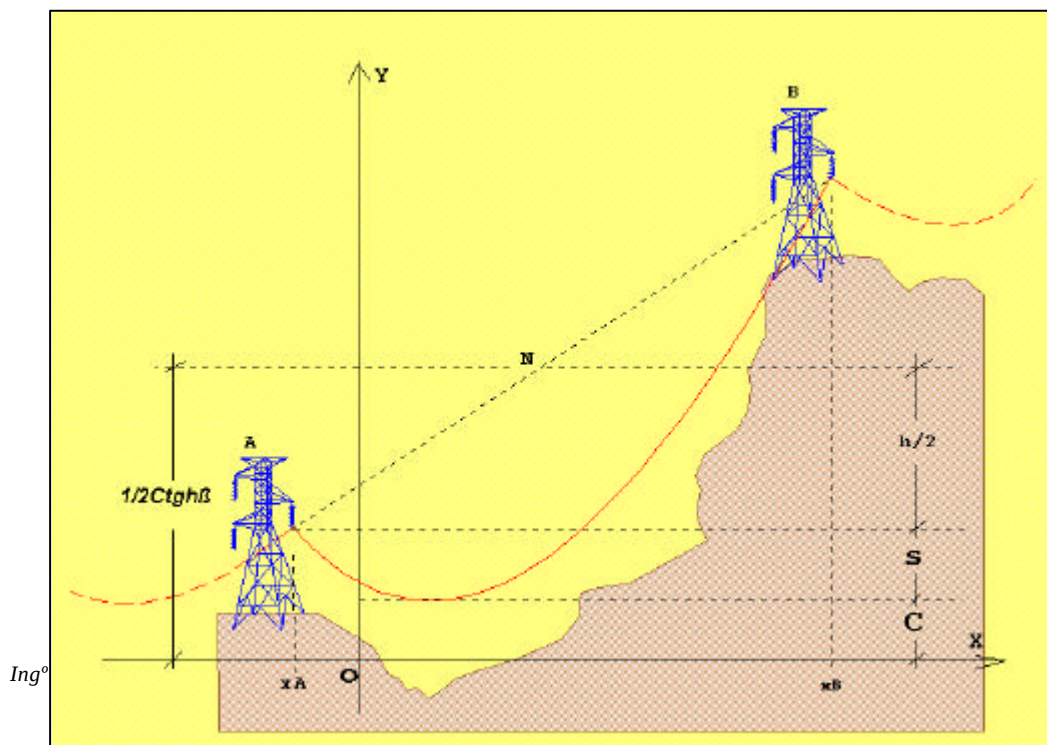


Figura 1.- Interpretación gráfica de la ecuación (20).

El punto N, es el punto medio del vano real AB, y su ordenada tiene el valor:

$$y_N = \frac{L}{2} c \operatorname{tgh} \beta$$

Por otra parte, si el desnivel es nulo, entonces:

$$h = 0$$

$$L = L' = 2.C.\sinh \beta$$

por tanto la ecuación (10) se transforma en:

$$S = \frac{L'}{2} c \operatorname{tgh} \beta - C$$

$$S = \frac{2C \sinh \beta}{2} - c \operatorname{tgh} \beta - C$$

$$S = C[\cosh \beta - 1]$$

que si comparamos con la ecuación (3), resulta que:

$$S = f'$$

lo cual es cierto para el cable desnivelado.

3.7 UBICACION DEL MEDIO VANO

La abscisa del medio vano está dada por la ecuación (6):

$$x_m = C.\alpha$$

por tanto, la ordenada correspondiente será:

$$y_m = C.\cosh\left(\frac{x_m}{C}\right)$$

o también: $y_m = C.\cosh \alpha$

Sustituyendo la ecuación (5) en (21), obtenemos:

Figura 2.- Coordenadas del medio vano, en un cable tendido.

$$y_m = C \cdot \cosh\left(\operatorname{arcsen} h \frac{h}{L'}\right)$$

de donde se deduce fácilmente:

$$y_m = C \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{h}{L'}\right)^2}$$

entonces:

$$y_m = C \cdot \left(\frac{L}{L'}\right)$$

Valor que es representado en la Fig. 2.

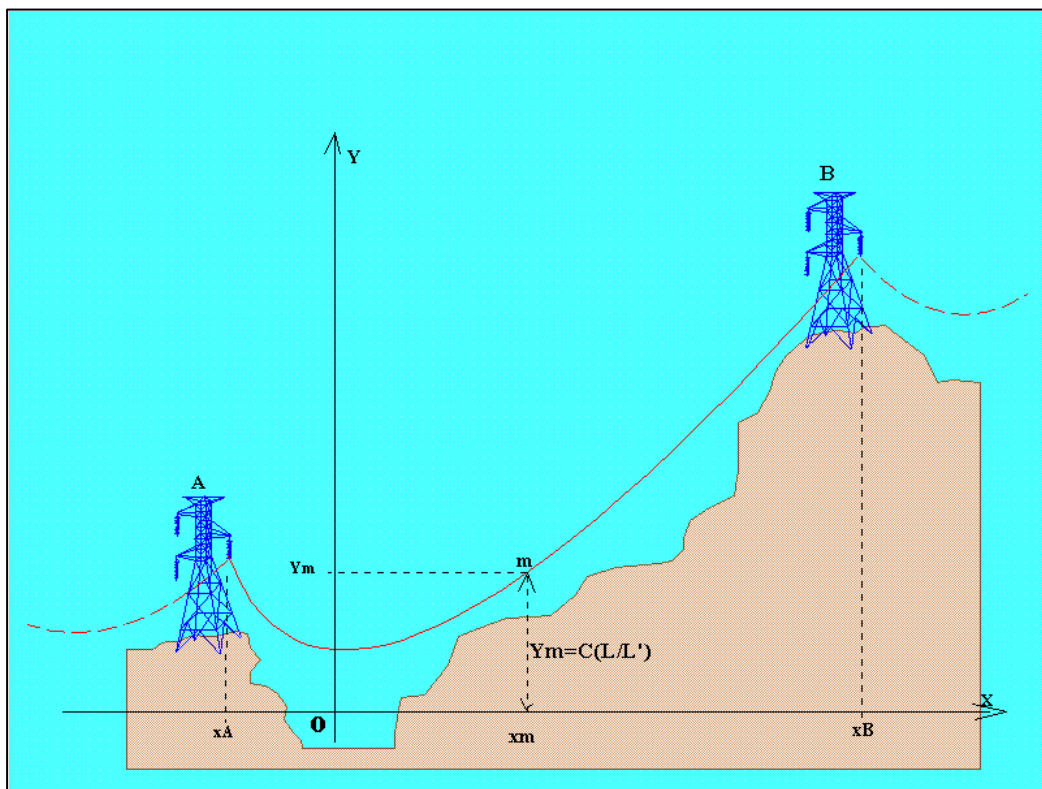


Figura 2.- Coordenadas del medio vano, en un cable tendido.

3.8 FLECHA EN FUNCION DE LA LONGITUD

Siendo **a** flecha la diferencia vertical entre el punto medio (N) del vano real representado por el segmento AB y el cable (punto M), y con ayuda de la Figura 3, tenemos que:

$$f = y_N - y_m$$

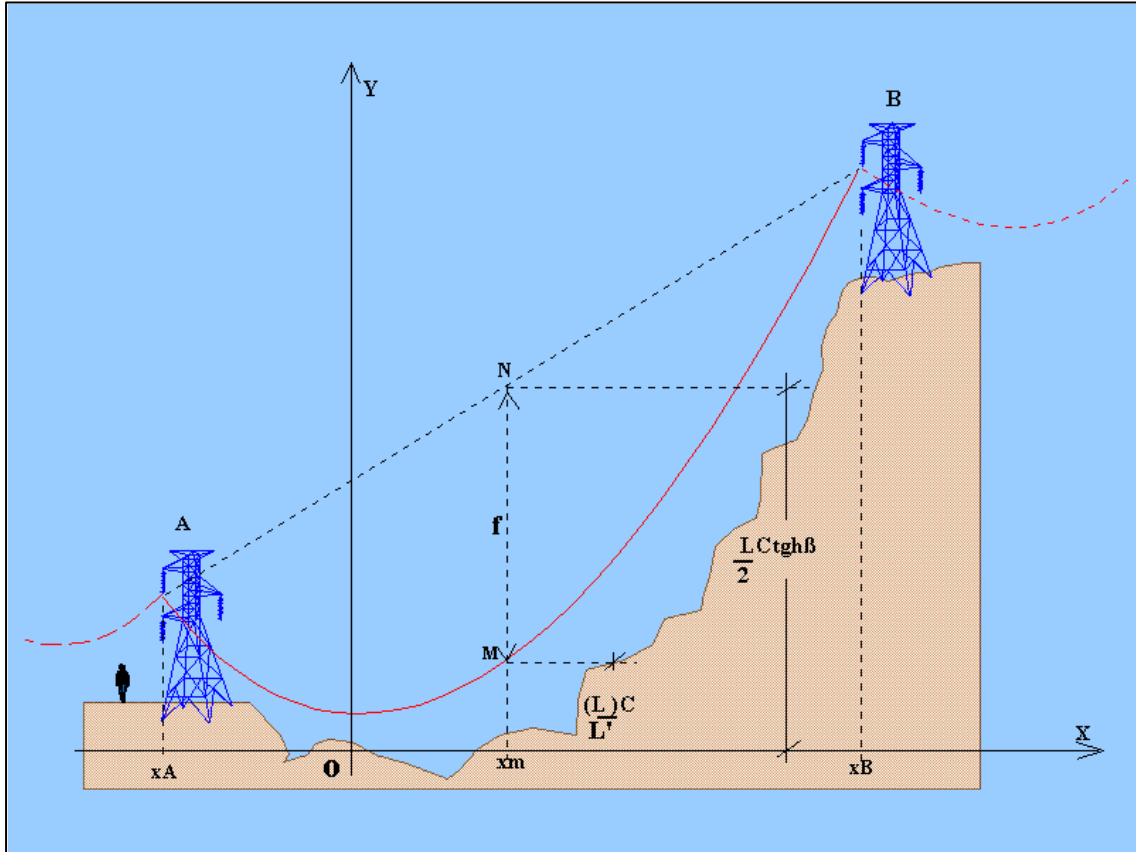


Figura 3.- Ubicación de la flecha.

Sustituyendo las ecuaciones (21) y (24) en la ecuación (25), obtenemos:

$$f = \frac{L}{2} \cdot c \operatorname{tgh} \beta - C \cdot \left(\frac{L}{L'} \right)$$

reemplazando en ésta la ecuación (2), obtenemos:

$$f = \frac{L}{2} \operatorname{ctgh} \beta - C \cdot \left(\frac{1}{2C \cdot \sinh \beta} \right)$$

por tanto:

$$f = \frac{L}{2} \cdot \operatorname{ctgh} \beta - \frac{L}{2} \cdot \operatorname{csc} h \beta$$

de donde:

$$f = \frac{L}{2} (\operatorname{ctgh} \beta - \operatorname{csc} h \beta)$$

3.9 PROPORCIONALIDAD ENTRE EL CABLE DESNIVELADO Y A NIVEL.

Si partimos de la ecuación (29):

$$f = \frac{L}{2} (\operatorname{ctgh} \beta - \operatorname{csc} h \beta)$$

que al utilizar las identidades hiperbólicas:

$$f = \frac{L}{2} \left(\frac{\cosh \beta}{\sinh \beta} - \frac{1}{\sinh \beta} \right)$$

multipliquemos la ecuación (30) por el parámetro C:

$$f = \frac{L}{2} \left(\frac{\cosh \beta - 1}{\sinh \beta} \right)$$

reemplazando las ecuaciones (2) y (3) en (31):

$$f = L \left(\frac{f'}{L'} \right)$$

de donde, finalmente:

$$\frac{L}{f} = \frac{L'}{f'}$$

por tanto, en el cable desnivelado la longitud es a su flecha, como la longitud es a su flecha en un cable nivelado.

3.10 RELACION ENTRE LA FLECHA, SAETA Y SU LONGITUD.

Si partimos de la ecuación (20):

$$S = \frac{L}{2} \operatorname{ctgh} \beta - \frac{h}{2} - C$$

que es igual a:

$$S = \frac{L}{2} \frac{\cosh \beta}{\sinh \beta} - \frac{h}{2} - C$$

aplicando artificios podemos escribir la ecuación (34) en la forma:

$$S = \frac{(\frac{L}{C}) \cdot (C \cosh \beta - C + C)}{2 \cdot \sinh \beta} - \frac{h}{2} - C$$

o también:

$$S = \frac{(\frac{L}{C}) \cdot [(C \cosh \beta - 1) + C]}{2 \cdot \sinh \beta} - \frac{h}{2} - C$$

reemplazando la ecuación (2) y (3) en (35):

$$S = \frac{L \cdot (f' + C)}{L'} - \frac{h}{2} - C$$

y si tomamos en cuenta la relación de proporcionalidad (33), obtendremos finalmente:

$$S + C + \frac{h}{2} = f + \left(\frac{L}{L'}\right)C$$

Todos los términos de la ecuación (37) tienen las dimensiones de longitud y podemos representarlas en la Fig. 4.

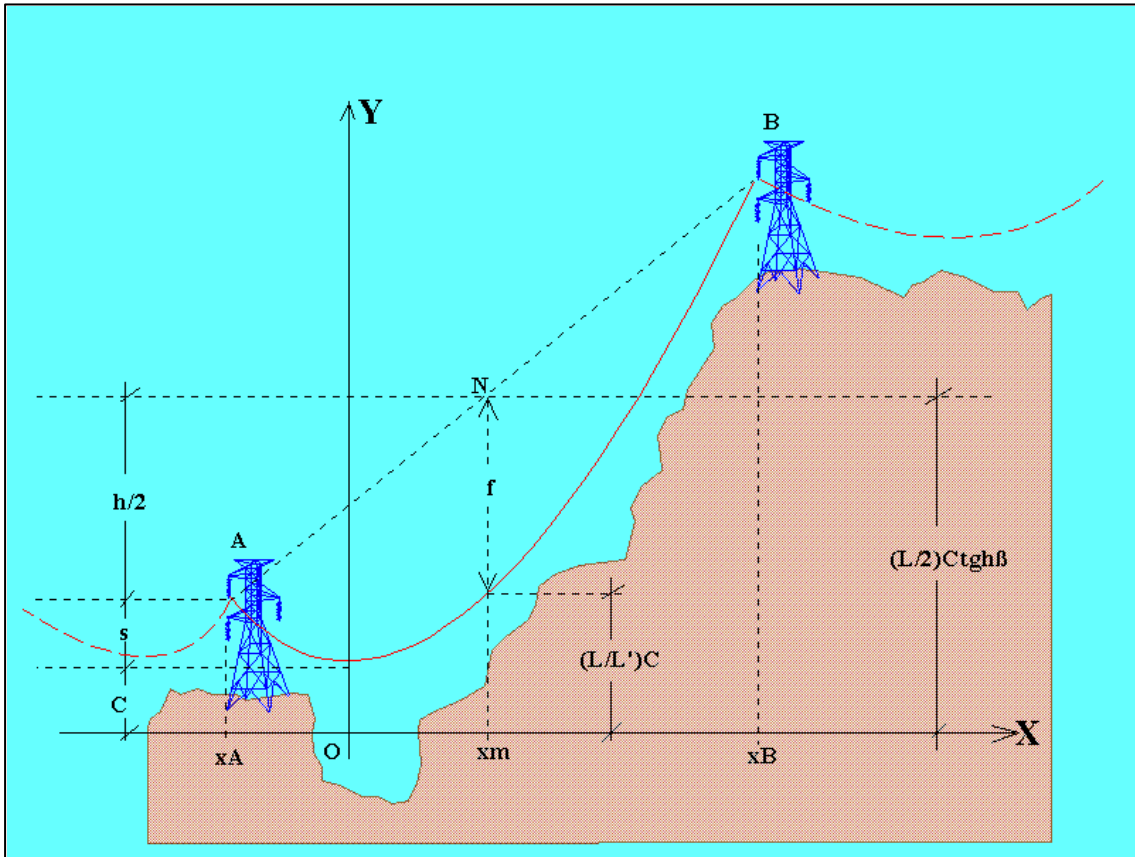


Figura 4.- Representación gráfica de la ecuación (37).

$$f = \frac{a^2}{8C} \cosh \frac{x_m}{C} \dots\dots\dots(54)$$

así mismo de la ecuación (51) obtenemos la expresión:

$$\frac{x_m}{C} = \operatorname{arcsen} h\left(\frac{h}{a}\right) \dots\dots\dots(55)$$

reemplazando esa última en la ecuación (54) tenemos:

$$f = \frac{a^2}{8C} \cosh\left(\operatorname{arcsen} h\left(\frac{h}{a}\right)\right) \dots\dots\dots(56)$$

pero también:

$$\cosh\left(\operatorname{arcsen} h\left(\frac{h}{a}\right)\right) = \sqrt{1 + \left(\frac{h}{a}\right)^2} \dots\dots\dots(57)$$

$$\cosh\left(\operatorname{arcsen} h\left(\frac{h}{a}\right)\right) = \sqrt{\frac{a^2 + h^2}{a^2}}$$

y por tanto la ecuación (56) se convierte en:

$$f = \frac{a^2}{8C} \frac{\sqrt{a^2 + h^2}}{a} \dots\dots\dots(58)$$

pero el vano real "b" es igual a la expresión:

$$b = \sqrt{a^2 + h^2} \dots\dots\dots(59)$$

entonces la ecuación (58) se convierte en:

$$f = \frac{a^2}{8C} \frac{b}{a}$$

$$f = \frac{ab}{8C} \dots\dots\dots(60)$$

reemplazemos la ecuación (60) en la ecuación (53):

$$T_b = T_m + w_c \left(\frac{ab}{8C} + \frac{h}{2} \right) \dots\dots\dots(61)$$

Calculemos ahora el tiro a medio vano, igual a:

$$T_m = T_o \cosh\left(\frac{x_m}{C}\right) \dots\dots\dots(62)$$

y tomando dos términos de la expansión de Taylor para el coseno hiperbólico, la ecuación (62) se transforma en:

$$T_m = T_o \left(1 + \frac{\left(\frac{x_m}{C}\right)^2}{2} \right) \dots\dots\dots(63)$$

pero como de la ecuación (51):

$$x_m = C \operatorname{arcsen} h \left(\frac{h}{a} \right)$$

y si lo reemplazamos en (63):

$$T_m = T_o \left(1 + \frac{(\operatorname{arcsen} h (\frac{h}{a}))^2}{2} \right)$$

y entonces:

$$T_m = T_o \left(1 + \frac{1}{2} (\operatorname{arcsen} h (\frac{h}{a}))^2 \right) \dots\dots\dots(64)$$

tomando en cuenta que el desnivel (h) y el vano (a) son conocidos, entonces la expresión:

$$K = 1 + \frac{1}{2} (\operatorname{arcsen} h (\frac{h}{a}))^2 \dots\dots\dots(65)$$

es también conocida.

Por lo que la ecuación (64) es también igual a:

$$T_m = T_o K \dots\dots\dots(66)$$

Si reemplazamos (66) en la (61) tenemos:

$$T_b = T_o K + w_c \left(\frac{ab}{8C} + \frac{h}{2} \right) \dots\dots\dots(67)$$

dividiendo por w_c :

$$\frac{T_b}{w_c} = \frac{T_o}{w_c} K + \left(\frac{ab}{8C} + \frac{h}{2} \right) \dots\dots\dots(68)$$

reemplazando el parámetro C:

$$\frac{T_b}{w_c} = CK + \frac{ab}{8C} + \frac{h}{2} \dots\dots\dots(69)$$

La ecuación (69) es de segundo grado con incógnita C, que al despejar y tomar la raíz cuadrada positiva en las raíces, se tiene:

$$C = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{K} \left(\frac{T_b}{w_c} - \frac{h}{2} \right) + \sqrt{\left(\frac{1}{K} \left(\frac{T_b}{w_c} - \frac{h}{2} \right) \right)^2 - \frac{ab}{2K}} \right) \dots\dots\dots(70)$$

3.11 TIRO MAXIMO EN FUNCION DEL DESNIVEL Y LONGITUD.

Consideramos tiro máximo en un cable tendido, al ubicado en el extremo superior y cuyo valor es:

$$T_B = T_0 \cdot \cosh\left(\frac{x_B}{C}\right)$$

si sustituimos la ecuación (8) en 39:

$$T_B = T_0 \cdot \cosh\left(\frac{C\alpha + a/2}{C}\right)$$

$$T_B = T_0 \cdot \cosh\left(\alpha + \frac{a}{2C}\right)$$

y si tenemos en cuenta la ecuación (1):

$$T_B = T_0 \cdot \cosh(\alpha + \beta)$$

desarrollemos el coseno hiperbólico y obtendremos:

$$T_B = T_0 \cdot (\cosh \alpha \cdot \cosh \beta + \sinh \alpha \cdot \sinh \beta)$$

pero, de la ecuación (5):

$$\alpha = \operatorname{arcsen} h\left(\frac{h}{L'}\right)$$

entonces:

$$\cosh \alpha = \sqrt{1 + \left(\frac{h}{L'}\right)^2} = \frac{L}{L'}$$

$$\sinh \alpha = \frac{h}{L'}$$

si (44) y (45) sustituimos en 43:

$$T_B = T_0 \cdot \left(\frac{L}{L'} \cosh \beta + \frac{h}{L'} \sinh \beta\right)$$

pero como:

$$T_0 = C \cdot w \quad \text{y} \quad L' = 2C \cdot \sinh \beta$$

entonces:

$$T_B = C \cdot w \cdot \left(\frac{L \cdot \cosh \beta}{2C \cdot \sinh \beta} + \frac{h \cdot \sinh \beta}{2C \cdot \sinh \beta}\right)$$

simplificando

$$T_B = C \cdot w \cdot \left(\frac{L}{2C} \cdot \coth \beta + \frac{h}{2C}\right)$$

finalmente:

$$T_B = \frac{w}{2} \cdot (L \cdot \coth \beta + h)$$

3.13 RELACION ENTRE LOS ANGULO HIPERBOLICOS DE SOBRETIRO, NIVEL Y DESNIVEL.

La ecuación (42) es:

$$T_B = T_0 \cdot \cosh(\alpha + \beta)$$

de donde:

$$\cosh(\alpha + \beta) = \frac{T_B}{T_0}$$

pero de la ecuación (9) deducimos:

$$\frac{T_B}{T_0} = \cosh \varepsilon$$

que al sustituir en la ecuación (53) obtendremos:

$$\cosh(\alpha + \beta) = \cosh \varepsilon$$

entonces:

$$\varepsilon = \alpha + \beta$$

lo que significa que la suma de los ángulo hiperbólicos de nivel y desnivel es igual al ángulo de sobretiro.

3.14 DESNIVEL EN FUNCION DEL ANGULO DE SOBRETIRO.

De la ecuación (5), obtenemos:

$$\frac{h}{L'} = \sinh \alpha$$

pero como:

$$\varepsilon = \alpha + \beta$$

entonces, la ecuación (56) se transforma en:

$$\frac{h}{L'} = \sinh(\varepsilon - \beta)$$

de donde:

$$h = L' \cdot \sinh(\varepsilon - \beta)$$

Esta ecuación, permite calcular el desnivel máximo permisible de instalación, teniendo como dato el tiro máximo (en el extremo superior T_B).

También, si el desnivel es nulo ($h=0$), entonces:

$$\varepsilon = \beta$$

$$\operatorname{arccosh}\left(\frac{T_B}{T_0}\right) = \alpha + \beta$$

de donde:

$$T_B = T_0 \cdot \cosh \beta$$

lo cual es conforme.

Si el desnivel es positivo (es decir, el extremo B en elevación respecto al extremo A), entonces:

$$h = L' \cdot \sinh(\epsilon - \beta) > 0$$

lo que obliga a deducir que:

$$\epsilon > \beta$$

entonces:

$$\operatorname{arccosh}\left(\frac{T_B}{T_0}\right) > \beta$$

de donde se deduce que:

$$T_B > T_0 \cdot \cosh \beta$$

lo cual es cierto, porque el segundo miembro de la desigualdad es el tiro en el extremo del cable a nivel.

En el caso que el desnivel es negativo (extremo B en depresión respecto al extremo A), entonces:

$$T_B < T_0 \cdot \cosh \beta$$

3.15 SAETA EN FUNCION DEL ANGULO DE SOBRETIRO.

De la ecuación (52):

$$T_B = w(C + S + h)$$

de donde podemos deducir que:

$$T_B = w.C + w.(S + h)$$

de donde, a su vez:

$$T_B = T_0 + w.(S + h)$$

de donde, si despejamos el valor de la saeta:

$$S = T_B - \frac{T_0}{w} - h$$

dividiendo la fracción por T_0

$$S = \frac{\left(\frac{T_B}{T_0}\right) - 1}{\left(\frac{w}{T_0}\right)} - h$$

entonces:

$$S = C \left(\frac{T_B}{T_0} - 1 \right) - h$$

finalmente:

$$S = C (\cosh \epsilon - 1) - h$$

Esta última ecuación (60), podemos desdoblar en sus términos:

$$S = C \cdot \cosh \epsilon - C - h$$

y que podemos representarla en la Figura 6:

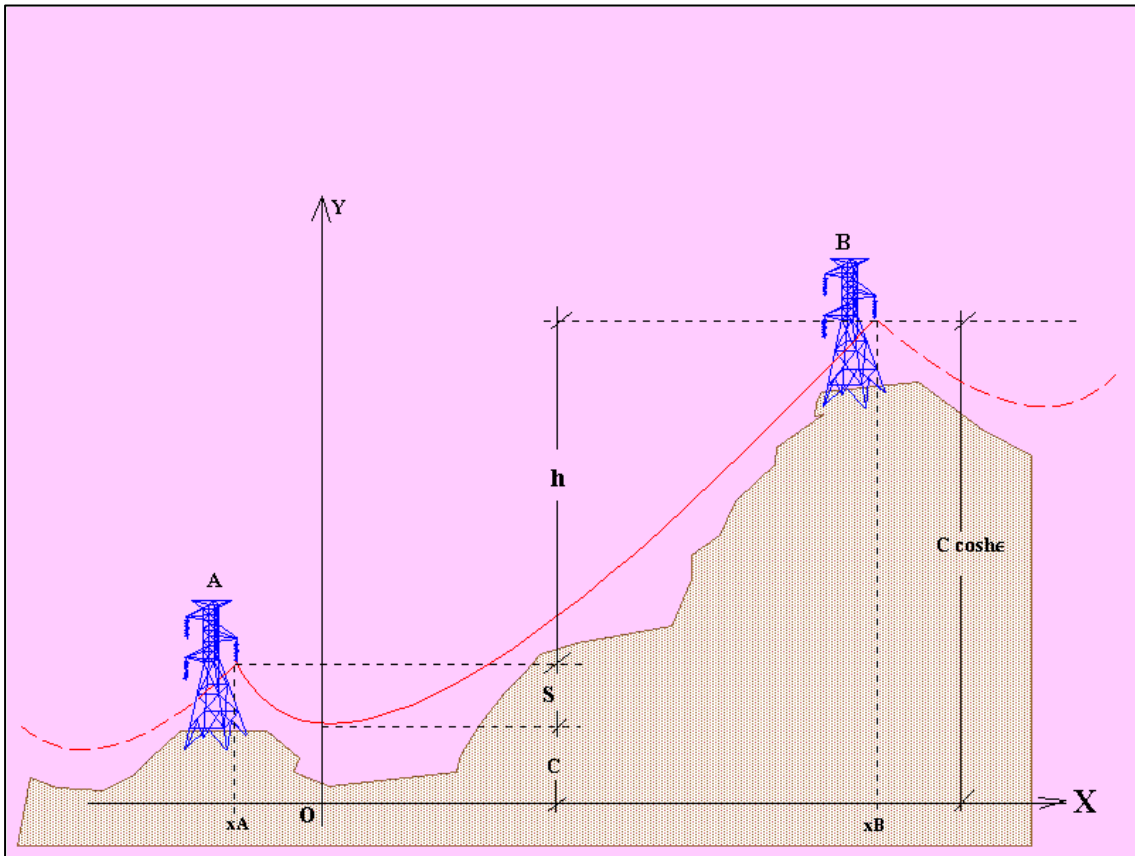


Figura 6.- Representación de la ecuación (68).

3.16 FLECHA EN FUNCION DE LOS ANGULOS HIPERBOLICOS DE SOBRETIRO Y DESNIVEL.

De la ecuación (37), podemos escribir:

$$f = S + C + \frac{h}{2} - \left(\frac{L}{L'} \right) \cdot C$$

Si sustituimos la ecuación (68), obtendremos entonces:

$$f = C (\cosh \epsilon - 1) - h + C + \frac{h}{2} - \left(\frac{L}{L'} \right) \cdot C$$

Simplificando:

$$f = C \cdot \cosh \epsilon - \frac{h}{2} - \left(\frac{L}{L'} \right) \cdot C$$

pero la ecuación (44) es:

$$\left(\frac{L}{L'} \right) = \cosh \alpha$$

que al sustituir en la (71):

$$f = C \cdot \cosh \epsilon - \frac{h}{2} - C \cdot \cosh \alpha$$

entonces finalmente:

$$f = C \cdot (\cosh \epsilon - \cosh \alpha) - \frac{h}{2}$$

La ecuación (73) se puede desagregar en sus términos:

$$f = C \cdot \cosh \epsilon - C \cdot \cosh \alpha - \frac{h}{2}$$

que podemos representarla en la Figura 7.

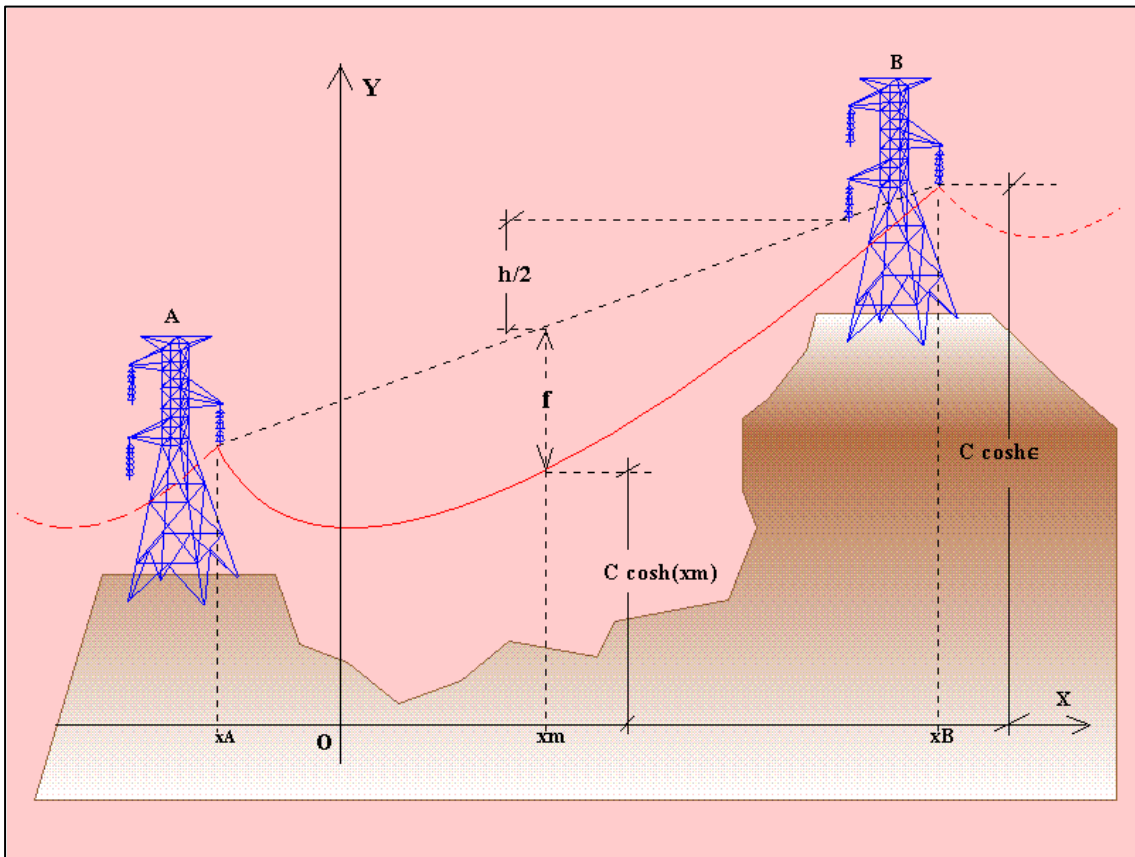


Figura 7.- Flecha en función de los ángulos de sobretiro y desnivel.

3.17 TIROS EN LOS EXTREMOS EN FUNCIÓN DE LOS ÁNGULOS HIPERBÓLICOS.

El tiro en el extremo izquierdo (A) es:

$$T_A = T_0 \cdot \cosh\left(\frac{x_A}{C}\right)$$

si sustituimos la ecuación (7):

$$T_A = T_0 \cdot \cosh\left(\frac{\alpha \cdot C - \frac{a}{2}}{C}\right)$$

de donde:

$$T_A = T_0 \cdot \cosh\left(\alpha - \frac{a}{2} C\right)$$

entonces:

$$T_A = T_0 \cdot \cosh(\alpha - \beta)$$

análogamente, deducimos para el extremo derecho B:

$$T_A = T_0 \cdot \cosh(\alpha + \beta)$$

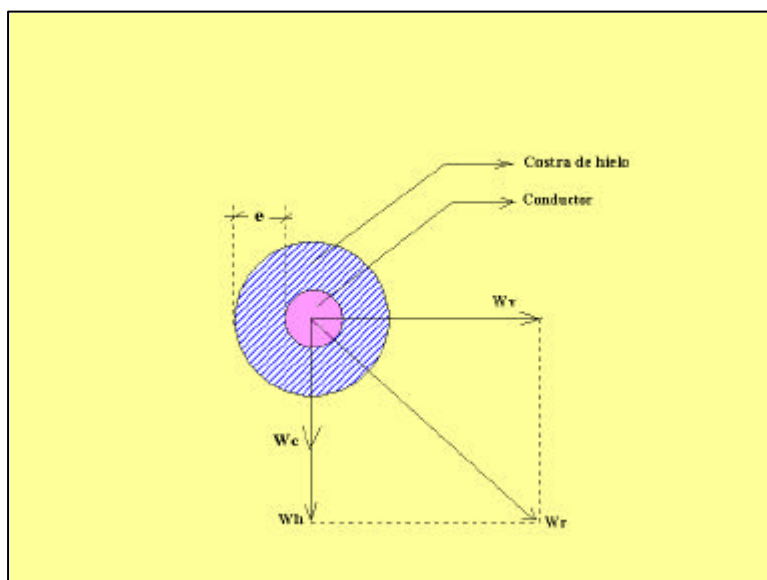
CAPITULO 4

SOBRECARGAS EN EL CONDUCTOR

4.1 CONSIDERACIONES PREVIAS

El conductor a,reo en condiciones normales de trabajo, puede estar sometido además de la carga propia (peso w_c) a otros tipos de cargas debido a las condiciones climáticas de la zona o región donde se instalar la línea; dichas cargas son:

- temperatura
- viento
- hielo
- nieve
- acción simultánea de temperatura - viento, temperatura - hielo, temperatura-viento-hielo ó temperatura-viento-nieve.



En general, la evaluación de estas cargas adicionales sobre el conductor, están basadas en observaciones meteorológicas de largos períodos, y respaldada por la experiencia en el comportamiento de otras líneas existentes, en la zona donde se proyecta la línea; pero en todo caso la solución escogida nunca será menos crítica que aquella especificada por la norma correspondiente.

El gráfico adjunto muestra el efecto de la acción simultánea de la presión del viento y la costra de hielo que se adhiera al conductor

.Por otra parte, es necesario agregar que si para la línea en proyecto se prevé condiciones climáticas muy severas de funcionamiento, siempre se seleccionarán las más confiables posibles, basado en las observaciones locales y en la experiencia.

En el Perú, y debido a las características del clima, consideramos que las sobrecargas fundamentales en el conductor se deben a la presión del viento y al peso unitario adicional de la costra del hielo.

Por esta razón el peso unitario (w_c) del conductor se ve incrementado a un valor mayor (w_r), el cual es el que deber emplearse en el análisis mecánico del cable.

Si tomamos en cuenta las denominaciones siguientes:

- w_c : peso unitario (Kg./m) del conductor.
- w_v : peso unitario (Kg./m) ocasionado por la presión de viento sobre el conductor.
- w_h : peso unitario (Kg./m) adicional, provocado por el peso del manguito de hielo.
- w_r : peso unitario (Kg./m) resultante de los tres efectos simultáneos.

Luego entonces, w_r es la suma vectorial de w_c , w_h y w_v ; por tanto:

$$w_r = \sqrt{(w_c + w_h)^2 + w_v^2} \dots\dots\dots(1)$$

y entonces, podemos llamar coeficiente de sobrecarga al valor:

$$m = \frac{w_r}{w_c} \dots\dots\dots(2)$$

Siendo evidente que en el caso que $w_h = w_v = 0$; entonces $m=1$.
así mismo, si $w_v = 0$ y $w_h \neq 0$ entonces:

$$W_r = W_c + W_h$$

Y si $w_h = 0$, entonces: $w_r = \sqrt{w_c^2 + w_v^2}$

4.2 PRESION DE VIENTO

La presión dinámica ejercida por el viento sobre el conductor origina condiciones de sobrecarga severa o vibraciones que se manifiestan en la forma de brisa, ventarrón, huracán o tornado.



Sin embargo, el viento máximo no necesariamente afecta en forma instantánea el vano horizontal completo de un soporte con vano relativamente grande.

Las velocidades al viento, están generalmente evaluadas en condiciones de campo abierto, sin embargo los accidentes geográficos (por ejemplo cañones) pueden hacer requerir una evaluación más puntual.

Cuando el soporte de línea tiene altura menor de 10m; la sobrecarga originada por el viento se determina utilizando una presión de viento constante; si son mayores, entonces será necesario considerar carga mayor.

Por otra parte si la presión dinámica ejercida por el viento sobre una superficie está dada por:

$$P_v = \frac{Qv^2}{2g} \quad \text{Kg/m}^2 \dots\dots\dots(3)$$

donde:

Q: Peso del aire, por unidad de volumen (1.225Kg/m³)

g: aceleración de la gravedad (9.81m/seg²)

v: velocidad del viento (m/seg)

Pero a fin de tener en cuenta el efecto aerodinámico de la superficie, introduciremos el coeficiente C_a ; por lo que:

$$P_v = \frac{C_a Qv^2}{2g} \quad \text{Kg/m}^2 \dots\dots\dots(4)$$

donde, para:

	C_a
Conductores	1,0
Estructuras	2,0

Sustituyendo datos:

Para conductores:

$$p_v = \frac{(1)(1,225)v^2}{2(9,81)} = 0,0624 v^2 \quad \text{kg/m}^2 \dots\dots\dots(5)$$

v = velocidad del viento en m/s;

que expresando v en km/H obtendremos:

$$p_v = 0,00481 v^2 \quad \dots\dots\dots(6)$$

En **estructuras**; siendo el coeficiente aerodinámico $C_a = 2$, la presión de viento será el doble que para conductores; y por tanto:

$$p_v = 0,01248 v^2 \text{ si } v \text{ es en m/s}$$

$$p_v = 0,00962 v^2 \text{ si } v \text{ es KPH}$$

En **aisladores**; en promedio, los países consideran un 25% adicional de presión de viento que para conductores y por esta razón, el coeficiente $C_a = 1.25$, obteniendo los resultados:

$$p_v = 0,078 v^2 \text{ si } v \text{ es en m/s}$$

$$p_v = 0,006 v^2 \text{ si } v \text{ es en KPH}$$

4.3 VELOCIDAD DEL VIENTO

La velocidad del viento, generalmente está normado en cada país donde se efectúa un diseño. En el Perú son:

ZONA	VELOCIDAD DEL VIENTO (KPH)	AREAS DEL PERU
I	60	Tumbes, Piura, Lambayeque, La Libertad, Amazonas, Loreto.
II	75	Ancash, Lima, San Martín, Huánuco, Cerro de Pasco, Junín.
III	90	Resto del País.

Estas velocidades de viento dadas son para una altura promedio hasta de 10m sobre la superficie, y por tanto para estructuras soporte de mayor altura deberán efectuarse la corrección según la relación:

$$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{h_1}{h_2}}$$

Por ejemplo, si la velocidad del viento, en algún lugar, es de 20m/seg (a 10m de la superficie); entonces, para una estructura alta con conductores a 40m de la superficie, la velocidad de viento corregida

será:
$$\frac{v_1}{20} = \sqrt[7]{\frac{40}{10}} \quad v_1 = 24,38 \text{ m/s}$$

4.4 PRESION UNITARIA DEL VIENTO

La presión unitaria del viento en kg/m, sobre el conductor depende de la velocidad del viento y el área de la sección transversal expuesta al viento.

Si ϕ_c es el diámetro (mm) del conductor, con costra de hielo de e (mm) de espesor; entonces, la presión unitaria del viento, sobre los conductores será:

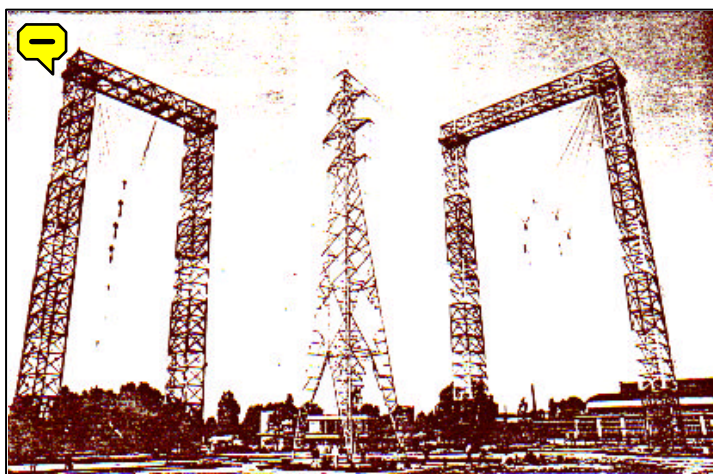
$$w_v = p_v \frac{(f_c + 2e)}{1000} \quad w_v = 0,00481 v^2 \frac{(f_c + 2e)}{1000} \quad \dots\dots\dots(7)$$

Formula debida a Buck en unidades Kg/m

Donde:

- v : velocidad del viento en kph
- ϕ_c : diámetro del conductor en mm
- e : costra de hielo sobre el conductor, en mm.

4.5 PESO UNITARIO DEL HIELO



Por efecto de la congelación de la lluvia que se adhiere sobre la superficie del conductor de la línea aérea, se origina una sobrecarga adicional al conductor.

El hielo es originado a temperaturas algo menores a 0°C y el efecto de la altura sobre el nivel del mar no está aún definido; en el Perú, las alturas mayores de 2800msnm, prácticamente representan zonas de hielo.

Sin embargo, la presencia del hielo no tiene carácter regular, sólo se presenta en determinadas épocas del año y con intensidad muy variable.

El peso específico del hielo es débil, sin embargo, cuando se adhiere al conductor su peso fácilmente sobrepasa incluso el peso propio del conductor.

Es importante, también analizar el efecto que origina una sobrecarga de hielo diferente a ambos vanos adyacentes a un soporte; el resultado, como es lógico, es un tiro diferente a ambos lados, originando una resultante (kg) en la estructura; así mismo en el momento del deshielo, el manguito se desprende bruscamente del cable conductor; esta caída evidentemente no sincronizada en todos los vanos, hace aparecer tiros longitudinales que se complican con efectos dinámicos.

Si ϕ_c (mm) es el diámetro del conductor, con manguito de e (mm) de costra; entonces la superficie neta de costra de hielo (S_h) será:

$$S_h = \frac{p}{4} (f_c + 2e)^2 - f_c^2 \quad \text{mm}^2$$

que al simplificar, se obtiene:

$$S_h = p (e^2 + e f_c) \quad \text{mm}^2$$

y que en m^2 es igual a la expresión:

$$S_h = 10^{-6} p (e^2 + e f_c) \quad \text{m}^2$$

Considerando, que la densidad del hielo es 897.12 kg/m^3 , por tanto el peso unitario será:

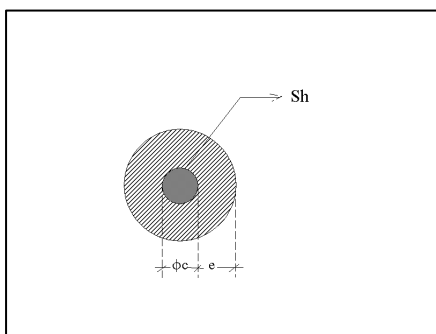
$$w_h = 897,12 p 10^{-6} (e^2 + e f_c) \quad \text{kg/m}$$

entonces:

$$w_h = 0,0029 (e^2 + e f_c) \quad \text{kg/m} \dots \dots \dots (8)$$

donde:

- e : costra de hielo (mm)
- ϕ_c : diámetro del conductor (mm)
- w_h : peso unitario del hielo (kg/m).



4.6 APLICACIONES PRACTICAS**Problema N° 1. -:**

Un conductor, en cierto vano, y bajo diferentes circunstancias climáticas, estará sometido a las condiciones siguientes:

<i>Hipót</i>	<i>Temp</i>	<i>Viento</i>	<i>Hielo</i>
	$^{\circ}C$	kg/m^2	mm
<i>I</i>	-15	19,5	12,7
<i>II</i>	0	39	6,35
<i>III</i>	5	10	4

Si el peso unitario del conductor es 0.790 kg/m, y su diámetro 18.8 mm. Determinar cuál de las condiciones somete al conductor a mayor sobrecarga.

Solución:

Condición I:

$$\text{viento: } w_v = p_v \frac{(f_c + 2e)}{1000} \quad w_v = 19,5 \frac{(18,8 + 2 \times 0,790 e)}{1000} = 0,397 \text{ kg/m}$$

$$\text{hielo: } w_h = 0,0029 (e^2 + e f_c) \quad w_h = 0,0029 (12,7^2 + 12,7 \times 18,8) = 1,16 \text{ kg/m}$$

$$\text{Peso unitario resultante: } w_r = \sqrt{(w_c + w_h)^2 + w_v^2} \quad w_r = \sqrt{(0,790 + 1,16)^2 + 0,397^2} = 1,9902 \text{ kg/m}$$

$$\text{Coeficiente de sobrecarga: } m = \frac{w_r}{w_c} \quad m_1 = \frac{1,9902}{0,790} = 2,519$$

Condición II:

$$\text{viento: } w_v = p_v \frac{(f_c + 2e)}{1000} \quad w_v = 39 \frac{(18,8 + 2 \times 6,35)}{1000} = 2,06787 \text{ kg/m}$$

$$\text{hielo: } w_h = 0,0029 (e^2 + e f_c) \quad w_h = 0,0029 (6,35^2 + 6,35 \times 18,8) = 0,4631 \text{ kg/m}$$

$$\text{Peso unitario resultante: } w_r = \sqrt{(0,790 + 0,4631)^2 + 2,06787^2} = 2,4179 \text{ kg/m}$$

$$\text{Coeficiente de sobrecarga: } m_2 = \frac{2,4179}{0,790} = 3,06$$

Condición III:

$$\text{viento: } w_v = 10 \frac{(18,8 + 2 \times 4,0)}{1000} = 0,268 \text{ kg/m}$$

hielo: $w_h = 0,0029(4,0^2 + 4,0 \times 18,8) = 0,26448 \text{ kg/m}$

peso unitario resultante: $w_r = \sqrt{(0,790 + 0,26448)^2 + 0,268^2} = 1,088 \text{ kg/m}$

coeficiente de sobrecarga: $m_3 = \frac{1,088}{0,790} = 1,377$

Conclusión: $m_2 > m_1 > m_3$ Por lo que la condición más exigente para el conductor extendido es la Hipótesis II

Problema N° 2.

El conductor ORIOL, se encuentra suspendido entre 2 torres ubicadas en una Línea de Transmisión en el Departamento de Junín (Perú), con vano 450m; si el cable ($w_c = 0.790 \text{ kg/m}$, $TR = 7730\text{kg}$, $\phi_c = 18.8\text{mm}$) trabaja (en un determinado instante) con $To = 1405,45 \text{ kg}$ (en su vértice).

Determinar la flecha del cable considerando la presión del viento en Junín y una costra de hielo de 12.7mm.

Solución:

Sobrecarga de hielo: $w_h = 0,0029(e^2 + e f_c) \quad w_h = 0,0029(12,7^2 + 12,7 \times 18,8) = 1,160 \text{ kg/m}$

Sobrecarga de viento: $p_v = 0,00481 \times 75^2 = 23,625 \text{ kg/m}^2$

$$w_v = p_v \frac{(f_c + 2e)}{1000} \quad w_v = 23,625 \frac{(18,8 + 2 \times 12,7)}{1000} = 1,044 \text{ kg/m}$$

Peso total con sobrecargas: $w_r = \sqrt{(w_c + w_h)^2 + w_v^2} \quad w_r = \sqrt{(0,790 + 1,160)^2 + 1,044^2} = 2,21 \text{ kg/m}$

Parámetro de la catenaria: $C = \frac{To}{w_r} = \frac{1405,45}{2,21} = 635,95 \text{ m}$

Flecha del conductor: $f' = \frac{a^2}{8C} = \frac{450^2}{8 \times 635,95} = 39,8 \text{ m}$

Problema N° 3

El conductor Grulla (ACSR, 1680Kg/m, $TR=14240\text{Kg}$, diámetro 29.1mm), suspendido en un vano de 460m, sometido a la presión de viento de 70Kg/m^2 y 12.7mm de costra de hielo, si la temperatura es de 0°C y el tiro (horizontal) es de 2 966,7 kg. Determinar la longitud del cable.

Solución: $w_v = p_v \frac{(f_c + 2e)}{1000} = 70 \frac{(29,1 + 2 \times 12,7)}{1000} = 3,815 \text{ kg/m}$

$$w_h = 0,0029(e^2 + e f_c) = 0,0029(12,7^2 + 12,7 \times 29,1) = 1,54 \text{ kg/m}$$

$$w_r = \sqrt{(w_c + w_h)^2 + w_v^2} = \sqrt{(1,680 + 1,54)^2 + 3,815^2} = 4,99 \text{ kg/m}$$

$$C = \frac{T_o}{w_r} = \frac{2966,7}{4,99} = 594,529 \text{ m}$$

$$L' = a + \frac{a^3}{24C^2} = 460 + \frac{460^3}{24 \times 594,529^2} = 471,474 \text{ m}$$

Problema N° 4

El conductor Falcon (ACSR, 39.2mm ϕ , 3.040Kg/m, TR= 25400kg), está suspendido en un vano de 1400m, si a la temperatura de 0°C, tiene una costra de hielo de 6.35mm, y un tiro en el vértice de 5291,67kg, determinar la saeta del cable, si el desnivel es 160m.

Solución: $w_h = 0,0029 (e^2 + e f_c) = 0,0029 (6,35^2 + 6,35 \times 39,2) = 0,84 \text{ kg / m}$

$$w_r = w_c + w_h = 3,040 + 0,84 = 3,88 \text{ kg / m}$$

$$C = \frac{T_o}{w_r} = \frac{5291,67}{3,88} = 1363,83 \text{ m}$$

Determinación de la abscisa del medio vano x_m

Longitud si el vano fuera a nivel:

$$L' = 2C \sinh\left(\frac{a}{2C}\right) = 2 \times 1363,83 \sinh\left(\frac{1400}{2 \times 1363,83}\right) = 1462,2832 \text{ m}$$

entonces:

$$x_m = C \operatorname{arcsen} h\left(\frac{h}{L'}\right) = 1363,83 \operatorname{arcsen} h\left(\frac{160}{1462,2832}\right) = 148,9313 \text{ m}$$

Abscisas de los extremos:

$$x_a = 148,9313 - \frac{1400}{2} = -551,068 \text{ m}$$

$$x_b = x_m + \frac{a}{2} = 148,9313 + \frac{1400}{2} = +848,9313 \text{ m}$$

Saeta:

$$s = C(\cosh\left(\frac{x_a}{C}\right) - 1) = 1363,83(\cosh\left(\frac{-551,068}{1363,83}\right) - 1) = 112,855 \text{ m}$$

Problema N° 5

Un conductor ACSR (125.1mm², 14.31mmφ, TR=3777Kg, 0.435Kg/m), está suspendido en un vano de 620m, desnivel 112m; si a la temperatura de -5°C está sometido a la presión de viento de 19.5Kg/m² y 6.35mm de hielo, con un tiro horizontal de 800.2 kg.

Calcular la longitud, flecha y saeta del cable, así como la tensión en los extremos y a 75% del vano.
Solución:

$$w_v = p_v \frac{(f_c + 2e)}{1000} = 19.5 \frac{(14.31 + 2 \times 6.35)}{1000} = 0.526 \text{ kg/m}$$

$$w_h = 0.0029(6.35^2 + 6.35 \times 14.31) = 0.38 \text{ kg/m}$$

$$w_r = \sqrt{(w_c + w_h)^2 + w_v^2} = \sqrt{(0.435 + 0.38)^2 + 0.526^2} = 0.97 \text{ kg/m}$$

$$C = \frac{T_o}{w_r} = \frac{800.2}{0.97} = 824.95 \text{ m}$$

Abcisa del medio vano xm

$$L' = 2C \sinh\left(\frac{a}{2C}\right) = 2 \times 824.95 \sinh\left(\frac{620}{2 \times 824.95}\right) = 634.695 \text{ m}$$

$$x_m = C \operatorname{arcsen} h\left(\frac{h}{L'}\right) = 824.95 \operatorname{arcsen} h\left(\frac{120}{634.695}\right) = 146.33 \text{ m}$$

Ubicación de los extremos:

$$x_a = x_m - \frac{a}{2} = 146.33 - \frac{620}{2} = -163.67 \text{ m}$$

$$x_b = x_m + \frac{a}{2} = 146.33 + \frac{620}{2} = +456.33 \text{ m}$$

flecha:

$$f' = C(\cosh\left(\frac{a}{2C}\right) - 1) = 824.95(\cosh\left(\frac{620}{2 \times 824.95}\right) - 1) = 58.934 \text{ m}$$

$$f = f' \cosh\left(\frac{x_m}{C}\right) = 58.934 \cosh\left(\frac{146.33}{824.95}\right) = 59.86 \text{ m}$$

saeta:

$$s = C(\cosh\left(\frac{x_a}{C}\right) - 1) = 824.95(\cosh\left(\frac{-163.67}{824.95}\right) - 1) = 16.28 \text{ m}$$

tiro en los extremos:

$$T_a = T_o \cosh\left(\frac{x_a}{C}\right) = 800.2 \cosh\left(\frac{-163.67}{824.95}\right) = 816 \text{ kg}$$

$$T_b = T_o \cosh\left(\frac{x_b}{C}\right) = 800.2 \cosh\left(\frac{456.33}{824.95}\right) = 925.7791 \text{ kg}$$

Tiro a 75% del vano: 0.75(620)= 465m

$$x = x_a + 465 = -163,67 + 465 = +301,33m$$

$$T_x = T_o \cosh\left(\frac{x}{C}\right) = 800,2 \cosh\left(\frac{301,33}{824,95}\right) = 854,1786kg$$

CAPITULO 5

ECUACION DE CAMBIO DE ESTADO (ECE)

5.1 CONSIDERACIONES PREVIAS

Tendido el conductor y en condiciones de servicio normal, éste se ve sometido a los efectos de cambios en la presión de viento ó el peso adicional de costra de hielo según donde se instale la línea.

Estas circunstancias hacen que el cable no mantenga est tica su ecuación, y por tanto su parámetro es cambiante.

Es posible deducir una ecuación que teniendo como dato un tiro inicial (o esfuerzo inicial) en determinadas condiciones, calcular un tiro final en otras condiciones.

Esta ecuación se denomina ECUACION DE CAMBIO DE ESTADO (ECE) del conductor.

5.2 ECE PARA VANOS A NIVEL

La variación de longitud del conductor por cambio de condiciones, es igual a la variación de bngitud debido al cambio de temperatura (DILATACION) más el debido a efecto de HOOK; es decir:

$$\Delta L = \Delta \text{Dilatación} + \Delta \text{Tiro} \dots \dots \dots (1)$$

$$\text{ó también: } L_2 - L_1 = a(q_2 - q_1)a + \left(\frac{T_{o2} - T_{o1}}{AE}\right)a \dots \dots \dots (2)$$

que es la ECE del cable conductor donde:

$L_2 - L_1$: variación total de longitud del cable conductor.

$a(q_2 - q_1)a$: variación de longitud debido al cambio de temperatura al pasar de t_1 a t_2 °C y a es el coeficiente de dilatación térmica del cable (/°C); en un vano de "a" metros.

$\left(\frac{T_{o2} - T_{o1}}{AE}\right)a$: variación de longitud del conductor debido al cambio el tiro (Kg) a que es sometido siendo E el coeficiente de elasticidad característico del cable, A es la sección del cable y los tiros (T_{o1} , T_{o2}) inicial y final en kilogramos.

Determinemos el valor de $L_2 - L_1$:

$$\text{Sabemos que: } L' = a + \frac{a^3}{24C^2}$$

Por tanto:
$$L_2 = a + \frac{a^3}{24C_2^2} \quad L_1 = a + \frac{a^3}{24C_1^2}$$

restando obtenemos:

$$L_2 - L_1 = \frac{a^3}{24C_2^2} - \frac{a^3}{24C_1^2}$$

de donde finalmente:

$$L_2 - L_1 = \frac{a^3 w_{r2}^2}{24T_{o2}^2} - \frac{a^3 w_{r1}^2}{24T_{o1}^2}$$

Al considerar que:
$$C = \frac{T_o}{w_r}$$

Reemplazando en la ecuación (2) tenemos:

$$\frac{a^3 w_{r2}^2}{24T_{o2}^2} - \frac{a^3 w_{r1}^2}{24T_{o1}^2} = a(q_2 - q_1)a + \left(\frac{T_{o2} - T_{o1}}{AE}\right)a \dots\dots\dots(3)$$

En ésta ecuación la incógnita es T_{o2} , siendo los demás parámetros conocidos.

Dando la forma adecuada:

$$T_{o2}^2 \left[T_{o2} + aE(q_2 - q_1)A + \frac{w_{r1}^2 a^2 AE}{24T_{o1}^2} - T_{o1} \right] = \frac{w_{r2}^2 a^2 AE}{24} \dots\dots\dots(4)$$

y si introducimos el concepto de esfuerzo unitario (σ_o en kg/mm^2):
$$s_o = \frac{T_o}{A} \dots\dots\dots(5)$$

Por tanto la ecuación (4) se transforma en:

$$s_{o2}^2 \left[s_{o2} + aE(q_2 - q_1) + \frac{w_{r1}^2 a^2 E}{24A^2 s_{o1}^2} - s_{o1} \right] = \frac{w_{r2}^2 a^2 E}{24A^2} \dots\dots\dots(6)$$

donde:

σ_{o2} : esfuerzo (Kg/mm^2) a determinar en la condición 2;
teniendo como dato σ_{o1} (esfuerzo en la condición inicial 1)

α : coeficiente de la dilatación térmica ($1/^\circ\text{C}$)

E : módulo de elasticidad (Kg/mm^2)

A : sección (mm^2) del cable.

a : vano de cálculo (m)

w_{r1}, w_{r2} : peso unitario (kg/m) del conductor, incluye sobrecargas, condiciones inicial y final.

θ_1, θ_2 : temperaturas ($^\circ\text{C}$) en las condiciones 1 y 2 respectivamente.

5.3 ECUACION DE CAMBIO DE ESTADO PARA VANOS A DESNIVEL

Evidentemente, cuando dos soportes se encuentran instalados a diferente nivel y con vanos amplios, entonces el vano horizontal "a" incluido en la ecuación de cambio de estado, no representa ni por aproximación, la longitud real del cable.

Será necesario pues, incluir ahora el concepto de vano real "b" y ángulo de desnivel δ que permitirán "corregir" la ecuación de cambio de condiciones para obtener con ella resultados más aceptables.

Recordemos que para vanos a nivel, la ECE, inicialmente representada por la ecuación (2) era:

$$L_2 - L_1 = a(q_2 - q_1)a + \left(\frac{T_{o2} - T_{o1}}{AE}\right)a$$

que en función de los esfuerzos, es equivalente a:

$$L_2 - L_1 = a(q_2 - q_1)a + \left(\frac{s_{o2} - s_{o1}}{E}\right)a \dots\dots\dots(7)$$

y como la longitud del cable es: $L' = a + \frac{a^3}{24C^2}$

entonces la diferencia de longitudes será:

$$L_2 - L_1 = \frac{a^3}{24} \left(\frac{1}{C_2^2} - \frac{1}{C_1^2} \right) \dots\dots\dots(8)$$

siendo el parámetro: $C = \frac{s_o A}{w_r}$

entonces la diferencia de longitudes será también igual a:

$$L_2 - L_1 = \frac{a^3}{24} \left(\frac{w_{r2}^2}{s_{o2}^2 A^2} - \frac{w_{r1}^2}{s_{o1}^2 A^2} \right) \dots\dots\dots(9)$$

por tanto deducimos fácilmente que:

$$L_2 - L_1 = a(q_2 - q_1)a + \left(\frac{s_{o2} - s_{o1}}{E}\right)a = \frac{a^3}{24A^2} \left(\frac{w_{r2}^2}{s_{o2}^2} - \frac{w_{r1}^2}{s_{o1}^2} \right) \dots\dots\dots(10)$$

en donde si dividimos por "a", obtenemos:

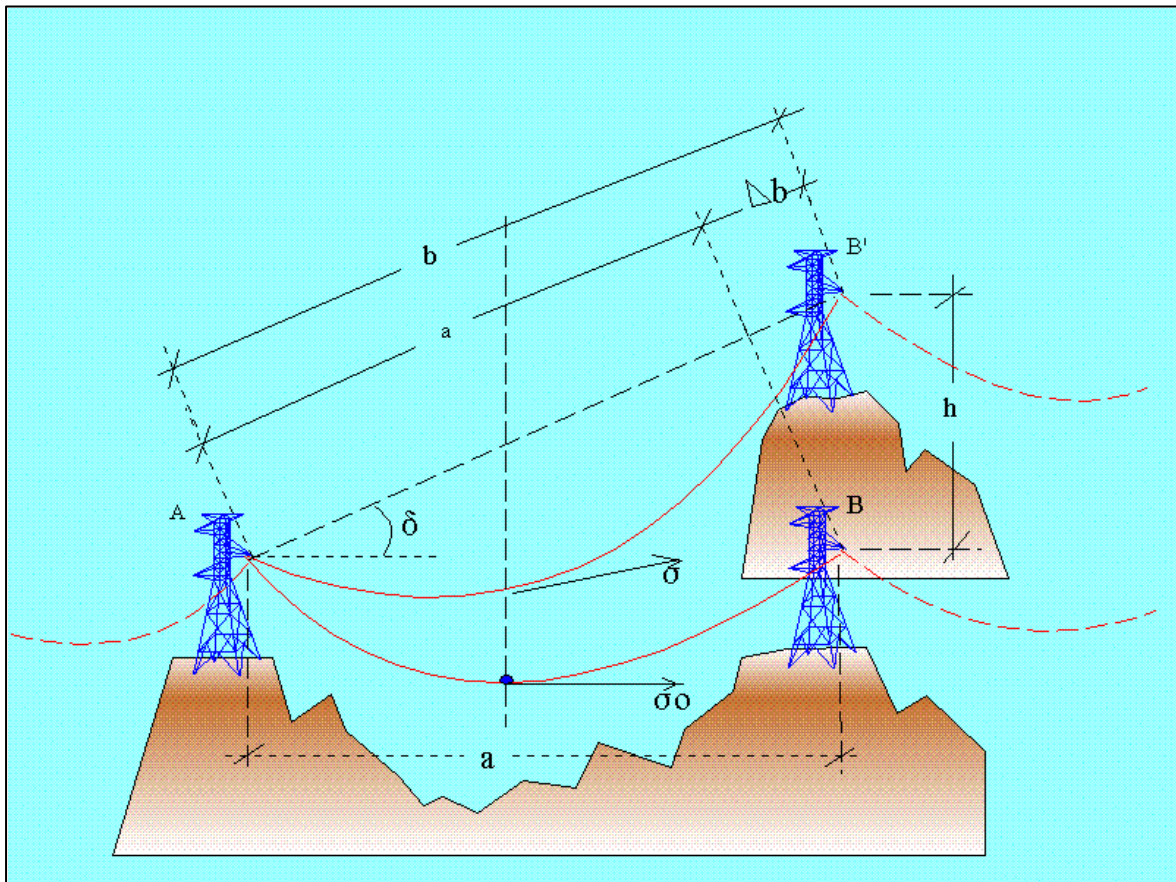
$$a(q_2 - q_1) + \left(\frac{s_{o2} - s_{o1}}{E}\right) = \frac{a^2}{24A^2} \left(\frac{w_{r2}^2}{s_{o2}^2} - \frac{w_{r1}^2}{s_{o1}^2} \right) \dots\dots\dots(11)$$

que es la ECE en por unidad de longitud (pu), en donde el primer miembro representa la variación de la longitud (pu) del cable por efecto de la variación de temperatura ($\theta_2 - \theta_1$) más el efecto Hook; por variación de esfuerzos ($\sigma_{o2} - \sigma_{o1}$); y el segundo miembro es la variación de longitud total (en pu).

La última ECE podemos escribirla como:

$$a(q_2 - q_1) + \left(\frac{s_{o2} - s_{o1}}{E}\right) - \frac{a^2}{24A^2} \left(\frac{w_{r2}^2}{s_{o2}^2} - \frac{w_{r1}^2}{s_{o1}^2}\right) = 0 \dots\dots\dots(12)$$

los esfuerzos σ_{o2} , σ_{o1} (Kg/mm²) con el cable a nivel son los esfuerzos a medio vano y con el desnivel h tenemos que con la misma longitud de cable:



La figura adjunta muestra la ubicación del esfuerzo σ a medio vano, la variación del vano, (por efecto del desnivel h) será: Δb y $\Delta b / b$ es la variación en pu.

Los esfuerzos a medio vano son en estas condiciones σ_1 , σ_2 (Kg/mm²) entonces la ECE se convierte en:

$$a(q_2 - q_1) + \left(\frac{s_{o2} - s_{o1}}{E}\right) - \frac{a^2}{24A^2} \left(\frac{w_{r2}^2}{s_{o2}^2} - \frac{w_{r1}^2}{s_{o1}^2}\right) = \frac{\Delta b}{b} \dots\dots\dots(13)$$

además sabemos que: $b^2 = a^2 + h^2$

y como:

- $\Delta b < b$
- $\Delta a < a$

entonces muy aproximadamente:

$$b\Delta b = a\Delta a \dots\dots\dots (14)$$

de donde:

$$\Delta b = \frac{a\Delta a}{b} \dots\dots\dots (15)$$

reemplazando en la ecuación (13):

$$a(q_2 - q_1) + \left(\frac{s_{o2} - s_{o1}}{E}\right) - \frac{a^2}{24A^2} \left(\frac{w_{r2}^2}{s_{o2}^2} - \frac{w_{r1}^2}{s_{o1}^2}\right) = \frac{a\Delta a}{b} \dots\dots\dots (16)$$

que transformando, para obtener Δa en el segundo miembro, obtenemos:

$$a(q_2 - q_1) \frac{b^2}{a} + \left(\frac{s_{o2} - s_{o1}}{E}\right) \frac{b^2}{a} - \frac{a^2 b^2}{24A^2 a} \left(\frac{w_{r2}^2}{s_{o2}^2} - \frac{w_{r1}^2}{s_{o1}^2}\right) = \Delta a \dots\dots\dots (17)$$

Siendo "a" el vano horizontal invariable entonces el incremento Δa es nulo; luego la ecuación (17) se transforma en:

$$a(q_2 - q_1) \frac{b^2}{a} + \left(\frac{s_{o2} - s_{o1}}{E}\right) \frac{b^2}{a} - \frac{a b^2}{24A^2} \left(\frac{w_{r2}^2}{s_{o2}^2} - \frac{w_{r1}^2}{s_{o1}^2}\right) = 0 \dots\dots\dots (18)$$

dividiendo por b^2 y considerando que σ_{o2} , σ_{o1} son las componentes horizontales de σ_2 , σ_1 es decir:

$$\sigma_{o1} = \sigma_1 \cos \delta \quad \text{y} \quad \sigma_{o2} = \sigma_2 \cos \delta \dots\dots\dots (19)$$

entonces: $\sigma_1 = \sigma_{o1} / \cos \delta$ y $\sigma_2 = \sigma_{o2} / \cos \delta$
que al reemplazar en la ecuación (18):

$$a(q_2 - q_1) \frac{1}{a} + \left(\frac{s_{o2} - s_{o1}}{E}\right) \frac{1}{a \cos d} - \frac{a}{24A^2} \left[\frac{w_{r2}^2}{\left(\frac{s_{o2}}{\cos d}\right)^2} - \frac{w_{r1}^2}{\left(\frac{s_{o1}}{\cos d}\right)^2} \right] = 0$$

de donde:

$$a(q_2 - q_1) \frac{1}{a} + \left(\frac{s_{o2} - s_{o1}}{E}\right) \frac{1}{a \cos d} - \frac{a \cos^2 d}{24A^2} \left[\frac{w_{r2}^2}{s_{o2}^2} - \frac{w_{r1}^2}{s_{o1}^2} \right] = 0 \dots\dots\dots (20)$$

multiplicando por $(a \cos d)$, obtendremos:

$$a(q_2 - q_1) \cos d + \left(\frac{s_{o2} - s_{o1}}{E}\right) \frac{1}{a \cos d} - \frac{a^2 \cos^3 d}{24A^2} \left[\frac{w_{r2}^2}{s_{o2}^2} - \frac{w_{r1}^2}{s_{o1}^2} \right] = 0 \dots\dots\dots (21)$$

de donde finalmente:

$$s_{o2}^2 \left[s_{o2} + aE(q_2 - q_1) \cos d + \frac{a^2 w_{r1}^2 E \cos^3 d}{24A^2 s_{o1}^2} - s_{o1} \right] = \frac{a^2 w_{r2}^2 E \cos^3 d}{24A^2} \dots\dots\dots (22)$$

que es la ECE corregida por desnivel, siendo δ el ángulo de desnivel; y $\cos d = \frac{a}{b}$ (23)

Con vano horizontal a (m) y vano real b (m).

5.4 SOLUCION DE LA ECE

Los datos físicos del conductor (Módulo de Elasticidad, coeficiente de dilatación térmica, etc) son siempre conocidas, además que de las condiciones iniciales y finales se conocen se conocen $w_1, w_2, \theta_1, \theta_2$ y el esfuerzo σ_{o1} ; entonces son también conocidos los valores:

$$A = \left[aE(q_2 - q_1) \cos d + \frac{a^2 w_{r1}^2 E \cos^3 d}{24 A^2 s_{o1}^2} - s_{o1} \right]$$

$$B = \frac{a^2 w_{r2}^2 E \cos^3 d}{24 A^2}$$

y por tanto la ECE, se transforma en:

$$s_{o2}^2 (s_{o2} + A) = B \text{(24)}$$

La que deberá resolverse, siendo ésta una ecuación cúbica, donde por lo menos hay una raíz real positiva y que tiene la forma:

$$f(x) = x^3 + Ax^2 - B = 0 \quad \text{siendo: la incógnita } x = s_{o2}$$

5.5 APLICACIONES PRACTICAS

Problema N°1

Un conductor Alum-Acero, tiene las características siguientes:

$$\begin{aligned} A &= 288,6 \text{ mm}^2 & f_c &= 2,05 \text{ mm} \\ E &= 8000 \text{ kg/mm}^2 & a &= 0,0000177 \text{ }^\circ\text{C}^{-1} \\ TR &= 10163 \text{ kg} & w_c &= 1,083 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

se encuentra sometido a la temperatura de 10°C con tiro en el vértice de 1847.82Kg, (sin sobrecargas).

Determinar los esfuerzos y tiros que soporta el cable a las temperaturas de -5 , $+25$ y 50°C , sin sobrecargas; para el vano de 320m.

Solución:

Las condiciones iniciales son:

$$\begin{aligned} q_1 &= +10^\circ\text{C} \\ w_{r1} &= 1,083 \text{ kg/m} \\ s_{o1} &= 6,403 \text{ kg/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{siendo: } s_{o1} = \frac{T_{o1}}{A} = \frac{1847,82}{288,6} = 6,403 \text{ kg/mm}^2$$

y las condiciones finales:

$$\begin{aligned} q_2 &= -5; +25; +50^\circ\text{C} \\ w_{r2} &= w_c = 1,083 \text{ kg/m} \\ s_{o2} &= \text{Calcular} \end{aligned}$$

$$w_{r2} = w_c = 1.083 \text{ Kg/m (sin sobrecargas)}$$

por otra parte, de las características del cable:

$$aE = 0,0000177 \times 8000 = 0,1416$$

$$\frac{E}{24A^2} = \frac{8000}{24 \times 288,6^2} = 0,004$$

Al reemplazar en la ECE se obtiene:

$$s_{o2}^2 [s_{o2} + 0,1416(q_2 - 10) + 5,315] = 480,415$$

que como se observa es una ecuación cúbica de la forma:

$$f(s_{o2}, q_2) = 0$$

en la que para cada valor de temperatura θ_2 , podemos obtener el esfuerzo σ_{o2} :

En consecuencia, los resultados son:

a) Para $\theta_2 = -5^\circ\text{C}$

$$\sigma_{o2} = 6.89 \text{ Kg/mm}^2$$

$$T_{02} = \sigma_{02} \cdot A = (6.89)(288.6) = 1990,939 \text{ kg}$$

$$C = \frac{T_{02}}{w_{r2}} = \frac{1990,939}{1,083} = 1835,5 \text{ m} \quad f' = \frac{a^2}{8C} = \frac{320^2}{8 \times 1835,5} = 6,96 \text{ m}$$

b) Para $\theta_2 = 25^\circ \text{ C}$

$$\sigma_{02} = 5,982 \text{ Kg/mm}^2$$

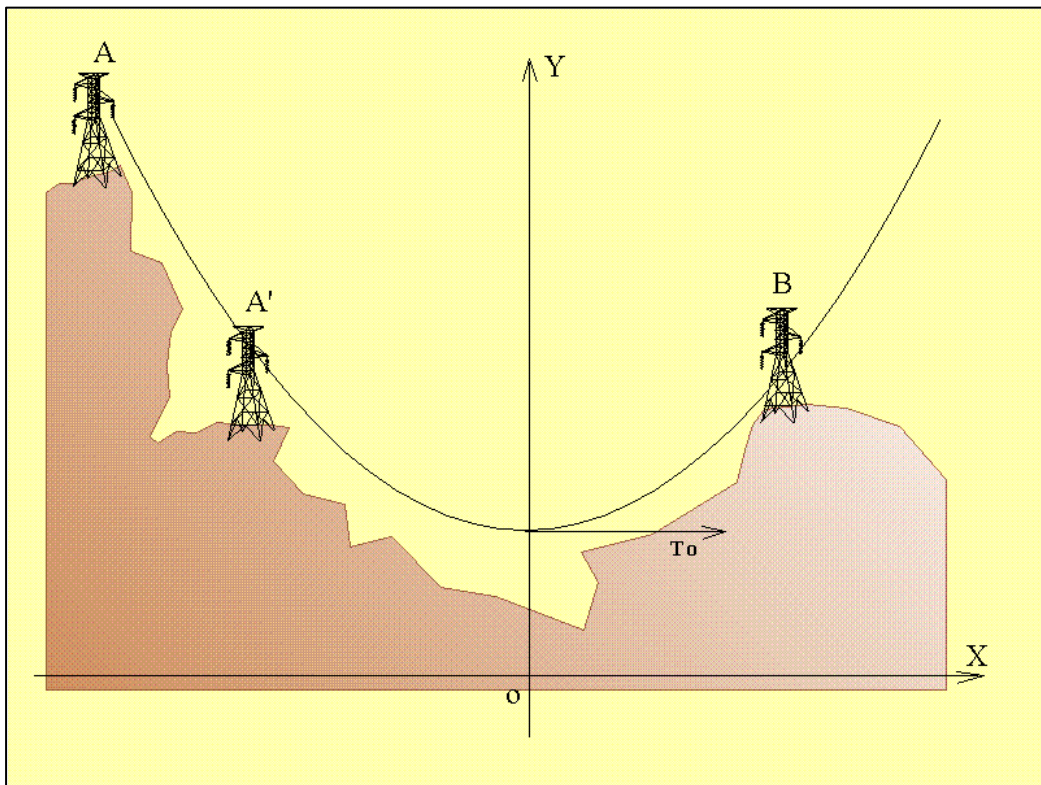
$$T_{02} = \sigma_{02} \cdot A = 1726,4 \text{ kg}$$

$$C = \frac{T_{02}}{w_{r2}} = \frac{1726,4}{1,083} = 1594,1 \text{ m} \quad f' = \frac{a^2}{8C} = \frac{320^2}{8 \times 1594,1} = 8,02 \text{ m}$$

c) Para $\theta_2 = 50^\circ \text{ C}$

$$\sigma_{02} = 5,41 \text{ Kg/mm}^2$$

$$T_{02} = \sigma_{02} \cdot A = 1562,4 \text{ kg}$$



$$C = \frac{T_{o2}}{w_{r2}} = \frac{1562,4}{1,083} = 1442,7m$$

$$f' = \frac{a^2}{8C} = \frac{320^2}{8 \times 1442,7} = 8,87m$$

Conclusiones:

-Al aumentar la temperatura, el esfuerzo y el tiro en el cable disminuyen.

-De la misma forma, al aumentar la temperatura, el parámetro de la catenaria (C) disminuye de valor, lo que quiere decir que la flecha se incrementa.

-El coeficiente de seguridad (cs) se incrementa con la temperatura.

-Esta es la forma empleada para determinar la tablas de esfuerzos a diferentes temperaturas, y que servirán para templar la línea durante el proceso de construcción.

Por otra parte, si nos referimos al gráfico Si la estructura (soporte) de la posición A, la colocamos en la posición A', evidentemente el tiro T_o (y también el parámetro C) no cambia.

Incluso, para la estructura A es mejor la ubicación A' (por que es sometida a menor esfuerzo), sin embargo disminuimos el vano, como contraparte.

Problema N° 2

El conductor (ACSR) CONDOR de características:

$$\begin{aligned} A &= 455,1mm^2 & f_c &= 27,72mm \\ E &= 6800 kg/mm^2 & a &= 0,0000181 ^\circ C^{-1} \\ TR &= 12925 kg & w_c &= 1,522 kg/m \end{aligned}$$

Se encuentra instalado en un vano de 460m, a la temperatura de $10^\circ C$, con presión de viento de velocidad 90kph, trabajando con un tiro en el vértice de 2692.708Kg. Determinar el tiro en el vértice a $-10^\circ C$ y costra de hielo de 12.7mm

Solución:

Condiciones iniciales son:

$$\begin{aligned} q_1 &= +10^\circ C \\ w_{r1} &= 1,083kg/m \\ s_{o1} &= 6,403kg/mm^2 \end{aligned}$$

Cuyos valores se obtuvieron:

$$p_v = 0,00481v^2 = 0,00481 \times 90^2 = 34,02kg/m^2$$

$$w_v = p_v \frac{(f_c + 2e)}{1000} = 34,02 \frac{(27,72 + 2 \times 0)}{1000} = 0,943kg/m$$

$$w_{r1} = \sqrt{(w_c + w_h)^2 + w_v^2} = \sqrt{1,5178^2 + 0,943^2} = 1,787kg/m$$

$$s_{o1} = \frac{T_{o1}}{A} = \frac{2692,7}{455,1} = 5,92 \text{ kg/mm}^2$$

condiciones finales:

$$w_h = 0,0029(12,7^2 + 12,7 \times 27,72) = 1,49 \text{ kg/m}$$

$$w_{r2} = w_c + w_h = 1.5178 + 1.49 = 3,008 \text{ kg/m}$$

T_{o2} y σ_{o2} serán calculados

Al reemplazar y resolver la ECE obtenemos el resultado:

$$\sigma_{o2} = 9.72 \text{ Kg/mm}^2$$

y entonces:

$$T_{o1} = 9.72 \text{ Kg/mm}^2 \times 455.1 \text{ mm}^2 = 4423.57 \text{ Kg.}$$

Problema N° 3

Construir los gráficos esfuerzos vs temperatura y flechas vs temperatura, para el mismo vano de cálculo, con el conductor Cóndor, a partir de las condiciones:

$\theta_1 = 10^\circ \text{C}$, $p_v = 0$, $w_h = 0$, con tiro vértice de 2585Kg.

Solución. -

Del problema anterior tomamos la ecuación de cambio de estado, con vano de estudio de 460m

Condiciones iniciales: $\theta_1 = 10^\circ \text{C}$,
 $w_{r1} = w_c = 1.5178 \text{ Kg/m}$

$$\sigma_{o1} = \frac{T_{o1}}{A} = \frac{2585}{455.1} = 5.68 \text{ Kg/mm}^2$$

Condiciones finales: $\theta_2 =$ variable:

$$w_{r2} = w_c = 1.5178 \text{ Kg/m (sin sobrecargas)}$$

σ_{o2} , T_{o2} a determinar.

reemplazando en la ECE:

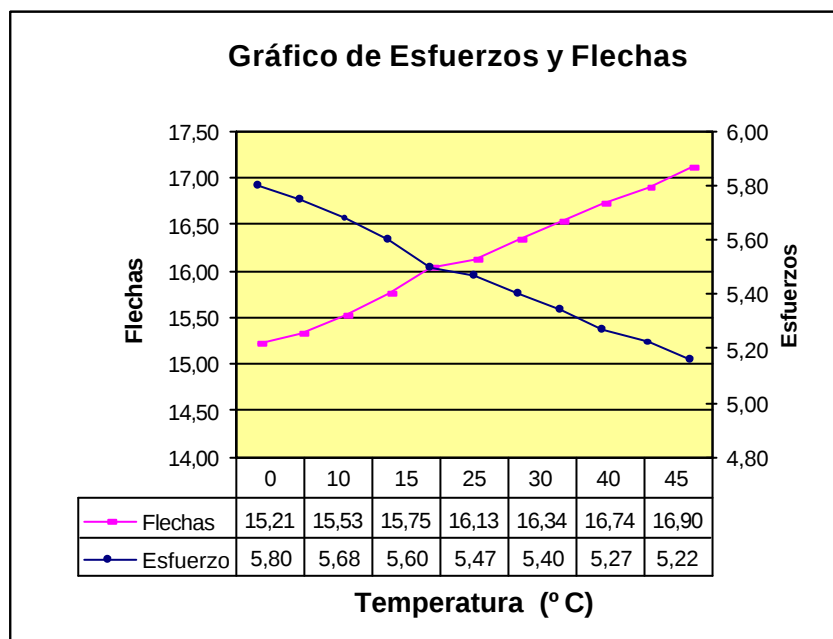
Efectuando los cálculos:

$$A = 0.1224(\theta_2 - 10) + 15.02$$

$$B = 667.83$$

Por tanto la ecuación

$$f(\sigma_{o2}, \theta_2) = 0 \text{ será}$$



$$\sigma_{02}^2 [\sigma_{02} + 0.1224(\theta_2 - 10) + 15.02] = 667.83$$

Los resultados de la solución de esta ECE se resumen en el cuadro adjunto.

Problema N° 4

El conductor ACSR, Cóndor de características:

$$\begin{aligned} A &= 455,1 \text{ mm}^2 & f_c &= 27,72 \text{ mm} \\ E &= 6800 \text{ kg/mm}^2 & a &= 0,0000181 \text{ }^\circ\text{C}^{-1} \\ TR &= 12925 \text{ kg} & w_c &= 1,522 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

se encuentra instalado en un vano de 800m, con desnivel 600m, con un tiro en el vértice de 2300Kg, a la temperatura de 10°C sin sobrecargas.

Calcular el coeficiente de seguridad de trabajo del cable a la temperatura de -10°C sin viento, ni hielo.

Solución:

Condiciones iniciales

$$\theta_1 = 10^\circ\text{C}$$

$$w_{r1} = w_c = 1.5178 \text{ Kg/m (sin sobrecargas)}$$

$$T_{o1} = 2300 \text{ Kg}$$

$$\sigma_{o1} = 2300/455.1 = 5.054 \text{ Kg/mm}^2$$

condiciones finales:

$$\theta_2 = -10^\circ\text{C}$$

$$w_{r2} = w_c = 1.5178 \text{ Kg/m (sin sobrecargas)}$$

T_{o2} a determinar.

$$\text{En la condición inicial, el parámetro es: } C = \frac{T_{o1}}{w_{r1}} = \frac{2300}{1,5178} = 1515,35 \text{ m}$$

longitud del cable si estuviera a nivel:

$$L' = 2C \sinh\left(\frac{a}{2C}\right) = 2 \times 1515,35 \sinh\left(\frac{800}{2 \times 1515,35}\right) = 809,3227 \text{ m}$$

y la ubicación del medio vano:

$$x_m = C \operatorname{arcsen} h\left(\frac{h}{L'}\right) = 1515,351 \operatorname{arcsen} h\left(\frac{600}{809,3227}\right) = 1039,866 \text{ m}$$

$$\text{por tanto el extremo derecho es: } x_b = x_m + \frac{a}{2} = 1039,866 + \frac{800}{2} = 1439,866 \text{ m}$$

y el tiro en este extremo:
$$T_b = T_o \cosh\left(\frac{x_b}{C}\right) = 2300 \cosh\left(\frac{1439,866}{1515,351}\right) = 3418,7903 \text{ kg}$$

por tanto el coeficiente de seguridad en la condición inicial es:

$$CS_1 = 12925/3418,7903$$

$$CS_1 = 3.78$$

A fin de aplicar la ECE, tenemos:

$$aE = 0,000018 \times 6800 = 0,1224$$

$$\frac{E}{24A^2} = \frac{6800}{24 \times 455,1^2} = 0,00137$$

así mismo, para el ángulo de desnivel:

$$\cos d = \cos\left[\operatorname{atang}\left(\frac{h}{a}\right)\right] = \cos\left[\operatorname{atang}\left(\frac{600}{800}\right)\right] = 0,8$$

resolviendo obtenemos la ECE para vanos desnivelados:

$$\sigma_{02} = 5.17 \text{ Kg/mm}^2$$

deducimos entonces que el tiro en el vértice de la catenaria será:

$$T_{02} = 5.17 \times 455.1 = 2352,867 \text{ kg}$$

al que le corresponde el parámetro:

$$C_2 = 2352.867 / 1.5178 = 1550,1825 \text{ m}$$

por otra parte, la longitud del cable si estuviera a nivel es:

$$L' = 2C \sinh\left(\frac{a}{2C}\right) = 2 \times 1550,1825 \sinh\left(\frac{800}{2 \times 1550,1825}\right) = 808,9071 \text{ m}$$

por tanto la abscisa del medio vano será

$$x_m = C \operatorname{arcsen} h\left(\frac{h}{L'}\right) = 1550,1825 \operatorname{arcsen} h\left(\frac{600}{808,9071}\right) = 1064,2426 \text{ m}$$

con una ubicación del extremo superior de:

$$x_b = x_m + \frac{a}{2} = 1064,2426 + \frac{800}{2} = 1464,2426 \text{ m}$$

y por tanto el tiro en este extremo será:

$$T_b = T_o \cosh\left(\frac{x_b}{C}\right) = 2352867 \cosh\left(\frac{1464,2426}{1550,1825}\right) = 3482,873 \text{ kg}$$

finalmente el coeficiente de seguridad de trabajo a la temperatura de -10°C , será:

$$cs = 12925 / 3482.873 = 3,71$$

Problema N° 5

Suponga que el conductor Condor ACSR, del problema anterior, ha sido templado (saetado) con el tiro de 2300Kg en un vano de 1200m, con desnivel 800m, a la temperatura de 10°C . Determinar el incremento de la saeta cuando la temperatura es 40°C .

Solución:

Condiciones iniciales:

$$\theta_1 = 10^{\circ}\text{C}$$

$$w_{r1} = w_c = 1.5178\text{Kg/m}$$

$$T_{01} = 2300\text{Kg}$$

$$\sigma_{01} = 2300 / 455.1 = 5.054\text{Kg/mm}^2$$

con ésta condición, el parámetro será:

$$C = 2300(\text{kg})/1,5178(\text{Kg/m})$$

$$C = 1515,351\text{m}$$

Longitud del cable si estuviera a nivel:

$$L' = 2C \sinh\left(\frac{a}{2C}\right) = 2 \times 1515,351 \sinh\left(\frac{1200}{2 \times 1515,351}\right) = 1231,601\text{m}$$

por lo que la ubicación del medio vano será:

$$x_m = C \operatorname{arcsen} h\left(\frac{h}{L'}\right) = 1515,351 \operatorname{arcsen} h\left(\frac{800}{1231,601}\right) = 925,661\text{m}$$

La ubicación del punto mas bajo es:

$$x_a = x_m - \frac{a}{2} = 925,661 - \frac{1200}{2} = 325,61\text{m}$$

entonces la saeta será:

$$s = C\left(\cosh\left(\frac{x_a}{C}\right) - 1\right) = 1515,351\left(\cosh\left(\frac{325,61}{1515,351}\right) - 1\right) = 35,1285\text{m a } 10^{\circ}\text{C}$$

A fin de aplicar la ecuación de cambio de estado para vanos desnivelados:

$$aE = 0,000018 \times 6800 = 0,1224$$

$$\frac{E}{24A^2} = \frac{6800}{24 \times 455,1^2} = 0,00137 \quad \cos\delta = 0,8$$

Que al resolver la ECE obtenemos:

$$\sigma_{02} = 4.97\text{Kg/mm}^2$$

al cual le corresponde el tiro en el vértice de:

$$T_{02} = 4.97 \times 455.1 = 2261.847 \text{ Kg}$$

con parámetro de catenaria:

$$C = 2261.847 / 1.5178 = 1490.2141 \text{ m}$$

en este caso, la longitud del cable si estuviera a nivel es:

$$L' = 2C \sinh\left(\frac{a}{2C}\right) = 2 \times 1490.2141 \sinh\left(\frac{1200}{2 \times 1490.2141}\right) = 1232.6854 \text{ m}$$

por tanto, la abscisa del medio vano será:

$$x_m = C \operatorname{arcsen} h\left(\frac{h}{L'}\right) = 1490.2141 \operatorname{arcsen} h\left(\frac{800}{1232.6854}\right) = 909.5923 \text{ m}$$

y la ubicación del extremo mas bajo:

$$x_a = x_m - \frac{a}{2} = 909.5923 - \frac{1200}{2} = 309.5923 \text{ m}$$

entonces la saeta será:

$$s = C \left(\cosh\left(\frac{x_a}{C}\right) - 1 \right) = 1490.2141 \left(\cosh\left(\frac{309.5923}{1490.2141}\right) - 1 \right) = 32.274 \text{ m a } 40^\circ \text{ C}$$

La variación de la saeta será:

$$\text{Variación de saeta} = 35.1285 - 32.274 = 2.854 \text{ m.}$$

CAPITULO 6

HIPOTESIS DE CALCULO MECANICO

6.1 VANO IDEAL DE REGULACION EN VANOS A NIVEL

Generalmente entre dos soportes de amarre (ó anclaje), se ubican otras de alineamiento, conformando un tramo de línea.

Es posible encontrar un vano que empleado en el cálculo permite que los tiros - vértices (T_o) tiendan a ser iguales, en Todos los vanos del tramo.

Por lo que si los tiros - vértice son de templado e iguales en los vanos del tramo, entonces las cadenas de suspensión son verticales en todos los soportes de alineamiento en el tramo.

Es evidente, que lo ideal en el tramo, es que los vanos sean iguales y por lo tanto los tiros lo ser n también.

Sin embargo, por la configuración del perfil de la línea, es T_o no es posible, y por ello determinaremos un vano de cálculo denominado "vano ideal de regulación" (VIR) que logre igualar los tiros- vértice en el tramo.

Del proceso de deducción de la Ecuación de Cambio de Estado, Tomemos la ecuación (3) del Capítulo 5:

$$L_2 - L_1 = \frac{a^3 w_{r2}^2}{24 T_{o2}^2} - \frac{a^3 w_{r1}^2}{24 T_{o1}^2} = a(q_2 - q_1)a + \left(\frac{T_{o2} - T_{o1}}{AE}\right)a$$

que es igual a escribir:

$$L_2 - L_1 = \left[a(q_2 - q_1) + \frac{T_{o2} - T_{o1}}{AE} \right] a = \frac{a^3}{24} \left[\frac{w_{r2}^2}{T_{o2}^2} - \frac{w_{r1}^2}{T_{o1}^2} \right]$$

que es la ecuación de cambio de estado para un vano particular de "a" metros, cualquiera. Supongamos ahora que "a" es un vano del tramo de línea en estudio; por lo que la variación Total de longitud del conductor en el tramo es:

$$\sum_1^n (L_2 - L_1) = \left[a(q_2 - q_1) + \frac{T_{o2} - T_{o1}}{AE} \right] \sum_1^n a = \frac{1}{24} \left[\frac{w_{r2}^2}{T_{o2}^2} - \frac{w_{r1}^2}{T_{o1}^2} \right] \sum_1^n a^3$$

Siendo "n" el número de vanos en el tramo en estudio; en consecuencia:

$$\left[a(q_2 - q_1) + \frac{T_{o2} - T_{o1}}{AE} \right] = \frac{1}{24} \left[\frac{w_{r2}^2}{T_{o2}^2} - \frac{w_{r1}^2}{T_{o1}^2} \right] \frac{\sum_1^n a^3}{\sum_1^n a} \dots\dots\dots(2)$$

que comparada con la ecuación (3) del Capítulo 4:

$$a(q_2 - q_1)a + \left(\frac{T_{o2} - T_{o1}}{AE}\right)a = \frac{a^3 w_{r2}^2}{24 T_{o2}^2} - \frac{a^3 w_{r1}^2}{24 T_{o1}^2}$$

equivalente a:

$$\left[a(q_2 - q_1) + \frac{T_{o2} - T_{o1}}{AE} \right] = \frac{1}{24} \left[\frac{w_{r2}^2}{T_{o2}^2} - \frac{w_{r1}^2}{T_{o1}^2} \right] a^2$$

En donde "a = a_r" es un vano único equivalente en el tramo; obtendremos por comparación:

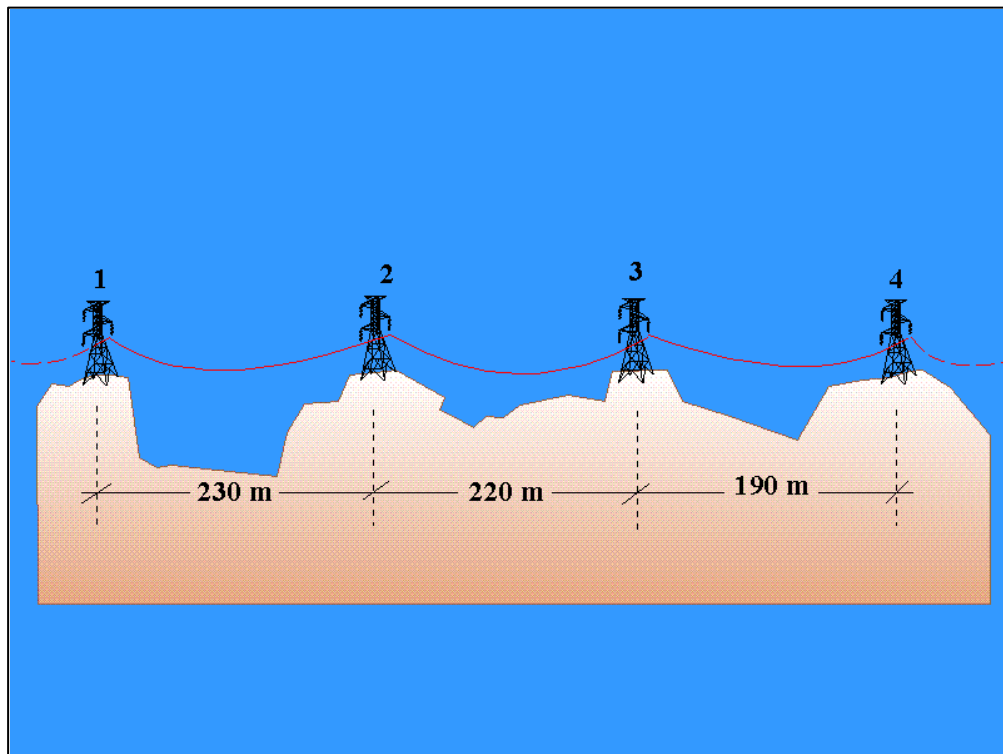
$$a = a_r = \frac{\sum_1^n a^3}{\sum_1^n a}$$

De donde finalmente:

$$a_r = \sqrt{\frac{\sum_1^n a^3}{\sum_1^n a}} \dots\dots\dots(3)$$

Que viene a ser el Vano Ideal de Regulación (VIR), que deber ser empleado en el proceso de cálculo de las flechas de Todos los vanos que conforman de un tramo.

En la Figura, se representa un tramo de línea, por tanto los soportes de anclaje (1 y 4) tendrán cadenas de aisladores en el sentido del conductor, en cambio las mismas ser n verticales en los soportes 2 y 3.



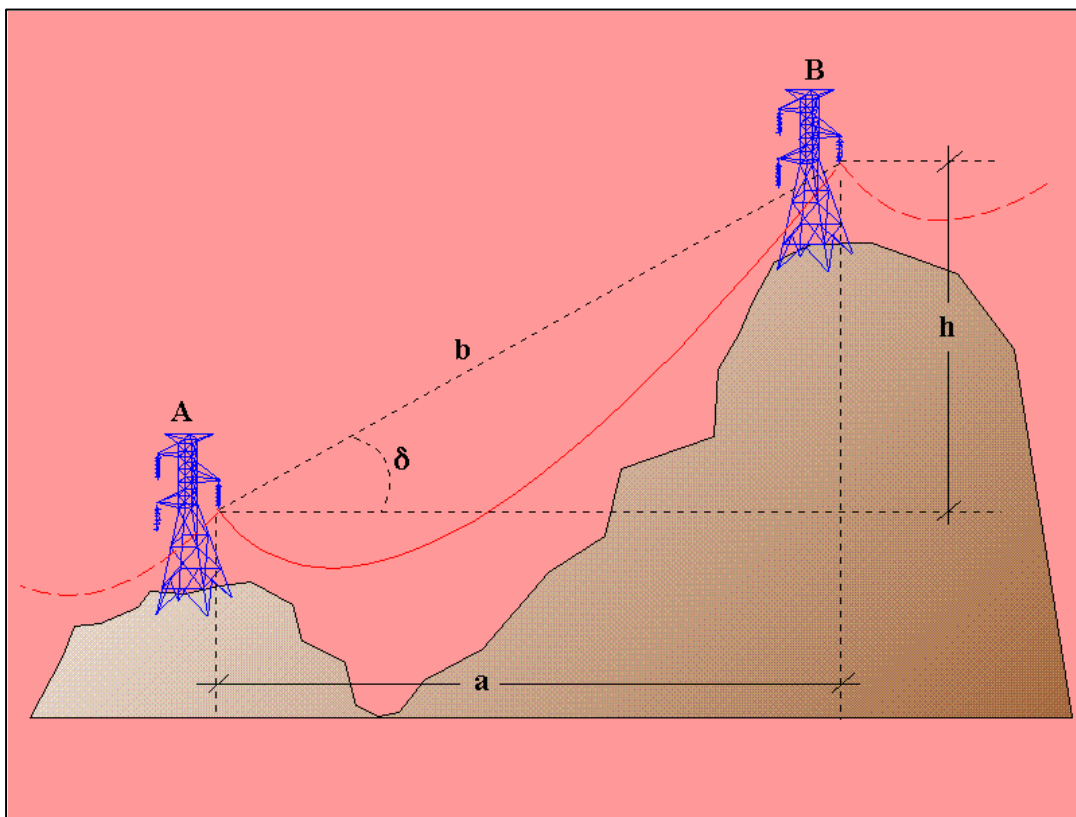
En este tramo el vano ideal de regulación será:

$$a_r = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n a^3}{\sum_{i=1}^n a}} = \sqrt{\frac{230^3 + 220^3 + 190^3}{230 + 220 + 190}} = 215,326 \text{ m}$$

Este vano introducido en los cálculos, como por ejemplo en la ecuación de cambio de estado permitirá obtener el esfuerzo (α_0) en el vértice y que ser el mismo en los tres vanos del tramo.

6.2 VANO IDEAL DE REGULACION CON VANOS A DESNIVEL

Supongamos la disposición del conductor entre dos soportes desnivelados, como en la figura:



Del proceso de demostración de la ecuación de cambio de estado para el conductor a desnivel, Tomemos la ecuación (18) del Capítulo 4:

$$a(q_2 - q_1) \frac{b^2}{a} + \left(\frac{s_{o2} - s_{o1}}{E} \right) \frac{b^2}{a} - \frac{a b^2}{24A^2} \left(\frac{w_{r2}^2}{s_{o2}^2} - \frac{w_{r1}^2}{s_{o1}^2} \right) = 0$$

Los esfuerzos medios son:

$$s_2 = \frac{s_{o2}}{\cos d} = s_{o2} \frac{b}{a} \quad s_1 = \frac{s_{o1}}{\cos d} = s_{o1} \frac{b}{a}$$

por lo que la ECE se transforma en:

$$a(q_2 - q_1) \frac{b^2}{a} + \left(\frac{s_{o2} - s_{o1}}{E} \right) \frac{b^3}{a^2} - a^3 \left(\frac{w_{r2}^2}{s_{o2}^2} - \frac{w_{r1}^2}{s_{o1}^2} \right) = 0 \dots\dots\dots(4)$$

Si Tomamos la sumatoria, para vanos dentro del tramo:

$$a(q_2 - q_1) \sum \frac{b^2}{a} + \left(\frac{s_{o2} - s_{o1}}{E} \right) \sum \frac{b^3}{a^2} - \left(\frac{w_{r2}^2}{s_{o2}^2} - \frac{w_{r1}^2}{s_{o1}^2} \right) \sum a^3 = 0 \dots\dots\dots(5)$$

y si hacemos que:

$$s_1 = s_{o1} \frac{\sum \frac{b^3}{a^2}}{\sum \frac{b^2}{a}} \quad s_2 = s_{o2} \frac{\sum \frac{b^3}{a^2}}{\sum \frac{b^2}{a}} \dots\dots\dots(6)$$

La ecuación (5) se transforma en:

$$a(q_2 - q_1) + \left(\frac{s_2 - s_1}{E} \right) - \left(\frac{w_{r2}^2}{s_2^2} - \frac{w_{r1}^2}{s_1^2} \right) \left(\frac{\sum \frac{b^3}{a^2}}{\sum \frac{b^2}{a}} \right) \frac{\sum a^3}{\sum \frac{b^2}{a}} = 0 \dots\dots\dots(7)$$

que al compararla con la ECE:

$$a(q_2 - q_1) + \left(\frac{s_2 - s_1}{E} \right) - \left(\frac{w_{r2}^2}{s_2^2} - \frac{w_{r1}^2}{s_1^2} \right) a_r^2 = 0 \dots\dots\dots(8)$$

$$a_r^2 = \left(\frac{\sum \frac{b^3}{a^2}}{\sum \frac{b^2}{a}} \right) \frac{\sum a^3}{\sum \frac{b^2}{a}} \dots\dots\dots(9)$$

$$a_r = \left(\frac{\sum \frac{b^3}{a^2}}{\sum \frac{b^2}{a}} \right) \sqrt{\frac{\sum a^3}{\sum \frac{b^2}{a}}} \dots\dots\dots(10)$$

Que viene a ser el vano ideal de regulación para vanos desnivelados dentro de un tramo de línea. Recordamos ahora que:

$$\cos d = \frac{a}{b} \quad \text{entonces} \quad b = \frac{a}{\cos d}$$

entonces el vano ideal de regulación a_r se transforma en:

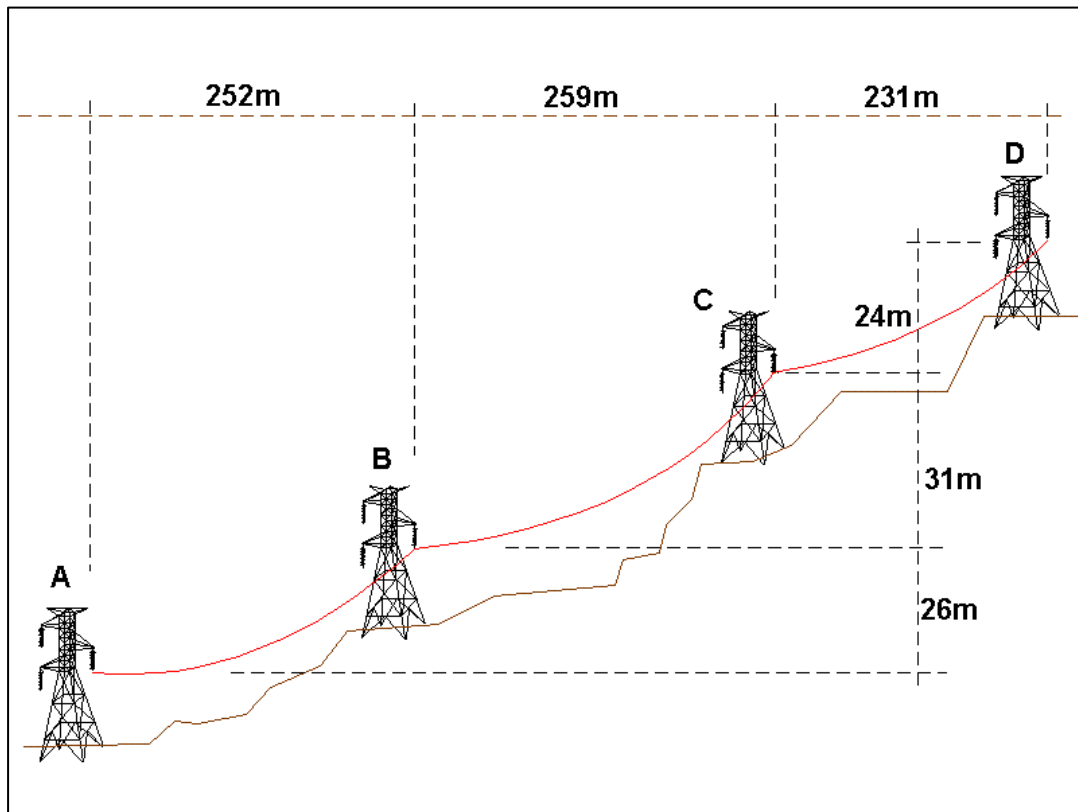
$$a_r = \frac{\left(\frac{\sum^n \left(\frac{a}{\cos d} \right)^3}{\sum^n \left(\frac{a}{\cos d} \right)^2} \right)}{\left(\frac{\sum^n \left(\frac{a}{\cos d} \right)^2}{\sum^n \frac{a}{\cos d}} \right)} \sqrt{\frac{\sum^n a^3}{\sum^n \left(\frac{a}{\cos d} \right)^2}} \quad a_r = \frac{\left(\frac{\sum^n \frac{a}{\cos^3 d}}{\sum^n \frac{a}{\cos d}} \right)}{\sqrt{\frac{\sum^n a^3}{\sum^n \frac{a}{\cos d}}}} \quad \dots\dots\dots(11)$$

Que es el vano de regulación más conveniente de utilizar.

Si se trata de un sólo vano desnivelado, el vano de regulación será $a_r = a$ lo cual es cierto.

Por ejemplo:

Para el tramo dado en el gráfico siguiente:



Las estructuras B y C son de alineación entre las estructuras de anclaje A y D; entonces el vano de regulación del tramo es:

$$\cos d_1 = \cos\left(\text{atang}\left(\frac{26}{252}\right)\right) = 0,9947 \quad a_1 = 252\text{m}$$

$$\cos d_2 = \cos\left(\text{atang}\left(\frac{31}{259}\right)\right) = 0,9929 \quad a_1 = 259\text{m}$$

$$\cos d_3 = \cos\left(\text{atang}\left(\frac{24}{231}\right)\right) = 0,9946 \quad a_1 = 231\text{m}$$

y entonces el vano de regulación será:

$$a_r = \left(\frac{\sum_{n=1}^n \frac{a}{\cos^3 d}}{\sum_{n=1}^n \frac{a}{\cos d}} \right) \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^n a^3}{\sum_{n=1}^n a}} = \frac{\frac{252}{0,9947^3} + \frac{259}{0,9929^3} + \frac{231}{0,9946^3}}{\frac{252}{0,9947} + \frac{259}{0,9929} + \frac{2231}{0,9946}} \sqrt{\frac{252^3 + 259^3 + 231^3}{\frac{252}{0,9947} + \frac{259}{0,9929} + \frac{2231}{0,9946}}}$$

$$a_r = 250,41\text{m}$$

Si no se Toma en cuenta el efecto de los desniveles, el vano de regulación sería:

$$a_r = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^n a^3}{\sum_{n=1}^n a}} = \sqrt{\frac{252^3 + 259^3 + 231^3}{252 + 259 + 231}} = 248,183\text{m}$$

FLECHAS EN EL TRAMO:

Las flechas en dos vanos consecutivos del tramo son:

$$f'_1 = \frac{a_1^2}{8C} \quad f'_2 = \frac{a_2^2}{8C}$$

dividiendo ambas ecuaciones y eliminando el parámetro C, por tratarse del mismo tiro To:

$$\frac{f'_1}{f'_2} = \left(\frac{a_1}{a_2} \right)^2 \dots\dots\dots(12)$$

6.3 LA TENSION DE CADA DIA (TCD)

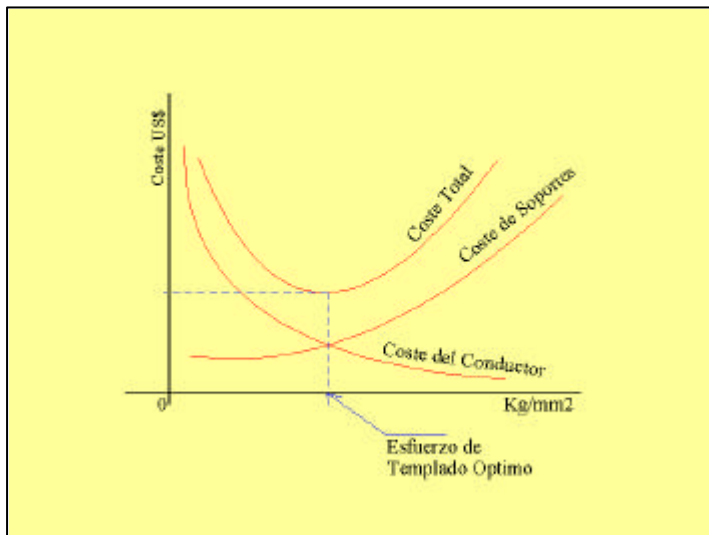
La decisión más importante durante el proceso del diseño del cálculo mecánico de una línea de transmisión es, la elección del tiro de templado o "tensado" del conductor.

A partir del valor anterior (To), los tiros en otras condiciones están ya determinados por la ecuación de cambio de estado (ECE).

El tiro To a elegir, será el máximo posible a fin de no provocar vibraciones que deterioren el conductor mismo y las grapas de suspensión.

Dicho valor puede elevar el costo por adquisición del conductor, debido a que si es un valor muy bajo, la longitud del conductor será mayor; pero si es muy elevado son los soportes los que serán más caros por efecto que deberán ser resistentes a mayor tiro.

Podemos entonces decir que a mayor esfuerzo de templado (σ_0) el costo del conductor disminuye pero el costo de los soportes aumentan por lo que es posible determinar un esfuerzo de templado económico en la forma gráfica mostrada.



Sin embargo, actualmente, el esfuerzo de templado es escogido fundamentalmente teniendo en cuenta el aspecto mecánico de comportamiento de la línea.

Internacionalmente el valor de σ_0 (Kg/mm^2) está determinado por la experiencia en construcción de líneas, la cual demuestra que dicho valor no debe superar el 20% del esfuerzo de ruptura mínimo del conductor.

Por otra parte, σ_0 deberá asociarse a una temperatura la que debe ser el promedio (y que dure la mayor número de días al año) en la zona de instalación.

El valor de σ_0 y la temperatura asociada se denominan esfuerzo de cada día de la línea (EDS en inglés) y temperatura de cada día de la línea.

Por tanto podemos definir el esfuerzo de templado σ_0 o la tensión de cada día de la línea como aquel esfuerzo máximo admisible durante Todo el tiempo en que la temperatura sea la media. Si la línea es larga, es probable que en su ruta las temperaturas medias sean diferentes.

Por ejemplo la vía terrestre Lima-Oroya (Perú) es de solo 190Km y sin embargo las alturas sobre el nivel del mar varían entre 0 – 4800 – 3800 msnm; es decir, sube y luego baja y por tanto al ejecutar el diseño de una línea en esta ruta, ser necesario elegir dos o más esfuerzos de templado según se divida la línea en tramos de temperaturas medias diferentes.

Problema N° 1. -

El conductor Cóndor ACSR, 54/7hilos, se encuentra instalado en un tramo de línea de 4 vanos: 320, 336, 319 y 340 m.

$A =$	$455,1 \text{ mm}^2$	$f_c =$	$27,762 \text{ mm}$
$E =$	6860 kg/mm^2	$a =$	$0,00001935 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
TR	12950 kg	$w_c =$	$1,522 \text{ kg/m}$

Si la temperatura media es de 15°C y la tensión de cada día de la línea es del 18% sin sobrecargas. Calcular las flechas de los vanos del tramo a 50°C sin sobrecargas.

Solución: Aplicamos la ecuación de cambio de estado:

Condiciones Iniciales 1 ECE Condiciones Finales 2

$$\begin{aligned} q_1 &= +15^\circ\text{C} \\ w_{r1} &= 1,522 \text{ kg/m} \\ s_{o1} &= 5,12 \text{ kg/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_2 &= +50^\circ\text{C} \\ w_{r2} &= 1,522 \text{ kg/m} \\ s_{o2} &= \text{determinar} \end{aligned}$$

No hay sobrecargas en ambas condiciones. Además $T_{o1}=18\%(TR)=0,18 \times 12950 = 2331 \text{ kg}$
Y por ello $\sigma_{o1}=T_{o1}/A = 2331/455,1 = 5,12 \text{ kg/mm}^2$
Vano de cálculo:

$$a_r = \sqrt{\frac{\sum_1^n a^3}{\sum_1^n a}} = \sqrt{\frac{320^3 + 336^3 + 319^3 + 340^3}{320 + 336 + 319 + 340}} = 331,14m$$

Al sustituir y resolver la ECE, obtenemos la ecuación:

$$\sigma_{o2} = 2.23 \text{ Kg/mm}^2$$

que le corresponde el tiro - vértice: $T_{o2} = \sigma_{o2}A = 2.23 \times 455.1 = 1014.87 \text{ Kg.}$

el parámetro de la catenaria, en este caso ser :

$$C = T_{o2}/w_{r2} = 1014.87/1.522 = 666.8m$$

flecha para el vano $a_r = 331.14m$.

$$f = a_r^2/8C = 331.14^2/8 \times 666.8 = 20.55m$$

las flechas para los vanos reales serán:

	Vano Flechas	
	a	f
$f = f_r \left(\frac{a}{a_r}\right)^2 = 20,55 \left(\frac{a}{331,14}\right)^2$	320	19,19
	336	21,15
	319	19,07
	340	21,66

6.4 HIPOTESIS DE CALCULO

Las normas o códigos de cada país fijan las hipótesis a ser consideradas a fin de iniciar el cálculo mecánico del conductor.

En base a estas hipótesis, el proyectista debe elegir el tiro (T_o) de templado y que servirá de punto de partida para determinar el comportamiento del conductor en cualquier otra condición de temperatura.

Por tanto, de las hipótesis de cálculo depende el valor del esfuerzo o tiro de templado.

Usualmente, las hipótesis son tres como mínimo, sin embargo el proyectista, a su criterio podrá considerar hipótesis adicionales a fin de lograr una óptima elección del tiro (T_o) de templado.

Las hipótesis a considerar son:

HIPOTESIS I

Denominada de máximos esfuerzos, es la que supone las condiciones de máxima exigencia mecánica al conductor. Generalmente corresponde a la mínima temperatura y máxima presión de viento.

En esta condición el coeficiente de seguridad del conductor tendrá el valor mínimo asignado. El tiro calculado en esta hipótesis es muy importante, ya que con él se diseña el soporte.

HIPOTESIS II

Denominada de templado, y se refiere a las condiciones normales o promedio (temperatura media de operación de la línea). El esfuerzo del conductor en esta hipótesis es el esfuerzo de cada día de la línea (EDS) o tensión de cada día de la línea (TCD).

Usualmente, en el Perú, la hipótesis es a presión de viento nula o mínima con temperatura promedio de la zona de instalación.

A la temperatura promedio, se "tensa" el conductor durante la ejecución de las obras.

HIPOTESIS III

Denominada de flecha máxima o de temperatura máxima.

En esta hipótesis se determina el valor de la flecha que alcanzará el conductor, pues en ella se determina el tamaño del soporte.

Por tanto, es muy importante asignar una correcta temperatura máxima a esta hipótesis.

En el caso del Perú, si en la zona de instalación futura de la línea hay presencia de hielo, entonces se considera hipótesis adicional especial.

6.5 DETERMINACION DEL ESFUERZO DE TEMPLADO

Supongamos que se instalará un conductor ACSR en un vano de 400m. y que sus hipótesis de cálculo son:

Hipót	Temp °C	Viento kg/m ²	Hielo mm
I	0	—	—
II	10	—	—
III	40	—	—

En la Hipótesis I, el tiro en el extremo de suspensión del conductor será como máximo:

$$T_{Bmax} = TR/cs \text{ a } 0^{\circ}C$$

con este valor podemos entonces encontrar el tiro en el vértice (To), resolviendo la ecuación:

$$T_b = T_{Bmax} T_o \cosh\left(\frac{a}{2C}\right) = T_o \cosh\left(\frac{aw_r}{2T_o}\right) \text{ en donde } T_o \text{ es la única incógnita, la cual será el tiro-vértice en la Hipótesis I.}$$

Si utilizamos ahora la ECE para calcular el tiro o esfuerzo en la Hipótesis II (de templado) obtendremos un nuevo valor de To pero a 10°C.

Este valor deberá ser el esfuerzo de templado, que a su vez deberá cumplir con la condición

$$T_o \leq 18\%TR$$

si no se cumple la condición el tiro de templado es exactamente igual al 18% del Tiro de Rotura.

6.6 TABLA DE REGULACION

Para cada tramo de línea y con el vano ideal (a_r) para ese tramo, se confecciona una tabla de regulación para diferentes temperaturas, calculando los diferentes esfuerzos correspondientes.

Esta tabla se utiliza en el campo durante el proceso de templado o tensando del conductor, debido a que el esfuerzo de templado se ha calculado para la temperatura promedio, y como en obra no necesariamente se tiene dicha temperatura, se calculan los esfuerzos equivalentes para otras temperaturas.

Para cada esfuerzo calculado (con la ECE) se determina la flecha correspondiente, por lo que la tabla es también una tabla de flechas.

Hay que recordar que en cada tramo el dato de vano es a_r y para calcular las flechas de cada vano del tramo utilizaremos la relación

$$f = f_r \left(\frac{a}{a_r} \right)^2$$

en donde f es la flecha (m) del vano a_r (m) y a es el vano del cual se obtendrá su flecha f .

Problema N° 1

$A =$	$455,1 \text{ mm}^2$	$f_c =$	$27,762 \text{ mm}$
$E =$	6860 kg/mm^2	$a =$	$0,00001935 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
TR	12950 kg	$w_c =$	$1,522 \text{ kg/m}$

Confeccionar la tabla de regulación del conductor Cóndor ACSR, 54/7 hilos, cuyos datos se muestran, para el tramo de vanos 390, 413, 384, 402 y 392m; desde 0°C a 40°C , con incrementos de 5°C .

La hipótesis de templado es 15°C sin viento, ni hielo y

la TCD es del 14.9% elegido convenientemente para el diseño.

Solución: Vano de cálculo

$$a_r = \sqrt{\frac{\sum_1^n a^3}{\sum_1^n a}} = \sqrt{\frac{390^3 + 413^3 + 384^3 + 402^3 + 392^3}{390 + 413 + 384 + 402 + 392}} = 396,6 \text{ m}$$

Para utilizar la ECE:



$$q_1 = 15^\circ\text{C}$$

$$w_{r1} = 1,522 \text{ kg/m}$$

$$s_{o1} = 4,24 \text{ kg/mm}^2$$

$$q_2 = 0 - 40^\circ\text{C}$$

$$w_{r2} = 1,522 \text{ kg/m}$$

$$s_{o2} = \text{Determinar}$$

En las condiciones iniciales:

$$w_{r1} = w_c = 1.522 \text{ Kg/m (sin sobrecargas)}$$

$$T_{01} = 0.149 \times TR = 1929.6$$

$$\sigma_{01} = T_{01}/A = 1929.6/455.1 = 4.24 \text{ Kg/mm}^2$$

En las condiciones finales:

σ_{02} variable entre 0°C a 40°C, con incrementos de 5°C.

$$w_{r2} = w_c = 1.522 \text{ Kg/m (sin sobrecargas)}$$

σ_{02} a determinar para cada temperatura.

Utilizando la ECE, al reemplazar los valores datos obtenemos:

$$aE = 0,1327 \quad \frac{E}{24A^2} = 0,0014$$

entonces la ecuación del conductor es:

$$s_{02}^2 [s_{02} + 0,1327(q_2 - 15) + 24,13] = 510,1$$

que como se observa es una función matemática de la forma: $f(s_{02}, q_2) = 0$

en donde para cada θ_2 (°C) obtendremos un σ_{02} (Kg/mm²).

que al tabular, los resultados son:

Resultados:

Temperatura °C	Esfuerzo s_o Kg/mm ²	Tiro T_o kg	Parámetro C (m)	Flecha m
0	4,38	1993,3	1309,6	15,00
5	4,33	1970,6	1294,7	15,18
10	4,28	1947,8	1279,7	15,36
15	4,24	1929,6	1267,8	15,5
20	4,19	1906,6	1252,8	15,7
25	4,15	1887,7	1240,9	15,84
30	4,10	1866,7	1226,0	16,04
35	4,06	1847,7	1214,0	16,20
40	4,02	1829,5	1202,0	16,36

Las flechas del cuadro de resultados corresponden al vano $a = 396.6\text{m}$, para calcular las flechas de

los vanos en el tramo utilizaremos la relación: $f = f_r \left(\frac{a}{a_r}\right)^2$

Siendo:

- f_r , a_r : flecha y vano de regulación.
- f : flecha del vano que se regula.
- a : vano cuya flecha se calcula.

TABLA DE FLECHAS

Condiciones iniciales: 15°C, EDS:14.9%

	Temp °C	0	5	10	15	20	25	30
Vano(m)	s_o	4,38	4,33	4,28	4,24	4,19	4,15	4,10
390	Flechas	14,50	14,70	14,85	14,98	15,18	15,32	15,50
413		16,26	16,46	16,60	16,80	17,00	17,18	17,39
384		14,06	14,23	14,40	14,53	14,72	14,85	15,04
402		15,41	15,60	15,78	15,92	16,13	16,27	16,48
392		14,65	14,80	15,00	15,14	15,35	15,47	15,67

6.7 DETERMINACION DE LA PLANTILLA

La plantilla es fundamentalmente útil para localizar las estructuras en el perfil, y consiste en la determinación de dos curvas principales del conductor: Curvas de Libramiento y de Levantamiento.

Para el conductor de guarda, es suficiente la Curva de Levantamiento. La Curva de libramiento, se determina para la condición (Hipotesis) de máxima flecha y se emplea para ubicar o localizar los soportes en los planos de perfil. También se utiliza para verificar distancias mínima de la líneas a paredes o terreno lateral, distancias debido a oscilación de la cadena de aisladores.

Desplazando verticalmente hacia abajo de esta curva, se obtienen otras dos que corresponden a las curvas de distancia mínima de la línea a tierra y de pie de apoyos o de localización de estructuras.

La curva de distancia mínima de la línea a tierra depende de la tensión de servicio de la línea, la utilización que se le dé al terreno (por ejemplo carreteras) y el tipo de estructura que se utilizan para soportar el conductor. Esta distancia está generalmente especificada en las normas técnicas de cada país.

En el Perú:

$$d_{\min} = 5.3 + VN/150 \quad (\text{m})$$

donde:

VN: tensión de servicio en KV

Es necesario también, al respecto verificar las distancias mínima de las líneas especificadas y dadas por las normas VDE.

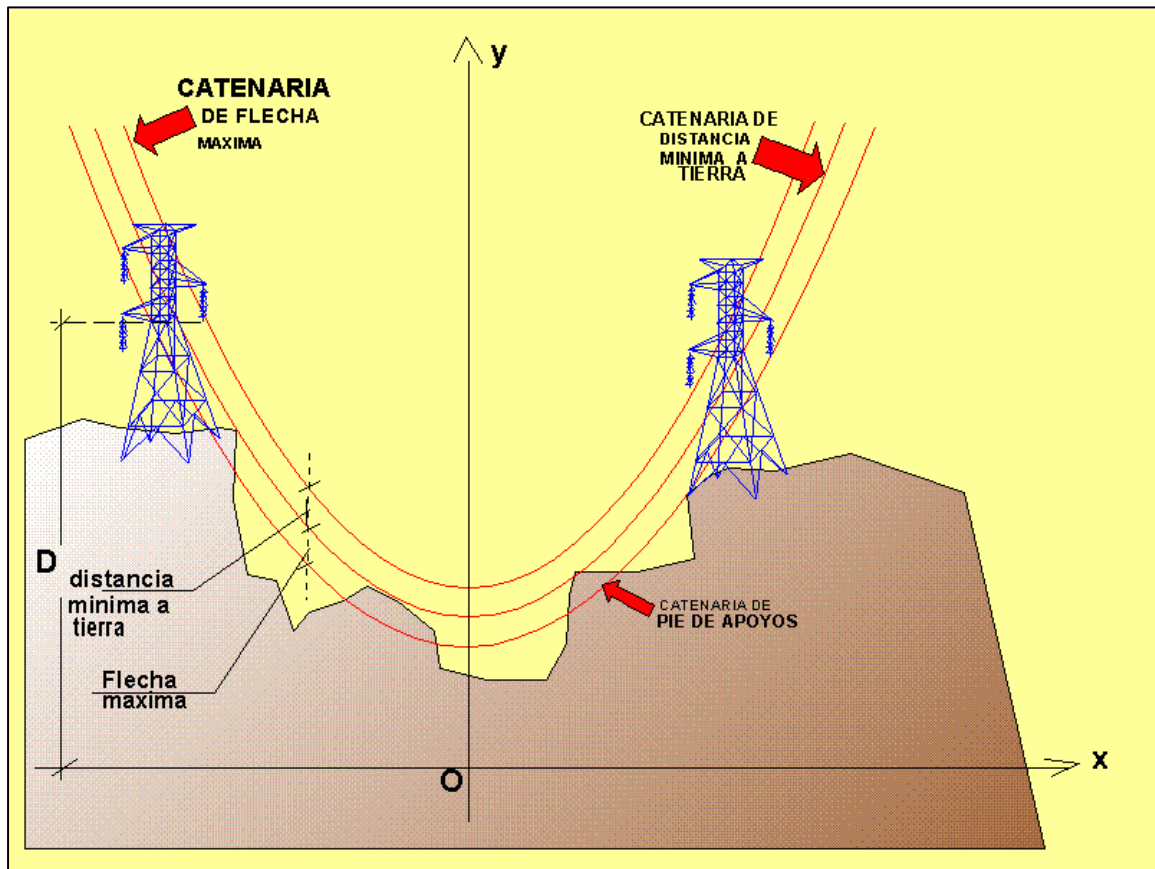
Se observa que se debe precisar la hipótesis de cálculo del conductor que corresponda a la flecha máxima, que generalmente es la de esfuerzos mínimos.

Los valores de flechas máximas se grafican con las escalas conocidas:

ESCALA	ESCALA
VERTICAL	HORIZONTAL
1:200	1:2000
1:500	1:5000

La distancia vertical entre las Curvas de Libramiento y de localización de estructuras es igual a la altura útil de la estructura - soporte, es decir la altura del conductor sobre el terreno.

Las tres curvas mencionadas se dibujan en papel transparente o en mica delgada y se ubica la plantilla obtenida en el perfil desplazándola de izquierda a derecha, manteniendo la verticalidad, haciendo que la curva 2 de distancias mínima de la líneas, sea tangente al terreno, como lo muestra el gráfico siguiente.



La figura muestra la forma en que deberá ubicarse la plantilla en el perfil Topográfico de la línea.

$$D = d_{min} + f_{max}$$

CURVA 1: Curva de flecha máxima.

CURVA 2: Curva de distancia mínima de la línea a tierra.

CURVA 3: Curva de pie de apoyos.

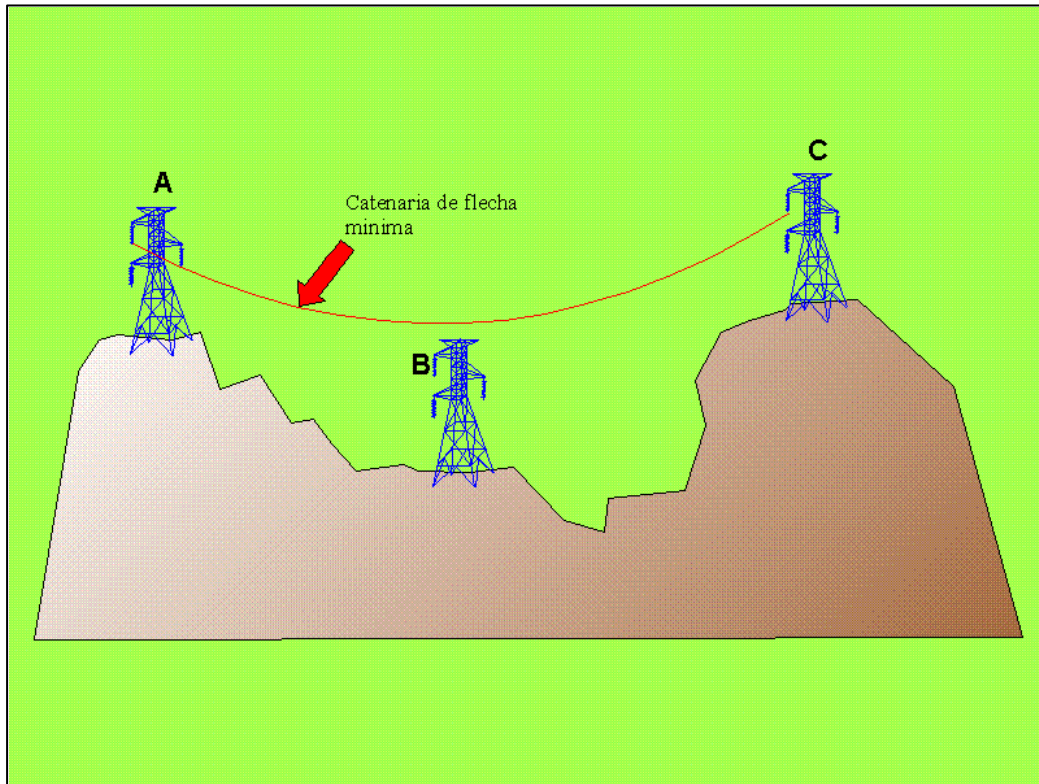
Para el caso en que se presenten solicitaciones mecánicas ascendentes (efecto Up - Lift) en los soportes, se confecciona la curva o plantilla de flecha mínima de la línea o de esfuerzos máximos, y se verifica en qué soporte se presenta la situación de esfuerzos "Up - Lift", pasando dicha plantilla en Todos los vanos.

Para determinar la curva de flecha mínima de la línea se considerará:

- El doble vano mínimo (DVM) o suma de dos vanos adyacentes de valor menor.
- Se calcula en la hipótesis de temperatura mínima de la línea sin viento ni hielo.

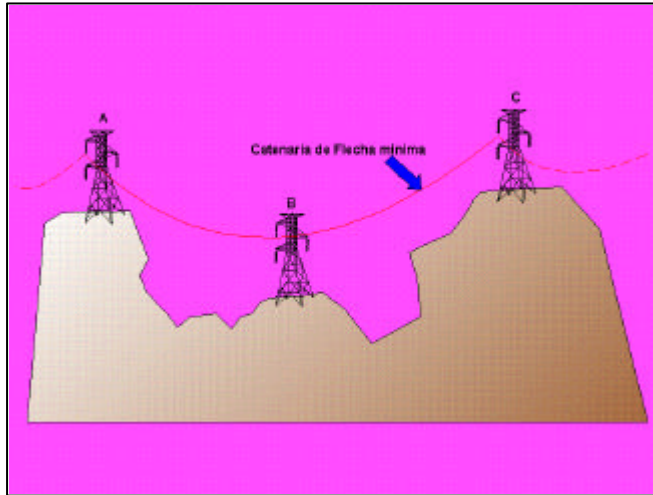
Por ejemplo, si en la hipótesis de temperatura mínima de la línea, se ha obtenido el esfuerzo de 4.97Kg/mm^2 , con este valor es posible obtener el parámetro y la curva correspondiente y graficarla (a escala del plano) y llevar la plantilla al perfil de estructuras; en cuyo caso es posible tener los casos siguientes:

Curva de flecha mínima por encima de la estructura B.



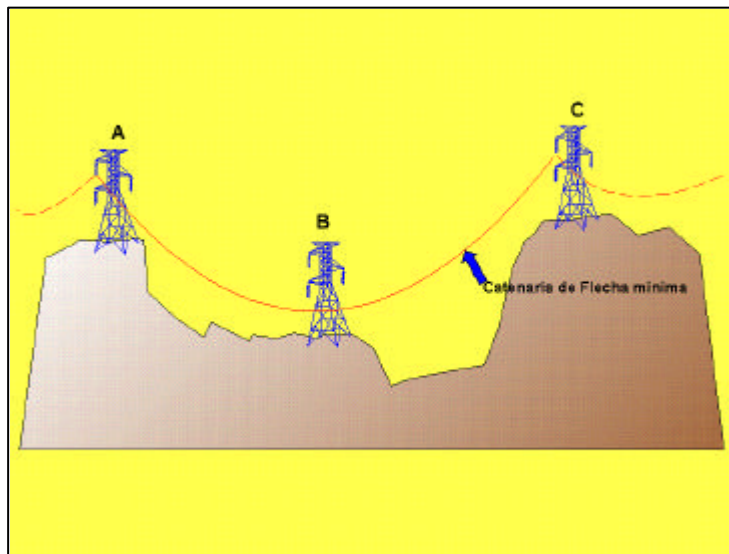
En este caso, el soporte intermedio B en verificación, soportará solicitaciones ascendentes (efecto up lift) o tiro hacia arriba, en la condición de temperatura mínima de la línea o flecha mínima de la línea.

Siendo la estructura B en verificación, ésta no soporta tiros hacia arriba, tampoco hacia abajo, esto revelaría que la estructura podría ser eliminada sin que las estructuras adyacentes sufran esfuerzos adicionales.



En la figura, Siendo la estructura B en verificación, ésta no soporta tiros hacia arriba, tampoco hacia abajo, esto revelaría que la estructura podría ser eliminada sin que las estructuras adyacentes sufran esfuerzos adicionales.

En esta figura, la curva de flecha mínima de la línea no ocasiona efecto up lift en la estructura B, lo que significa que dicha estructura "cargará" el conductor y entonces será necesario determinar este valor Total en kg que permitirá diseñar la cimentación en parrilla o en concreto de la estructura.



6.8 GRAFICO DE LA CATENARIA

Sabemos que la ecuación de flecha es:

$$f' = C \left[\cosh\left(\frac{a}{2C}\right) - 1 \right]$$

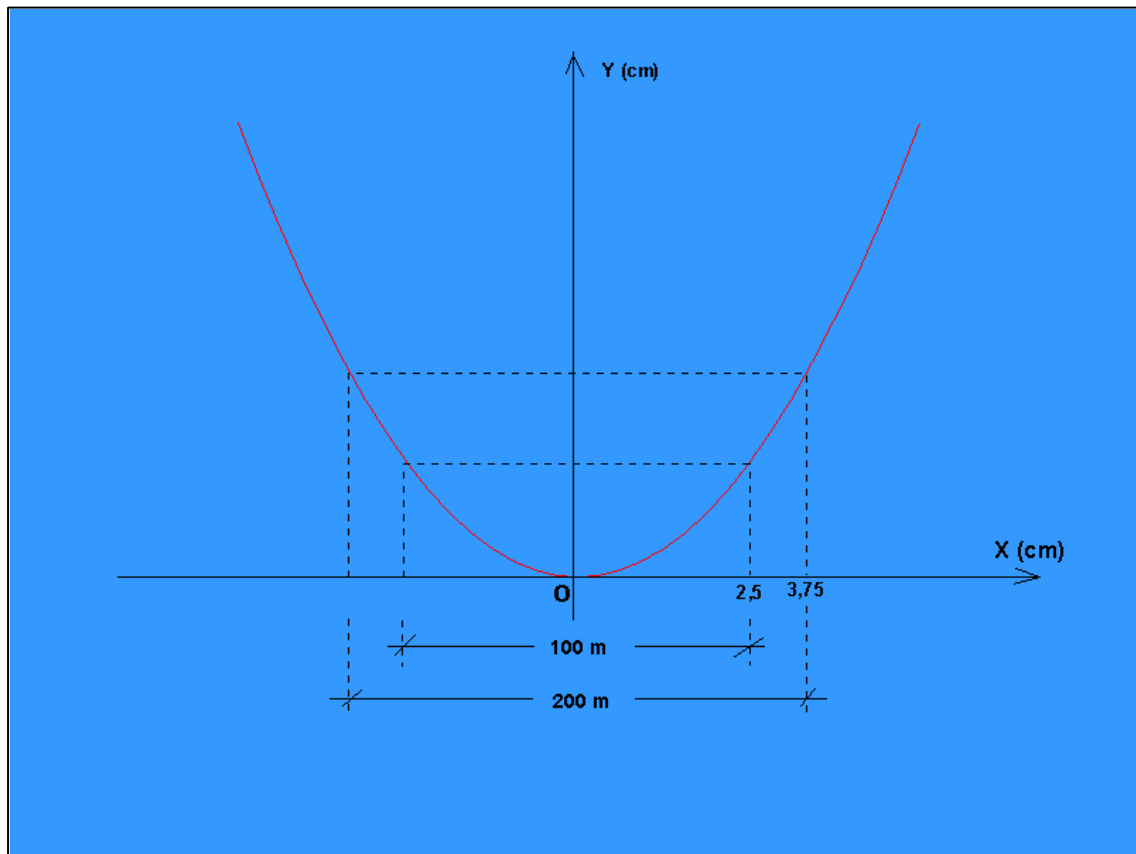
Por tanto, supongamos que deseamos graficar la catenaria de flecha máxima de parámetro $C = 600\text{m}$; entonces las flechas para cada caso son:

$$f' = C \left[\cosh\left(\frac{a}{2C}\right) - 1 \right] = 600 \left[\cosh\left(\frac{a}{2 \times 600}\right) - 1 \right] = 600 \left[\cosh\left(\frac{a}{1200}\right) - 1 \right]$$

que emplearemos para graficar.

Supongamos ahora que las escalas para gráfico son:

El Gráfico muestra la catenaria en las escalas $\text{EH} = 1:20$; $\text{EV} = 1:5$; con $C = 600\text{m}$ para dos puntos (vanos 100 y 150m)



ESCALA HORIZONTAL 1:H = 1:20m.
 ESCAL VERTICAL 1:V = 1:50m.

EJEMPLO: Datos de Cálculo Mecánico del Conductor de la Línea de Transmisión 60 Kv Nazca - Puquio

Cargas Mecánicas y Factores de Seguridad



Los parámetros para el diseño mecánico del conductor son especificados de acuerdo con las normas y regulaciones vigentes en el país. En el cuadro adjunto se muestran los valores considerados en el diseño mecánico de la línea de transmisión.

El conductor, para la máxima tensión de trabajo, estará afectado con un factor de seguridad superior a 2.5, habiéndose establecido un valor de 20% para la tensión de cada día.

En la hipótesis de flecha máxima, se ha considerado una temperatura de 60 °C, que es debido al incremento de temperatura por la máxima carga a transportar en el conductor más la temperatura equivalente por el alargamiento del conductor a lo largo de su vida útil, calculado en 25 °C.

PARAMETROS PARA DISEÑO MECANICO

1. Presión de viento

Conductor : 382,46 N/m²

Estructura : 611,93 N/m²

Rangos de temperaturas en el conductor

Mínima : - 15 °C

Media : 10 °C

Máxima : 60 °C

Factores de seguridad

Conductor

EDS : 20 % inicial

Máximo de trabajo : 2.5

De lo expuesto, se ha seleccionado el conductor de 120 mm² de aleación de aluminio, por satisfacer los requerimientos técnicos y criterios de normalización de conductores para este nivel de tensión.



Las características principales del conductor son las siguientes :

- Material : Aleación de Aluminio
- Sección Nominal : 120 mm²
- Sección Real : 126,7 mm²

-	Nº hilos/diámetro	:	19/2,914 mm
-	Diámetro exterior	:	14,57 mm
-	Masa unitaria	:	0.349 kg/m
-	Tiro de rotura	:	38,46 kN
-	Módulo de elasticidad	:	62,27 kN/mm ²
-	Coef. Dilatación lineal	:	23 x 10E – 06 1/° C
-	Resistencia elect. A 20 ° C	:	0,2664 Ohm/km

Cable de Guarda

El cable de guarda se seleccionó de forma que la ocurrencia de un cortocircuito no conlleve una elevación de temperatura capaz de alterar las características de los materiales utilizados en su fabricación o afecte su comportamiento permanente en su funcionamiento.

Dentro este criterio, se seleccionó como material el cable de acero galvanizado de extra alta resistencia que tiene las siguientes características :

Sección real	:	38,36 mm ²
Número de hilos	:	7
Diámetro exterior	:	7,94 mm
Masa unitaria	:	0,305 N/m
Tiro de rotura	:	49,82 kN
Módulo de elasticidad final	:	158,57 kN/mm ²
Coeficiente de dilatación	:	11,5 x E – 06 °C
Resistencia d.c. 20 °C	:	4,25 Ohm/km

Conductor Activo

Para el cálculo mecánico del conductor se ha considerado las siguientes hipótesis de acuerdo a las condiciones ambientales de la zona del proyecto, las que se muestran a continuación :

HIPOTESIS N° 1 : E.D.S.

- Temperatura media : 10 ° C
- Presión de viento : 0 kg/m²
- Esfuerzo de trabajo : 20% del tiro de rotura

HIPOTESIS N° 2 : ESFUERZOS MAXIMOS

- Temperatura mínima : -15 ° C
- Presión de viento : 382,46 N/m²
- Esfuerzo de trabajo : 40% del tiro de rotura

HIPOTESIS N° 3 : ESFUERZOS MAXIMOS

- Temperatura media : 0 ° C
- Presión de viento : 0
- Espesor de hielo 6 mm

HIPOTESIS N° 4 : FLECHA MAXIMA

- Temperatura : 60 ° C
- Presión de viento : 0

HIPOTESIS N° 5 : OSCILACION DE CADENA

- Temperatura : 5 ° C

- Presión de viento : 191,23 N/m²

- Espesor de hielo : 0 mm

Se considera como esfuerzo unitario para tensado del conductor en condiciones EDS iniciales, el 20% del esfuerzo de rotura del conductor.

Para la condición de flecha máxima se ha considerado un incremento de temperatura equivalente a 25° C por efecto "Creep", más 15 °C por calentamiento por el paso de la corriente, lo que equivale a un 17 % del esfuerzo de rotura del conductor en condiciones finales.



6.9 APLICACIONES PRACTICAS

Problema N° 1

El conductor de características dadas, deberá ser extendido en un vano de 300m, si el coeficiente de seguridad mínimo deberá ser de 2,5, así como la Tensión de Cada Día (TCD) no deberá superar el 18%, Se desea calcular el Esfuerzo de templado.

$$\begin{aligned} A &= 125,1 \text{ m}^2 & f_c &= 14,31 \text{ mm} \\ E &= 8094 \text{ kg/mm}^2 & a &= 0,0000191 \text{ }^\circ\text{C}^{-1} \\ TR &= 3777 \text{ kg} & w_c &= 0,435 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Y las Hipótesis de cálculo serán:

Hipót	Temp	Viento	Hielo
	$^\circ\text{C}$	kg/m^2	mm
I	-5	6,35	—
II	+15	—	—
III	+40	—	—

Solución:

a) Cálculo de sobrecargas:

HIPOT I: $\theta = -5^\circ\text{C}$

Peso del hielo: $w_h = 0,0029(e^2 + e f_c) = 0,0029(6,35^2 + 6,35 \times 14,31) = 0,38 \text{ kg/m}$

Peso resultante:

$$w_r = w_c + w_h = 0,435 + 0,38 = 0,815 \text{ Kg/m}$$

HIPOT II: $\theta = 15^\circ\text{C}$; no hay viento, ni hielo: $w_r = w_c = 0,435 \text{ kg/m}$.

HIPOT III: $\theta = +40^\circ\text{C}$ Sin sobrecargas. $w_r = w_c = 0,435 \text{ kg/m}$.

b) Esfuerzos y tiros nominales en cada hipótesis.

HIPOT II: TCD= 18% (dato)

Entonces el tiro en el vértice: $T_o = 0,18TR = 0,18 \times 3777 = 679,86 \text{ kg}$

por lo que esfuerzo en el vértice es: $s_o = \frac{T_o}{A} = \frac{679,86}{125,1} = 5,434 \text{ kg/mm}^2$

HIPOT I: Tiro máximo en el extremo del cable: $T_{max} = T_b = \frac{TR}{cs} = \frac{3777}{2,5} = 1510,8 \text{ kg}$

y el parámetro de la catenaria en esta hipótesis:

$$C = \frac{1}{2} \left(\frac{T_b}{w_c} + \sqrt{\left(\frac{T_b}{w_c} \right)^2 - \frac{a^2}{2}} \right) = \frac{1}{2} \left(\frac{1510,8}{0,815} + \sqrt{\left(\frac{1510,8}{0,815} \right)^2 - \frac{300^2}{2}} \right) = 1847,6536 \text{ m}$$

Y entonces el tiro en el vértice es: $T_o = Cw_r = 1847,6536 \times 0,815 = 1505,8376 \text{ kg}$

Con el esfuerzo en el vértice: $s_o = \frac{T_o}{A} = \frac{1505,8376}{125,1} = 12,037 \text{ kg/mm}^2$

Resolvemos ahora la Ecuación de Cambio de Estado (ECE)

c) Para la ecuación de cambio de estado del conductor, los datos son:



$q_1 = -5^\circ C$	$q_2 = +15^\circ C$
$w_{r1} = 0,815 \text{ kg/m}$	$w_{r2} = 0,435 \text{ kg/m}$
$s_{o1} = 12,037 \text{ kg/mm}^2$	$s_{o2} = \text{Calcular}$

Al resolver obtenemos: $s_{o2} = 7,17 \text{ kg/mm}^2$

e) Elección del esfuerzo del templado: de los cálculos, en resumen, tenemos que en la Hipótesis de Templado el esfuerzo deberá ser: $s_{o2} \leq 5,434 \text{ kg/mm}^2$ en razón que este esfuerzo corresponde al EDS=18% como máximo. Por otra parte, a partir de la Hipótesis I hemos calculado el esfuerzo necesario para tener un mínimo de coeficiente de seguridad igual a 2,5 exigido, es decir: $s_{o2} = 7,17 \text{ kg/mm}^2$ Por tanto el esfuerzo de templado es:

$$s_o = \text{Menor}\{5,434; 7,17\} \text{ kg/mm}^2 = 5,434 \text{ kg/mm}^2$$

y el tiro de templado: $T_o = s_o A = 5,434 \times 125,1 = 679,793 \text{ kg}$

f) Tiro máximo en el conductor, en el templado:

$$T_b = T_o \cosh\left(\frac{x_b}{C}\right) = 679,793 \cosh\left(\frac{300}{1562,7425}\right) = 682,927 \text{ kg}$$

Siendo el parámetro: $C = \frac{T_o}{w_r} = \frac{679,793}{0,435} = 1562,7425 \text{ m}$

Ubicado, por supuesto, en el extremo del cable.

g) Cálculo de tiros y esfuerzos reales en la Hipótesis I (Máximos Esfuerzos)

Aplicamos la ECE:

Condiciones iniciales (templado) y las condiciones finales (Hipót I), son respectivamente:

$$\begin{aligned} q_1 &= +15^\circ C & q_2 &= -5^\circ C \\ w_{r1} &= 0,435 \text{ kg/m} & w_{r2} &= 0,815 \text{ kg/m} \\ s_{o1} &= 5,437 \text{ kg/mm}^2 & s_{o2} &= \text{Calcular} \end{aligned}$$

Al resolver la ECE obtenemos:

$$\sigma_{o2} = 9,72 \text{ kg/mm}^2 \text{ a } -5^\circ C$$

tiro en el vértice en esta hipótesis:

$$T_o = s_o A = 9,72 \times 125,1 = 1215,972 \text{ kg}$$

h) Tiro máximo y factor de seguridad de diseño (en la HIPOT I, máximos esfuerzos)

$$\text{Tiro máximo: } T_b = T_o \cosh\left(\frac{a}{2C}\right) = 1215,972 \cosh\left(\frac{300}{2 \times 991,017}\right) = 1229,927 \text{ kg}$$

Siendo el parámetro C de la catenaria:

$$C = T_o w_r = 1215,972 \times 0,815 = 991,017 \text{ m}$$

entonces:

$$\text{Esfuerzo máximo: } s_{max} = \frac{T_b}{A} = \frac{1229,927}{125,1} = 9,831 \text{ kg/mm}^2 \text{ a } -5^\circ C$$

Coeficiente de seguridad del diseño:

$$cs = \frac{TR}{T_b} = \frac{3777}{1229,927} = 3,07 > 2,5$$

Como se observa, al templar el conductor con el esfuerzo seleccionado de 5.434 Kg/mm^2 , a la temperatura de $15^\circ C$; el coeficiente de seguridad es 3.07 (mayor que 2.5 exigido) cuando el cable pase a la temperatura de $-5^\circ C$ (en la Hipótesis de esfuerzos máximos).

Problema N° 2

El Conductor ALDREY (aleación de aluminio), de características:

$$\begin{aligned} A &= 53,5 \text{ m}^2 & f_c &= 9,36 \text{ mm} \\ E &= 6000 \text{ kg/mm}^2 & a &= 0,000023 \text{ }^\circ C^{-1} \\ TR &= 1525 \text{ kg} & w_c &= 0,146 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Será calculado para las hipótesis siguientes:

<i>Hipót</i>	<i>Temp</i>	<i>Viento</i>	<i>Hielo</i>
	°C	kg / m ²	mm
<i>Templado</i>	+15	—	—
<i>Esf .Máximos</i>	+ 10	39	—
<i>FlechaMáxima</i>	+ 40	—	—

Con el vano de cálculo de 200m, con coeficiente de seguridad mínimo de 3,0 y una Tensión de Cada Día del 22% determinar el Esfuerzo de Templado.

Solución:

Cálculo de sobrecargas en cada hipótesis de cálculo:

HIPOTESIS I: No hay viento, ni hielo, por tanto: $w_r = w_c = 0.146\text{Kg/m}$.

HIPOTESIS II:

$$\text{viento: } w_v = p_v \frac{(f_c + 2e)}{1000} = 39 \frac{(9,36 + 2 \times 0)}{1000} = 0,365 \text{kg / m}$$

$$\text{peso unitario Total: } w_r = \sqrt{0,146^2 + 0,365^2} = 0,3931 \text{kg / m}$$

HIPOTESIS III: No hay ni vienTo, ni hielo: $w_r = w_c = 0.146\text{Kg/m}$

$$\text{En la HIPOTESIS II el Tiro máximo es: } T_b = T_{max} = \frac{TR}{cs} = \frac{1525}{3,0} = 508,333 \text{kg}$$

$$\text{Esfuerzo máximo: } s_b = s_{max} = \frac{T_b}{A} = \frac{508,333}{53,5} = 9,5015 \text{ k / mm}^2$$

En las Hipótesis II calculamos la catenaria a fin de calcular el tiro vértice y el esfuerzo en el vértice:

HIPOTESIS II:

$$C = \frac{1}{2} \left(\frac{T_b}{w_c} + \sqrt{\left(\frac{T_b}{w_c} \right)^2 - \frac{a^2}{2}} \right) = \frac{1}{2} \left(\frac{508,333}{0,3931} + \sqrt{\left(\frac{508,333}{0,3931} \right)^2 - \frac{200^2}{2}} \right) = 1289,261 \text{m}$$

$$\text{Tiro vértice: } C = T_o w_r = 1289,261 \times 0,3931 = 506,8085 \text{m}$$

$$\text{Y el esfuerzo en el vértice: } s_o = \frac{T_o}{A} = \frac{506,8085}{53,5} = 9,473 \text{kg / mm}^2$$

A partir de la Hipótesis II con la ECE, calculamos los esfuerzos en la Hipótesis I de templado.

Condiciones finales: Hipótesis I de templado:

$$q_2 = +15^{\circ}C$$

$$w_{r2} = 0,146kg / m$$

$$s_{o2} = \text{Calcular}$$

Condiciones iniciales Hipótesis II:

$$q_1 = +10^{\circ}C$$

$$w_{r1} = 0,365kg / m$$

$$s_{o1} = 9,473kg / mm^2$$

Valores que al ser reemplazados en la ECE obtenemos:

$$\sigma_{02} = 6.66Kg/mm^2$$

Elección del esfuerzo de templado.

El esfuerzo máximo a aplicar al conductor deberá ser:

$$s_{max} \leq 18\%TR = \frac{0,18TR}{A} = \frac{0,18 \times 1525}{53,5} = 513kg / mm^2$$

En consecuencia, el esfuerzo de templado será:

$$s_o = \text{Menor}\{5,13; 6,66\} = 5,13kg / mm^2 \quad \text{a } +15^{\circ}C$$

CALCULO MECANICO DE CONDUCTORES
LINEA DE TRANSMISION 60 kV MAJES - CORIRE - CHUQUIBAMBA

Conductor	Aleación de Aluminio	Sección	120,00 mm ²	Peso Unitario	3,263 N/m	Tiro de Rotura	35280 N	Relación desnivel/vano	0
VANO (m)	HIPOTESIS I (20°C. sin/V EDS = 17%T)			HIPOTESIS II (5°C. con/V 90km/h TMT = 40%T)			HIPOTESIS III (50°C. sin/V)		
	H (Tiro Horizontal del conductor en N)	T (Tiro Tangencial del conductor en N)	F (Flecha del conductor en m)	H (Tiro Horizontal del conductor en N)	T (Tiro Tangencial del conductor en N)	F (Flecha del conductor en m)	H (Tiro Horizontal del conductor en N)	T (Tiro Tangencial del conductor en N)	F (Flecha del conductor en m)
40	5997.6	5997.992	0,11	8431.822	8432.704	0,15	2212.448	2213.33	0,30
60	5997.6	5998.384	0,24	8565.984	8568.14	0,33	2626.694	2628.556	0,56
80	5997.6	5998.972	0,44	8728.566	8732.29	0,58	2982.826	2985.668	0,88
100	5997.6	5999.854	0,68	8905.554	8911.238	0,89	3291.33	3295.348	1,24
120	5997.6	6000.834	0,98	9086.658	9094.694	1,26	3560.438	3565.828	1,65
140	5997.6	6001.912	1,33	9264.92	9275.602	1,68	3796.52	3803.38	2,11
160	5997.6	6003.284	1,74	9436.126	9449.846	2,16	4004.378	4012.904	2,61
180	5997.6	6004.754	2,20	9597.924	9614.976	2,68	4187.932	4198.222	3,16
200	5997.6	6006.518	2,72	9749.138	9769.816	3,26	4350.612	4362.862	3,75
220	5997.6	6008.38	3,29	9889.376	9914.072	3,89	4494.966	4509.372	4,39
240	5997.6	6010.438	3,92	10018.834	10047.842	4,57	4623.542	4640.104	5,08
260	5997.6	6012.594	4,60	10137.904	10171.616	5,30	4738.202	4757.214	5,82
280	5997.6	6015.044	5,33	10247.272	10285.884	6,08	4840.71	4862.27	6,61
300	5997.6	6017.592	6,12	10347.428	10391.332	6,91	4932.536	4956.84	7,45
320	5997.6	6020.336	6,97	10439.156	10488.744	7,80	5014.856	5042.1	8,34
340	5997.6	6023.276	7,87	10523.24	10578.708	8,73	5089.042	5119.226	9,28
360	5997.6	6026.412	8,82	10600.17	10661.91	9,72	5155.78	5189.296	10,27
380	5997.6	6029.646	9,83	10670.632	10739.036	10,76	5216.148	5252.996	11,31
400	5997.6	6033.174	10,89	10735.312	10810.576	11,85	5270.734	5311.208	12,40
420	5997.6	6036.8	12,01	10794.602	10877.216	13,00	5320.224	5364.422	13,54
440	5997.6	6040.622	13,18	10849.09	10939.25	14,19	5365.304	5413.324	14,74
460	5997.6	6044.64	14,41	10899.07	10997.266	15,44	5406.268	5458.404	15,99
480	5997.6	6048.854	15,69	10945.228	11051.656	16,75	5443.606	5500.054	17,30
500	5997.6	6053.166	17,03	10987.662	11102.714	18,10	5477.808	5538.666	18,65
520	5997.6	6057.674	18,42	11026.862	11150.832	19,51	5509.07	5574.534	20,06
540	5997.6	6062.476	19,87	11063.024	11196.304	20,98	5537.784	5608.05	21,53
560	5997.6	6067.376	21,37	11096.54	11239.424	22,50	5564.146	5639.312	23,04
580	5997.6	6072.374	22,93	11127.508	11280.486	24,07	5588.45	5668.81	24,61
600	5997.6	6077.666	24,54	11156.222	11319.49	25,69	5610.892	5696.446	26,24
620	5997.6	6083.154	26,21	11182.976	11356.926	27,37	5631.57	5722.71	27,92
640	5997.6	6088.74	27,93	11207.77	11392.696	29,11	5650.68	5747.504	29,65
660	5997.6	6094.522	29,71	11230.898	11427.192	30,90	5668.418	5771.024	31,44
680	5997.6	6100.5	31,54	11252.36	11460.414	32,74	5684.98	5793.564	33,29
700	5997.6	6106.674	33,43	11272.45	11492.558	34,64	5700.268	5815.026	35,18
720	5997.6	6113.044	35,37	11291.266	11523.722	36,59	5714.478	5835.704	37,14
740	5997.6	6119.512	37,37	11308.808	11554.102	38,60	5727.806	5855.5	39,14
760	5997.6	6126.274	39,43	11325.272	11583.6	40,66	5740.252	5874.708	41,21
780	5997.6	6133.134	41,54	11340.658	11612.51	42,78	5751.816	5893.23	43,32
800	5997.6	6140.19	43,70	11355.064	11640.734	44,95	5762.694	5911.164	45,50
820	5997.6	6147.442	45,92	11368.686	11668.468	47,18	5772.788	5928.608	47,73
840	5997.6	6154.89	48,20	11381.426	11695.81	49,47	5782.392	5945.562	50,01
860	5997.6	6162.534	50,53	11393.48	11722.662	51,81	5791.31	5962.124	52,35
880	5997.6	6170.276	52,92	11404.848	11749.22	54,20	5799.738	5978.392	54,75
900	5997.6	6178.312	55,37	11415.53	11775.484	56,65	5807.676	5994.366	57,20
920	5997.6	6186.446	57,87	11425.624	11801.552	59,16	5815.124	6010.046	59,70
940	5997.6	6194.776	60,43	11435.13	11827.326	61,72	5822.18	6025.432	62,27
960	5997.6	6203.302	63,04	11444.146	11853.002	64,34	5828.844	6040.622	64,89
980	5997.6	6212.024	65,71	11452.672	11878.58	67,02	5835.214	6055.616	67,56
1000	5997.6	6220.942	68,44	11460.806	11904.06	69,75	5841.094	6070.512	70,29
1020	5997.6	6230.056	71,22	11468.45	11929.442	72,54	5846.778	6085.212	73,08
1040	5997.6	6239.268	74,06	11475.8	11954.726	75,38	5852.07	6099.912	75,92
1060	5997.6	6248.774	76,95	11482.66	11980.108	78,28	5857.166	6114.416	78,82
1080	5997.6	6258.378	79,90	11489.226	12005.49	81,24	5861.968	6128.822	81,78
1100	5997.6	6268.178	82,91	11495.498	12030.872	84,25	5866.574	6143.228	84,79
1120	5997.6	6278.174	85,98	11501.476	12056.352	87,32	5870.886	6157.634	87,86
1140	5997.6	6288.366	89,10	11507.16	12081.93	90,45	5875.002	6171.942	90,99
1160	5997.6	6298.754	92,28	11512.55	12107.508	93,63	5879.02	6186.348	94,18
1180	5997.6	6309.338	95,52	11517.744	12133.282	96,87	5882.744	6200.656	97,42
1200	5997.6	6320.118	98,81	11522.644	12159.154	100,17	5886.272	6214.964	100,72
1220	5997.6	6330.996	102,17	11527.348	12185.222	103,53	5889.702	6229.37	104,07
1240	5997.6	6342.168	105,58	11531.856	12211.388	106,94	5893.034	6243.776	107,49
1260	5997.6	6353.438	109,04	11536.168	12237.75	110,41	5896.072	6258.182	110,96

PLANILLA DE DISTRIBUCION DE ESTRUCTURAS DE LA LINEA DE TRANSMISION 60 kV MAJES - CORIRE

Estructura		Ubicación de Estructuras					Vanos Característicos				PARAMETRO DE LA CATENARIA	Estructuras Madera					Aisladores y Accesorios			Puesta a Tierra						
Nº	Tipo	Progresiva (m)	Cota (m)	Desnivel de Amarres (m)	Vértice	Angulo Desviación de la Línea	Regulador (m)	Adelante (m)	Viento (m)	Gravante (m)	F-Max	F-Max	F-Max	Longitud	Cant.	C1	C2	C3	Retenida	Tipo	Cad. Susp.	Cad. Anclaj.	Contra peso x Fase	Ang. Oscil. HIP II	Rang.	Zona
1	R	0.00	1,420.61	-2.24	V-1	169° 29' 30"	70.94	70.89	35.47	62.83	866.46	60' - cl 3	1	3	-	-	-	-	2-RV	1	6	0	0.00	D	I	
2	A3	70.89	1,419.82	-4.93	V-2	148° 22' 50"	158.02	153.88	112.50	124.28	1,221.02	60' - cl 3	1	-	-	-	-	-	R3, RV	0	6	0	0.00	D	I	
3	S	224.77	1,416.24	-3.33				149.11	151.65	139.81	1,221.02	55' - cl 3	1	2	-	-	-	-	-	3	0	1	47.55	D	I	
4	A2	373.87	1,413.47	-0.06	V-3	235° 46' 30"		113.81	131.54	104.89	1,221.02	55' - cl 3	1	-	-	-	-	-	R2	3	0	0	88.27	D	I	
5	S1	487.69	1,413.17	-0.16	V-4	185° 41' 40"		145.18	129.56	130.23	1,221.02	55' - cl 3	1	2	-	-	-	-	R1	3	0	4	47.54	D	I	
6	S	632.86	1,412.70	-0.66				182.39	163.91	167.02	1,221.02	55' - cl 3	1	2	-	-	-	-	-	3	0	1	43.79	D	I	
7	S	815.26	1,412.04	-0.47				163.79	173.24	172.33	1,221.02	55' - cl 3	1	2	-	-	-	-	-	3	0	1	45.36	D	I	
9	S	979.04	1,411.57	-0.65				163.79	163.91	165.21	1,221.02	55' - cl 3	1	2	-	-	-	-	-	3	0	1	44.28	D	I	
9	S	1,142.83	1,410.92	-0.16				163.79	163.91	160.28	1,221.02	55' - cl 3	1	2	-	-	-	-	-	3	0	1	45.64	D	I	
10	S	1,306.62	1,410.76	0.13				163.79	163.91	161.71	1,221.02	55' - cl 3	1	2	-	-	-	-	-	3	0	1	45.24	D	I	
11	S	1,470.40	1,410.89	3.25				153.88	158.96	134.11	1,221.02	55' - cl 3	1	2	-	-	-	-	-	3	0	2	42.47	D	I	
12	R	1,624.28	1,411.35	-3.01			183.28	222.05	188.18	231.57	1,291.81	60' - cl 3	1	3	-	-	-	-	R4	1	6	0	0.00	D	I	
13	S	1,846.34	1,411.14	-0.03				184.86	203.68	186.32	1,291.81	55' - cl 3	1	2	-	-	-	-	-	3	0	2	43.10	D	I	
14	S	2,031.20	1,411.12	-0.08				165.27	175.20	175.66	1,291.81	55' - cl 3	1	2	-	-	-	-	-	3	0	1	45.10	D	I	
15	S	2,196.47	1,411.03	0.01				156.22	160.85	160.13	1,291.81	55' - cl 3	1	2	-	-	-	-	-	3	0	1	44.65	D	I	
16	S	2,352.69	1,411.05	0.04				165.62	161.02	160.81	1,291.81	55' - cl 3	1	2	-	-	-	-	-	3	0	1	44.53	D	I	
17	S	2,518.30	1,411.08	-0.12				176.50	171.19	172.35	1,291.81	55' - cl 3	1	2	-	-	-	-	-	3	0	1	44.72	D	I	
18	S	2,694.81	1,410.96	3.01				187.88	182.36	160.73	1,291.81	55' - cl 3	1	2	-	-	-	-	-	3	0	2	42.90	D	I	
19	R	2,882.69	1,411.18	-0.95			170.74	214.76	201.55	227.91	1,258.14	60' - cl 3	1	3	-	-	-	-	R4	1	6	0	0.00	D	I	
20	S	3,097.45	1,413.03	2.40				178.89	197.04	174.52	1,258.14	55' - cl 3	1	2	-	-	-	-	-	3	0	2	43.93	D	I	
21	S	3,276.34	1,415.43	1.10				176.58	177.89	186.96	1,258.14	55' - cl 3	1	2	-	-	-	-	-	3	0	1	43.13	D	I	
22	S	3,452.92	1,416.53	2.75				190.08	183.50	173.10	1,258.14	55' - cl 3	1	2	-	-	-	-	-	3	0	1	48.32	D	I	
23	S1	3,643.00	1,418.22	-0.82	V-5	185° 40' 40"		154.62	172.50	197.43	1,258.14	60' - cl 3	1	2	-	-	-	-	RV	3	0	3	49.62	D	I	
24	S	3,797.61	1,418.47	1.99				154.62	154.72	131.84	1,258.14	55' - cl 3	1	2	-	-	-	-	-	3	0	2	41.56	D	I	
25	S	3,952.23	1,420.46	1.76				154.62	154.73	156.57	1,258.14	55' - cl 3	1	2	-	-	-	-	-	3	0	1	43.59	D	I	
26	S	4,106.85	1,422.22	-0.45				154.62	154.72	172.74	1,258.14	55' - cl 3	1	2	-	-	-	-	-	3	0	0	48.43	D	I	
27	A1	4,261.47	1,422.62	2.83	V-6	196° 11' 26"		159.94	157.39	131.46	1,258.14	55' - cl 3	1	-	-	-	-	-	RV	3	0	0	79.93	D	I	
28	S	4,421.40	1,424.60	1.47				178.02	169.12	180.97	1,258.14	55' - cl 3	1	2	-	-	-	-	-	3	0	1	41.95	D	I	
29	S	4,599.43	1,426.07	1.30				159.40	168.84	168.97	1,258.14	55' - cl 3	1	2	-	-	-	-	-	3	0	1	44.86	D	I	
30	S	4,758.82	1,427.38	1.94				158.69	159.16	154.04	1,258.14	55' - cl 3	1	2	-	-	-	-	-	3	0	1	45.80	D	I	
31	S	4,917.51	1,429.32	2.22				158.69	158.81	156.62	1,258.14	55' - cl 3	1	2	-	-	-	-	-	3	0	1	44.95	D	I	
32	S	5,076.20	1,431.54	1.28				158.69	158.81	166.25	1,258.14	55' - cl 3	1	2	-	-	-	-	-	3	0	1	42.37	D	I	
33	R	5,234.89	1,430.03	-3.52			187.13	200.67	179.85	212.92	1,301.71	60' - cl 3	1	3	-	-	-	-	R4	1	6	0	0.00	D	I	
34	S	5,435.56	1,427.93	-1.25				247.53	224.40	208.13	1,301.71	60' - cl 3	1	2	-	-	-	-	-	3	0	2	43.83	D	I	
35	S	5,683.09	1,428.05	0.85				148.40	198.20	184.13	1,301.71	55' - cl 3	1	2	-	-	-	-	-	3	0	1	49.68	D	I	
36	S	5,831.50	1,428.90	2.75				165.20	156.91	142.64	1,301.71	55' - cl 3	1	2	-	-	-	-	-	3	0	2	39.56	D	I	
37	S	5,996.69	1,431.65	3.97				146.59	156.03	142.43	1,301.71	55' - cl 3	1	2	-	-	-	-	-	3	0	2	39.34	D	I	
38	S2	6,143.28	1,435.94	4.03	V-7A	178° 26' 8"		128.27	137.55	131.91	1,301.71	55' - cl 3	1	2	-	-	-	-	RV	3	0	2	45.33	D	I	
39	A3	6,271.55	1,439.69	0.44	V-7B	136° 16' 31"	122.91	122.91	125.68	162.70	1,101.94	55' - cl 3	1	-	-	-	-	-	R3, RV	0	6	0	0.00	D	I	
40	A3	6,394.46	1,438.75	-4.47	V-7C	141° 40' 17"	204.61	204.54	163.88	197.24	1,343.77	60' - cl 3	1	-	-	-	-	-	R3, RV	0	6	0	0.00	D	I	
41	A3	6,599.00	1,434.28	-2.50	V-8A	214° 34' 14"	58.14	58.06	131.46	136.19	793.57	60' - cl 3	1	-	-	-	-	-	R3, RV	0	6	0	0.00	D	I	
42	A3	6,657.06	1,433.16	-2.20	V-8B	219° 51' 40"	184.13	163.95	111.10	94.30	1,294.00	55' - cl 3	1	-	-	-	-	-	R3, RV	0	6	0	0.00	D	I	
43	S	6,821.01	1,430.93	-5.20				203.81	184.08	199.83	1,294.00	55' - cl 3	1	2	-	-	-	-	-	3	0	2	35.84	D	I	
44	S	7,024.82	1,425.73	-0.60				175.08	189.65	160.97	1,294.00	55' - cl 3	1	2	-	-	-	-	-	3	0	2	44.87	D	I	
45	S	7,199.90	1,425.13	0.89				186.39	180.88	170.25	1,294.00	55' - cl 3	1	2	-	-	-	-	-	3	0	2	40.45	D	I	
46	R	7,386.29	1,424.60	-1.59			185.81	192.93	189.83	206.79	1,298.30	55' - cl 3	1	3	-	-	-	-	R4	1	6	0	0.00	D	I	
47	S	7,579.22	1,424.43	-0.59				185.82	189.55	182.97	1,298.30	55' - cl 3	1	2	-	-	-	-	-	3	0	1	47.50	D	I	
48	S	7,765.04	1,423.84	-0.49				186.94	186.54	185.79	1,298.30	55' - cl 3	1	2	-	-	-	-	-	3	0	1	45.93	D	I	
49	S	7,951.98	1,423.35	-0.30				183.24	185.25	184.00	1,298.30	55' - cl 3	1	2	-	-	-	-	-	3	0	1	46.00	D	I	
50	S	8,135.23	1,423.04	-0.90				183.99	183.77	187.96	1,298.30	55' - cl 3	1	2	-	-	-	-	-	3	0	1	44.62	D	I	
51	S	8,319.21	1,422.14	-0.30				177.66	180.97	176.79	1,298.30	55' - cl 3	1	2	-	-	-	-	-	3	0	1	46.55	D	I	
52	S	8,496.87	1,421.84	-1.07				177.26	177.60	183.24	1,298.30	55' - cl 3	1	2	-	-	-	-	-	3	0	1	43.96	D	I	
53	S	8,674.14	1,420.78	-0.22				197.63	187.61	181.27	1,298.30	55' - cl 3	1	2	-	-	-	-	-	3	0	1	47.36	D	I	
54	A2	8,871.76	1,419.73	-3.43	V-9	139° 57' 6"		183.92	190.96	213.77	1,298.30	60' - cl 3	1	-	-	-	-	-	RV	3	0	0	81.89	D	I	
55	R	9,055.68	1,415.70	-5.24	V-10A	188° 25' 31"	154.83	136.74	160.51	182.70	1,211.18	55' - cl 3	1	3	-	-	-	-	R4, RV	1	6	0	0.00	D	I	
56	A2	9,192.42	1,412.43	0.91	V-10B	215° 56' 24"		168.00	152.52	99.45	1,211.18	55' - cl 3	1	-	-	-	-	-	RV	3	0	0	88.75	D	I	
57	R	9,360.42	1,411.37	-1.39	V-10C	186° 23' 31"	170.27	163.89	166.08	183.35	1,256.86	55' - cl 3	1	3	-	-	-	-	R4, RV	1	6	0	0.00	D	I	
58	S	9,524.31	1,411.40	-0.38				163.89	164.01	156.25	1,256.86	55' - cl 3	1	2	-	-	-	-	-	3	0	1	46.80	D	I	
59</																										

CAPITULO 7

CONDUCTORES DE ALUMINIO

El empleo del aluminio como conductor eléctrico se remonta a finales del siglo pasado, cuando el desarrollo de la electrólisis sacó al aluminio de su fase de metal precioso para entrar en el dominio industrial, remontándose hacia 1895 las primeras líneas instaladas a título experimental. Hoy en día,



todavía existen en servicio líneas que fueron instaladas hace unos cincuenta años. Pero realmente el aluminio no se clasificó como material eléctrico a escala industrial hasta bastante después de la II Guerra Mundial. La necesidad de su empleo surgió como consecuencia de la escasez de cobre durante la guerra, lo que obligó a ensayar el aluminio. La experiencia adquirida unida al desarrollo de nuevas técnicas, ha permitido que el Aluminio tenga gran importancia como conductor eléctrico.

Hoy en día la utilización del aluminio en los Conductores se incrementa a grandes pasos, no solo para conductores sino también para pantallas y armaduras. Indudablemente, es un metal que puede cumplir las funciones de los otros metales utilizados comúnmente en conductores.

CONDUCTORES DE ALUMINIO GRADO EC

Aunque el reducido costo es el incentivo principal para la adopción de los Conductores de aluminio en la mayoría de las aplicaciones, hay otras ventajas que deben tomarse en cuenta: por ejemplo, tomando Conductores de similar capacidad de corriente, el Conductor de aluminio tiene mejores características de cortocircuito que su equivalente en cobre.



El aluminio tiene una gran afinidad con el oxígeno, y en presencia del aire, rápidamente adquiere una película de óxido delgada, resistente y transparente, la cual posee altas propiedades dieléctricas y es químicamente estable y resistente a la corrosión excepto en ácidos hidroc্লóricos, hidrof্লúricos y oxálicos y en álcalis fuertes.

La principal aplicación de este conductor es para líneas de distribución y alimentación así como para líneas de transmisión en sitios donde las condiciones atmosféricas pueden producir corrosión. Es el conductor ideal para vanos cortos y redes en líneas de distribución urbanas. También se utiliza en líneas de transmisión

cuando la economía de la estructura de soporte es favorable.

PRECAUCIONES A TOMAR CON LOS CONDUCTORES DE ALUMINIO

a) La manipulación de los conductores de aluminio será cuidadosa, particularmente en el tendido y montaje, ya que pequeños defectos superficiales pueden provocar efectos perjudiciales frente a las vibraciones.

b) Aunque los conductores de aluminio están protegidos por una capa de alúmina, que por su estabilidad química protege al material, hay ciertos productos para los que la alúmina no sirve de protección. Entre estos productos están los compuestos alcalinos (cal, cemento) y los derivados sulfurados.

c) Siendo el aluminio electronegativo con relación a la mayoría de los metales: cobre, plomo, hierro, el contacto con dichos metales en presencia de humedad dará lugar a la formación de un par galvánico que ocasionará su corrosión.

CONDUCTORES DE ALEACION DE ALUMINIO 6201 (AA 6201)



Los requerimientos de alta conductividad, alta resistencia a la tracción, facilidad en la construcción y reparación de las líneas y buena resistencia a la corrosión son los parámetros que dieron lugar al desarrollo del material conductor aleación de Aluminio 6201 (AA6201).

Los conductores formados con alambres de AA6201 son tratados térmicamente; su conductividad (52,5%) es menor que la del aluminio grado EC, y su resistencia mecánica a la tracción es mayor con respecto a la de los conductores de aluminio grado EC.

Las características de "flecha/tracción" de los conductores cableados con alambres de AA6201 los hace útiles para los sistemas aéreos de distribución.

Su mayor resistencia mecánica a la tracción aumenta su versatilidad, ya que se pueden incluir los tamaños pequeños de conductores para sistemas de distribución que trabajan con altas cargas mecánicas en tramos cortos, y para los tamaños medianos proyectados para tramos de 100 metros como promedio.

CONDUCTORES DE ALUMINIO REFORZADOS CON ACERO (ACSR)

En muchos casos, el conductor de Aluminio grado EC no presenta la suficiente resistencia a la tracción como para cumplir con los requerimientos de flecha y vano; en estos casos, cuando se necesitan mayores

resistencias a la tracción, se recurre entonces al uso de conductores de Aluminio reforzado con acero (ACSR), constituidos de un conductor formado por alambres de Aluminio grado EC cableados helicoidalmente alrededor de un núcleo de acero galvanizado, el cual puede consistir, o bien de un alambre o de un cableado helicoidal de una o varias capas de acero galvanizado.

La conductividad del ACSR se eligió semejante a la del Aluminio grado EC (61%) ya que se asume que el acero no contribuye a la conducción.

La relación del área transversal de aluminio al área transversal de acero puede ser variada de manera tal que, para una conductividad dada el conductor puede ser cableado con diferentes cargas de ruptura, simplemente variando el área del núcleo de acero. Esta flexibilidad junto con otras características tales como: relación "tracción/peso" favorable.

El núcleo de acero reduce la resistencia a la corrosión del conductor. Esto no presenta problemas en ambientes secos y no contaminados y tampoco en ambientes contaminados donde la Lluvia es frecuente y bien distribuida. Para el caso de ambientes que puedan producir corrosión, el conductor se suministra con un tratamiento especial de grasa, la cual evita la entrada del contaminante al núcleo.

CONDUCTORES DE ALUMINIO REFORZADOS CON AA6201 (ACAR)

Para líneas de transmisión con tramos largos, especialmente si el tamaño de los conductores es considerable, se presenta otra alternativa, aparte del ACSR, y son los conductores de aluminio reforzados con AA6201 (ACAR)

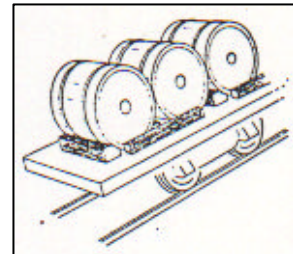
El ACAR consiste en un conductor formado por alambres de aluminio grado EC cableados helicoidalmente alrededor de un núcleo con una o varias capas de AA6201. Al igual que en el ACSR, la versatilidad en el diseño del ACAR con respecto a sus óptimas propiedades eléctricas y de tracción, permite obtener el diseño de líneas específicas.

La excelente resistencia a la corrosión los hace especialmente adecuados para el servicio en ambientes industriales y marítimos muy severos [en los cuales no puede esperarse el buen servicio de los ACSR] ya que, siendo los materiales homogéneos, queda eliminada la posibilidad de corrosión galvánica.

OPERACIÓN, REMISION Y ALMACENAMIENTO DE LOS CARRETES

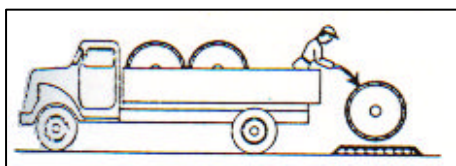
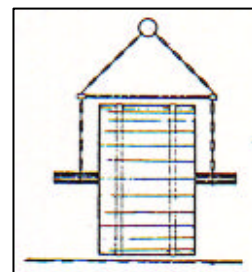
Cuando se colocan los carretes en cualquier tipo de transporte, estos deben quedar en línea, y en contacto entre uno y otro, y bloquearse firmemente en los extremos y los lados.

Debe hacerse todo lo posible para evitar que los carretes queden, o rueden sobre el suelo u otras superficies rugosas. El listonado no debe quitarse hasta que el carrete esté colocado en el equipo de suministro. Antes de comenzar a desenrollar el Conductor, cerciórese que las superficies interiores de los lados del carrete no tengan clavos. Los carretes deben almacenarse separados del suelo sobre maderos adecuados u otros soportes. En sitios húmedos se



recomienda dejar por lo menos 75 mm entre carrete y carrete para permitir circulación de aire. No deben almacenarse los carretes en ubicaciones donde puede haber inundaciones. Cuando es necesario almacenar los carretes por muy largo período, deben cubrirse para que no queden expuestos directamente a los efectos del tiempo.

Para levantar los carretes llenos con grúa o aparejo debe usarse Conductor con barra espaciadora, y sujetarse a la barra del cubo. Nunca debe levantarse un carrete pasando la cadena o Conductor por el cubo, o con la cadena alrededor del listonado. Cuando se manejan los carretes a mano, la barra debe pasar por ambos cubos para que cada uno reciba parte proporcional de la carga. Los carretes llenos siempre deben mantenerse rectos. Pueden almacenarse sobre pisos de hormigón o mampostería siempre que tengan adecuados bloques en las extremidades.



Siempre que sea posible debe evitarse el dejar caer los carretes llenos, ya que el impacto puede dañar el carrete y averiar el Conductor. Cuando se descargan del transporte en el sitio de la obra debe usarse una rampa, o grúa ambulante. Cuando es absolutamente necesario dejar caer los carretes deben caer sobre esteras de cuerda o sobre tierra suelta. Los carretes siempre deben rodarse en la dirección de la flecha.



Cuando los carretes llenos se transportan por carretilla de horquilla, el eje del cubo debe quedar paralelo a la dirección en que se avanza.

CAPITULO 8

PROCESO DE EXTENDIMIENTO DE CONDUCTORES

8.1 TENDIDO Y REGULACION DE LOS CONDUCTORES

1.- Resumen

De conformidad con la experiencia recogida del campo, se describen las fases del "Tendido del Conductor", comprendiendo desde la preparación del Programa de Tendido, hasta la Regulación de los Conductores, incluyendo unas series de recomendaciones importantes que se deberán considerar en el Tendido y Regulación de los conductores para su mejor seguridad y control en el momento de su instalación.

En lo referente al Tendido de Conductores, se da a conocer las características del tendido y para su ejecución se indica la utilización del "Método de Frenado Mecánico", que favorece el tendido en lugares inaccesibles y cruces de obstáculos en general.

Para la Regulación de la Flecha de los conductores, se considerará el incremento de la flecha por Fluencia metálica (Efecto Creep), que es un fenómeno irreversible.

2.- Fases principales del tendido de conductores

El tendido de Conductores, en Líneas de Transmisión, tienen las siguientes fases principales:

- 1.- Preparación del Plan (Programa) de Tendido.
- 2.- Tendido de los Conductores.
- 3.- Regulación de Conductores.

Preparación del Plan de tendido:

Se realiza la programación o Plan de Tendido de Conductores, con el fin que los trabajos de campo puedan ser conducidos con suficiente coordinación, precisión y seguridad y, para esto, se tienen las siguientes consideraciones:

1.- Se determinan los tramos de tendido, haciendo un recorrido físico de toda la línea, para prevenir problemas por configuración de los terrenos y para determinar la longitud del tramo de tendido, para saber los cruces de la línea y para determinar las ubicaciones de las máquinas de tendido, winche y freno.



2.- Se tiene en cuenta las ubicaciones adecuadas de los equipos de tendido, winche y freno, de tal manera que no se ubiquen muy cerca de la Estructura. Estos equipos deben ubicarse a una distancia horizontal mayor de tres veces la altura de la polea de tendido (roldana) ubicada en la ménsula más alta de la Estructura cercana a cada equipo de tendido, para evitar esfuerzos excesivos en las ménsulas de las Estructuras, esta recomendación se ha extraído de los fabricantes de Estructuras.

La altura de la polea más alta es medida respecto de la cota vertical del lugar de ubicación de los equipos winche y freno.

3.- Se realiza, previamente, una descripción de los ríos, terrenos de cultivo, carreteras, avenidas, etc. Es importante tener sus características para ver el grado de dificultad en el momento del tendido de los conductores y prevenirse de las medidas de seguridad.



4.- Analizar la posibilidad de hacer caminos de acceso para el transporte de los equipos winche, freno, bobinas de conductores, personal, etc.

5.- Se programa la distribución de las bobinas en las fases del conductor y cable de guarda (si los hay), ya sea de una o de dos ternas de conductor (de acuerdo al proyecto que se tiene), según las longitudes de los tramos de tendido.

6.- En los tramos de tendido de conductores, donde hay cruce de líneas eléctricas, es indispensable prever la fecha del tramo de tendido y, para esto, se necesita de la coordinación y autorización de las

Entidades respectivas que son dueñas de las líneas eléctricas de cruce, para el corte de energía en éstas.

7.- Se analizan los tramos de tendido donde el terreno es muy desnivelado, analizando la posibilidad de colocar poleas de contratiro, para evitar en el momento del tendido, daños en la cadena de aisladores de suspensión.

8.- En la programación del tendido se tiene en cuenta que los empalmes no se acerquen mucho a la Estructura prefiriéndose ubicarlos en medio vano

Tendido de los conductores

El Tendido de los Conductores consiste en realizar las operaciones técnicas de tendido, para instalarlos en buenas condiciones en las Estructuras, siendo, estos conductores, sujetos por las cadenas de aisladores, a través de las poleas de montaje (roldanas).

Método utilizado

El Tendido de los Conductores en Líneas de Transmisión se ejecuta utilizando el "Método de Frenado Mecánico", que es efectuado por tracciones Mecánicas, desplazándose el conductor sobre poleas (roldanas), utilizando el winche como elemento de tracción y el freno como elemento regulador de la posición del conductor, para evitar que éste choque con el suelo o se tense demasiado.

Con este método se evita el raspado superficial de los conductores con el terreno y con los obstáculos en general, a fin de pasarlo sin dañarlo, requiriéndose, para esto, de personal eficiente y de mucha experiencia.

Características del tendido de conductores

Las características del Tendido de Conductores, empleando el Método de Frenado Mecánico, son las siguientes:

1.- La programación del trabajo es seguido por un ingeniero residente con experiencia, capaz de adecuarse a las diversas exigencias técnicas que requiere el tendido.

2.- El supervisor técnico, capataces y linieros deberán tener gran experiencia y preparación técnica adecuada para sus respectivas tareas asignadas en el tendido.

3.- Es posible hacer el tendido jalando tramos con longitudes promedios de 5.5 Km, permitiéndose el pasaje del conductor por extensas zonas de cultivo, zonas arenosas, rocosas, centros poblados, dándose una mayor dispersión del personal, mateniéndose una comunicación constante por radio transmisores para mejor coordinación durante la ejecución del tendido.

4.- El tendido del conductor se hace sobre poleas, de esta manera la integridad del conductor es salvaguardada porque vienen traccionados con un tiro efectuado por el winche y sujeto constantemente bajo una tensión regulable por el freno, evitando que el conductor choque en el suelo o se tense demasiado.

5.- La posición del conductor es controlada eficientemente durante el tendido por medio de los dinamómetros del winche y freno, cuyos operadores son guiados por las informaciones que reciben por los radios transmisores de los "hombres intermedios", (personal que avisa sobre la posición del conductor, respecto del suelo o cualquier obstáculo) que se encuentran distribuidos en los puntos críticos del tramo de tendido.



7.- Existe, durante el tendido, una constante comunicación del ingeniero, supervisor técnico, operadores del winche y freno y de los hombres intermedios, por medio de radios transmisores.

8.- Los daños a los cultivos es sólo por el "cable piloto" (cordina), porque el conductor pasa por alto y sobre poleas.

9.- Favorece el cruce por zonas pobladas, pistas, trochas, zonas accidentadas, ríos, etc., puesto que el acercamiento del conductor es controlado por los equipos winche y freno, mediante el aviso de los intermedios.

Tendido de conductores propiamente dicho

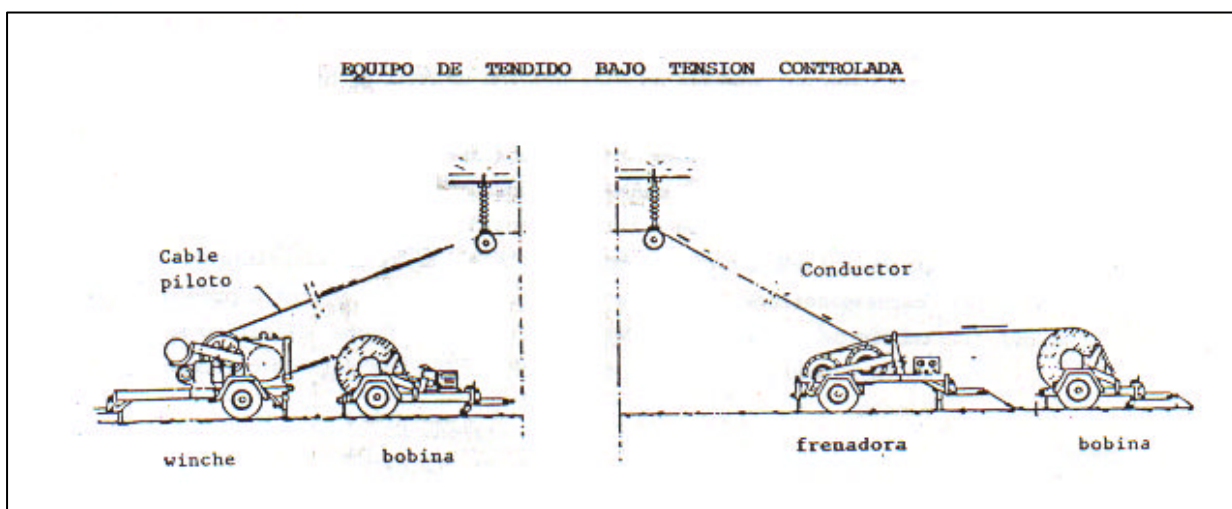
La primera parte ejecutiva del Tendido de Conductores, lo constituye el tendido del "Cable Piloto" (cordina) sobre las roldanas, las que son previamente colocadas en todas las Estructuras del tramo de tendido.

Se ejecuta el tendido del cable piloto en las tres fases de una o dos ternas de conductores (también de los cables de guarda, si los hay), según el proyecto de la Línea de Transmisión. Este tendido es ejecutado por medio de un tractor que jala a estos cables con la ayuda de sogas, para hacer posible el levantamiento de estos hacia las roldanas en cada Estructura del tramo de tendido. En los casos de terrenos accidentados donde no hay acceso, el tendido se efectúa siendo jalado por medio de grupos de hombres.

Terminado el tendido del cable piloto y estando ya ubicados los equipos de tendido winche y freno en sus lugares respectivos, se establece una comunicación por radios transmisores del ingeniero de obra con el capataz, operadores de winche y freno y los hombres intermedios, para poner en operación el winche, procediéndose a levantar el cable piloto de la fase ms alta del conductor (o cable de guarda, si lo hay), según proyecto, estando el freno en el otro extremo, sujetando el cable piloto. Estando ya operando el winche, su operador estar atento a cualquier aviso de los hombres intermedios, sobre cualquier obstáculo que impida al cable piloto ser levantado, ejecutándose este levantamiento hasta que el cable piloto quede aproximadamente a 3 m del suelo del lugar más desfavorable del tramo de tendido.

Habiéndose levantado uno o dos cables pilotos, según la capacidad de los equipos de tendido (winche y freno), se procede a unir el cable piloto con el conductor, por medio de la "Media Puntera" que es un elemento que trabaja a tracción al jalar al conductor.

Luego, se efectuará el tendido del conductor, utilizándose el "Método de Frenado Mecánico" manteniéndose una comunicación constante por medio de radios transmisores, de tal manera de poner en operación el winche y freno en forma simultánea, procediéndose al tendido del conductor sobre las poleas de tendido (roldanas), actuando el Winche como elemento de jalado y el Freno como regulador del conductor cuando sea preciso, con el objetivo de que el conductor no toque el suelo y no se tense demasiado. En la figura N°5.2 en el anexo N°5, se muestra el tendido del conductor, utilizando el "Método de Frenado Mecánico".



La comunicación de los operadores del winche, freno y de los "Hombres Intermedios" es de mucha importancia durante todo el tiempo que dura el proceso del tramo de tendido, para estar alerta de cualquier aviso que informen los hombres intermedios respecto del acercamiento del conductor a cualquier obstáculo dentro del tramo de tendido, como también, el cuidado que ellos tienen de los cruces de carreteras, ríos, líneas eléctricas, terrenos de cultivo, centros poblados, etc.

Terminado el tendido del conductor y cable guarda (si los hay), se procede a anclarlos en el suelo en ambos extremos del tramo de tendido, por medio de "anclajes", previamente instalados, los cuales serán, después, empalmados y levantados según el avance de la cuadrilla de empalmadores y cuando el tendido del conductor se encuentre en otro tramo.

Recomendaciones generales para el tendido de conductores.

Para dar eficiencia y seguridad al proceso de Tendido del Conductor en Líneas de Transmisión, se dan las recomendaciones siguientes:

- 1.- Se deben tomar las precauciones debidas para evitar que los conductores sufran daños, de cualquier naturaleza, durante el transporte, almacenamiento y durante su tendido, puesto que cualquier daño que altere la superficie de los conductores, perjudica el uso de éstos.
- 2.- El conductor siempre debe ser traccionado de la bobina (carrete de embalaje), en tal sentido que el cable siempre se desenrolle de arriba hacia abajo y en sentido de la flecha indicada en la bobina, por el fabricante.
- 3.- El desbobinado de los conductores se hace evitando todo contacto de éstos con el terreno.

4.- El winche debe hacer los cambios de tracción, en forma lenta, sin ninguna brusquedad para evitar oscilaciones en el cable.

5.- El freno debe aplicar la tensión de frenado, cuidadosamente, de tal forma de asegurar que el conductor no sufra tirones, siendo la tensión regulada por este equipo.

6.- Se debe tener durante todo el tiempo que dura el tendido del conductor, una comunicación permanente por medio de radios transmisores entre los operadores del winche y freno, los hombres intermedios, supervisor técnico general, así también, del ingeniero de obra para tener un tendido eficiente y seguro.



7.- Todas las poleas de tendido (roldanas), deben estar en perfectas condiciones de rodamiento y cuidadosamente engrasadas.

8.- En los eventuales desperfectos que tienen los conductores, se recomienda el uso de manguitos de reparación, cuando máximo dos hilos en la capa externa estén rotos y no exista algún hilo roto en las capas internas, según recomendaciones de los proyectos de Líneas de Transmisión de Alta Tensión.

9.- En los casos donde el Tendido del Conductor se realiza en lugares donde hay cruces de líneas eléctricas, carreteras, terrenos de cultivo, avenidas, etc., los trabajos se realizan con la debida seguridad, utilizando implementos que permitan protección del conductor y una adecuada señalización, como carteles de peligro, pórticos, etc.

10.-No se hacen empalmes en vanos adyacentes tampoco se permite más de un empalme por conductor en un mismo vano. De la misma manera, no se hacen empalmes en vanos que cruzan líneas eléctricas, ríos, carreteras, edificios y casas, etc.; según recomendaciones de los proyectos de Líneas de Transmisión de Alta Tensión.

11.-Probar la efectividad de sujetación de las "Medias Punteras" (elemento que une el cable piloto con el conductor) y "Medias Dobles" (elemento que unen los conductores), antes de empezar la etapa del Tendido de Conductores.

12.-Chequear si hay alguna rotura de los hilos del cable piloto (cordina), antes de enviarlos al campo y después de cada tramo de tendido.

Regulación de conductores

Se entiende por "Regulación de los Conductores" a la ejecución de todas las operaciones necesarias para llegar a las flechas y tiro adecuado del conductor, según los datos previstos en la Tabla de Regulación de Conductores.

La regulación viene seguida mediante la preventiva determinación de los tiros y flechas de los vanos que están comprendidos entre Estructuras de ángulo. Esta regulación se lleva a cabo, de manera que las tensiones y flechas resultantes no sean sobrepasadas para las correspondientes condiciones de carga, de tal manera que la componente horizontal de la tensión " T_0 " resulte uniforme en todo el tramo de regulación y que las cadenas de suspensión sean verticales en todas las Estructuras de suspensión.

Regulación de las flechas de los conductores considerando el "EFECTO CREEP".

La ejecución de la regulación de las flechas de los conductores se hace entre estructuras de ángulo y, para esto, se realiza previamente el empalme del conductor con la grapa de compresión de anclaje de la

Estructura de ángulo, ubicada en el extremo inicial del tramo de regulación. Luego del otro extremo final, desde la Estructura de ángulo se tense gradualmente el conductor, usándose el "Método por Visualización Directa" o el "Método por Visualización con Saeta", hasta llegar a la flecha necesaria de acuerdo a la temperatura que tenga el conductor en el momento de la regulación, estando incluido el incremento de la flecha por el "EFECTO CREEP", producido en el conductor, como una diferencia de temperatura equivalente a la deformación. Para el cálculo del "EFECTO CREEP", se utilizan las ecuaciones de HARVEY y LARSON.



En los cálculos de flechado en la tabla de regulación, debe considerarse el "EFECTO CREEP", como una diferencia de temperatura equivalente a la deformación final de 25 años, cuando el cable está prácticamente estabilizado.

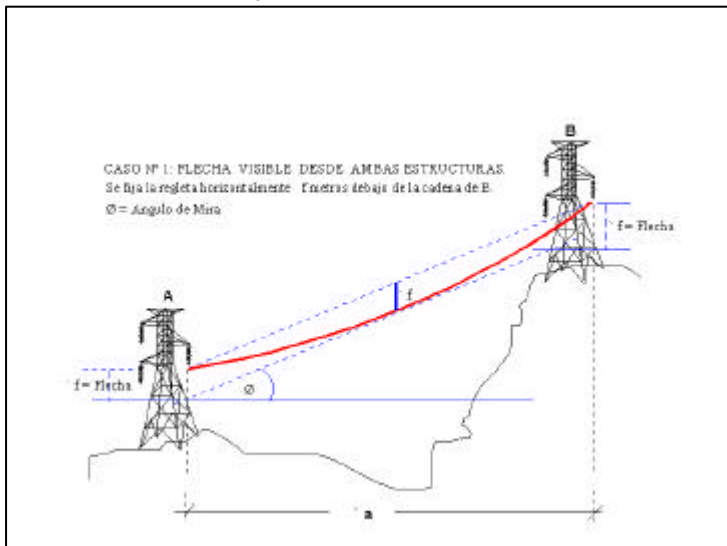
Luego, para flechar los vanos de control elegidos del tramo de regulación (entre Estructuras de ángulo) se ejecuta con la temperatura del instante del tiempo en que se flecha, más el incremento de temperatura por el EFECTO CREEP.

Métodos utilizados para la regulación de las flechas de los conductores.

Para la regulación de las flechas de los conductores se utilizan los siguientes métodos: Método por Visualización Directa y Método por Visualización con Saeta.

A) METODO POR VISUALIZACION DIRECTA

Este método permite la medición directa de la flecha del vano de control, elegido entre Estructura y Estructura, con la ayuda del teodolito. Este método está representado en la figura donde se puede



observar que se mide desde el punto de suspensión del conductor, hacia abajo, la flecha que corresponde en las dos Estructuras contiguas, esta flecha se marca en las montantes de las dos Estructuras con una señal. Luego, durante el tensado del conductor se dirige una visual con la ayuda del teodolito desde una de las Estructuras, hasta que el punto más bajo del conductor quede en la línea de mira, determinándose la flecha del vano de control elegido, según la temperatura en el momento que se mide la flecha, más el incremento de temperatura por EFECTO CREEP, obteniéndose la flecha de acuerdo a los datos de la Tabla de Regulación.

La Tabla de Regulación es una tabla previamente calculada, donde se encuentran todos los valores necesarios para realizar el regulado de conductores.

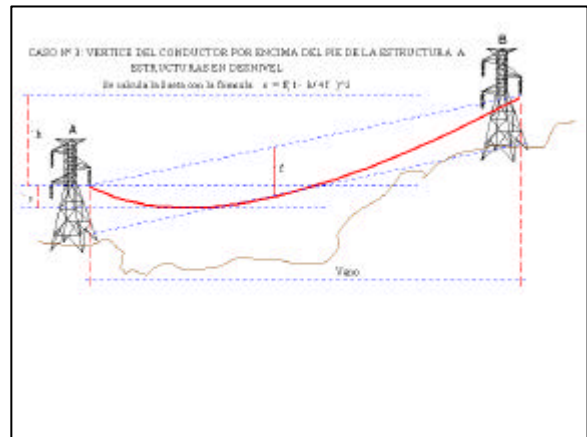
METODO POR VISUALIZACION CON SAETA

Este método se utiliza cuando la naturaleza del terreno y la altura de las estructuras, con relación a la flecha a medir, no permite la medición directa, siendo imposible dar la flecha con el método anterior.

Este método se representa en la figura, donde se mide visualmente la SAETA "S" del conductor del vano de control elegido. Para esto, el topógrafo determina los lugares apropiados para la instalación del teodolito, que puede ser en la montante de la Estructura o en el terreno, según se presente el caso, de tal manera que se pueda permitir una visual, tangente y horizontal al punto más bajo del conductor (el punto "B"), dando la SAETA correcta.

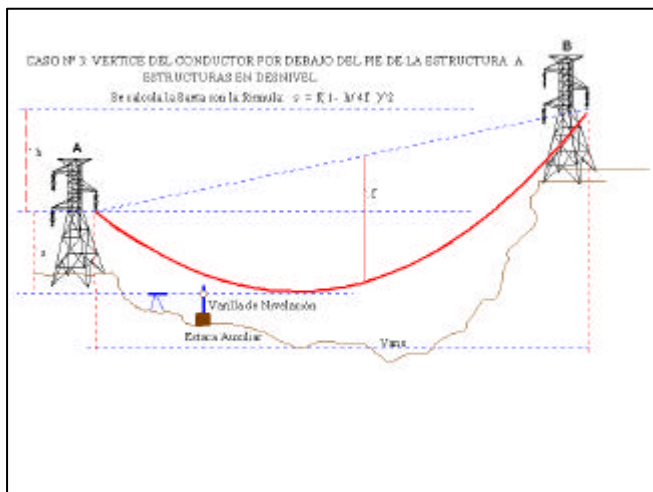
Previamente a este trabajo de campo, se calcula la SAETA en el vano de control elegido

Recomendaciones generales para la regulación de las flechas de los conductores.



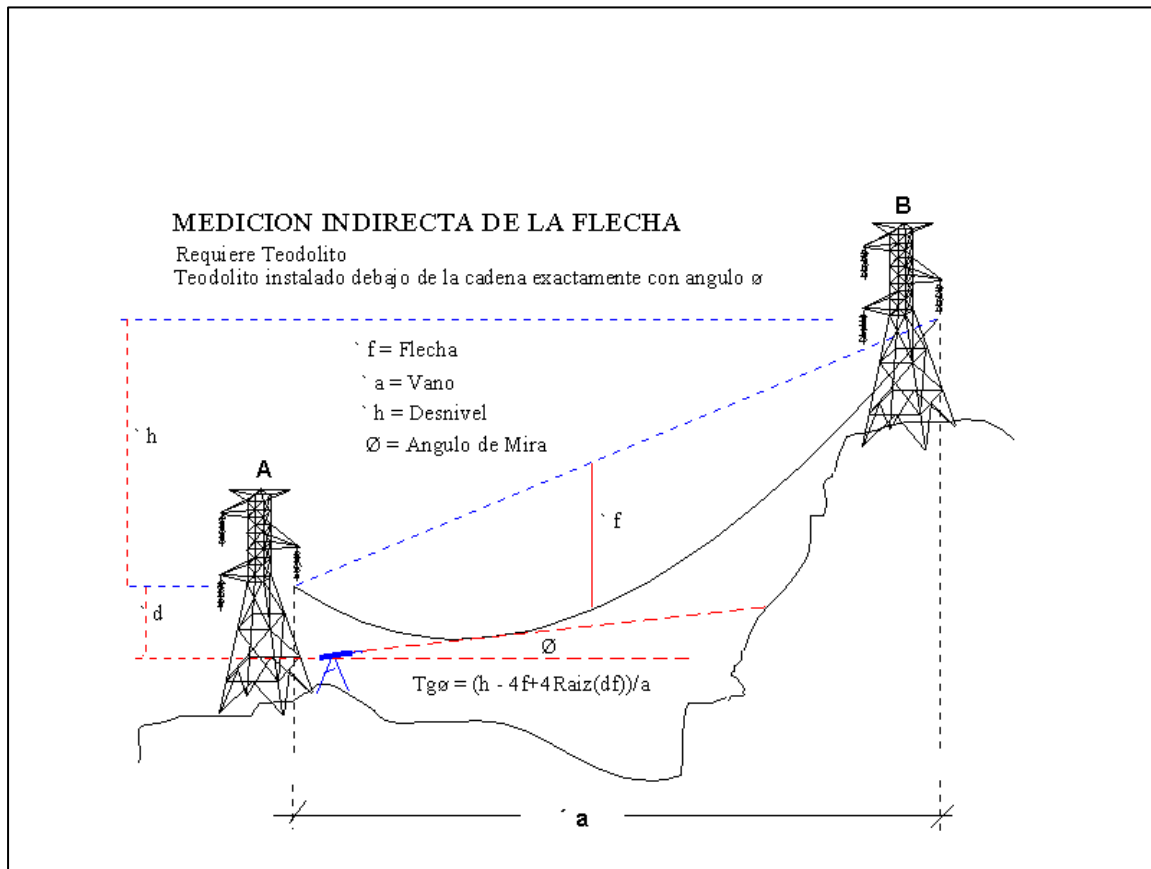
Para la regulación de las flechas de los conductores, se tienen las siguientes recomendaciones:

- 1.- Las flechas de los conductores deben ser controladas en dos vanos por cada tramo de regulación, estos vanos estarán suficientemente lejos, uno del otro. Asimismo, la longitud de estos vanos debe ser, aproximadamente, cercana al promedio de los vanos del tramo de regulación.
- 2.- La regulación de los conductores se efectúa en horas en que la velocidad del viento sea nula o muy baja; También, deber evitarse que esta regulación se determine en horas en que las variaciones de temperatura sean rápidas.
- 3.- Se deber tener en consideración al momento del control de la flecha, el tiempo entre la operación del tendido y la del flechado, para dar las correcciones que sean necesarias del incremento de flecha debido al "EFECTO CREEP".



4.- Es necesaria una comunicación constante, por medio de radios transmisores durante la ejecución de la regulación de los conductores, entre los capataces de la cuadrilla que tensa el conductor y la cuadrilla que controla la flecha, como también, del ingeniero de obra, puesto que un exceso de tensado disminuye la seguridad de la estabilidad de la línea.

5.- La tolerancia en la flecha real con relación a la flecha teórica (incluyendo el EFECTO CREEP) ser del **2%**, considerando la tolerancia para cada conductor independiente. Además, la flecha real no debe diferir en más de 50 cms. de la flecha teórica, según los proyectos de Líneas de Transmisión.



Regulación de las cadenas de aisladores de suspensión

La "Regulación de las Cadenas de Aisladores de Suspensión" consiste en ponerlos en posición vertical y esto, se logra igualando las fuerzas horizontales longitudinalmente en todos los vanos del tramo de regulación, mediante la ubicación adecuada de cada grapa de suspensión.

Para la ejecución de la regulación de las cadenas de aisladores de suspensión se realiza, de acuerdo a la "Tabla de Regulación", oportunamente elaborada, conteniendo esta tabla, las distancias de engrapado para dar la posición de la grapa de suspensión en el conductor y que es medida a partir del punto tangente superior del conductor a la polea de tendido (roldana).

Las distancias positivas indican la colocación de la grapa de suspensión hacia adelante de la polea y las negativas indican hacia atrás de la polea.

ENTORCHE: Tan pronto como se haya marcado las distancias de engrapado en el conductor, se levanta el conductor de las poleas y se colocan las varillas de armar (preformadas), cuyo centro de éstas, está marcado y deber coincidir con el punto marcado en el conductor para la colocación del centro de la grapa de suspensión.

ENGRAPADO: Luego, se procede a la fijación del conductor en la grapa de suspensión (que es sostenida en la cadena de aisladores de suspensión), verificando que el centro de la preformada coincida con el centro de la grapa de suspensión, con el fin de evitar desalineamiento.

Terminando de instalar todas las grapas de suspensión del tramo de regulación, las cadenas de aisladores quedan verticales, lográndose que las tensiones horizontales sean iguales.

Tan pronto el conductor se haya quedado engrapado, se instalan los amortiguadores en el conductor, cuyo objetivo, de fijación, es para actuar contra la vibración del conductor. La cantidad de éstos, depende de la distancia del vano real en que se ubiquen y según diseño de cada proyecto de Líneas de Transmisión de 220 Kv.

Inspección final de las líneas de transmisión acabadas

La inspección final de las Líneas de Transmisión de 220 Kv. se realiza en cada Estructura y a lo largo de toda la línea. Está conformada por una comisión que tiene representantes de la firma supervisora y un representante de la compañía contratista. Las inspecciones que se consideran son las siguientes: Inspección de cada Estructura e Inspección de las líneas.

A.- Inspección de cada Estructura

En cada Estructura se verificará:

- 1.- Que el relleno y compactado, el nivelado de terreno alrededor de las fundaciones, la dispersión de la tierra sobrante estén ejecutados.
- 2.- Que las partes de la fundación de concreto que sobresalen del nivel del suelo estén apropiadamente formadas y terminadas.
- 3.- Que la puesta a tierra esté apropiadamente instalada, conforme a las indicaciones del plano.
- 4.- Que las Estructuras estén correctamente montadas con todos sus perfiles completos, que estén rectos, limpios y sin daños.
- 5.- Que los pernos y tuercas estén ajustados con arandelas y contratueras, de acuerdo a los torques que indique el proyecto.
- 6.- Que los accesorios de las Estructuras estén fijados incluyendo los ensambles de placas, antiescalamientos.
- 7.- Que las rayaduras u otros daños al galvanizado estén reparados con pintura galvanizada de zinc.
- 8.- Que la estructura de las Estructuras esté libre de cualquier cuerpo extraño.
- 9.- Que las cadenas de aisladores estén libres de materias extraños y todos los aisladores sin daños; que estén montadas en conformidad con los planos de detalle.
- 10.-Que los accesorios para los conductores y cables de guarda estén montados, de acuerdo con los planos y que estén éstos completos.
- 11.-Que los conductores y cable de guarda estén correctamente engrapados.
- 12.-Que todos los pernos, tuercas y chavetas de seguridad de cada elemento de las cadenas de suspensión y anclaje estén correctamente aseguradas.

B.- Inspección de las líneas

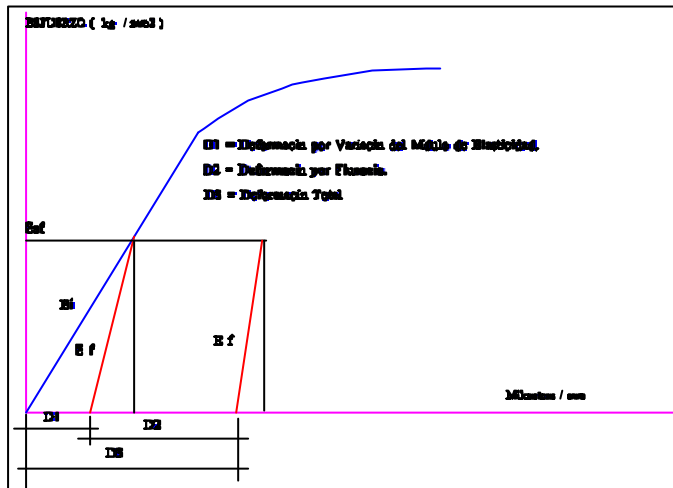
Se verifica que, a lo largo de toda la línea se cumplan los siguientes requerimientos:

LINEAS DE TRANSMISION: ASPECTOS MECANICOS Y CONDUCTORES.

- 1.- Que las distancias mínimas de seguridad del conductor, con los diferentes cruces, sean respetados conforme a las admitidas.
- 2.- Que los conductores estén limpios, sin averías, libres de barro, ramas, alambres, etc.
- 3.- Que las cadenas de suspensión en los tramos no tengan inclinaciones en la dirección de la línea.
- 4.- Que todos los embalajes y materiales sobrantes sean retirados del terreno.
- 5.- Que el despeje de los árboles esté conforme con los requerimientos admitidos.
- 6.- Que los caminos de acceso estén terminados y en buenas condiciones.

8.2 FLUENCIA METALICA DEL CONDUCTOR DE LINEAS

Probablemente a los Ingenieros de Líneas de Transmisión y conociendo el fenómeno de Fluencia no les preocupó consideraron este fenómeno considerando que no era importante en el diseño de Líneas de Transmisión. Sin embargo, en razón que cada vez más las Líneas de Transmisión trasladan mayores cantidades de energía, y por lo tanto por necesidad se han construido por ejemplo Líneas con conductores múltiples por fase (fasciculados), los que fueron correctamente instalados y que sin embargo al pasar el tiempo las elongaciones de los subconductores eran diferentes, provocando desequilibrios en las mordazas o grapas y elementos en las Estructuras, por lo que era necesario efectuar correcciones paralizando el servicio de transmisión de la energía con el consiguiente costo que esto representa.



La fluencia del conductor (*Creep*), se define como la deformación plástica que se produce en una muestra del conductor por efecto del tiempo de aplicación de un esfuerzo sobre él. Esta fluencia se produce, luego de la deformación que produjo desde la aplicación del esfuerzo.

En el gráfico se muestra la deformación (D1) por variación del Módulo de Elasticidad; D2 es la deformación por fluencia y D3 la deformación total.

Experimentalmente se ha demostrado que estas deformaciones son función del tiempo, del esfuerzo y temperatura; no habiéndose llegado aún a encontrar una ecuación o

modelo matemático científicamente satisfactorio para la determinación anticipada de estas deformaciones en conductores de líneas de transmisión. Sin embargo son utilizadas expresiones experimentales de muy aceptables resultados:

Para Conductores de Aluminio, Aleación de Aluminio y ACSR se utiliza:

$$e = k e^{f t} s^a t^{\frac{m}{d}} \quad \text{mm / km}$$

Para Conductores de Aluminio o Aleación de Aluminio:

$$e = k t^f s^a t^m \quad \text{mm / km} \quad (\tau \geq 15^\circ\text{C})$$

Para Conductores ACSR:

$$e = k (EDS)^a t^f t^m \quad \text{mm / km; EDS en \%}$$

$$e = k \left(\frac{100s}{s_{rup}} \right)^a t^f t^m$$

En donde: k , δ , ϕ , μ , α son parámetros determinados que dependen de las características del material y proceso de fabricación del conductor.

Por otra parte, t (horas) es el tiempo de aplicación del Tiro y τ ($^{\circ}\text{C}$) es la temperatura de trabajo en el lugar de instalación del conductor.

Los criterios para la aplicación de tal fórmula son dos:

- Considerar la acción del máximo esfuerzo (σ) que se espera se produzca en el conductor por un período de 10,000 horas o de lo contrario;
- Considerar la acción de un esfuerzo equivalente a la producida por la tensión de cada día (EDS), por un período de tiempo igual a la vida útil de la línea.

Los valores de k , δ , ϕ , μ , α son obtenidos de las Tablas que se dan a continuación.

COEFICIENTES DE FLUENCIA		ECUACION 1	Aluminio, Aleac de Alum y Alumin-A					1
Composición Nº de Hilos	$m = \text{Relación de Áreas}$	Proceso	K	ϕ	α	μ	δ	
Al Ac	Al / Ac							
54 7	7,71	A	1,10	0,02	2,16	0,34	0,21	
		B	1,60	0,02	1,42	0,38	0,39	
48 7	11,37	A	3,00	0,01	1,89	0,17	0,11	
30 7	4,28	B	2,20	0,01	1,38	0,18	0,04	
26 7	6,16	B	1,90	0,02	1,38	0,23	0,08	
24 7	7,74	A	1,60	0,02	1,88	0,19	0,08	
18 1	18	B	1,20	0,02	1,50	0,33	0,13	
12 7	1,71	A	0,66	0,01	1,88	0,27	0,16	

Proceso Industrial para Obtener los Hilos:

A = Laminado a Quente

B = Extrusao o Properzzi

COEFICIENTES DE FLUENCIA		ECUACION 3	Conductores: Alumin-Acero			2
PROCESO	$m = \text{Relación de Áreas}$	K	ϕ	α	μ	
FABRICACION	A Total/A Acer					
A	$m \leq 13$	2,40	0,00	1,30	0,16	
	$m > 13$	0,24	1,00	1,00	0,16	
B	$m \leq 13$	1,40	0,00	1,30	0,16	
	$m > 13$	0,24	1,00	1,00	0,16	

COEFICIENTES		ECUACION 2	Conductores: Aleac Al			3
PROCESO		K	ϕ	α	μ	
FABRICACION						
A		0,15	1,40	1,30	0,16	

COEFICIENTES DE FLUENCIA		ECUACION 2	Conductores de Aluminio			4
Proceso de Fabricación		K	ϕ	α	μ	
	Número de Hilos del Conductor					
	7 19 37 61					
A	0,27 0,28 0,26 0,25		1,4	1,3	0,16	
B	0,18 0,18 0,16 0,15		1,4	1,3	0,16	

COEFICIENTES		ECUACION 2	Conductores: ACAR			5
PROCESO		ϕ	α	μ		
FABRICACION						
B		1,4	1,3	0,16		

$m = \text{Area Al} / \text{Area Aleac Al}$

$K = 0,04 + 0,24(m/(m+1))$

Nota: Tablas obtenidas de "Permanent elongation of conductors: predictor equation and evolution methods" BUGSDORF V. Revista Electr N° 75, CIGRE Paris 1981

CAPITULO 9

ESPECIFICACIONES TECNICAS DE ACCESORIOS PARA CONDUCTORES AEREOS DE ALEACION DE ALUMINIO

1.0 ALCANCES

Las presentes especificaciones, de carácter estrictamente académico, para ser utilizado por los alumnos del Curso de Líneas de Transmisión de la Universidad Nacional de Ingeniería, constituyen los requisitos mínimos que deben reunir los Accesorios para conductores aéreos de energía eléctrica de aleación de aluminio, en cuanto a configuración geométrica, dimensionamiento, acabado, pruebas y transporte.

2.0 NORMAS APLICABLES

La fabricación y pruebas de Accesorios deberán cumplir con lo estipulado, en las normas elaboradas por el EX-INSTITUTO DE INVESTIGACIONES TECNOLOGICAS INDUSTRIALES Y DE NORMAS TECNICAS (ITINTEC) actualmente INDECOPI.

Según la versión vigente en la fecha de la convocatoria a licitación,

Los Accesorios fabricados en aluminio y sus aleaciones cumplirán en lo que les respecta, con las Normas de Fabricación NFC 33-209, INDECOPI 370.043, 370.045, 370.051.

IEC, Publicación 104-87 : "Alambres de Aleación de Aluminio al Magnesio y Silicio para Líneas Aéreas".

IEC, Publicación 208-66 : "Conductores de Aleación de Aluminio Cableados".

IEC, Publicación 228-A-78: "Guía de Límites de Dimensionamiento de Cables Aislados".

ASTM B-233 : Alambre de Aluminio para uso eléctrico.

ASTM B-230 : Alambre de Aluminio 1350-H19

ASTM B-231 : Conductores de Aluminio 1350 trenzado concéntrico.

ASTM B-262 : Alambre de Aluminio 1350-H16 ó H26.

ASTM B-323 : Alambre de Aluminio 1350-H14 ó H24.

ASTM B-396 : Alambre de Aleación de Aluminio 5005-H19 para uso eléctrico.

ASTM B-397 : Conductores de Aleación de Aluminio 5005-H19

ASTM B-398 : Alambre de Aleación de Aluminio 6201-T81 para uso eléctrico.

ASTM B-399 : Conductores de Aleación de Aluminio 6201-T81.

Código Nacional de Electricidad, Tomo IV, "Sistema de Distribución", 1978.

Norma DGE 019-T-4 "Conductores Eléctricos para Sistemas de Distribución Aérea y Transmisión", Dirección General de Electricidad, Ministerio de Energía y Minas.

3.0 DESCRIPCION DE LOS ACCESORIOS

La aleación de aluminio para la fabricación de Accesorios según Normas ASTM será de : (0.50 a 0.60)% de silicio con (0.4 - 0.5)% de Magnesio.

3.1 Varillas de armar

- Serán de aluminio del tipo preformado y de dimensiones proporcionales a las secciones de conductor que recubrirán, debiendo tener una forma constructiva que evite el daño a los alambres del conductor.
- Las varillas de armar se instalarán sobre los conductores de fase y todo el conjunto dentro de la grapa de suspensión.

3.2 Junta de Empalme

- Los empalmes serán de tipo de compresión.
- El tiro de rotura mínimo será de 90% del tiro de rotura del conductor.

3.3 Manguito de Reparación

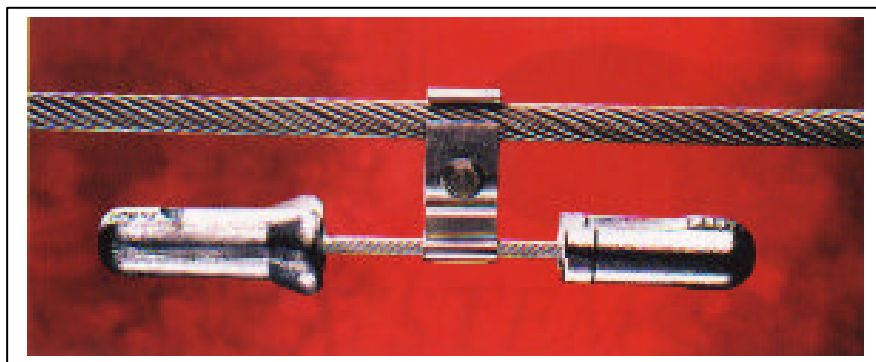
- El manguito de reparación será del tipo compresión.
- La longitud será adecuada a las secciones de conductor solicitadas.
- La utilización del manguito será solamente en caso de leves daños locales en la capa exterior del conductor.
- La característica mecánica será similar al de la junta de empalme descrita anteriormente.

3.4 Pasta de Relleno

Todos los accesorios sometidos a compresión serán embutidos con una pasta de relleno de las siguientes características:

- Baja resistencia eléctrica
- Antioxidante
- De viscosidad constante para variaciones de temperatura de trabajo entre: -15 1C y 120 1C.
- Insoluble al agua y no tóxica

3.5 Amortiguadores



- Los amortiguadores serán de tipo Stockbrige y se instalarán en los conductores de fase.
- Las partes en contacto con los conductores y las partes en contacto con los conductores y las partes ferrosas del amortiguador serán galvanizadas.
- Las descargas por "efecto corona" se evitarán mediante eliminación de todo borde o filo cortante en la grapa, conductor y tuercas de ajuste.

3.6 **Conectores de Aluminio Aluminio**

Las uniones y derivaciones de conductores de 16 mm² hasta 120 mm² no sometidos a grandes esfuerzos, tales como cuellos muertos, tramos sin tiro, se realizarán mediante conectores de aluminio-aluminio o grapas paralelas de doble vía.

Dichas grapas serán resistentes a la corrosión y tendrán suficiente área de contacto para garantizar que bajo cualquier condición de operación, la elevación de temperatura iguale a la del conductor.

3.7 **Alambre para amarre en aisladores PIN**

Para el amarre de los conductores de aleación de aluminio de hasta 35 mm², se emplearán alambres desnudos, temple suave o blando, sólido de aleación de aluminio de 16 mm².

Para calibres mayores de 35 mm², se usará alambres de 25 mm².

3.8 **Alambre para Bajada Línea - Transformador y Conector Al-Cu**

Para este requerimiento se utilizará alambre de cobre electrolítico, temple duro de 16 mm² y conector Al-Cu y deberán ser resistentes a la corrosión y desgaste

3.9 **Conductor para bajada Transformador-Tablero de Distribución**

Se emplearán conductores de cobre electrolítico tipo THW cableado de 19 hilos, temple suave de los calibres indicados en los formularios de precios.

4.0 **CARACTERISTICAS ELECTROMECANICAS DE LA ALEACION DE ALUMINIO PARA FABRICACION DE LOS ACCESORIOS**

CARACTERISTICA	ACCESORIOS DE COND. DE ALEACION DE ALUMINIO
RESISTIVIDAD A 20 1C (OHM-mm ² /m)	0.0328
COEFICIENTE TERMICO DE RESISTENCIA A 20 1C (1/ 1C)	0.00360

ESFUERZO MINIMO DE ROTURA (Kg/mm2)	28
COEFICIENTE DE DILATACION LINEAL A 20 1C (1/ 1C)	2.3 x 10-5
CONDUCTIVIDAD (%IACS)	52.5
DENSIDAD (G/cm ³)	2.70
MODULO DE ELASTICIDAD Kg/mm2	5700

5.0 GALVANIZADO

Todas las partes metálicas ferrosas excepto aquellas de acero inoxidable, serán galvanizadas en caliente según norma ASTM A 153, debiendo ser la capa protectora de zinc equivalente a 600 gr/m2. El galvanizado tendrá textura lisa y se efectuará después de cualquier trabajo de maquinado. La preparación del material para el galvanizado y el proceso mismo del galvanizado no afectarán las propiedades mecánicas de las piezas trabajadas.

6.0 INSPECCION Y PRUEBAS

El suministrador asumirá el costo de las pruebas que deberán realizarse a las juntas de empalme, manguitos de reparación y herramientas.

El costo de realizar las pruebas estará incluido en los precios cotizados por los postores.

En caso que se especifique claramente, las pruebas de modelo, de rutina y de aceptación serán realizados en presencia de los inspectores del Propietario.

7.0 EMBALAJE

Los Accesorios deberán ser embalados en cajas de madera totalmente cerrados y convenientemente protegidos para garantizar su integridad en el transporte marítimo y terrestre.

8.0 MARCAS

Con la finalidad de fácil identificación en obra, las cajas de madera que contienen los Accesorios llevarán impresos, la siguiente información:

- Nombre del Fabricante
- Nombre del Accesorio
- Material que lo conforma
- Peso del Accesorio
- Indicaciones gráficas de estibamiento

Así mismo, el embalaje conteniendo los Accesorios llevará adjunto las características e información técnica para su utilización y/o montaje.

Cada Accesorio estará identificado por su marca de fábrica y Número de Parte.

9.0 PRESENTACION DE LAS OFERTAS

El postor suministrará la siguiente información para los Accesorios de aleación de aluminio .

- a. Planos con las dimensiones de cada pieza y de los diversos dispositivos a escala 1:5
- b. Descripción de los dispositivos contra el aflojamiento de los pernos.
- c. Información solicitada en cada una de las Especificaciones Técnicas.

10.0 TRANSPORTE

Los cajones de Accesorios:

- a. Podrán ser transportados conjuntamente con los conductores de energía, siempre que sean adecuadamente estivados, de forma tal, que se eviten esfuerzos de impacto y de vibración que puedan desprender al material cobertor por astillamiento y comprometer el equipo resguardado, tanto en el embalaje de Accesorios como en el de conductor.
- b. En las operaciones de embarque y desembarque se utilizarán únicamente tecles o equipo mecánico apropiado, aprobados por la supervisión evitando todo tipo de esfuerzos dinámico por golpes, caídas brusca, cortes o rebaje de material.
- c. No podrán ser usados tenazas o equipos con puntas que causen insiciones mayores a 1" de profundidad en la madera cobertora del equipo y que puedan comprometer aquel.

11.0 ALMACENAJE

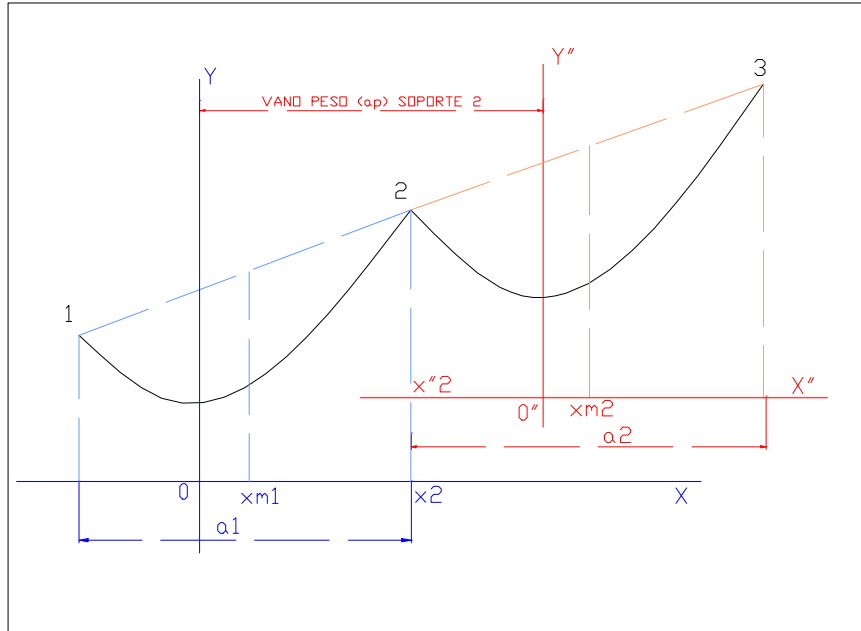
- a. Las cajas con el equipo de Accesorios serán almacenadas bajo cubierta en posición horizontal, colocando un mínimo de tres apoyos en la base para evitar flexionamientos en las columnas de apilamiento, las que no excederán a tres unidades.
- b. Durante su almacenaje el material y/o equipo no podrá ser deslizado o empujadas con vehículos o equipos inadecuados.

12.0 LUGAR DE ENTREGA

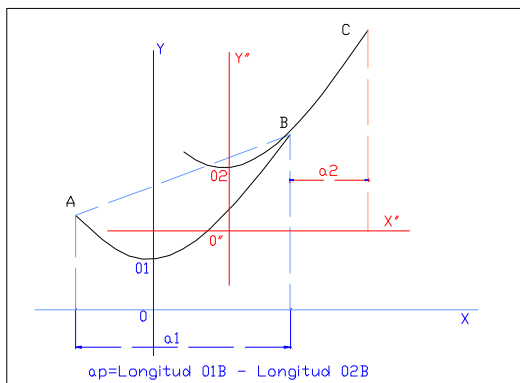
En el lugar de entrega el propietario se reserva el derecho de rechazar el equipo Accesorio que a su juicio, haya sido dañado durante el transporte. Los gastos ocasionados por el reemplazo de tales elementos serán por cuenta del proveedor. El lugar de entrega será donde indique el propietario.

CAPITULO 10

ANGULO DE DESVIACION DE LA CADENA DE AISLADORES



Al estudiar los espaciamientos mínimos en aire entre los conductores y la estructura requeridos por las distintas solicitaciones eléctricas, es necesario considerar las posiciones de la cadena de aisladores a partir de las cuales deben medirse dichos espaciamientos.



En el caso de las cadenas de suspensión con posibilidad de girar en torno a la vertical por acción de las cargas transversales sobre los conductores debidas al viento y a la resultante de las tensiones mecánicas de los mismos, hay que tomar en cuenta el correspondiente ángulo de desviación de dichas cadenas.

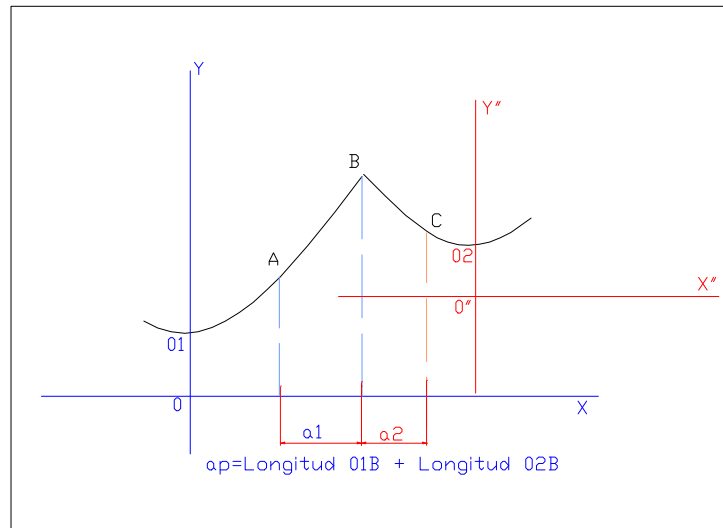
En las estructuras de suspensión, las cadenas de aisladores se ven sometidas a fuerzas transversales (a la línea) que hacen que exista un ángulo de inclinación respecto a la vertical.

En los soportes de alineamiento, ésta desviación será solo por efecto de la presión del viento, sin embargo en las estructuras de ángulo – suspensión, el ángulo es mayor, pero en cualquiera de estos casos la ceda puede acercarse a la masa en distancias peligrosas.

Por tanto, el proyectista deberá calcular y determinar las soluciones adecuadas (como ´por ejemplo incluir contrapesos, o modificar la longitud de la ménsula en la torre o alargar la longitud de cruceta en el soporte de concreto) a fin de eliminar la posibilidad de falla con la línea en servicio.

Exponemos en este capítulo la secuencia que se aconseja para determinar el ángulo de inclinación de la cadena.

GRAVIVANO O VANO PESO:



Es la longitud del conductor o cable de guarda que debe considerarse para determinar el efecto de su peso sobre el soporte.

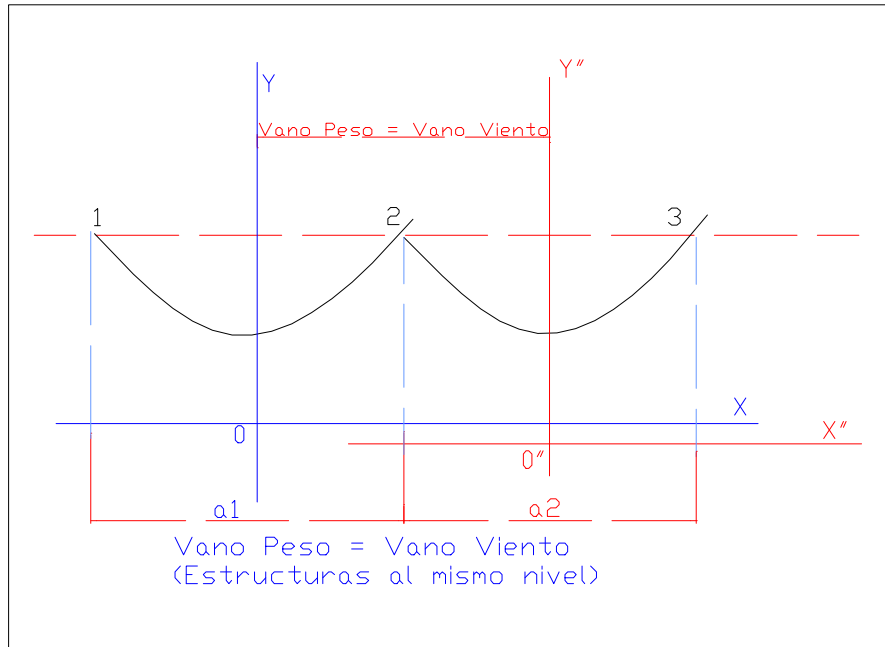
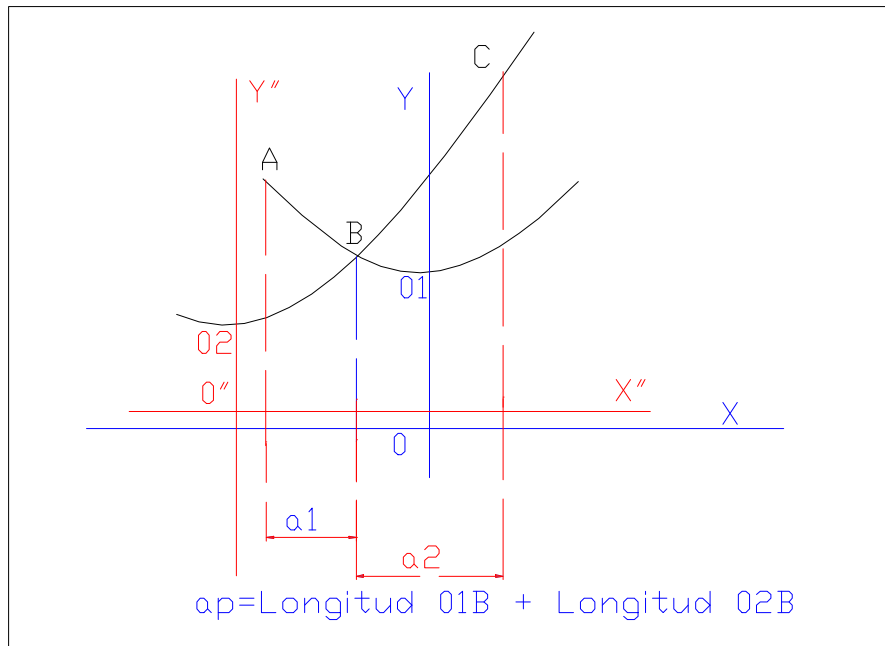
Es decir, el soporte “carga” una longitud determinada del conductor en ambos vanos contiguos a la estructura. Por lo que el vano peso es definido para cada estructura.

Usualmente se considera que el vano peso es la distancia horizontal entre los vértices de las catenarias contiguas al soporte en estudio.

La medición del vano peso debe hacerse en condiciones de temperatura mínima y con presión de viento si lo hubiere.

Por otra parte, dependiendo del perfil del terreno y de las ubicaciones de las estructuras en él, el vano peso puede variar sensiblemente a lo largo de una línea en diseño.

Las figuras mostradas, corresponden a diferentes posiciones de las estructuras y el valor del vano peso.



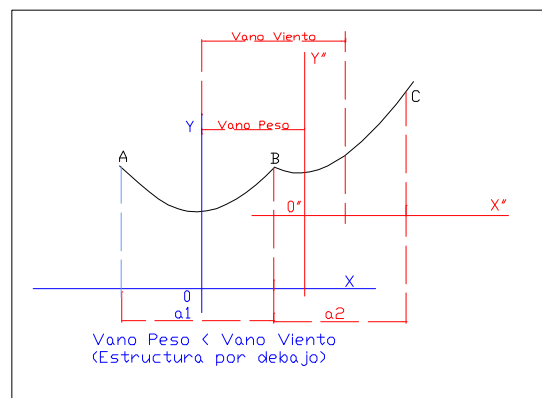
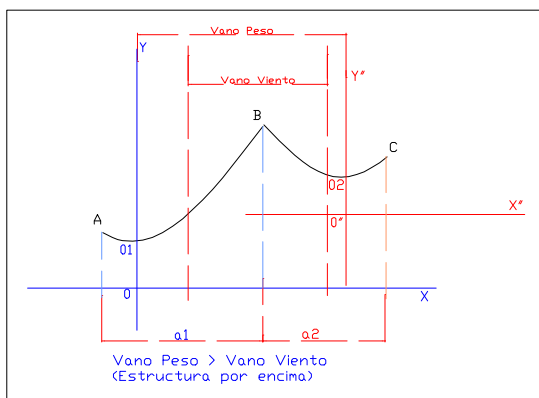
VANO VIENTO O EOLOVANO

Es la longitud del conductor o cable de guarda que es preciso considerar a fin de evaluar la fuerza que ejerce la presión del viento y cuyo punto de aplicación se sitúa en el punto de suspensión del conductor en la cadena de aisladores de la estructura.

El valor del vano (vano viento) suficiente para la evaluación de la fuerza que ejerce el viento sobre el conductor es:

$$a_v = \frac{a_1 + a_2}{2}$$

Los gráficos muestran diferentes posiciones relativas de las estructura B respecto a las estructuras A y C en lo cuales se compara el vano viento con el vano peso.



DEDUCCIÓN DE LA FORMULA QUE CALCULA EL ANGULO DE INCLINACIÓN DE LA CADENA

La presión del viento sobre el conductor es transferida a la cadena de aisladores a la cual está engrapada el conductor, provocándose que la cadena e aisladores se incline un determinado ángulo, el mismo que se incrementa si la estructura es de suspensión – angular, es decir si la estructura es de ángulo $\beta \neq 0$

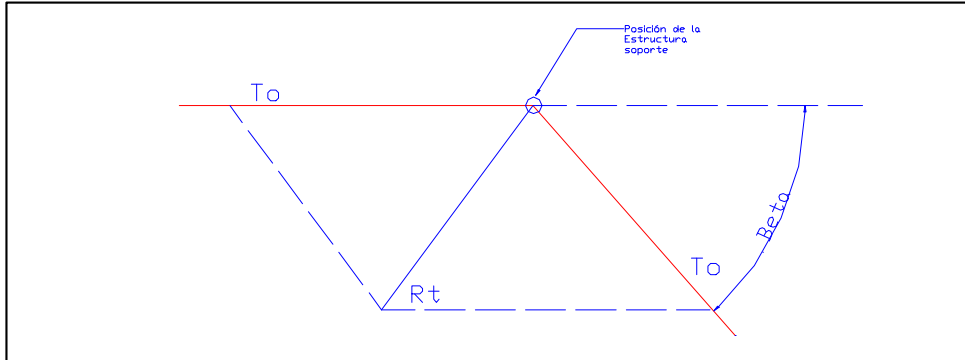
La inclinación de la cadena puede llegar a límites peligrosos, pues tiende a acercar el conductor a la masa del soporte.

Si consideramos que la distancia mínima entre el conductor y el apoyo es:

$$d_{\min} \geq 0,1 + \frac{U_N}{150} \text{ (m)}$$

en donde U_N (kV) es la Tensión Nominal de la Línea y $d_{\min}$ en metros.

RESULTANTE R_T DEBIDO AL ANGULO TOPOGRÁFICO β



Debido a que la línea en el punto de instalación de la estructura hace un ángulo β , entonces aparece una resultante R_T debido a la composición de las Fuerzas T_o del conductor, tal como se observa en la figura correspondiente.

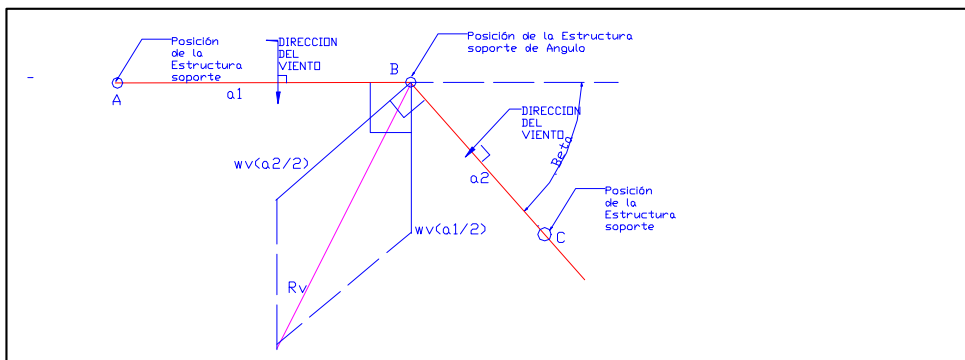
En consecuencia, componiendo las fuerzas se obtiene que:

$$\frac{R_T}{2} = T_o \text{Sen} \frac{b}{2}$$

Por tanto:

$$R_T = 2T_o \text{Sen} \frac{b}{2}$$

RESULTANTE R_V DEBIDO AL VIENTO SOBRE EL CONDUCTOR



La presión del viento, provoca sobre el conductor una fuerza resultante que se ubica en el punto de suspensión (en la cadena de aisladores) del conductor.

Por la ley de cosenos trigonométricos:

$$R_V^2 = \left(w_v \frac{a_1}{2} \right)^2 + \left(w_v \frac{a_2}{2} \right)^2 + 2 \left(w_v \frac{a_1}{2} \right) \left(w_v \frac{a_2}{2} \right) \cos b$$

$$R_v^2 = \frac{w_v^2}{4} (a_1^2 + a_2^2 + 2a_1a_2 \cos b)$$

Si el vano viento del soporte central en estudio es:

$$a_v = \frac{a_1 + a_2}{2}$$

de esta relación se obtiene:

$$a_v = \frac{a_1 + a_2}{2} \quad a_1^2 + a_2^2 = 4a_v^2 - 2a_1a_2$$

Por tanto la resultante Rv buscada es:

$$R_v^2 = \frac{w_v^2}{4} (4a_v^2 - 2a_1a_2 + 2a_1a_2 \cos b)$$

De donde se obtiene:

$$R_v^2 = \frac{w_v^2}{4} [4a_v^2 - 2a_1a_2(1 - \cos b)]$$

Pero por identidades trigonométricas tenemos que:

$$\cos b = 2 \cos^2 \left(\frac{b}{2} \right) - 1 \rightarrow 1 - \cos b = 2 - 2 \cos^2 \left(\frac{b}{2} \right)$$

entonces:

$$R_v^2 = \frac{w_v^2}{4} \left[4a_v^2 - 2a_1a_2 \left(2 - 2 \cos^2 \frac{b}{2} \right) \right]$$

$$R_v^2 = w_v^2 \left[a_v^2 - a_1a_2 \left(1 - \cos^2 \frac{b}{2} \right) \right]$$

de donde fácilmente;

$$R_v^2 = w_v^2 \left[a_v^2 - a_1a_2 \operatorname{sen}^2 \frac{b}{2} \right]$$

Finalmente obtenemos:

$$R_v = w_v \sqrt{a_v^2 - a_1a_2 \operatorname{Sen}^2 \frac{b}{2}}$$

No olvidemos que:

a_1 y a_2 = son los vanos (m) contiguos a la estructura soporte en estudio.

W_v = es el peso unitario (kg/m) ejercido por el viento sobre el conductor.

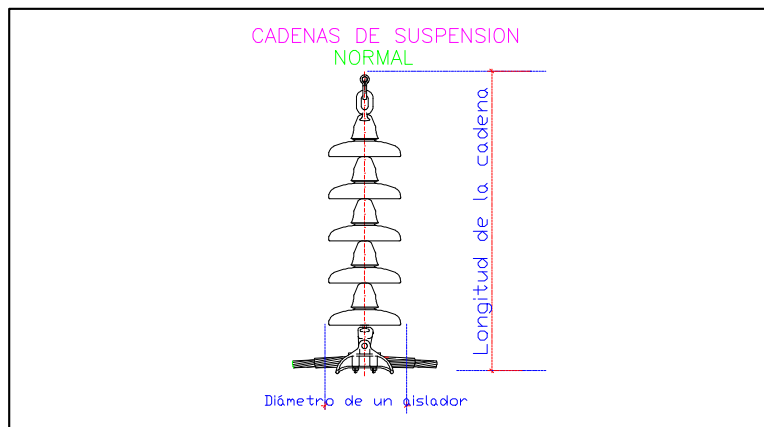
β = es el ángulo topográfico de la línea.

Si se hace la simplificación: $a_1 = a_2 = a_v$ se obtiene:

$$R_v = w_v a_v \sqrt{1 - \text{Sen}^2 \frac{b}{2}}$$

$$R_v = w_v a_v \cos \frac{b}{2}$$

RESULTANTE Q_v SOBRE LA CADENA DE AISLADORES



Si consideramos que λ es la longitud de la cadena de aisladores y ϕ_a el diámetro (m) del aislador de la cadena, entonces puede considerarse a dicha cadena como un rectángulo de área $\lambda \phi_a$ (m^2) que soporta la presión del viento.

Por tanto la fuerza del viento sobre la cadena puede ser evaluada por:

$$Q_v = 1,25 P_v l f_a$$

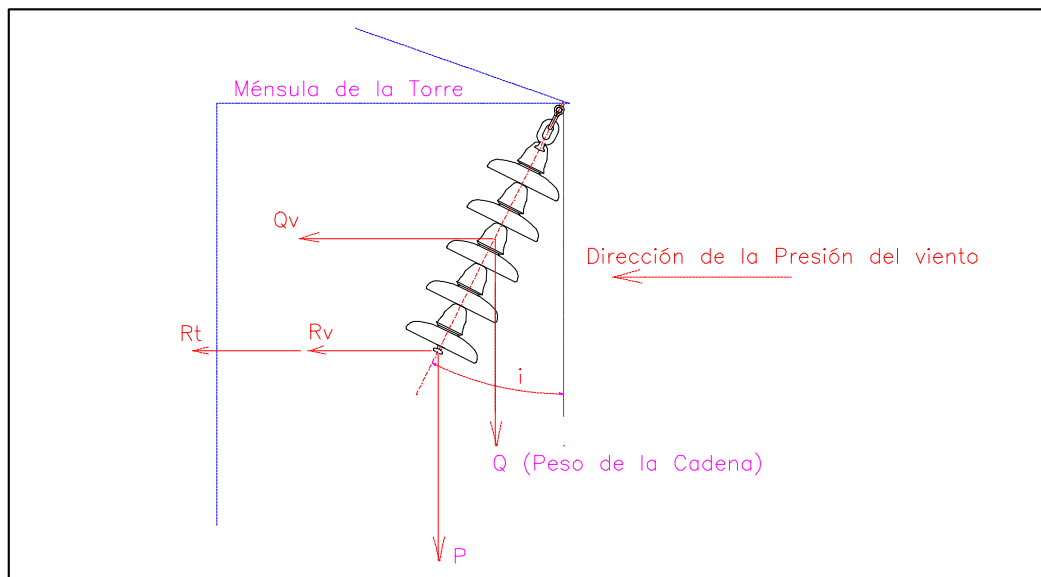
El punto de aplicación de esta fuerza es a la mitad de la cadena y en donde 1,25 es un factor de seguridad y P_v (kg/m^2) es la presión del viento.

PESO P DEL CONDUCTOR EN LA CADENA DE AISLADORES

Si consideramos que a_p es el vano peso de la estructura y w_c es el peso (kg/m) unitario del conductor, entonces el peso P (kg) del conductor sobre la cadena será:

$$P = w_c a_p$$

ANGULO i DE OSCILACION DE LA CADENA DE AISLADORES



Las Fuerzas anteriormente deducidas R_T , R_V , Q_V y P ejercen sobre la cadena de aisladores el efecto de desviar un ángulo respecto a la horizontal.

Si hacemos sumatoria de Momentos respecto al punto de suspensión de la cadena obtenemos:

$$Q_V \frac{l}{2} \cos(i) + (R_T + R_V) l \cos(i) = P l \sin(i) + Q \frac{l}{2} \sin(i)$$

eliminando l

$$Q_V \frac{1}{2} \cos(i) + (R_T + R_V) \cos(i) = P \sin(i) + Q \frac{1}{2} \sin(i)$$

de donde:

$$\text{Tgi} = \frac{R_T \pm (R_V + 0,5Q_V)}{P + 0,5Q}$$

Sustituyendo expresiones:

$$Tgi = \frac{2T_o \text{Sen} \frac{b}{2} \pm (w_v \sqrt{a_v^2 - a_1 a_2} \text{Sen}^2 \frac{b}{2} + 0,5Q_v)}{P + 0,5Q}$$

La expresión simplificada:

$$Tgi = \frac{2T_o \text{Sen} \frac{b}{2} \pm (w_v a_v \text{Cos} \frac{b}{2} + 0,5Q_v)}{P + 0,5Q}$$

- T_o = Tiro máximo resultante del cálculo mecánico del conductor, en kg
- β = Angulo Topográfico de línea.
- w_v = Fuerza unitaria (kg/m) provocado por el viento sobre el conductor.
- a_v = Eolovano o vano (m) viento.
- a_p = Gravivano o vano (m) peso.
- a_1, a_2 = Vanos (m) adyacentes a la estructura cuya cadena de aisladores oscilan i grados.
- P_v = Presión (kg/m²) del Viento.
- λ = Longitud (m) de la cadena de aisladores que oscila.
- ϕ_a = Diámetro (m) de uno de los discos que conforma la cadena.
- Q = Peso (kg) de la cadena de aisladores.
- P = Peso (kg) del Conductor soportado por la cadena.
- Q_v = Fuerza (kg) del Viento sobre la cadena.

$$\text{Si Viento Nulo} \rightarrow w_v = 0 \text{ y } Q_v = 0 \rightarrow Tgi = \frac{2T_o \text{Sen} \frac{b}{2}}{P + 0,5Q}$$

$$\begin{array}{l} \text{Para alineamiento} \rightarrow b = 0 \\ \text{Si Viento es no Nulo} \end{array} \rightarrow Tgi = \frac{w_v a_v + 0,5Q_v}{P + 0,5Q}$$

DEPENDENCIA DEL ANGULO DE OSCILACION DE LA CADENA EN FUNCION DEL ANGULO TOPOGRAFICO DE LINEA.

La fórmula:

$$Tgi = \frac{2T_o \text{Sen} \frac{b}{2} \pm (w_v a_v \text{Cos} \frac{b}{2} + 0,5Q_v)}{P + 0,5Q}$$

Sea los parámetros:

$$a = \frac{2T_o}{P + 0,5Q} \qquad b = \frac{w_v a_v}{P + 0,5Q}$$

Con estos valores sean :

$$A = \sqrt{a^2 + b^2} \qquad Tgj = \frac{b}{a}$$

En Consecuencia el ángulo i en funcion del ángulo topografico β será

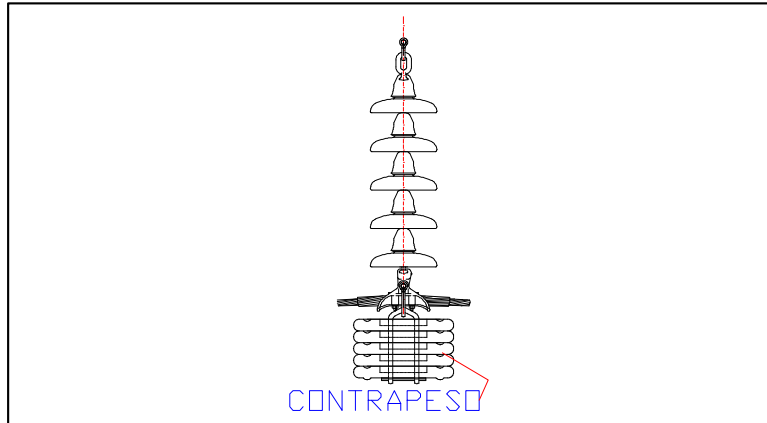
$$Tgi = A \text{Sen}(\frac{b}{2} + j) + \frac{0,5Q_v}{P + 0,5Q}$$

o también

$$Tgi = (\frac{1}{P + 0,5Q})(\sqrt{4T_o^2 + w_v^2 a_v^2} \text{Sen}(\frac{b}{2} + Tg^{-1} \frac{w_v a_v}{2T_o}) + 0,5Q_v)$$

$$Tgi = \frac{\sqrt{4T_o^2 + w_v^2 a_v^2}}{P + 0,5Q} \text{Sen}(\frac{b}{2} + Tg^{-1} \frac{w_v a_v}{2T_o}) + 0,5Q_v)$$

CALCULO DEL CONTRAPESO C (kg)



Si el ángulo de inclinación de la cadena de aisladores sobrepasa cierto límite asignado por el proyectista, es posible disminuirlo colocando un contrapeso Co (kg).

La expresión del ángulo de inclinación de la cadena tiene la forma:

$$Tgi = \frac{R_1}{R_2}$$

Por tanto si deseamos que el ángulo i sea disminuido al valor φ entonces bastará aumentar el denominador un valor Co (kg) valor del contrapeso.

$$Tgj = \frac{R_1}{R_2 + Co} \rightarrow Co = \frac{R_1}{Tgj} - R_2$$

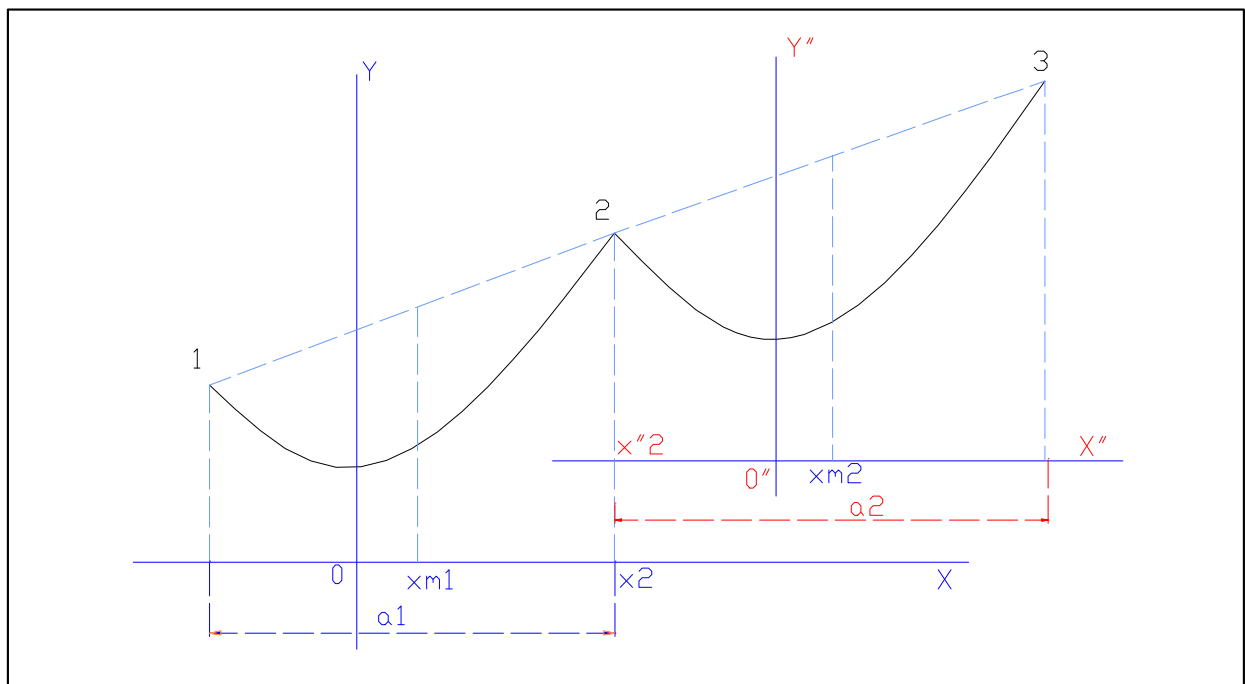
$$Co = R_2 \left(\frac{\frac{R_1}{R_2}}{Tgj} - 1 \right) = R_2 \left(\frac{Tgi}{Tgj} - 1 \right)$$

$$Co = (P + 0,5Q) \left(\frac{Tgi}{Tgj} - 1 \right)$$

EFFECTO “UP LIFT” O TIRO “HACIA ARRIBA” EN EL CONDUCTOR INSTALADO

Es importante determinar el Tiro Vertical resultante en cada una de las estructuras que serán instaladas. La razón está sustentada en que dicho tiro vertical resultante podría tener un valor con dirección hacia abajo, que en este caso sería normal que así sea. Sin embargo, en caso contrario, el tiro tendrá la tendencia de “arrancar” la estructura del suelo, y en caso extremo podría quedar “colgada”. El tiro hacia arriba “up lift” podría tener un valor lo suficiente para doblar las cadenas, que en este caso será necesario colocar contrapesos a fin que esto no suceda.

Se expone, a continuación un procedimiento para calcular el Tiro Vertical.



De acuerdo con la figura que se muestra, se determinará el Tiro Vertical resultante en el soporte 2, por efecto de la presencia de las catenarias contiguas, entre los vanos 1 y 2.

En el vano 1, cuyos ejes son XY se tiene:

Longitud del conductor si estuviera nivelado.

$$L'_1 = 2C \sinh\left(\frac{a_1}{2C}\right)$$

Posición cartesiana del medio vano

$$x_{m1} = C \sinh^{-1}\left(\frac{h_1}{L'_1}\right)$$

Posición cartesiana de la estructura 2

$$x_2 = x_{m1} + \frac{a_1}{2}$$

Tiro en cualquier punto x del conductor en el vano 1:

$$T_{x_2} = T_o \cosh\left(\frac{x_2}{C}\right)$$

Por tanto el Tiro Vertical en el soporte 2 debido a la presencia del conductor en el vano 1 será:

$$T_{V21} = \pm\sqrt{T_{x_2}^2 - T_o^2} = \pm\sqrt{T_o^2 \cosh^2\left(\frac{x_2}{C}\right) - T_o^2} = \pm T_o \sinh\left(\frac{x_2}{C}\right)$$

$$\text{Si } x_2 < 0 \rightarrow T_{v21} < 0 \text{ Hacia arriba}$$

$$\text{Si } x_2 > 0 \rightarrow T_{v21} > 0 \text{ Hacia abajo}$$

Análogamente en el vano 2, entre los soportes 2 y 3, con ejes X'Y'

Longitud del conductor del vano 2 si estuviera nivelado:

$$L'_2 = 2C \sinh\left(\frac{a_2}{2C}\right)$$

Posición cartesiana del medio vano:

$$x'_{m2} = C \sinh^{-1}\left(\frac{h_2}{L'_2}\right)$$

Posición cartesiana del soporte 2 con ejes X'Y'

$$x'_2 = x'_{m2} - \frac{a_2}{2}$$

Tiro vertical en cualquier punto del conductor del vano 2

$$T_{x'_2} = T_o \cosh\left(\frac{x'_2}{C}\right)$$

Por tanto, el Tiro vertical en el soporte 2 debido a la presencia del conductor en el vano 2 será:

$$T_{V22} = \pm\sqrt{T_{x'_2}^2 - T_o^2} = \pm\sqrt{T_o^2 \cosh^2\left(\frac{x'_2}{C}\right) - T_o^2} = \pm T_o \sinh\left(\frac{x'_2}{C}\right)$$

$$\text{Si } x'_2 > 0 \rightarrow T_{v22} < 0 \text{ Hacia arriba}$$

$$\text{Si } x'_2 < 0 \rightarrow T_{v22} > 0 \text{ Hacia abajo}$$

El tiro Vertical neto en el soporte 2 será:

$$T_{v2} = T_{v21} + T_{v22}$$

El vano Peso (a_p) en el soporte 2 será:

$$a_p = \frac{T_{v2}}{w_c}$$

Este mismo vano peso será también:

$$a_p = x_2 - x'_2$$

Por lo que el Tiro Vertical resultante en el soporte 2 será:

$$T_{V2} = w_c(x_2 - x'_2)$$

Por otra parte, en razón que :

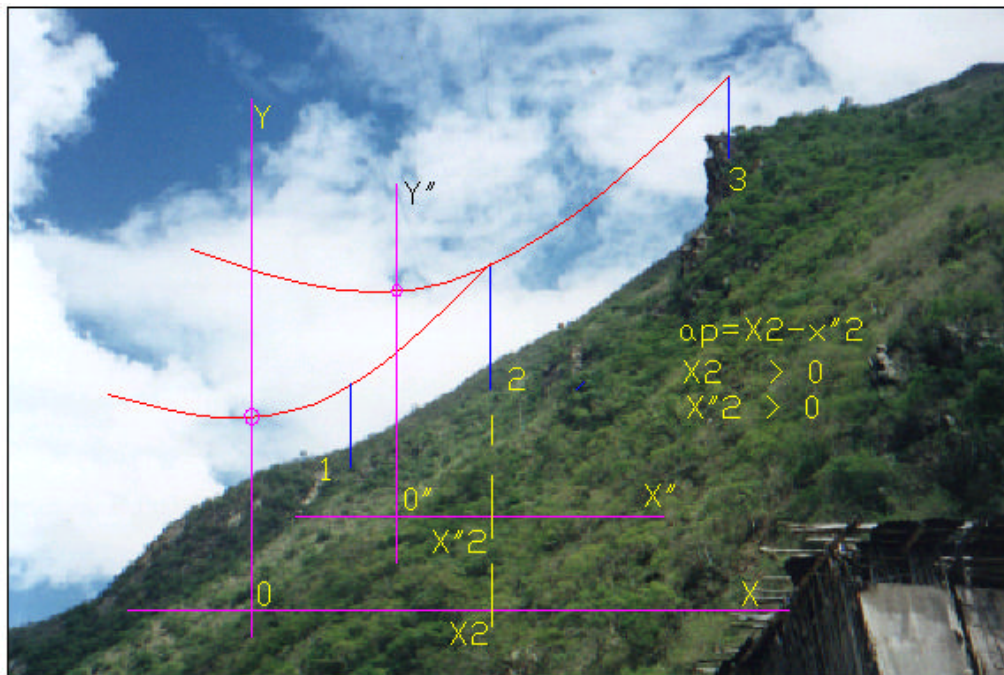
$$x_2 = x_{m1} + \frac{a_1}{2} \quad y \quad x'_2 = x'_{m2} - \frac{a_2}{2}$$

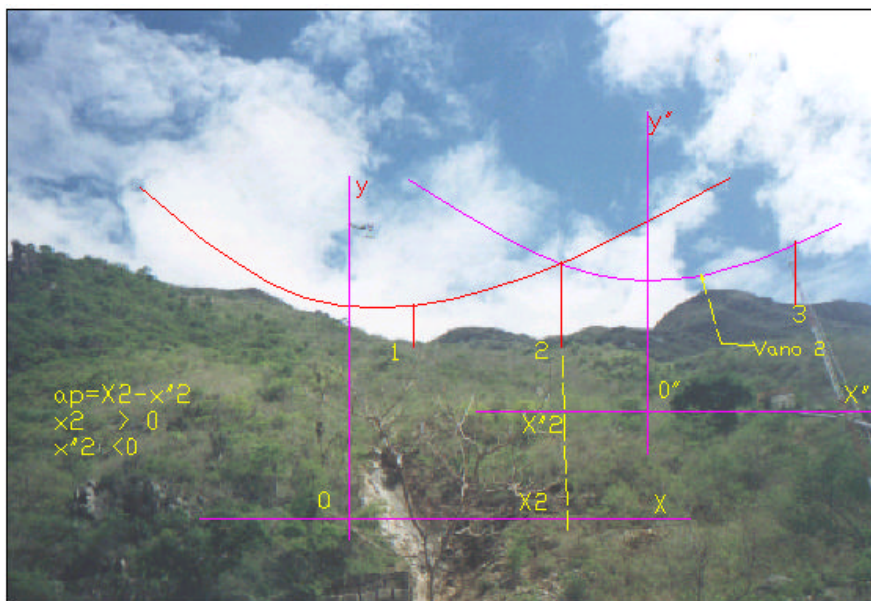
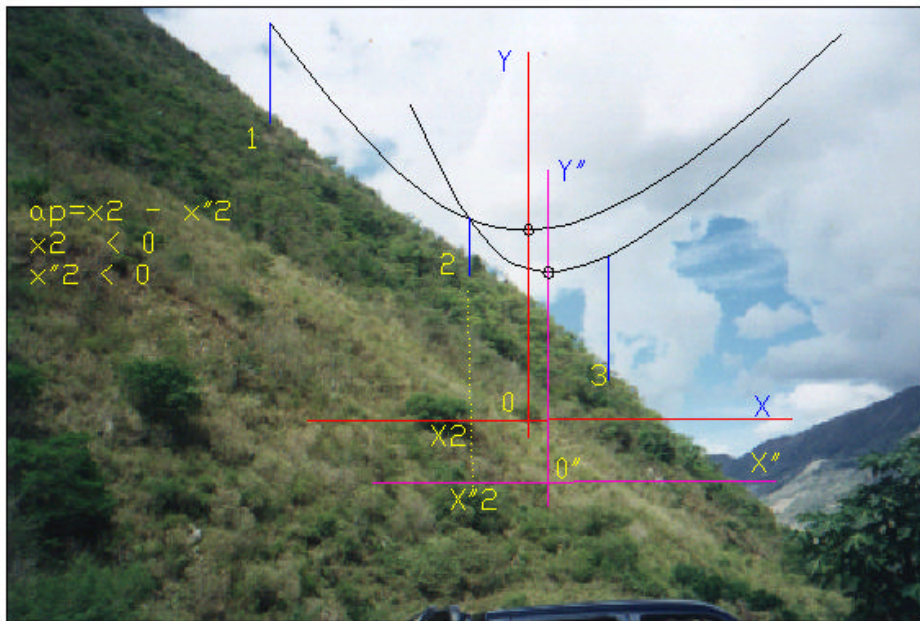
Entonces:

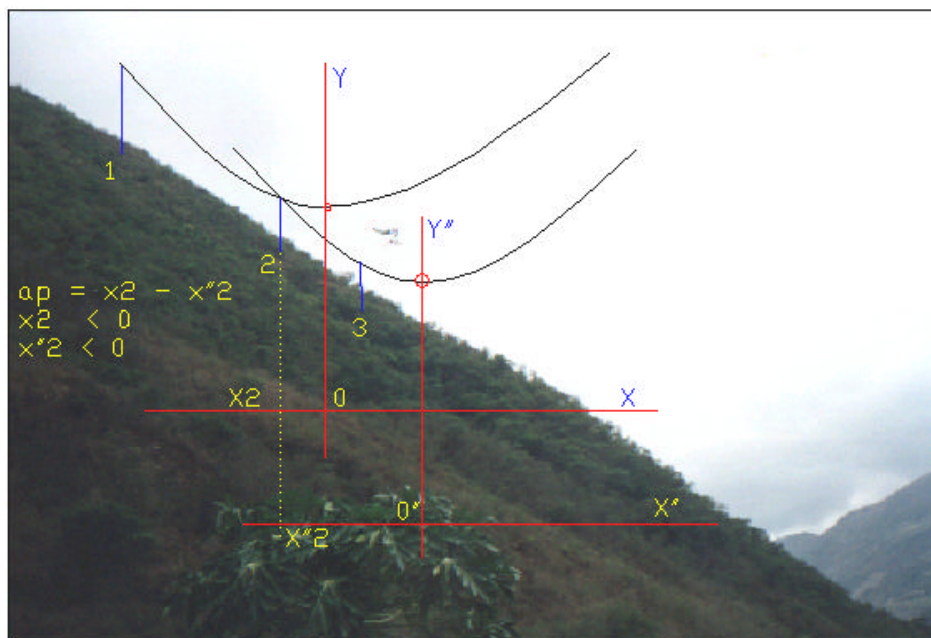
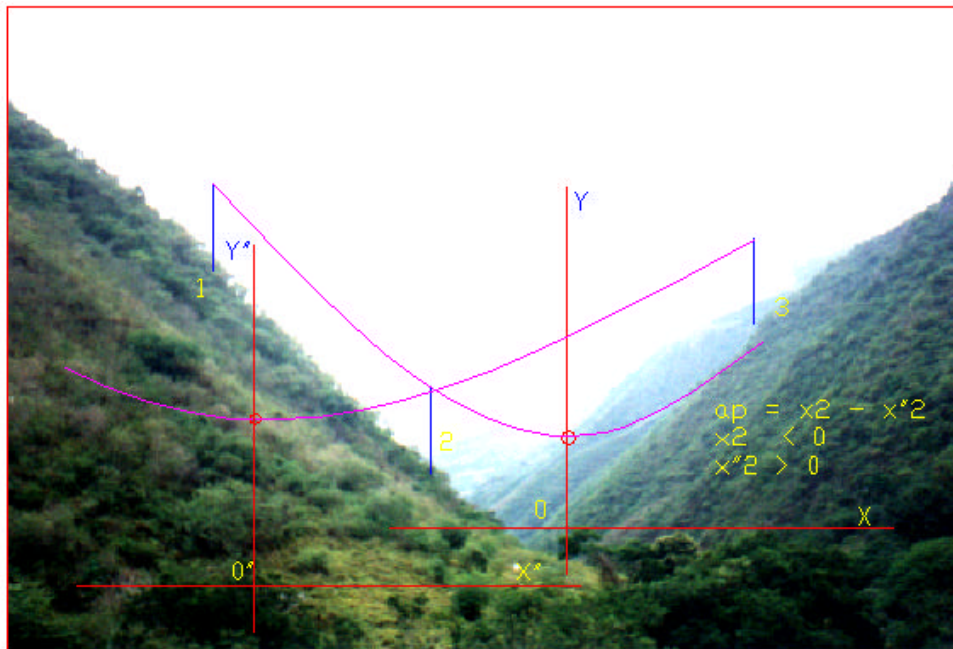
$$a_p = x_2 - x'_2 = x_{m1} - x'_{m2} = x_{m1} + \frac{a_1}{2} - (x'_{m2} - \frac{a_2}{2}) = x_{m1} - x'_{m2} + \frac{a_1 + a_2}{2} = x_{m1} - x'_{m2} + a_v$$

En consecuencia:

$$a_p - a_v = x_{m1} - x'_{m2}$$







DETERMINACIÓN DEL CONTRAPESO REQUERIDO PARA ELIMINAR EL EFECTO “UP LIFT” .

El ángulo (i) de desviación de la cadena se determina por la relación:

$$tgi = \frac{2T_o \operatorname{sen}\left(\frac{b}{2}\right) \pm \left(w_v a_v \cos\left(\frac{b}{2}\right) + \frac{1}{2} Q_v\right)}{P + \frac{1}{2} Q}$$

El valor tg(i) es de la forma: tg(i) = A/B

Sea φ el ángulo que se desea no sea superado, el mismo que se obtiene cuando se ha insertado el contrapeso de Valor C (kg), entonces tenemos:

$$tgj = \frac{A}{B+C} \rightarrow C = A \operatorname{ctg}(j) - B$$

Es decir:

$$C = \left[\left(2T_o \operatorname{sen}\left(\frac{b}{2}\right) + w_v a_v \cos\left(\frac{b}{2}\right) + \frac{1}{2} Q_v \right) \operatorname{ctg} j \right] - \left(P + \frac{1}{2} Q \right)$$

En razón que: $P = T_v = w_c a_p$

$$C = \left[\left(2T_o \operatorname{sen}\left(\frac{b}{2}\right) + w_v a_v \cos\left(\frac{b}{2}\right) + \frac{1}{2} Q_v \right) \operatorname{ctg} j \right] - \left(w_c a_p + \frac{1}{2} Q \right)$$

Finalmente, obtenemos:

$$C = \left[\left(2T_o \operatorname{sen}\left(\frac{b}{2}\right) + \frac{1}{2} Q_v \right) \operatorname{ctg} j - \frac{1}{2} Q \right] + \left[w_v \cos\left(\frac{b}{2}\right) \operatorname{ctg} j \right] a_v - w_c a_p$$

Ecuación que tiene la forma:

$$C = a + b a_v + c a_p$$

Donde a,b,c son parámetros o constantes y a_v y a_p son el vano viento y el vano peso respectivamente. Por lo que es posible construir un ábaco lineal.

No olvidemos que:

β = es el ángulo topográfico de la línea.

T_o = Tiro del conductor (kg)

φ = ángulo de la cadena de aisladores con contrapeso

w_c = Peso unitario del conductor (kg/m)

Q = Peso (kg) de la cadena de aisladores y sus accesorios.

Q_v = Fuerza (kg) del viento sobre la cadena de aisladores.

a_p = vanos (m) peso.

a_v = vano (m) viento.

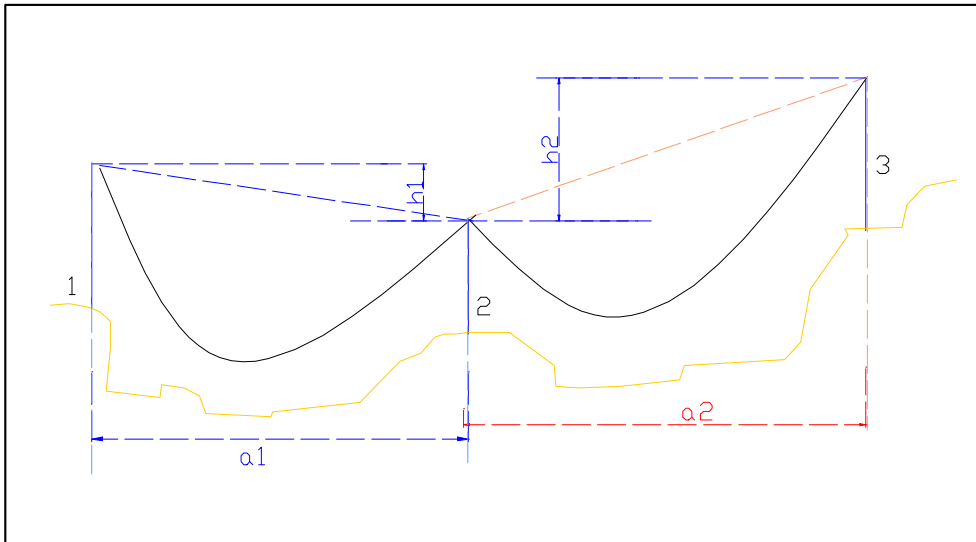
Ejemplo:

En el gráfico adjunto, los vanos son $a_1 = 304\text{m}$ y $a_2 = 256\text{m}$, los desniveles son $h_1 = -9\text{m}$ y $h_2 = +18\text{m}$; el peso unitario del conductor es $w_c = 1,083\text{ kg/m}$.

Siendo el Tiro en el conductor de $T_o = 1471,86\text{ kg}$, determinar el Tiro vertical en el soporte 2.

Solución: El parámetro de las catenarias son $C = T_o/w_c = 1471,86/1,083 = 1359,058\text{m}$

En el vano 1:



$$L'_1 = 2C \sinh\left(\frac{a_1}{2C}\right) = 2 \times 1359,58 \sinh\left(\frac{304}{2 \times 1359,58}\right) = 304,634\text{m}$$

$$x_{m1} = C \sinh^{-1}\left(\frac{h_1}{L'_1}\right) = 1359,58 \sinh^{-1}\left(\frac{-9}{304,634}\right) = -40,145\text{m}$$

$$x_2 = x_{m1} + \frac{a_1}{2} = -40,145 + \frac{304}{2} = +111,855\text{m}$$

Si $x_2 > 0 \rightarrow T_{v21} > 0$ Hacia abajo

$$T_{v21} = +T_o \sinh\left(\frac{x_2}{C}\right) = +1471,86 \sinh\left(\frac{+111,855}{1359,58}\right) = +121,275\text{ kg}$$

En el vano 2:

$$L'_2 = 2 \times 1359,58 \sinh\left(\frac{256}{2 \times 1359,58}\right) = 256,37\text{m}$$

Posición cartesiana del medio vano:

$$x'_{m2} = C \sinh^{-1}\left(\frac{h_2}{L'_2}\right) = 1359,58 \sinh^{-1}\left(\frac{+18}{256,37}\right) = +95,34\text{m}$$

Posición cartesiana del soporte 2 con ejes X'Y'

$$x'_2 = x'_{m2} - \frac{a_2}{2} = +95,34 - \frac{256}{2} = -32,66\text{m}$$

Si $x'_2 < 0 \rightarrow T_{v21} > 0$ Hacia abajo

Por tanto, el Tiro vertical en el soporte 2 debido a la presencia del conductor en el vano 2 será:

$$T_{x'2} = +T_o \sinh\left(\frac{x'_2}{C}\right) = +1471,86 \sinh\left(\frac{-32,66}{1359,058}\right) = +35,374 \text{ kg}$$

El tiro Vertical neto en el soporte 2 será:

$$T_{v2} = T_{v21} + T_{v22} = +12,275 + 35,374 = +156,649 \text{ kg (Hacia abajo)}$$

En consecuencia no requiere contrapeso por efecto "up lift".

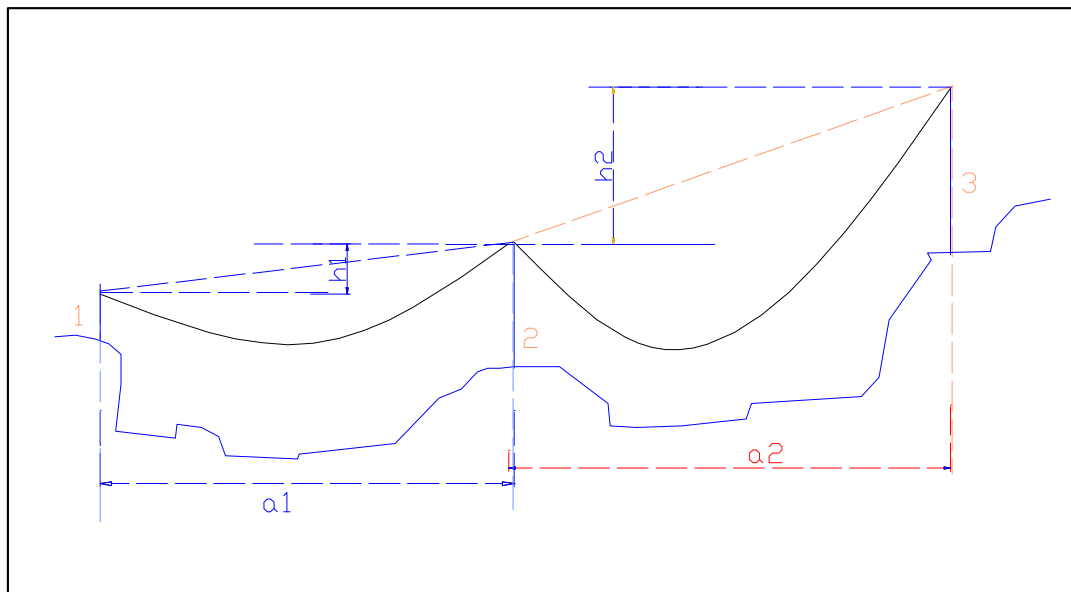
El vano Peso (a_p) en el soporte 2 será:

$$a_p = x_2 - x'_2 = +111,855 - -32,66 = 144,64m$$

Ejemplo:

En la figura, $T_o = 1400 \text{ kg}$; $w_c = 1,083$; $h_1 = +28$; $h_2 = +32$; $a_1 = 240m$; $a_2 = 248m$.

Determinar el Tiro vertical resultante en el soporte 2.



El parámetro de las catenarias son: $C = \frac{T_o}{w_c} = \frac{1400}{1.083} = 1292,7m$

$$L'_1 = 2C \sinh\left(\frac{a_1}{2C}\right) = 2 \times 1292,7 \sinh\left(\frac{240}{2 \times 1292,7}\right) = 240,345m$$

$$x_{m1} = C \sinh^{-1}\left(\frac{h_1}{L'_1}\right) = C \sinh^{-1}\left(\frac{+28}{240,35}\right) = +150,26m$$

$$x_2 = x_{m1} + \frac{a_1}{2} = +150,26 + \frac{240}{2} = +270,26m$$

$$\text{Si } x_2 > 0 \rightarrow T_{v21} > 0 \text{ Hacia abajo}$$

$$T_{v21} = +1400 \sinh\left(\frac{+270,26}{1292,7}\right) = +294,83 \text{ kg}$$

En el vano 2:

$$L'_2 = 2x C \sinh\left(\frac{248}{2xC}\right) = 248,38m$$

Posición cartesiana del medio vano:

$$x'_{m2} = C \sinh^{-1}\left(\frac{h_2}{L'_2}\right) = 1292,7 \sinh^{-1}\left(\frac{+32}{248,38}\right) = +166,088m$$

Posición cartesiana del soporte 2 con ejes X'Y'

$$x'_2 = x'_{m2} - \frac{a_2}{2} = +166,088 - \frac{248}{2} = +42,08m$$

$$\text{Si } x'_2 > 0 \rightarrow T_{v21} < 0 \text{ Hacia arriba}$$

Por tanto, el Tiro vertical en el soporte 2 debido a la presencia del conductor en el vano 2 será:

$$T_{x'2} = -T_o \sinh\left(\frac{x'_2}{C}\right) = -1400 \sinh\left(\frac{42,08}{1292,7}\right) = -45,58 \text{ kg}$$

El tiro Vertical neto en el soporte 2 será:

$$T_{v2} = T_{v21} + T_{v22} = +294,83 + -45,5835374 = +249,25 \text{ kg (Hacia abajo)}$$

En consecuencia no requiere contrapeso por efecto "up lift".

El vano Peso (a_p) en el soporte 2 será:

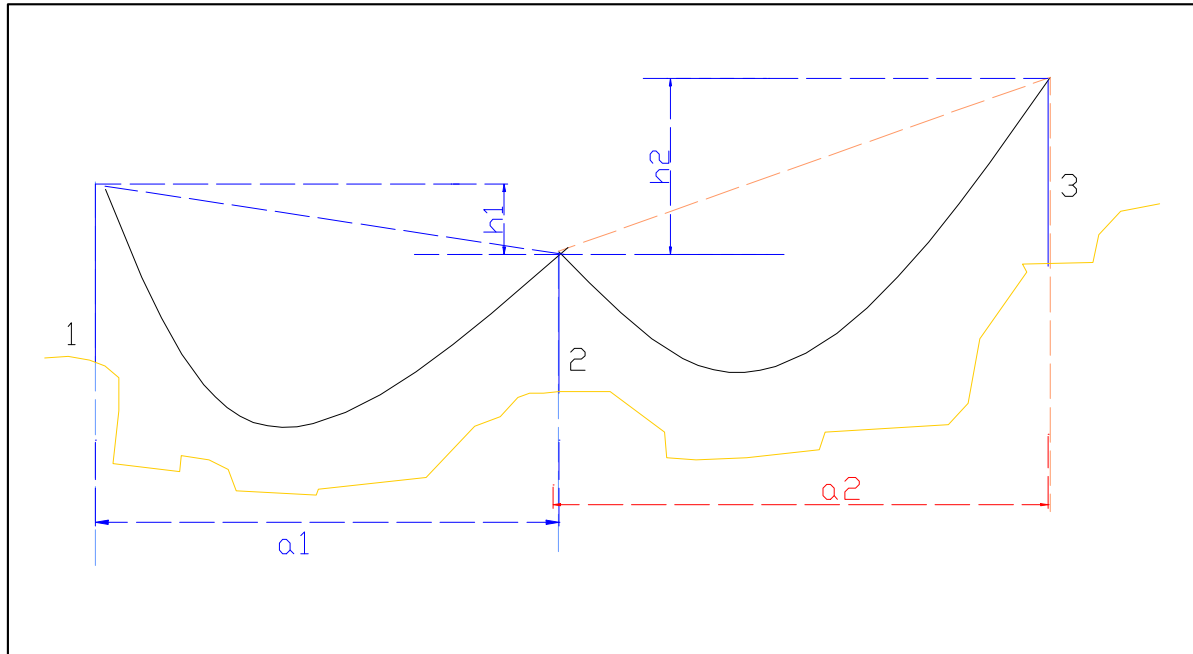
$$a_p = x_2 - x'_2 = +270,6 - +42,08 = +228,52m$$

Y el Tiro Vertical resultante resulta también:

$$T_{v2} = w_c a_p = 1,083 \times 228,52 = 247,48kg$$

Ejemplo: En el gráfico adjunto, los vanos son $a_1 = 280\text{m}$ y $a_2 = 320\text{m}$, los desniveles son $h_1 = -42\text{m}$ y $h_2 = +40\text{m}$; el peso unitario del conductor es $w_c = 1,083 \text{ kg/m}$. Siendo el Tiro en el conductor de $T_o = 1400 \text{ kg}$, determinar el Tiro vertical en el soporte 2.

Solución: El parámetro de las catenarias son $C = T_o/w_c = 1400/1,083 = 1292,705\text{m}$



$$L'_1 = 2C \sinh\left(\frac{a_1}{2C}\right) = 2 \times 1292,7 \sinh\left(\frac{280}{2 \times 1292,7}\right) = 280,467\text{m}$$

$$x_{m1} = C \sinh^{-1}\left(\frac{h_1}{L'_1}\right) = C \sinh^{-1}\left(\frac{-42}{280,467}\right) = -208,874\text{m}$$

$$x_2 = x_{m1} + \frac{a_1}{2} = -208,874 + \frac{280}{2} = -68,874\text{m}$$

$$\text{Si } x_2 < 0 \rightarrow T_{v21} < 0 \text{ Hacia arriba}$$

En el vano 2:

$$L'_2 = 2 \times 1292,7 \sinh\left(\frac{320}{2 \times 1292,7}\right) = 320,697\text{m}$$

Posición cartesiana del medio vano:

$$x'_{m2} = C \sinh^{-1}\left(\frac{h_2}{L'_2}\right) = 1292,7 \sinh^{-1}\left(\frac{+40}{320,697}\right) = +174,17\text{m}$$

Posición cartesiana del soporte 2 con ejes X'Y'

$$x'_2 = x'_{m2} - \frac{a_2}{2} = +174,17 - \frac{320}{2} = +14,17\text{m}$$

$$\text{Si } x'_2 > 0 \rightarrow T_{v21} < 0 \text{ Hacia arriba}$$

El vano Peso (a_p) en el soporte 2 será:

$$a_p = x_2 - x'_2 = -68,874 - +14,17 = -83,04m$$

Y el Tiro Vertical resultante es:

$$T_{v2} = w_c a_p = 1,083(-83,04) = -89,936kg$$

Por tanto el soporte requiere contrapeso, y será necesario calcularlo.

Si asumimos los datos siguientes:

Peso de la cadena de aisladores mas accesorios:	$Q = 90,6 \text{ kg}$
Fuerza del viento sobre la cadena de aisladores:	$Q_v = 10,80 \text{ kg}$
Fuerza del viento sobre el conductor:	$w_v = 0,551 \text{ kg/m}$

El valor del contrapeso es:

$$C = \left[\left(2T_o \sin\left(\frac{b}{2}\right) + \frac{1}{2} Q_v \right) \text{ctg} j - \frac{1}{2} Q \right] + \left[w_v \cos\left(\frac{b}{2}\right) \text{ctg} j \right] a_v - w_c a_p$$

Ecuación que tiene la forma:

$$C = a + b a_v + c a_p$$

$$a = \left[\left(2T_o \sin\left(\frac{b}{2}\right) + \frac{1}{2} Q_v \right) \text{ctg} j - \frac{1}{2} Q \right]$$

$$b = + \left[w_v \cos\left(\frac{b}{2}\right) \text{ctg} j \right]$$

$$c = -w_c$$

Realizando los cálculos:

$$a = \left[\left(2 \times 1400 \sin\left(\frac{b}{2}\right) + \frac{1}{2} (10,80) \right) \text{ctg} j - \frac{1}{2} (90,6) \right] = \left[\left(2800 \sin\left(\frac{b}{2}\right) + 5,4 \right) \text{ctg} j - 45,3 \right]$$

$$b = + \left[0,551 \cos\left(\frac{b}{2}\right) \text{ctg} j \right]$$

$$c = -1,083$$

Supongamos ahora que el soporte es de alineamiento, entonces $b = 0$

En consecuencia los parámetros a, b, c serán

$$a = [5,4 \operatorname{ctg} j - 45,3]$$

$$b = +[0,551 \operatorname{ctg} j]$$

$$c = -1,083$$

Es decir el valor del contrapeso estará dado por la relación:

$$C = [5,4 \operatorname{ctg} j - 45,3] + (0,551 \operatorname{ctg} j) a_v - 1,083 a_p$$

Si la cadena de aisladores no debería inclinarse más de 35° sexagesimales, entonces $\varphi = 35^\circ$,

$$C = [5,4 \operatorname{ctg} 35^\circ - 45,3] + (0,551 \operatorname{ctg} 35^\circ) a_v - 1,083 a_p$$

$$C = -37,588 + 0,787 a_v - 1,083 a_p$$

Esta ecuación permite calcular el valor del contrapeso requerido para valores diferentes del vano viento y del vano peso.

Para el presente ejemplo, el vano viento es:

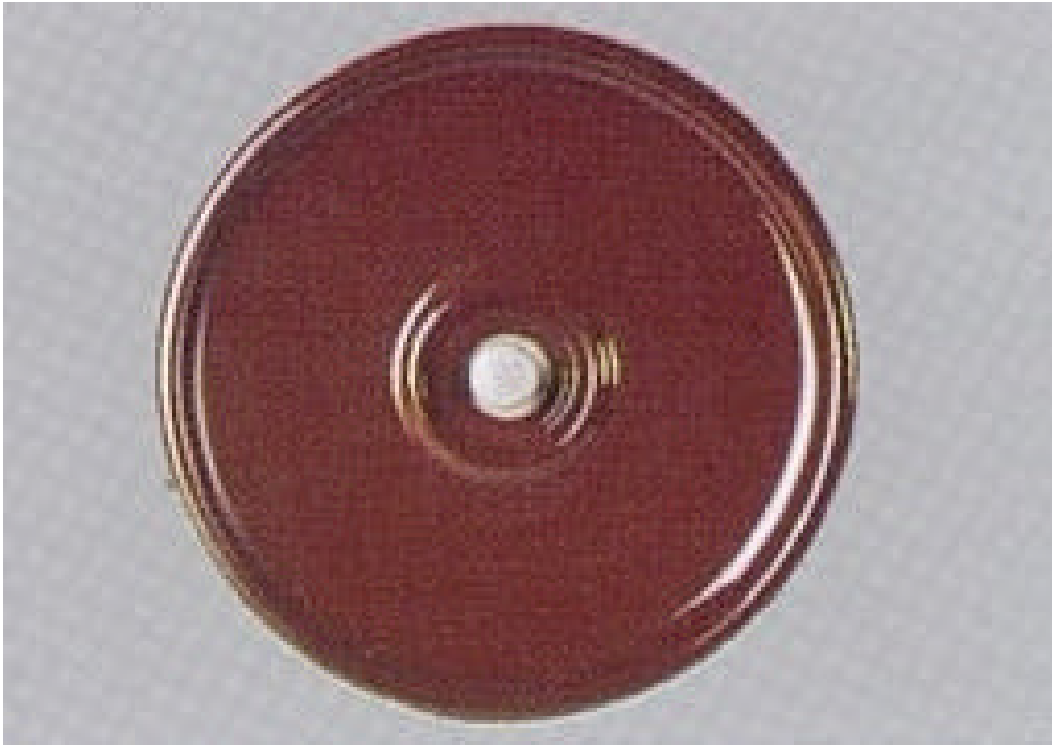
$$a_v = \frac{1}{2} (a_1 + a_2) = \frac{1}{2} (280 + 320) = 300m$$

$$a_p = -83,04m$$

y por tanto

$$C = -37,588 + 0,787 a_v - 1,083 a_p = -37,588 + 0,787(300) - 1,083(-83,043) = 75,95 \text{ kg}$$

Contrapeso que se requiere para eliminar el efecto "up lift" y al mismo tiempo permite que la cadena de aisladores no oscile más allá de 35° respecto de la vertical.



APÉNDICE I

ECUACIÓN DE CAMBIO DE ESTADO ALTERNATIVO

APÉNDICE I**ECUACION DE CAMBIO DE ESTADO MODIFICADA**

Debido a que una Línea de transmisión cuando está instalada es afectada principalmente por las condiciones climáticas en la zona tales como: temperatura, presión de viento peso adicional debido a la costra de hielo adherida al cable etc. Estos cambios climáticos hacen variar constantemente la longitud y tiro en el conductor y como consecuencia la ecuación del cable durante un período de tiempo dado es fundamentalmente dinámica.

Por ello, (*sin considerar el efecto de fluencia*) la variación de longitud del conductor por cambio de condiciones es igual a la variación de longitud debido al cambio de temperatura (dilatación térmica) más el debido a la variación del tiro o efecto Hook, la cual podemos expresarla matemáticamente en la forma:

$$L_2 - L_1 = \alpha (q_2 - q_1) L_1 + \left(\frac{T_{o2} - T_{o1}}{AE} \right) L_1 \dots\dots\dots(1)$$

en donde:

$L_2 - L_1$ = Variación de longitud del conductor o diferencia de longitudes final e inicial (m).

$\theta_2 - \theta_1$ = Diferencia de temperaturas final e inicial (°C)

$T_{o2} - T_{o1}$ = Diferencia de tiros o componentes horizontales final e inicial (kg).

A = sección del conductor (mm²).

E = Módulo de Elasticidad del conductor (kg/mm²).

α = Coeficiente de dilatación térmica (1/°C).

En la ecuación (1) pongamos en evidencia el factor común L_1 para obtener:

$$L_2 - L_1 = L_1 \left[\alpha (q_2 - q_1) + \left(\frac{T_{o2} - T_{o1}}{AE} \right) \right] \dots\dots\dots(2)$$

Si consideramos que el cociente Tiro/Sección, es el esfuerzo, entonces la ecuación (2) se transforma en:

$$L_2 - L_1 = L_1 \left[\alpha (q_2 - q_1) + \left(\frac{s_{o2} - s_{o1}}{E} \right) \right] \dots\dots\dots(3)$$

En esta última ecuación, los valores L_2 y s_{o2} serán tomados como desconocidos teniendo en cuenta que las condiciones iniciales siempre se conocen por tanto pasando al primer miembro las incógnitas obtenemos :

$$L_2 - L_1 = L_1 \left[\alpha (q_2 - q_1) - \frac{s_{o1}}{E} \right] + \frac{L_1 s_{o2}}{E}$$

o también:

$$L_2 - \frac{L_1 s_{o2}}{E} = L_1 \left[a(q_2 - q_1) - \frac{s_{o1}}{E} + 1 \right] \dots\dots\dots(4)$$

si definimos:

$$p = L_1 \left[a(q_2 - q_1) - \frac{s_{o1}}{E} + 1 \right] \dots\dots\dots(5)$$

y además, en la condición final, siendo el peso unitario del conductor w_{r2} en (kg/m), incluidos las sobrecargas eventuales (peso adicional ejercido por la presión del viento y el peso adicional de la costra de hielo) y además el parámetro de la catenaria del cable (ecuación cartesiana del conductor) C_2 en metros, entonces el esfuerzo es:

$$s_{o2} = \frac{C_2 w_{r2}}{A} \dots\dots\dots(6)$$

Si reemplazamos (5) y (6) en (4), obtenemos:

$$L_2 - L_1 \frac{C_2 w_{r2}}{EA} = p \dots\dots\dots(7)$$

definamos el valor q , también conocido, por la expresión:

$$q = L_1 \frac{w_{r2}}{EA} \dots\dots\dots(8)$$

entonces la ecuación (7) se transforma en :

$$L_2 - qC_2 = p \dots\dots\dots(9)$$

Por otra parte, la longitud final del conductor es :

$$L_2 = \sqrt{\left[2C_2 \sinh\left(\frac{a}{2C_2}\right) \right]^2 + h^2} \dots\dots\dots(10)$$

Siendo a la distancia interpostal horizontal o vano en metros y h el desnivel de los puntos de suspensión del conductor. Entonces la ecuación (9) puede escribirse en la forma:

$$\sqrt{\left[2C_2 \sinh\left(\frac{a}{2C_2}\right) \right]^2 + h^2} - qC_2 = p \dots\dots\dots(11)$$

Multiplicando la ecuación (11) por $1/a$ obtenemos:

$$\sqrt{\left[\left(\frac{2C_2}{a} \right) \sinh\left(\frac{a}{2C_2}\right) \right]^2 + \left(\frac{h}{a} \right)^2} - \frac{qC_2}{a} = \frac{p}{a} \dots\dots\dots(12)$$

en esta última ecuación multipliquemos y dividamos por 2

el segundo término para obtener:

$$\sqrt{\left[\left(\frac{2C_2}{a}\right)\sinh\left(\frac{a}{2C_2}\right)\right]^2 + \left(\frac{h}{a}\right)^2} - \left(\frac{q}{2}\right)\left(\frac{2C_2}{a}\right) = \frac{p}{a} \dots\dots\dots(13)$$

definamos ahora:

$$b_2 = \frac{a}{2C_2} \dots\dots\dots(14)$$

la cual denominaremos ANGULO HIPERBOLICO DE NIVEL del conductor. entonces si reemplazamos la ecuación (14) en (13) obtendremos:

$$\sqrt{\left[\frac{\sinh(b_2)}{b_2}\right]^2 + \left(\frac{h}{a}\right)^2} - \left(\frac{q}{2b_2}\right) = \frac{p}{a} \dots\dots\dots(15)$$

Si esta ecuación la multiplicamos por b_2 tendremos:

$$\sqrt{[\sinh(b_2)]^2 + \left(\frac{h}{a}\right)^2} b_2 - \frac{q}{2} = \left(\frac{p}{a}\right) b_2 \dots\dots\dots(16)$$

o también:

$$\sqrt{[\sinh(b_2)]^2 + \left(\frac{h}{a}\right)^2} b_2 - \left(\frac{p}{a}\right) b_2 = \frac{q}{2} \dots\dots\dots(17)$$

definamos ahora los valores conocidos:

$$m = \left(\frac{h}{a}\right)^2 \dots\dots\dots(18)$$

$$n = \frac{p}{a} \dots\dots\dots(19)$$

que teniendo en cuenta la ecuación (15), la (19) se transforma en:

$$n = \frac{L_1}{a} \left[a(q_2 - q_1) - \frac{s_{o1}}{E} + 1 \right] \dots\dots\dots(20)$$

además, definamos:

$$r = \frac{q}{2} \dots\dots\dots(21)$$

Que teniendo en cuenta la ecuación (8), la (21) se transforma en:

$$r = \frac{L_1 w_{r2}}{2EA} \dots\dots\dots(22)$$

Ahora reemplazemos (18), (20) y (22) en (17) y tendremos:

$$\sqrt{[\sinh(b_2)]^2 + m b_2^2} - n b_2 = r \dots\dots\dots(23)$$

Esta ecuación de cambio de estado (23), es la que consideramos modificada y que al resolverla obtenemos la incógnita β_2 definida como ángulo hiperbólico de nivel, y con ella la ecuación (14) nos dará el parámetro C_2 y finalmente éste valor entregará las demás características del cable.

Si el desnivel es nulo ($h = 0$), entonces el valor definido:

$$m = \left(\frac{h}{a}\right)^2 = 0$$

Y por tanto la ecuación (23) se transforma en :

$$\sinh(b_2) - n b_2 = r \dots\dots\dots(24)$$

Que es una ecuación más simple y podemos utilizarla para desniveles sensiblemente nulos.

La ecuación mas general (23), es muy simple de incluirla en un programa de computo, ya que los coeficientes (m , n y r) de la ecuación son calculados sucesivamente para finalmente resolver la ecuación.

La ecuación (23), manualmente se resuelve por métodos iterativos (el presente trabajo utilizó el método de Newton) y si consideramos que en cálculos de líneas de transmisión el valor:

$$b = \frac{a}{2C} < 1$$

Entonces la aproximación: $\sinh b \approx b$ es correcta por lo que si reemplazamos en la ecuación (23) obtenemos:

$$\sqrt{b_2^2 + m b_2^2} - n b_2 = r \dots\dots\dots(25)$$

de donde:

$$b_2 = \frac{r}{\sqrt{1+m}-n} \dots\dots\dots(26)$$

que es el valor aproximado de β_2 y punto de partida para la iteración matemática que se desea hacer. Análogamente para el caso particular de cables a nivel (desnivel $h = 0$) siendo $m = 0$; entonces la ecuación (26) se simplifica aún más:

$$b_2 = \frac{r}{1-n} \dots\dots\dots(27)$$

APLICACION

Supongamos que un conductor tipo ACSR (aluminio con alma de acero) que tiene los datos siguientes:

$$\begin{aligned} A &= 455,1 \text{ mm}^2 & f_c &= 27,762 \text{ mm} \\ E &= 6860 \text{ kg/mm}^2 & a &= 0,00001933^\circ \text{C}^{-1} \\ TR &= 12950 \text{ kg} & w_c &= 1,522 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Será extendido en un vano especial de 1200m y se desea verificar si es posible extenderlo con el desnivel de 1000m. Para ello se requiere conocer cual será el Coeficiente de seguridad del conductor cuando la condición climática es de 0°C con costra de hielo de 12,7 mm teniendo en cuenta que como mínimo dicho coeficiente será de 2,5; siendo además que el esfuerzo de templado deberá ser de 2,2724 kg/mm² a +15°C sin sobrecargas de Viento o hielo.

Solución:

En la condición de Templado (+15°C) no existen sobrecargas de viento o hielo, sin embargo en la condición de 0°C tenemos sobrecarga de hielo, por lo que:

$$w_h = 0,0029(e^2 + e f_c) = 0,0029(12,7^2 + 12,7 \times 27,762) = 1,49021 \text{ kg/m}$$

El peso unitario resultante total será:

$$w_{r2} = w_c + w_h = 1,522 + 1,49021 = 3,01221 \text{ kg/m}$$

Planteamos ahora la solución de la Ecuación de Cambio de estado. De la ecuación (18):

$$m = \left(\frac{h}{a} \right)^2 = \left(\frac{1000}{1200} \right)^2 = 0,69444$$

Además para las condiciones iniciales:

$$C_1 = \frac{s_{o1} A}{w_{r1}} = \frac{2,2724 \times 455,1}{1,522} = 679,494 \text{ m}$$

La longitud del cable si estuviera a nivel en esta condición es:

$$L'_1 = 2C_1 \sinh\left(\frac{a}{2C_1}\right) = 2 \times 679,494 \sinh\left(\frac{1200}{2 \times 679,494}\right) = 1689,796 \text{ m}$$

De la ecuación (20):

$$n = \frac{L_1}{a} \left[a(q_2 - q_1) - \frac{s_{o1}}{E} + 1 \right] = \frac{1689,796}{1200} \left[0,0001933(0 - 15) - \frac{2,2724}{6860} + 1 \right] = 1,407755$$

La ecuación (22):

$$r = \frac{L_1 w_{r2}}{2EA} = \frac{1689,796 \times 3,0122}{2 \times 6860 \times 455,1} = 0,00081518$$

Por tanto la ECE exacta, a resolver es:

$$\sqrt{[\sinh(b_2)]^2 + m b_2^2} - n b_2 = r$$

$$\sqrt{[\sinh(b_2)]^2 + 0,69444 b_2^2} - 1,407755 b_2 = 0,00081518$$

De donde luego de resolver obtenemos:

$$b_2 = 0,883198 \text{ Radianes hiperbólicos}$$

Por tanto, el parámetro de la catenaria es:

$$C_2 = \frac{a}{2b_2} = \frac{1200}{2 \times 0,883198} = 679,349m$$

El tiro en el vértice:

$$T_{02} = C_2 w_{r2} = 679,349 \times 3,0122 = 2046,335058$$

La longitud del cable si el desnivel fuera nulo:

$$L'_2 = 2C_2 \sinh\left(\frac{a}{2C_2}\right) = 2 \times 679,349 \sinh\left(\frac{1200}{2 \times 679,349}\right) = 1362,20676m$$

Ubicación cartesiana del medio vano:

$$x_m = C_2 \operatorname{arcsen} h\left(\frac{h}{L'_2}\right) = 679,349 \operatorname{arcsen} h\left(\frac{1000}{1362,20676}\right) = +462,216m$$

Ubicación cartesiana de la Torre más alta:

$$x_b = x_m + \frac{a}{2} = +462,216 + \frac{1200}{2} = +1062,216m$$

Por tanto el Tiro en esta Torre es:

$$T_b = T_{02} \cosh\left(\frac{x_b}{C_2}\right) = 2046,335058 \cosh\left(\frac{1062,216}{679,349}\right) = 5100,76645kg$$

Este último valor es el tiro máximo en ésta condición, por lo que el coeficiente de seguridad será:

$$cs = \frac{TR}{T_b} = \frac{12950}{5100,76645} = 2,5388$$

En consecuencia, es posible decidir por el extendimiento del conductor.

APÉNDICE II

UNA COMPLETA ECUACION DE CAMBIO DE ESTADO

***(Para uso estrictamente académico de la Facultad
de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la
Universidad Nacional de Ingeniería. LIMA – PERU)***

Ing. Juan Bautista R.

APÉNDICE II

UNA COMPLETA ECUACION DE CAMBIO DE ESTADO¹

Como sabemos la decisión más importante que debe tomar el Ingeniero de diseño de Líneas de Transmisión, es de decidir cual será el Esfuerzo de Templado del conductor, por lo que deberá contar con la herramienta más importante para tomar una adecuada decisión, esta herramienta es la Ecuación de Cambio de estado (ECE) o de Condiciones mecánicas o Estados de carga.

Con la ECE, en consecuencia, se trata de definir el estado de carga "óptimo" para el templado, de modo que nos dé la seguridad de que con el cambio de las condiciones de carga, a otras más severas que ocurrirán sin duda en el tiempo, por las variaciones meteorológicas, no se exponga a la línea a construir a ser autodestruido.

La ecuación de cambio de estado es deducida Al efectuar un balance de longitudes del cable para dos condiciones distintas; una de ellas que constituye el estado inicial o de origen (1) y la segunda el estado final o de llegada (2).

En la presente exposición se toma en cuenta las Hipótesis siguientes:

HIPÓTESIS I (H-I) Hipótesis de Hielo.
HIPÓTESIS IA (H-IA) Hipótesis de Viento.
HIPÓTESIS II (H-II) Hipótesis de Templado.
HIPÓTESIS III (H-III) Hipótesis de Flecha Máxima

La variación total de longitud del conductor está dado por los aspectos siguientes:

$$L_2 - L_1 = \Delta L_{\substack{\text{dilatación} \\ \text{térmica}}} + \Delta L_{\substack{\text{diferencia} \\ \text{tracciones}}} + \Delta L_{\substack{\text{modulo} \\ \text{elasticidad}}} + \Delta L_{\substack{\text{fluencia} \\ \text{metálica}}} \dots\dots\dots(1)$$

Para el caso de las longitudes, como sabemos:

$$L = C \left[\sinh \left(\frac{x_B}{C} \right) - \sinh \left(\frac{x_A}{C} \right) \right]$$

O también:

$$L = \frac{T_0}{w_r} \left[\sinh \left(\frac{x_B w_r}{T_0} \right) - \sinh \left(\frac{x_A w_r}{T_0} \right) \right]$$

¹ El presente artículo, es una adecuación del trabajo presentado por los Ingenieros Esaú del Carpio Muñoz y Walter Lizárraga Armaza al VIII CONIMERA realizado en Agosto de 1986 en Lima – Perú.
Ing. Juan Bautista Ríos

LINEAS DE TRANSMISIÓN: ASPECTOS MECÁNICOS Y CONDUCTORES

En consecuencia las longitudes en cada condición son:

$$L_2 = \frac{T_{02}}{w_r} \left[\sinh \left(\frac{x_B w_{r2}}{T_{02}} \right) - \sinh \left(\frac{(x_B - a) w_{r2}}{T_{02}} \right) \right] \dots\dots\dots(2)$$

$$L_1 = \frac{T_{01}}{w_{r1}} \left[\sinh \left(\frac{x_B w_{r1}}{T_{01}} \right) - \sinh \left(\frac{(x_B - a) w_{r1}}{T_{01}} \right) \right] \dots\dots\dots(3)$$

L = Longitud del conductor instalado a desnivel.

L' = Longitud del conductor si se instalara a nivel.

h = Desnivel.

a = vano horizontal.

w_{r1} , w_{r2} = Pesos unitarios (kg/m) con sobrecargas, del conductor en las condiciones inicial y final respectivamente.

T_{01} , T_{02} = Tiros (kg) del conductor en las condiciones inicial y final.

INCREMENTO DE LONGITUD DEL CONDUCTOR POR VARIACION DE TEMPERATURA

Las deformaciones elásticas longitudinales que se producen en los conductores al someterlos a temperaturas diferentes son determinadas haciendo uso del coeficiente de dilatación térmica longitudinal de los conductores, aplicado a la longitud total del conductor en el estado inicial y la diferencia de temperaturas entre los dos estados:

$$\Delta L = L_1 \alpha (q_2 - q_1) \dots\dots\dots(4)$$

α = Coeficiente de dilatación térmica del conductor (1 / °C)

θ_2, θ_1 = Temperaturas en los estados final e inicial (°C)

L_1 = Longitud en el estado inicial (m)

En todo caso se considera que cada “trozo o longitud infinitesimal “ de conductor se dilata en igual proporción en razón que las temperaturas aplicadas al cable son las mismas en toda su longitud.

INCREMENTO DE LONGITUD DEL CONDUCTOR POR VARIACION DE ESFUERZOS

Las deformaciones plásticas longitudinales que se producen en los conductores al someterlos a esfuerzos diferentes al original, son determinados en virtud de la Ley de Hooke, pero, aplicada a cada porción infinitesimal de la longitud del cable, debido a que cada porción habrá de deformarse en proporción distinta, por el hecho de estar sometida a un esfuerzo distinto del de la porción adyacente.

Para la deducción de la expresión a utilizarse en la Ecuación de cambio de estado (ECE), dividamos el cable en "n" porciones infinitesimales de igual longitud, a las que aplicaremos sus respectivas tensiones, por supuesto distintas; entonces la deformación total del cable será igual a la sumatoria de las deformaciones de las "n" porciones infinitesimales debidas a la diferencia de tensiones:

LINEAS DE TRANSMISIÓN: ASPECTOS MECÁNICOS Y CONDUCTORES

$$\Delta L = \frac{T_{12} - T_{11}}{AE} l_1 + \frac{T_{22} - T_{21}}{AE} l_2 + \frac{T_{32} - T_{31}}{AE} l_3 + \dots + \frac{T_{n2} - T_{n1}}{AE} l_n$$

En función de los esfuerzos:

$$\Delta L = \frac{s_{12} - s_{11}}{E} l_1 + \frac{s_{22} - s_{21}}{E} l_2 + \frac{s_{32} - s_{31}}{E} l_3 + \dots + \frac{s_{n2} - s_{n1}}{E} l_n$$

Tales que el esfuerzo queda definido por:

$$s = \frac{T}{A} \quad (\text{kg} / \text{mm}^2)$$

Y donde:

$l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, \dots, l_n$	= Longitud (m) infinitesimal del conductor.
$T_{11}, T_{12}, T_{13}, \dots, T_{1n}$	= Tensión o Tiro (kg) aplicado a cada elemento. condición 1
$T_{21}, T_{22}, T_{23}, \dots, T_{2n}$	= Tensión o Tiro (kg) aplicado a cada elemento. condición 2
$\sigma_{11}, \sigma_{12}, \sigma_{13}, \dots, \sigma_{1n}$	= Esfuerzo (kg/mm^2) aplicado a cada elemento. condición 1
$\sigma_{21}, \sigma_{22}, \sigma_{23}, \dots, \sigma_{2n}$	= Esfuerzo (kg/mm^2) aplicado a cada elemento. condición 2
A	= Sección (mm^2) del conductor
E	= Módulo de elasticidad (kg/mm^2) final.

como: $L_1 = l_1 + l_2 + l_n + \dots + l_n$

y además $l_1 = l_2 = l_3 = \dots = l_n = l$

$$L_1 = nl$$

$$l = \frac{L_1}{n}$$

reemplazando y factorizando, tenemos:

$$\Delta L = \frac{L_1 / n}{AE} [(T_{12} + T_{22} + T_{32} + \dots + T_{n2}) - (T_{11} + T_{21} + T_{31} + \dots + T_{n1})]$$

En función de los esfuerzos:

$$\Delta L = \frac{L_1 / n}{E} [(s_{12} + s_{22} + s_{32} + \dots + s_{n2}) - (s_{11} + s_{21} + s_{31} + \dots + s_{n1})]$$

LINEAS DE TRANSMISIÓN: ASPECTOS MECÁNICOS Y CONDUCTORES

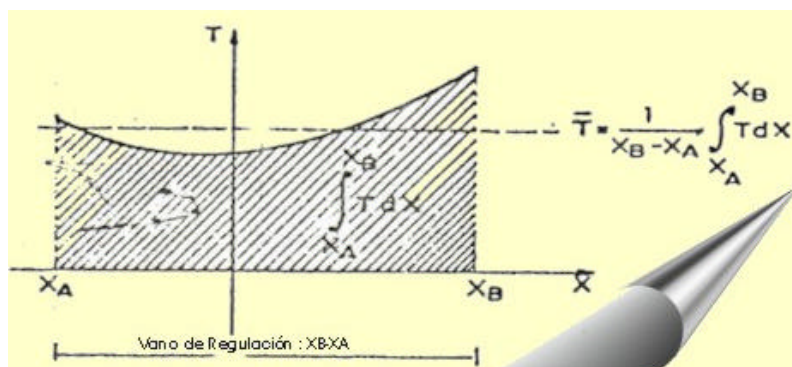
$$\Delta L = \frac{L_1}{AE} \left[\frac{\sum_{j=1}^n T_{j2}}{n} - \frac{\sum_{j=1}^n T_{j1}}{n} \right] = \frac{L_1}{E} \left[\frac{\sum_{j=1}^n s_{j2}}{n} - \frac{\sum_{j=1}^n s_{j1}}{n} \right]$$

Las expresiones entre corchetes son dos promedios de tensiones de un número infinito de términos en cada estado; y como las funciones de tensiones en el conductor son continuas y no discretas, deben ser reemplazadas por integrales a lo largo de la longitud del vano, pues varían para cada punto del mismo y para obtener el promedio divididas entre la longitud del vano considerado. En consecuencia, en la ecuación de cambio de estado consideramos:

$$\Delta L = \frac{L_1}{AE} (\bar{T}_2 - \bar{T}_1) = \frac{L_1}{E} (\bar{s}_2 - \bar{s}_1) \dots\dots\dots(5)$$

La Tensión o esfuerzos promedio son:

$$T_{prom} = \bar{T} = \frac{1}{x_b - x_a} \int_{x_a}^{x_b} T dx = \frac{1}{x_b - x_a} \int_{x_a}^{x_b} T_o \cosh\left(\frac{x}{C}\right) dx = \frac{1}{a_r} T_o \int_{x_a}^{x_b} \cosh\left(\frac{x}{C}\right) dx$$



$$\bar{T} = \frac{T_o}{a_r} \left[C \sinh\left(\frac{x}{C}\right) \right]_{x_a}^{x_b} = \frac{T_o}{a_r} C \left[\sinh\left(\frac{x_b}{C}\right) - \sinh\left(\frac{x_a}{C}\right) \right]$$

y como: $C = \frac{T_o}{w_r}$

Entonces:

$$\bar{T} = \frac{T_o^2}{a_r w_r} \left[\sinh\left(\frac{x_b}{C}\right) - \sinh\left(\frac{x_a}{C}\right) \right]$$

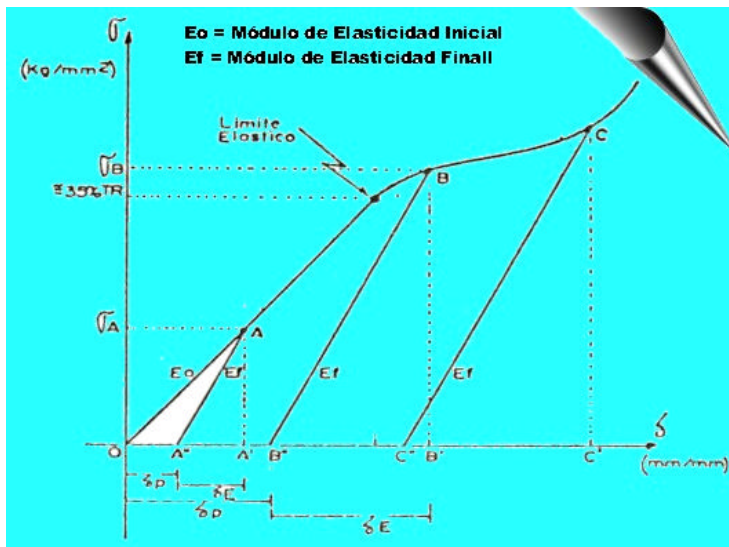
LINEAS DE TRANSMISIÓN: ASPECTOS MECÁNICOS Y CONDUCTORES

$$\bar{T} = \frac{T_o^2}{a_r w_r} \left[\sinh\left(\frac{x_b w_r}{T_o}\right) - \sinh\left(\frac{x_d w_r}{T_o}\right) \right]$$

Tal que W_r es el peso unitario del conductor con sobrecargas.

LINEAS DE TRANSMISIÓN: ASPECTOS MECÁNICOS Y CONDUCTORES

INCREMENTO DE LONGITUD DEL CONDUCTOR POR VARIACION DEL MODULO DE ELASTICIDAD.



El gráfico muestra las deformaciones plásticas y elásticas que se producen típicamente en una muestra metálica sometida a esfuerzos ascendentes y descendentes obtenidos en laboratorio de resistencia de materiales. Supongamos que empezamos a cargar gradualmente la muestra hasta alcanzar el punto "A" con el esfuerzo σ_A nos hemos desplazado en el diagrama en la parte lineal de la curva siguiendo la ley de Hooke con el módulo de elasticidad E_i , alcanzando la deformación total OA en la

muestra. Si en este punto reducimos gradualmente la carga hasta cero, habremos llegado al punto A", siguiendo la ley de Hooke, pero esta vez con el módulo de elasticidad E_f . Evaluando aquí las deformaciones permanente OA" como consecuencia de las variaciones del módulo de elasticidad, cuya determinación es motivo de este análisis.

Empezando a cargar nuevamente la muestra en forma gradual, hasta lograr un esfuerzo σ_B , observamos un comportamiento muy singular: la muestra se deforma siguiendo la ley de Hooke con el módulo E_f hasta el punto "A"; siguiendo la ley de Hooke con el módulo E_o a partir de "A" hasta el límite elástico y, de manera no proporcional desde el límite elástico hasta el punto "B", siguiendo a la curva deformación-esfuerzo graficada. Aquí alcanzamos una deformación total OB' , de la que OB'' es la deformación plástica, producto de la variación del módulo de elasticidad; como se comprobará si se reduce la carga nuevamente a cero. Lo curioso es ver que cualquiera sea el valor máximo alcanzado, si es por primera vez que se alcanza la deformación total, el incremento unitario de longitud será igual al esfuerzo aplicado, multiplicado por el módulo de elasticidad inicial; y si es Por segundo o N-ésima vez, será igual al esfuerzo multiplicado por el módulo de elasticidad final, invariable, porque como podrá observarse, las rectas son paralelas.

Este comportamiento metálico de los conductores hace aleatorio su comportamiento en servicio, porque cada vez que alcancen por primera vez, condiciones más severas, sufrirán alargamientos mayores que las reducciones que logren al retornar a las condiciones de carga originales, introduciendo cada vez deformaciones plásticas que pueden ser comprometedoras.

No obstante existe un método para eliminar desde un inicio y antes del templado, su ocurrencia, aunque no siempre es posible efectuarlo por restricciones económicas, lo que condiciona su consideración en los cálculos. El método para eliminar el que se produzcan estas deformaciones después del templado, se conoce como "pretensado" y consiste en aplicar al conductor, una tensión mayor a la que se espera se produzca durante su servicio; por un espacio de tres horas, para luego solo después de una hora de soltado el conductor, templarlo definitivamente.

LINEAS DE TRANSMISIÓN: ASPECTOS MECÁNICOS Y CONDUCTORES

Se acostumbra efectuar el pretensado sólo con equipo portátil, lo que limita la tensión máxima que puede aplicarse a unos 5000 ó 6000 Kg., por lo que para secciones de conductor pequeñas se efectúa un pretensado total, mientras que para mayores, solo un pretensado parcial.

Es evidente que cuando se efectúa el pretensado total, ya no existirán deformaciones por variación del módulo de elasticidad, por lo que no se considerará en los cálculos; mas cuando no se efectúa o se haga de manera parcial, habrá que considerarlos.

Existen métodos (2), para el cálculo de estas deformaciones en base a diagramas de esfuerzo-deformación linealizadas; cuyas expresiones, que deben ser revisadas, transcribimos para su aplicación:

$$\Delta L_{\max} = \frac{T_{o_{\max}}}{A} \left(\frac{1}{E_i} - \frac{1}{E_f} \right) = \frac{T_{o_{\max}} (E_f - E_i)}{A E_i E_f}$$

$$T_{o_{\max}} \leq \text{Límite Elástico}$$

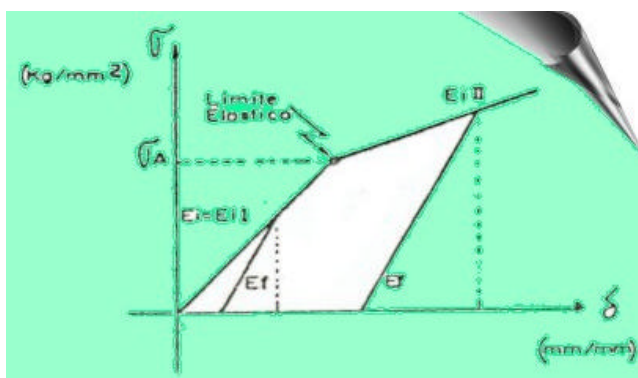
Deformación máxima por variación del módulo de elasticidad para esfuerzos esperados en el conductor, superiores al límite elástico:

$$\Delta L_{\max} = \left[\frac{T_{o_{\max}} E_{il} (E_f - E_{iil}) + T_A E_f (E_{iil} - E_{il})}{A E_{il} E_{iil} E_f} \right] L_1 \dots \dots \dots (6)$$

Donde:

T_A = Tensión en el límite elástico
 $E_i = E_{il}$ = Módulo de elasticidad en la porción lineal de la curva esfuerzo - deformación.

E_{iil} = Módulo de elasticidad linealizada en la porción no lineal de la curva esfuerzo-deformación, de acuerdo al gráfico.



La aplicación de estas dos últimas ecuaciones, de acuerdo cual sea el caso, en la ecuación generalizada de cambio de estado, se lleva a cabo únicamente cuando la hipótesis y el estado de carga que se involucra es el tercero (Hipótesis - III) por cuanto toda deformación plástica que se produzca en los conductores contribuirá únicamente al aumento de la flecha, no teniendo mayor influencia sobre otros parámetros ni sobre otros estados de carga.

Por esta razón y por los requerimientos de la sistematización para el modelamiento del proceso de cálculo por computadora, introducimos un artificio de cálculo que nos permita considerar toda

LINEAS DE TRANSMISIÓN: ASPECTOS MECÁNICOS Y CONDUCTORES

deformación plástica solo en los estados de carga tercero, e ignorarla en las demás. Este artificio es el de considerar esta deformación plástica del conductor como una dilatación térmica que se produzca únicamente en las condiciones de carga tercera; lográndose tal objetivo con la determinación del incremento de temperatura aparente, que produzca tal magnitud de deformación, para añadirlo a la temperatura máxima considerada en la hipótesis III, con lo que los resultados en este estado, tomando en cuenta esta temperatura combinada, serán ya los de la acción combinada de todos los fenómenos.

La determinación del incremento de temperatura aparente se hallará fácilmente dividiendo la deformación total del conductor (dos últimas ecuaciones) entre el coeficiente de dilatación lineal y la longitud del conductor.

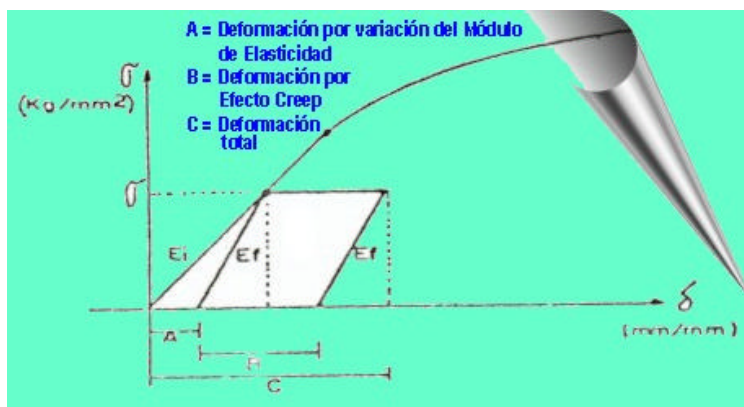
$$\Delta t^{\circ} = \frac{\Delta L}{\Delta L_1} \quad \text{en } ^{\circ}\text{C}$$

Adicionando esta temperatura a la de la Hipótesis III (de carga), matemáticamente hemos simplificado en un término la ecuación generalizada de cambio de estado; considerándolo sí, dentro del término de deformación por variación de temperaturas.

Este procedimiento será seguido también para la consideración de la deformación plástica por fluencia metálica o creep.

INCREMENTO DE LONGITUD DEL CONDUCTOR POR EFECTO CREEP

La fluencia metálica o Efecto Creep como se conoce comúnmente, está definida como la deformación plástica que se produce en una muestra metálica por efecto del tiempo de aplicación de un esfuerzo sobre ella. Esta se producirá evidentemente, ya luego de la deformación que produjo de primera instancia, la aplicación del esfuerzo.



Los experimentos en laboratorio demuestran que estas deformaciones son función del tiempo, del esfuerzo y temperatura; no habiéndose llegado a la fecha a encontrar una solución científica satisfactoria para la determinación anticipada de estas deformaciones en muestras metálicas ni conductores de líneas de transmisión

Sin embargo, existen expresiones empíricas que proporcionan resultados aceptables. Una de esas expresiones aplicadas a todo tipo de conductor y bastante utilizada es la siguiente:

LINEAS DE TRANSMISIÓN: ASPECTOS MECÁNICOS Y CONDUCTORES

$$\Delta L = k e^{f t} T^a t^{\frac{m}{s}} L_1 \times 10^{-6} \quad (m) \dots\dots\dots(7)$$

$k, \alpha, \phi, \mu, \sigma, \delta$ = Son constantes que dependen de las características de los procesos de fabricación y tipo de conductor.

t = Tiempo de aplicación de la tracción (horas)

T = Tensión de tracción en el conductor (kg)

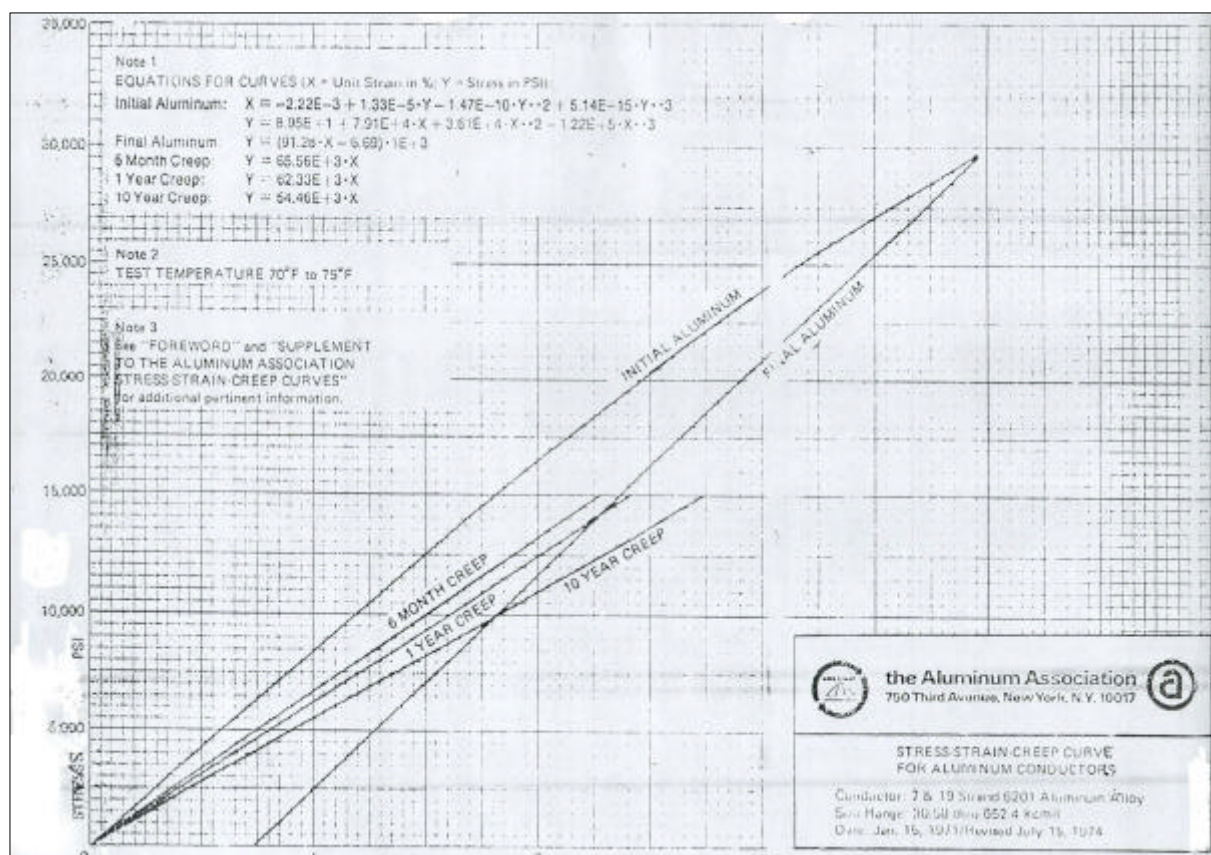
T = Temperatura de trabajo ($^{\circ}\text{C}$)

Naturalmente que no es la única expresión existente pudiendo utilizarse algunas otras propuestas para sofisticar los cálculos.

Los criterios para la aplicación de tal fórmula son dos:

1. Considerar la acción del máximo esfuerzo que se espera se produzca en el conductor, por un período de 10,000 horas o;
2. Considerar la acción de un esfuerzo equivalente a la producida por la tensión de cada día, por un período de tiempo igual a la vida útil de la línea.

El gráfico siguiente muestra las pruebas típicas realizadas a un conductor de Aluminio.



LINEAS DE TRANSMISIÓN: ASPECTOS MECÁNICOS Y CONDUCTORES

Como se trata de una deformación plástica, es aplicable también el criterio desarrollado en el ítem anterior, con lo que nuevamente se habría simplificado en otro término la ecuación generalizada, incluyendo su efecto en el término de la deformación por variación de temperatura.

Con lo expuesto, si sustituimos las ecuaciones 2 al 7 en la ecuación 1; obtenemos una ECE ampliada y de mayor exactitud. En ésta quedan como variables los parámetros T_{02} y X_{B2} .

RESTRICCIONES Y METODO DE CALCULO

Tenemos tres restricciones:

1. El tiro en el conductor es siempre menor al producto $(TR)(cs)$, donde TR es el tiro de rotura del conductor y cs es el coeficiente de seguridad. En consecuencia, en las hipótesis I y IA, tendremos un límite superior para la magnitud del tiro que alcance el conductor, por seguridad del sistema.
2. En la mayor parte del tiempo, el conductor no deberá estar sometido a un tiro superior a la tensión de cada día (TCD o EDS), pues en caso contrario, se expondrá a las vibraciones mecánicas que lo debilitarán en sus puntos de sujeción, causando su rotura por fatiga; por lo que en la hipótesis II, tendremos también un límite superior, para la magnitud del tiro.
3. El tiro en el conductor, deberá ser el mayor posible, por razones económicas, en razón de poder tener menores flechas (en la Hipótesis III) y menores longitudes de conductor empleado y por tanto, mayores longitudes de vanos y disminución del número de estructuras.

Bajo estas restricciones, el proceso de cálculo puede ser:

Partiendo en la hipótesis IA, con la tensión máxima que el conductor pueda alcanzar por seguridad, aplicada en el extremo superior de la catenaria, que es el punto de mayor sollicitación mecánica, evaluamos el estado de carga IA.

Efectuamos el cambio de estado del conductor hacia el estado de carga I. En éste, comparamos la tensión en el punto más elevado de la catenaria, obtenido por el proceso de cambio de estado, con la máxima tensión que el conductor pueda alcanzar por seguridad.

Si la tensión obtenida por cambio de estado es superior a la tensión máxima de seguridad, proseguiremos nuestros cálculos, asumiendo como tensión en el estado de carga I, la tensión de seguridad. En caso contrario, asumiremos como tensión, aquella resultante del proceso de cambio de estado anterior.

Nuevamente cualquiera haya sido la tensión asumida en el estado I, evaluamos el estado de carga I.

Efectuamos el cambio de estado del conductor hacia el estado de carga II. En éste, comparamos la tensión en el vértice de la catenaria con la tensión de cada día.

Si la tensión obtenida por cambio de estado es superior a la tensión de cada día, asumimos como tensión en el vértice de la catenaria en el estado de carga II, la tensión de cada día. En caso contrario asumiremos como tensión en el vértice, aquella resultante del proceso de cambio de estado precedente.

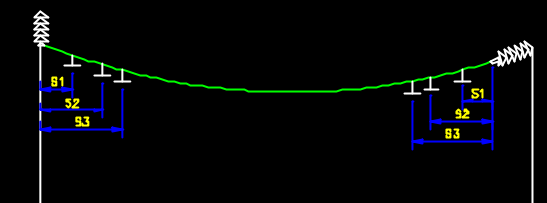
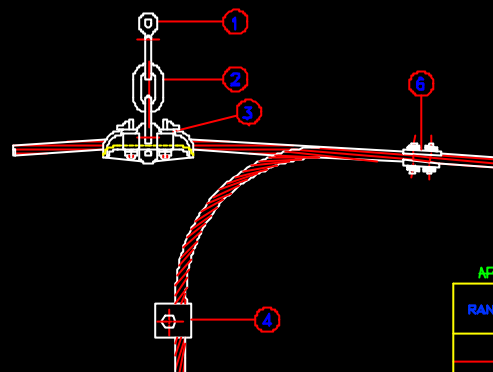
LINEAS DE TRANSMISIÓN: ASPECTOS MECÁNICOS Y CONDUCTORES

Otra vez, cualquiera haya sido la tensión asumida en el vértice de la catenaria para el estado II, evaluamos el estado de carga II.

El haber determinado el estado de carga II por el procedimiento seguido, nos asegura cumplir con las tres restricciones de cálculo antes citadas, por lo que ahora, lo que nos queda es evaluar el cambio de estado, partiendo de este estado de carga que lo tomaremos como pivote, hacia los otros estados de carga, para obtener las magnitudes reales de sus parámetros que, por supuesto, seguro por completo, quedarán dentro de los márgenes tolerables de trabajo.

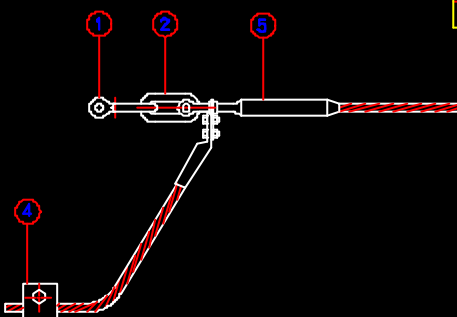
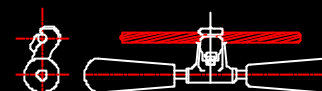
Con esto, habremos concluido la parte central del proceso, restándonos lo periférico que se logrará con simple evaluación de fórmulas.

ENSAMBLE Y SOPORTE DE CABLE DE GUARDA



APLICACION DE AMORTIGUADORES

RANGO DE VANDOS (m)	Amort/vano
0 - 400	2
401 - 670	4
> 670	6



LT 60 KV PUQUIO - CORA CORA AMORTIGUADORES Y SUJECION CABLE DE GUARDA

DISTANCIAS DE AMARRE	CONDUCTOR	CABLE DE GUARDA
S1 (m)	0.63	0.37
S2 (m)	1.03	0.78
S3 (m)	1.96	1.16

NOTAS-

- 1- LAS SEPARACIONES DEL AMORTIGUADOR SE MIDEN DE LA BOCAL DE LA DIAPA DE SUSPENSION O DEL EXTREMO DE LA GRAPA DE ANCLAJE
- 2- EN LAS CADENAS DE SUSPENSION LOS AMORTIGUADORES SE INSTALAN EN AMBOS LADOS DE LA MISMA

N°	DESCRIPCION	CABLE DE GUARDA	
		ANCLAJE	SUSPENSION
1	GRILLETE RECTO	1	1
2	ANILLO	1	1
3	GRAPA DE SUSPENSION	-	1
4	CONEXION DE PUESTA A TIERRA	-	1
5	GRAPA DE ANCLAJE	1	1
6	CONECTOR DOBLE VIA	1	-























**TABLAS DE
CONDUCTORES PARA
LINEAS TRANSMISION DE
POTENCIA**

**CARACTERÍSTICAS
ELECTRICAS Y MECANICAS**



CONDUCTORES DE ALUMINIO
CARACTERISTICAS FISICAS

Código	Calibre AWG o MCM	Sección (mm ²)	Nº Hilos x Diámetro (mm)	Diámetro Total (mm)	Peso Total (kg/km)	Carga de Rotura (kg)
Peachbell	6	13.30	7 x 1,56	4.66	36.6	254
Rose	4	21.15	7 x 1,96	5.88	58.3	399
Iris	2	33.62	7 x 2,47	7.42	92.7	611
Pansy	1	42.41	7 x 2,78	8.33	117	740
Poppy	1/0	53.51	7 x 3,12	9.36	147.5	897
Aster	2/0	67.44	7 x 3,50	10.51	186	1135
Phlox	3/0	85.02	7 x 3,93	11.80	235	1375
Oxlip	4/0	107.00	7 x 1,42	13.25	296	1738
Daisy	266.8	135.00	7 x 4,96	14.88	373	2191
Laurel	266.8	135.00	19 x 3,01	15.05	373	2254
Tulip	336.4	171.00	19 x 3,38	16.90	470	2786
Canna	397.5	201.00	19 x 3,68	18.38	555	3219
Cosmos	477	242.00	19 x 4,02	20.12	666	3803
Syringa	477	242.00	37 x 2,88	20.18	666	3932
Dahlia	558.5	282.00	19 x 4,35	21.73	777	4431
Mistletoe	556.5	282.00	37 x 3,11	21.80	777	4495
Orchid	636	322.00	37 x 3,33	23.31	888	5154
Violet	715.5	363.00	37 x 3,53	24.73	1000	5791
Nasturtium	715.5	363.00	81 x 2,75	24.70	1000	5960
Arbutus	795	403.00	37 x 3,72	26.07	1110	6303
Lilac	795	403.00	61 x 2,90	26.11	1110	6501
*Anemone	874.5	443.00	37 x 3,91	27.37	1222	6821
*Crocus	874.5	443.00	61 x 3,04	27.30	1222	7144
Magnolia	954	483.00	37 x 4,08	28.55	1333	7428
Goldenrod	954	483.00	61 x 3,18	28.60	1333	7663
Bluebell	1033.5	524.00	37 x 4,24	29.71	1443	8059
Larkspur	1033.5	524.00	61 x 3,31	29.76	1443	8303
Marigold	1113	564.00	61 x 3,43	30.88	1555	8916
Hawthorn	1192.5	604.00	61 x 3,55	31.96	1665	9550
Narcissus	1272	645.00	61 x 166	32.94	1777	10002
Columbine	1351.5	685.00	61 x 3,78	34.02	1888	10611
Carnation	1431	725.00	61 x 189	35.02	1998	11123
Giadiolus	1510.5	765.00	61 x 4,00	35.98	2110	11641
Coreopsis	1590	806.00	81 x 4,10	36.90	2222	12230

* No especificados por Normas ASTM

CONDUCTORES DE ALUMINIO
CARACTERISTICAS ELECTRICAS

Código	Calibre AWG o MCM	Resistencia C.C, A 20°C (Ohms/Km)	Resistencia AC Ohm/km - 60 Hz			Reactancia a 1 pie de separación de fase a neutro		RMG (mm)
			25°C	50°C	75°C	Inductiva (Ohms/Km)	Capacitiva (Megohm x Km)	
Peachbell	6	2.1700	2.2130	2.4313	2.6501	0.3915	0.2325	1.6950
Rose	4	1.3640	1.3920	1.5289	1.6663	0.3741	0.2214	2.1340
Iris	2	0.8570	0.8750	0.9615	1.0485	0.3567	0.2105	2.6880
Pansy	1	0.6810	0.6940	0.7626	0.8310	0.3480	0.2048	3.0170
Poppy	1/0	0.5390	0.5500	0.6047	0.6588	0.3393	0.1994	3.3830
Aster	2/0	0.4270	0.4280	0.4798	0.5227	0.3306	0.1937	3.8100
Phlox	3/0	0.3390	0.3470	0.3810	0.4152	0.3219	0.1884	4.2670
Oxlip	4/0	0.2689	0.2750	0.3021	0.3288	0.3126	0.1828	4.8160
Daisy	266.8	0.2132	0.2180	0.2399	0.2610	0.3039	0.1772	5.3950
Laurel	266.8	0.2132	0.2180	0.2399	0.2610	0.3002	0.1767	5.7000
Tulip	336.4	0.1691	0.1730	0.1902	0.2076	0.2915	0.1710	6.4010
Canna	397.5	0.1431	0.1470	0.1610	0.1759	0.2846	0.1670	7.0100
Cosmos	477	0.1192	0.1224	0.1349	0.1467	0.2784	0.1627	7.5890
Syringa	477	0.1192	0.1224	0.1349	0.1467	0.2772	0.1627	7.7110
Dahlia	558.5	0.1022	0.1056	0.1156	0.1262	0.2722	0.1591	8.2600
Mistletoe	556.5	0.1022	0.1056	0.1156	0.1262	0.2710	0.1590	8.3820
Orchid	636	0.0894	0.0926	0.1019	0.1106	0.2660	0.1558	8.9610
Violet	715.5	0.0795	0.0826	0.0907	0.0982	0.2617	0.1530	9.4790
Nasturtium	715.5	0.0795	0.0826	0.0907	0.0982	0.2610	0.1529	9.5710
Arbutus	795	0.0715	0.0745	0.0814	0.0889	0.2579	0.1504	9.9670
Lilac	795	0.0715	0.0745	0.0814	0.0889	0.2573	0.1504	10.0580
*Anemone	874.5	0.0650	0.0683	0.0746	0.0808	0.2542	0.1482	10.4850
*Crocus	874.5	0.0650	0.0683	0.0746	0.0808	0.2536	0.1480	10.5460
Magnolia	954	0.0596	0.0627	0.0684	0.0746	0.2511	0.1461	10.9120
Goldenrod	954	0.0596	0.0628	0.0686	0.0746	0.2505	0.1459	11.0030
Bluebell	1033.5	0.0550	0.0582	0.0636	0.0690	0.2480	0.1442	11.3690
Larkspur	1033.5	0.0550	0.0582	0.0636	0.0690	0.2474	0.1442	11.4600
Marigold	1113	0.0511	0.0545	0.0594	0.0644	0.2443	0.1424	11.9480
Hawthorn	1192.5	0.0477	0.0512	0.0557	0.0603	0.2418	0.1408	12.3440
Narcissus	1272	0.0447	0.0481	0.0525	0.0567	0.2393	0.1392	12.7710
Columbine	1351.5	0.0420	0.0456	0.0497	0.0538	0.2374	0.1377	13.0760
Carnation	1431	0.0397	0.0434	0.0472	0.0510	0.2349	0.1363	13.5330
Giadiolus	1510.5	0.0376	0.0413	0.0450	0.0485	0.2331	0.1350	13.5640
Coreopsis	1590	0.0357	0.0395	0.0429	0.0464	0.2312	0.1339	14.2040

* No especificados por Normas ASTM

Datos del Fabricante: Conductores y Aluminio CA - Venezuela.

CONDUCTORES DE ALEACION DE ALUMINIO 6201
CARACTERISTICAS FISICAS Y ELECTRICAS

Calibre AWG o MCM	Nº de Hilos	Diámetro de cada hilo (mm)	Diámetro del conductor (mm)	Sección (mm ²)	Peso Unitario (kg/km)	Carga de Rotura (kg)	Resistencia C.C.A 20°C (Ohms/Km)	Resistencia AC Ohm/km - 60 Hz		
								25°C	50°C	75°C
*8	7	1.23	3.70	8.4	22.8	255	3.89400	3.96150	4.29430	4.63720
6	7	1.56	4.66	13.3	36.6	428	2.52160	2.56610	2.78430	3.00240
4	7	1.96	5.88	21.15	58.3	685	1.58460	1.61280	1.74950	1.88680
2	7	2.47	7.42	33.62	92.7	1087	0.99570	1.02540	1.09910	1.18520
*1	7	2.78	8.33	42.41	116.0	1310	0.76800	0.78360	0.84960	0.91630
1/0	7	3.12	9.36	53.51	147.0	1734	0.62630	0.63760	0.69170	0.74580
2/0	7	3.50	10.51	67.44	186.0	2091	0.49670	0.50540	0.54860	0.59150
3/0	7	3.93	11.80	85.02	234.0	2637	0.41370	0.40150	0.43540	0.46950
4/0	7	4.42	13.25	107	296.0	3335	0.31230	0.31820	0.34520	0.37220
*4/0	19	2.68	13.40	107	296.0	3315	0.30500	0.31080	0.33740	0.36400
250	19	2.91	14.57	127	349.0	3966	0.26440	0.26960	0.29240	0.31520
300	19	3.19	15.96	152	419.0	4766	0.22010	0.22460	0.24360	0.26270
350	19	3.45	17.23	177	489.0	5343	0.18890	0.19290	0.20920	0.22550
400	19	3.69	18.43	203	559.0	6112	0.16530	0.16880	0.18300	0.19730
450	19	3.91	19.54	228	629.0	6827	0.14660	0.15020	0.16280	0.17560
500	19	4.12	20.60	253	698.0	7619	0.13220	0.13540	0.14670	0.15810
550	37	3.10	21.67	279	768.0	8577	0.12000	0.12330	0.13360	0.14400
600	37	3.23	22.63	304	838.0	9311	0.11020	0.11320	0.12140	0.13210
650	37	3.37	23.56	329	908.0	10136	0.10170	0.10490	0.11340	0.12210
700	37	3.49	24.45	355	978.0	10417	0.09440	0.09730	0.10540	0.11350
750	37	3.62	25.32	380	1048.0	11208	0.08792	0.09098	0.09850	0.10600
800	37	3.73	26.14	405	1117.0	11900	0.08267	0.08545	0.09250	0.09960
900	37	3.96	27.74	456	1257.0	13413	0.07349	0.07625	0.08247	0.08870
1 000	37	4.18	29.23	507	1397.0	14944	0.06627	0.06898	0.07458	0.08017
*1 100	61	3.41	30.70	557	1537.0	16216	0.05890	0.06184	0.06685	0.07183
*1 200	61	3.56	32.08	608	1677.0	17675	0.05410	0.05718	0.06165	0.06623
*1 300	61	3.71	33.37	659	1817.0	19195	0.04964	0.05639	0.05709	0.06125
*1 400	61	3.85	34.63	709	1955.0	20672	0.04633	0.04949	0.05333	0.05733
*1 500	61	3.98	35.85	760	2095.0	22090	0.04411	0.04712	0.05109	0.05467
*1 600	61	4.12	37.04	811	2236.0	23557	0.04049	0.04395	0.04725	0.05058
*1 700	61	4.24	38.15	861	2374.0	25072	0.03815	0.04176	0.04494	0.04802
*1 800	61	4.36	39.28	912	2514.0	26511	0.03693	0.04050	0.04351	0.04666
*1 900	91	3.67	40.37	963	2655.0	27710	0.03411	0.03789	0.04060	0.04334
*2 000	91	3.76	41.40	1013	2793.0	29241	0.03243	0.03638	0.02881	0.04155

* No especificados por Normas ASTM

Datos del Fabricante: Conductores y Aluminio CA - Venezuela.

CONDUCTORES DE ALEACION DE ALUMINIO 6201
CALIBRES DE ALEACION CON LOS MISMOS DIAMETROS QUE LOS ACSR
CARACTERISTICAS FISICAS

Calibres y Cableados de los Cables ACSR del mismo diámetro que los de Aleación								
Código del Cable de Aleación 6201	Calibre del Cable de Aleación 6201 MCM	Sección (mm2)	AWG o MCM	Al / Acero	Nº de Hilos x Diámetro de Cada Hilo (mm)	Diámetro Total (mm)	Peso Unitario (kg/km)	Carga de Rotura (kg)
Akron	30.58	15.50	6	6/1	7 x 1,68	5.04	42.7	503
Alton	48.69	24.67	4	6/1	7 x 2,12	6.36	68	801
Ames	77.47	39.25	2	6/1	7 x 2,67	8.02	108	1270
Azusa	123.3	62.48	1/0	6/1	7 x 3,37	10.11	172	2023
Anaheim	155.4	78.74	2/0	6/1	7 x 3,78	11.35	217	2452
Amherst	195.7	99.16	3/0	6/1	7 x 4,25	12.74	273	3083
Alliance	246.9	125	4/0	6/1	7 x 4,77	14.31	344	3884
Butte	312.8	158	266.8	26/7	19 x 3,26	16.30	436	4978
Canton	394.5	200	336.4	26/7	19 x 3,66	18.30	551	6013
Cairo	465.4	236	397.5	26/7	19 x 3,98	19.88	650	7110
Darien	559.5	283	477	26/7	19 x 4,36	21.79	781	8533
Elgin	652.4	331	556.5	26/7	19 x 4,71	23.53	911	9957
Flint	740.8	375	636	26/7	37 x 3,59	25.16	1005	11023
Greeley	927.2	470	795	26/7	37 x 4,02	28.15	1295	13823

CONDUCTORES DE ALEACION DE ALUMINIO 6201
CALIBRES DE ALEACION CON LOS MISMOS DIAMETROS QUE LOS ACSR
CARACTERISTICAS ELECTRICAS

Código	Calibre AWG o MCM	Resistencia C.C. A 20°C (Ohms/Km)	Resistencia AC 60 Hz				Reactancia a un pie de		RMG (mm)
			25°C	50°C	75°C	80°C	Inductiva (Ohms/Km)	Capacitiva (Megohm x Km)	
Akron	30.58	2.1615	2.1994	2.3865	2.5748	2.6115	0.3859	0.2291	1.814
Alton	48.69	1.3577	1.3815	1.4984	1.6171	1.6404	0.3673	0.2179	2.322
Ames	77.47	0.8534	0.8688	0.9421	1.0161	1.0311	0.3505	0.2067	2.902
Azusa	123.3	0.5364	0.5456	0.5922	0.6382	0.6481	0.3329	0.1957	3.664
Anaheim	155.4	0.4255	0.4257	0.4698	0.5071	0.5141	0.3238	0.1902	4.136
Amherst	195.7	0.3379	0.3443	0.3735	0.4027	0.4088	0.3157	0.1846	4.607
Alliance	246.9	0.2658	0.2728	0.2958	0.3194	0.3215	0.3067	0.1792	5.188
Butte	312.8	0.2113	0.2156	0.2336	0.2523	0.2559	0.2969	0.1729	5.913
Canton	394.5	0.1675	0.1715	0.1852	0.2001	0.203	0.2882	0.1673	6.639
Cairo	465.4	0.1421	0.1423	0.1572	0.1702	0.1726	0.2819	0.1634	7.219
Darien	559.5	0.1181	0.1211	0.133	0.1417	0.1436	0.275	0.159	7.909
Elgin	652.4	0.10135	0.1044	0.1131	0.1218	0.1235	0.2694	0.1554	6525
Flint	740.8	0.0892	0.0919	0.0994	0.1075	0.1089	0.2641	0.1522	9.142
Greeley	927.2	0.0713	0.0739	0.0801	0.0863	0.0874	0.2556	0.1468	10.231

**CONDUCTORES ACSR
CARACTERISTICAS FISICAS**

Código	Calibre AWG O MCM	Sección (mm ²)		Cableado		Diámetro Exterior (mm)		Peso Unitario (kg/km)	Carga de Rotura (kg)
		Aluminio	Total	Aluminio	Acero	Cable Completo	Núcleo de Acero		
*Wren	8	8.37	9.81	6x1,33	1x1,33	3.99	1.33	33.8	340
Turkey	6	13.3	15.48	6x1,68	1x1,68	5.03	1.68	53.7	540
Swan	4	21.15	24.71	6x2,12	1x2,12	6.35	2.12	85.4	846
Swanate	4	21.15	26.52	7x1,96	1x2,61	6.53	2.61	99.7	1067
Sparrow	2	33.62	39.23	6x2,67	1 x2,67	8.03	2.67	136	1289
Sparate	2	33.62	42.13	7x2,47	1x3,30	8.26	3.30	159	1650
Robin	1	42.41	49.48	6x3,00	1x3,00	9.02	3.00	171	1.612
Raven	1/0	53.51	62.39	6x3,37	1 x3,37	10.11	3.37	216	1987
Quail	2/0	67.44	78.65	6x3,78	1 x3,78	11.35	3.78	273	2401
Pigeon	3/0	85.02	99.23	6x4,25	1 x4,25	12.75	4.25	344	3006
Penguin	4/0	107	125	6x4,77	1x4,77	14.30	4.77	433	3787
*Owl	266.8	135	153	6x5,36	7x1,79	16.09	5.37	507	4330
Waxwing	266.8	135	143	18x3,09	1 x3,09	15.47	3.09	431	3117
Partridge	266.8	135	157	26x2,57	7x2,00	16.31	5.98	547	5113
Ostrich	300	152	177	26x2,73	7x2,12	17.27	6.36	614	5755
Piper	300	152	188	30x2,54	7x2,54	17.78	7.62	697	7000
Merlin	336.4	171	180	18x3,47	1x3,47	17.37	3.47	544	3931
Linnet	336.4	171	198	26x2,89	7x2,25	18.31	6.74	689	6730
Oriole	336.4	171	210	30x2,69	7x2,69	18.82	8.07	784	7865
Chickadee	397.5	201	213	18x3,77	1x3,77	18.87	3.77	642	4491
Ibis	397.5	201	234	26x3,14	7x2,44	19.89	7.32	814	7488
Lark	397.5	201	248	30x2,92	7x2,92	20.47	8.77	927	9202
Pelican	477	242	255	18x4,14	1x4,14	20.68	4.14	771	5347
Flicker	477	242	273	24x3,58	7x2,39	21.49	7.16	914	7790
Hawk	477	242	281	26x3,44	7x2,67	21.79	8.03	977	8880
Hen	477	242	298	30x3,20	7x3,20	22.43	9.61	1112	10783
*Heron	500	253	312	30x3,28	7x3,28	22.96	9.84	1162	11090
Osprey	556.5	282	298	18x4,47	1 x4,47	22.33	4.47	899	6233
Parakeet	556.5	282	319	24x3,87	7x2,58	23.22	7.73	1067	8999
Dove	556.5	282	328	26x3,72	7x2,89	23.55	8.66	1140	10019
Eagle	556.5	282	348	30x3,46	7x3,46	24.21	10.39	1298	12606
Peacock	605	307	346	24x4,03	7x2,69	24.21	8.03	1161	9771
Squab	605	307	357	26x3,87	7x3,01	24.54	9.04	1240	11018
Teal	605	307	376	30x3,61	19x2,16	25.25	10.82	1398	13567
*Duck	605	307	346	54x2,69	7x2,69	24.21	8.07	1158	10220
Kingbird	636	322	340	18x4,78	1x4,78	23.88	4.78	1028	7128
Rook	636	322	364	24x4,14	7x2,76	24.82	8.28	1219	10298
Grosbeak	636	322	375	26x3,97	7x3,09	25.15	9.27	1302	11427

* No especificados por Normas ASTM

Datos del Fabricante: Conductores y Aluminio CA - Venezuela.

**CONDUCTORES ACSR
CALIBRES GRUESOS
CARACTERISTICAS FISICAS**

Código	Calibre AWG o MCM	Sección (mm2)		Cableado		Diámetro Exterior (mm)		Peso Unitario (kg/km)	Carga de Rotura (kg)
		Aluminio	Total	Aluminio	Acero	Cable Completo	Núcleo de Acero		
Egret	636	322	396	30x3,70	19x2,22	25.88	11.10	1471	14302
*Goose	636	322	364	54x2,76	7x2,76	24.84	8.28	1218	10730
Flamingo	666.6	338	382	24x4,23	7x2,82	25.40	8.46	1278	10751
*Gull	666.6	338	382	54x2,82	7x2,82	25.38	8.46	1276	11140
Starling	715.5	363	422	26x4,21	7x3,28	26.70	9.83	1465	12865
Redwing	715.5	363	445	30x3,92	19x2,35	27.46	11.76	1653	15649
*Crow	715.5	363	410	54,x2,92	7x2,92	26.28	8.76	1370	11950
Cuckoo	795	403	455	24x4,62	7x3,08	27.74	9.25	1524	12649
Drake	795	403	468	26x4,44	7x3,45	28.14	10.36	1628	14359
Mallard	795	403	495	30x4,14	19x2,48	28.96	12.42	1838	18390
Tam	795	403	431	45x3,38	7x2,25	27.00	6.76	1333	10027
Condor	795	403	455	54x3,08	7x3,08	27.76	9.25	1524	12770
*Crane	874.5	443	501	54x3,23	7x3,23	29.11	9.69	1674	14245
Canary	900	456	515	54x3,28	7x3,28	29.51	9.83	1725	14483
Rail	954	483	517	45x3,70	7x2,47	29.59	7.39	1600	11771
Cardinal	954	483	546	64x3,36	7x3,38	30.38	10.13	1829	16323
Ortolan	1033.5	524	500	45x3,85	7x2,57	30.81	7.70	1734	12577
Curlew	1033.5	524	592	54x3,51	7x3,51	31.65	10.54	1981	16680
Bluejay	1.113	564	603	45x4,00	7x2,66	31.98	8.00	1867	13640
Finch	1113	564	635	54x3,65	19x2,19	32.64	10.95	2129	17746
Bunting	1192.5	604	646	45x4,14	7x2,76	33.07	8.28	2000	14530
Grackle	1192.5	604	681	54x3,77	19x2,27	33.99	11.33	2281	18999
Bittern	1272	645	569	45x4,27	7x2,85	34.16	8.53	2134	15470
Pheasant	1272	645	726	54x3,90	19x2,34	35.10	11.71	2433	19788
Dipper	1351.5	685	732	45x4,40	7x2,93	35.20	8.81	2265	16359
Martin	1351.5	685	772	54x4,02	19x2,41	36.17	12.07	2585	21007
Bobolink	1431	725	775	45x4,53	7x3,02	36.25	9.07	2400	17396
Plover	1431	725	817	64x4,14	19x2,48	37.21	12.42	2738	22262
Nuthatch	1510.5	765	818	45x4,65	7x3,10	37.24	9.30	2533	18152
Parrot	1510.5	765	863	54x4,25	19x2,55	38.25	12.75	2890	23499
Lapwing	1590	806	681	45x4,77	7x3,18	38.15	9.55	2687	19101
Falcon	1590	806	908	54x4 36	19x2,62	3924.00	13.08	3041	24769
*Chukar	1380	902	975	84x3,70	19x2,22	40.69	11.10	3686	23291
*Bluebird	2156	1022	1181	84x4,07	19x2,44	44.75	12.20	3736	27526
*Kiwi	2167	1098	1146	72x4,41	7x2,64	44.12	8.81	3427	22819

* No especificados por Normas ASTM

Datos del Fabricante: Conductores y Aluminio CA - Venezuela.

**CONDUCTORES ACSR
CON UNA CAPA DE ALUMINIO
CARACTERISTICAS ELECTRICAS ****

Código	Calibre AWG o MCM	Cableado Al / Acero	RESISTENCIA (Ohm / km) DC y AC				Reactancia Inductiva a 1 pie de separación 60 Hz			Reactancia Capacitiva a 1 pie de separación 60 Hz (Mohm / km)
			DC a 20°C	25°C	50°C	75°C	25°C	50°C	75°C	
*Wren	8	´6/1	3.4017	3.4572	3.9378	4.8660	0.4315	0.4938	0.5379	0.2489
Turkey	6	´6/1	2.1135	2.1498	2.4487	2.6849	0.3953	0.4525	0.4810	0.2290
Swan	4	´6/1	1.3278	1.3536	1.5649	1.7172	0.3754	0.4295	0.4493	0.2179
Swanate	4	´7/1	1.3133	1.3387	1.5681	1.7383	0.3779	0.4413	0.4636	0.2166
Sparrow	2	´6/1	0.8343	0.8527	1.0118	1.1081	0.3592	0.3990	0.4183	0.2066
Sparate	2	´7/1	0.8251	0.8434	1.0162	1.1181	0.3599	0.4108	0.4245	0.2053
Robin	1	´6/1	0.6621	0.6768	0.8111	0.8906	0.3505	0.3909	0.4009	0.2011
Raven	1/0	´6/1	0.5243	0.5370	0.6538	0.7166	0.3418	0.3773	0.3860	0.1957
Quail	2/0	´6/1	0.4160	0.4264	0.5301	0.5805	0.3331	0.3667	0.3735	0.1902
Pigeon	3/0	´6/1	0.3304	0.3387	0.4288	0.4705	0.3232	0.3555	0.3599	0.1846
Penguin	4/0	´6/1	0.2638	0.2697	0.3536	0.3835	0.3157	0.3449	0.3462	0.1791
Grouse	80	´8/1	0.6798	0.6961	0.8726	0.9627	0.3543	0.4139	0.4208	0.1995
Petrel	101.8	´12/7	0.5217	0.5289	0.6737	0.7837	0.3356	0.3866	0.4189	0.1886
Minorca	110.8	´12/7	0.4792	0.4978	0.6364	0.7421	0.3325	0.3864	0.4127	0.1866
Leghorn	134.6	´12/7	0.3947	0.4015	0.5252	0.6184	0.3263	0.3717	0.3984	0.1820
Guinea	159	´12/7	0.3340	0.3400	0.4543	0.5376	0.3207	0.3630	0.3878	0.1780
Dotterel	176.9	´12/7	0.3002	0.3064	0.4145	0.4916	0.3163	0.3567	0.3791	0.1755
Dorking	190.8	´12/7	0.2782	0.2840	0.3884	0.4618	0.3132	0.3530	0.3735	0.1736
Brahma	203.2	´16/9	0.2520	0.2561	0.3437	0.4295	0.3039	0.3424	0.3648	0.1678
Cochin	211.3	´12/7	0.2513	0.2567	0.3574	0.4251	0.3095	0.3487	0.3667	0.1714
* Owl	266.8	´6/7	0.2109	0.2436	0.2828	0.3045	0.3052	0.3288	0.3356	0.1736

* No especificadas por Normas ASTM

** Estos valores dependen de la densidad de corriente

**CONDUCTORES ACSR
CON VARIAS CAPAS DE ALUMINIO
CARACTERISTICAS ELECTRICAS**

				RESISTENCIA DC y AC a 60 Hz (Ohm/km)				Reactancia a 1 pie de separación de fase a neutro 60Hz		
Código	Calibre MCM	Cableado Al / Acero	Nº de Capas de Aluminio	DC 20°C	25°C	50°C	75°C	Inductiva (Ohm/km)	Capacitiva (Mohm/km)	RMG (mm)
Waxwing	266.8	`18/1	2	0.2119	0.2168	0.2381	0.2594	0.2958	0.1754	6.04
Partridge	266.8	`26/7	2	0.2100	0.2145	0.2357	0.2568	0.2890	0.1728	6.51
Ostrich	300	`26/7	2	0.1867	0.1908	0.2096	0.2283	0.2846	0.1701	6.98
*Piper	300	`30/7	2	0.1902	0.1944	0.2136	0.2327	0.2808	0.1687	7.35
Merlin	336.4	`18/1	2	0.1680	0.1720	0.1888	0.2057	0.2871	0.1697	6.77
LInnet	336.4	`26/7	2	0.1663	0.1701	0.1868	0.2036	0.2803	0.1673	7.41
Oriole	336.4	`30/7	2	0.1654	0.1690	0.1856	0.2023	0.2766	0.1660	7.77
Chickadee	397.5	`18/1	2	0.1421	0.1466	0.1599	0.1741	0.2809	0.1659	7.35
Ibis	397.5	`26/7	2	0.1411	0.1444	0.1585	0.1727	0.2741	0.1633	8.05
Lark	397.5	`30/7	2	0.1401	0.1433	0.1574	0.1715	0.2704	0.1620	8.44
Pelican	477	`18/1	2	0.1184	0.1216	0.1335	0.1454	0.2741	0.1615	8.05
Flicker	477	`24/7	2	0.1178	0.1208	0.1326	0.1444	0.2685	0.1596	8.66
Hawk	477	`26/7	2	0.1171	0.1200	0.1318	0.1436	0.2672	0.1590	8.81
Hen	477	`30/7	2	0.1165	0.1193	0.1310	0.1426	0.2635	0.1577	9.27
*Heron	500	`30/7	2	0.1141	0.1168	0.1283	0.1397	0.2616	0.1566	9.26
Osprey	556.5	`18/1	2	0.1014	0.1044	0.1145	0.1247	0.2685	0.1578	8.66
Parakeet	556.5	`24/7	2	0.1010	0.1037	0.1139	0.1240	0.2629	0.1559	9.33
Dove	556.5	`26/7	2	0.1007	0.1034	0.1135	0.1236	0.2610	0.1533	9.57
Eagle	556.5	`30/7	2	0.1001	0.1026	0.1126	0.1227	0.2579	0.1540	10.00
Peacock	605	`24/7	2	0.0928	0.0955	0.1047	0.1141	0.2598	0.1578	9.72
Squab	605	`26/7	2	0.0925	0.0950	0.1044	0.1136	0.2579	0.1552	9.97
Teal	605	30/19	2	0.0919	0.0943	0.1035	0.1127	0.2548	0.1519	10.39
*Duck	605	54/7	3	0.0944	0.0969	0.1064	0.1159	0.2599	0.1539	9.72
Kingbird	636	`18/1	2	0.0895	0.0923	0.1014	0.1103	0.2620	0.1546	9.45
Rook	636	`24/7	2	0.0883	0.0908	0.0996	0.1085	0.2579	0.1529	9.97
s Grosbeak	636	`26/7	2	0.0879	0.0904	0.0992	0.1080	0.2561	0.1522	10.21
Egret	636	30/19	2	0.0876	0.0899	0.0988	0.1075	0.2523	0.1508	10.73
*Goose	636	54/7	3	0.0898	0.0922	0.1013	0.1102	0.2573	0.1528	10.04
Flamingo	666.6	`24/7	2	0.0843	0.0868	0.0953	0.1037	0.2561	0.1517	10.21
*Gull	666.6	54/7	3	0.0857	0.0882	0.0968	0.1053	0.2555	0.1516	10.28
Starling	715.5	`26/7	2	0.0781	0.0804	0.0883	0.0961	0.2517	0.1525	10.82

* No especificadas por Normas ASTM

**CONDUCTORES ACSR
CON VARIAS CAPAS DE ALUMINIO
CARACTERISTICAS ELECTRICAS**

Código	Calibre MCM	Cableado Al / Acero	Nº de Capas de Aluminio	RESISTENCIA DC y AC a 60 Hz (Ohm/km)					Reactancia a 1 pie de separación de fase a neutro 60Hz		RMG (mm)
				DC	20°C	25°C	50°C	75°C	Inductiva (Ohm/km)	Capacitiva (Mohm/km)	
Redwing	715.5	30/19	2	0.0778		0.0800	0.0878	0.0955	0.2480	0.1480	11.37
Crow	715.5	54/7	2	0.0787		0.0810	0.0889	0.0968	0.2530	0.1500	10.64
Cuckoo	795	`24/7	2	0.0719		0.0744	0.0815	0.0968	0.2486	0.1475	11.28
Drake	795	`26/7	2	0.0705		0.0728	0.0798	0.0869	0.2480	0.1467	11.37
Mallard	795	30/19	2	0.0699		0.0720	0.0791	0.0860	0.2443	0.1455	11.95
Tern	795	45/7	3	0.0712		0.0738	0.0809	0.0880	0.2523	0.1488	10.73
Condor	795	54/7	3	0.0705		0.0730	0.0799	0.0869	0.2486	0.1474	11.28
*Crane	874.5	54/7	3	0.0643		0.0667	0.0731	0.0795	0.2455	0.1451	11.77
Canary	900	54/7	3	0.0623		0.0647	0.0709	0.0771	0.2443	0.1445	11.95
Rail	954	45/7	3	0.0594		0.0620	0.0679	0.0738	0.2455	0.1443	11.77
Cardinal	954	54/7	3	0.0591		0.0614	0.0672	0.0732	0.2424	0.1432	12.25
Ortolan	1033.5	45/7	3	0.0548		0.0574	0.0628	0.0682	0.2424	0.1424	12.25
Curlew	1033.5	54/7	3	0.0545		0.0568	0.0622	0.0676	0.2393	0.1411	12.80
Bluejay	1113	45/7	3	0.0509		0.0535	0.0585	0.0635	0.2399	0.1406	12.65
Finch	1113	54/19	3	0.0509		0.0532	0.0582	0.0633	0.2362	0.1393	13.29
Bunting	1192.5	45/7	3	0.0476		0.0503	0.0549	0.0595	0.2374	0.1390	13.08
Grackle	1192.5	54/19	3	0.0472		0.0496	0.0543	0.0589	0.2337	0.1377	13.75
Bittern	1272	45/7	3	0.0446		0.0474	0.0517	0.0561	0.2349	0.1376	13.53
Pheasant	1272	54/19	3	0.0443		0.0467	0.0510	0.0554	0.2312	0.1363	14.20
Dipper	1351.5	45/7	3	0.0420		0.0448	0.0489	0.0530	0.2324	0.1361	13.99
Martin	1351.5	54/19	3	0.0417		0.0441	0.0482	0.0523	0.2287	0.1348	14.69
Bobolink	1431	45/7	3	0.0391		0.0425	0.0454	0.0502	0.2306	0.1347	14.33
Plover	1431	54/19	3	0.0394		0.0418	0.0457	0.0495	0.2268	0.1334	15.06
Nuthatch	1510.5	45/7	3	0.0374		0.0403	0.0439	0.0475	0.2281	0.1334	14.81
Parrot	1510.5	54/19	3	0.0374		0.0400	0.0436	0.0472	0.2250	0.1321	15.42
Lapwing	1590	45/7	3	0.0358		0.0387	0.0421	0.0456	0.2262	0.1323	15.18
Falcon	1590	54/19	3	0.0354		0.0380	0.0415	0.0448	0.2225	0.1310	15.94
Chukar	1780	84/19	4	0.0318		0.0348	0.0378	0.0409	0.2206	0.1292	16.34
Bluebird	2156	84/19	4	0.0262		0.0296	0.0320	0.0344	0.2138	0.1249	17.86
Kiwi	2167	72/7	4	0.2620		0.0303	0.0324	0.0349	0.2163	0.1258	17.31

* No especificados por Normas ASTM

**CONDUCTORES DE ALUMINIO REFORZADO CON ALEACION
DE ALUMINIO 6201 (ACAR)
CARACTERISTICAS FISICAS Y ELECTRICAS**

Calibre MCM o AWG	Sección (mm ²)	CABLEADO		Diámetro Externo (mm)	Peso Unitario (kg / km)	Carga de Rotura (kg)	RESISTENCIA DC y AC - 60 Hz (Ohm / km)			
		Aluminio EC	Aleación 6201				DC 20°C	25°C	50°C	75°C
30,58	15.5	4 x 1,68	3 x 1,68	5.04	42.7	375	1.9786	2.0162	2.2037	2.3911
4	21.15	4 x 1,96	3 x 1,96	5.88	58.3	507	1.4506	1.4781	1.6156	1.7530
48,69	24.67	4 x 2,12	3 x 2,12	6.36	68.0	588	1.2428	1.2664	1.3842	1.5020
2	33.62	4 x 2,47	3 x 2,47	7.42	92.7	792	0.9112	0.9286	1.0342	1.1013
77,47	39.25	4 x 2,67	3 x 2,67	8.02	108.0	910	0.7810	0.7956	0.8699	0.9440
1/0	53.51	4 x 3,12	3 x 3,12	9.36	147.0	1222	0.5732	0.5843	0.6386	0.6928
123,3	62.48	4 x 3,37	3 x 3,37	10.11	172.0	1425	0.4909	0.5004	0.5469	0.5933
2/0	67.44	4 x 3,50	3 x 3,50	10.51	186.0	1501	0.4545	0.4635	0.5065	0.5495
155,4	78.74	4 x 3,78	3 x 3,78	11.35	217.0	1735	0.3893	0.3970	0.4339	0.4707
3/0	85.02	4 x 3,93	3 x 3,93	11.80	234.0	1859	0.3607	0.3679	0.4021	0.4362
195,7	99.16	4 x 4,25	3 x 4,25	12.74	273.0	2174	0.3092	0.3155	0.3447	0.3740
4/0	107	4 x 4,42	3 x 4,42	13.25	296.0	2352	0.2858	0.2917	0.3187	0.3458
246,9	125	4 x 4,77	3 x 4,77	14.31	345.0	2739	0.2451	0.2502	0.2756	0.2966
250	127	15 x 2,91	4 x 2,91	14.57	349.0	2482	0.2344	0.2396	0.2624	0.2853
250	127	12 x 2,91	7 x 2,91	14.57	349.0	2806	0.2399	0.2450	0.2679	0.2908
300	152	15 x 3,19	4 x 3,19	15.96	419.0	2943	0.1952	0.1996	0.2187	0.2378
300	152	12 x 3,19	7 x 3,19	15.96	419.0	3340	0.1997	0.2042	0.2232	0.2422
350	177	15 x 3,45	4 x 3,45	17.23	489.0	3395	0.1675	0.1715	0.1876	0.2041
350	177	12 x 3,45	7 x 3,45	17.23	489.0	3823	0.1714	0.1753	0.1917	0.2080
400	203	15 x 3,69	4 x 3,69	18.43	559.0	3831	0.1465	0.1501	0.1644	0.1786
400	203	12 x 3,69	7 x 3,69	18.43	559.0	4330	0.1499	0.1535	0.1677	0.1820
450	228	15 x 3,91	4 x 3,91	19.55	629.0	4243	0.1302	0.1336	0.1462	0.1589
450	228	12 x 3,91	7 x 3,91	19.55	629.0	4813	0.1332	0.1366	0.1492	0.1620
500	253	15 x 4,12	4 x 4,12	20.60	698.0	4711	0.1172	0.1205	0.1318	0.1433
500	253	12 x 4,12	7 x 4,12	20.60	698.0	5344	0.1199	0.1231	0.1345	0.1459

**CONDUCTORES DE ALUMINIO REFORZADO CON ALEACION
DE ALUMINIO 6201 (ACAR)
CARACTERISTICAS FISICAS Y ELECTRICAS**

Calibre MCM o AWG	Sección (mm2)	CABLEADO		Diámetro Externo (mm)	Peso Unitario (kg / km)	Carga de Rotura (kg)	RESISTENCIA DC y AC - 60 Hz (Ohm / km)			
		Aluminio EC	Aleación 6201				DC 20°C	25°C	50°C	75°C
500	253	33 x 2,95	4 x 2,95	20.66	698	4521	0.1156	0.1189	0.1303	0.1417
500	253	30 x 2,95	7 x 2,95	20.66	698	4891	0.1169	0.1203	0.1316	0.1430
500	253	24 x 2,95	13 x 2,95	20.66	698	5384	0.1197	0.1230	0.1344	0.1458
500	253	18 x 2,95	19 x 2,95	20.66	698	5990	0.1226	0.1259	0.1373	0.1487
550	279	15 x 4,32	4 x 4,32	21.60	768	5179	0.1066	0.1098	0.1201	0.1304
550	279	12 x 4,32	7 x 4,32	21.60	768	5876	0.1091	0.1122	0.1226	0.1329
550	279	33 x 3,10	4 x 3,10	21.67	768	4913	0.1051	0.1083	0.1186	0.1290
550	279	30 x 3,10	7 x 3,10	21.67	768	5327	0.1063	0.1094	0.1198	0.1301
550	279	24 x 3,10	13 x 3,10	21.67	768	5886	0.1988	0.1120	0.1223	0.1326
550	279	18 x 3,10	19 x 3,10	21.67	768	6568	0.1114	0.1146	0.1249	0.1352
600	304	15 x 4,51	4 x 4,51	22.57	838	5645	0.0977	0.1007	0.1103	0.1197
600	304	12 x 4,51	7 x 4,51	22.57	838	6404	0.0999	0.1030	0.1125	0.1219
600	304	33 x 3,23	4 x 3,23	22.63	838	5333	0.0963	0.0994	0.1090	0.1184
600	304	30 x 3,23	7 x 3,23	22.63	838	5783	0.0974	0.1006	0.1100	0.1195
600	304	24 x 3,23	13 x 3,23	22.63	838	6391	0.0997	0.1029	0.1123	0.1218
600	304	18 x 3,23	19 x 3,23	22.63	838	7131	0.1022	0.1052	0.1147	0.1241
650	329	33 x 3,37	4 x 3,37	23.56	908	5806	0.0889	0.0920	0.1007	0.1094
650	329	30 x 3,37	7 x 3,37	23.56	908	6296	0.0899	0.0930	0.1017	0.1104
650	329	24 x 3,37	13 x 3,37	23.56	908	6957	0.0921	0.0951	0.1039	0.1126
650	329	18 x 3,37	19 x 3,37	23.56	908	7762	0.0943	0.0973	0.1060	0.1148
700	354	33 x 3,49	4 x 3,49	24.45	978	6178	0.0826	0.0856	0.0937	0.1018
700	354	30 x 3,49	7 x 3,49	24.45	978	6666	0.0835	0.0865	0.0946	0.1027
700	354	24 x 3,49	13 x 3,49	24.45	978	7306	0.0855	0.0885	0.0966	0.1047
700	354	18 x 3,49	19 x 3,49	24.45	978	8099	0.0878	0.0905	0.0986	0.1067

**CONDUCTORES DE ALUMINIO REFORZADO CON ALEACION
DE ALUMINIO 6201 (ACAR)
CARACTERISTICAS FISICAS Y ELECTRICAS**

Calibre MCM o AWG	Sección (mm ²)	CABLEADO		Diámetro Externo (mm)	Peso Unitario (kg / km)	Carga de Rotura (kg)	RESISTENCIA DC y AC - 60 Hz (Ohm / km)			
		Aluminio EC	Aleación 6201				DC 20°C	25°C	50°C	75°C
750	380	33 x 3,62	4 x 3,62	25.32	1048	6538	0.0770	0.0799	0.0875	0.0950
750	380	30 x 3,62	7 x 3,62	25.32	1048	7071	0.0779	0.0809	0.0884	0.0959
750	380	24 x 3,62	13 x 3,62	25.32	1048	7780	0.0797	0.0827	0.0902	0.0979
750	380	18 x 3,62	19 x 3,62	25.32	1048	8651	0.0817	0.0846	0.0921	0.0997
800	405	33 x 3,73	4 x 3,73	26.14	1117	6941	0.0722	0.0752	0.0822	0.0893
800	405	30 x 3,73	7 x 3,73	26.14	1117	7507	0.0731	0.0761	0.0831	0.0902
800	405	24 x 3,73	13 x 3,73	26.14	1117	8260	0.0748	0.0778	0.0848	0.0919
800	405	18 x 3,73	19 x 3,73	26.14	1117	9185	0.0766	0.0796	0.0866	0.0937
850	431	33 x 3,85	4 x 3,85	26.95	1187	7272	0.0679	0.0709	0.0776	0.0842
850	431	30 x 3,85	7 x 3,85	26.95	1187	7884	0.0687	0.0717	0.0783	0.0850
850	431	24 x 3,85	13 x 3,85	26.95	1187	8709	0.0703	0.0733	0.0799	0.0865
850	431	18 x 3,85	19 x 3,85	26.95	1187	9715	0.0721	0.0750	0.0816	0.0883
900	456	33 x 3,96	4 x 3,96	27.74	1257	7694	0.0641	0.0671	0.0733	0.0796
900	456	30 x 3,96	7 x 3,96	27.74	1257	8341	0.0649	0.0679	0.0741	0.0804
900	456	24 x 3,96	13 x 3,96	27.74	1257	9214	0.0604	0.0694	0.0756	0.0819
900	456	18 x 3,96	19 x 3,96	27.74	1257	10274	0.0680	0.0709	0.0772	0.0834
950	481	33 x 4,07	4 x 4,07	28.48	1327	8127	0.0668	0.0638	0.0697	0.0756
950	481	30 x 4,07	7 x 4,07	28.48	1327	8811	0.0615	0.0646	0.0704	0.0764
950	481	24 x 4,07	13 x 4,07	28.48	1327	9733	0.0630	0.0659	0.0718	0.0778
950	481	18 x 4,07	19 x 4,07	28.48	1327	10857	0.0645	0.0674	0.0733	0.0793
1000	507	33 x 4,18	4 x 4,18	29.23	1397	8572	0.0578	0.0608	0.0664	0.0720
1000	507	30 x 4,18	7 x 4,18	29.23	1397	9294	0.0504	0.0615	0.0670	0.0726
1000	507	24 x 4,18	13 x 4,18	29.23	1397	10266	0.0598	0.0628	0.0664	0.0740
1000	507	18 x 4,18	19 x 4,18	29.23	1397	11452	0.0613	0.0643	0.0698	0.0755
1000	507	54 x 3,25	7 x 3,25	29.26	1397	8950	0.0578	0.0609	0.0665	0.0721
1000	507	48 x 3,25	13 x 3,25	29.26	1397	9584	0.0506	0.0617	0.0672	0.0728
1000	507	42 x 3,25	19 x 3,25	29.26	1397	10395	0.0595	0.0625	0.0679	0.0737
1000	507	33 x 3,25	28 x 3,25	29.26	1397	11251	0.0608	0.0638	0.0694	0.0750

**CONDUCTORES DE ALUMINIO REFORZADO CON ALEACION
DE ALUMINIO 6201 (ACAR)
CARACTERISTICAS FISICAS Y ELECTRICAS**

Calibre MCM o AWG	Sección (mm ²)	CABLEADO		Diámetro Externo (mm)	Peso Unitario (kg / km)	Carga de Rotura (kg)	RESISTENCIA DC y AC - 60 Hz (Ohm / km)			
		Aluminio EC	Aleación 6201				DC 20°C	25°C	50°C	75°C
1100	557	33 x 4,38	4 x 4,38	30.65	1.537	9412	0.0525	0.0557	0.0607	0.0658
1100	557	30 x 4,38	7 x 4,38	30.65	1.537	10204	0.0531	0.0562	0.0613	0.0664
1100	557	24 x 4,38	13 x 4,38	30.65	1.537	11272	0.0544	0.0574	0.0625	0.0676
1100	557	18 x 4,38	19 x 4,38	30.65	1.537	12574	0.0557	0.0587	0.0638	0.0689
1100	557	54 x 3,41	7 x 3,41	30.70	1.537	9773	0.0525	0.0557	0.0607	0.0658
1100	557	48 x 3,41	13 x 3,41	30.70	1.537	10404	0.0533	0.0564	0.0615	0.0666
1100	557	42 x 3,41	19 x 3,41	30.70	1.537	11228	0.0541	0.0571	0.0672	0.0672
1100	557	33 x 3,41	28 x 3,41	30.70	1.537	12076	0.0552	0.0583	0.0684	0.0684
1200	608	33 x 4,58	4 x 4,58	32.02	1.677	10292	0.0481	0.0514	0.0559	0.0605
1200	608	30 x 4,58	7 x 4,58	32.02	1.677	11157	0.0487	0.0519	0.0565	0.0611
1200	608	24 x 4,58	13 x 4,58	32.02	1.677	12325	0.0498	0.0530	0.0576	0.0622
1200	608	18 x 4,58	19 x 4,58	32.02	1.677	13748	0.0514	0.0542	0.0587	0.0633
1200	608	54 x 3,56	7 x 3,56	32.07	1.677	10480	0.0482	0.0514	0.0560	0.0606
1200	608	48 x 3,56	13 x 3,56	32.07	1.677	11185	0.0488	0.0520	0.0566	0.0613
1200	608	42 x 3,56	19 x 3,56	32.07	1.677	12101	0.0495	0.0527	0.0573	0.0619
1200	608	33 x 3,56	28 x 3,56	32.07	1.677	12941	0.0506	0.0530	0.0584	0.0630
1250	633	33 x 4,67	4 x 4,67	32.70	1.745	10700	0.0462	0.0495	0.0539	0.0583
1250	633	30 x 4,67	7 x 4,67	32.70	1.745	11600	0.0467	0.0500	0.0544	0.0588
1250	633	24 x 4,67	13 x 4,67	32.70	1.745	12814	0.0479	0.0511	0.0554	0.0599
1250	633	18 x 4,67	19 x 4,67	32.70	1.745	14294	0.0490	0.0521	0.0566	0.0610
1250	633	54 x 3,64	7 x 3,64	32.72	1.745	10956	0.0463	0.0496	0.0539	0.0584
1250	633	48 x 3,64	13 x 3,64	32.72	1.745	11694	0.0469	0.0502	0.0546	0.0590
1250	633	42 x 3,64	19 x 3,64	32.72	1.745	12650	0.0476	0.0508	0.0553	0.0597
1250	633	33 x 3,64	28 x 3,64	32.72	1.745	13529	0.0486	0.0518	0.0562	0.0607
1300	659	33 x 4,76	4 x 4,76	33.32	1.815	11116	0.0444	0.0478	0.0520	0.0562
1300	659	30 x 4,76	7 x 4,76	33.32	1.815	12052	0.0450	0.0483	0.0525	0.0567
1300	659	24 x 4,76	13 x 4,76	33.32	1.815	13312	0.0460	0.0493	0.0534	0.0577
1300	659	18 x 4,76	19 x 4,76	33.32	1.815	14851	0.0472	0.0504	0.0546	0.0589

CONDUCTORES DE ALUMINIO REFORZADO CON ALEACION
DE ALUMINIO 6201 (ACAR)
CARACTERISTICAS FISICAS Y ELECTRICAS

Calibre MCM o AWG	Sección (mm ²)	CABLEADO		Diámetro Externo (mm)	Peso Unitario (kg / km)	Carga de Rotura (kg)	RESISTENCIA DC y AC - 60 Hz (Ohm / km)			
		Aluminio EC	Aleación 6201				DC 20°C	25°C	50°C	75°C
1300	659	54 x 3,71	7 x 3,71	33.38	1815	11381	0.0444	0.0478	0.0520	0.0562
1300	659	48 x 3,71	13 x 3,71	33.38	1815	12148	0.0451	0.0484	0.0526	0.0569
1300	659	42 X 3,71	19 x 3,71	33.38	1815	13142	0.0457	0.0490	0.0532	0.0574
1300	659	33 x 3,71	28 x 3,71	33.38	1815	14055	0.0467	0.0500	0.0542	0.0584
1400	709	54 x 3,85	7 x 3,85	34.63	1955	12056	0.0413	0.0447	0.0486	0.0526
1400	709	48 x 3,85	13 x 3,85	34.63	1955	12905	0.0419	0.0453	0.0492	0.0531
1400	709	42 x 3,85	19 x 3,85	34.63	1955	13993	0.0425	0.0459	0.0497	0.0537
1400	709	33 x 3,85	28 x 3,85	34.63	1955	15013	0.0434	0.0467	0.0506	0.0545
1500	760	54 x 3,98	7 x 3,98	35.85	2095	12884	0.0385	0.0421	0.0457	0.0493
1500	760	48 x 3,98	13 x 3,98	35.85	2095	13791	0.0391	0.0426	0.0462	0.0498
1500	760	42 x 3,98	19 x 3,98	35.85	2095	14954	0.0397	0.0431	0.0468	0.0504
1500	760	33 x 3,98	28 x 3,98	35.85	2095	16044	0.0405	0.0439	0.0475	0.0511
1600	811	54 x 4,12	7 x 4,12	37.04	2235	13087	0.0361	0.0398	0.0431	0.0466
1600	811	48 x 4,12	13 X 4,12	37.04	2235	14778	0.0366	0.0402	0.0436	0.0470
1600	811	42 x 4,12	19 x 4,12	37.04	2235	16025	0.0371	0.0407	0.0441	0.0475
1600	811	33 x 4,12	28 x 4,12	37.04	2235	17341	0.0380	0.0415	0.0449	0.0483
1700	861	54 x 4,24	7 x 4,24	38.15	2375	14623	0.0340	0.0378	0.0409	0.0441
1700	861	48 x 4,24	13 x 4,24	38.15	2375	15651	0.0345	0.0382	0.0414	0.4460
1700	861	42 x 4,24	19 x 4,24	38.15	2375	16972	0.0350	0.0387	0.0418	0.0451
1700	861	33 x 4,24	28 x 4,24	38.15	2375	18366	0.0358	0.0393	0.0425	0.0457
1750	887	54 x 4,30	7 x 4,30	38.73	2445	15039	0.0330	0.0369	0.0399	0.0429
1750	887	48 x 4,30	13 x 4,30	38.73	2445	16098	0.0335	0.0373	0.0403	0.0434
1750	887	42 x 4,30	19 x 4,30	38.73	2445	17455	0.0340	0.0377	0.0408	0.0439
1750	887	33 'x 4,30	28 x 4,30	38.73	2445	18889	0.0347	0.0383	0.0415	0.0446
1800	912	54 x 4,36	7 x 4,36	39.28	2515	15462	0.0321	0.0360	0.0389	0.0419
1800	912	48 x 4,36	13 x 4,36	39.28	2515	16550	0.0326	0.0364	0.0393	0.0423
1800	912	42 'x 4,36	19 x 4,36	39.28	2515	17946	0.0330	0.0369	0.0398	0.0428
1800	912	33 x 4,36	28 x 4,36	39.28	2515	19420	0.0338	0.0375	0.0405	0.0434

**CONDUCTORES DE ALUMINIO REFORZADO CON ALEACION
DE ALUMINIO 6201 (ACAR)
CARACTERISTICAS FISICAS Y ELECTRICAS**

Calibre MCM o AWG	Sección (mm ²)	CABLEADO		Diámetro Externo (mm)	Peso Unitario (kg / km)	Carga de Rotura (kg)	RESISTENCIA DC y AC - 60 Hz (Ohm / km)			
		Aluminio EC	Aleación 6201				DC 20°C	25°C	50°C	75°C
1900	963	54 x 4,48	7 x 4,48	40.35	2655	16325	0.0304	0.0344	0.0372	0.0400
1900	963	48 x 4,48	13 x 4,48	40.35	2655	17473	0.0309	0.0348	0.0376	0.0404
1900	963	42 x 4,48	19 x 4,48	40.35	2655	18947	0.0313	0.0352	0.0380	0.0408
1900	963	33 x 4,48	28 x 4,48	40.35	2655	20504	0.0320	0.0358	0.0386	0.0414
2000	1013	54 x 4,60	7 x 4,60	41.4	2793	17211	0.0289	0.0330	0.0356	0.0383
2000	1013	48 x 4,60	13 x 4,60	41.4	2793	18422	0.0293	0.0334	0.0360	0.0386
2000	1013	42 x 4,60	19 x 4,60	41.4	2793	19976	0.0297	0.0337	0.0304	0.0390
2000	1013	33 x 4,60	28 x 4,60	41.4	2793	21617	0.0304	0.0344	0.0370	0.0395
2000	1013	72 x 3,76	19 x 3,76	41.4	2793	18558	0.0293	0.6334	0.0360	0.0387
2000	1013	63 x 3,76	28 x 3,76	41.4	2793	19657	0.0298	0.0338	0.0364	0.0391
2000	1013	54 x 3,76	37 x 3,76	41.4	2793	21091	0.0302	0.0342	0.0368	0.0395

**VARILLAS DE ARMAR RECTAS (PREFORMADOS)
PARA CONDUCTORES ACSR Y ALUMINIO**

Diámetro del Conductor (mm)				Un solo Soporte			Doble Soporte		
Mínimo	Máximo	Nº de Varillas por juego	Diámetro Varilla (mm)	Longitud Varilla (mm)	Distancia Aproximada E (mm)	Peso por juego (kg)	Longitud Varilla (mm)	Distancia Aproximada E	Peso por juego (kg)
4.60	4.72	8	2.79	762	381	0.1	1067	533	0.14
4.75	4.90	8	2.92	762	381	0.11	1067	533	0.15
4.93	5.08	8	3.00	689	432	0.14	1194	584	0.18
5.10	5.21	8	3.07	889	432	0.14	1194	584	0.19
5.23	5.33	8	3.17	889	432	0.15	1194	584	0.20
5.36	5.46	8	3.25	889	432	0.16	1194	584	0.21
5.49	5.61	8	3.33	889	432	0.17	1194	584	0.22
5.64	5.76	8	3.40	889	432	0.18	1194	584	0.23
5.79	5.92	8	3.50	889	432	0.19	1194	584	0.25
5.94	6.07	8	3.61	889	432	0.2	1194	584	0.27
6.10	6.25	8	3.68	889	432	0.22	1194	584	0.28
6.27	6.43	8	3.78	1016	508	0.24	1321	635	0.32
6.45	6.60	10	2.82	1143	559	0.19	1448	711	0.24
6.63	6.78	10	2.89	1143	559	0.2	1448	711	0.26
6.81	6.98	10	2.97	1143	559	0.21	1448	711	0.27
7.01	7.21	10	3.05	1143	559	0.23	1448	711	0.28
7.24	7.39	10	3.15	1143	559	0.23	1448	711	0.30
7.42	7.62	10	3.22	1143	559	0.24	1448	711	0.33
7.64	7.85	10	3.33	1143	559	0.26	1448	711	0.34
7.87	8.10	10	3.43	1143	559	0.28	1448	711	0.36
8.13	8.28	10	3.53	1143	559	0.3	1448	711	0.38
8.30	8.53	10	3.61	1143	559	0.32	1448	711	0.40
8.56	8.79	10	3.73	1143	559	0.34	1448	711	0.43
8.81	9.04	10	3.83	1270	610	0.39	1575	762	0.49
9.07	9.27	10	3.94	1270	610	0.42	1575	762	0.53
9.30	9.52	10	4.06	1270	610	0.44	1575	762	0.56
9.55	9.78	10	4.16	1270	610	0.46	1575	762	0.59
9.80	10.11	10	4.29	1270	610	0.48	1575	762	0.62

La longitud de las Varillas de armar para doble soporte se basa en una separación de 305 mm.

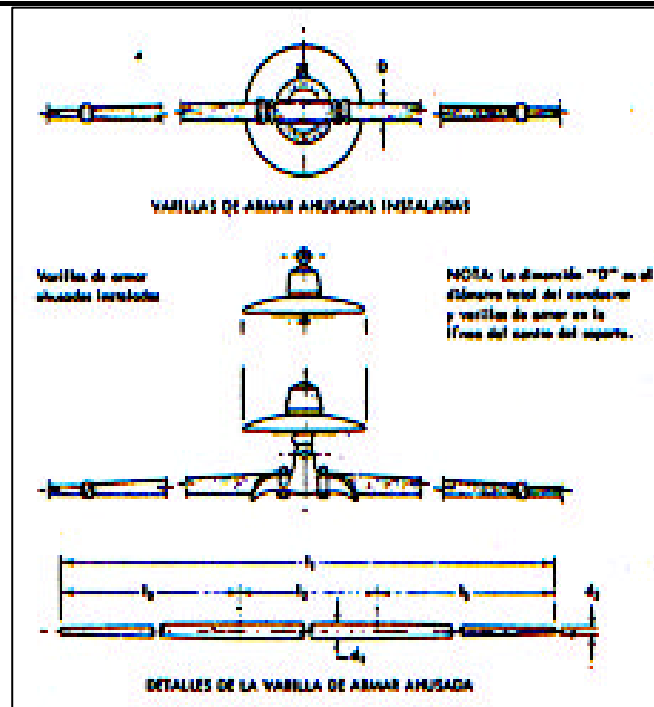
Esto significa que si esta distancia es superior, hay que especificarlo al fabricante.

Las Varillas de armar rectas vienen marcadas en el centro y el fabricante las despacha a granel.

Esto significa que es necesario especificar con detalles al fabricante, el modo en que se desea la remisión.

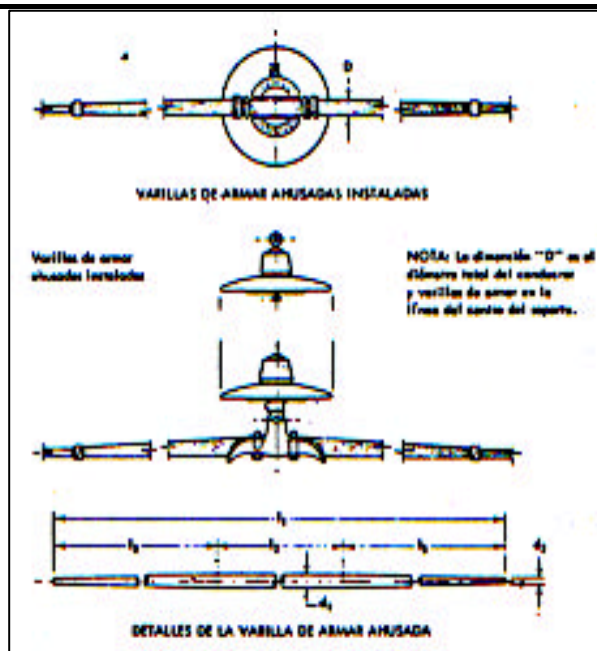
**VARILLAS DE ARMAR AHUSADAS
CONDUCTORES ALUMINIO, ALEACION DE ALUMINIO Y ACSR**

Diámetro del Conductor (mm)			Dimensiones (mm)					
Mínimo	Máximo	Nº de Varillas por juego	L1	L2	L3	d1	d2	Peso por juego (kg)
9.93	10.39	10	1175	616	279	4.39	1.47	0.36
10.41	10.69	10	1181	603	289	4.52	1.50	0.38
10.72	11.00	10	1187	590	298	4.67	1.55	0.41
11.02	11.30	10	1194	578	308	4.80	1.60	0.43
11.33	11.63	10	1403	768	317	4.93	1.65	0.55
11.66	11.99	10	1410	756	327	5.08	1.70	0.59
12.01	12.32	10	1416	743	336	5.23	1.75	0.62
12.34	12.67	10	1416	724	346	5.38	1.80	0.65
12.70	13.05	10	1422	711	356	5.54	1.85	0.69
13.08	13.41	10	1435	698	368	5.69	1.90	0.72
13.44	13.82	10	1448	686	381	5.84	1.95	0.77
13.84	14.20	10	1448	673	387	6.02	2.01	0.81
14.22	14.60	10	1448	660	394	6.20	2.06	0.85
14.63	15.06	10	1448	635	406	6.37	2.13	0.89
15.09	15.47	10	1562	724	419	6.55	2.18	1.00
15.49	15.90	10	1575	711	432	6.76	2.26	1.10

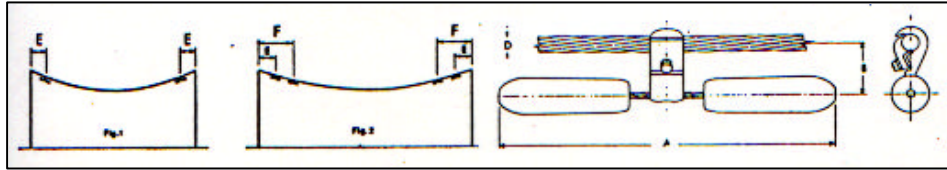


**VARILLAS DE ARMAR AHUSADAS
CONDUCTORES ALUMINIO, ALEACION DE ALUMINIO Y ACSR**

Diámetro del Conductor (mm)		Nº de Varillas por juego	Dimensiones (mm)					Peso por juego (kg)
Mínimo	Máximo		L1	L2	L3	d1	d2	
15.92	16.33	10	1575	686	444	6.93	2.31	1.1
16.36	16.81	10	1575	660	457	7.14	2.39	1.2
16.84	17.32	10	1587	648	470	7.34	2.44	1.3
17.35	17.80	10	1600	635	483	7.54	2.51	1.3
17.83	18.29	10	1803	813	495	7.75	2.59	1.6
18.31	18.82	10	1816	800	508	7.97	2.67	1.8
18.85	19.83	10	1816	775	521	8.20	2.74	1.8
19.40	19.94	10	1829	762	533	8.43	2.82	1.9
19.96	20.52	10	1854	737	559	8.69	2.89	2.0
20.55	21.11	10	1854	711	571	8.94	2.97	2.1
21.13	21.72	10	2159	991	584	9.19	3.07	2.8
21.74	22.33	10	2184	965	610	9.45	3.15	3.0
22.35	22.96	10	2184	940	622	9.73	3.25	3.1
22.99	23.62	10	2184	914	635	10.10	3.33	3.2
23.65	24.28	10	2515	1194	660	10.30	3.43	4.1
24.31	24.99	10	2515	1168	673	10.60	3.53	4.3
25.02	25.75	10	2540	1143	698	10.90	3.63	4.6
25.78	26.44	10	2845	1422	711	11.20	3.73	5.6
26.47	27.20	10	2870	1397	737	11.50	3.83	6.0
27.23	28.22	10	2896	1372	762	11.80	3.94	6.3
28.24	28.83	10	2896	1321	787	12.20	4.06	6.5
28.85	29.67	10	2896	1295	800	12.60	4.19	6.9
29.69	30.50	10	2921	1270	825	12.90	4.29	7.3
30.53	31.34	10	2921	1219	851	13.30	4.42	7.6
31.37	32.23	10	2946	1194	876	13.70	4.55	8.1
32.26	33.20	10	2946	1143	902	14.00	4.67	8.4
33.22	34.16	12	2997	1575	711	11.20	3.73	7.3
34.19	35.13	12	2997	1524	737	11.50	3.83	7.7
35.15	36.17	12	3048	1524	762	11.80	3.94	8.2
36.19	37.21	12	3048	1473	787	12.20	4.06	8.4
37.24	38.25	12	3099	1499	800	12.60	4.19	9.3
38.28	39.29	12	3099	1448	825	12.90	4.29	9.8



AMORTIGUADORES STOCKBRIDGE
CARACTERISTICAS



Diámetro del Conductor (mm)					Diámetro del Conductor (mm) Separación (m)			
Mínimo	Máximo	A	B	Peso Normal (kg)	Mínimo	Máximo	E	F
5.49	5.97	295	57	0.68	5.46	7.03	0.3	0.76
5.99	6.60	295	57	0.68	7.06	8.23	0.38	0.76
6.63	7.26	305	57	0.91	8.25	9.42	0.46	0.91
7.29	7.85	305	57	0.91	9.45	10.21	0.53	1.07
7.87	8.33	305	57	0.91	10.24	11.02	0.61	1.22
					11.05	12.22	0.68	1.37
					12.24	13.38	0.76	1.52
8.36	8.84	337	57	1.40				
8.86	9.30	337	57	1.40				
9.32	9.91	337	57	1.40	13.41	14.55	0.84	1.68
9.93	10.59	356	67	1.80	14.58	16.15	0.91	1.83
10.62	11.35	356	67	1.80	16.18	17.78	0.99	1.98
					17.8	19.3	1.07	2.13
11.38	11.96	356	67	1.80	19.33	21.08	1.14	2.29
11.99	13.00	432	67	2.70	21.11	22.83	1.22	2.44
13.03	13.79	432	67	2.70	22.86	24.64	1.29	2.59
13.82	14.99	432	67	2.70				
15.01	16.15	473	67	3.60	24.66	26.8	1.37	2.74
					26.82	28.96	1.45	2.89
16.18	16.94	473	67	3.60	28.98	31.09	1.52	3.05
16.97	17.78	473	67	3.60	31.11	33.1	1.6	3.2
17.80	18.90	514	89	4.50	33.12	35.46	1.68	3.35
18.92	20.09	514	89	4.50	35.48	38.1	1.75	3.5
20.12	21.08	514	89	4.50	38.12	39.37	1.83	3.66
21.11	22.45	529	89	5.40				
22.48	23.65	554	89	5.40				
23.67	24.64	554	89	5.40				
24.66	25.98	613	98	6.40				
26.01	26.80	613	98	6.40				
26.82	27.76	613	98	6.40				
27.79	28.96	613	98	6.40				
28.98	29.87	635	98	7.30				
29.89	30.89	635	98	7.30				
30.91	31.95	635	98	7.30				
31.98	33.02	635	98	7.30				
33.04	34.26	667	108	8.20				
34.29	35.46	667	108	8.20				
35.48	36.83	667	108	8.20				
36.85	38.10	667	108	8.20				
38.12	39.37	667	108	8.20				

**MODULOS DE ELASTICIDAD FINAL Y
COEFICIENTE DE DILATACION TERMICA**

<i>Tipo de Conductor</i>	<i>Número de Hilos</i>	<i>Módulo de Elasticidad Final E (kg/mm2)</i>	<i>Coeficiente de dilatación Lineal (1/°C)x10-6</i>
<i>Aluminio</i>	7	6200	23
	19	6000	23
	37	5800	23
	61	5600	23
<i>ACSR</i>	<i>Al / Acero</i>		
	6/1	8000	19.1
	26/7	8000	18.9
	54/7	7000	19.3
	54/19	7000	19.4
<i>Aleación de Aluminio</i>	7	6450	23
	19	6350	23
	37	6250	23
	61	6000	23
<i>Acero Galvanizado</i>	1	20000	11.5
	7	19000	11.5
	19	19000	11.5

E: Son el promedio de los valores obtenidos en los ensayos de esfuerzo - deformación.

PESOS Y CARGAS DE ROTURA						
PARA CABLES DE GUARDA Y RETENIDAS DE ACERO GALVANIZADO (7 HILOS)						
	Norma ASTM A475					
			Carga de Rotura de la Retenida Kg			
<i>Diámetro Nominal mm (pulg)</i>	<i>Diámetro Nominal de los alambres galvanizados mm (pulg)</i>	<i>Peso Aproximado kg/km</i>	<i>Tipo Común</i>	<i>Tipo Siemens - Martin</i>	<i>Tipo Alta Resistencia</i>	<i>Tipo Extra Alta resistencia</i>
4,76 (3/16)	1,57 (0,062)	108.27	522	862	1293	1810
5,56 (7/32)	1,83 (0,072)	144.36	699	1161	1746	2449
6,35 (1/4)	2,03 (0,080)	180.45	862	1429	2155	3016
7,14 (9/32)	2,36 (0,093)	242.78	1247	1928	2903	4060
7,94 (5/16)	2,64 (0,104)	305.12	1451	2427	3629	5080
9,52 (3/8)	3,05 (0,120)	406.82	1928	3153	4899	6985
11,11 (7/16)	3,68 (0,145)	593.83	2587	4241	6577	9435
12,70 (1/2)	4,19 (0,165)	767.12	3664	5488	8528	12202
14,29 (9/16)	4,78 (0,188)	997.38	4356	7121	11113	15876
15,88 (5/8)	5,26 (0,207)	1210.63	5263	8664	13426	19232







PROPIEDADES DE LOS METALES CONDUCTORES

ALUMINIO TRATADO

COBRE RECOCIDO

RELACION AL/CU

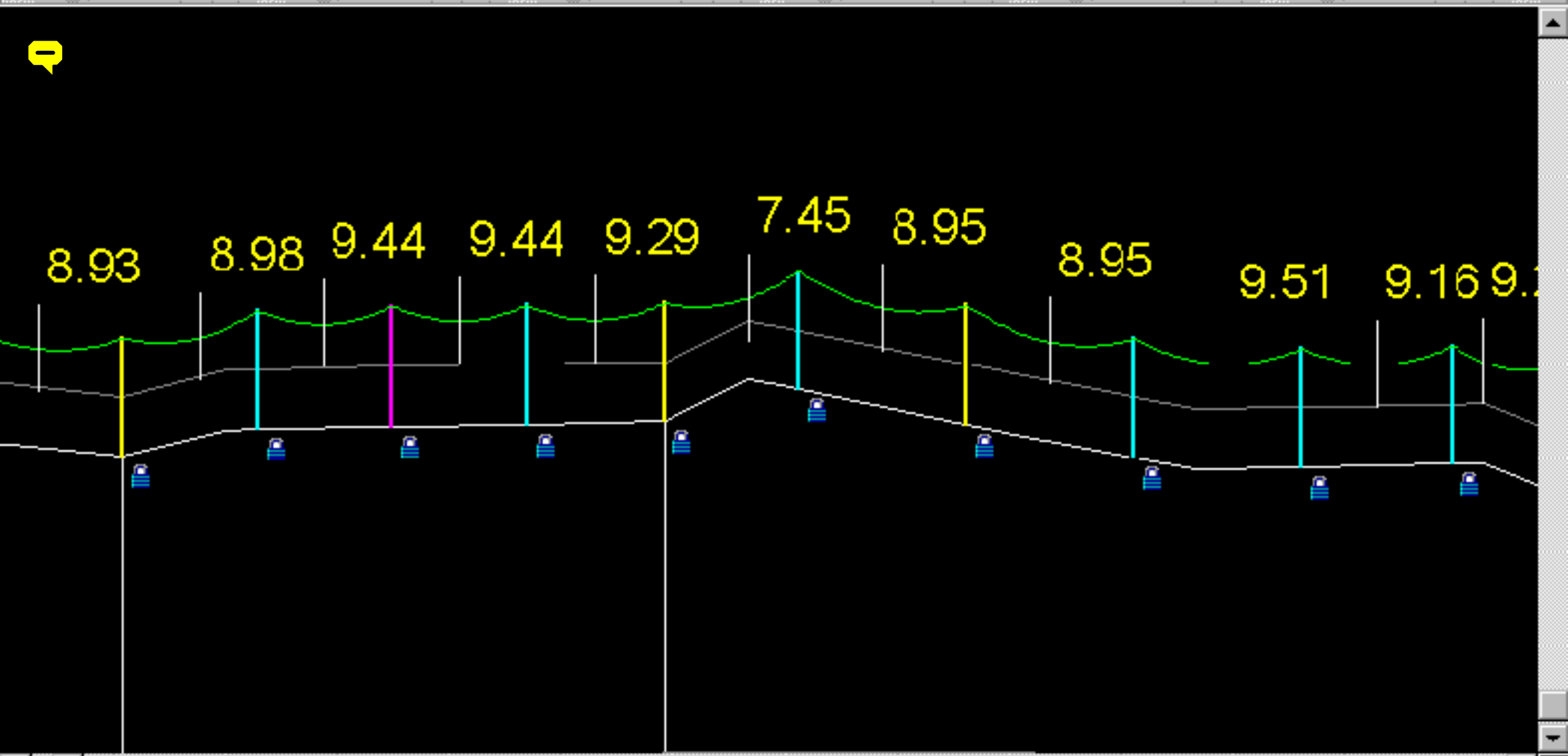
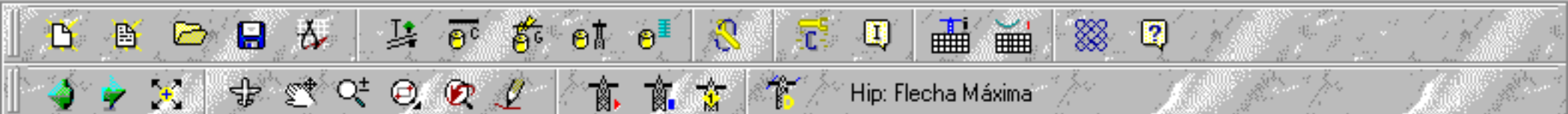
DENSIDAD	: gr/cm ³	2.69 - 2.70	8.71 - 8.9410	0.304
PUNTO DE FUSION	: °C	657 - 660	1083	0.610
RESISTENCIA A LA TRACCION	: Mpa	75 - 180	250 - 400	0.350
MODULO DE ELASTICIDAD	: Mpa	70000	125000	0.560
ELONGACION A ROTURA	: %	35 %	50 %	0.700
PRUEBA DE DUREZA:	Brinell	23	45	0.511
CALOR ESPECIFICO	: Kcal/Kgf/°C	0.2091 - 0.2250	0.0920 - 0.0985	2.326
CONDUCTIVIDAD TERMICA A 20°C	: Cal/s/cm ² /°C	0.53 - 0.54	0.92 - 0.94	0.587
COEF.DILATACION LINEAL A 20°C	: 1/°C	0.000024	0.000017	1.411
COEF.DE RESISTENCIA	: 1/°C	0.00403	0.00393	1.025
RESISTENCIA ELECTRICA	: Ohm-mm ² /Km	26.50 - 29.50	17.5 - 18.2	1.628
RESISTIVIDAD ELECTRICA	: u Ohm-cm	2.83	1.72 - 1.77	1.628
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	: s.m/mm ²	35.6 - 36	57.0 - 58.0	0.615
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (% IACS):	- Volumen	61 %	100 %	0.615
	- Peso	202 %	100 %	2.020
	- Sección	60 %	100 %	0.600
CAPACIDAD DE CORRIENTE	- Peso	42 %	100 %	0.420
	- Sección	139 %	100 %	1.390

TABLA N° 1 : Principales Propiedades de los Metales con Tratamiento Térmico para Conductores Eléctricos.

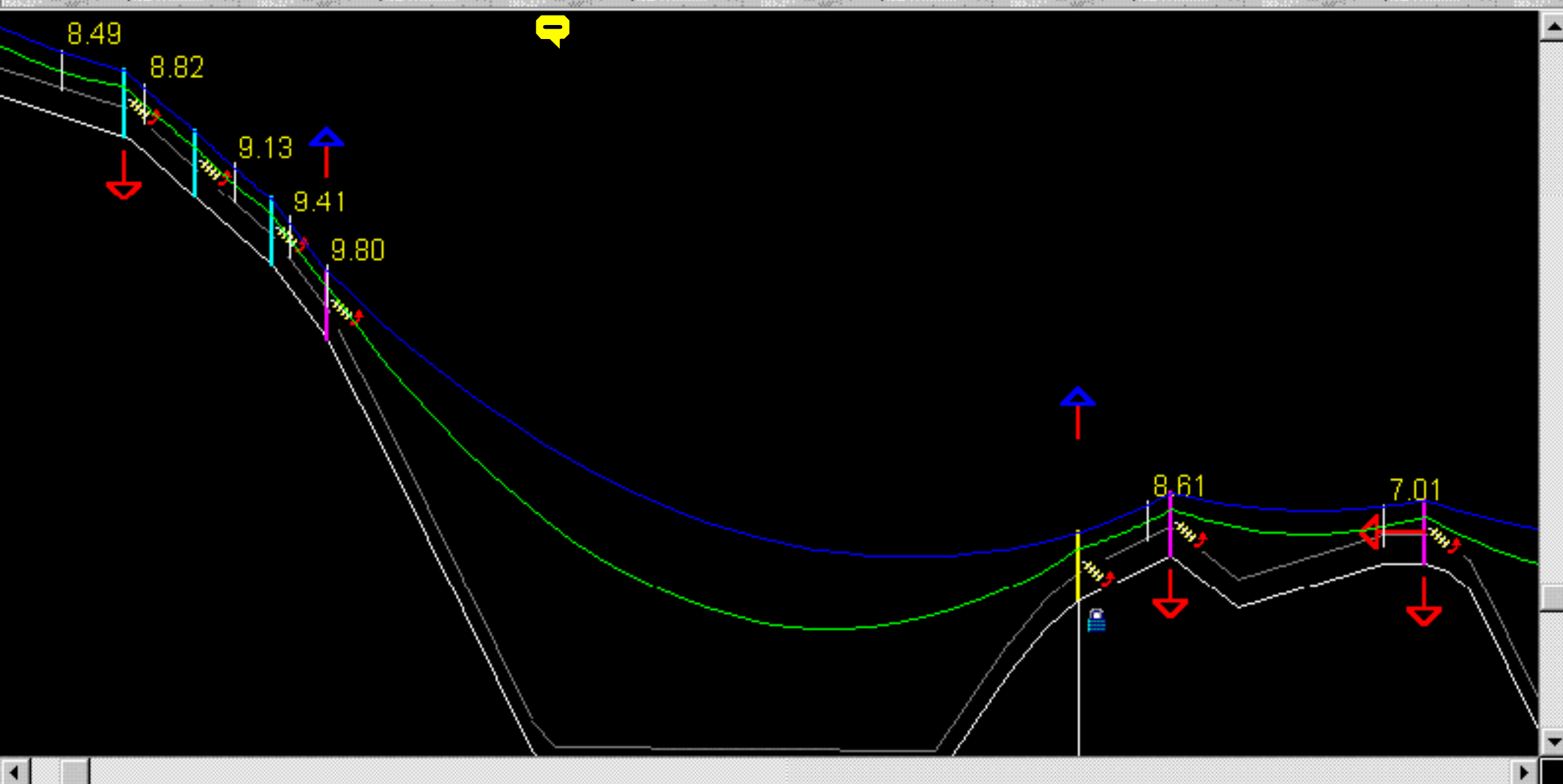


Q



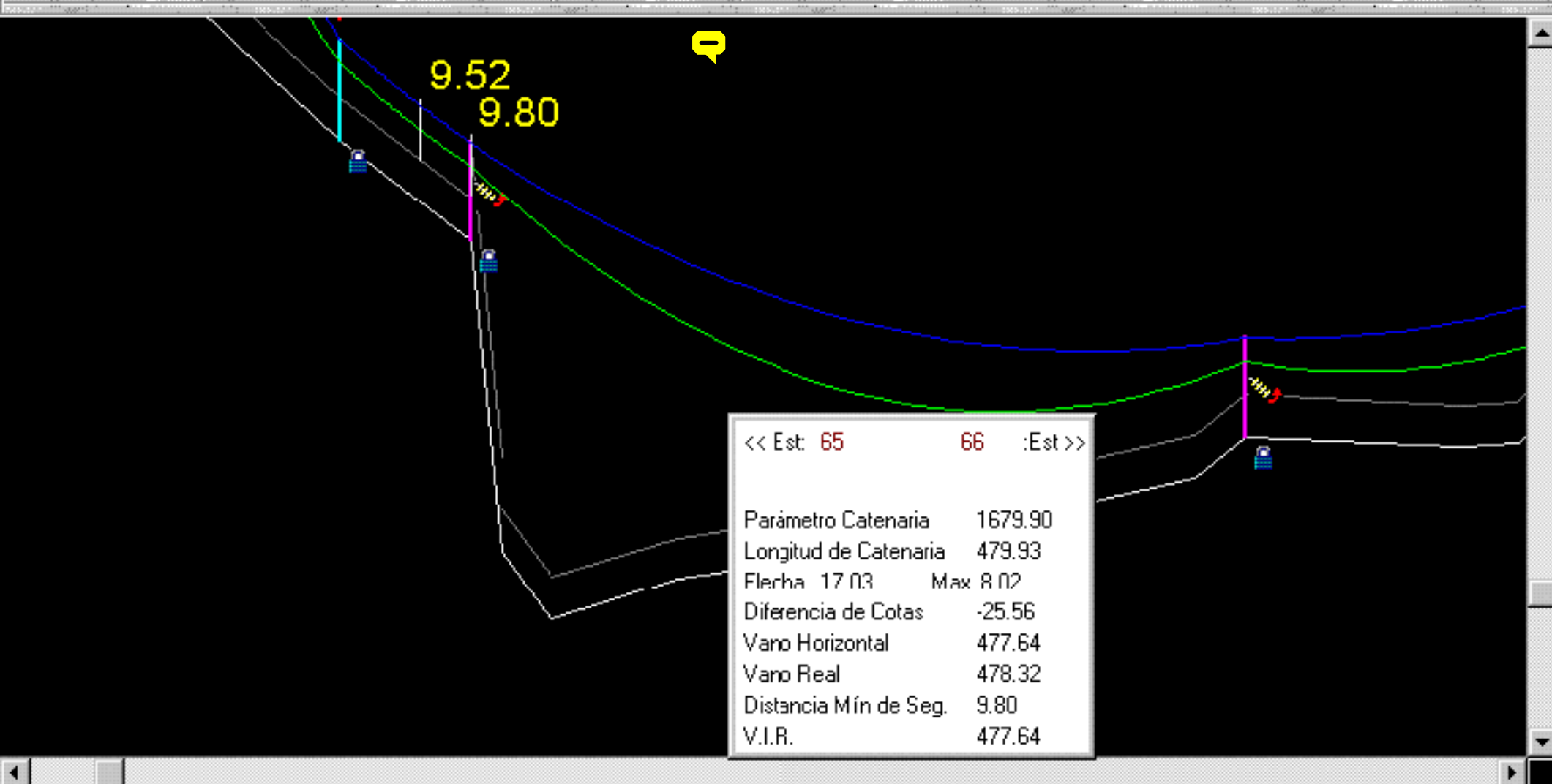
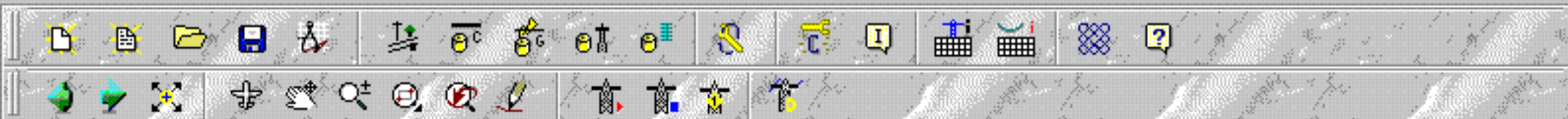


53	54	55	56	57	58	59	60	61	62
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

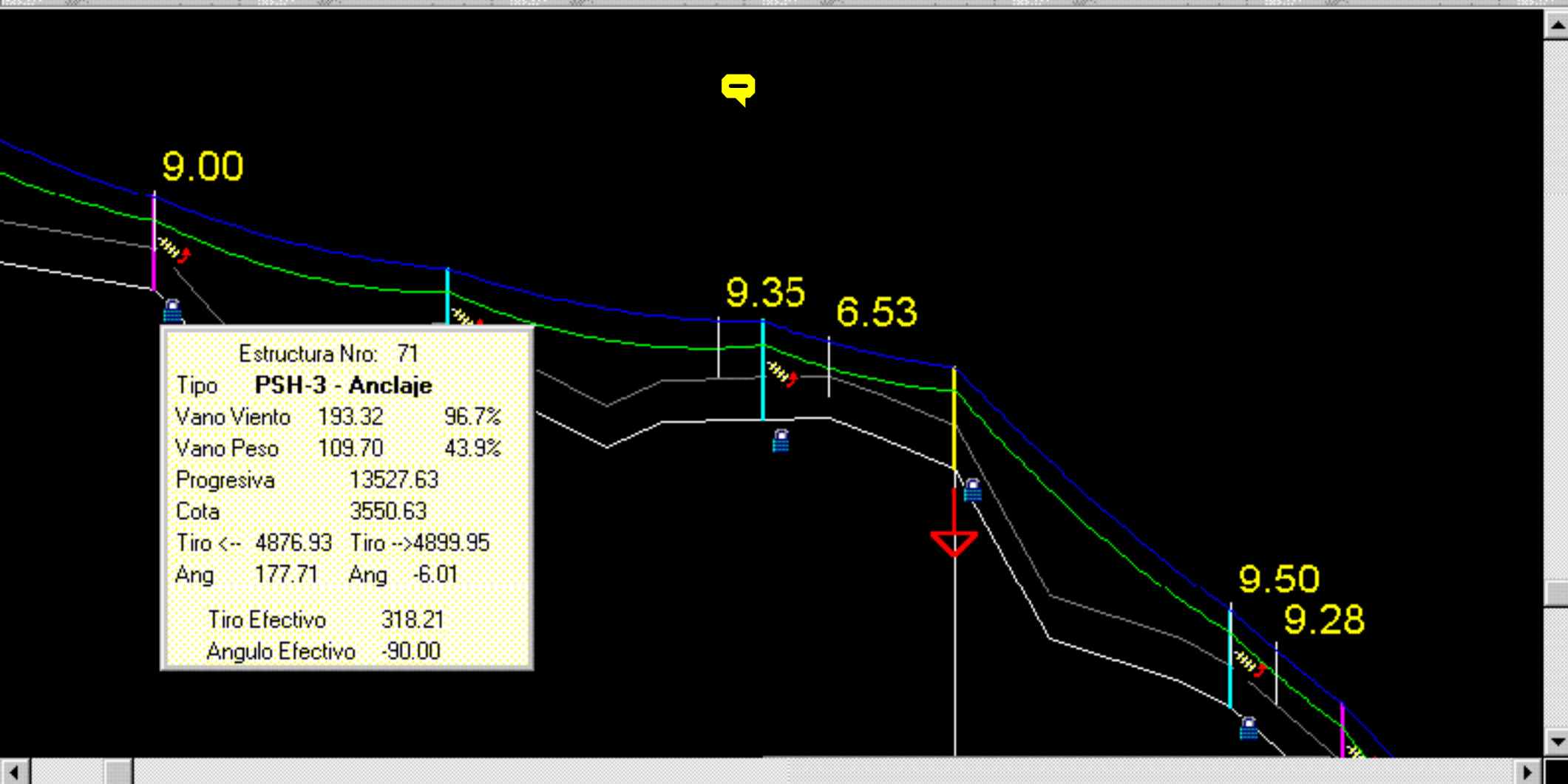


o	o	o	o	o	o	o
25	26	27	28	29	30	31

x: 5347.34 y: 3415.44 Modificado Newtons N est:=96



x: 12217.63 y: 3580.36 Modificado Newtons N est:=96



Estructura Nro: 71
Tipo **PSH-3 - Anclaje**
Vano Viento 193.32 96.7%
Vano Peso 109.70 43.9%
Progresiva 13527.63
Cota 3550.63
Tiro <- 4876.93 Tiro -> 4899.95
Ang 177.71 Ang -6.01
Tiro Efectivo 318.21
Angulo Efectivo -90.00

71

72

73

74

75

76

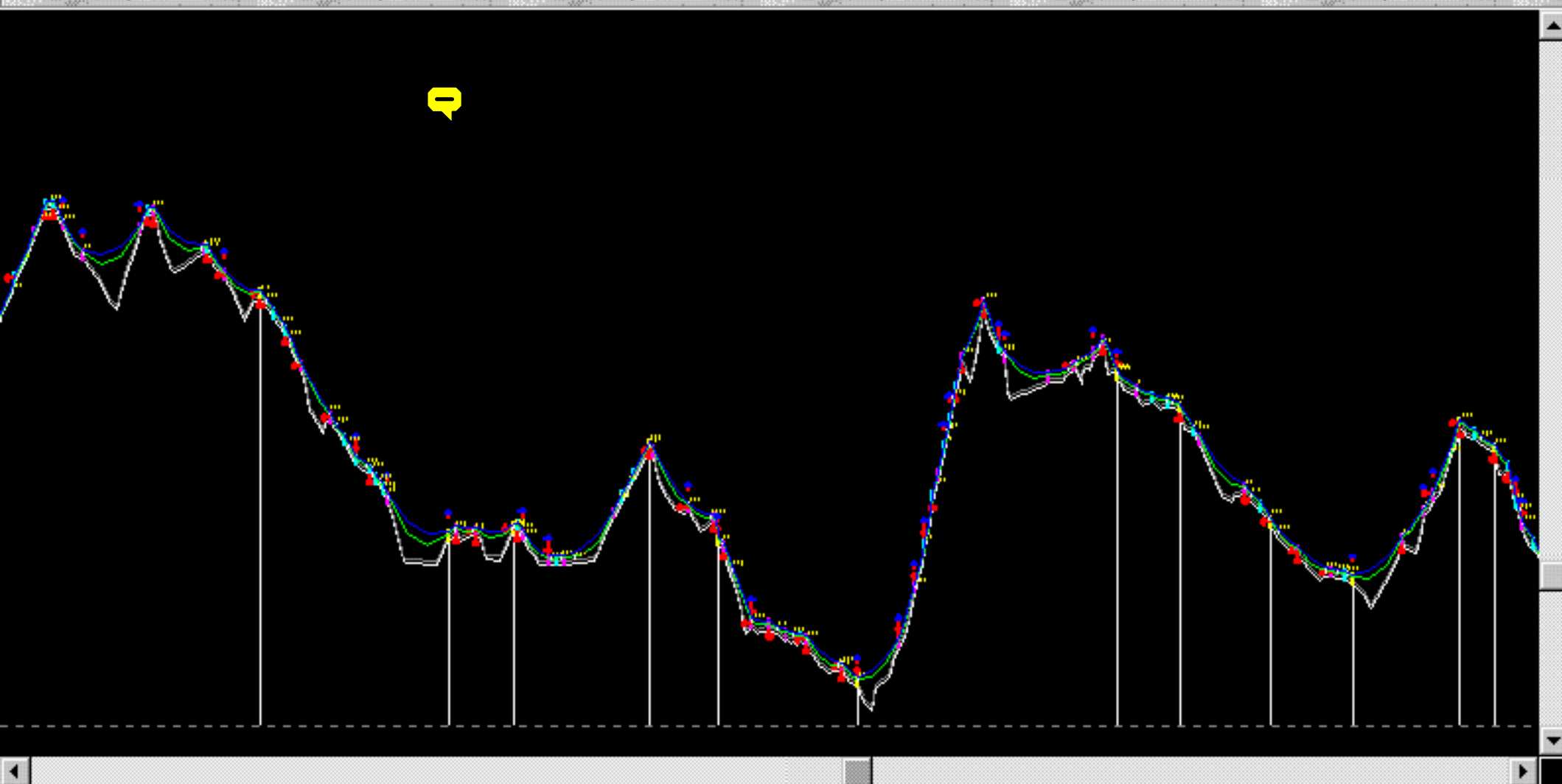
x: 13526.45

y: 3554.02

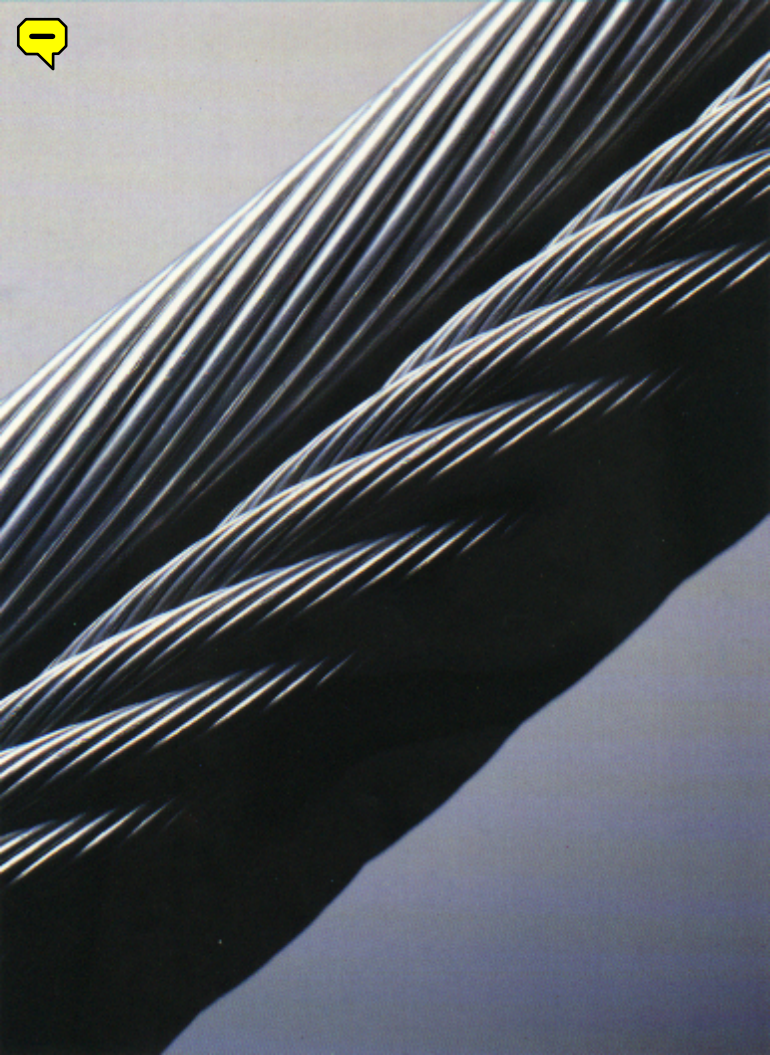
Modificado

Newtons

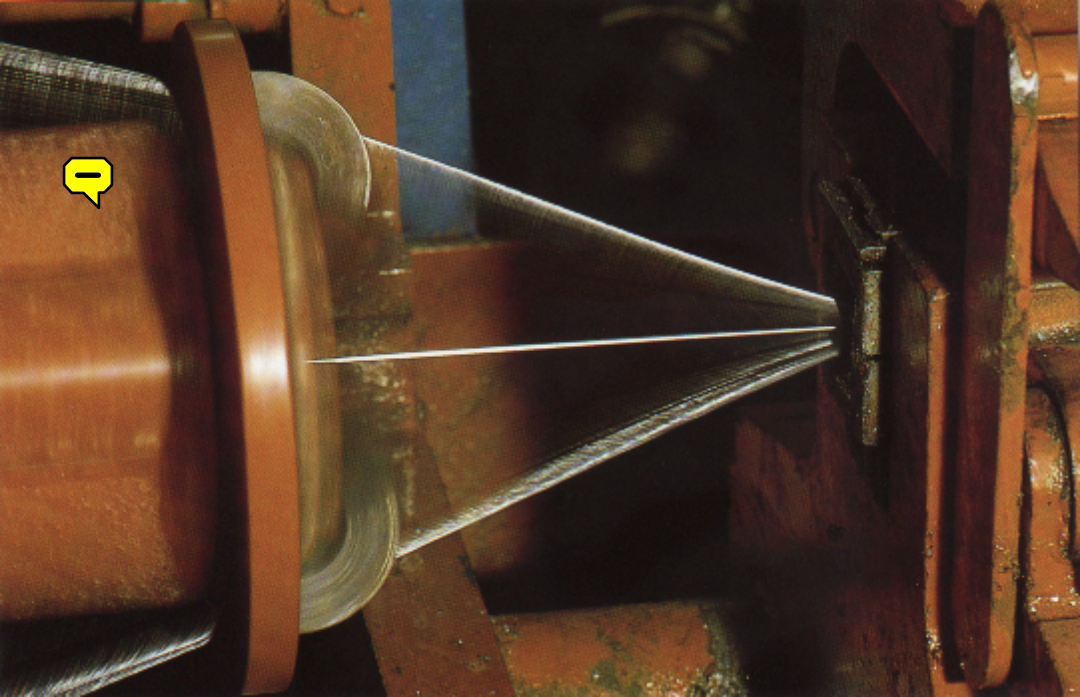
N est:=96



0 0000 0 00 0000 00000 00 0 00 00 0000 00 00000000 00 00000000 000000000000 000 0 00 00 00 0000
 6 7891011 1:14 1617 112021 2222228 23031 334 3337 334042 43 446 4746451 5253 5555555555555555 66 67667077777776 77779 80 8683 84886 8788889993



Q





Q



TO BASE
121°M 21.64Km
STEER RIGHT

ON/OFF

POG

LIGHT

WPT

RAW

SETUP

DEF

VEL

ROUTE



AUX



MAGELLAN

1

MAR
2

DEF
3

TEL
4

JPL
5

MOD
6

PRG
7

TEL
8

NOV
9

CLERT

OFF
0

ENTER



MSTAR

Professional GPS
Software by
Magellan Systems

Copyright©1996 Magellan Systems Corporation. All Rights Reserved.
Previous Copyright©1990 Elta Mobile Geographics. All Rights Reserved.



Input Files:

- \\example\remote1.cor
- \\example\remote2.cor
- \\example\remote3.cor
- \\example\remote4.cor



Differential Processing Results

Status: Complete

Remote File: c:\bin\software\mstar\example\remote3.cor
Output File: c:\bin\software\mstar\example\remote3.dif
Control Point: Magellan C1
Corrected Remote Position:
Latitude: 34 06 35.46514 N DDMSS
Longitude: 117 49 31.32083 W DDMSS
Alt: 273.34955 Meters
Number of observations processed: 700
Datum: World Geodetic System 1984



700

Control Files Remote Files Ephemeris Files Info Files

- n:\mstar\software\mstar\example\remote1.cor
- n:\mstar\software\mstar\example\remote2.cor
- n:\mstar\software\mstar\example\remote3.cor
- n:\mstar\software\mstar\example\remote4.cor

- Differential Mode
- ☐ Carrier Phase
 - ☐ Pseudorange
 - ☒ Mobile

Control Point:

Magellan C1

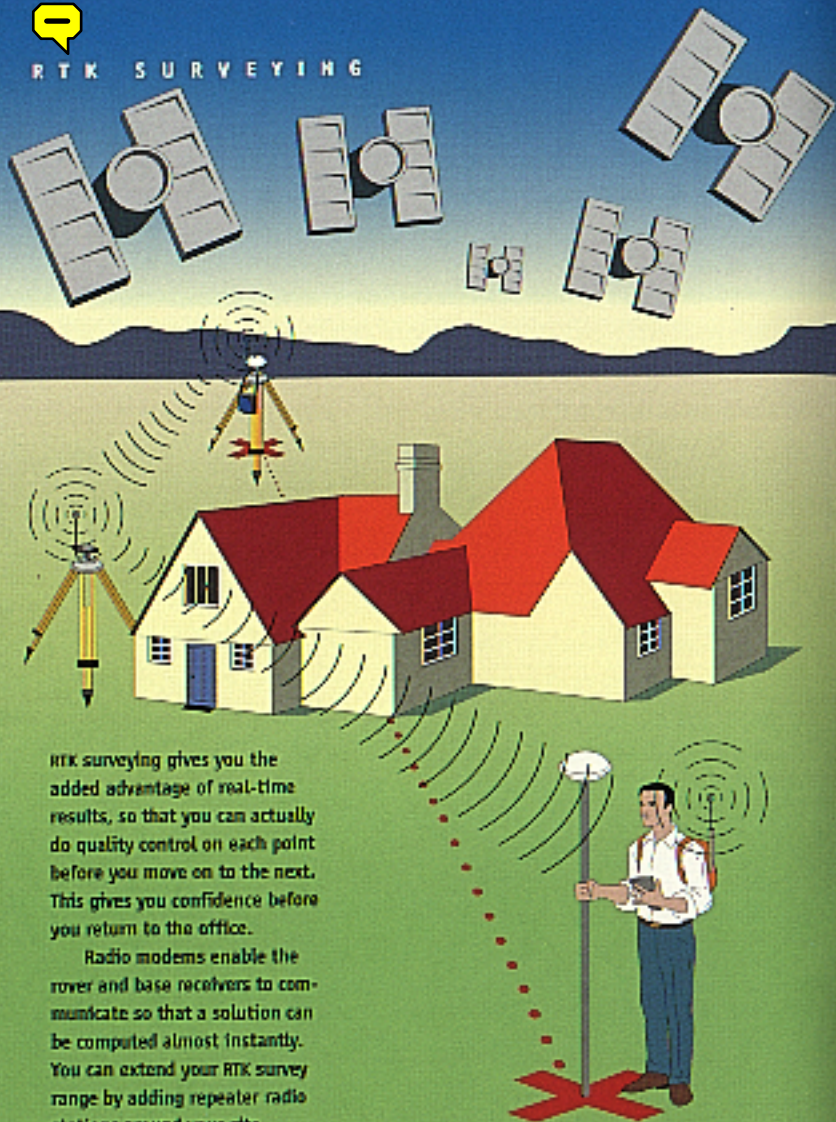






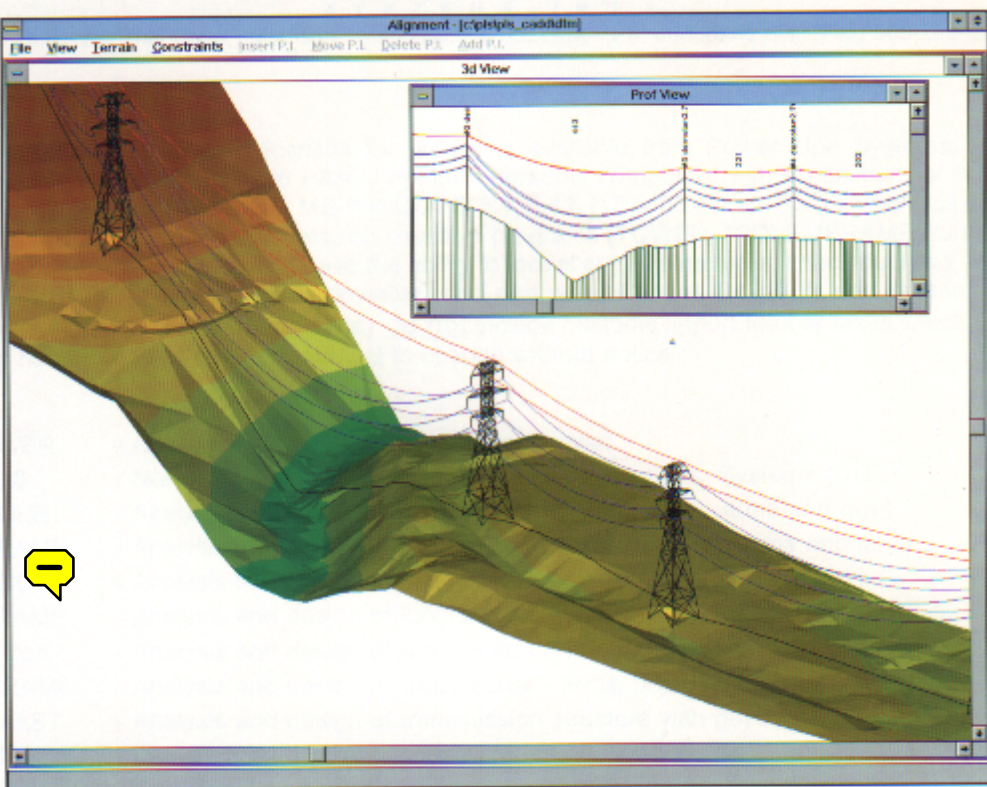


RTK SURVEYING



RTK surveying gives you the added advantage of real-time results, so that you can actually do quality control on each point before you move on to the next. This gives you confidence before you return to the office.

Radio modems enable the rover and base receivers to communicate so that a solution can be computed almost instantly. You can extend your RTK survey range by adding repeater radio stations around your site.



PLS-CADD, already the most **powerful, comprehensive and affordable** transmission line analysis and design program, is getting even better. New for 1995:

- Powerful new terrain modeling features
 - Improved survey data import capabilities
 - Triangulated model for interpolation of profiles and better clearance calculations
 - Color rendering of terrain
- Material handling and costs estimating
- Seamless integration with our transmission structure analysis and design programs
 - Latticed towers
 - Poles (steel, wood or prestressed concrete)
 - Frames (steel, wood or prestressed concrete)







10 22 '96



95 4 19







