PROBLEMAS RESUELTOS

DE

LINEAS AEREAS DE ALTA TENSION



ELOY BELTRAN BELTRAN

OCT 2015

7.1 Una línea trifásica de alta tensión está constituida por conductores de sección igual a 280 mm². La distancia media entre apoyos es de 300m. Sabiendo que las constantes de la ecuación de cambio de condiciones son respectivamente $A = 7$ y $B = 350$. Deberá calcularse:

1) La fuerza de tendido
2) El módulo de elasticidad del conductor empleado, si el peso por metro de longitud del mismo es de 1 daN
3) La flecha de tendido
4) La longitud de conductor sujeto entre dos apoyos.

En nuestro caso, ya conocemos las constantes procedentes de la ecuación de cambio de condiciones, quedando:

$T_2^2 [T_2 + A] = B \rightarrow T_2^2 [T_2 + 7] = 350 \rightarrow T_2^3 + 7T_2^2 - 350 = 0$ siendo una ecuación de 3er grado $ax^3 + bx^2 + d = 0$ sin término en grado 1, despejando (X) los cálculos mecánicos han de tener una tensión de 5'328237 daN/mm², si no disponemos de calculadora, podemos emplear la siguiente ecuación.

$$-\frac{b}{3a} + \frac{\sqrt[3]{2}\cdot b^2}{3a\left(-2b^3-27a^2d+\sqrt{-4b^6+(-2b^3-27a^2d)^2}\right)^{1/3}} + \frac{\left(-2b^3-27a^2d+\sqrt{-4b^6+(-2b^3-27a^2d)^2}\right)^{1/3}}{3\cdot 2^{1/3}\cdot a}$$ sustituyendo...

$$-\frac{7}{3\cdot 1} + \frac{\sqrt[3]{2}\cdot 7^2}{3\cdot 1\left(-2\cdot 7^3-27\cdot 1^2\cdot -350+\sqrt{-4\cdot 7^6+(-2\cdot 7^3-27\cdot 1^2\cdot -350)^2}\right)^{1/3}} + \frac{\left(-2\cdot 7^3-27\cdot 1^2\cdot -350+\sqrt{-4\cdot 7^6+(-2\cdot 7^3-27\cdot 1^2\cdot -350)^2}\right)^{1/3}}{3\cdot 2^{1/3}\cdot 1}$$

siendo $T_2 = 5'328237$ daN/mm², la fuerza de tendido es: F que en determinadas circunstancias siempre tiene un subíndice indicando la temperatura, pero para este caso, no lleva, $\rightarrow F_2 = T_2 \cdot S$, siendo S, la sección del cable, la fuerza de tendido será = $F_2 = 5'328237$ daN/mm² · 280 mm² = 1491'906 daN

2) El módulo de elasticidad (E) se halla en la ecuación del parámetro B de la ecuación de cambio de condiciones como

$$B = \frac{E \cdot a^2}{24} \cdot W^2 \cdot m_2^2$$

siendo (W) el peso propio del conductor por metro lineal y mm^2 de sección, expresado por tanto en $\frac{daN}{m \cdot mm^2}$ siendo la ecuación:

$w = \frac{P}{S}$, siendo $P = m \cdot g$, siendo (m) la masa, (g) la gravedad y (P) el peso. Tenemos pues según la UNE-21018 una masa de 976 kg/km del cable LA-280, que son $\frac{976\ kg/km}{1000\ m} = 0'976\ kg/m$, la gravedad 9'81

$P = 0'976\ Kg/m \cdot 0'981\ daN = 0'957456\ daN/m$, $0'981\ daN = \frac{9'81N}{10N}$, $1daN = 10$ Newtons

$w = \frac{0'957456\ daN/m}{280\ mm^2} = 3'4194857 14 \cdot 10^{-3}\ daN/m\,mm^2$, por lo tanto el módulo de elasticidad, despejando de la ecuación de cambio de condiciones del parámetro B será: $E = \frac{24 \cdot B}{a^2 \cdot W^2} \Rightarrow$ siendo el vano regulador del cable o distancia entre apoyos 300 metros, ya podemos resolver. $E = \frac{24 \cdot 350}{300^2 \cdot (3'4194857 14 \cdot 10^{-3})^2}$

$E = 7982'0637\ daN$ //

3) La flecha viene definida por la expresión:

$f = \frac{1}{8} \cdot \frac{a^2 \cdot W}{T}$, donde T es el tense, anteriormente calculado.

$f = \frac{1}{8} \cdot \frac{300^2 \cdot 3'4194857 14 \cdot 10^{-3}}{5'328237} = 7'219876721$ metros //, la expresión anterior es válida para apoyos sensiblemente al mismo nivel.

4) La longitud del conductor del vano resulta

$L = a + \frac{a^3 \cdot W^2}{24 \cdot T^2} = 300 + \frac{300^3 \cdot (3'4194857 14 \cdot 10^{-3})^2}{24 \cdot 5'328237^2} = 300'4633477$ m

Quedando el vano de igual longitud que la distancia entre apoyos.

P 7.2 Una línea trifásica de alta tensión a 20 kV, está situada a 700 m sobre el nivel del mar. Cada fase está constituida por un cable de cobre duro de las siguientes características:

Sección: 60 mm² (S)
Diámetro: 10 mm (Ø)
Peso: 0'546 daN/m (P)
Longitud del vano ideal: 100 m (a_R)
Coeficiente de dilatación térmica: $17 \cdot 10^{-6}\ °C^{-1}$ (α)
Módulo de elasticidad: 10000 daN/mm² (E)

Sabiendo que se debe emplear un coeficiente de seguridad (C_S) = 3'5, y que el cable admite para ese coeficiente una carga máxima de trabajo igual a 820 daN. Determinar:

1) El esfuerzo de tendido eléctrico a realizar bajo la temperatura de 20°C:

2) La flecha de tendido:

1) Partiendo de unas ciertas condiciones iniciales que vienen impuestas por el Reglamento en el apartado 3.2.1 de la ITC - LAT - 07

Por estar la línea a una altitud de 700 metros sobre el nivel del mar, se trata de una línea en zona B, puesto que no hay viento excepcional se considera como iniciales a -15°C con sobrecarga de hielo para zona B. Por lo tanto aplicando la ecuación de cambio de condiciones:

$$A = -T_1 + E \cdot \alpha (\theta_2 - \theta_1) + \frac{E \cdot a_R^2}{24} \cdot \frac{m_1^2 \cdot W^2}{T_1^2}$$

$$B = \frac{E \cdot a_R}{24} \cdot m_2^2 \cdot W^2$$

Para determinar si cumple el tense al límite - estático dinámico y determinar T_1, sabemos que el coeficiente de seguridad que ha impuesto el ingeniero es de 3'5. Pero en este caso nos dicen que la fuerza de trabajo es 820 daN para este coeficiente, esto resulta que $C_R = 820 \cdot C_S$

Siendo (C_R) la carga de rotura: $C_R = 820 \cdot 3'5 = 2870$ daN, por otro lado, sabemos que el tense es: $T_1 = \frac{\frac{C_R}{S}}{C_S} = \frac{\frac{2870}{60}}{3'5} = 13'66667$ daN/mm²

falta por determinar el coeficiente de sobrecarga en las condiciones iniciales, por tanto con sobrecarga de hielo en zona B, es decir:

$m_1 = m_{15+H} = \frac{P + 0'18\sqrt{d}}{P}$, siendo (p) el peso, y (d) el diametro...

$m_{-15+H} = \frac{0'546 + 0'18\sqrt{10}}{0'546} = 2'042$, siendo el peso propio $W = \frac{P}{S}$

$W = \frac{0'546}{60} = 0'0091$ daN/m·mm², estamos ya en disposición de calcular los terminos que intervienen en la ecuación de cambio de condiciones.

$$A = -T_1 + E \cdot \alpha (\theta_2 - \theta_1) + \frac{E a_R^2}{24} \cdot \frac{m_1^2 W^2}{T_1^2}$$

$$A = -13'66667 + 10000 \cdot 17 \cdot 10^{-6} [20 - (-15)] + \frac{10000 \cdot 100^2}{24} \cdot \frac{2'042^2 \cdot 0'0091^2}{13'66667^2} =$$

$$A = -0'01228$$

$$B = \frac{E \cdot a_R^2}{24} \cdot m_2^2 \cdot W^2 \rightarrow B = \frac{10000 \cdot 100^2}{24} \cdot 1^2 \cdot 0'0091^2 = 345'042$$

En la ecuación anterior se ha supuesto una sobrecarga de valor unidad puesto que en las condiciones de trabajo no se indica ningún tipo de sobrecarga:

$$T_2^2 (T_2 + A) = B \rightarrow T_{20}^2 (T_{20} - 0'01228) = 345'042$$

$$T_{20}^3 - 0'01228 T_{20}^2 - 345'042 = 0 \rightarrow T_{20} = 7'0179570 \text{ daN/mm}^2$$

$$F_{20} = T_{20} \cdot S \rightarrow F_{20} = 7'018 \cdot 60 = 421'08 \text{ daN} //$$

2) $f_{20} = \frac{1}{8} \cdot \frac{a^2 \cdot W \cdot m}{T_{20}} = \frac{1}{8} \cdot \frac{100^2 \cdot 0'0091 \cdot 1}{7'018} = 1'6208 \cdot m //$

PP 7.4 Una línea aérea de transporte de energía eléctrica a 66kV, está constituida por medio de conductores 147-AL1/34-ST1-A (antiguo LA-180) discurriendo por una zona de altitud sobre el nivel del mar de 800m. Para un vano de 200m y una temperatura de 15°C se ha determinado una flecha de 2m. Calcular:

1) La fuerza de tendido y la longitud de conductor entre apoyo para dichas condiciones.

2) El coeficiente de seguridad empleado, verificando su suficiencia reglamentaria.

1) Normalmente se emplean conductores con las características recogidas en la UNE-EN 50182:2002 en su página 56, donde se ubican las líneas aéreas, que son cables de aluminio con alma de acero.

La fuerza en las condiciones indicadas se obtiene a partir del valor de la flecha que nos define la tensión unitaria, y a partir de aquí la fuerza en estas condiciones. Despejamos el tense:

$$T_{15} = \frac{1}{8} \cdot \frac{a^2 \cdot W \cdot m_2}{f_{15}} \rightarrow T_{15} = \frac{1}{8} \cdot \frac{200^2 \cdot 3'65066 \cdot 10^{-3} \cdot 1}{2} = 9'126 \text{ daN/mm}^2$$

Habiendo previamente calculado el peso específico $W = \frac{P}{S} \rightarrow W = \frac{0'6758 \cdot 0'981}{181'6}$

$$W = 3'65066 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m·mm}^2$$

$$T_{15} = T_{15} \cdot S \rightarrow T_{15} = 9'126 \cdot 181'6 = 1657'28 \text{ daN}$$

La longitud del conductor $L = a + \frac{a^3 \cdot W^2}{24 T^2} \Rightarrow L = 200 + \frac{200^3 \cdot (3'65066 \cdot 10^{-3})^2}{24 \cdot 9'126^2}$

$$L = 200'053 \text{ m} //$$

2) Se pretende determinar el coeficiente de seguridad empleado en las condiciones iniciales y su suficiencia reglamentaria. Partimos con unas condiciones finales de 15°C, calcularemos la fuerza en las condiciones iniciales, por ser zona B y línea de 1ª categoría calcularemos el coeficiente de

seguridad en las dos condiciones iniciales que fija el reglamento son $-10°C$ con sobrecarga de viento y a $-15°C$ con sobrecarga de hielo, aunque en principio debe ser mas desfavorable la hipotesis de sobrecarga de hielo a $-15°C$.

A partir de la ecuación de cambio de condiciones

$$T_{15}^2(T_{15}+A)=B \rightarrow B=\frac{E\cdot a_R^2}{24}\cdot m_2^2\cdot W^2=\frac{8000\cdot 200^2}{24}\cdot 1^2\left(3'65065969\cdot 10^{-3}\right)^2=178'85$$

Habiendo calculado previamente el peso especifica $W=\frac{P}{S}=\frac{0'6758\cdot 0'981}{181'6}=3'65065969\cdot 10^{-3}$

De donde la constante A vale, despejado de la ecuación de cambio de condiciones.

$$A=\frac{B}{T_{15}^2}-T_{15}\Rightarrow A=\frac{178'85}{9'126^2}-9'126=-6'978$$

Por otro lado sabemos que la expresión de la constante A es:

$$A=-T_1+E\cdot\alpha(\theta_2-\theta_1)+\frac{E\,a_R^2}{24}\cdot\frac{m_1^2\cdot W^2}{T_1^2}$$ es necesario determinar

previamente m_1 para poder determinar la tensión inicial y por tanto el coeficiente de seguridad empleado, como antes hemos indicado se pueden presentar dos casos:

2.1 Condiciones iniciales $-15°C$ con sobrecarga de hielo en zona B.
2.2 Condiciones iniciales $-10°C$ con sobrecarga de viento.

2.1) Para condiciones $-15°C+H$, el coeficiente de sobrecarga con hielo resulta de:

$$m_1=\frac{P+0'18\sqrt{d}}{P}=\frac{0'6758\cdot 0'981+0'18\sqrt{17'5}}{0'6758\cdot 0'981}=2'135$$

$$A=-T_1+E\cdot\alpha(\theta_2-\theta_1)+\frac{E\,a_R^2}{24}\cdot\frac{m_1^2\cdot W^2}{T_1^2}$$

$$W=\frac{P}{S}$$

$$-6'978=-T_1+8000\cdot 17'8\cdot 10^{-6}\left[15-(-15)\right]+\frac{8000\cdot 200^2}{24}\cdot\frac{2'135^2\cdot\left(\frac{0'6758\cdot 0'981}{181'6}\right)^2}{T_1^2}$$

$$-6'978=T_1+4'272+\frac{809'985}{T_1^2}\rightarrow T_1^3-11'25T_1^2-809'985=0$$ de donde

resolviendo la ecuación:

$$T_1=T_{-15+H}=14'899\ daN/mm^2$$

Por lo que el coeficiente de seguridad empleado es de:

$$C_s = \frac{C_R}{T \cdot S} = \frac{6494}{14'899 \cdot 181'6} = 2'40$$

El Reglamento establece en el apartado 3.2.1 de la ITC-LAT-07 que el coeficiente de seguridad debe ser como mínimo de 2'5 para conductores cableados, por tanto el coeficiente 2'4 no es reglamentario.

2.2) Condiciones iniciales $-10°C+V$

El coeficiente de sobrecarga con viento, para una velocidad de viento de 120 Km/h es de 50 daN/mm² puesto que el diámetro del conductor es de 17'5mm², por lo que tenemos

$$m_1 = \frac{\sqrt{P^2+(q\cdot d)^2}}{P} = \frac{\sqrt{(0'6758\cdot 0'981)^2+(50\cdot 0'0175)^2}}{0'6758\cdot 0'981} = 1'656 \quad , \text{ siendo } W = \frac{P}{S}$$

$$\frac{0'6758\cdot 0'981}{181'6} = 3'650659692\cdot 10^{-3}$$

$$A = -T_1 + E\cdot\alpha\,(\theta_2-\theta_1) + \frac{E d_R^2}{24}\cdot\frac{m_1^2\cdot W^2}{T_1^2}$$

$$-6'978 = -T_1 + 8000\cdot 17'8\cdot 10^{-6}\,[15-(-10)] + \frac{8000\cdot 200^2}{24}\cdot\frac{1'656^2\cdot(3'650659692\cdot 10^{-3})^2}{T_1^2}$$

$$-6'978 = -T_1 + 3'56 + \frac{487'306}{T_1^2}$$

$$T_1^3 - 10'538\,T_1^2 - 487'306 = 0 \rightarrow T_1 = T_{-10+V} = 13'295 \text{ daN/mm}^2 \quad , \text{ por lo que el}$$

coeficiente de seguridad empleado es de:

$$C_s = \frac{C_R}{T\cdot S} = \frac{6494}{13'295\cdot 181'6} = 2'689$$

El Reglamento establece en el apartado 3.2.1 de la ITC-LAT-07 que el coeficiente de seguridad debe ser como mínimo de 2'5 para conductores cableados, por tanto el coeficiente sí es reglamentario

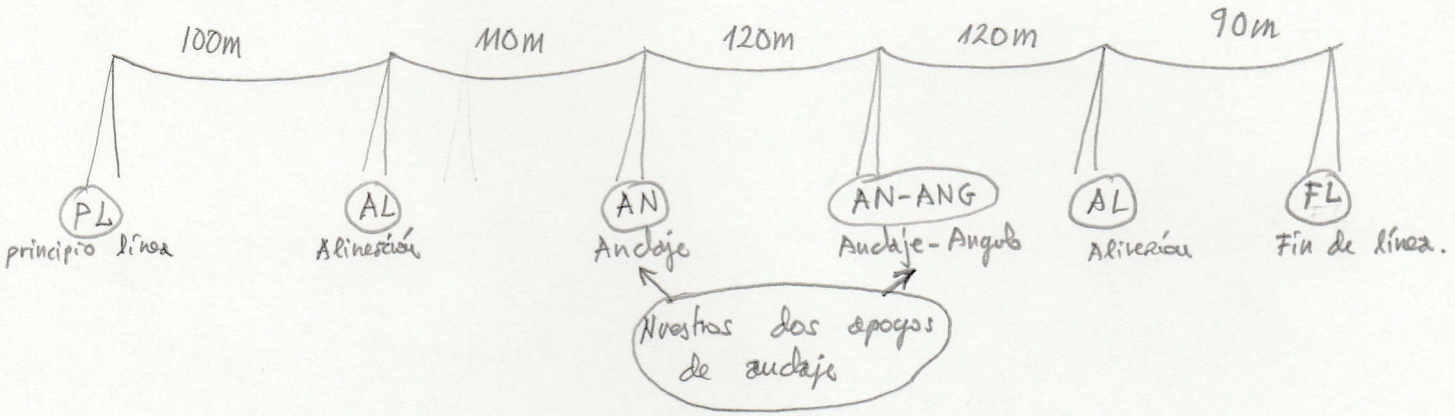
$$2'5 < 2'689$$

Pero esta hipótesis de viento es excepcional, y como es más desfavorable normalmente la hipótesis de hielo, es la que se considera como hipótesis inicial. Además normalmente se adopta un coeficiente de seguridad igual a 3, para no tener que calcular la hipótesis de rotura en el apoyo de alineación.

P 7.5 Un tramo de una línea aérea enmarcado entre dos apoyos de anclaje presenta unos vanos de 100 m, 110 m, 120 m, 120 m y 90 m, siendo el conductor empleado el de designación 119-AL1/28 (antiguo LA-145) Sabiendo que la altitud de la línea sobre el nivel del mar es de 300 m. Determinar:

1) La fuerza de tendido para una temperatura de 20°C empleando en Tense el Límite Estática Dinámica sabiendo que no se van a emplear dispositivos amortiguadores:

2) El valor de la flecha máxima para el vano de regulación, sabiendo que la hipótesis más desfavorable es la de temperatura:



El tipo de tense normalmente utilizado es el Límite Estática Dinámica, esto significa que:

- El coeficiente de seguridad mínimo es igual a 3
- La fuerza resultante a 15°C sea menor o igual a el 15% de la carga de rotura del conductor sin dispositivos antivibratorios. [$F_{15°C} \leq 15\% C_R$]

Normalmente lo que se hace es aplicar un coeficiente igual a 3 y se calcula por medio de la Ecuación de Cambio de Condiciones o (ECC) la fuerza a 15°C o (F_{15}), (siendo la condición final $\theta_2 = 15°C$) comprobado la condición anterior, si no cumpliera se impone un $F_{15} = 15\% C_R$ y se resuelve nuevamente la ECC determinado ahora que fuerza y tensión en las condiciones iniciales son necesarias, con la certeza de que el coeficiente de seguridad será mayor que 3.

Previamente calcularemos el vano regulador del tramo:

$$a_R = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{j=n} a_j^3}{\sum_{j=1}^{j=n} a_j}} = \sqrt{\frac{100^3 + 110^3 + 120^3 + 120^3 + 90^3}{100 + 110 + 120 + 120 + 90}} = 109'85\ m$$

Comprobemos si con un $C_S = 3$ cumple la 2ª condición, por lo que aplicando la ECC para esas condiciones finales de $\theta_2 = 15°C$ sin sobrecarga, tenemos

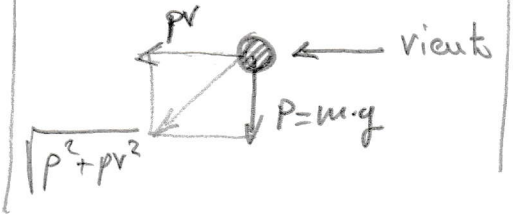
$$A = -T_1 + E\alpha(\theta_2 - \theta_1) + \frac{E a_R^2}{24} \cdot \frac{m_1^2 - w^2}{T_1^2}$$

(CR) viene especificada en los detalles del cable.

- Tense $T_1 = T_{-5+V} = \frac{C_R}{C_S \cdot S} = \frac{5403}{3 \cdot 147'1} = 12'243\ daN/mm^2$ T_{-5+V} por ser ZONA A 300 metros Altitud
- Peso específico $w = \frac{p}{S} = \frac{0'5474\ kg/m \cdot 0'981\ daN}{147'1\ mm^2} = 3'6505 \cdot 10^{-3}\ daN/m \cdot mm^2$

$m_1 = \frac{p_1'}{p}$ siendo $m_1 = \frac{\sqrt{p^2 + pv^2}}{p}$, (p) el peso del cable, (pv) peso del viento.

Sección del Conductor



siendo $pv = q \cdot d \cdot a_V$, donde (q) es la presión del viento, donde para conductores con diámetro menor o igual a 16 mm según el apartado 3.1 ITC-LAT 07

$q_{60} = 60 \cdot \left(\frac{V_V}{120}\right)^2$ donde (V_V) es la velocidad del viento, que será de 120 km/h

(d) el diámetro expresado en metros.
(a_V) el coloreno, que es la media aritmética de las longitudes de los vanos adyacentes que es 1.

Finalmente queda: $1\ daN \sim 1\ kg$

$$m_1 = \frac{\sqrt{p^2 + (q_{60} \cdot d \cdot a_V)^2}}{p} \rightarrow m_1 = \frac{\sqrt{0'5474^2\ daN/m + \left(\left(60 \cdot \left(\frac{120}{120}\right)^2 daN/m^2\right) \frac{15'8\ mm}{1000\ mm} \cdot 1\right)^2}}{0'5474\ daN/m} = 2'029$$

$$A = -12'243 + 8000 \cdot 17'8 \cdot 10^{-6}[15 - (-5)] + \frac{8000 \cdot 109'85^2}{24} \cdot \frac{2'029^2 - (3'6505 \cdot 10^{-3})^2}{12'243^2}$$

$$A = -7'922$$

$T_{15}^3 - 7'922 T_{15}^2 - 53'602 = 0 \rightarrow T_{15} = 8'64 \text{ daN/mm}^2$ siendo la fuerza $F = T \cdot S$

$F_{15} = 8'64 \cdot 147'1 = 1270'94$, Comprobamos si cumple la Tensión de cada día (TCD)

Es la tensión máxima que puede soportar cada día, siendo el 15% de C_R.

$TCD = \frac{15}{100} \cdot C_R = \frac{15}{100} \cdot 5403 = 810'45 \text{ daN}$, como $F_{15} = 1270'94 \text{ daN}$, sobrepasa y no cumple.

$$810'45 \text{ daN} < 1270'94 \text{ daN} \quad \text{NO CUMPLE la TCD}$$

Por lo que es preciso determinar la fuerza inicial a $-5°C$ mas sobrecarga de viento que cumple TCD, esto se resolverá a partir de la ECC.

$T_{15}^2 [T_{15} + A] = 53'602 \qquad T_{15} = \frac{F_{15\%C_R}}{S} = \frac{810'45}{147'1} = 5'509 \text{ daN/mm}^2$

$5'509^2 [5'509 + A] = 53'602 \rightarrow A = -3'7428$ de donde:

$$-3'7428 = -T_1 + 8000 \cdot 17'8 \cdot 10^{-6} [15 - (-5)] + \frac{8000 \cdot 109'85^2}{24} \cdot \frac{2'029^2 \cdot (3'6505 \cdot 10^{-3})^2}{T_1^2}$$ de donde despejando

de donde despejando $T_1 = T - 5 + V$ tenemos:

$$-3'7428 = -T_1 + 2'848 + \frac{220'672}{T_1^2} \rightarrow T_1^3 - 6'5908 T_1^2 - 220'672 = 0$$

$T_1 = T - 5 + V = 9'1987 \text{ daN/mm}^2$, Se aplica la Ecuación de cambio de condiciones finales, a $20°C$

$$A = -9'1987 + 8000 \cdot 17'8 \cdot 10^{-6} [20 - (-5)] + \frac{8000 \cdot 109'85^2}{24} \cdot \frac{2'029^2 \cdot (3'6505 \cdot 10^{-3})^2}{9'1987^2} = -3'031$$

$$B = \frac{8000 \cdot 109'85^2}{24} \cdot 1^2 \cdot (3'6505 \cdot 10^{-3})^2 = 53'602$$ por lo que finalmente la tensión y fuerza a $20°C$ son:

$T_{20}^2 [T_{20} - 3'031] = 53'602 \rightarrow T_{20}^3 - 3'031 T_{20}^2 - 53'602 = 0 \rightarrow T_{20} = 5'09548 \text{ daN/mm}^2$

$F_{20} = 5'09548 \cdot 147'1 = 749'5451 \text{ daN} //$

2) Nos piden calcular la flecha máxima sabiendo que de las dos hipótesis a considerar en líneas de zona A, que son a $15°C$ mas sobrecarga de viento y a $50°C$, consideramos sólo esta última, para aplicar la expresión de la flecha $f_{50} = \frac{1}{8} \cdot \frac{a^2 \, w \, m_2}{T_{50}}$

Es necesario aplicar nuevamente la ECC para las condiciones finales, de 50°C sin sobrecarga alguna:

$$A = -9'1987 + 8000 \cdot 17'8 \cdot 10^{-6}[50-(-5)] + \frac{8000 \cdot 109'85^2}{24} \cdot \frac{2'029^2 \cdot (3'6505 \cdot 10^{-3})^2}{9'1987^2} = 1'241$$

$B = 53'602$ puesto que $m_2 = 1$, $\rightarrow T_{50}^2 [T_{50} + 1'241] = 53'602 \rightarrow T_{50}^3 + 1'241 T_{50}^2 - 53'602 = 0$

de donde la tensión unitaria es de:

$$T_{50} = 3'398 \text{ daN/mm}^2$$ y la flecha es:

$$f_{50} = \frac{1}{8} \cdot \frac{a^2 \cdot W \cdot m_2}{T_{50}} = \frac{1}{8} \cdot \frac{109'85^2 \cdot 3'6505 \cdot 10^{-3} \cdot 1}{3'398} = 1'62 \text{ m} //$$

P 7.7 El material conductor de una línea aérea trifásica dúplex a 132 kV (dos conductores por fase y circuito), tiene un peso de 0'957 daN/m, un diámetro de 21'8 mm y una carga de rotura de 8489 daN. Sabiendo que el vano máximo de la línea tiene una longitud de 400 m y que dicha línea discurre por una zona con nivel de polución II (Medio) y cuya altitud es de 1200 m. Determinar el tipo de aislador sintético a emplear, tanto para cadenas de suspensión como de amarre o anclaje, sabiendo que el peso aproximado de los herrajes y accesorios para el aislador es de 10 daN

En este problema se nos pide determinar el tipo de aislador a emplear en una línea a 132 kV, que en principio sea válido sea valido tanto para cadenas de suspensión como de amarre como de anclaje.

El calculo de los aisladores exige dos criterios:

1 → Nivel de aislamiento

2 → Calculo mecánico

1 Calculo por nivel de aislamiento:

Puesto que la línea discurre por una zona con nivel de contaminación II, segun el apartado 4.4 de la ITC-LAT-07 le corresponde una línea específica nominal mínima de 20 mm/kV según se aprecia en la tabla 14 de dicho apartado.

Definido el nivel de aislamiento estamos en disposición de calcular la línea de fuga mínima necesaria en el aislador a partir de la expresión:

$$\text{Nivel de aislamiento} = \frac{\text{Línea de fuga} \times \text{nº de aisladores de cadena}}{U_{max}\ (\text{tabla 1})}$$

En nuestro caso como son aisladores sintéticos solo existe un único aislador, por tanto

$$\text{Línea de fuga} = \text{Nivel de aislamiento} \times U_{max} = 20 \cdot 145 = 2900\ mm$$

Por lo que a partir de los aisladores sintéticos normalizados por la norma UNE-EN 61466-2/A1:2002 resulta que el aislador a emplear como mínimo es el siguiente

Tabla 1, Tenemos que coger la inmediata superior (Línea de fuga mí, 2900 mm, cogemos la de 3920 mm que corresponde a

CS(GMS) XZ-650/3920.

2 Calculo mecánico del aislador:

Queda únicamente por determinar desde el punto de vista mecánico, la carga de rotura necesaria en el aislador.

Esto lo resolveremos tanto para cadenas de suspensión, como de amarre, como de anclaje:

→ Cadenas de suspensión

- Cargas normales: las cargas normales son los pesos repercutidos sobre la cadena de aisladores, que son:
  - → Peso de un fase duplex: $2(400 \cdot 0'957) = 765'6$ daN
  - → Peso por sobrecarga del manguito de hielo: $2 \cdot 0'36 \sqrt{21'8 \cdot 400} = 134'68$
  - → Peso de herrajes: 10 daN

En rigor habría que sumar el peso del aislador, pero las normas UNE no facilitan este valor, y además el peso de la cadena no es significativo frente a los pesos ya calculados, por lo que sumando los pesos calculados resulta una fuerza total de $765'6$ daN $+ 134'68$ daN $+ 10$ daN $= 2120'28$ daN.

Por otro lado el apartado 3.4 de la ITC-LAT-07 establece que el coeficiente de seguridad mecánica no será inferior a: $\frac{\text{Carga de rotura mínima garantizada}}{F_R} \geq 3$

Por lo que la carga mínima de rotura garantizada del aislador debe ser de:

Carga de rotura mínima garantizada $= 3 \cdot 2120'28 = 6360'84$ daN.

Por lo que el aislador deberá tener una carga de rotura de 70 kN.

- Cargas anormales: según el apartado 3.1.5.1 ITC-LAT-07 son la posible rotura del conductor, en cuyo caso la cadena pasará a trabajar en posición sensiblemente horizontal, trabajando por tanto como la cadena de amarre y en este caso no se debe producir la rotura

de la misma, ya que se podría producir un efecto dominó.
A tenor de lo dicho, se considerará el esfuerzo unitario correspondiente a la rotura de un solo conductor o cable de tierra. La fuerza resultante será por tanto como máximo igual a la carga de rotura del conductor dividido por el coeficiente de seguridad empleado.

$$F_R = \frac{C_R \text{ conductor}}{K_s}$$ (K_s el coeficiente de seguridad empleado, mínimo de 3)

$$F_R = \frac{8489}{3} = 2829'6 \text{ daN}$$

Por lo que si hemos optado por un aislador con carga de rotura de 70kN, el coeficiente de seguridad es de:

$$C_s = \frac{7000}{2829'6} = 2'47 < 3 \quad \text{Insuficiente}$$

Es por tanto necesario adoptar un aislador con mayor carga de rotura, tomamos el de 100kN y en este caso:

$$C_s = \frac{10000}{2829'6} = 3'53 > 3 \quad \text{Suficiente}$$

Por tanto para aisladores de suspensión el tipo a emplear es:

CS(100) XZ - 650/3920.

→ Cadenas de amarre y anclaje

- Cargas normales: son las que repercutidas sobre la cadena de aisladores que en este caso los conductores solo repercuten la mitad del vano más el esfuerzo que supone el tiro de conductores al ser cadena de amarre o anclaje:

→ Peso de una fase duplex: $2\left(\frac{400}{2} \cdot 0'957\right) = 382'8$ daN //

→ Peso por sobrecarga del manguito de hielo: $2 \cdot 0'36 \cdot \sqrt{21'8} \cdot \frac{400}{2}$

→ Peso de herrajes: 10 daN //

672'34 daN //

Por lo que el total de cargas verticales que gravitan sobre el aislador es de 1065'14 daN.
Pero además el aislador debe soportar la tracción que definen los conductores de la línea y esta representada la situación más desfavorable, tenemos por tanto.

→ Esfuerzo de tracción por tiro de los conductores:

El esfuerzo de tracción por tiro de los conductores

$$2 \cdot F_{max} = 2 \cdot \frac{CR\ conductor}{Cs} = 2 \cdot \frac{8489}{3} = 5659'33\ daN$$

El peso de conductores y el tiro de estos, están en cadratura, por tanto la resultante de los esfuerzos es de: Esfuerzo resultante $= \sqrt{1065'14^2 + 5659'33^2}$

Esfuerzo resultante = 5758'69 daN

Por otro lado el apartado 3'4 de la ITC-LAT-07 establece que el coeficiente de seguridad mecánica no será inferior 3:

$$\frac{\text{Carga de rotura mínima garantizada}}{FR} \geq 3$$

Por lo que la carga mínima de rotura garantizada del aislador debe ser:

Carga de rotura mínima garantizada $= 3 \cdot 5758'69 = 17276'07$ daN

Por tanto el aislador a emplear deberá tener una carga de rotura superior a 172'76 kN es decir, la inmediata superior 210 kN según tabla 1.

Para esta cadena de aisladores como el esfuerzo mecánico es normalmente el esfuerzo que ejercen los conductores, es posible no considerar los pesos de los conductores y calcular los mismos, desde el punto de vista mecánico teniendo en cuenta exclusivamente el tiro de los mismos (los conductores).

- Cargas anormales: según el apartado 3.1-5-2 para apoyos de amarre y 3.1-5-3 para apoyos de anclaje del de la ITC-LAT-07 que representan el esfuerzo por la posible rotura del conductor.

Para esta línea doplex ambos apartados coinciden, puesto que para la cadena de amarre se considerará el esfuerzo unilateral correspondiente a la rotura de un solo conductor por fase, y para los aisladores de anclaje como es una línea con conductores en haces múltiples se considerará la rotura total de los conductores de un haz, aquellos con una tensión mecánica igual al 50% de la que le corresponda en la hipótesis que le considere. En resumen:

$F_R = \frac{C_R \text{ conductor}}{K_s}$ (K_s = coeficiente de seguridad empleado, mínimo de 3)

$F_R = \frac{8489}{3} = 2829'6 \text{ daN}$, la inmediata superior 3920 daN ...

Por tanto, para aisladores de amarre o de anclaje, el tipo a emplear es CS(210) XZ-650/3920

P7.9) Una línea de 20kV discurre por una zona cuya altitud es inferior a 500 m sobre el nivel del mar, siendo el conductor empleado el 47-AL1/8-ST1A (antiguo LA-56). Determinar para un vano regulador de 120 metros y admitiendo un coeficiente de seguridad a la rotura de 3

1) El parámetro de la curva de flecha mínima vertical:
2) El parámetro de la curva de flecha máxima vertical:

1) Se pretende determinar los valores de los parametros de flecha mínima y máxima vertical, para poder así dibujar la curva que describe el conductor en esas condiciones, sabiendo que la curva cumple la ecuación:

$$y_{f max} = \frac{x^2}{2 h_{f max}} = \frac{x^2}{\text{parametro } f_{max}} \qquad y_{f min} = \frac{x^2}{2 h_{f min}} = \frac{x^2}{\text{parametro } f_{min}}$$

$$h_{f max} = \frac{\left(\frac{a_T}{2}\right)^2}{2 f_{max}} \qquad h_{f min} = \frac{\left(\frac{a_T}{2}\right)^2}{2 f_{min}}$$

por lo que es necesario determinar las flechas mínimas y máximas verticales.

La flecha mínima se ocasiona para las siguientes condiciones:

→ temperatura más baja según zona y sin ningun tipo de sobrecarga, al estar en zona A será por tanto de -5°C.

Es necesario resolver la Ecuación de cambio de condiciones para estas condición final, es decir:

Partimos de un $C_s = 3$ tenemos.

$$T_1 = T_{-5+V} = \frac{C_R}{C_s \cdot S} = \frac{1629}{3 \cdot 54'6} = 9'945 \ daN/mm^2$$ ahora determinaremos W y m_1

$$W = \frac{P}{S} = \frac{0'18521}{54'6} = 3'3921 \cdot 10^{-3} \ daN/m \cdot mm^2$$

$d \geq 16$ mm → 60

$$m_1 = \frac{\sqrt{P^2 + (g \cdot d)^2}}{P} = \frac{\sqrt{0'18521^2 + \left(60 \cdot \frac{9'45}{1000}\right)^2}}{0'18521} = 3'22$$

$$A = -T_1 + E \cdot \alpha (\theta_2 - \theta_1) + \frac{E \cdot a_R^2}{24} \cdot \frac{m_1^2 W^2}{T_1^2}$$

$$A = -9'945 + 7900 \cdot 19'1 \cdot 10^{-6} \cdot (-5 - (-5)) + \frac{7900 \cdot 120^2}{24} \cdot \frac{(3'3921 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 3'22^2}{9'945^2} = -4'227$$

$$B = \frac{E\,dR^2}{24} W^2 \cdot M_2^2 = \frac{7900 \cdot 120^2}{24} (3'3921 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 1^2 = 54'54$$

de donde la ECC es de la forma $T_{-5}^2 (T_{-5} - 4'227) = 54'54$

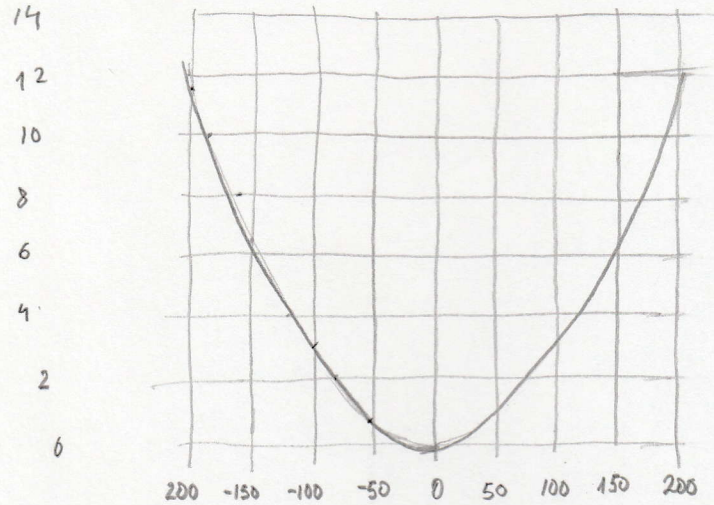
$T_{-5}^3 - 4'227 T_{-5}^2 - 54'54 = 0 \rightarrow T_{-5} = 5'831$ daN/mm² y la flecha para estas condiciones es de

$$f_{-5} = \frac{1}{8} \cdot \frac{dR^2 W M_2}{T_{-5}} = \frac{1}{8} \cdot \frac{120^2 \cdot 3'3921 \cdot 10^{-3} \cdot 1}{5'831} = 1'047 \text{ m}$$

de donde el parametro de flecha mínima vertical tiene por valor:

parametro $f_{min} = 2h f_{min} = \frac{\left(\frac{dR}{2}\right)^2}{f_{min}} = \frac{\left(\frac{120}{2}\right)^2}{2 \cdot 1'047} = \frac{120^2}{2 \cdot 2 \cdot 1'047} = 3437'98$ m

Con lo que la cota del conductor segun dicho parametro quedaria



Esta curva permitirá determinar si los apoyos están sometidos a tiro ascendente, sin mas que poner la cota por los apoyos anterior y posterior al que esta en estudio si la curva pasa por debajo del punto del engrape del conductor o por debajo del punto de pie de apoyo no existiría tiro vertical

2) Pretendemos determinar el parámetro flecha máxima vertical, para ello es necesario determinar la flecha máxima vertical y puesto que la linea transcurre por zona A (no existe hielo) la hipotesis será a 50°C de donde:

$$A = -T_1 + E \cdot \alpha (\theta_2 - \theta_1) + \frac{E \cdot dR}{24} \cdot \frac{M_2^2 \cdot W_1^2}{T_1^2}$$

$$A = -9'945 + 7900 \cdot 19'1 \cdot 10^{-6} (50 - (-5)) + \frac{7900 \cdot 120^2}{24} \cdot \frac{(3'3921 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 3'22^2}{9'945^2} = 4'07$$

$$B = \frac{E \cdot dR^2}{24} \cdot M_2^2 \cdot W^2 = \frac{7900 \cdot 120^2}{24} \cdot 1^2 \cdot (3'3921 \cdot 10^{-3})^2 = 54'54$$

de donde la ECC es de la forma $T_{50}^2 (T_{50} + 4'07) = 54'54$

$T_{50}^3 + 4'07 T_{50}^2 - 54'54 = 0$ — $T_{50} = 2'814$ daN/mm²

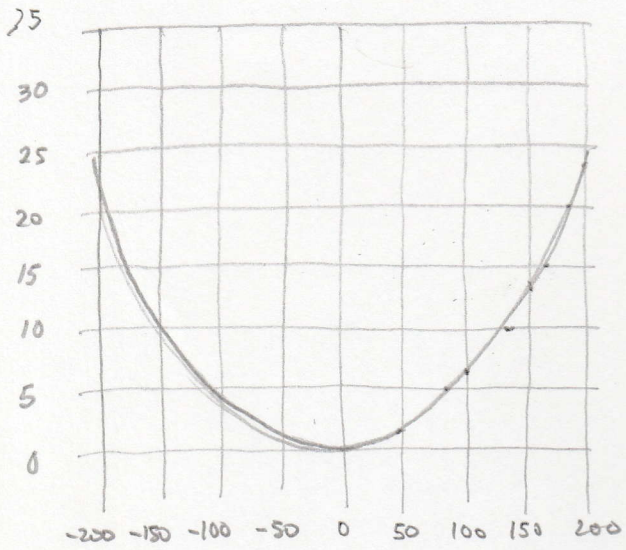
Y la flecha para estas condiciones es de

$$f_{50} = \frac{1}{8} \cdot \frac{a_R^2 \cdot w \cdot m_z}{T_{50}} = \frac{1}{8} \cdot \frac{120^2 \cdot 3'3921 \cdot 10^{-3} \cdot 1}{2'814} = 2'169 \text{ m}$$

de donde el parámetro de flecha máxima vertical tiene por valor.

$$\text{parámetro } f_{max} = 2h f_{max} = \frac{\left(\frac{a_T}{2}\right)^2}{f_{max}} = \frac{120^2}{4 \cdot 2'169} = 1659'75 \text{ m}$$

Con lo que la cura queda bajo la hipótesis de flecha máxima:



Esta cura nos permite determinar los puntos de pie de apoyo de línea.

P 7.13) Un tramo de una línea aérea de 20 kV que discurre por una zona cuya ~~longitud~~ altitud sobre el nivel del mar es de 850 metros, presenta un vano regulador de 150 metros y en dicho tramo existe un vano de 210 m. Sabiendo que la distancia entre conductores es de 1'83 m, que la longitud de cadena de aisladores de suspensión es de 0'38 m y que el conductor empleado es el denominado 47-AL1/8-ST-1A (antiguo LA-56). Determinar admitiendo un coeficiente de seguridad para el cable de 3:

1º) La flechas máximas para el vano regulador.
2º) El vano máximo admisible en el tramo, comprobando la idoneidad del vano de 210 metros:

Características del cable: Sección total (S) = 54'6 mm²
Diámetro total (d) = 9'45 mm
Masa por longitud (p) = 188'8 kg/km
Resistencia a la tracción (C_R) = 16'29 kN
Coeficiente de dilatación lineal $\alpha = 1'91 \cdot 10^{-5}\ °C^{-1}$
Módulo elástico (E) = 79000 N/mm²

siendo el peso $p = m \cdot g \rightarrow p = 0'1888\ kg/m \cdot 0'981\ daN = 0'185213\ daN/m$

Y el peso específico $w = \frac{p}{S} \rightarrow w = \frac{0'185213\ daN/m}{54'6\ mm^2} = 3'392176 \cdot 10^{-3}\ daN/m \cdot mm^2$

La carga de rotura $C_R = 16'29\ kN \rightarrow$ pasamos a decanewtons $\times 100 \rightarrow$

$C_R = 1629\ daN$.

Para poder resolver la ecuación de cambio de condiciones necesitamos por último definir las tensiones iniciales a T_1, según 3.2.1 ITC-LAT-07 donde establece la tensión o tracción máxima de los conductores para alambres, vamos a comprobar si cumple con un $C_s = 3$ a 15°C

$$T_1 \leq T_{max} = \frac{\frac{C_R}{S}}{3} \rightarrow T_1 = \frac{\frac{1629}{54'6}}{3} = 9'945\ daN/mm^2$$

Nos vamos a la ecuación de cambio de condiciones $T_2^2(T_2 + A) = B$ donde

$$A = -T_1 + E \cdot \alpha \cdot (\theta_2 - \theta_1) + \frac{E \cdot d_R^2}{24} \cdot \frac{m_1^2 \cdot w^2}{T_1^2} \qquad \theta_2 = -15°C \text{ por ser zona B}$$

$$B = \frac{E \cdot d_R^2}{24} \cdot m_2^2 \cdot w^2$$

Resolvemos m_1 donde en zona B según apartado 3.1.3

$$m_1 = \frac{0'18 \cdot \sqrt{d} + P}{P} \rightarrow m_1 = \frac{0'18 \cdot \sqrt{9'45} + 0'185213}{0'185213} = 3'987562112$$

$$A = -9'945 + 7900 \cdot 1'91 \cdot 10^{-5} \cdot (15 - (-15)) + \frac{7900 \cdot 150^2}{24} \cdot \frac{3'98756^2 \cdot (3'392176 \cdot 10^{-3})^2}{9'945^2} = 8'282944$$

$$B = \frac{7900 \cdot 150^2}{24} \cdot (3'392176 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 1^2 = 85'22266$$

$$T_2^2 (T_2 + 8'282944) = 85'22266 \rightarrow T_2^3 + 8'282944\, T_2^2 - 85'22266 = 0$$

$$T_2 = 2'776 \text{ daN/mm}^2$$

$$F_{15°C} = T_2 \cdot S \Rightarrow F_{15°C} = 2'776 \text{ daN/mm}^2 \cdot 54'6 \text{ mm}^2 = 151'5696 \text{ daN}$$

$$F_{15°C} \leq 0'15 \cdot C_R \rightarrow F_{15°C} \leq 0'15 \cdot 1629 = 244'35 \qquad 151'5696 \leq 244'35$$

SI CUMPLE TCA

Ahora comenzamos a calcular el tense para 15°C + Viento para la primera flecha. Donde aplicando los cambios de condiciones tendremos A, donde no varía absolutamente ninguna variable, y en B donde m_2 sera.

$$m_2 = \frac{\sqrt{P^2 + PV^2}}{P} = \frac{\sqrt{0'185213^2 + (60 \cdot 9'45 \cdot 10^{-3})^2}}{0'185213} = 3'220528$$

Calculando: $A = -9'945 + 7900 \cdot (1'91 \cdot 10^{-5}) \cdot (15 - (-15)) + \frac{7900 \cdot 150^2}{24} \cdot \frac{3'987562^2 \cdot (3'392176 \cdot 10^{-3})^2}{9'945^2}$

$$A = 8'282958$$

$$B = \frac{7900 \cdot 150^2}{24} \cdot 3'220528^2 \cdot (3'392176 \cdot 10^{-3})^2 = 883'91251$$

$$T_2^3 + 8'282958\, T_2^2 - 883'91251 = 0 \rightarrow T_2 = T_{15°C+V} = 7'4867428 \text{ daN/mm}^2$$

$$f_{max\,15°C+V} = \frac{1}{8} \cdot \frac{2R^2 \cdot W \cdot m_2}{T_{15°C+V}} = \frac{1}{8} \cdot \frac{150^2 \cdot (3'392176 \cdot 10^{-3}) \cdot 3'220528}{7'4867428} = 4'1039 \text{ m}$$

$f_{max\,15°C+V} = 4'1039$ m //

Ahora calculamos la flecha a 0°+Hielo : $\theta_2 = 0°$

$$A = -9'945 + 7900 \cdot (1'91 \cdot 10^{-5}) \cdot (0 - (-15)) + \frac{7900 \cdot 150^2}{24} \cdot \frac{3'987562^2 \cdot (3'392176 \cdot 10^{-3})^2}{9'945^2} = 6'019608$$

La B cambia, ya que m_2 es diferente.

$m_2 = \frac{p+h}{p} \rightarrow m_2 = \frac{0'18\sqrt{d}+p}{p}$ según el apartado 3.1.3 donde hielo (H)

$$m_2 = \frac{0'18\sqrt{9'45} + 0'185213}{0'185213} = 3'987562112$$

$$B = \frac{7900 \cdot 150^2}{24} \cdot (3'987562112)^2 \cdot (3'392176 \cdot 10^{-3})^2 = 1355'095939$$

$$T_2^2 [T_2 + 6'019608] = 1355'095939 \rightarrow T_2^3 + 6'019608 T_2^2 - 1355'095939 = 0$$

$T_2 = T_{0+H} = 9'3804528$ daN/mm² → la flecha es

$$f_{max\ 0+H} = \frac{1}{8} \cdot \frac{aR^2 \cdot W \cdot m_2}{T_{0+H}} = \frac{1}{8} \cdot \frac{150^2 \cdot (3'392176 \cdot 10^{-3}) \cdot 3'987562112}{9'3804528} = 4'055594\ m \sim 4'06\ m$$ //

Ahora calculamos la flecha a 50°C. $\theta_2 = 50°C$. siendo

$m_1 = 3'987562$ y $m_2 = 1$

$$A = -9'945 + 7900 \cdot 1'91 \cdot 10^{-5} \cdot (50 - (-15)) + \frac{7900 \cdot 150^2}{24} \cdot \frac{3'987562^2 \cdot (3'392176 \cdot 10^{-3})^2}{9'945^2} = 13'564108$$

$$B = \frac{7900 \cdot 150^2}{24} \cdot (3'392176 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 1^2 = 85'22266$$

$$T_2^2 [T_2 + 13'564108] = 85'22266 \rightarrow T_2^3 + 13'564108 T_2^2 - 85'22266 = 0$$

$T_{50} = 2'3165580$ daN/mm² → $f_{50} = \frac{1}{8} \cdot \frac{aR^2 \cdot W \cdot m_2}{T_{50}} =$

$$f_{50} = \frac{1}{8} \cdot \frac{150^2 \cdot (3'392176 \cdot 10^{-3}) \cdot (1)}{2'3165580} = 4'1183 \sim 4'12 \text{ metros}$$ //

2) El vano máximo admisible:

Para 15°C+V tenemos que el vano regulador es

$a_{max\ ADM} = a_R \cdot \sqrt{\frac{F_{max\ ADM}}{f_{max} \cdot a_R}}$, la flecha máxima admisible es

$F_{max\ ADM} = \left(\frac{D - K' \cdot D_{PP}}{K}\right)^2 - L$, siendo (D) = 1'85 (distancia entre conductores)

Siendo (K') = 0'75, un coeficiente que depende de la tensión nominal de la línea, y según el apartado 5.4.1 ITC-07 para líneas de 1°, 2° y 3° categoría

(Dpp) = 0'25 es la distancia mínima pared especificada, para prevenir una descarga disruptiva entre conductores de fase durante sobretensiones de frente. Los valores se indican en la ITC 5.2 (07) en función de la tensión más elevada, siendo según la tabla 15 del apartado 5.3 ITC-07 para $U_N = 20kV$ una $U_S = 24kV \Rightarrow Dpp = 0'25m$

(L) = 0'38 es la longitud de la cadena de aisladores.

(K) = 0'65 es el coeficiente que depende de la oscilación de los conductores con el viento, que se toma de la tabla 16 del apartado 5.4.1 ITC 07, donde se toma el coeficiente (K) en función del ángulo de oscilación, siendo calculado a su vez por $tg\beta = \frac{pv}{p}$ siendo pv la fuerza del viento y p es propio peso del conductor: $pv = q \cdot d \cdot a_V$ (q) = presión del viento = 60 kg que según la 3.1.2.1 ITC 07 para conductor $d \leq 16mm$ y hallándose simultáneamente para líneas de 1, 2, 3ª categoría según el apartado 3.1.2 ITC-LAT 07 a viento mínimo de referencia de 120 km/h.

$q = 60 \cdot \left(\frac{V_V}{120}\right)^2 = 60\left(\frac{120}{120}\right)^2$

$pv = 60 \cdot (9'45 \cdot 10^{-3}) \cdot 1m = 0'567$

$p = 0'1888\ kg/m \cdot 0'981\ daN = 0'185213\ daN/m$

donde $tg\beta = \frac{0'567}{0'185213} = 71'91°$ donde en la tabla 16 de la ITC-LAT 07 del apartado 5.4.1, se puede observar que

para líneas inferiores a 30kV tenemos un ángulo superior a 65°, por lo tanto $k=0'65$ ya que $71'91° > 65°$ U $U_N < 30\,kV$

Flecha máxima admisible: $f = \left(\frac{1'85 - 0'75 \cdot 0'25}{0'65}\right)^2 - 0'38 = 6'16179\,m$

Esta flecha es para viento, por lo tanto, podemos hallar el vano máximo admisible para -15°C + V, con los datos de las flechas calculadas en el apartado anterior.

$$a_{MAX\,ADM} = \sqrt{\frac{6'16179}{4'1039}} \cdot 150 = 183'80\,// = a_{MAX\,ADM}\sqrt{\frac{Flecha\ calcul}{f_{-15+V}}} \cdot a_R$$

El vano máximo admisible será el más bajo de las tres hipótesis, por lo tanto ya se puede decir que la idoneidad de un vano de 210 metros no cumple.

Ahora, no nos importa seguir y sacar la Flecha máxima admisible para las dos hipótesis restante 0+H y 50°C, que como no tienen sobrecarga por viento, la Flecha para ambas serán iguales.

Para la fórmula, la constante (k), se supone un viento muy bajo o nulo que generará oscilaciones muy bajas $\beta < 40° \rightarrow K = 0'55$

$$Flecha_{MAX\,ADM\,0+H\,\&\,50°C} = \left(\frac{1'85 - 0'75 \cdot 0'25}{0'55}\right)^2 - 0'38 = 8'75688\,m$$

El vano máximo admisible a 0+H será: $a_{max} = \sqrt{\frac{F_{0°+H\,\&\,50°C}}{f_{0°+V}}} \cdot a_R$

$$a_{MAX\,ADM\,0°+H} = \sqrt{\frac{8'75688}{4'06}} \cdot 150 = 220'2941\,m\,//$$

El vano máximo admisible a 50°C: $d_{max} = \sqrt{\frac{F_{0°+H\,\&\,50°C}}{f_{50°C}}} \cdot a_R$

$$a_{MAX\,ADM\,50°C} = \sqrt{\frac{8'75688}{4'1183}} \cdot 150 = 218'729\,m\,//$$

La idoneidad del vano sirve solo para las hipótesis sin sobrecarga por viento, pero, no cumpliendo una, deja de ser idóneo un vano de 210 metros // El vano máximo lo determina la hipótesis de viento //

P7.14) Un tramo de una línea aérea dúplex a 132 kV presenta tres apoyos, la distancia del apoyo "a" al "b" es de 304 metros y del "b" al "c" de 256 metros. Por otro lado el apoyo b está situado por debajo de los otros dos siendo la diferencia de alturas entre "a" y "b" de 27 metros, y entre "c" y "b" 34 metros. Sabiendo que el conductor utilizado en la línea es el designado como 242-AL1/39 ST1A (LA-280 Hawk) y que la línea discurre por una zona cuya altitud sobre el nivel del mar está a 1200 metros, que para el tendido de la misma se ha utilizado un coeficiente de seguridad 3, y que el tramo en el que se han situado estos apoyos ~~discurre~~ tiene un vano regulador de 250 m. Determinar:

1) La fuerza ascendente sobre la cadena de aisladores del apoyo "b" en la situación más desfavorable.

2) Sabiendo que para el apoyo empleado, el ángulo máximo de desvío transversal a línea de la cadena de aisladores es de 45°, que el peso de la cadena de aisladores y herrajes es de 55 kg, siendo la longitud de la misma de 2 metros y el diámetro máximo del aislador es de 0'254 m, determinar el contrapeso necesario:

1°) Para determinar el posible tiro vertical, es necesario calcular el peso repercutido por los conductores sobre la cadena de aisladores, y en el caso de que este peso sea negativo, se produce una fuerza ascendente y el fenómeno de "volteo de cadenas".

La expresión que determina el posible tiro vertical es:

$$P_c = p \cdot a_v + F_\theta \left(\frac{h_0 - h_1}{a_1} + \frac{h_0 - h_2}{a_2} \right) \text{ daN}$$, pero al ser línea dúplex, será multiplicado por 2.

Al ser zona C, puesto que la altitud es superior a 1000 metros: $\theta = -20°C$

$$P_c = 2 \cdot \left[p \cdot a_v + F_{-20°C} \left(\frac{h_0 - h_1}{a_1} + \frac{h_0 - h_2}{a_2} \right) \right]$$

Será necesario pues calcular la $F_{-20°C}$:

Por medio de la Ecuación de cambio de condiciones partiendo de las sobrecargas iniciales: $T_{-20}^2 [T_{-20} + A] = B$

$$T_1 = T_{-20°C+H} = \frac{C_R}{C_S \cdot S} = \frac{8489}{3 \cdot 281'1} = 10'0664 \text{ daN/mm}^2$$ Al ser zona C

$$W = \frac{P}{S} = \frac{0'95765}{281'1} = 3'406 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m·mm}^2 \qquad m_1 = \frac{P + 0'36\sqrt{d}}{P} = \frac{0'95765 + 0'36\sqrt{21'8}}{0'95765} = 2'755$$

Por lo que ya estamos en disposición de calcular las constantes de la ECC

$$A = -T_1 + E \cdot \alpha (\theta_2 - \theta_1) + \frac{E \cdot \partial R^2}{24} \cdot \frac{m_1^2 \cdot W^2}{T_1^2}$$

$$A = -10'0664 + 7500 \cdot 18'9 \cdot 10^{-6} (-20 - (-20)) + \frac{7500 \cdot 250^2}{24} \cdot \frac{2'755^2 \cdot (3'406 \cdot 10^{-3})^2}{10'066^2} = 6'9$$

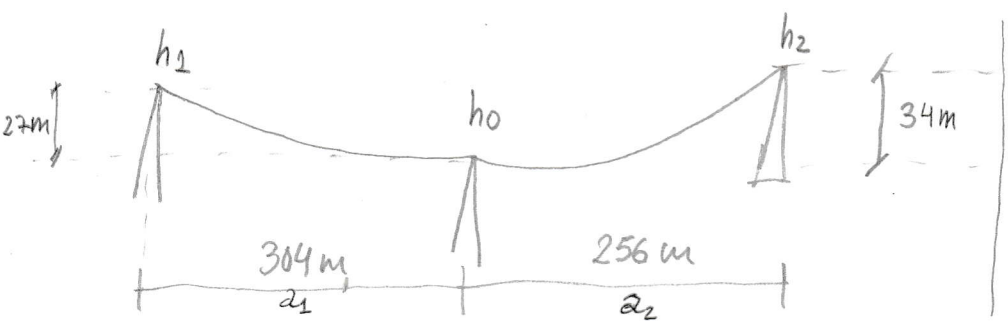
$$B = \frac{E \cdot \partial R^2}{24} \cdot m_2^2 \cdot W^2 \rightarrow B = \frac{7500 \cdot 250^2}{24} \cdot (3'406 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 1^2 = 226'57$$

De donde $T_{20}^2 [T_{-20} + 6'9] = 226'57 \rightarrow T_{-20}^3 + 6'9\, T_{-20}^2 - 226'57 = 0$

$T_{-20} = 4'465$ daN/mm² y por tanto la fuerza $F_{-20} = T_{-20} \cdot S$

$$F_{-20} = 4'465 \cdot 281'1 = 1255'1115 \text{ daN} //$$

Por otro lado y sin mas dilación: $h_0 - h_1$ es la diferencia de altura entre el apoyo a y b y $h_0 - h_2$ la diferencia entre c y b siendo sustituido.



(dV) colocamos, siendo de media aritmética de los dos vanos. a_1 y a_2

$h_0 - h_1 \approx 0 - 27 = -27$

$h_0 - h_2 = 0 - 34 = -34$

$$P_c = 2 \cdot \left[0'95765 \cdot \frac{304 + 256}{2} + 1255'1115 \left(\frac{-27}{304} + \frac{-34}{256} \right) \right] = -20'05 \text{ daN}$$

Existe tiro vertical, y posible volteo de cadenas:

2) Sabemos que el desvío de cadenas está determinado por la expresión

$$tg\,\delta = \frac{2\cdot F_{\theta+\frac{V}{2}}\cdot \operatorname{sen}\frac{\alpha}{2} + \frac{q}{2}\,d\,a_V\cdot\cos\frac{\alpha}{2} + \frac{Q_V}{2}}{p\cdot a_V + F_{\theta+\frac{V}{2}}\cdot\left(\frac{h_0-h_1}{a_1}+\frac{h_0-h_2}{a_2}\right)+\frac{Q}{2}+C}$$

C = contrapesos

Hay que determinar los términos que intervienen en la expresión anterior, la fuerza por estar en zona C será -15°C con sobrecarga de viento mitad

$$m_2 = m_{-15°C+\frac{V}{2}} = \frac{\sqrt{p^2+pv^2}}{p} = \frac{\sqrt{p^2+\left(\left(\frac{q}{2}\right)\cdot d^2\cdot a_V\right)^2}}{p} = \frac{\sqrt{0'95765^2+\left(\frac{50}{2}\cdot 0'0218\cdot 1\right)^2}}{0'95765}$$

$d \geq 16\,mm^2 \rightarrow q = 50\cdot\left(\frac{Vv}{120}\right)^2 = 50$ (d) diámetro en metros

$Vv = 120\,km/h$ (a_V) = coloramo = 1

$\Rightarrow m_2 = 1'15$

$$\rightarrow A = -10'066 + 7500\cdot 18'9\cdot 10^{-6}(-15-(-20)) + \frac{7500\cdot 250^2}{24}\cdot\frac{(3'406\cdot 10^{-3})^2\cdot 2'755^2}{10'066}$$

$$A = 7'608 \qquad B = \frac{E\cdot a_R^2}{24}\cdot m_2^2\cdot W^2 = \frac{7500\cdot 250^2}{24}\cdot(3'406\cdot 10^{-3})^2\cdot 1'15^2 = 299'63$$

$$T^2_{-15°C+\frac{V}{2}}\left[T_{-15°C+\frac{V}{2}}+7'608\right] = 299'63 \rightarrow T^3_{-15°C+\frac{V}{2}} + 7'608\,T^2_{-15°C+\frac{V}{2}} - 299'63 = 0$$

$T_{-15°C+\frac{V}{2}} = 4'895\ daN/mm^2$ y la fuerza en estas condiciones $F_{-15+\frac{V}{2}} = T_{-15°C+\frac{V}{2}}\cdot S$

$F_{-15°C+\frac{V}{2}} = 4'895\cdot 281'1 = 1375'9845\ daN$

Hay que calcular la fuerza que ejerce el viento sobre la cadena de aisladores, que es una superficie cilíndrica, por tanto el Reglamento de Alta Tensión establece en el apartado 3.1.2.5 de la ITC-LAT 07 una sobrecarga de 70 daN/m² para una velocidad de viento de 120 km/h como consideramos esa presión de viento mitad para el desvío de cadenas se toma un valor de 35 daN/m². En primera aproximación para determinar la superficie ofrecida al viento tomamos:

$S_{Aislador} = \text{Diámetro campana}\cdot\lambda = 2\cdot 0'254 = 0'508\ m^2$

$Q_V = 35\,daN/m^2\cdot 0'508\,m^2 = 17'78\,daN$

$\alpha = 0°$ no hay apoyos en ángulo

$\delta = 45°$ Máximo desvío transversal (anunciado).

$Q = 55\,kg\cdot 0'981\,daN = 53'955\,daN$ (Peso de herrajes)

colorano = (av) media aritmetica de ramos

0 - (27)

$$tg\,45° = \frac{2 \cdot 1375'9845 \cdot \cancel{\operatorname{sen}\frac{0°}{2}}^{\,0} + \frac{50}{2} \cdot 0'0218 \cdot \frac{304+256}{2} \cdot \cos\frac{0°}{2} + \frac{17'78}{2}}{2 \cdot 0'95765 \cdot \frac{304+256}{2} + 1375'9845 \cdot \left(\frac{-27}{304} + \frac{-34}{256}\right) + \frac{53'955}{2} + \text{Contrapeso}}$$

línea dúplex

$$tg\,45 = \frac{161'49}{258' + C}$$

$$C = \frac{161'49}{-tg\,8} - 28$$

$$1 = \frac{\frac{50}{2} \cdot 0'0218 \cdot 280 \cdot 1 + \frac{17'78}{2}}{258'3044089 + C} \rightarrow 1 = \frac{161'49}{258'3044089 + C}$$

$$C = \frac{161'49}{-tg\,45°} - 258'3044089 = -96'87 \quad 96'81 \text{ daN}$$

P 7.16) Una línea aérea de 20kV, está constituida por medio de cables de aluminio-acero con designación 94-AL1/22ST-1A (antiguo LA-110) y discurre por zona B, en tramo de la misma definido por dos apoyos de anclaje presenta un vano de regulación de 100m. Resto de dicho tramo se considera como más desfavorable, un apoyo de alineación cuyos vanos contiguos son de 120m y 130m estando los apoyos adyacentes situados por debajo del mismo 10m y 15m respectivamente.

Admitiendo unos esfuerzos en los conductores de $F_{-15+H} = 1268$ daN y $F_{-10+V} = 1153$ daN, sabiendo que el peso de cruceta es de 150 daN, que el viento ejerce una fuerza sobre la cruceta de 18 daN aplicados a 0'75m sobre la cogolla del apoyo, que el peso de cada cadena de aisladores es de 2 daN y el viento ejerce una fuerza de 1 daN sobre ~~cadena~~ cada cadena. Determinar los esfuerzos resultante sobre el apoyo, y el apoyo de chapa metálica a emplear sabiendo que los puntos de aplicación de los esfuerzos conductor estén aplicados a 1'02m y 1'34 metros sobre la cogolla del apoyo

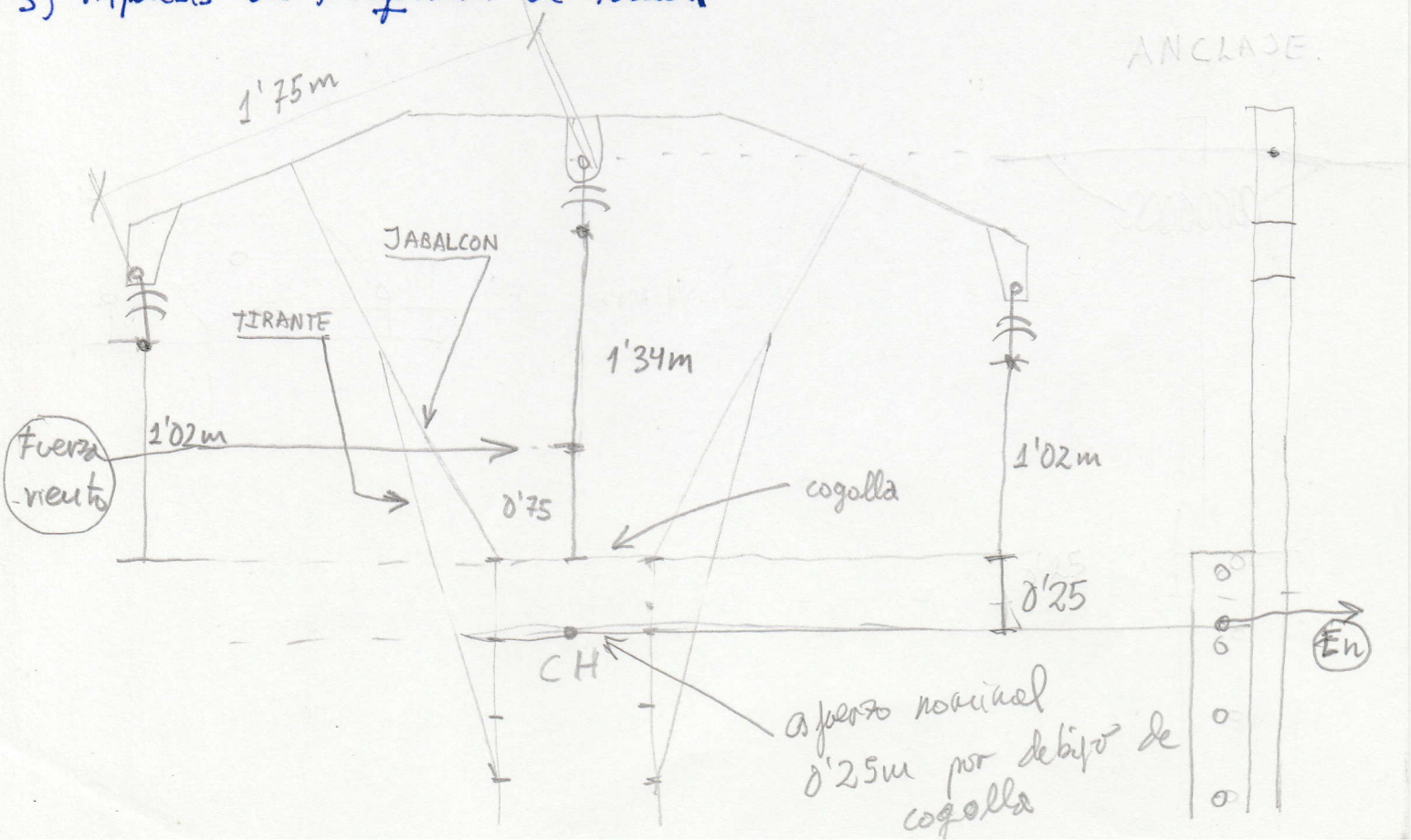
cruceta

BP-175 Bóveda plana

1) Hipótesis de viento:

2) Hipótesis de hielo:

3) Hipótesis de Desequilibrio de tracción:



Se pide calcular los esfuerzos que debe soportar un apoyo de alineación, del tipo de chapa metálica según las distintas hipótesis según la tabla 7 de la ITC-LAT 07, resulta:

DATOS DEL CONDUCTOR

$S = 116'2 mm^2$ $d = 14 m$

$M = 432 kg/Km$

1ª) HIPOTESIS DE VIENTO:

- 1.1 Cargas permanentes Verticales: (V)

a) Peso de Conductores

$$P_C = n \cdot p \left[\frac{a_1 + a_2}{2} + \frac{F_{-10+V}}{P'_V} \left(\frac{h_0 - h_1}{a_1} + \frac{h_0 - h_2}{a_2} \right) \right]$$

$p = 0'432 \cdot 0'981 = 0'423792$ daN // $P'_V = \sqrt{p^2 + pv^2} \rightarrow P'_V = \sqrt{p^2 + (q \cdot d \cdot dv)^2}$

$q = 60$ $d \leq 16 mm$

$P'_V = \sqrt{0'423792^2 + (60 \cdot 0'014 \cdot 1)^2} = 0'94085$ daN //

Aplicamos:

$$P_C = 3 \cdot 0'423792 \left[\frac{120+130}{2} + \frac{1153}{0'94085} \cdot \left(\frac{10}{120} + \frac{15}{130} \right) \right] = 469 \text{ daN} //$$

b) Peso de aisladores

$P_{ais\,tot} = n \cdot P_{ais} \rightarrow P_{ais\,tot} = 3 \cdot 2 = 6$ daN //

c) Peso de cruceta = 150 daN //

$$\begin{array}{r} 469 \\ 6 \\ +\ 150 \\ \hline \end{array}$$

→ • TOTAL 1.1 CARGAS PERMANENTES = 625 daN //

- 1.2 Esfuerzo del viento normal a la línea (T) Transversal:

a) Sobre conductores:

Los esfuerzos del viento sobre conductores por fase tienen por valor

$$F_{cond} = \frac{a_1 + a_2}{2} \cdot d \cdot q = \frac{120+130}{2} \cdot 0'014 \cdot 60 = 105 \text{ daN}$$

Puesto que estos esfuerzos están aplicados en puntos distintos es preciso calcular el factor de anuido de cada uno de ellos, teniendo en cuenta que se emplea

Un apoyo del tipo CH, donde los esfuerzos están producidos por encima de cogolla de apoyo. Tenemos, para este tipo de apoyos los esfuerzos están definidos 0'25m por debajo de cogolla

$$K_1 = \frac{4'6 + 0'25 + H_5}{4'6} = \frac{4'85 + H_5}{4'6}$$

¿Por qué se suma?

$$K_{11} = K_{13} = \frac{4'85 + H_5}{4'6} = \frac{4'85 + 1'02}{4'6} = 1'276$$

$$K_{12} = \frac{4'85 + H_5}{4'6} = \frac{4'85 + 1'34}{4'6} = 1'345$$

Por lo que aplicando el factor de arnado sobre cada uno de los conductores de la línea:

$$F_A = \frac{d_1 + d_2}{2} \cdot d \cdot q \left(K_{11} + K_{12} + K_{13}\right) =$$

$$F_T = \frac{120 + 130}{2} \cdot 0'014 \cdot 60 \cdot \left(1'276 + 1'345 + 1'276\right) = 409'185 \text{ daN} //$$

b) Sobre aisladores

$$F_{ais} = q \cdot n_{Aisladores/cadena} \cdot A_{isblador} \cdot \left(K_{11} + K_{12} + K_{13}\right) \rightsquigarrow F_{ais} = 1 \text{ daN} \cdot \left(1'276 + 1'345 + 1'276\right)$$

(Enunciado) ... y el viento ejerce una fuerza de 1 daN sobre cada cadena de aisladores ...

$F_{ais} = 3'897$ daN //

c) Sobre cruceta:

A la hora de considerar la acción del viento sobre la cruceta y definir el factor de arnado de esta fuerza, se supone que el esfuerzo generado, está aplicado en el punto medio de la cruceta, por lo que la altura de aplicación de este esfuerzo es:

$$0'75 = H_5 = \frac{\text{Altura cruceta}}{2} \quad \text{(Enunciado) ... fuerza viento aplicados a 0'75m sobre ...}$$

A partir de esta expresión es fácilmente deducible el factor de arnado de esta fuerza según el tipo de apoyo empleado.

$$K_{VIENTO\ CRUCETA} = \frac{4'85 + H_5}{4'6}$$

$K_{VIENTO\ CRUCETA} = \frac{4'6 + 0'25 + H_5/2}{4'6} = \frac{4'85 + 0'75}{4'6} = 1'217$

Por lo que el viento ejerce una fuerza sobre la cruceta y referida a cogolla de valor.

(Enunciado)... el viento ejerce una fuerza sobre la cruceta de 18 daN ...

$F_{V\,cruceta} = 18\ daN \cdot 1'217 = 21'91\ daN$ //

$$\begin{array}{r} 409'185 \\ 3'897 \\ +\ 21'91 \\ \hline 434'992\ daN \end{array}$$

→ • TOTAL 1.2 Esfuerzos producidos por el viento 434'992 daN //

2º) HIPOTESIS DE HIELO:

Esta hipótesis se contempla al estar la línea en zona B:

• 2.1 Cargas permanentes Verticales + sobrecarga de hielo (V)

a) Peso de conductores:

$$P_C = n \cdot \left[P'_H \cdot \frac{a_1 + a_2}{2} + F_H \left(\frac{h_0 - h_1}{a_1} + \frac{h_0 - h_2}{a_2} \right) \right]$$

$F_H = F_{-15ºC+H} = 1268\ daN$

$P'_H = p + 0'18 \cdot \sqrt{d} \rightarrow P'_H = 0'423792 + 0'18 \cdot \sqrt{14} = 1'097\ daN/m$ de donde:

$$P_C = 3 \cdot \left[1'097 \cdot \frac{120 + 130}{2} + 1268 \cdot \left(\frac{10}{120} + \frac{15}{130} \right) \right] = 1167'298\ daN$$ //

b) Peso de aisladores

$P_{aislot} = n_{ais} \cdot P_{aisla} \Rightarrow P_{aislot} = 3 \cdot 2 = 6\ daN$ //

c) Peso de cruceta: 150 daN //

$$\begin{array}{r} 1167'298 \\ 6 \\ +\ 150 \\ \hline \end{array}$$

→ • 2.1 TOTAL Cargas permanentes (V) = 1323'29 daN //

3º) HIPOTESIS, DESEQUILIBRIO DE TRACCIONES

→ • 3.1 Cargas permanentes Verticales: (V)

Igual que en la 2ª hipotesis de hielo es decir 1323'29 daN //

→ • 3.2 Desequilibrio de tracciones: (L)

En sentido longitudinal L y por tanto el desequilibrio de tracciones para un apoyo de alineación y ángulo, por ser el caso mas general, tiene por valor

$$F_L = \frac{8}{100} \cdot F_M \cdot \cos\frac{\alpha}{2} \xrightarrow{\alpha = 0^\circ,\ \cos\frac{\alpha}{2} = 1} F_L = \frac{8}{100} \cdot F_{15ºC+H} \rightarrow F_L = \frac{8}{100} \cdot 1268 = 101'44 \text{ daN}$$

Para determinar una fuerza equivalente que tenga en cuenta la suma de esfuerzos que producen los desequilibrios en los conductores, aplicaremos el factor de amarre:

$$F_{amd} = F_L \cdot (K_{11} + K_{12} + K_{13}) \rightarrow F_{amd} = 101'44\,(1'276 + 1'345 + 1'276) = 395'31 \text{ daN}$$

→ • 3.2 TOTAL Desequilibrio de tracciones (L) 395'31 daN //

4º) HIPOTESIS Rotura de conductores.

No se considera este esfuerzo en las líneas de tensión nominal hasta 66kV, en los apoyos de alineación y de ángulo con cadenas de suspensión y amarre con conductores de carga mínima de rotura inferior a 6600 daN, cuando en la línea se verifiquen simultáneamente las siguientes condiciones

→ a) que los conductores y cables de tierra tengan un coeficiente de seguridad igual a 3 como mínimo.

→ b) que el coeficiente de seguridad de los apoyos y cimentaciones en la hipótesis tercera sea el correspondiente a las hipotesis normales.

→ c) Que se instalen apoyos de anclaje cada 3 kilometros como máximo

A partir de los valores calculados estamos en disposición de elegir el tipo de apoyo, según el resumen.

	(V)	(L)	(T)
HIPOTESIS	Esfuerzo Vertical	Esfuerzo Longitudinal	Esfuerzo Transversal
1ª VIENTO	625	—	434'99
2ª HIELO	1323'29	—	—
3ª DESEQUILIBRIO	1323'29	395'31	—

Con estos valores calculados, en virtud de los esfuerzos que nos define la norma UNE 207018:2006, según el tipo de apoyo a adoptar:

Poligonal regular y Circular o de sección rectangular.

Referenciado en la tabla 1 (Apoyos de sección poligonal regular y circular.)

Según los esfuerzos verticales, la inmediata superior son 1750 daN, teniendo consigo una carga nominal de 1000 daN, superando también el esfuerzo transversal. 1750 > 1323'29 CUMPLE

En la tabla 2 (Apoyos de sección rectangular):

Segun los esfuerzos verticales, la carga P que es transversal de 1250 daN segun los esfuerzos verticales, la inmediata superior es 1650 daN. por lo tanto, la carga nominal es 1250 daN. 1650 > 1323'29 CUMPLE

En la tabla 3 (Apoyos de sección rectangular)

Comprobamos que para la carga nominal de 1250 daN, la carga S que es longitudinal de 625 daN es superior a los esfuerzos longitudinales del apoyo 625 > 395'31 CUMPLE

En resumen, si el apoyo es octogonal, cumplirá con un CH-OC-1000
si el apoyo es rectangular CH-RC-1250

P 7.17 Una línea aérea de 20kV y discurre por zona A y se ha empleado el conductor 47-AL1/8-ST1A (antiguo LA-56). Los vanos contiguos a un apoyo de anclaje-ángulo tienen un valor de 100m y 110m estando situados al mismo nivel que los apoyos adyacentes y siendo el ángulo de desvío de la traza de la línea 20°. Sabiendo que los vanos de regulación de los conductores adyacentes son de 120m, que se han utilizado cadenas de aisladores de vidrio con dos aisladores por cadena y que para toda la línea se ha empleado un factor reducido con un coeficiente de seguridad de 4, siendo la cruceta empleada del tipo bóveda plana como la de la figura con designación BC 1-15 siendo su brazo de cruceta de d=1'5m. por otro lado la distancia "b" tiene por valor b=1'5m. Determinar:

1) los esfuerzos en el apoyo según la 1ª hipótesis
2) los esfuerzos en el apoyo según la 3ª hipótesis
3) los esfuerzos en el apoyo según la 4ª hipótesis
4) El tipo de apoyo de celosía a emplear

¿Peso aislador con sobrecarga de viento 3'5 daN?

¿Fv sobre cruceta? 91 daN?

En este problema determinamos los esfuerzos que resultan en un apoyo de anclaje-angulo según las distintas hipótesis recogidas en la tabla 6 de la ITC-LAT 07, así resulta.

1) HIPOTESIS VIENTO

No hay desnivel

1.1 Cargas permanentes Verticales (V):

a) Peso de conductores: $P_C = n \cdot p \left[\frac{a_1+a_2}{2} + \frac{F_{o+V}}{P_V'} \left(\frac{h_o-h_1}{a_1} + \frac{h_o-h_2}{a_2} \right) \right]$

$P_C = 3 \cdot 0'18521 \cdot \frac{100+110}{2} = 58'34$ daN

b) Peso de aisladores: $P_{ais} = n_{cond} \cdot n_{ais/cadena} \cdot P_{ais}$

$P_{ais} = 6 \cdot 2 \cdot 3'5 = 42$ daN

c) Peso de cruceta: 250 daN

$58'34 + 42 + 250 = 350'34$ daN

→ • TOTAL 1.1 Cargas permanentes

- 1.2 Esfuerzo del viento normal a la línea o en la dirección de la bisectriz del ángulo interno de la línea (T).

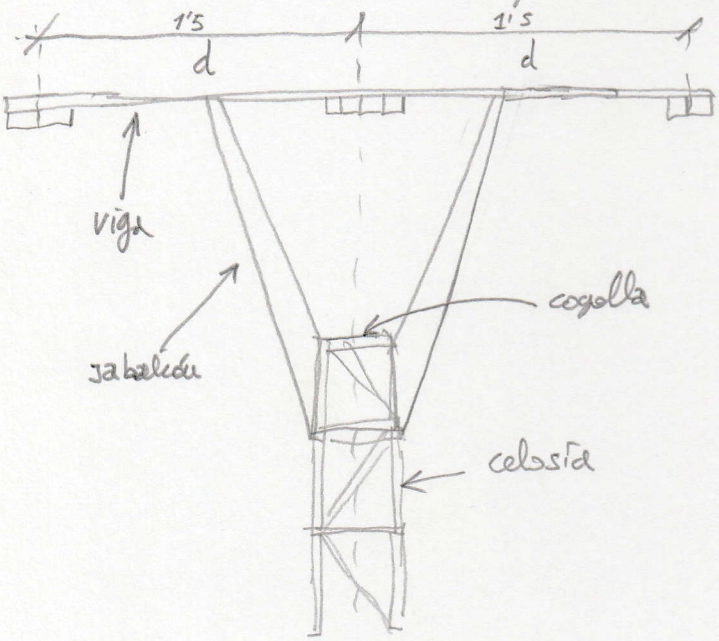
a) Sobre conductores

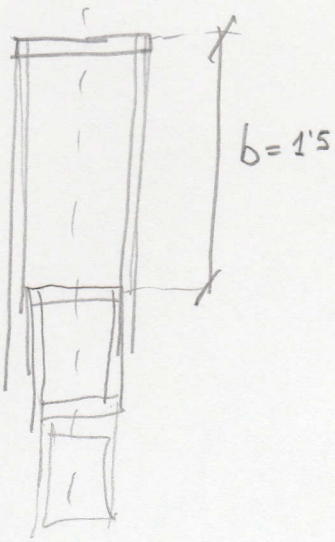
Los esfuerzos del viento sobre conductores por fase tienen por valor

$$F_{cond} = \frac{d_1+d_2}{2} \cdot d \cdot q \cdot \cos\frac{\beta}{2} \rightarrow \text{siendo } \beta = 20° \quad q = 60 \text{ por ser } d \leq 16\,mm$$

$$F_{cond} = \frac{100+110}{2} \cdot 0'00945 \cdot 60 \cdot \cos\frac{20°}{2} = 58'63 \text{ daN}$$

Es necesario determinar el factor de anudo de cada uno de los conductores de la línea y se sabe que para este tipo de anclaje, los conductores están sujetos a 1'5m por encima de cogolla de apoyo de donde:





$$K = \frac{4'6+H_5}{4'6} = \frac{4'6+1'5}{4'6} = 1'326$$

de donde para el conjunto de los conductores resulta un esfuerzo transversal a línea de valor:

$$F_T = F_{cond} \cdot (K_{11}+K_{12}+K_{13}) \rightarrow F_T = 58'63 \cdot (1'326+1'326+1'326) = 233'24 \text{ daN}$$

b) Sobre aisladores:

$$F_{tot\,ais} = q \cdot n^{o}\,is/cad \cdot A_{isl} \cdot (K_{11}+K_{12}+K_{13})$$

$$F_{tot\,ais} = 2 \cdot 2 \cdot 1 \cdot (1'326+1'326+1'326) = 15'912 \text{ daN}$$

c) Sobre cruceta: el viento ejerce sobre esta cruceta una fuerza de 91 daN aplicada a la mitad de la altura de la cruceta, por lo que el esfuerzo equivalente en cogolla será de:

$$H_5 = \frac{\text{Altura de la cruceta}}{2} = \frac{1'5}{2} = 0'75$$

$$K_{VIENTO\ CRUCETA} = \frac{4'6 + H_5}{4'6} = \frac{4'6 + 0'75}{4'6} = 1'16304$$

$$F_{V\,CRUCETA} = F_V \cdot K_V \rightarrow F_{V\,CRUCETA} = 91\ daN \cdot 1'16304 = 105'837\ daN //$$

d) Resultante de ángulo: la resultante de ángulo por fase o conductor tiene por valor:

$$R_{Tf} = 2 \cdot F_{-5ºC+V} \cdot \operatorname{sen}\frac{\beta}{2}$$

es preciso calcular la fuerza a -5ºC con sobrecarga de viento a partir del coeficiente de seguridad empleado, de donde:

$$F_{-5ºC+V} = \frac{CR}{K_S} = \frac{1629}{4} = 407'25\ daN$$

por lo que resulta en valor la resultante de ángulo

$$R_{Tf} = 2 \cdot 407'25 \cdot \operatorname{sen}\frac{20^\circ}{2} = 141'43\ daN //$$

por lo que aplicando el factor de amarre sobre la resultante ángulo de cada fase o conductor.

$$R_T = R_{Tf} \cdot (K_{11} + K_{12} + K_{13}) \Rightarrow R_T = 141'43 \cdot (1'326 + 1'326 + 1'326) = 562'63\ daN$$

→ TOTAL 1.2 Esfuerzos producidos por el viento más resultante de ángulo (T).

917'61 daN

233'24
15'912
105'837
562'63
+
917'61 daN //

- Esfuerzos del viento más la resultante de ángulo, en la UNE 207017:2010 son los siguiente en la tabla 2, la curvida resistente K = 5

$$T = V + K \cdot H \rightarrow T = 350'34 + 5 \cdot 917'61 = 4938'4\ daN //$$

C-1000 ✓

2) HIPOTESIS 3ª Desequilibrio de tracciones:

- 3.1 Cargas permanentes verticales (V) = 350'34 daN (Calculado en el 1º apartado)

- 3.2. Desequilibrio de tracciones (L y T):

En sentido longitudinal (L) y por fase el desequilibrio de tracciones para un apoyo de anclaje-ángulo, tiene por valor:

$$F_L = \frac{50}{100} \cdot F_M \cdot \cos\frac{\beta}{2} \Rightarrow F_L = \frac{50}{100} \cdot F_{-5ºC+V} \cdot \cos\frac{\beta}{2} \rightarrow F_L = \frac{50}{100} \cdot 407'25 \cdot \cos\frac{20^\circ}{2}$$

$F_L = 200'53$ daN //

Según el apartado 3.1.4.3 de la ITC-LAT-07 se considerará un esfuerzo equivalente del 50% de los tracciones unilaterales de los conductores y cables de tierra, pero en los apoyos de anclaje con ángulo se valorará el esfuerzo de ángulo creado por esta circunstancia, y este es nuestro caso. Por lo que el esfuerzo transversal (T) es de:

$$F_T = 1'5 \cdot F_{-5+V} \cdot \operatorname{sen}\frac{\beta}{2} \rightarrow F_T = 1'5 \cdot 407'25 \cdot \operatorname{sen}\frac{20^\circ}{2} = 106'08 \text{ (daN)} //$$

La resultante del desequilibrio será por tanto:

$$R_{DESEQ} = \sqrt{0'5^2 \cdot F^2_{-5ºC+V} \cdot \cos^2\frac{\beta}{2} + 1'5^2 \cdot F^2_{-5ºC+V} \cdot \operatorname{sen}^2\frac{\beta}{2}} = F_{-5ºC+V} \cdot \sqrt{0'5^2 \cdot \cos^2\frac{\beta}{2} + 1'5^2 \cdot \operatorname{sen}^2\frac{\beta}{2}}$$

$$R_{DESEQ} = 407'25 \sqrt{0'5^2 \cdot \cos^2\frac{20}{2} + 1'5^2 \cdot \operatorname{sen}\frac{20}{2}} = 226'86 \text{ daN}$$

Por otro lado esta resultante de desequilibrio, presenta un ángulo tomando como origen del sistema una perpendicular a la bisectriz del ángulo interno de la línea, cuyo valor es:

$$tg\,\delta = \frac{1'5\, F_{-5+V} \cdot \operatorname{sen}\frac{\beta}{2}}{0'5\, F_{-5+V} \cdot \cos\frac{\beta}{2}} = 3\,tg\frac{\beta}{2} = 3\,tg\frac{20}{2} = 0'529 \rightarrow tg\,\delta = 27'88^\circ$$

Para determinar una fuerza equivalente que tenga en cuenta la suma de esfuerzos que producen los desequilibrios en los conductores aplicaremos el factor de armado, resulta: $F_{EQ} = R_{DESEQ} \cdot (K_{11} + K_{12} + K_{13})$

$F_{EQUIV} = 226'86 \cdot (1'326 + 1'326 + 1'326) = 902'45$ daN //

Para apoyos de celosía, se puede obtener una fuerza equivalente en la dirección longitudinal del apoyo (L) cuyo valor es:

$$F_{EQUIV\,CELOSÍA} = F_{EQUIV} \cdot (\text{sen}\,\delta \cdot \cos\delta)$$

$$F_{EQUIV\,CELOSÍA} = 902'45 \cdot (\text{sen}\,27'88° + \cos 27'88°) = 1219'7 \text{ daN}$$

$$\frac{1000 \cdot 1'5}{1'2} = 1250 > 1219'7$$

SI CUMPLE

C = 100 %

- 3.2 TOTAL Desequilibrio de tracciones (L) 1219'7 daN

3) HIPOTESIS 4ª Rotura de conductores (CT)

4.1 Cargas permanente verticales (V) (sobrecargas incluidas en zonas B o C)

El mismo valor consignado en 3.1 es decir 350'34 daN

→ TOTAL 4.1 Cargas permanentes + sobrecargas) 350'34 daN

- 4.2 Esfuerzo por rotura de conductores (L):

$F_{-5+V} = 407'25$ daN

En el caso de apoyos de amarre y ángulo la fuerza que provoca el momento torsor tiene por valor:

$$F_{TORSOR} = F_{-5+V} \cdot \cos\frac{\beta}{2} = 407'25 \cdot \cos\frac{20°}{2} = 401'06 \text{ daN}$$

Este esfuerzo esta aplicado en función del brazo de cruceta según el tipo de cruceta empleado, para el caso de apoyos de celosía que son los mas comunmente empleados para este tipo de apoyos, como el brazo de cruceta bajo el cual se ensaya el apoyo es de 1'5 metros, se debe verificar que el esfuerzo torsor es inferior al que soporta el apoyo en función de la expresión.

$$F_{TORSOR} = \frac{F_M \cdot \cos\frac{\beta}{2} \cdot \text{Brazo de cruceta}}{1'5} = \frac{401'06 \cdot 1'5}{1'5} = 401'06 \leq L_T$$

Para el caso de apoyos de anclaje y ángulo la fuerza generada por la rotura de conductores, se puede descomponer como la suma de dos fuerzas, una que genera el momento torsor y otra en dirección transversal a la línea T, de valor $F_M \cdot \text{sen}\frac{\beta}{2}$ no se considera el momento de vuelco generado por esta fuerza porque será mucho menor que los estudiados en 1ª o 2ª hipotesis y al estar provocada por

al solo conductor o haz.

4) Con lo esfuerzo obtenidos estamos en disposición de elegir el apoyo adecuado, a partir de los valores definidos por la norma UNE 207015:2005

Así tenemos: en la Tabla 2, la inmediata superior a la carácter resistente $T = V + K \cdot H =$ elegimos 5600

Carga Nominal 1000 ⟶ 5600 > 4938'4 CUMPLE ✓

3 HIPOTESIS Desequilibrio de tracciones. El esfuerzo longitudinal equivalente es de 1219'7 daN, puesto que esta hipotesis, al ser una hipotesis anormal presenta un coeficiente de seguridad de 1'2, el esfuerzo y los esfuerzos definidos en la siguiente tabla se han obtenido con un coeficiente de seguridad de 1'5, resulta para un C-1000 un esfuerzo de:

En la tabla. 1:

$$\frac{\text{Esfuerzo} \cdot \text{Cs tabla}}{\text{Ks anormal}} > F_L \quad \text{Apoyo válido}$$

$$\frac{1000 \cdot 1'5}{1'2} = 1250 > 1219'7 \text{ daN} \quad \| \text{Apoyo válido} \|$$

Además los esfuerzos verticales que admite el apoyo C-1000 en esta hipotesis es de 600 daN superior a los 354'34 daN, por tanto

600 > 354'34 Apoyo válido

4 HIPOTESIS Rotura de conductores: El esfuerzo por rotura es de 401'06 daN aplicados a un brazo de 1'5m, por lo que apoyo C-1000 que admite un esfuerzo torsor de 700 daN aplicado a ese brazo, es tambien capaz de soportar los esfuerzos por rotura. Además admite unos esfuerzos verticales de 600 daN siendo que los esfuerzos reales son de 350'34 daN

$F_{torsor} = 401'06$

$700 > 401'06$

$600 > 350'34$

$F_{vertical} = 350'34$

APOYO VALIDO TABLA 1.

P 7.25) Una línea aérea de transporte de energía eléctrica a 66 kV discurre por zona B y presenta un tramo que atraviesa un río navegable. Para este tramo se emplean dos apoyos de suficiente altura que definen un único vano de 110 m, estando situados al mismo nivel, siendo el conductor empleado el designado con 94-AL1/22-ST1-A (antiguo LA-110).

Sabiendo que la altura del punto de engrape del conductor inferior es de 9 m sobre el nivel del río y que para las condiciones iniciales se ha adoptado una fuerza de tendido de 1190 daN. Determinar:

1) La fuerza de tendido para las condiciones de flecha mínima vertical
2) La idoneidad de este vano:

Se pide determinar la fuerza para las condiciones de flecha mínima, puesto que discurre por zona B, la flecha mínima vertical se producirá a -15°C, y para determinar la fuerza es necesario aplicar la ECC.

$$A = -T_1 + E \cdot \alpha (\theta_2 - \theta_1) + \frac{E \cdot \partial R^2}{24} \cdot \frac{m_1^2 \cdot w^2}{T_1^2} \qquad \left[T_1^2 [T_1 + A] = B \right]$$

$$B = \frac{E \cdot \partial R^2}{24} \cdot m_2^2 \cdot w^2$$

Para determinar T_1 partimos de la fuerza en las condiciones iniciales a -15°C con sobrecarga de hielo, por ser zona B.

$$T_1 = T_{-15°C+H} = \frac{F_{-15°C+H}}{S} = \frac{1190}{116'2} = 10'24 \text{ daN/mm}^2$$

$$w = \frac{P}{S} = \frac{0'42428}{116'2} = 3'651 \cdot 10^{-3} \text{ daN/mm}^2$$

Por otro lado la sobrecarga en el estado inicial es de:

$$m_1 = \frac{P + 0'18\sqrt{d}}{P} = \frac{0'42428 + 0'18\sqrt{14}}{0'42428} = 2'587 \quad \text{por tanto}$$

$$A = -10'24 + 8000 \cdot 1'78 \cdot 10^{-5} (-15 - (-15)) + \frac{8000 \cdot 110^2}{24} \cdot \frac{(3'651 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 2'587^2}{10'24^2}$$

$$A = -6'808$$

$$B = \frac{8000 \cdot 110^2}{24} \cdot 1 \cdot (3'651 \cdot 10^{-3})^2 = 53'763 \quad \text{de donde}$$

$$T_{-15}^2 (T_{-15} - 6'808) = 53'763 \rightarrow T_{-15}^3 - 6'808\, T_{-15}^2 - 53'763 = 0 \quad T_{-15} = 7'712 \text{ daN/mm}^2$$

por lo que la fuerza es de:

$$F_{-15} = T_{-15} \cdot S = 7'712 \cdot 116'2 = 896'13 \text{ daN} //$$

2) Las únicas exigencias al atravesar un río navegable o flotable están definidas en el apartado 5.11 de la ITC-LAT 07 y exige, además de que los apoyos estén situados a una distancia de 25 metros, y como mínimo una vez y medida la altura de los apoyos, desde el borde del cauce fluvial correspondiente al caudal de máxima avenida, y que la distancia mínima vertical sea de:

$$G + Dadd + Del = G + 2'3 + Del \ (m)$$

siendo G el gálibo y cuando no está definido se considera este igual a 4'7 metros, por tanto la distancia entre conductor para las condiciones de flecha máxima y el río debe ser mayor o igual a

$$G + Dadd + Del = G + 2'3 + Del = 4'7 + 2'3 + 0'7 = 7'7 \text{ m}$$

Es necesario calcular la flecha máxima vertical y comprobar si se verifica la anterior distancia, puesto que se exige la distancia mínima vertical entre conductor y río, se corresponderá con la hipótesis de flecha a 50°C (como mínimo) y el estar en zona B a 0°C con sobrecarga de hielo. Tenemos.

Hipótesis de temperatura: (50°C) $\theta_2 = 50°C$

$$A = -10'24 + 8000 \cdot 1'78 \cdot 10^{-5} \cdot (50 - (-15)) + \frac{8000 \cdot 110^2}{24} \cdot \frac{(3'651 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 2'587^2}{10'24^2} = 2'448$$

$$B = \frac{8000 \cdot 110^2}{24} \cdot (3'651 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 1^2 = 53'763$$

$$T_{50}^2 (T_{50} + 2'448) = 53'763 \rightarrow T_{50}^3 + 2'448\, T_{50}^2 - 53'763 = 0 \rightarrow T_{50} = 3'11 \text{ daN/mm}^2$$

Por lo que la flecha es de:

$$f_{SO} = \frac{1}{8} \cdot \frac{a^2 \cdot W \cdot m_2}{T_2} \rightarrow f_{SO} = \frac{1}{8} \cdot \frac{110^2 \cdot 3'651 \cdot 10^{-3}}{3'11} = 1'775\ m$$

Hipótesis de hielo (0°C + sobrecarga de hielo) $\theta_2 = 0°C$; $m_2 = 2'578$

$$A = -10'24 + 8000 \cdot 1'78 \cdot 10^{-5} \cdot (0° - (-15°)) + \frac{8000 - 110^2}{24} \cdot \frac{(3'651 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 2'587^2}{10'24^2} = -4'672$$

$$B = \frac{8000 - 110^2}{24} \cdot 2'578^2 \cdot (3'651 \cdot 10^{-3})^2 = 359'81$$

$$T_{0+H}^2 [T_{0+H} - 4'672] = 359'81 \rightarrow T_{0+H}^3 - 4'672 T_{0+H}^2 - 359'81 = 0 \rightarrow T_{0+H} = 9'057\ daN/mm^2$$

Por lo que la flecha es de:

$$f_{0+H} = \frac{1}{8} \cdot \frac{a^2 \cdot W \cdot m_2}{T_2} \Rightarrow f_{0+H} = \frac{1}{8} \cdot \frac{110^2 \cdot (3'651 \cdot 10^{-3}) \cdot 2'578}{9'057} = 1'571\ m$$

Por lo que la situación más desfavorable se produce bajo la hipótesis de temperatura con una flecha de 1'775 metros, por otro lado sabemos que la altura del punto de engrape es de 9 metros con lo que la altura del vertice de la catenaria para flecha máxima respecto al río, es de:

$$\text{Distancia conductor del río} = 9 - 1'775 = 7'225\ m \ //$$

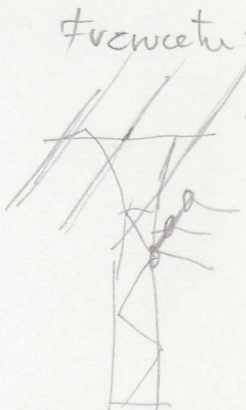
Como la distancia mínima vertical es de 7'7 m, no se respeta la distancia, y la disposición de apoyos no es idónea.

$$7'225 < 7'7 \quad \text{NO IDONEO.}$$

La solución pasaría por emplear apoyos de mayor altura con lo que elevaríamos la parábola sobre el cauce del río, y de ésta forma se conseguiría respetar la distancia de seguridad.

→ Empleando apoyos recrecidos

P 7.32) Dada una línea existente realizada con un conductor 94-AL1/22 ST1 A (LA-110) y situada en zona B, presenta un apoyo de amarre C-3000 con cruceta bóveda plana (los conductores están situados a 1'5m por encima de cogolla del apoyo) y los vanos están alineados siendo los vanos adyacentes al apoyo de 100 m y se ha realizado un tense para ambos cantones que determinan las siguientes fuerzas $F_{-15°C+H} = 1079$ daN $F_{-10°C+V} = 961$ daN y $F_{-10°C} = 689$ daN. En dicho apoyo se desea entroncar una línea con el mismo tipo de conductor que forma un ángulo de 90° con la línea existente, siendo el primer vano de la línea derivada de 20 m, ensanchado entre el apoyo de amarre existente y un apoyo de principio de línea, y se elige un tipo de tense tal que resultan las siguientes fuerzas $F_{-15°C+H} = 720$ daN, $F_{-10°C+V} = 635$ daN y $F_{-10°C} = 608$ daN. Para hacer posible la derivación se dispone en cogolla del apoyo existente, un perfil en L del que parte la línea derivada, y la distancia entre conductores es de 1 metro, situados en un plano horizontal, además se sabe que se han empleado cadenas de aisladores con dos aisladores de vidrio por cadena. Determinar los esfuerzos resultantes según las distintas hipótesis y la idoneidad de mantener el apoyo C-3000



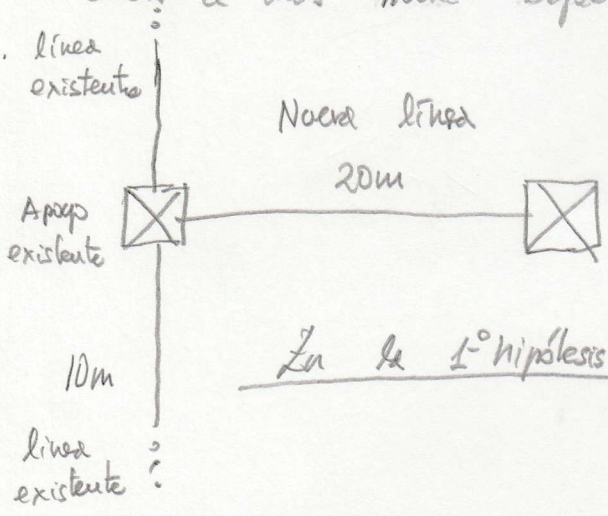
1) 1ª Hipotesis Viento:

2) 2ª Hipótesis: Hielo:

3) Desequilibrio de tracciones 3ª Hipótesis:

4) 4ª Hipótesis: Rotura de conductor:

1) Este tipo de situaciones es muy común, de una línea existente se pretende derivar una nueva línea intentando mantener el apoyo existente sometido ahora a unos nuevos esfuerzos, la disposición por tanto es la siguiente:



Dirección del Viento.

En la 1ª hipótesis: Viento cabría considerar dos posibles direcciones del viento, una perpendicular a la línea existente y por tanto en la misma dirección que la línea derivada y otra dirección

del viento perpendicular a la línea denivada y por tanto en la dirección de la línea existente, parece obvio que es más desfavorable la primera dirección, así tenemos:

HIPÓTESIS 1ª Viento

- 1.1 Cargas permanentes Verticales (V)

a) Peso de conductores: línea existente más línea denivada.

$$P_c = n \cdot p \left[\frac{a_1 + a_2 + a_3}{2} + \frac{F \cdot 0 + V}{P_V} \left(\frac{h_0 - h_1}{a_1} + \frac{h_0 - h_2}{a_2} \right) \right] = 3 \cdot 0'42428 \cdot \left(\frac{100+100+20}{2} \right)$$

$P_c = 140'01$ daN

b) Peso de aisladores ha tener en cuenta que la línea existente por ser un apoyo de anclaje tiene 6 cadenas de aisladores más 3 de la línea nueva.

$$P_{ais} = N^{\circ}_{cadenas} \cdot n_{aisladores/cadena} \cdot P_{aisladores} = 9 \cdot 2 \cdot 3'5 = 63 \text{ daN}$$

c) Peso de cruceta: 250 daN, no se asigna ningún peso al perfil en L debido a su reducido peso

$$\begin{array}{r} 140'01 \\ 63' \\ 250 \\ \hline 453'01 \text{ daN} \end{array}$$

→ TOTAL 1.1 Cargas permanentes (V): 453'01 daN //

- 1.2 El esfuerzo del viento normal a la línea o en la dirección de la bisectriz del ángulo interno de la línea (T).

a) Sobre conductores: Los esfuerzos del viento sobre conductores por fase tienen por valor:

$$F_{viento} = \frac{a_1 + a_2}{2} \cdot d \cdot q = 100 \cdot 0'014 \cdot 60 = 84 \text{ daN}$$

Estas fuerzas están aplicadas a 1'5 metros por encima de cogolla las referimos a cogolla a través del factor de armado que vale.

$$K_1 = \frac{4'6 + H_5}{4'6} = \frac{4'6 + 1'5}{4'6} = 1'326$$, por lo que aplicando el factor de armado sobre cada uno de los conductores de la línea.

1'326

$F_{rc} = 84(K_{11}+K_{12}+K_{13}) \Rightarrow 111'384$ daN Conductes x 334'152

3'978

Tracció del cable $\Rightarrow 608 \cdot (K_{11}+K_{12}+K_{13}) = 2418'624$.

→ TOTAL 1.2 Esfuerzos producidos por el viento + desequilibrios: (T). (84) ⇒ 111'385
15'912 ⇒
105'83 ⇒
+ 1824'00
2289'91 daN //

La cureiza resistente para este tipo de apoyos es de la forma:

$T = V + 5H \rightarrow T = 453'01 + 5 \cdot 2289'91 = 11902'57$

$11902'57 < 15800$ ✓

El Apoyo C-3000 aguanta T = 15800, por tanto VÁLIDO

2) Consideremos la 2ª hipótesis Hielo, puesto que estamos en zona B.

- 2.1 Cargas permanentes Verticales + sobrecarga de hielo (V):

a) Peso de conductores: línea existente mas línea nueva

$$P_c = n\left[P'_H \cdot \frac{a_1+a_2+a_3}{2}\right] = 3\cdot\left(0'42428 + 0'18\sqrt{14}\right)\cdot\frac{100+100+20}{2} = 362'26 \text{ daN}$$

b) Peso de aisladores: ha tener en cuenta que la línea existente por ser un apoyo de anclaje tiene 6 cadenas de aisladores mas 3 de línea nueva.

$P_{aistot} = n^{\circ}\text{dis} \cdot n^{\circ}\text{aisladores/cadena} \cdot P_{ais} \Rightarrow P_{aistot} = 9 \cdot 2 \cdot 3'5 = 63 \text{ daN}$

c) Peso de cruceta: 250 daN, no le asigna ningún peso al perfil en L debido a su reducido.

362'26
63
+ 250
675'26 daN //

→ TOTAL 2.1 Cargas permanentes

- 2.2 Desequilibrio de tracciones debido a la línea nueva (T):

La presencia de la línea nueva introduce una fuerza aplicada en cogolla por fase de 720 daN, considerando los tres conductores, tenemos.

2.2 TOTAL Desequilibrio = 3 · 720 daN = 2160 daN //

La carga resistente para este tipo de apoyo es de la forma

$T = V + 5H \rightarrow T = 675'26 + 5 \cdot 2160 = 11475'26$

Siendo el Apoyo C-3000 de 15800 daN

[11475'26 < 15800 daN VÁLIDO] ✓

3) HIPOTESIS 3ª Desequilibrio de tracciones

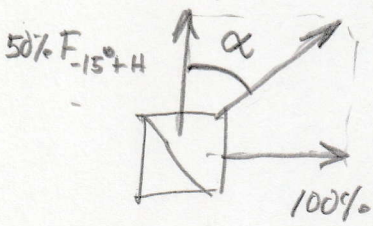
Estudiemos los esfuerzos por desequilibrio de tracciones, como es un apoyo de anclaje el desequilibrio en la línea existente es del 50% de las tracciones máximas unilaterales, mientras que en la línea nueva es del 100% de las tracciones máximas unilaterales y evidentemente se consideran los conductores sometidos a la fuerza a -15°C con sobrecarga de hielo.

- 3.1 Cargas permanentes verticales con sobrecarga de hielo (V)

Como es lógico son las mismas que en la 2ª hipotesis

→ TOTAL 3.1 Cargas permanentes = 675'26 daN //

Tenemos por tanto la siguiente configuración de fuerzas:



El Desequilibrio por fase en la línea existente será de:

$Desq. = \frac{50\%}{100} \cdot F_{-15°+H} = \frac{50\%}{100} \cdot 1079 = 539'5$ daN //

Aplicando el factor de armado para referirlos a cogolla resulta una fuerza de

$Fv = n \cdot H_5 \cdot Desq = (3 \cdot 1'326) \cdot 539'5 = 2146'13$ daN //

Por otro lado el desequilibrio de la línea nueva será de:

$Desq\ línea\ nueva = 3 \cdot F_{-15°C+H} \rightarrow Desq\ líneas\ nuevas = 3 \cdot 720 = 2160$ daN //

Estas dos fuerzas son perpendiculares entre sí y por tanto la resultante es de

$R = \sqrt{2146'13^2 + 2160^2} = 3044'9$ daN //

Es necesario referir esta fuerza a cualquiera de los ejes de coordenadas del apoyo, por medio de la expresión.

$F_V = F_{cfase} \cdot (K_{11} + K_{12} + K_{13}) \rightarrow F_V = 84 \cdot (1'326 + 1'326 + 1'326) = 334'17$ daN

b) Sobre aisladores se supone una fuerza del viento de 1 daN/aislador

$F_{vaisladores} = q \cdot n^{\circ}\text{aisladores/cadena} \cdot A(K_{11} + K_{12} + K_{13})$

$F_{v\,aislador} = 1\ daN \cdot 2 \cdot 2(1'326 + 1'326 + 1'326) = 15'912$ daN //

El viento solo "VE" los aisladores de la línea existente y se despreciа la acción del viento sobre los aisladores de la línea nueva puesto que el apoyo tapa a lo menos una de las dos cadenas.

c) Sobre la ancleta bóveda existente: se asume una fuerza del viento de 91 daN y esta fuerza se considera aplicada en el punto medio de la ancleta, por tanto su factor de armado es de:

$$K_1 = \frac{4'6 + \frac{H_5}{2}}{4'6} = \frac{4'6 + \frac{1'5}{2}}{4'6} = 1'163$$

Por lo que referida a cogolla de apoyo la acción del viento sobre la ancleta es de:

$$F_{vancleta} = F_{viento} \cdot K_2 \rightarrow F_{vancleta} = 91 \cdot 1'163 = 105'83\ daN //$$

Sobre el perfil en L se asume, como si fuera una ancleta recta unas fuerzas del viento de 10 daN aplicadas ya directamente en cogolla, por lo que la fuerza del viento sobre ambas anclas es de 115'83 daN.

d) Además está presente el desequilibrio que introduce la línea nueva derivada, se ha estado considerando en esta hipótesis una temperatura de -10°C con el viento incidiendo perpendicular a la línea existente, por tanto la línea "NO VE" la acción del viento es por lo que la fuerza en los conductores es de 608 daN según el enmorrillado (se ha empleado para esta línea un Cs-6) y estos esfuerzos aplicados directamente sobre cogolla

$$Desequilibrio = F_{-10°C} \cdot n^{\circ}\text{ de conductores} = 608 \cdot 3 = 1824\ daN //$$

La acción del viento sobre el conjunto del sistema más el desequilibrio que introduce la línea nueva presentan la misma dirección, por lo que los podemos sumar aritméticamente, resultado unas cargas horizontales de valor.

Esfuerzo equivalente $= R(\operatorname{sen}\alpha + \cos\alpha)$

El valor del ángulo α es de:

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{2160}{2146'13} = 1'006 \qquad \alpha = 45'18°$$

$\sqrt{1824^2 +}$

Por lo que el esfuerzo equivalente en cualquiera de las direcciones de los ejes de coordenadas del apoyo existente es de:

Esfuerzo equivalente $= 3044'9 \cdot (\operatorname{sen} 45'18° + \cos 45'18°) = 4306'28$ daN //

Por tanto tenemos unas cargas verticales de 642'33 daN y unas cargas horizontales de 4306'28 daN. En la ITC-LAT 07 apartado 3.5.4 se establece que el coeficiente de seguridad para hipótesis anormales será de 1'2 y la 3ª hipótesis desequilibrio es anormal, por lo que un apoyo C-3000 que soporta 3000 daN con un coeficiente de seguridad de 1'5, y soportará 3750 daN con un coeficiente de seguridad de 1'2, inferior por tanto al esfuerzo originado por el desequilibrio, en resumen.

APOYO NO VÁLIDO.

Esfuerzo equivalente = 4306'28 daN

$4306'28 > 3750$

Esfuerzo C-3000 = 3750 daN

Existen dos posibles soluciones:

- Disminuir la fuerza de la línea nueva aplicando un coeficiente mayor a 6 que ha sido el empleado para determinar las fuerzas de la línea nueva, disminuyendo por tanto los 2160 daN y obteniendo una resultante menor que haga posible la idoneidad del apoyo C-3000, otra posible solución sería:

- Reducir el primer vano de la línea nueva e incluso ambos empleando un coeficiente de seguridad adecuado, todo ello en el fondo para reducir el desequilibrio de la línea nueva, por tanto la resultante de esfuerzos y en resumen el esfuerzo equivalente:

4) HIPOTESIS 4ª Rotura de conductores (T)

Se admite que la línea existente cumple este requisito, por tanto solo será necesario comprobar el esfuerzo tensor que provoca la línea nueva

- 4.1 Cargas permanentes verticales con sobrecarga de hielo (V)

Como es lógico son las mismas que la hipótesis 2ª

TOTAL 4.1 Cargas permanentes 675'26 daN //

- 4.2 Esfuerzo por rotura de conductores (Torsor):

El momento de torsión estará determinado por el producto de la fuerza por el brazo de aceta en nuestro apoyo, y se compondrá este esfuerzo con el que admite el apoyo.

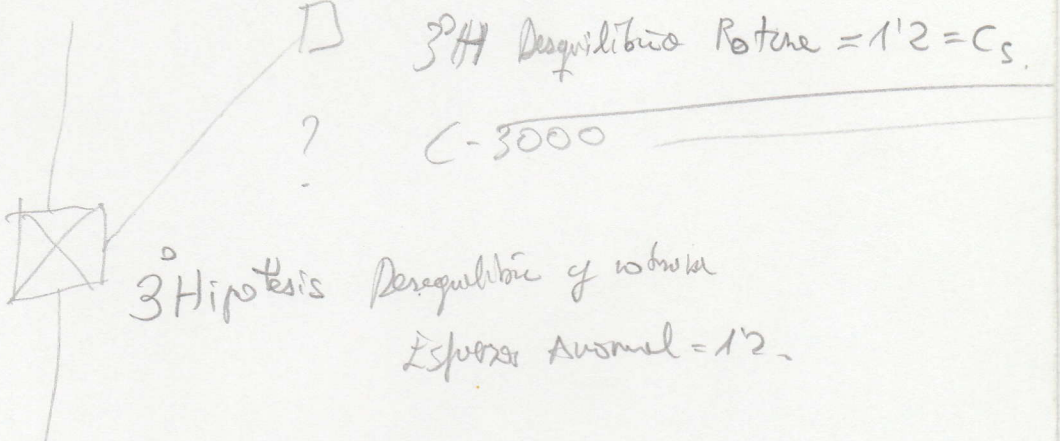
Sabemos que para apoyos de celosía el brazo con el cual se ha ensayado el apoyo es de 1'5 metros y un apoyo C-3000 soporta un esfuerzo de torsión de valor 1400 daN, por tanto tenemos.

$$T_{TORSOR} = \frac{720.1}{1'5} = 480 \text{ daN}$$

TABLA = 1400 daN

480 < 1400

APOYO VÁLIDO C-3000.



¿Y si el Apoyo fuese con daño?

P 7.34 Una línea aérea trifásica a 20kV discurre por zona A y se ha empleado el Teore estática dinámica, siendo el conductor empleado el 94-AL1/22-ST1A (antiguo LA-110).

Para cruzar una autopista se disponen dos apoyos de anclaje del tipo de celosía con cruceta recta y definen un vano de 160m, estando sitiados al mismo nivel, y se conoce que la altura desde el suelo hasta la cogolla del apoyo es de 13'67. Determinar:

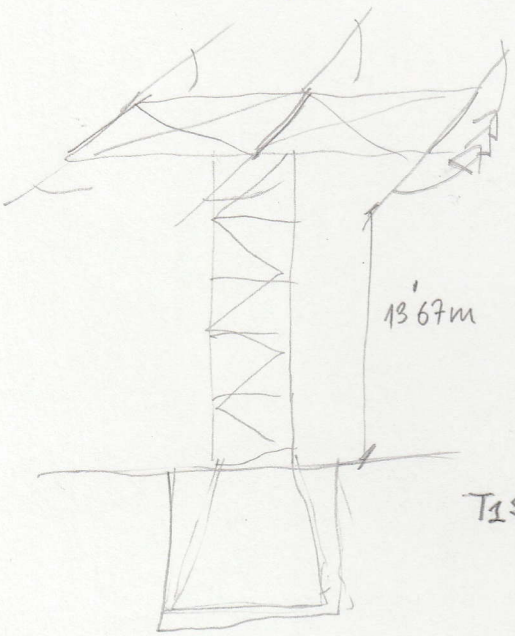
1- Las flechas máximas para este tipo de Teore y la idoneidad del vano con respecto a la distancia mínima de los conductores respecto a la rasante de la autopista. f

2- Sabiendo que se van a utilizar crucetas rectas con brazo de cruceta de 1m; 1'25m; 1'5m, 1'75m y 2m, calcular el brazo de cruceta mínimo a emplear:

$\alpha = 1'78 \cdot 10^{-5} °C^{-1}$ $E = 8200 daN/mm^2$

Cable $S = 116'2 mm^2$ $\phi = 14 mm$

$C_R = 43'55 kN$ $M = 432 kg/km$



Primero que todo habrá que saber si cumple el límite estática-dinámica con un coeficiente de seguridad $C_s = 3$, a 15°C, siempre.

$$T_1 \leq T_{max} \rightarrow T_1 = \frac{\frac{C_R}{S}}{C_s} = \frac{\frac{4315 daN}{116'2 mm^2}}{3} = 12'378 daN/mm^2$$

Aplicamos la ecuación de cambio de condiciones para ver si cumple el límite estática-dinámica, que dice que la tensión de cada día tiene que cumplirla y para que se cumpla la tensión de cada día (TCD), el 15% de la carga de rotura tiene que ser mayor o igual a la fuerza ejercida del cable a 15°C; $TCD = 0'15 \cdot C_R \geq F_{15°C}$, y la fuerza la sacamos del Teore a través de la ecuación de cambio de condiciones:

$T_{15°C}^2 (T_{15°C} + A) = B$ donde el parámetro A y B son:

$$A = -T_1 + E \cdot \alpha (\theta_2 - \theta_1) + \frac{E \cdot a_R^2}{24} \cdot \frac{m_1^2 \cdot W^2}{T_1^2} \quad ; \quad B = \frac{E \cdot a_R^2}{24} \cdot m_2^2 \cdot W^2$$

siendo $\theta_2 = 15°C$, $\theta_1 = -5°C$ por ser zona A

El vano regulador = 160 metros , siendo el peso $p = m \cdot g \rightarrow p = 0'432 \cdot 0'981$

$p = 0'423792\ daN/m \rightarrow W = \frac{p}{S} \rightarrow W = \frac{0'423792\ daN/m}{116'2\ mm^2} = 3'647091222 \cdot 10^{-3}\ daN/m \cdot mm^2$

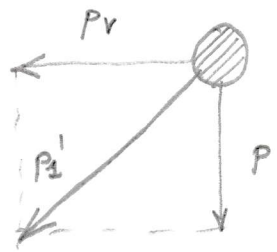
$m_1 = \frac{p_1'}{p_1}$ siendo p_1' el peso con viento, y p_1 el peso sin viento.

ZONA A

$p_1' = \sqrt{p^2 + pv^2}$ siendo pv la fuerza del viento, y p el peso del cable, tenemos una <u>sección transversal del cable</u>:

donde:

$$m_1 = \frac{\sqrt{p^2 + pv^2}}{p}$$



donde $pv = q \cdot d \cdot av$

la fuerza del viento pv es igual a la presión del viento (q) por el diámetro del cable en metros (d), el coeficiente (av)

Siendo (q) para conductores con diámetro menor o igual a 16mm según el apartado 3.1 ITC 07 LAT.

$q = q_{60} \cdot \left(\frac{Vv}{120}\right)^2$, siendo $d \leq 16mm \rightarrow 14\,mm \leq 16\,mm = q_{60} = 60$
siendo (Vv) la velocidad del viento para zona B de 120 Km/h

$q = 60 \cdot \left(\frac{120}{120}\right)^2 = 60\ daN/m^2$; $d = \frac{14mm}{1000} = 0'014\,m$; $av = 1$, ya que:

[la media aritmética de los longitudes de los vanos adyacentes es igual.]

$\theta_1 = -5°C$.

$$m_1 = \frac{\sqrt{p^2 + (q \cdot d \cdot av)^2}}{p}$$

$$m_1 = \frac{\sqrt{0'423792^2 + (60 \cdot 0'014 \cdot 1)^2}}{0'423792} = 2'220076 \quad ; \quad m_2 = 1$$

$$A = -12'378 + 8200 \cdot 1'78 \cdot 10^{-5} \cdot (15 - (-5)) + \frac{8200 \cdot 160^2}{24} \cdot \frac{2'220076^2 \cdot (3'647091222 \cdot 10^{-3})^2}{12'378^2} = -5'716224628$$

$$B = \frac{8200 \cdot 160^2}{24} \cdot 1^2 \cdot (3'647091222 \cdot 10^{-3})^2 = 116'3418133$$

$$T_{15}^2 (T_{15} + A) = B \rightarrow T_{15}^2 (T_{15} - 5'716224628) = 116'3418133 \rightarrow T_{15}^3 - 5'716224628\, T_{15}^2 - 116'3418133 = 0$$

$T_{15} = 7'68575522$ daN/mm² → $F_{15} = T_{15} \cdot S$ → $F_{15} = 7'68575522 \cdot 116'2 = 893'0847566$ daN //

$0'15 \cdot C_R \geq F_{15}$? COMPLE la TCA

$0'15 \cdot 4315 \geq 893'0847566$ → $647'25 \geq 893'0847566$, por lo tanto, ¿cual NO CUMPLE

debería de ser el coeficiente de seguridad? $T_{15} = \frac{647'25}{116'2} =$

$$C_S = \frac{C_R}{T_1 S} \rightarrow C_S = \frac{4315}{7'68575522 \cdot 116'2} = 4'831568301 //$$

De donde la constante A vale, despejada de la ecuación de cambio de condiciones:

$$A = \frac{B}{T_{15}^2} - T_{15} \rightarrow A = \frac{116'3418133}{7'68575522^2} - 7'68575522 = -5'718625361$$

$$A = -T_1 + E \cdot \alpha (\theta_2 - \theta_1) + \frac{E \cdot a_R^2}{24} \cdot \frac{m_1^2 \cdot w^2}{T_1^2}$$

$$-5'718625361 = -T_1 + 8200 \cdot 1'78 \cdot 10^{-5} (15 - (-5)) + \frac{8200 \cdot 160^2}{24} \cdot \frac{2'220076^2 \cdot (3'647091222 \cdot 10^{-3})^2}{T_1^2}$$

$$-5'718625361 = -T_1 + 2'9192 + \frac{573'4182515}{T_1^2} \rightarrow T_1 + 8'637825361 - \frac{573'4182515}{T_1^2} = 0$$

$$T_1^2 \left(T_1 + 8'637825361 - \frac{573'4182515}{T_1^2} \right) = 0 \rightarrow T_1^3 + 8'637825361\, T_1^2 - 573'4182515 = 0$$

$T_1 = 6'213699337$ daN/mm² → $C_S = \frac{C_R}{T_1 \cdot S} \Rightarrow \frac{4315}{6'213699337 \cdot 116'2} = 5'97$

IMPOSIBLE

$647'25 \geq 647'25$

$$C_S = \frac{4315}{647'25} = \frac{20}{3} = 6'667$$

El coeficiente de seguridad 6'667 de fuerza reducida, $T = 5'5701376947$

FUERZAS

$$A = \frac{B}{T_{15}^2} - T_{15} \rightarrow A = \frac{116'3418133}{5'5701376947^2} - 5'5701376947 = -1'820373426$$

ES CALCULO:

$$A = -T_1 + E \cdot \alpha (\theta_2 - \theta_1) + \frac{E \cdot a_R^2}{24} \cdot \frac{m_1^2 \cdot w^2}{T_1^2}$$

$$-1'820373426 = -T_1 + 8200 \cdot 1'78 \cdot 10^{-5} \cdot (15 - (-5)) + \frac{8200 \cdot 160^2}{24} \cdot \frac{2'220076^2 \cdot (3'647091222 \cdot 10^{-3})^2}{T_1^2}$$

$$-1'820373426 = -T_1 + 2'9192 + \frac{573'4182515}{T_1^2} \rightarrow$$

$$\left(T_1 - 4'7395734 26 - \frac{573'4182515}{T_1^2}\right) T_1^2 = 0 \rightarrow T_1^3 - 4'7395734 26 T_1^2 - 573'4182515 = 0$$

$T_1 = \rightarrow \quad C_S = \frac{C_R}{T \cdot S} \rightarrow \frac{4315}{10'22460075 \cdot 116'2} = 3'631853$ ✓ (SI) ...

ZONA A

T

ZONA B... $T = \frac{\frac{C_R}{S}}{CS} = \frac{\frac{4315}{116'2}}{3} = 12'378 \text{ daN/mm}^2$

A =

$$A = -T_1 + E \cdot \alpha (\theta_2 - \theta_1) + \frac{E \cdot dR^2}{24} \cdot \frac{m_1^2 \cdot W^2}{T_1^2} \quad ; \quad B = \frac{E \cdot dR^2}{24} \cdot m_2^2 \cdot W^2$$

$\theta_1 = -15°C$ por ser zona B, ¿PORQUÉ DE CATEG ESPECIAL?

$$m_1 = \frac{P'_1}{P_1} = \frac{\sqrt{(P + PV)^2 + (q \cdot d^*)^2}}{P_1}$$

Aquí se tiene en cuenta en el diámetro del cable varía, ya que se puede formar hielo, modificando la fuerza ejercida del viento a lo largo de su superficie, (daN/m²).

ZONA B:

$PV = 0'18\sqrt{d}$

$m_1 = m_{-15+H} = \frac{P + 0'18\sqrt{d}}{P}$?

$q = q_{60} \cdot \left(\frac{Vv}{120}\right)^2$ siendo $q_{60} = 60$ por $d \leq 16\text{mm} \rightarrow 14 \leq 16 = q_{60} = 60$

Vv, velocidad del viento es 60 Km/h según el apartado 3.1.2 y 3.2.1 de la ITC LAT 07

$q = 60 \cdot \left(\frac{60}{120}\right)^2 = 12'5$ ~~daN/m²~~ 15 daN/m².

(d^*) es el diámetro del cable con el hielo siendo lógicamente:

$d^* = d_{COND} + 2 \cdot e_H$, siendo (d_{COND}). el diámetro del conductor, y e_H el espesor del hielo

$$e_H = -r + \sqrt{r^2 + \frac{240\sqrt{2}r}{\pi}}$$

siendo 240 para zona B y 480 para C.

r = radio del conductor = $\frac{d}{2}$

$$e_H = -\frac{14}{2} + \sqrt{\left(\frac{14}{2}\right)^2 + \frac{240\sqrt{14}}{\pi}} = 11'2986767$$

$d^* = 14 + 2 \cdot 11'2986767 = 36'59735339$ mm

$$m_1 = \frac{\sqrt{\left(0'423792 + 0'18\sqrt{14}\right)^2 + \left(12'5 \cdot 36'59735339 \cdot 10^{-3}\right)^2}}{0'423792} = 2'805225725 //$$

$$A = -12'378 + 8200 \cdot 1'78 \cdot 10^{-5} \cdot (15-(-15)) + \frac{8200 \cdot 160^2}{24} \cdot \frac{2'805225725^2 \cdot \left(3'647091222 \cdot 10^{-3}\right)^2}{12'378^2}$$

$$A = -12'378 + 4'3788 + 5'975448357 \rightarrow \quad A = -2'023751643$$

$$B = \frac{8200 \cdot 160^2}{24} \cdot 1^2 \cdot 3'647091222 \cdot 10^{-3\,2} \rightarrow \quad B = 116'3418133$$

$$T_{15}^2 (T_{15} + A) = B \rightarrow T_{15}^2 (T_{15} - 2'023751643) = 116'3418133$$

$$T_{15}^3 - 2'023751643\, T_{15}^2 - 116'3418133 = 0 \rightarrow T_{15} = 5'657982929 \ daN/mm^2.$$

$$F_{15^\circ C} = T_{15} \cdot S \Rightarrow \quad F_{15^\circ C} = 5'657982929 \cdot 116'2 = 657'4576163 \ daN$$

$$0'15 \cdot C_R \geq F_{15^\circ C} \rightarrow 0'15 \cdot 4315 \geq 657'4576163 \rightarrow \quad 647'25 \geq 657'4576163$$

NO COMPLE

FORZAMOS EL CALCULO:

$$T_{15^\circ} = \frac{15\%\, C_R}{S} = \frac{647'25}{116'2} = 5'570137694$$

$$A = \frac{B}{T_{15^\circ}^2} - T_{15^\circ} \rightarrow \quad A = \frac{116'3418133}{5'570137694^2} - 5'570137694 = -1'820373426$$

$$A = -T_1 + E \cdot \alpha (\theta_2 - \theta_1) + \frac{E \cdot a_R^2}{24} \cdot \frac{m_1^2 \cdot W^2}{T_1^2}$$

$$-1'820373436 = -T_1 + 8200 \cdot 1'78 \cdot 10^{-5} \cdot (15-(-15)) + \frac{8200 \cdot 160^2}{24} \cdot \frac{2'805225725^2 \cdot \left(3'647091222 \cdot 10^{-3}\right)^2}{T_1^2}$$

$$\left(T_1 - 6'199173436 - \frac{915'5276268}{T_1^2}\right) T_1^2 = 0 \rightarrow T_1^3 - 6'199173436\, T_1^2 - 915'5276268 = 0$$

$$T_1 = 12'27516229 \ daN/mm^2 \rightarrow \quad C_S = \frac{4315}{12'27516229 \cdot 116'2} = 3'025153592 \geq 2'5 \quad \text{COMPLE}$$

ZONA B:

190'625491

para calcular la flecha a -15°C+V m_1 sigue siendo el mismo.

$$A = -1'820373426 \; ; \qquad B = \frac{E \cdot aR^2}{24} \cdot m_2^2 \cdot w^2$$

Calculamos ahora para 15°C + Viento, calculamos m_2, variando solamente B.

$$m_2 = \frac{\sqrt{P^2 + (q_{120} \cdot d)^2}}{P} \quad \text{siendo} \quad q_{120} = 60 \cdot \left(\frac{Vv}{120}\right)$$

siendo Vv un mínimo de 120km/h según el apartado 3.1.2 ITC-LAT 07. $q_{120} = 60 \cdot \left(\frac{120}{120}\right)^2 = 60$

$$m_2 = \frac{\sqrt{0'423792^2 + (60 \cdot 14 \cdot 10^{-3})^2}}{0'423792} = 2'220076117$$

porque ZONA B!

$$B = \frac{8200 \cdot 160^2}{24} \cdot 2'220076117^2 \cdot (3'647091222 \cdot 10^{-3})^2 = 573'418312$$

$$T_{15+V}^2 (T_{15+V} + A) = B \rightarrow T_{15+V}^2 (T_{15+V} - 1'820373426) = 573'418312 \rightarrow$$

$$T_{15+V}^3 - 1'820373426\, T_{15+V}^2 - 573'418312 = 0 \rightarrow T_{15+V} = 8'961141247 \; daN/mm^2$$

$$f_{15+V} = \frac{1}{8} \cdot \frac{aR^2 \cdot w \cdot m_2}{T_{15+V}} \rightarrow f_{15+V} = \frac{1}{8} \cdot \frac{160^2 \cdot (3'647091222 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 2'220076117}{8'961141247} = 2'89135 \; m$$

Calculamos la flecha a 0°C + Hielo: $\theta_2 = 0°C$

2'27

$$A = -T_1 + E \cdot \alpha (\theta_2 - \theta_1) + \frac{E \cdot aR^2}{24} \cdot \frac{m_1^2 \cdot w^2}{T_1^2} \rightarrow$$

$$A = -12'27516229 + 8200 \cdot 1'78 \cdot 10^{-5} (0 - (-15)) + \frac{8200 \cdot 160^2}{24} \cdot \frac{2'805225725^2 \cdot (3'647091222 \cdot 10^{-3})^2}{12'27516229^2}$$

$$A = -12'27516229 + 2'1894 + 6'075988857 = -4'009773433$$

0'18 ZONA B.

$$B = \frac{E \cdot aR^2}{24} \cdot m_2^2 \cdot w^2 \rightarrow m_2 = m_{0+H} = \frac{P + 0'18\sqrt{d}}{P}$$

según 3.2.1 ITC 07

$$m_2 = \frac{0'423792 + 0'18\sqrt{14}}{0'423792} = 2'589219074$$

$$B = \frac{8200 \cdot 160^2}{24} \cdot 2'589219074^2 \cdot (3'647091222 \cdot 10^{-3})^2 = 779'9619629$$

$$T_{0+H}^2 (T_{0+H} + A) = B \rightarrow T_{0+H}^2 (T_{0+H} - 4'009773433) = 779'9619629 \rightarrow$$

$T_{0+H}^3 - 4'009773433\,T_{0+H}^2 - 779'9619629 = 0 \rightarrow T_{0+H} = 10'75400832 \ daN/mm^2$

$$f_{0+H} = \frac{1}{8} \cdot \frac{a_R^2 \cdot w \cdot m_2}{T_{0+H}} \rightarrow \frac{1}{8} \cdot \frac{160^2 \cdot (3'647091222 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 2'589219074^2}{10'75400832} = 2'81\,m$$

La Flecha a 50°C. $\theta_2 = 50°C$ $\theta_1 = -15°C$ $m_2 = 1$ NO HAY VIENTO

$$A = -12'27516229 + 8200 \cdot 1'78 \cdot 10^{-5}\left(50 - (-15)\right) + \frac{8200 \cdot 160^2}{24} \cdot \frac{2'805225725^2 \cdot (3'647091222 \cdot 10^{-3})^2}{12'27516229^2}$$

$\rightarrow m_1 = 2'22$

$A = 3'288226567.$

$$B = \frac{8200 \cdot 160^2}{24} \cdot 1^2 \cdot (3'647091222 \cdot 10^{-3})^2 = 116'3418133$$

$$T_{50}^2 (T_{50} + A) = B \rightarrow T_{50}^2 (T_{50} + 3'288226567) = 116'3418133 \rightarrow T_{50}^3 + 3'288226567\,T_{50}^2 - 116'3418133$$

$T_{50} = 3'996366185 \ daN/mm^2$

$$f_{50} = \frac{1}{8} \cdot \frac{a_R^2 \cdot w \cdot m_2}{T_{50}} \rightarrow f_{50} = \frac{1}{8} \cdot \frac{160^2 \cdot (3'647091222 \cdot 10^{-3}) \cdot 1}{3'996366185} = 2'92\,m$$

Puesto que según el RLAT en su ITC-LAT 07 apartado 5.7.1 establece que la distancia mínima de los conductores sobre la rasante de la autopista será de

$$\boxed{Dadd + Del \geq 7m}$$

Siendo Dadd 6'3m para las líneas de 1ª, 2ª y 3ª categoría que es nuestro caso 20kV. Por otro lado Del está definido en el apartado 5.2 de la ITC-LAT-07 con un valor de 0'25m para líneas de 20kV, tensión más elevada de 24kV.

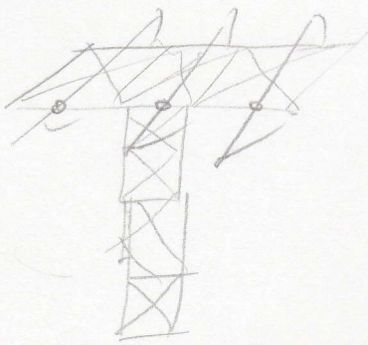
$$6'3 + 0'25 = 6'55\,m < 7m$$

Como no cumple la condición de la distancia mínima, se opta por una distancia mínima del vértice de la parábola hasta la rasante de la autopista de 7m.

Por otro lado la distancia entre dicho vértice de la parábola hasta la rasante de la carretera es función de la altura del apoyo menos la flecha máxima vertical, en nuestro caso bajo la hipótesis de temperatura de 50°C con un valor de 2'92m

Por tanto la distancia real desde el conductor a la rasante de la autopista es de, la altura de cogolla menos la flecha.

Coincidiendo la altura de cogolla con la de los conductores al disponer de cruceta plana.



$13'67 - 2'92 = 10'75 > 7$

10'75 m > 7 m IDÓNEO

2º Además de cumplir con la distancia mínima al terreno, los apoyos deben de estar situados según la ITC-07 del apartado 5.7 a vez y media de la altura del apoyo, y en todo caso a 50 m de la línea exterior de la calzada, es por lo que optado por un vano de 160 m, que seguro que respeta estas distancias.

- Por otro lado el vano máximo admisible deberá ser superior al vano real, y este vano máximo admisible es función de la distancia entre conductores, es decir, del tipo de cruceta elegida, tenemos por tanto que comprobar todas las distancias posibles entre conductores por cada cruceta.

- Por lo tanto, se calcularán tres flechas máximas admisibles correspondientes a las hipótesis, 15+V, 0+H y 50°C, y se escogerá la más pequeña de las tres, para esa distancia entre conductores D.

- Se harán para crucetas de D = 1; 1,25; 1'5 ... hasta que el vano máximo sea mayor al real, es decir, mayor que 160 m.

$$\text{Flecha max Admisible} = \left(\frac{D - K' \cdot D_{pp}}{K}\right)^2 - L$$

(D) = distancia entre conductores

(K') = coeficiente que depende de la tensión nominal de la línea

Según el apartado 5.4.1 ITC-LAT-07 para líneas de 1, 2 y 3ª categoría K' = 0'75.

(L)= longitd en metros de la cadena de suspensión, pero como son cadenas de amarre, L=0m.

(Dpp)= Distancia mínima aérea especificada para prevenir una carga disruptiva entre conductores, Según la ITC 07 del apartado 5.3 en la tabla 15 para una tensión nominal $U_N = 20kV$ y $U_S = 24kV$ $D_{pp} = 0'25$

(K)= Coeficiente que depende de la oscilación del viento, según ITC 07 5.4.1, se toma en función del ángulo de oscilación, siendo a su vez $tg\beta = \frac{P_V}{P}$, siendo (P_V) peso del viento, (p) peso del conductor.

$P_V = q \cdot d \cdot a_V \rightarrow q = 60 \cdot \left(\frac{V_V}{120}\right)^2$ 60Km/h y

HIPOTESIS 15+Viento
$V_V = 120 km/h$

$P_V = 60 \cdot \left(\frac{120}{120}\right)^2 daN/m^2 \cdot 14 \cdot 10^{-3} m \cdot 1m = 0'84 daN/m$; $p = 0'423792 daN/m$

$tg\beta = \frac{0'84}{0'423792} = 63'2284° = \beta$ Según la ITC-07 del apartado 5.4.1

en la Tabla 16, el coeficiente K para tensión nominal inferior o igual a 30kV, siendo el ángulo de oscilación comprendido entre 40° y 65°, el coeficiente es $K = 0'6$

$$F_{max} = \left(\frac{1 - 0'75 \cdot 0'25}{0'6}\right)^2 - 0 = 1'83376m$$

Entonces el vano máximo admisible $a_{R\,max\,ADM} = \sqrt{\frac{F_{MAX\,ADM\,15+V}}{f_{15°C+V}}} \cdot a_R$

$a_{R\,max} = \sqrt{\frac{1'83376}{2'89135}} \cdot 160 = 127'42\,m$ // Podríamos seguir probando hipótesis, pero se sabe que no cumple. Y a que se suele coger el vano más pequeño.

127'42 > 160 NO CUMPLE

Probamos con la siguiente hipotesis: 0+Hielo donde ya no habrá viento.

por lo tanto $\beta < 40° \rightarrow K = 0'55$

$a_{R\,MAX} > a_R$

$$F_{MAX\,ADM} = \left(\frac{1 - 0'75 \cdot 0'25}{0'55}\right)^2 =$$

127'42 > 160
NO CUMPLE

Problemas con otra cruceta: $D = 1'25\,m$

$15°C + V$

$$F_{MAX\ ADM} = \left(\frac{1'25 - 0'75 \cdot 0'25}{0'6}\right)^2 = 3'13585\,m$$

$$a_{RMAX} = a_R = \sqrt{\frac{F_{MAX\,ADM}}{f_{15+V}}} \rightarrow a_{RMAX} = 160 \cdot \sqrt{\frac{3'13585}{2'89135}} = 166'627753\,m.$$

$0 + H$

$$F_{MAX\,ADM} = \left(\frac{1'25 - 0'75 \cdot 0'25}{0'55}\right)^2 = 3'73192\,m$$

$$a_{RMAX} = a_R = \sqrt{\frac{F_{MAX\,ADM}}{f_{0+H}}} \Rightarrow a_{RMAX} = \sqrt{\frac{3'73192}{2'81}} \cdot 160 = 184'318\ldots$$

$50°C$

$$F_{MAX\,ADM}\left(\frac{1'25 - 0'75 \cdot 0'25}{0'55}\right)^2 = 3'73192m$$

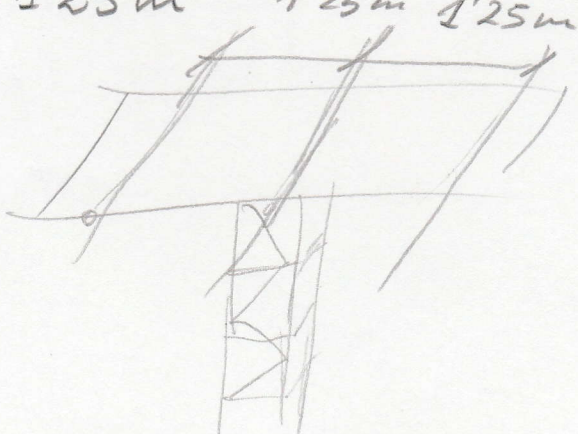
$$a_{RMAX} = a_R \cdot \sqrt{\frac{F_{MAX\,ADM}}{f_{50°C}}} = a_{RMAX} = 160 \cdot \sqrt{\frac{3'73192}{2'92}} = 180'881$$

La mas pequeña = $a_{RMAX\ 15°C+V} = 166'627753$ es la situación mas sensible, que es lógicamente, cuando hay viento.

$a_R < a_{max}$

$160 < 166'628$ ✓ CUMPLE

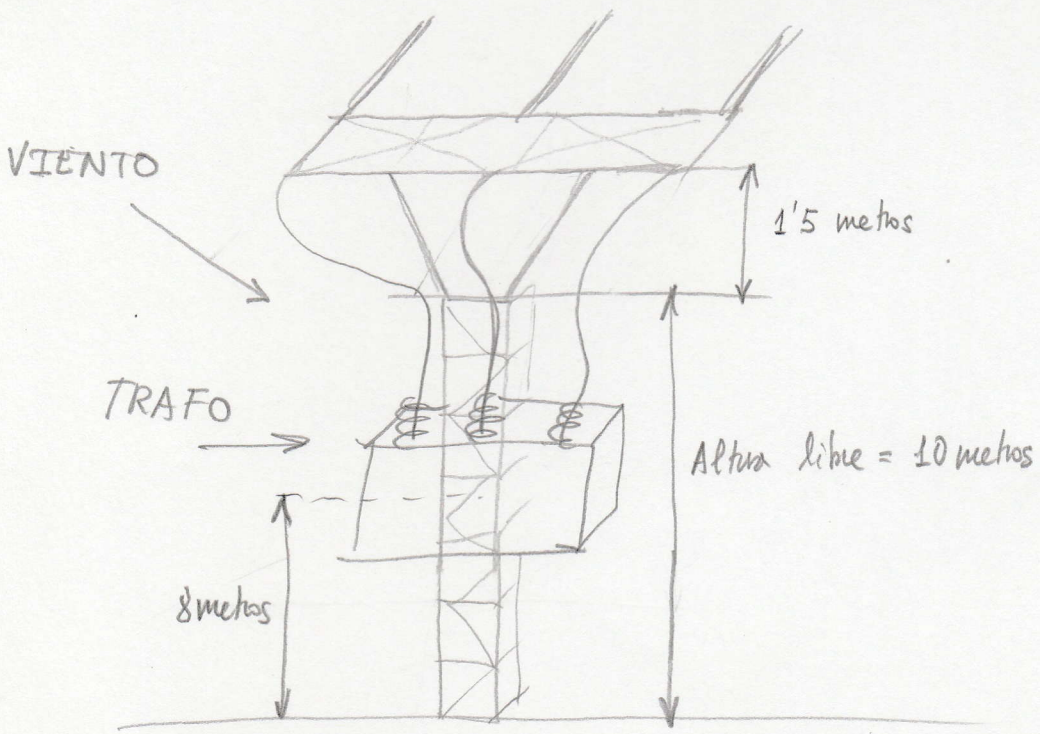
Se coge cruceta de $D = 1'25\,m$



7.35) Una línea aérea trifásica a 20kV se ha realizado con el conductor 47-AL1/8-ST1A (antiguo LA-56), discurriendo por zona B. El último tramo de dicha línea presenta un vano de regulación de 80m, siendo el último vano también de 80m, estando al mismo nivel que el apoyo precedente. Para dicho vano regulador las fuerzas a -10°C es de 280 daN, a -10°C con viento es de 437 daN y a -15°C con hielo es de 530 daN. Sabiendo que en el apoyo final de línea es del tipo celosía y presenta una altura libre de 10m, que se ha empleado una cruceta bóveda plana con brazo de cruceta de 2metros, que en el mismo se va a disponer un transformador, cuyas características son: peso 790 kg, dimensiones 1100 x 740 x 1450 mm y que está dispuesto a 8 metros sobre el nivel del suelo, se sabe además que se han utilizado aisladores sintéticos.

Determinar: 1) Los esfuerzos según la 1ª Hipotesis, Viento.
2) Los esfuerzos según la 2ª Hipotesis, Hielo
3) Los esfuerzos según la 4ª Hipotesis, Rotura de conductores
4) El tipo de apoyo a emplear.

Se nos pide que calculemos los esfuerzos que aparecen en un apoyo de fin de línea como este: ...



en el que se ha dispuesto un transformador, esta disposición se conoce como CTi, Centro de Transformación de intemperie. Es necesario aplicar los esfuerzos que aparecen en las distintas hipótesis definidas en la tabla 8

de la ITC-07 del apartado 3.5 que son las hipotesis bajo sobre carga de viento, de hielo y rotura de conductores.

En relación con las hipotesis de viento se deben considerar dos posibles direcciones del viento normal a la línea y ejerciendo un esfuerzo en la cara lateral del transformador (la mas pequeña) y viento en la dirección de la línea ejerciendo una fuerza sobre el transformador en su cara de mayor superficie, definidos ambos esfuerzos optaremos por el mayor valor.

1º Esfuerzos según la 1ª hipotesis (VIENTO NORMAL A LA LINEA)

1.1 CARGAS PERMANENTES (V)

$\frac{F=\theta+V}{Pv'}$

A) Peso de los conductores: $P_C = n \cdot p \cdot \frac{a_1}{2} \rightarrow P_C = 3 \cdot 0'18521 \cdot \frac{80}{2} = 22'22$ daN.

B) Peso de cruceta hóreda plana: sabemos que su peso es de 250 daN

C) Peso de aisladores $P_{ais} = n \cdot P_{ais_1} \rightarrow P_{ais} = 3 \cdot 2 \text{ daN} = 6$ daN

D) Peso de transformador $P_{trafo} = 790 \cdot 0'981 = 775$ daN

$+$

TOTAL CARGAS VERTICALES (V) = 1053'23 daN

1.2 ESFUERZOS PRODUCIDOS POR EL VIENTO EN DIRECCION NORMAL

A) Esfuerzo sobre conductor por fase = $d \cdot P_V \cdot \frac{a_1}{2} \Rightarrow F_{VC} = 0'00945 \cdot 60 \cdot \frac{80}{2} = 22'68$ daN //

B) Esfuerzo sobre la cara lateral del transformador $F_T = S_T \cdot F_V$

Donde (S_T) es la superficie de la cara $S_T = 0'74 \cdot 1'45 = 1'073 m^2$

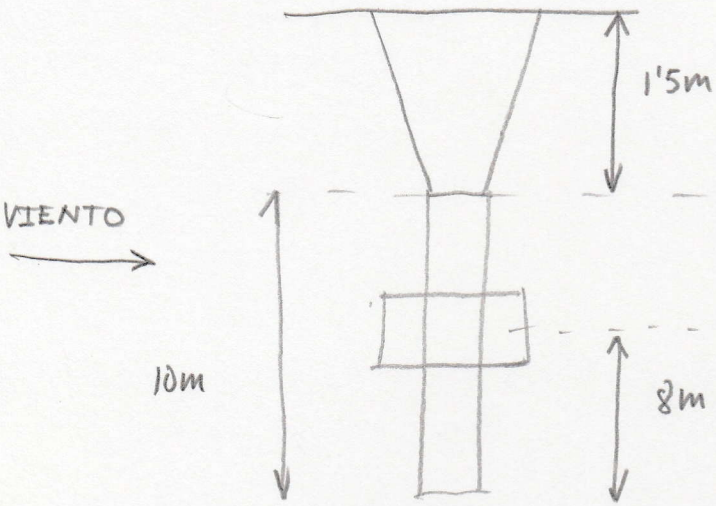
Y (F_V), la fuerza del viento que segun el RLAT en ITC-LAT 07 en el apartado 3.1.2.4 establece que para superficies planas se considere una fuerza del viento de 100 daN/m² para una velocidad de viento de 120 km/h de donde:

$F_T = 1'073 m^2 \cdot 100 \text{ daN}/m^2 = 107'3$ daN //

c) Esfuerzo de viento sobre cruceta se ha estimado una fuerza de 91 daN

D) Esfuerzo de viento sobre aisladores se ha estimado una fuerza 1 daN/ud

Estos esfuerzos están aplicados a distintas alturas, sabemos que la cruceta hívida sobre sobre la cogolla del apoyo 1'5 metros, de donde aplicando el factor de armado tenemos:



El factor de armado en hípida plana
$K_{11} = K_{12} = K_{13}$

$$F_{viento} = n\cdot(F_{VC} + Pais)\cdot\frac{4'6+H_S}{4'6} + F_C\cdot\frac{4'6+\frac{H_S}{2}}{4'6} + F_T\cdot\frac{8}{10}$$

$$F_{viento} = 3\cdot(22'68+1)\cdot\frac{4'6+1'5}{4'6} + 91\cdot\frac{4'6+\frac{1'5}{2}}{4'6} + 107'3\cdot\frac{8}{10} = 285'88 \text{ daN}$$

1.3 ESFUERZO POR DESEQUILIBRIOS DE TRACCIONES:

Se considera la fuerza a -10°C con sobrecarga de viento, es decir 437 daN, y teniendo en cuenta el factor de armado, el desequilibrio será de

$$\text{DESEQUILIBRIO} = n\cdot F_{-10°C+V}\cdot\frac{4'6+H_S}{4'6} \rightarrow Desq = 3\cdot 437\cdot\frac{4'6+1'5}{4'6} = 1738'5 \text{ daN}//$$

1.4 ESFUERZO RESULTANTE DE VIENTO MAS DESEQUILIBRIO EQUIVALENTE EN LA DIRECCION DE LA LINEA.

Este esfuerzo es la suma del viento mas desequilibrio y es longitudinal, es decir.

$$L = \text{Viento} + \text{Desequilibrio} = 285'88 + 1738'5 = 2024'38 \text{ daN}$$

En resumen: 1° Hipotesis con viento normal a la linea los esfuerzos verticales (V) y longitudinales (L) son: V = 1053'23 daN L = 2024'38 daN.

1º Esfuerzos según la 1ª Hipotesis (Viento en la dirección de la línea):

1.1 CARGAS PERMANENTES (V),

Ya estan calculadas su valor es de $V = 1053'23$ daN

1.2 ESFUERZO PRODUCIDOS POR EL VIENTO EN LA DIRECCIÓN DE LA LINEA:

Se admite que el viento empuja sobre el transformador y sobre la cruceta con el mismo valor que el considerado anteriormente a falta de mayor información, de donde.

A) Esfuerzo sobre la cara frontal del transformador: $F_T = S_T \cdot F_V$

siendo (S_T) la superficie de la cara frontal $S_T = 1'1 \cdot 1'45 = 1'595 m^2$

El RLAT en su ITC LAT 07 el apartado 3.1.2.4 establece que para superficies planas se considere una fuerza de viento de 100 daN/m² para una velocidad de 120 km/h de donde:

$F_T = 1'595 \cdot 100 = 159'5$ daN

B) Esfuerzo del viento sobre la cruceta se ha estimado en 91 daN

Estos esfuerzos estáin aplicados a distintas alturas, sabemos que la cruceta bóveda sobre sobre la cogolla del apoyo 1'5 metros, de donde aplicando el factor de armado tenemos

$$F_{viento} = F_C \cdot \frac{4'6 + \frac{H_5}{2}}{4'6} + F_T \cdot \frac{8}{10} \rightarrow F_{viento} = 91 \cdot \frac{4'6 \cdot \frac{1'5}{2}}{4'6} + 159'5 \cdot \frac{8}{10} = 233'43 \text{ daN}$$

1.3 ESFUERZO POR DESEQUILIBRIO DE TRACCIONES

Para determinar el desequilibrio que provoca la fuerza que ejercen los conductores sobre el apoyo. Se considera la fuerza a -10°C sin sobrecarga de viento puesto que la dirección del viento en este caso coincide con la de los conductores, por tanto el viento "no ve a los conduc-

fases", de donde la fuerza a considerar es de 280 daN, y teniendo en cuenta el factor de amado el desequilibrio será de:

$$\text{Desequilibrio} = n \cdot F_{-10^\circ C} \cdot \frac{4'6 + Hs}{4'6} \rightarrow \text{Desequilibrio} = 3 \cdot 280 \cdot \frac{4'6+1'5}{4'6} = 1113'91 \text{ daN}$$

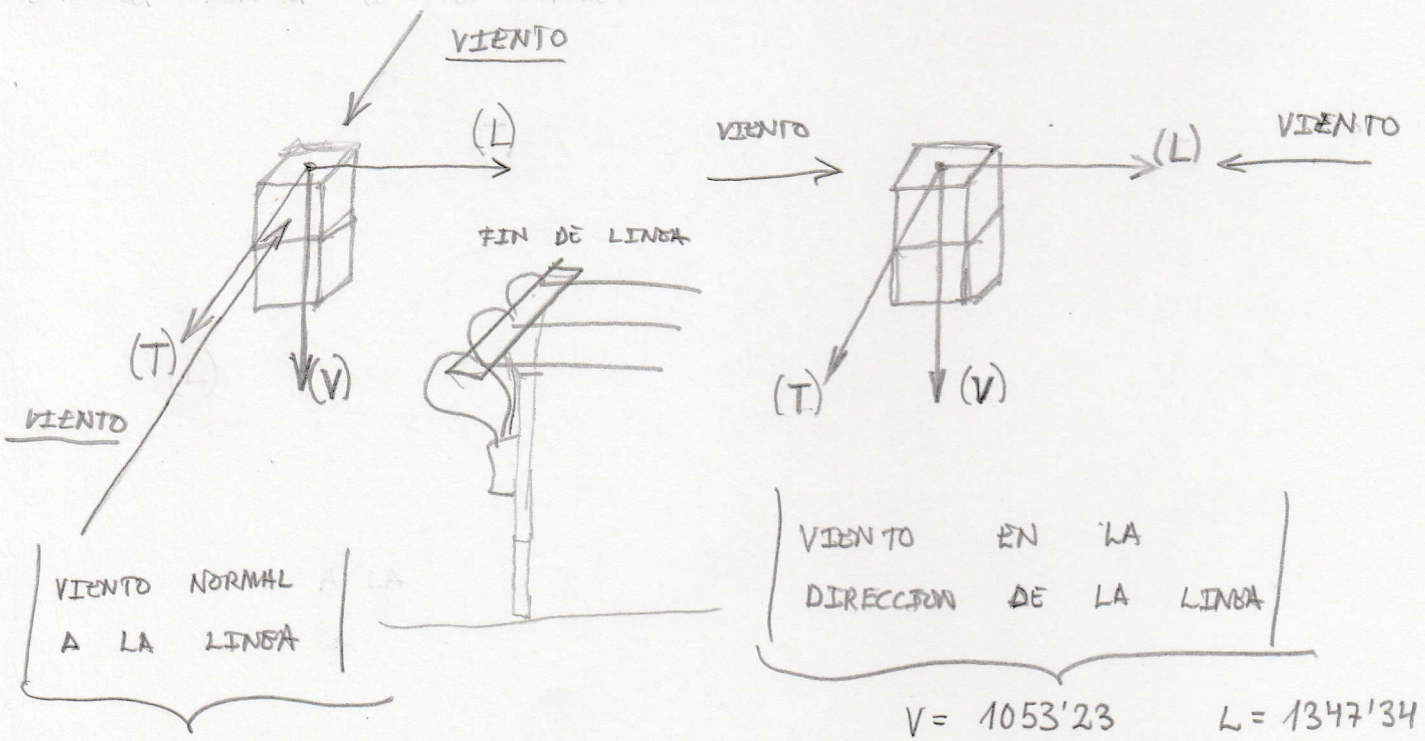
1.4 ESFUERZO RESULTANTE DE VIENTO MAS DESEQUILIBRIO EQUIVALENTE EN LA DIRECCIÓN DE LA LINEA:

Este esfuerzo es la suma de viento sobre transformador y cruceta, mas desequilibrio y es longitudinal, es decir:

$$L = \text{Viento} + \text{Desequilibrio} \rightarrow L = 233'43 + 1113'91 = 1347'34 \text{ daN}$$

En resumen en 1º Hipotesis con viento en la dirección de la línea los esfuerzos verticales (V) y longitudinales (L) son:

$$V = 1053'23 \text{ daN} \; ; \quad L = 1347'34 \text{ daN}$$



V = 1053'23 L = 2024'38

V = 1053'23 L = 1347'34

Por lo que comparando ambas situaciones es mas desfavorable el viento con dirección normal a la línea.

2) Esfuerzos según la 2ª hipotesis (HIELO)

Puesto que la línea discurre por zona B es necesario considerar esta hipotesis:

2.1 CARGAS PERMANENTES (V):

A) Peso de los conductores con manguito de hielo:

$$P_C = n \cdot P_H \cdot \frac{a_1}{2} \Rightarrow P_C = n \cdot (p + p_H) \frac{a_1}{2} \Rightarrow P_C = n (p + 0'18\sqrt{d}) \frac{a_1}{2} \Rightarrow$$

$$P_C = 3 \cdot (0'18521 + 0'18\sqrt{9'45}) \cdot \frac{80}{2} = 88'62 \text{ daN}$$

B) Peso de la cruceta bóveda plana: sabemos que pesa 250 daN

C) Peso de los aisladores: $P_{ais} = n \cdot P_{ais/ud} \Rightarrow P_{ais} = 3 \cdot 2 \text{ daN} = 6 \text{ daN}$

D) Peso de transformador $P_T = 790 \text{ kg} \cdot 0'981 \text{ daN/kg} \rightarrow P_T = 775 \text{ daN}$

+

TOTAL CARGAS VERTICALES (V) = 1119'62 daN

2.2 ESFUERZO POR DESEQUILIBRIO DE TRACCIONES (L):

Este esfuerzo esta originado por la fuerza que ejercen los conductores sobre el apoyo, siendo en este caso la fuerza a −15°C con sobrecarga de hielo, es decir de 530 daN, por lo que aplicando el factor de avance, el esfuerzo longitudinal por desequilibrios tiene por valor:

$$\text{Desequilibrio} = n \cdot F_{-15°C+H} \cdot K_1 \rightarrow \text{Desequilibrio} = n \cdot F_{-15°C+H} \cdot \frac{4'6 + 1'5}{4'6}$$

$$\text{Desequilibrio} = 3 \cdot 530 \cdot \frac{4'6 + 1'5}{4'6} = 2108'47 \text{ daN}$$

En resumen en 2ª Hipotesis con sobrecarga de hielo en la línea los esfuerzos verticales (V) y longitudinales (L) son:

$$V = 1119'62 \text{ daN} \qquad L = 2108'47 \text{ daN}$$

En resumen, estos esfuerzos son superiores a los de la 1ª hipotesis

3 Esfuerzos según la 4ª Hipotesis (Rotura de conductores)

3.1 CARGAS PERMANENTES (V)

Estas cargas han sido ya calculadas en la 2ª hipótesis y su valor es de 1119'62 daN//

TOTAL CARGAS VERTICALES = 1119'62 daN.

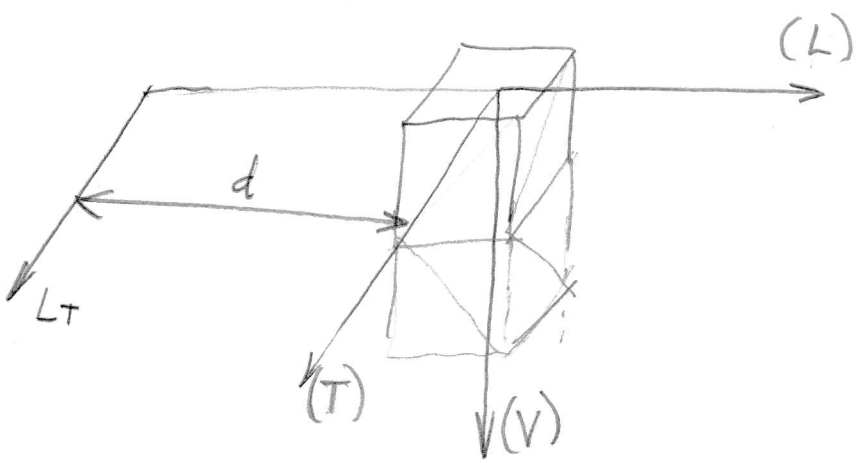
3.2 ESFUERZO POR ROTURA DE CONDUCTORES

Como mas desfavorable se considera la rotura de un conductor de los fases externos, y la fuerza es de 530 daN. Por otro lado el brazo de la cruceta para una cruceta hueca plana es de 2 metros, como el fabricante de apoyos según norma UNE 207017:2005 ensayada su apoyo con un brazo de 1'5 metros se cumple: d = 1'5

$$F = \frac{F_{-15°C} + H \cdot d_{cruceta}}{d_{apoyo}} \rightarrow F = \frac{530 \cdot 2}{1'5} = 706'66 \text{ daN}//$$

En resumen en la 4ª Hipotesis rotura de conductores, los esfuerzos verticales (V) y la fuerza torsora son de:

V = 1119'62 daN T = 706'66 daN



4º Elección de apoyo:

Tenemos los datos necesarios para elegir el apoyo, resumidos aquí:

1º Hipotesis viento normal a la línea (mas desfavorable):

V = 1053'23 daN ; L = 2024'38 daN.

2º Hipotesis de Hielo:

V = 1119'62 daN ; L = 2108'47 daN.

3º Hipotesis rotura de conductores

V = 1119'62 daN ; T = 706'66 daN.

En efecto conocemos que la envolvente resistente del apoyo es de la forma $\boxed{V + 5H = cte}$ cuyo valor, tomado de la tabla 2 de la norma UNE 207017:2005.

1º Hipotesis viento normal $1053'23 + 5 \cdot 2024'38 = 11175'14$ daN

2º Hipotesis de Hielo $1119'62 + 5 \cdot 2108'47 = 11661'97$ daN

$11175'14 \cup 11661'97 \leq 15800 \rightarrow C-3000$ ✓

3º Hipotesis rotura de conductores:

En relación con la rotura sabemos que los apoyos de celosía según norma UNE 207017:2005 soportan los esfuerzos indicados por la tabla 1 de la mencionada norma es decir:

$Lt = 706'66 \leq 1400 \rightarrow C-2000$ (TABLA), el apoyo mínimo necesario será un C-3000 ya que los casos verticales son mas restrictivos.

Según nos indica la NORMA UNE 207017:2005 las cargas verticales no son limitativas de la caja máxima, el máximo está fijado en $V_1 \leq 3V$, además por las hipótesis 1ª y 2ª debemos emplear un C-3000, en definitiva el apoyo a emplear es un C-3000.

* Una opción más razonable sería emplear una cuneta recta, puesto que solicita menos el apoyo y probablemente con un apoyo C-2000 habría sido suficiente.

7.38) Una línea aérea a 66 kV discurre por zona B, se ha realizado con el conductor 94-AL1/22-ST1A (LA-110), en dicha línea hay un tramo de la misma con un vano regulador de 110m y dicho tramo se debe tender con un coeficiente de seguridad de 4. Determinar:

1) La flecha máxima para el vano regulador y en que hipótesis se produce

2) En dicho tramo de línea existe un apoyo de alineación-ángulo en el que la traza de la línea sufre un desvío de 20° siendo los vanos adyacentes de 85 y 95 metros, se sabe que el tipo de aceite empleado impone que los conductores deviran en plano horizontal y separados entre sí 1'5 metros. Sabiendo que la longitud de la cadena de aisladores es de 0'6 m. Calcular la idoneidad de los vanos adyacentes.

Para poder determinar el vano máximo admisible es preciso determinar previamente el valor de la flecha máxima, según las hipótesis contempladas en la ITC-LAT-07 del apartado 3.2.3 que son:

1° Hipótesis de 15°C mas sobrecarga de viento.
2° Hipótesis de 50°C como mínimo.
3° Hipótesis de 0°C con sobrecarga de hielo.

Por lo que será necesario resolver la ECC para estas tres condiciones finales y así determinar la flecha correspondiente a cada una de ellas y elegir la flecha de mayor valor.

<u>1° Hipótesis de 15°C mas sobrecarga de viento:</u> Partimos de un $C_S = 4$, tenemos:

$$T_1 = T_{-15+H} = \frac{C_R}{C_S \cdot S} = \frac{4317}{4 \cdot 116'2} = 9'287 \ daN/mm^2$$

además determinamos "W" y "m_1" que son función del pretensado A.

$$A = -T_1 + E \cdot \alpha (\theta_2 - \theta_1) + \frac{E \cdot a_R^2}{24} \cdot \frac{m_1^2 \cdot W^2}{T_1^2} \qquad W = \frac{P}{S} = \frac{0'42428}{116'2} = 3'651 \cdot 10^{-3} \ daN/m\,mm^2$$

$$m_1 = \frac{P + 0'18\sqrt{d}}{P} = \frac{0'42428 + 0'18\sqrt{14}}{0'42428} = 2'587$$

$$A = -9'287 + 8000 \cdot 1'78 \cdot 10^{-5} \cdot (15-(-15)) + \frac{8000 \cdot 110^2}{24} \cdot \frac{2'587^2 (3'651 \cdot 10^{-3})^2}{9'287^2} = -0'843$$

$$B = \frac{E\, a_R^2}{24} \cdot m_2^2 \cdot W^2 \text{ , Para ello, es necesario determinar } m_2.$$

$$m_2 = \frac{\sqrt{P^2 + (q \cdot d)^2}}{P} = \frac{\sqrt{0'42428^2 + (60 \cdot 0'014)^2}}{0'42428} = 2'218$$

$$B = \frac{8200 \cdot 110^2}{24} \cdot 2'218^2 (3'651 \cdot 10^{-3})^2 = 264'49$$

$$T_{15+V}^2 [T_{15+V} - 0'843] = 264'49 \rightarrow T_{15+V}^3 - 0'843 T_{15+V}^2 - 264'49 = 0$$

por lo que la tensión a 15°C con sobrecarga de viento es de:

$$T_{15+V} = 6'712 \text{ daN/mm}^2$$

y la flecha es de: $f_{15+V} = \frac{1}{8} \cdot \frac{a_R^2 \cdot W \cdot m_2}{T_{15+V}} \rightarrow f_{15+V} = \frac{1}{8} \cdot \frac{110^2 \cdot 3'651 \cdot 10^{-3} \cdot 2'218}{6'712}$

$$f_{15+V} = 1'824 \text{ m}$$

Esta flecha evidentemente está inclinada

2º Hipótesis de 50°C $\quad \vartheta_2 = 50°C$, lo demás igual salvo $m_2 = 1$

$$A = -9'287 + 8000 \cdot 1'78 \cdot 10^{-5} \cdot (50-(-15)) + \frac{8000 \cdot 110^2}{24} \cdot \frac{2'587^2 (3'651 \cdot 10^{-3})^2}{9'287^2} = 4'141$$

$$B = \frac{E \cdot a_R^2}{24} \cdot m_2^2 \cdot W^2 = \frac{8000 \cdot 110^2}{24} \cdot 1^2 \cdot (3'651 \cdot 10^{-3})^2 = 53'763$$

$T_{50}^2 [T_{50} + 4'141] = 53'763 \rightarrow T_{50}^3 + 4'141\, T_{50}^2 - 53'763 = 0$ lo que finalmente la tensión a 50°C es de: $T_{50} = 2'785 \text{ daN/mm}^2$

y la flecha resulta ser:

$$f_{50} = \frac{1}{8} \cdot \frac{a^2 \cdot m_2 \cdot W}{T_{50}} = \frac{1}{8} \cdot \frac{110^2 \cdot 1 \cdot (3'651 \cdot 10^{-3})}{2'785} = 1'982 \text{ m}$$

3 Hipótesis de 0°C + Hielo $\quad \vartheta_2 = 0°C$ ¿ $m_2 = m_1$?

¿TCD?

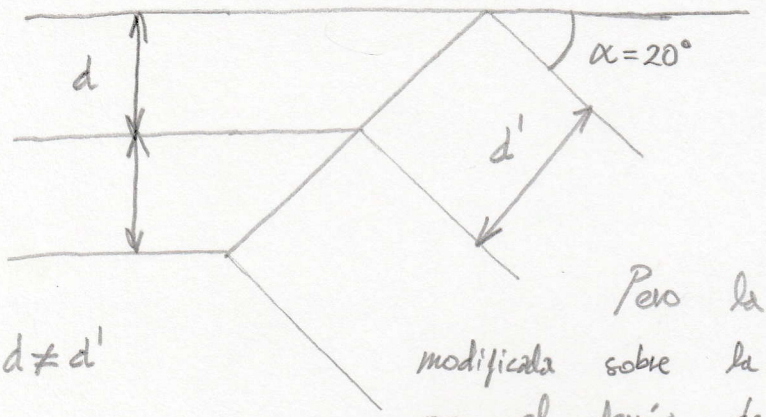
A ? $\vartheta_2 = 0°$ B ?

2) Es necesario determinar el vano máximo admisible para el apoyo de alineación - ángulo y comprobar que este valor es mayor que los vanos adyacentes y en este caso los vanos son aceptables. Sabemos que el vano máximo admisible está definido.

$$a_{MAX\ ADM} = a_R \cdot \sqrt{\frac{F_{MAX\ ADM}}{f_{max}}}$$,

para determinar la flecha máximas admisible $F_{MAX\ ADM}$ para las 3 hipótesis a partir de la distancia entre conductores, que está determinada por:

$$D = K\sqrt{F+L} + K' \cdot D_{pp}\ (m)$$



$d \neq d'$

Pero la distancia entre conductores se ve modificada sobre la distancia entre conductores en cruceta por el demás de la haza de la línea, en efecto los conductores situados en un plano horizontal definen la anterior figura.

Por lo que resulta que la distancia real entre conductores (d), en función de la distancia de conductores en cruceta (d'), es de:

$$d = d' \cdot \cos\frac{\alpha}{2} \Rightarrow d = 1'5\,m \cdot \cos\frac{20°}{2} = 1'477\,m \equiv D$$

El valor de la constante K para la hipótesis de viento, en función de la tangente del ángulo de desvío bajo la acción del viento es de:

$$tg\,\beta = \frac{p_v}{p} \Rightarrow tg\,\beta = \frac{g \cdot d}{p} \rightarrow tg\,\beta = \frac{60 \cdot 0'014}{0'42428} = 1'979 \sim \beta = 63'2°$$

como $63'2° < 65°$ → Según tablas 5.4.1 ITC 07 LAT → $U_N \leq 30kV$ → $K = 0'65$

Por otro lado, para las hipótesis de temperatura y hielo, puesto que no existe ángulo de desvío de los conductores, el valor de la constante K para estas dos hipótesis será de 0'6.

Por otro lado D_{pp} vale 0'80 según la tabla 15 del apartado 5.3 ITC 07

Según la tabla, la tensión más elevada de la red para dicha tensión nominal, se puede comprobar en la tabla 1 del apartado 1.2 de la ITC-07-LAT. Desde para 66kV → $U_s = 72'5kV$, según la tabla 15 $U_s = 72'5kV \rightarrow D_{pp} = 0'8$ m.

$K' = 0'75$ por no ser línea de categoría especial:

$$D = K\sqrt{F+L} + K' \cdot D_{pp} \rightarrow F_{MAX\,ADM} = \left(\frac{D - K' \cdot P_{PP}}{K}\right)^2 - L$$

$$F_{MAX\ ADM} = \left(\frac{1'477 - 0'75 \cdot 0'8}{0'65}\right)^2 - 0'6 = 1'22\,m$$ ← Hipótesis de viento

$$F_{MAX\ ADM} = \left(\frac{1'477 - 0'75 \cdot 0'8}{0'6}\right)^2 - 0'6 = 1'536\,m$$ ← Hipótesis de temperatura y hielo

El vano máximo admisible para la hipótesis de viento es:

$$a_{MAX\ ADM} = a_R \sqrt{\frac{F_{MAX\ ADM}}{f_{15+V}}} \rightarrow a_{MAX\,ADM} = 110 \cdot \sqrt{\frac{1'22}{1'824}} = 89'96\,m$$

$$a_{MAX\ ADM} = a_R \cdot \sqrt{\frac{F_{MAX\ ADM}}{f_{50}}} \rightarrow a_{MAX\ ADM} = 110 \cdot \sqrt{\frac{1'536}{1'982}} = 98'83\,m$$

$$a_{MAX\ ADM} = a_R \cdot \sqrt{\frac{F_{MAX\ ADM}}{f_{0+H}}} \rightarrow a_{MAX\ ADM} = 110 \cdot \sqrt{\frac{1'536}{1'73}} = 103'64\,m$$

El vano máximo admisible será el menor de los tres calculados: 89'86 m

Como el vano máximo admisible es inferior al vano real de 95 metros, este vano no será admisible y por tanto no se puede realizar así la línea. La solución más inmediata es disponer otra cruceta tal que se aumente la distancia entre conductores en cruceta y por tanto a pesar del ángulo de desvío también se aumente la distancia real entre conductores y en resumen la $f_{MAX\ ADMISIBLE}$.

P 7.40 Una línea aérea a 66kV discurre por zona C y se ha realizado con el conductor 94-AL1/22-ST1A (LA-110), en dicha línea hay un tramo de la misma, con vano de regulación de 110m y dicho tramo se debe tender con un coeficiente de seguridad igual a 4. Determinar

1) La fuerza para las condiciones de -15°C con presión de viento mitad:

2) Las fuerzas y flechas para las condiciones de flecha máxima:

1°) La determinación de la fuerza a -15°C con una presión de viento mitad, para la línea en zona C, es necesaria para determinar posteriormente el ángulo de desvío de la cadena de aisladores, bajo la acción del viento para el caso de apoyos de alineación-ángulo. Este valor de la fuerza para estas condiciones debe aparecer en la tabla de tendido. Es por tanto necesario aplicar ECC, partiendo de unas condiciones iniciales de -20°C con sobrecarga de hielo y $C_s = 4$, obtener para las condiciones finales de -15°C con una sobrecarga de viento mitad, según establece el Reglamento en el apartado 5.4.2 ITC-LAT-07

$\theta_1 = -20°C \quad \theta_2 = -15°C.$

$$T_1 = T_{-20+H} = \frac{C_R}{C_s \cdot S} = \frac{4317}{4 \cdot 116'2} = 9'287 \text{ daN/mm}^2$$

$$w = \frac{P}{S} = \frac{0'42428}{116'2} = 3'651 \cdot 10^{-3} \text{ daN/mm mm}^2$$

ZONA C $\rightarrow$ $$m_1 = \frac{P + 0'36\sqrt{d}}{P} = \frac{0'42428 + 0'36\sqrt{14}}{0'42428}$$

$m_1 = 4'174.$

$$A = -T_1 + E \cdot \alpha (\theta_2 - \theta_1) + \frac{E \cdot \partial R^2}{24} \cdot \frac{m_1^2 \cdot w^2}{T_1^2}$$

$$A = -9'287 + 8000 \cdot 1'78 \cdot 10^{-5}(-15-(-20)) + \frac{8000 \cdot 110^2}{24} \cdot \frac{4'174^2 (3'651 \cdot 10^{-3})^2}{9'287^2} = 2'285$$

Para determinar esta expresión es preciso determinar el coeficiente de sobrecarga con viento mitad.

$$m_2 = \frac{\sqrt{P^2 + \left(\frac{q}{2} \cdot d\right)^2}}{P} = \frac{\sqrt{0'42428^2 + \left(\frac{60}{2} \cdot 0'014\right)^2}}{0'42428} = 1'407$$

$$B = \frac{E \cdot \partial R^2}{24} \cdot m_2^2 \cdot w^2 = \frac{8000 \cdot 110^2}{24} \cdot 1'407^2 \cdot (3'651 \cdot 10^{-3})^2 = 106'464$$

por lo que la ecuación de cambio de condiciones es de la forma:

$$T_{-15+V/2}^2 \left[T_{-15\,V/2} + 2'285\right] = 106'464$$

por lo que la tensión a -15°C con sobrecarga de viento mitad es de:

$$T_{-15+V/2} = 4'09 \text{ daN/mm}^2 \rightarrow F_{-15+V/2} = T_{-95+V/2} \cdot S \Rightarrow F_{-15+V/2} = 4'09 \cdot 116'2$$

$$F_{-15+V/2} = 474'9 \text{ daN}$$

2) Las condiciones de flecha máxima, según las hipótesis contempladas en la ITC – LAT 07 apartado 3.2.3 son:

1. Hipótesis de 15°C + Viento $\quad m_1 = 4'174 \quad \theta_2 = 15°C \quad \theta_1 = -20°C$

$$A = -T_1 + E \cdot \alpha (\theta_2 - \theta_1) + \frac{E \cdot a_R^2}{24} \cdot \frac{m_1^2 \cdot W^2}{T_1^2}$$

$$A = -9'287 + 8000 \cdot 1'78 \cdot 10^{-5}\left(15 - (-20)\right) + \frac{8000 \cdot 110^2}{24} \cdot \frac{4'174^2 \left(3'651 \cdot 10^{-3}\right)^2}{9'287^2} = 6'56$$

$$B = \frac{E \cdot a_R^2}{24} \cdot m_2^2 \cdot W^2 \quad \text{siendo} \quad m_2 = \frac{\sqrt{p^2 + (q \cdot d)^2}}{p} = \frac{\sqrt{0'42428 + (60 \cdot 0'014)^2}}{0'42428}$$

$$m_2 = 2'218 \qquad B = \frac{8000 \cdot 110^2}{24} \cdot 2'218^2 \cdot \left(3'651 \cdot 10^{-3}\right)^2 = 264'49$$

por lo que la ECC es de la forma

$$T_{15+V}^2 \left[T_{15+V} + 6'56\right] = 264'49 \rightarrow T_{15+V}^3 + 6'56\, T_{15+V}^2 - 264'49 = 0$$

La tensión y fuerza a 15°C con sobrecarga de viento es de:

$$T_{15+V} = 4'82 \text{ daN/mm}^2 \qquad F_{15+V} = 560 \text{ daN} //$$

Y la flecha en estas condiciones resulta ser

$$f_{15+V} = \frac{1}{8} \cdot \frac{a^2 \cdot W \cdot m_2}{T_{15+V}} \Rightarrow f_{15+V} = \frac{1}{8} \cdot \frac{110^2 \cdot 3'651 \cdot 10^{-3} \cdot 2'218}{4'82} = 2'54 \text{ m}$$

Esta flecha evidentemente está inclinada:

2 Hipotesis de 50°C sin sobrecarga en este caso, la constante A tiene por valor.

$$A = -9'287 + 8000 \cdot 1'78 \cdot 10^{-5}\left(50-(-20)\right) + \frac{8000 \cdot 110^2}{24} \cdot \frac{4'174^2 (3'651 \cdot 10^{-3})^2}{9'287^2} = 11'544$$

$$B = \frac{E \cdot dR^2}{24} m_2^2 \cdot w^2 \rightarrow B = \frac{8000 \cdot 110^2}{24} \cdot 1^2 \cdot (3'651 \cdot 10^{-3})^2 = 53'763$$

$$T_{50}^2 \left[T_{50} + 11'544\right] = 53'763 \rightarrow T_{50}^3 + 11'544\, T_{50}^2 - 53'763 = 0$$

Por lo tanto finalmente la tensión y fuerza a 50°C es de:

$$T_{50} = 1'99 \text{ daN/mm}^2 \rightarrow F_{50} = T_{50} \cdot S \rightarrow F_{50} = 1'99 \cdot 116'2 = 232 \text{ daN}$$

Y la flecha resulta: $f_{50} = \frac{1}{8} \cdot \frac{a^2 \cdot w \cdot m_2}{T_{50}} \rightarrow f_{50} = \frac{1}{8} \cdot \frac{110^2 \cdot 3'651 \cdot 10^{-3} \cdot 1}{1'99} = 2'77 \text{ m}$

3 Hipotesis de 0°C + Hielo: En este caso la constante A tiene por valor:

$$A = -9'287 + 8000 \cdot 17'8 \cdot 10^{-6}\left(0-(-20)\right) + \frac{8000 \cdot 110^2}{24} \cdot \frac{4'174^2 (3'651 \cdot 10^{-3})^2}{9'287^2} = 4'424$$

$$B = \frac{E \cdot dR^2}{24} \cdot m_2^2 \cdot w^2 \rightarrow B = \frac{8000 \cdot 110^2}{24} \cdot 4'174^2 (3'651 \cdot 10^{-3})^2 = 937'18$$

$$T_{0+H}^2 \left[T_{0+H} + 4'4242\right] = 937'18 \rightarrow T_{0+H}^3 + 4'4242\, T_{0+H}^2 - 937'18 = 0$$

$$T_{0+H} = 8'51 \text{ daN/mm}^2 \rightarrow F_{0+H} = T_{0+H} \cdot S \rightarrow F_{0+H} = 8'51 \cdot 116'2 = 989 \text{ daN}$$

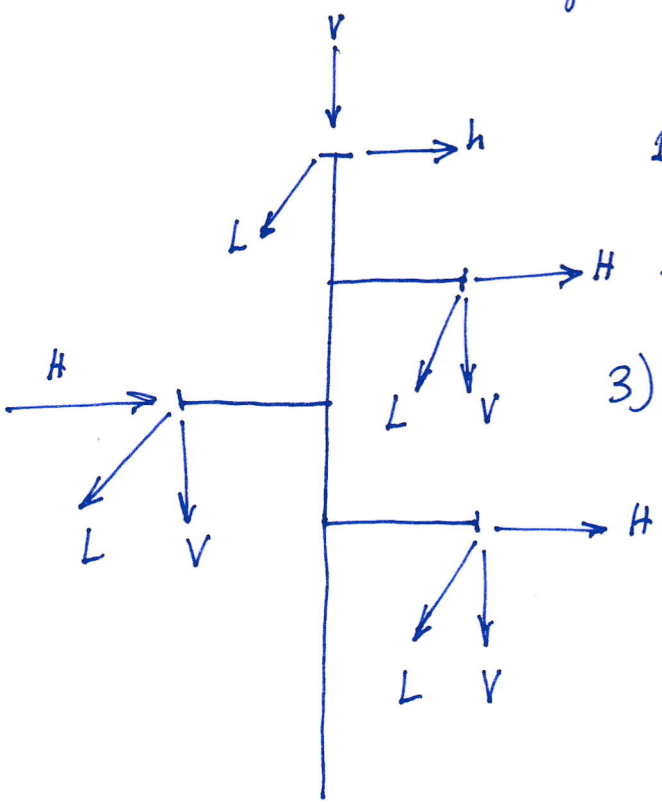
Y la flecha en estas condiciones: $f_{0+H} = \frac{1}{8} \cdot \frac{a^2 \cdot w \cdot m_2}{T_{0+H}}$

$$f_{0+H} = \frac{1}{8} \cdot \frac{110^2 \cdot (3'651 \cdot 10^{-3}) \cdot 4'174}{8'51} = 2'708 \text{ m}$$

Normalmente la flecha máxima se produce en la hipotesis de temperatura y en este caso es de 2'77m.

7.43) Para una línea a 66 kV que discurre por zona A, se pretende emplear apoyos cuyos esfuerzos por fase están indicados en la siguiente tabla:

Sabiendo que el conductor empleado es el 242-AL1/39-ST1A (antiguo LA-280), que el terreno de la línea se ha realizado con un coeficiente de seguridad igual a 4'5. Determinar los esfuerzos resultantes según las distintas hipótesis para un apoyo de alineación con vanos anteriores de 125 m y 150 m estando el apoyo considerado 10 metros por encima de los apoyos adyacentes, definiendo el apoyo a utilizar (Despréciese el peso de las cadenas de aisladores y el viento sobre las mismas)



1) Hipótesis de viento:

2) Hipótesis de desequilibrio:

3) Hipótesis de rotura de conductores:

En primer lugar los esfuerzos están definidos por fase, por tanto calcularemos para una fase o circuito, para cada una de los esfuerzos resultantes.

Para el conductor empleado su sección es de 281'1 mm² y su carga de rotura de 8489 daN por lo que la fuerza en las condiciones iniciales de -5°C mas viento es de:

$$F_{-5+V} = \frac{C_R}{K_S} = \frac{8489}{4'5} = 1886'44 \text{ daN}$$

1 Hipotesis de viento

1. CARGAS PERMANENTES VERTICALES (V)

A) Peso de conductores (por fase o circuito):

$$P_C = P\left[\frac{a_1+a_2}{2} + \frac{F_{-0+V}}{P_V'}\left(\frac{h_0-h_1}{a_1} + \frac{h_0-h_1}{a_2}\right)\right]$$

$$P_C = 0'95765 \cdot \left[\frac{125+150}{2} + \frac{1886'44}{\sqrt{0'95765^2 + (50 \cdot 21'8 \cdot 10^{-3})^2}}\left(\frac{10}{125} + \frac{10}{125}\right)\right] = 314'29 \text{ daN}$$

2. ESFUERZO DEL VIENTO NORMAL A LA LINEA O EN LA DIRECCION DE LA BISECTRIZ DEL ANGULO INTERNO DE LA LINEA (T o H)

A) Sobre conductores: los esfuerzos del viento sobre conductores por fase:

$$F_V = \frac{a_1+a_2}{2} \cdot d \cdot q \cdot \cos\frac{\alpha}{2} \rightarrow F_V = \frac{125+150}{2} \cdot (21'8 \cdot 10^{-3}) \cdot 50 \cdot \cos\frac{0^\circ}{2} = 149'87 \text{ daN}$$

Comparado estos valores con los de la tabla indicativa de los esfuerzos que soporta el apoyo en esta hipotesis de viento, cualquier apoyo sería válido.

3 Hipotesis de desequilibrio

1. CARGAS PERMANTES VERTICALES (V)

En zona A → 314'29 daN

2. DESEQUILIBRIO DE TRACCIONES: (L y T)

En sentido longitudinal (L) y por fase el desequilibrio de tracciones para un apoyo de alineación y ángulo, por ser el caso más general, tiene por valor:

$$F_L = \frac{8}{100} F_M \cdot \cos\frac{\alpha}{2} \rightarrow F_L = \frac{8}{100} \cdot 1886'44 \Rightarrow F_L = 150'91 \text{ daN}$$

Comparando estos valores con los de la tabla indicativa de los esfuerzos que soporta el apoyo para la hipótesis de desequilibrio, cualquier apoyo será válido.

4 Hipótesis de rotura de conductores L:

1. CARGAS PERMANENTES VERTICALES (V) (sobrecargas incluidas en zonas B o C):

El mismo valor conseguido de 314'29 daN

2. ESFUERZO POR ROTURA DE CONDUCTORES (L):

En este tipo de apoyos, previas a las justificaciones pertinentes se puede tener en cuenta una reducción del 50% para líneas con un conductor por fase y circuito, por tanto:

$F_M = 0'5 \cdot 1886'44 = 943'22$ daN

Se comparará este valor con los valores de T^* de los distintos apoyos

A la vista de estos valores, los apoyos que pueden resultar válidos son aquellos cuyo esfuerzo T^* sea superior a 943'22 daN, por lo tanto de la tabla anterior cualquier apoyo es válido, en resumen, el apoyo a ampliar es: 61T110.

7.46) En una línea aérea a 20kV que discurre por zona A se ha utilizado el conductor 94 AL1/22 - ST1A (antiguo LA-110) y se desea utilizar en torre en el $C_S \geq 3$ y TCD del 15% de la carga de rotura.
En un tramo con un vano regulador de 100 metros se encuentran los apoyos de alineación y ángulo, en el que la traza de la línea sufre un desvío de 4°, siendo los vanos anterior y posterior respectivamente de 70 y 95 metros, estando el apoyo considerado 5 metros por debajo del apoyo anterior y 7 metros por encima del apoyo posterior. Sabiendo que se han empleado aisladores de composite, por tanto con peso de 5 daN y con presión de viento, el viento ejerce una fuerza de 1'05 daN sobre el aislador. Determina:

1) El ángulo de desvío de la cadena de aisladores cuando la temperatura es de 10°C:

2) El ángulo de desvío de la cadena de aisladores a -5°C con presión de viento nula:

1) Previamente al calculo de los ángulos de desvío, se debe comprobar si empleando un coeficiente de seguridad de 3, se cumple la condición de la Tensión de cada Día (TCD), es decir, que a 15°C la fuerza resultante sea igual o inferior al 15% de la carga de rotura del conductor. Para ello, para el vano regulador de 100m emplearemos la ECC. Tenemos:

$$T_1 = T - 5 + V = \frac{CR}{C_S \cdot S} = \frac{4317}{3 \cdot 116'2} = 12'383 \ daN/mm^2$$

$$A = -T_1 + E \cdot \alpha \cdot (\theta_2 - \theta_1) + \frac{E \cdot a_R^2}{24} \cdot \frac{m_1^2 \cdot W^2}{T_1^2} \qquad B = \frac{E a_R^2}{24} \cdot m_2^2 \cdot W^2$$

$$m_1 = \frac{\sqrt{P^2 + (q \cdot d)^2}}{P} = \frac{\sqrt{0'42428^2 + (60 \cdot 0'014)^2}}{0'42428} = 2'218$$

$$W = \frac{P}{S} = \frac{0'42428}{116'2} = 3'6512 \cdot 10^{-3} \ daN/m\,mm^2$$

$$A = -12'383 + 8000 \cdot 1'78 \cdot 10^{-5} \cdot (15 - (-5)) \frac{8000 \cdot 100^2}{24} \cdot \frac{2'218^2 (3'6512 \cdot 10^{-3})^2}{12'383^2} = -8'109$$

A =

$$B = \frac{8000 \cdot 100^2}{24} (3'6512 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 1^2 = 44'437$$

De donde: $T_{15} = 8'696 \ daN/mm^2 \rightarrow F_{15} = 8'696 \cdot 116'2 = 1010'47 \ daN$

$$T.C.D = \frac{15}{100} \cdot 4317 = 647'5 \ daN < 1010'47 \ daN$$

Puesto que no cumple la condición de TCD, imponemos a 15°C una fuerza del 15% de la carga de rotura del conductor, por lo que

$$T_{15} = \frac{647'55}{116'2} = 5'572 \ daN/mm^2 \rightarrow T_{15}^2 [T_{15} + A] = B$$

como B es constante, se procede de modo inverso a resolver.

Sustituimos $\rightarrow 5'572^2 (5'572 + A) = 44'437$

Por lo que la tensión en el estado inicial que cumple la condición de TCD:

$$A = -T_1 + E \cdot \alpha (\theta_2 - \theta_1) \cdot \frac{E \cdot d^2}{24} \cdot \frac{m_2^2 \cdot w^2}{T_1^2}$$

$$-4'14 = -T_{-5+V} + 8000 \cdot 1'78 \cdot 10^{-5} (15 - (-5)) + \frac{8000 \cdot 100^2}{24} \cdot \frac{2'218^2 \cdot (3'6512 \cdot 10^{-3})^2}{T_{-5+V}^2}$$

$$T_{-5+V} - 6'988 - \frac{218'6115}{T_{-5+V}^2} = 0 \rightarrow T_{-5+V}^2 \left(T_{-5+V} - 6'988 - \frac{218'6115}{T_{-5+V}^2} \right) = 0$$

$$T_{-5+V}^3 - 6'988 \, T_{-5+V}^2 - 218'6115 = 0 \rightarrow T_{-5+V} = 9'440775 \ daN/mm^2$$

Estamos ya en disposición de aplicar la ECC para esas condiciones finales de 10°C y poder determinar la fuerza resultante:

$$A = -9'44 + 8000 \cdot 1'78 \cdot 10^{-5} \cdot (10 - (-5)) + \frac{8000 \cdot 100^2}{24} \cdot \frac{(3'6512 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 2'218^2}{9'44^2} = -4'85$$

$$B = \frac{8000 \cdot 100^2}{24} \cdot (3'6512 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 1^2 = 44'437$$

$$T_{15}^2 (T_{15} - 4'85) = 44'437 \rightarrow T_{15}^3 - 4'85 T_{15}^2 - 44'437 = 0 \Rightarrow T_{15} = 6'06 \ daN/mm^2$$

Podemos aplicar esta fuerza a la expresión del desnivel de catenaria, pero teniendo en cuenta que las condiciones bajo las que debemos determinar el desnivel de catenaria es exclusivamente a 10°C, en la citada expresión se anulan los términos en los que interviene la

fuerza del viento, puesto que no existe:

$$tg\,\delta = \frac{2\,F_{0+\frac{V}{2}} \cdot \operatorname{sen}\frac{\alpha}{2} + \frac{q}{2}\,d \cdot av \cdot \cos\frac{\alpha}{2} + \frac{Qv}{2}}{p\,av + F_{0+\frac{V}{2}}\left(\frac{h_0 - h_1}{a_1} + \frac{h_0 - h_2}{a_2}\right) + \frac{Q}{2}}$$

Sustituyendo valores:

$$tg\,\delta = \frac{2 \cdot 704'17 \cdot \operatorname{sen}\frac{4}{2}}{0'42428 \cdot \frac{70+95}{2} + 704'17 \cdot \left(\frac{-5}{70} + \frac{7}{95}\right) + \frac{5}{2}} = 1'25 \rightarrow \quad \delta = 51'503°$$

2) Pretendemos ahora calcular nuevamente el ángulo de desvío, pero ahora bajo las condiciones $-5°C$ y con una presión de viento mitad, por lo que es necesario calcular la fuerza bajo estas condiciones, tenemos

$$A = -9'44 + 8000 \cdot 1'78 \cdot 10^{-5}\,(-5-(-5)) + \frac{8000 \cdot 100^2}{24} \cdot \frac{(3'6512 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 2'218^2}{9'44^2} = -6'986$$

$$m_2 = m_{-5+\frac{V}{2}} = \frac{\sqrt{p^2 + \left(\frac{q}{2} \cdot d\right)^2}}{p} = \frac{\sqrt{0'42428^2 + \left(\frac{60}{2} \cdot 0'014\right)^2}}{0'42428} = 1'407$$

$$B = \frac{8000 \cdot 100^2}{24} \cdot (3'6512 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 1'407^2 = 87'983$$

$$T^2_{-5+V/2}\left[T_{-5+V/2} - 6'986\right] = 87'983 \rightarrow T^3_{-5+V/2} - 6'986\,T_{-5+V/2} - 87'983 = 0$$

$$T_{-5+V/2} = 8'271\ daN/mm^2 \rightarrow F_{-5+V/2} = T_{-5+V/2} \cdot S \rightarrow F_{-5+V/2} = 8'271 \cdot 116'2 = 961'09\ daN$$

El nuevo ángulo de desvío a $-5°C$ y bajo la acción del viento mitad es de:

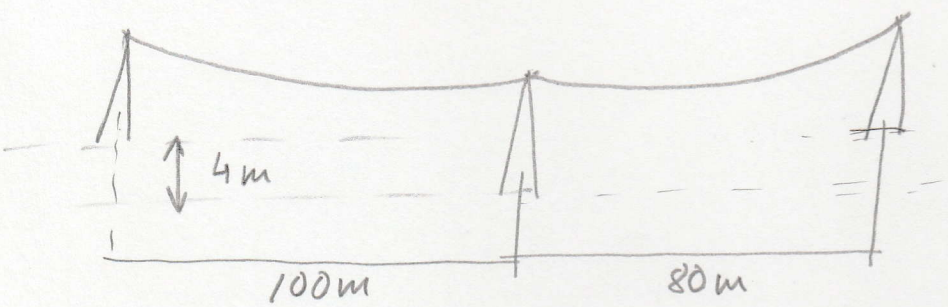
$$tg\,\delta = \frac{2 \cdot 961'09 \cdot \operatorname{sen}\frac{4}{2} + \frac{60}{2} \cdot 0'014 \cdot \frac{70+95}{2} \cdot \cos\frac{4}{2} + \frac{1'105}{2}}{0'42428 \cdot \frac{70+95}{2} + 961'09 \cdot \left(\frac{-5}{70} + \frac{7}{95}\right) + \frac{5}{2}} = 2'577$$

$$\delta = 68'792°$$

7.49) En una línea aérea de 66kV que discurre por zona C, se ha utilizado el conductor 147 AL1/34 - ST1A (antiguo LA-180) y se ha utilizado en tense con un $k_s = 5'33$ y existe un tramo cuyo vano regulador es de 100m. Dentro del citado tramo existe un apoyo de alineación - ángulo cuyos vanos adyacentes son de 100 y 80 metros respectivamente y el ángulo de desvío es de 10°, estando situado 4 metros por debajo de los anteriores. Determinar:

1) El valor máximo del posible tiro vertical
2) Sabiendo que el ángulo máximo de desvío de la cadena de aisladores es de 75° y tiene un peso de 5 daN y el viento ejerce una presión de 2'1 daN sobre el aislador, determinar el contrapeso mínimo necesario a instalar:

El apoyo tiene una situación como esta



El vano del conductor que determina el posible tiro vertical en la cadena de aisladores de suspensión está determinado por la expresión

$$P_C = p \cdot d_V + F_{-20} \left(\frac{h_0 - h_1}{d_1} + \frac{h_0 - h_2}{d_2} \right) \text{ daN}$$

por lo que es necesario determinar la fuerza en el conductor a -20°C aplicando la ECC, partiendo de los valores iniciales:

$$T_{-20+H} = \frac{C_R}{K_s \cdot S} = \frac{6494}{5'33 \cdot 181'6} = 6'709 \text{ daN/mm}^2$$

$$A = -T_1 + E \cdot \alpha (\theta_2 - \theta_1) + \frac{E \cdot d_R^2}{24} \cdot \frac{m_1^2 \cdot w^2}{T_1^2} \quad ; \quad B = \frac{E \cdot d_R^3}{24} \cdot m_2^2 \cdot w^2$$

$\theta_2 = -20°C$ $\qquad w = \frac{P}{S} = \frac{0'66295}{181'6} = 3'6506 \cdot 10^{-3}$ daN/m mm²

$$m_1 = \frac{p + 0'36\sqrt{d}}{p} \rightarrow m_1 = \frac{0'66295 + 0'36\sqrt{17'5}}{0'66295} = 3'271$$

La ECC queda

$$A = -6'709 + 8000 \cdot 1'78 \cdot 10^{-5} \cdot (-20-(-20)) + \frac{8000 \cdot 100^2}{24} \cdot \frac{(3'65 \cdot 10^{-3})^2 \cdot (3'271)^2}{6'709^2} = 3'848$$

$$B = \frac{8000 \cdot 100^2}{24} (3'65 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 1^2 = 44'408$$

$$T_{-20}^2 [T_{-20} + 3'848] = 44'408 \rightarrow T_{-20}^3 + 3'848\, T_{-20}^2 - 44'408 = 0 \rightarrow T_{-20} = 2'62 \text{ daN/mm}^2$$

$$F_{-20} = T_{-20} \cdot S \rightarrow F_{-20} = 2'62 \cdot 181'6 \Rightarrow F_{-20°C} = 475'79 \text{ daN}$$

por lo que el peso de conductores para determinar el tiro posible es:

$$P_c = 0'66295 \cdot \frac{100+80}{2} + 475'79 \left(\frac{-4}{100} + \frac{-4}{80}\right) = 16'84 \text{ daN}$$ NO EXISTE TIRO VERTICAL

Ya que las fuerzas se cogen positivas hacia abajo, si hubiera tiro ascendente, la fuerza aparecería con sentido negativo.

2) Además del posible tiro, se pide calcular el desvío de la cadena de aisladores de suspensión, comprobando que el desvío no es excesivo y en su caso colocar la cadena en V invertida.

La expresión del ángulo de desvío es la siguiente:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{2 F_{0+V/2} \cdot \operatorname{sen} \frac{\alpha}{2} + \frac{q}{2} \cdot d \cdot a_V \cdot \cos \frac{\alpha}{2} + \frac{q_V}{2}}{p \cdot a_V + F_{-0+V/2} \left(\frac{h_0 - h_1}{a_1} + \frac{h_0 - h_2}{a_2} \right) + \frac{q}{2} + C}$$

para aplicar esta expresión es necesario previamente calcular la fuerza a -15°C con presión de viento mitad, es decir

$$m_2 = m_{V/2} = \frac{\sqrt{p^2 + \left(\frac{q}{2} \cdot d\right)^2}}{p} \rightarrow m_2 = m_{V/2} = \frac{\sqrt{0'66295^2 + \left(\frac{50}{2} \cdot (17'5 \cdot 10^{-3})\right)^2}}{0'66295} = 1'198$$

$$A = -6'709 + 8000 \cdot 1'78 \cdot 10^{-5} \cdot (-15-(-20)) + \frac{8000 \cdot 100^2}{24} \cdot \frac{(3'65 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 3'271^2}{6'709^2} = 4'559$$

$$B = \frac{8000 \cdot 100^2}{24} \cdot (3'65 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 1'198^2 \Rightarrow B = 63'734$$

Resolviendo la ECC resulta ...

$$T_{-15+1/2}^{2}\left(T_{-15\,1/2}+4'559\right)=63'734 \rightarrow T_{-15\,1/2}^{3}+4'559\,T_{-15\,1/2}^{2}-63'734=0$$

$T_{-15\,1/2}=2'919\ daN/mm^2 \rightarrow F_{-15\,1/2}=T_{-15\,1/2}\cdot S \rightarrow F_{-15\,1/2}=2'919\cdot 181'6=530\ daN$

de donde el cortante para necesario tem... despejando C.

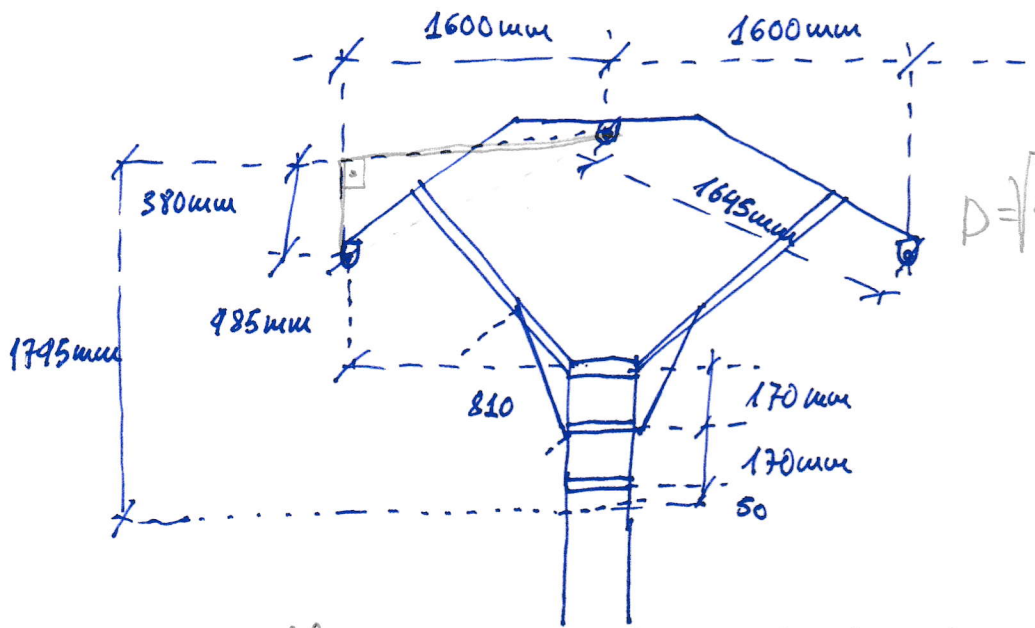
$$tg\,75^\circ=\frac{2\cdot 530\cdot \operatorname{sen}\frac{10}{2}+\frac{50}{2}\cdot 17'5\cdot 10^{-3}\cdot\frac{100+80}{2}\cos\frac{10}{2}+\frac{21}{2}}{0'66295\cdot\frac{100+80}{2}+530\left(\frac{-4}{100}+\frac{-4}{80}\right)+\frac{5}{2}+C}=\frac{132'66}{14'465+C}$$

$C=21'08\ daN.$

$$C=\frac{132'66}{tg\,75^\circ}-14'465=21'08\ daN.$$

7.50) Una línea de MT a 20kV está realizada con el conductor 94-AL1/22 ST1 A (antiguo LA 110) y discurre por zona A en un [illegible] con un vano regulador de 80m y un coeficiente de seguridad [illegible] 4. Existe un apoyo de alineación cuyos vanos anterior y posterior son respectivamente: 75m y 82m, por otro lado las altura de los apoyos contiguos son 3 metros por encima del conductor y 2 metros por debajo del conductor. Sabiendo que se van a utilizar apoyos de hormigón armado, con aisladores sintéticos (con un peso de 5 daN y el viento ejerce una fuerza de 2'1 daN) y que la cadena es como la adjunta. Determinar:

1) Ángulo de desvío de la cadena bajo la acción del viento
2) El vano máximo admisible para este apoyo sabiendo que la longitud de la cadena de aisladores es de 40cm.



$D = \sqrt{1600^2 + 380^2} = 1645$ mm

1 La expresión del ángulo de desvío de la cadena de aisladores es:

$$tg\,\delta = \frac{2F_{\theta+\frac{V}{2}} \cdot \operatorname{sen}\frac{\beta}{2} + \frac{q}{2}\, d \cdot a_V \cdot \cos\frac{\beta}{2} + \frac{Q_V}{2}}{p\, a_V + F_{\theta+\frac{V}{2}} \left(\frac{h_0 - h_1}{a_1} + \frac{h_0 - h_2}{a_2}\right)\frac{Q}{2}}$$

Es necesario por tanto determinar la fuerza a -5°C con presión de viento nula (por ser zona A), esto a partir de la ECC, tenemos por tanto.

$$T_1 = T_{-5+V} = \frac{C_R}{C_S \cdot S} = \frac{4317}{4 \cdot 116'2} = 9'287 \ daN/mm^2$$

$$A = -T_1 + E \cdot \alpha \cdot (\theta_2 - \theta_1) + \frac{E \cdot a_R^2}{24} \cdot \frac{m_1^2 \cdot w^2}{T_1^2} \quad ; \quad B = \frac{E \cdot a_R}{24} \cdot m_2^2 \cdot w^2$$

ZONA A → con viento

$$m_1 = \frac{\sqrt{P^2 + (q \cdot d)^2}}{P} = \frac{\sqrt{0'42428 + (60 \cdot 0'014)^2}}{0'42428} = 2'218$$

$$A = -T_1 + E \cdot \alpha (\theta_2 - \theta_1) + \frac{E \cdot a_R^2}{24} \cdot \frac{m_1^2 \cdot W^2}{T_1^2} \quad ; \quad B = \frac{E \cdot a_R^2}{24} \cdot m_1^2 \cdot W^2$$

$$A = -9'287 + 8000 (17'8 \cdot 10^{-6}) \cdot 15 - (-5) + \frac{8000 \cdot 80^2}{24} \cdot \frac{2'218^2 (3'651 \cdot 10^{-3})^2}{9'287^2} = -4'817$$

Para determinar esta expresión es preciso determinar el coeficiente de sobrecarga con viento.

$$m_2 = \frac{\sqrt{P^2 + (q \cdot d)^2}}{P} = \frac{\sqrt{0'42428^2 + (60 \cdot 0'014)^2}}{0'42428} = 2'218$$

$$B = \frac{8000 \cdot 80^2}{24} \cdot 2'218^2 \cdot (3'651 \cdot 10^{-3})^2 = 139'896$$ por lo que la ECC queda:

$$T_{15+V}^2 (T_{15+V} - 4'817) = 139'896 \rightarrow T_{15+V}^3 - 4'817\, T_{15+V}^2 - 139'896 = 0 \rightarrow T_{15+V} = 7'383 \text{ daN/mm}^2$$

y la flecha en estas condiciones resulte ser:

$$f_{15+V} = \frac{1}{8} \cdot \frac{a^2 \cdot W \cdot m_2}{T_{15+V}} \Rightarrow f_{15+V} = \frac{1}{8} \cdot \frac{80^2 \cdot (3'6513 \cdot 10^{-3}) \cdot 2'218}{7'383} = 0'877 \text{ m}$$

Esta flecha evidentemente esta inclinada.

2 Hipotesis de 50°C sin sobrecarga en este caso $\theta_2 = 50°C$, $m_2 = 1$

$$A = -9'287 + 8000 (17'8 \cdot 10^{-6}) \cdot (50 - (-5)) + \frac{8000 \cdot 80^2}{24} \cdot \frac{2'218^2 (3'651 \cdot 10^{-3})^2}{9'287^2} = 0'167$$

$$B = \frac{8000 \cdot 80^2}{24} \cdot 1^2 \cdot (3'651 \cdot 10^{-3})^2 = 28'437 \rightarrow T_{50}^2 [T_{50} + A] = B \rightarrow$$

$$T_{50}^2 [T_{50} + 0'167] = 28'437 \rightarrow T_{50}^3 + 0'167\, T_{50}^2 - 28'437 = 0 \rightarrow T_{50} = 2'997 \text{ daN/mm}^2$$

y la flecha en estas condiciones resulta ser:

$$f_{50} = \frac{1}{8} \cdot \frac{a^2 \cdot W \cdot m_2}{T_{50}} \rightarrow f_{50} = \frac{1}{8} \cdot \frac{80^2 \cdot 3'651 \cdot 10^{-3} \cdot 1}{2'997} = 0'974 \text{ m}$$

$$W = \frac{P}{S} = \frac{0'42428}{116'2} = 3'6513 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m mm}^2$$

$$m_1 = \frac{\sqrt{P^2 + (q \cdot d)^2}}{P} = \frac{\sqrt{0'42428^2 + (60 \cdot 0'014)^2}}{0'42428} = 2'218$$

y la condición final de sobrecarga de viento, a la mitad.

$$m_2 = m_{V/2} = \frac{\sqrt{P^2 + \left(\frac{q}{2} \cdot d\right)^2}}{P} = \frac{\sqrt{0'42428^2 + \left(\frac{60}{2} \cdot 0'014\right)^2}}{0'42428} = 1'407$$

$$A = -9'287 + 8000 \cdot 1'78 \cdot 10^{-5}(-5-(-5)) \frac{8000 \cdot 80^2}{24} \cdot \frac{(3'6513 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 2'218^2}{9'287^2} = -7'664$$

$$B = \frac{8000 \cdot 80^2}{24} (3'6513 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 1'407^2 = 56'312$$

De donde $T_{-5+V/2}^2 [T_{-5+V/2} - 7'664] = 56'312 \rightarrow T_{-5+V/2}^3 - 7'664\, T_{-5}^2 V/2 - 56'312 = 0$

$T_{-5+V/2} = 8'45$ daN/mm² y por tanto una fuerza de $F_{-5+V/2} = T_{-5+V/2} \cdot S$

$F_{-5+V/2} = 8'45 \cdot 116'2 \Rightarrow F_{-5+V/2} = 981'89$ daN.

Podemos por tanto calcular es desvío de cadenas, sin mas que sustituir

$$tg\,\delta = \frac{\frac{60}{2} \cdot 0'014 \cdot \frac{75+85}{2} + \frac{2'1}{2}}{0'42428 \cdot \frac{75+82}{2} + 981'89\left(\frac{-3}{75} + \frac{2}{82}\right) + \frac{5}{2}} = 1'661 \rightarrow \delta = 58'95°$$

Faltaría por comprobar si la cadena de aisladores con esta desviación respeta la distancia a la cuneta

2) Puesto que estamos en zona A, habrá que calcular los vanos máximos admisibles, que se corresponden con la hipótesis de viento (15°C + Viento) y con la hipótesis de temperatura 50°C, y para ello es necesario resolver la ECC para estas hipótesis para definir las flechas resultantes.

1 Hipótesis 15°C mas Viento

$$T_1 = T_{-5+V} = \frac{C_R}{C_S \cdot S} = \frac{4317}{4 \cdot 116'2} = 9'287 \text{ daN/mm}^2$$

$$W = \frac{P}{S} = \frac{0'42428}{116'2} = 3'6513 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m mm}^2$$

Definidas las flechas, podemos calcular los vanos admisibles correspondientes a estas hipótesis, sabiendo que existen dos flechas máximas admisibles correspondientes a cada una de las hipotesis a considerar, para previamente hay que calcular el factor (K) de cada hipotesis, cuyo valor depende de la tangente de oscilación de los conductores bajo cada una de estas hipotesis, según el apartado 5.4.1 tabla 16 de la ITC 07.

El valor de la constante K para la hipotesis de viento, en función de la tangente del ángulo de desvío bajo la acción del viento:

$$tg\,\alpha = \frac{f \cdot d}{p} = \frac{60 \cdot 0'014}{0'42428} = 1'979 \rightarrow \alpha = 63'2° \quad \text{por lo que}$$

$$[40° < 63'2° < 65°] \cup [U_N \leq 20kV] \rightarrow \text{Segun tablas} \rightarrow K = 0'6$$

Por otro lado, para las hipótesis de temperatura, puesto que no existe angulo de desvío de los conductores, el valor de la constante K para estas dos hipotesis sera de $K = 0'55$ al ser $\alpha < 40°$.

Por otro lado $D_{pp} = 0'25$, ya que segun la tabla 15 del apartado 5.3 de la ITC 07, la tensión mas elevada en una red, con tension nominal de 20kV recogida en la tabla 1 del apartado 1.2 de la ITC 07, resulta ser $U_s = 72'5kV$, la tensión mas elevada que determina $D_{pp} = 0'25m$.

Y finalmente $K' = 0'75$ según el apartado 5.4.1 ya que se encuentra dentro del grupo, denominado (1, 2 o 3ª categoría).

por tanto la expresión del apartado 5.4.1 $D = \sqrt{F+L} \cdot K + K' \cdot D_{pp}$

Despejando la flecha máxima $\Rightarrow F = \left(\frac{D - K' \cdot D_{pp}}{K}\right) - L = \left(\frac{1'645 - 0'75 \cdot 0'25}{0'6}\right)^2 - 0'4 = 5'5\,m$

- Hipotesis de temperatura $F = \left(\frac{1'645 - 0'75 \cdot 0'25}{0'55}\right)^2 - 0'4 = 6'622\,m$

Resolviendo para la hipotesis de temperatura

$$a_{MAX\ DAM\ 15+V} = a_R \cdot \sqrt{\frac{F_{15°C+V}}{f_{75°+V}}} \Rightarrow a_{R\,15+V} = 80 \cdot \sqrt{\frac{5'5}{0'877}} = 200'34\,m$$

Para la hipotesis de temperatura:

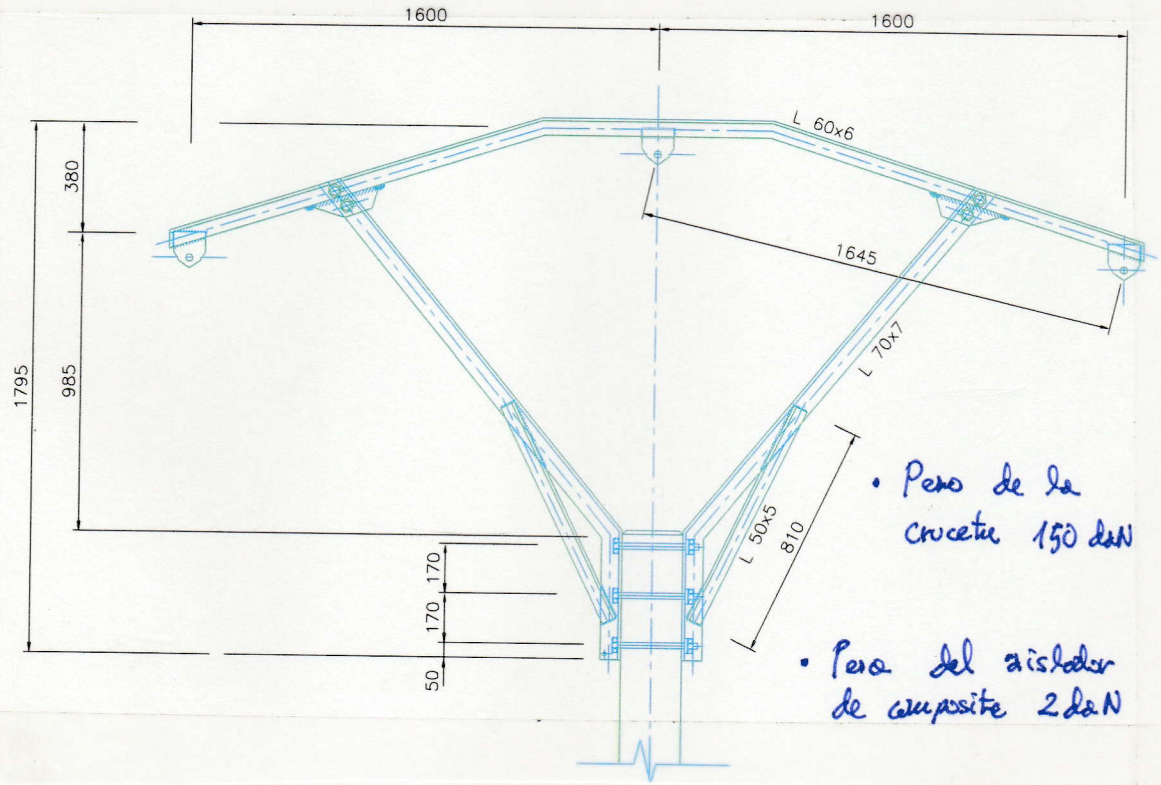
$$a_{MAX\ ADM\ 50°} = a_R \cdot \sqrt{\frac{f_{MAX\ 50°}}{f_{50°}}} \rightarrow a_{MAX\ ADM\ 50°} = 80 \cdot \sqrt{\frac{6'622}{0'974}} = 208'59\ m$$

El vano máxima admisible será el menor de las dos hipotesis, ya que estando en zona A no hay hielo, conespond:

El vano máxima admisible es de 200'34 m correspondiente a la hipotesis de viento.

7.51) Una línea de Media Tensión a 20kV está realizada con el conductor 94-AL1/22-ST1A (antiguo LA-110) y discurre por zona C con una altitud de 1700 m, en un tramo con un vano regulador de 80m, presenta las siguientes fuerzas: $F_{-20°+H} = 1079$ daN; $F_{-15+V} = 461$ daN
Existe un apoyo de alineación cuyos vanos anterior y posterior son respectivamente: 75 m y 82 m, por otro lado las alturas de los apoyos contiguos son 3 metros por encima del considerado y 2 metros por debajo del considerado. Sabiendo que se van a utilizar apoyos de hormigón armado, aisladores de composite y que la cruceta es como la adjunta. Determinar los esfuerzos resultantes según las distintas hipótesis y el apoyo a emplear:

1) Hipótesis de viento:
   - El viento ejerce 1 daN sobre cada aislador.
2) Hipótesis de hielo:
   - El viento sobre cruceta origina 18 daN aplicados en el punto central.
3) Hipótesis de desequilibrios:



1º) En este problema se nos pide determinar los esfuerzos en cada hipótesis y el apoyo de Hormigón Vibrado a emplear, es necesario por tanto determinar los esfuerzos en las distintas hipótesis:

1 Hipotesis de Viento:

1.1 CARGAS PERMANENTES VERTICALES

A) Peso de conductores: $P_c = n \cdot p \left[\frac{a_1 + a_2}{2} + \frac{F_{\theta+V}}{P_V} \left(\frac{h_0 - h_1}{a_1} + \frac{h_0 - h_2}{a_2} \right) \right]$

$P_c = 3 \cdot 0'42428 \left[\frac{75+82}{2} + \frac{461}{0'94107} \left(-\frac{3}{75} + \frac{2}{82} \right) \right] = 90'185$ daN// siendo P_V ...

$P_V = \sqrt{p^2 + (q \cdot d)^2} = \sqrt{0'42428^2 + (60 \cdot 0'014)^2} = 0'94107$ daN/m

B) Peso de aisladores → $P_{ais} = n \cdot P_{ais}$ → $P_{ais} = 3 \cdot 2 = 6$ daN//, se ha supuesto 2 daN para cada aislador de composite.

c) Peso de cruceta 150 daN//

TOTAL CARGAS PERMANENTES 246'18 daN

1.2 ESFUERZOS DEL VIENTO NORMAL A LA LINEA (T).

A) Viento sobre conductores:

los esfuerzos del viento sobre conductores por fase tiene por valor:

$F_V = \frac{a_1 + a_2}{2} \cdot d \cdot q \rightarrow F_V = \frac{75+82}{2} \cdot 0'014 \cdot 60 = 65'94$ daN es necesario aplicar el factor de amarre sobre cada uno de los conductores de la linea, tenemos

$K_{11} \neq K_{12} \neq K_{13} \rightarrow K_{11} = K_{13}$ [para hormigón vibrado el factor de amarre en esfuerzos por encima de cogolla:]

$K_{11} = K_{13} = \frac{5'25 + H_5}{5'4}$

H_5 = Distancia entre la cogolla hasta la altura de los conductores, en este caso, conductores 1 y 3

Según la figura $H_5 = 0'985$

$K_{11} = K_{13} = \frac{5'25 + 0'985}{5'4} = 1'15463$ //

$K_{12} = \frac{5'25 + H_5}{5'4}$ → Siendo la altura desde cogolla hasta el conductor 2

$H_5 = 0'985 + 0'380 = 1'365$

$K_{12} = \frac{5'25 + 1'365}{5'4} = 1'225$ // de donde resulta:

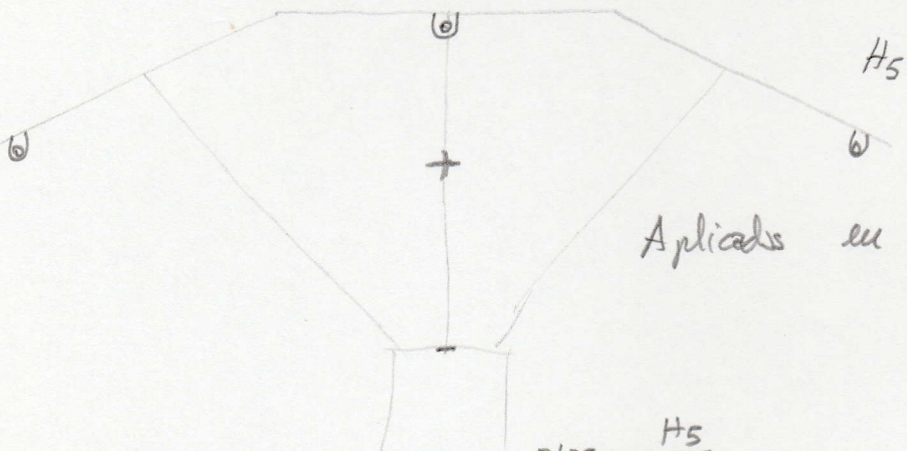
$E_{c_0} = F_v (k_{11} + k_{12} + k_{13})$ → $E_c = 65'94 \cdot (1'15463 + 1'225 + 1'15463) = 233'049$ daN //

B) Viento sobre aisladores:

$F_{vais} = F_v \cdot (k_{11} + k_{12} + k_{13})$ → $F_{vais} = 1 \cdot (1'15463 + 1'225 + 1'15463) = 3'53426$ daN //

Se ha supuesto que el viento ejerce 1 daN sobre cada aislador

c) Sobre cruceta se supone que el viento origina una fuerza de 18 daN aplicada al punto medio de la cruceta, de donde.



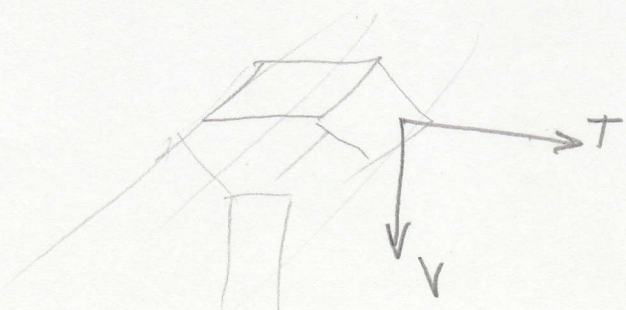
$H_5 = 0'985 + 0'38 = 1'365$ m

Aplicada en el punto central

$E_c = q \cdot S_{cruceta} \cdot K_{cruceta}$ → $E_c = 18 \cdot \frac{5'25 + \frac{H_5}{2}}{5'4} = 19'775$ daN //

TOTAL Esfuerzos producidos por el viento: 256'34 daN

Resumido: V = 246'18 daN T = 256'34 daN



En la dirección principal del apoyo, por tanto es necesario HV-400.

2 Hipotesis de hielo ZONA C.

2.1 CARGAS PERMANENTES VERTICALES:

A) Peso de conductores:

$$P_C = n \cdot \left[P_H' \frac{a_1 + a_2}{2} + F_H \cdot \left(\frac{h_0 - h_1}{a_1} + \frac{h_0 - h_2}{a_2} \right) \right] \rightarrow P_H \text{, peso con hielo}$$

$P_H' = p + ph \rightarrow$ siendo ph según el apartado 3.1.3 de ITC-07 LAT en caso de superar los 1500 metros de altura sobre el nivel del mar, se toman el valor 0'18 o 0'36 por metro lineal dividido de la altura mínima de la zona sobre la que se proyecte, es decir, si elegimos zona B:

$$\frac{0'18 \times \text{metros de altura}}{\text{mínima altura ZONA B}} \cdot \sqrt{d\,(mm)}$$

si por ejemplo, elegimos zona C: $\dfrac{0'36 \times \text{metros de altura}}{\text{mínima altura ZONA C}} \cdot \sqrt{d\,(mm)}$

Como en este caso superamos los 1500 metros, se puede emplear cualquiera de los dos, siempre que dividamos la altura mínima de la zona que escojamos.

$$\left[\frac{0'18 \cdot 1700}{500} \cdot \sqrt{14} \equiv \frac{0'36 \cdot 1700}{1000} \cdot \sqrt{14} \right] = ph$$

$$P_H' = 0'42428 + \frac{0'18 \cdot 1700}{500} \cdot \sqrt{14} \rightarrow P_H' = 2'714174$$

$$P_C = 3 \cdot \left[2'714174 \cdot \frac{75+82}{2} + 1079 \cdot \left(\frac{-3}{75} + \frac{2}{82} \right) \right] = 588'6592 \text{ daN} //$$

B) Peso de aisladores: $P_{ais} = n \cdot P_{ais/ud} \rightarrow P_{ais} = 3 \cdot 2 = 6$ daN //

c) Peso de cruceta: 150 daN

TOTAL CARGAS PERMANENTES (V) = 744'7 daN //

Esta segunda hipótesis, como los esfuerzos son verticales, cualquiera de los apoyos de Hormigón Vibrado (HV) son capaces de soportar estos esfuerzos:

3) Hipótesis: Desequilibrio de tracciones:

3.1 CARGAS PERMANENTES VERTICALES (V)

En zonas C 744'70 daN.

TOTAL CARGAS PERMANENTES + SOBRECARGA 744'7 daN

3.2 DESEQUILIBRIO DE TRACCIONES (L y T)

En sentido longitudinal (L) y por ser el desequilibrio de tracciones para un apoyo de alineación y ángulo, por ser el caso más general, tiene por valor:

$$F_L = \frac{8}{100} \cdot F_H = \frac{8}{100} \cdot 1079 = 86'32 \text{ daN} //$$

Para determinar una fuerza equivalente que tenga en cuenta la suma de esfuerzos que producen desequilibrios en los conductores aplicaremos el factor de simultaneidad, resulta.

$$\text{Desequilibrios} = R_{desq}\left(K_{11} + K_{12} + K_{13}\right) \rightarrow \text{Deseq} = 86'32\left(1'1546 + 1'225 + 1'1546\right) = 305'7 \text{ daN}$$

TOTA DESEQUILIBRIOS DE TRACCIONES = 305'07 daN

Por tanto tenemos unos esfuerzos V = 744'7 daN ; L = 305'07 daN

(en la dirección resultante del apoyo) por lo tanto es necesario disponer de un HV-630, puesto que sus esfuerzos admisibles son, según la Tabla 3 en esfuerzos resultantes, (FS), longitudinales (L):

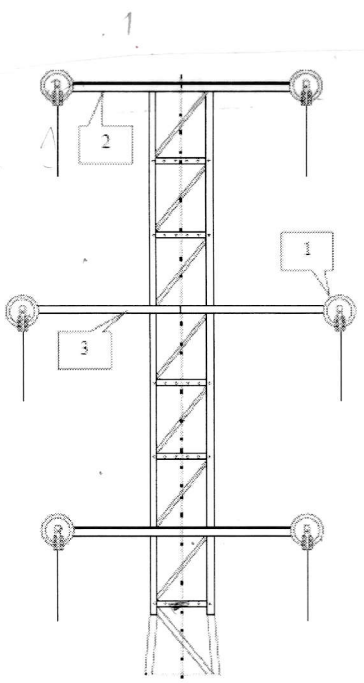
HV-400 FS = 250 daN → HV-630 FS = 360 daN

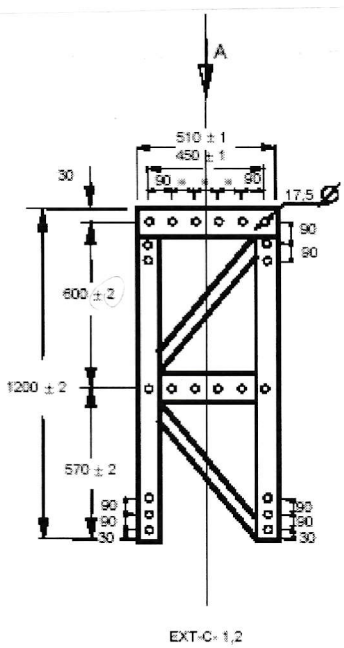
305'07 < 360 → HV-630

Las cargas verticales para este tipo de apoyo no se consideran dado que el orden de magnitud de los mismos no comprometen la seguridad del apoyo, pero sería necesario calcularlos por fase, para estudiar el reparto sobre la cuarta y estudiar la validez de la misma.

P 7.52) Una línea MT a 20kV doble circuito se ha realizado con el conductor 147-AL1/34-ST1A (antiguo LA-180) y discurre por zona B. Los apoyos de celosía son de 14 metros (fuste más cabeza) con una profundidad del empotramiento del apoyo de 2'82 m y se ha dispuesto un extensionamiento de 1'2 m para hacer posible una distancia entre crucetas de 2'4 m según los fijados con un peso de 91'26 daN y el viento ejerce en el centro del extensionamiento una fuerza de 67'69 daN. Para un apoyo de anclaje-angulo en el que la traza de la línea sufre un desvío de 30° con vanos adyacentes de 100 y 130 m y que este apoyo está situado 7 metros por encima de los vanos contiguos, se han utilizado unas crucetas extremas que presentan un peso de 31'6 daN y la intermedia de 58'3 daN y la distancia entre fase y eje del apoyo es respectivamente de 1 y 1'5 m y que se emplean aisladores de composite con un peso de 5 daN y el viento ejerce una fuerza sobre los mismos de 2'1 daN, con vanos de regulación de los vanos adyacente de 120 m y sus fuerzas son: $F_{-15°+H} = 1200$ daN $F_{-10+V} = 932$ daN. Determinar los esfuerzos resultantes según las distintas hipótesis y el tipo de apoyo a emplear:

1) Hipótesis de viento:
2) Hipótesis de hielo:
3) Hipótesis de desequilibi
4) Hipótesis de rotura de





: Características del 147-AL1/34-ST1A.

Designación	147-AL1/34-ST1A
Sección total, mm2	181,6
Diámetro aparente, mm	17,5
Carga mínima de rotura, daN	6494
Módulo de elasticidad, daN/mm2	8000
Coeficiente de dilatación lineal, °C-1	1,78E-05
Masa aproximada, daN/m	0,66295

Para determinar los esfuerzos resultantes en el apoyo, haremos uso de las cuatro hipotesis que define el RLAT en su ITC-LAT 07 apartado 3.5.3 en concreto en la tabla 8.

1) Hipotesis de viento:

Admitiendo que el viento empuja al apoyo y conductores en la direccion bisectriz del ángulo interno de la linea.

1.1 CARGAS PERMANENTES:

A) Peso de conductores: $P_C = n \cdot P \cdot \left[a_V + \frac{F_{-10°C+V}}{P_V'} \cdot \left(\frac{h_0 - h_1}{a_1} + \frac{h_0 - h_2}{a_2} \right) \right]$

$P_C = 6 \cdot 0'66295 \left[\frac{100+130}{2} + \frac{932}{1'0977} \cdot \left(\frac{7}{100} + \frac{7}{130} \right) \right] = 875'69$ daN

$p_V' = \sqrt{0'66295^2 + (50 \cdot 0'0175)^2} = 1'0977$ daN

B) Peso de cruceta: $P = n \cdot P_{accesorio} \Rightarrow P = 31'6 \cdot 2 + 58'3 = 121'5$ daN

C) Peso de aisladores: $P_{ais} = n \cdot P_{ais} \Rightarrow P_{ais} = 12 \cdot 5 = 60$ daN

D) Peso de entesamiento = 91'26 daN.

TOTAL DE CARGAS PERMANENTES 1148'45 daN

1.2 ESFUERZOS PRODUCIDOS POR EL VIENTO EN DIRECCION DE LA BISECTRIZ DEL ANGULO INTORNO.

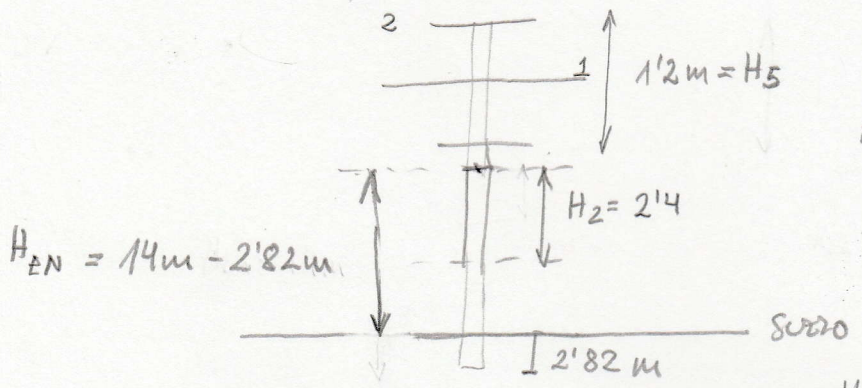
Calcularemos los esfuerzos por fase y circuito puesto que los puntos de aplicación de cada esfuerzo son distintos.

A) Sobre conductores F_V por fase y circuito $= a_V \cdot p_V \cdot d \cdot \cos \frac{\beta}{2}$

F_V por fase y circuito $= 115 \cdot 50 \cdot 0'0175 \cdot \cos \frac{30°}{2} = 97'19$ daN

Es necesario referir a cogolla (extremo superior de la cabeza del apoyo, no confundir con extremo superior del extrasiramiento) a través de los factores de armado, teniendo en cuenta que los esfuerzos aplicados en la cruceta superior definen esfuerzos de agotamiento del apoyo en el punto en que se une cabeza con fuste del apoyo, mientras que los esfuerzos aplicados en la cruceta intermedia y en la inferior definen esfuerzos de agotamiento sobre el nivel del suelo, así resultan los siguientes factores de armado:

CELOSÍA



$$K_1 = \frac{4'6 + H_5}{4'6} = \frac{4'6 + 1'2}{4'6} = 1'261$$

Los esfuerzos por debajo de cogolla $K_2 = \frac{H_{EN} - H_2}{H_{EN}}$.

$$K_2 = \frac{14 - 2'82 + 1'2 - 2'4}{14 - 2'82} = 0'8926654 \qquad K_3 = \frac{14 - 2'82 + 1'2 - 2 \cdot 2'4}{14 - 2'82} = 0'6779964$$

Referido a cogolla el esfuerzo del viento sobre los seis conductores

$$E_V = 2 \text{ circuitos} \cdot 97'19 \left(1'261 + 0'8926 + 0'6779\right) = 550'38 \text{ daN}$$

$E_V = 2 \text{ circuitos} \cdot F_V (K_1 + K_2 + K_3)$.

B) SOBRE AISLADORES

Sabemos que para los aisladores de composite la presión de viento por aislador es de 2,1 daN, de donde aplicado el factor de armado:

$$E_{AIS} = \frac{4}{2 \cdot 2} \cdot 2'1 \left(1'261 + 0'8926 + 0'6779\right) = 23'78 \text{ daN} \rightarrow E_{AIS} = 4 \cdot F_V (K_1 + K_2 + K_3)$$

C) SOBRE CRUCETAS:

La presión de viento sobre una cruceta recta es de 8'5 daN, aplicado factor de armado resulta:

$$E_C = F_{VC} (K_1 + K_2 + K_3) \rightarrow \quad E_C = 8'5 \left(1'261 + 0'8926 + 0'6779\right) = 24'06 \text{ daN}$$

x 3?

D) VIENTO SOBRE EXTENSIONAMIENTO

El viento ejerce una fuerza sobre el extensionamiento de 67'69 daN aplicados en el centro del extensionamiento, referido a cogolla del apoyo:

$$E_{ext} = F_{ext} \cdot \frac{4'6 + \frac{H_S}{2}}{4'6} \Rightarrow E_{ext} = 67'69 \cdot \frac{4'6 + \frac{1'2}{2}}{4'6} = 76'51 \text{ daN}$$

E) RESULTANTE DE ANGULO:

Por fase y circuito la resultante de angulo resulta:

$$R_{fase} = 2 \cdot F_{10+V} \cdot \operatorname{sen} \frac{\beta}{2} \Rightarrow R_{fase} = 2 \cdot 932 \cdot \operatorname{sen} \frac{30^\circ}{2} = 482'44 \text{ daN}$$

referido a cogolla los esfuerzos de las tres resultantes de angulo:

$$R_E = n^\circ \text{ circuitos} \cdot R_{fase} (K_1 + K_2 + K_3) \rightarrow R_E = 2 \cdot 482'44 (1'261 + 0'8926 + 0'6779) = 2732'0577 \text{ daN}$$

TOTAL ESFUERZOS HORIZONTAL EN COGOLLA DE APOYO 3406'78 daN

2) Hipotesis de hielo: A) Peso de conductores:

2.1 CARGAS PERMANENTES MAS SOBRECARGA DE HIELO:

$$P_{CH} = n \cdot \left[P_H' \cdot a_V + F_{-15^\circ H} \cdot \left(\frac{h_o - h_1}{a_1} + \frac{h_o - h_2}{a_2} \right) \right]$$

$$P_H' = (p + p_h) \rightarrow \text{siendo zona B} \Rightarrow p_h = 0'18\sqrt{d}$$

$$P_H' = 0'66295 + 0'18\sqrt{17'5} = 1'415944024$$

$$P_{CH} = 6 \cdot \left[1'415944024 \cdot \frac{100+130}{2} + 1200 \cdot \left(\frac{7}{100} + \frac{7}{130} \right) \right] = 1868'69 \text{ daN}$$

B) Peso de cruceta → $P = 2 \cdot 31'6 + 58'3 = 121'5$ daN

C) Peso de aisladores → $P_{AIS} = 12 \text{ aisladores} \cdot 5 \text{ daN} = 60$ daN

D) Peso de extensionamiento: $P = P_{ext} = 91'26$ daN

TOTAL CARGAS PERMANENTES : 2141'45 daN

2) Resultante de angulo: por fase y circuito la resultante de angulo resulta:

$R_A = 2 \cdot F_{I5+H} \cdot \text{sen} \frac{\beta}{2} \Rightarrow R_A = 2 \cdot 1200 \cdot \text{sen} \frac{30^\circ}{2} = 621'16$ daN

aplicando factor de amuste $E_A = n^\circ \text{circuitos} \cdot R_A \cdot (K_1 + K_2 + K_3)$

$E_A = 2 \cdot 621'6 (1'261 + 0'8926 + 0'6779) = 3517'66$ daN

TOTAL ESFUERZO HORIZONTAL EN COGOLLA DE APOYO = 3517'66 daN

3) Hipotesis de desequilibrio:

3.1 CARGAS PERMANENTES

TOTAL CARGAS PERMANENTES = 2141'45 daN

3.2 DESEQUILIBRIO DE TRACCIONES:

Calculando por fase y posteriormente referido a cogolla, la fuerza de desequilibrio longitudinal será de:

$F_L = \frac{50}{100} \cdot F_{I5+H} \cdot \cos \frac{\alpha}{2} \rightarrow F_L = \frac{50}{100} \cdot 1200 \cdot \cos \frac{30^\circ}{2} = 579'55$ daN mientras que la longitudinal es de: $F_T = \frac{150}{100} F_{I5+H} \cdot \text{sen} \frac{\alpha}{2} \rightarrow F_T = \frac{150}{100} \cdot 1200 \cdot \text{sen} \frac{30}{2} = 465'87$ daN

por lo que la resultante del desequilibrio es de:

$R_{DESEQ} = \sqrt{F_L^2 + F_T^2} \Rightarrow R_{DESEQ} = \sqrt{579'55^2 + 465'87^2} = 743'58$ daN referido a cogolla el conjunto de los desequilibrios:

$E_{RES} = n^\circ \text{circuitos} \cdot R_{DESEQ} (K_1 + K_2 + K_3) \rightarrow E_{RES} = 2 \cdot 743'58 \cdot (1'261 + 0'8926 + 0'6779) = 4210'89$ daN

Esta fuerza de desequilibrio presente en ángulo, tomando como

origen del sistema una perpendicular a la bisectriz del ángulo interno de la línea de:

$tg\,\delta = 3\,tg\,\frac{\alpha}{2} = 3\,tg\,15° = 0'803 \rightarrow \delta = 38'79°$ por lo que el esfuerzo

que provoca el desequilibrio en la dirección de los ejes de coordenadas del apoyo será de:

$$R_{desq} = E_{RES} \cdot (\text{sen}\,\delta + \cos\delta) \rightarrow R_{desq} = 4210'89 \cdot (\text{sen}\,38'79° + \cos 38'79°)$$

$R_{desq} = 5920'15$ daN

3 hipótesis vertical = 2141

- TOTAL ESFUERZO HORIZONTAL EN COGOLLA DE APOYO 5920'15 daN

4) Hipótesis de rotura de conductor

4.1 CARGAS PERMANENTES:

TOTAL DE CARGAS PERMANENTES = 2111'45 daN

4.2 ESFUERZO TORSOR

El esfuerzo torsor es función de la fuerza que se aplica y del brazo, como más desfavorable, tomamos la curva intermedia que presenta un brazo de 1'5m, igual al brazo de palanca con el cual los fabricantes ensayan los apoyos, por tanto la fuerza en el caso de un cable roto es de 1200 daN, pero como forma un ángulo 30°, la fuerza de torsión con el brazo de 1'5m es de:

$$F_T = \frac{1200 \cdot \cos\frac{\alpha}{2} \cdot \text{Brazo de curva}}{1'5} = \frac{1200 \cdot \cos\frac{30°}{2} \cdot 1'5}{1'5} = 1159'11 \text{ daN}$$

por lo que el esfuerzo torsor es de 1159'11 daN

Para la elección del apoyo compararemos los esfuerzos obtenidos con los esfuerzos normalizados según el tipo de apoyo resulte.

1) Hipotesis $V+K\cdot H=T \rightarrow 1148'45+5\cdot 3406'78=18182'35$ para C-4500

$18182'35 < 23300$
COMPLE. ✓

2) Hipotesis $2141'45+5\cdot 3517'66=19729'75 \rightarrow$ C-4500

$19729'75 < 23300$
COMPLE ✓

3) Hipotesis: el esfuerzo horizontal horizontal es de 5920'15 daN y el C-4500 soporta un esfuerzo de $\frac{4500\cdot 1'5}{1'2}=5625$ daN, por tanto

~~5920'15 < 5625~~ NO COMPLE → por lo tanto tomamos C-7000 que soporta un esfuerzo de $\frac{7000\cdot 1'5}{1'2}=8750$ daN por tanto

$5920'15 < 8750$ ✓ COMPLE

V = 2141 H = 5920'15

4) Hipotesis. El esfuerzo torsor es de 1159'11 daN y el C-4500 soporta 1400 daN

$1159'11 < 1400$ valido
COMPLE

En resumen el apoyo a disponer C-7000/14

UNE 20

7.53) En una línea de MT a 20kV simple circuito en zona B, se ha dispuesto un apoyo de anclaje-ángulo en el que la traza de la línea sufre un desvío de 45° y se ha utilizado una cruceta como la indicada, en la que la cota "a" tiene por valor 1'5m. El conductor empleado es el 67-AL1/11-ST1-A (antiguo LA-78) y los vanos reguladores de los tramos adyacentes son de 75m y se ha empleado un tense estático dinámico, tal que debe cumplir simultáneamente que $C_S \geq 3$ y $TCD \leq 15\%$ de la carga de rotura (C_R). Determinar

1) La flecha máxima
2) El vano máximo admisible

1) Para determinar la flecha máxima hay que resolver la ecuación de cambio de condiciones para las tres hipótesis que define el RLAT, pero previamente hay que calcular la tensión para las condiciones iniciales de -15°C con sobrecarga de hielo, comprobando si con un $C_S = 3$, cumplimos la Tensión de cada día (TCD $\leq 15\%$ Ce.

$$T_{-15+H} = \frac{C_R}{C_S \cdot S} = \frac{2312}{3 \cdot 78'6} = 9'805 \text{ daN/mm}^2$$

$$A = -T_1 + E \cdot \alpha (\theta_2 - \theta_1) + \frac{E \cdot d^2}{24} \cdot \frac{m_1^2 \cdot w^2}{T_1^2} \quad ; \quad B = \frac{E \cdot d_R^2}{24} \cdot w^2 \cdot m_2^2 \quad \text{siendo } w$$

$$w = \frac{p}{S} = \frac{0'26663}{78'6} = 3'392 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m·mm}^2$$

previamente para aplicar las ecuaciones de los parámetros A y B, es necesario calcular la sobrecarga en condiciones iniciales (hielo en zona B).

$$m_1 = \frac{p + 0'18\sqrt{d}}{p} = \frac{0'26663 + 0'18\sqrt{11'34}}{0'26663} = 3'273 \quad \text{siendo } m_2 = 1 \quad \theta_1 = -15°C \quad \theta_2 = 15°C$$

$$A = -9'805 + 7900 \cdot 19'1 \cdot 10^{-6}(15 - (-15)) + \frac{7900 \cdot 75^2}{24} \cdot \frac{(3'392 \cdot 10^{-3})^2 \cdot (3'273^2)}{9'805^2} = -2'904$$

$$B = \frac{7900 \cdot 75^2}{24} \cdot (3'392 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 1^2 = 21'303 \quad \text{de donde} \quad T_{15}^2 [T_{15} + A] = B$$

$$T_{15}^2 (T_{15} - 2'904) = 21'303 \rightarrow T_{15}^3 - 2'904 T_{15}^2 - 21'303 = 0 \rightarrow T_{15} = 4'144 \text{ daN/mm}^2$$

y multiplicando por la sección tenemos $F_{15} = T_{15} \cdot S \rightarrow$

$F_{15} = 4'144 \cdot 78'6 = 325'71$ daN, y como $TCD = \frac{15}{100} \cdot 2312 = 346'8$ daN

resulta finalmente 325'71 daN < 346'8 daN por lo que se puede afirmar que con un coeficiente de seguridad igual 3 se cumple TCD, no siendo previsible la aparición de fenómenos vibratorios en los conductores bajo la acción del viento. En resumen $T_{-15+H} = 9'805$ daN/mm²

Calculemos fuerzas y flechas para las tres hipótesis que contempla el reglamento:

A) Hipotesis a 15°C sin viento: $m_1 = 3'273$ y m_2 será:

$$m_2 = \frac{\sqrt{p^2 + pv^2}}{p} \rightarrow \frac{\sqrt{p^2 + (g_{60} \cdot d \cdot av)^2}}{p} \rightarrow m_2 = \frac{\sqrt{0'26663^2 + (60 \cdot 11'34 \cdot 10^{-3})^2}}{0'26663} = 2'74$$

$$A = -9'805 + 7900 \cdot 19'1 \cdot 10^{-6}(15-(-15)) + \frac{7900 \cdot 75^2}{24} \cdot \frac{(3'392 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 3'273^2}{9'805} = -2'904$$

$$B = \frac{7900 \cdot 75^2}{24} \cdot (3'392 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 2'74^2 = 159'93 \rightsquigarrow T_{15+V}^2 [T_{15+V} + A] = B$$

$$T_{15+V}^2 [T_{15+V} - 2'904] = 159'13 \rightarrow T_{15+V}^3 - 2'904\, T_{15+V} - 159'13 = 0 \rightarrow T_{15+V} = 6'588 \text{ daN/mm}^2$$

resulta por último. $$f_{15+V} = \frac{1}{8} \cdot \frac{a^2 \cdot w \cdot m_2}{T_2} = \frac{1}{8} \cdot \frac{75^2 \cdot 3'392 \cdot 10^{-3} \cdot 2'74}{6'588} = 0'991 \text{ m}$$

B) Hipotesis a 50°C $\quad \theta_2 = 50°C \quad m_2 = 1$

$$A = -9'805 + 7900 \cdot 19'1 \cdot 10^{-6}(50-(-15)) + \frac{7900 \cdot 75^2}{24} \cdot \frac{(3'392 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 3'273^2}{9'805^2} = 2'376$$

$$B = \frac{7900 \cdot 75^2}{24} \cdot (3'392 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 1^2 = 21'303. \rightsquigarrow T_{50}^2 [T_{50} + A] = B$$

$$T_{50}^2 [T_{50} + 2'376] = 21'303 \rightarrow T_{50}^3 + 2'376\, T_{50}^2 - 21'303 = 0 \rightarrow T_{50} = 2'165 \text{ daN/mm}^2$$

$$f_{50} = \frac{1}{8} \cdot \frac{a^2 \cdot w \cdot m_2}{T_{50}} \Rightarrow f_{50} = \frac{1}{8} \cdot \frac{75^2 \cdot (3'392 \cdot 10^{-3}) \cdot 1}{2'165} = 1'101 \text{ m}$$

C) Hipotesis a 0°C sin sobrecarga de hielo $\quad m_1 = m_2 ? \quad \theta_2 = 0°C$

$$A = -9'805 + 7900 \cdot 19'1 \cdot 10^{-6}(0-(-15)) \frac{7900 \cdot 75^2}{24} \cdot \frac{(3'392 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 3'273^2}{9'805^2} = -5'167$$

$$B = \frac{7900 \cdot 75^2}{24} \cdot (3'392 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 3'273^2 = 228'25 \qquad T_{0+H}^2 [T_{0+H} + A] = B$$

$$T_{0+H}^2 [T_{0+H} - 5'167] = 228'25 \rightarrow T_{0+H}^3 - 5'167\, T_{0+H}^2 - 228'25 = 0 \rightarrow T_{0+H} = 8'401 \text{ daN/mm}^2$$

$$f_{0+H} = \frac{1}{8} \cdot \frac{a^2 \cdot w \cdot m_2}{T_{0+H}} \Rightarrow f_{0+H} = \frac{1}{8} \cdot \frac{75^2 \cdot (3'392 \cdot 10^{-3}) \cdot 3'273}{8'401} = 0'929 \text{ m}$$

Resumiendo la condición de flecha máxima es la temperatura con una flecha de 1'101 m

2) Para determinar el vano máximo admisible hay que aplicar la ecuación

$$a_{max\ ADM} = a_R \cdot \sqrt{\frac{F_{MAX\ ADM}}{f_{max}}}$$

, como existen tres posibles flechas máximas, según las distintas hipótesis, aparecen tres posibles vanos máximos admisibles, siendo el más pequeño de estos el vano máximo admisible real.

A) Vano máximo admisible para la hipótesis de 15°C sin viento:

Previamente hemos de determinar el valor de la flecha máxima admisible que está en función de la distancia real entre conductores:

Según el apartado 5.4.1 de la ITC 07 $D = \sqrt{F + L} \cdot K + K' \cdot D_{PP}$

Despejamos $F = \left(\frac{D - K' \cdot D_{PP}}{K}\right)^2 - L$ siendo K según la tabla 16 del apartado 5.4 de la ITC-07 y con tensión nominal igual o inferior a 30kV es de $K = 0'65$, ya que soporta los 65° de oscilación según esta ecuación:

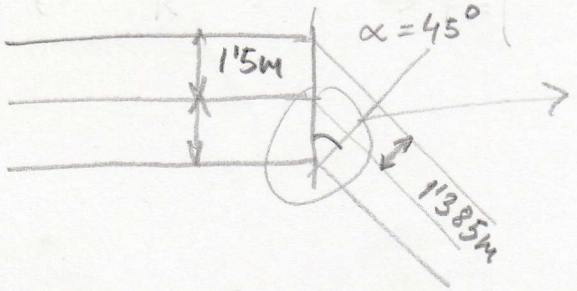
$$tg\,\alpha = \frac{P_v \cdot d}{P} = \frac{60 \cdot 11'34 \cdot 10^{-3}}{0'26663} = 2'551 \rightarrow \alpha = 68'601°$$

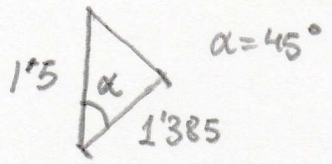
Por otro lado $K' = 0'75$ por ser línea de 3ª categoría.

$D_{PP} = 0'25$ al ser la tensión más elevada para una tensión nominal de 20kV de $U_S = 72'5kV \rightarrow D_{PP} = 0'25$ según tabla 15 del apartado 5.3.

La distancia real entre conductores (D), es función de la distancia entre conductores que impone el tipo de cruceta elegido y el ángulo de oscilación de la hoja de la línea según el diagrama adjunto, de donde la distancia entre conductores está definida, para este tipo de cruceta por:

$$\cos\frac{\alpha}{2} = \frac{D_C}{D_{CRUCETA}} \Rightarrow D_C = 1'5 \cos\frac{45°}{2} = 1'385\ m.$$





Aplicamos la flecha máxima → $F = \left(\frac{D - k' \cdot D_{IP}}{K}\right)^2 - L$

$$F = \left(\frac{1'385 - 0'75 \cdot 0'25}{0'65}\right) - 0 = 3'394\ m$$

De donde el vano máximo admisible tiene por valor $a_{MAX} = a_R \cdot \sqrt{\frac{F}{f_{15+V}}}$

$$a_{MAX\ ADM} = 75 \cdot \sqrt{\frac{3'394}{0'991}} = 138'79\ m$$

B) VANO MÁXIMO ADMISIBLE PARA LA HIPÓTESIS DE 50°C.

En esta hipótesis no existe desviación de los conductores de la vertical, puesto que el viento no existe, por lo tanto, según el apartado 5.4 de la ITC-LAT 07 en la tabla 16 para una línea de 3ª categoría y un ángulo de oscilación menor de 40°, K tiene por valor 0'55. Por otro lado el valor de la longitud de la cadena de aisladores es 0, como antes, por ser cadenas de amarre.

$$F = \left(\frac{1'385 - 0'75 \cdot 0'25}{0'55}\right)^2 - 0 = 4'74\ m$$

De donde el vano máximo admisible es $a_{MAX\ ADM} = a_R \cdot \sqrt{\frac{F}{f_{50C}}}$

$$a_{MAX\ ADM} = 75 \cdot \sqrt{\frac{4'74}{1'101}} = 155'62\ m$$

C) VANO MÁXIMO ADMISIBLE PARA LA HIPÓTESIS DE 0°C + HIELO.

En esta hipótesis tampoco existe desviación de conductores de la vertical, por lo que el valor de la flecha máxima admisible es la misma que para la hipótesis de temperatura:

$$F_{MAX} = \left(\frac{1'385 - 0'75 \cdot 0'25}{0'55}\right)^2 - 0 = 4'74\ m$$

De todo el vano máximo admisible para esta situación tiene por valor

$$a_{MAX\,ADM} = 75 \cdot \sqrt{\frac{4'74}{0'929}} \Rightarrow \quad a_{MAX\,ADM} = a_R \cdot \sqrt{\frac{F}{f_{0+H}}} \rightarrow$$

$$a_{MAX\,ADM} = 169'41\ m$$

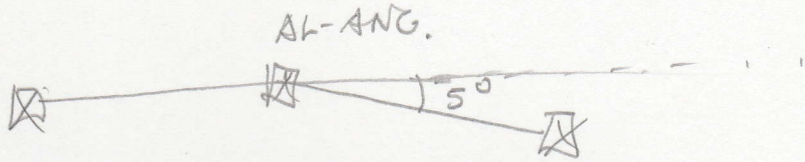
Los vanos reales adyacentes al apoyo en estudio deben ser inferiores al valor más pequeño de los tres posibles vanos máximos admisibles, en nuestro caso el vano de 138'79 m que impone la hipótesis.

En resumen los vanos contiguos a este apoyo deben ser menores que 138'79 m, a tener en cuenta que los apoyos contiguos a este apoyo según el tipo de cúpula empleada impongan otros vanos admisibles y que el vano real deba ser menor que el menor de los vanos admisibles

7-54) Una línea aérea trifásica a 20kV discurre por zona B, y se ha empleado el tense a límite elástico disponible con un coeficiente de seguridad $K_S = 3$ para el conductor 47-AL1/8-ST1-A (ver figura LA-56).

Un tramo presenta un vano regulador de 300m y dentro del mismo existe un apoyo de alineación-ángulo en el que la línea sufre un desvío de 5°, siendo los vanos adyacentes de 80m y 170 metros estando el apoyo de alineación-ángulo 3 metros por debajo de los apoyos adyacentes. Por otro lado la cadena de aisladores tiene un peso de 7daN y el viento ejerce una presión de 2daN. Determinar:

1) El ángulo de desvío de la cadena de aisladores bajo la acción del viento.



2) El posible tiro vertical:



El desvío de la cadena de aisladores está definido por la expresión

$$tg\,\delta = \frac{2 \cdot F_{\theta+\frac{V}{2}} \cdot \operatorname{sen}\frac{\alpha}{2} + \frac{q}{2} \cdot d \cdot a_V \cdot \cos\frac{\alpha}{2} + \frac{Q_V}{2}}{p \cdot a_V + F_{\theta+\frac{V}{2}} \left(\frac{h_0 - h_1}{a_1} + \frac{h_0 - h_2}{a_2} \right)}$$

es necesario determinar $F_{\theta+\frac{V}{2}}$ y puesto que estamos en zona B, la temperatura a considerar será de -10°C.

De donde $T_{-15+H} = \frac{C_R}{C_S \cdot S} \rightarrow \frac{1629}{3 \cdot 54'6} = 9'945\ daN/mm^2$

por lo que aplicando la ecuación de cambio de condiciones, desde un estado inicial de -15°C más sobrecarga de hielo, hasta un estado final de -10°C con sobrecarga de viento mitad, según la ECC tenemos:

$$A = -T_{-15+H} + E \cdot \alpha (\theta_2 - \theta_1) + \frac{E a_R^2}{24} \cdot \frac{w^2 \cdot m_1^2}{T_{-15+H}^2} \quad ; \quad B = \frac{E \cdot a_B^2}{24} \cdot w^2 \cdot m_2^2$$

$$W = \frac{P}{S} = \frac{0'18521}{54'6} = 3'3921 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m·mm}^2$$

$$m_1 = \frac{p + 0'18\sqrt{d}}{p} = \frac{0'18521 + 0'18\sqrt{9'45}}{0'18521} = 3'9876$$

$$A = -9'945 + 7900 \cdot 19'1 \cdot 10^{-6}(-10-(-15)) + \frac{7900 \cdot 100^2}{24} \cdot \frac{(3'3921 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 3'9876^2}{9'945^2} = -3'101$$

por otro lado la sobrecarga con viento mitad m_2 resulta ser:

$$m_2 = m_{V/2} = \frac{\sqrt{p^2 + \left(\frac{P_V}{2} \cdot d\right)^2}}{p} = \frac{\sqrt{0'18521^2 + \left(\frac{60 \cdot 9'45 \cdot 10^{-3}}{2}\right)^2}}{0'18521} = 1'828$$

$$B = \frac{7900 \cdot 100^2}{24} \cdot (3'3921 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 1'828^2 = 126'61$$

$$T_{-10+V/2}^2 \left[T_{-10+V/2} + A\right] = B \rightsquigarrow T_{-10+V/2}^2 \left[T_{-10+V/2} - 3'101\right] = 126'61 \rightarrow T_{-10+V/2}^3 - 3'101\, T_{-10+V/2} - 126'61 = 0$$

$T_{-10+V/2} = 6'295$ daN/mm² de donde la fuerza es de:

$F_{-10+V/2} = T_{-10+V/2} \cdot S \rightarrow F_{-10+V/2} = 6'295 \cdot 54'6 = 343'707$ daN y por tanto el ángulo desvío de la cadena de aisladores bajo esa presión de viento mitad es:

$$tg\,\delta = \frac{2 \cdot 343'707 \cdot \operatorname{sen}\frac{5}{2} + \frac{60}{2} \cdot 9'45 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{80+170}{2} \cdot \cos\frac{5}{2} + \frac{2}{2}}{0'18521 \cdot \frac{80+170}{2} + 343'707 \cdot \left(-\frac{3}{80} - \frac{3}{170}\right) + \frac{7}{2}} \Rightarrow \delta = 83'38°$$

este ángulo de desvío con toda seguridad es excesivo, aproximando los conductores a la cruceta del apoyo, siendo necesario emplear alguna solución para evitarlo.

2) El posible tiro vertical está determinado por la fórmula:

$$P_C = p \cdot a_V + F_{-15}\left(\frac{h_0 - h_1}{a_1} + \frac{h_0 - h_2}{a_2}\right)$$, ahora determinaremos $F_{-15°C}$.

$$A = -9'945 + 7900 \cdot 19'1 \cdot 10^{-6}\left(-15-(-15)\right) + \frac{7900 \cdot 100^2}{24} \cdot \frac{\left(3'3921 \cdot 10^{-3}\right)^2 \cdot 3'9308^2}{9'945^2}$$

$$A = -3'856$$

$$B = \frac{7900 \cdot 100^2}{24} \cdot \left(3'3921 \cdot 10^{-3}\right)^2 \cdot (1)^2 = 37'875$$ de donde

$$T_{-15}^2\left[T_{15}+A\right] = B \rightarrow T_{-15}^2\left[T_{15}-3'856\right] = 37'875 \rightarrow T_{-15}^3 - 3'856\,T_{-15}^2 - 37'875 = 0$$

$T_{15} = 5'237$ daN/mm^2 $\rightarrow$ $F_{-15} = 5'237 \cdot 54'6 \rightarrow F_{-15} = 285'94$ daN y en este caso la fuerza o tiro vertical es:

$$P_c = 0'18521 \cdot \frac{80+170}{2} + 285'94 \cdot \left(-\frac{3}{80} - \frac{3}{170}\right) = 7'382 \text{ daN}$$

Como el valor es positivo, no existe tiro vertical...

(P 7.55) Un cantón de una línea aérea a 220 kV discurre por una zona cuya altitud es de 1700 m, y se ha realizado con el conductor 337-AL-1/44-ST1-A (LA-380), siendo el vano regulador del cantón de 250 m. Sabiendo que se ha de emplear un coeficiente de seguridad de 3

Determinar:

1) las flechas para las condiciones de flecha máxima:

2) la velocidad del viento necesaria para obtener el mismo coeficiente de sobrecarga que se produce bajo las condiciones de viento mas hielo:

1) Debido a la tensión de la línea 220 kV, se trata de una línea de categoría especial por lo que según el apartado 3.2.1 ITC-LAT 07, en condiciones iniciales se consideran las sobrecargas de viento y hielo simultáneamente, y será necesario definir las condiciones iniciales para resolver la ECC para las tres condiciones finales de flecha máxima.

$$T_1 = T_{-20+H+V} = \frac{C_R}{CS \cdot S} = \frac{10718}{3 \cdot 381} = 9'377 \ daN/mm^2$$

$$A = -T_1 \cdot E \cdot \alpha (\theta_2 - \theta_1) + \frac{E \cdot a_R}{24} \cdot \frac{m_1^2 \cdot W^2}{T_1^2} \quad ; \quad B = \frac{E \cdot a_R^2}{24} \cdot m_2^2 \cdot W^2$$

$m_1 = \frac{\sqrt{(p+ph)^2 + (q_{60} \cdot d)^2}}{p}$ ya el coeficiente de sobrecarga bajo la hipótesis inicial es de $-20°C$ mas sobrecarga de hielo y viento. - Peso del hielo:

$$ph = \frac{\text{coeficiente zona} \cdot \sqrt{d}}{\text{Altura mínima zona}} \cdot \text{Altura real} \rightarrow ph = \frac{0'18 \cdot \sqrt{d}}{500} \cdot 1700 = 3'08438 \ daN/m$$

(d^*) es necesario determinar el diámetro del conductor con el manguito de hielo para poder definir la sobrecarga que ejerce el viento: a tal fin en el apartado 3.1.2.1 de la ITC-LAT-07 del RLAT se acuerda considerar un peso volumétrico específico del hielo de $\gamma = 750 \ daN/m^3$.

Puesto que conocemos también, esta fórmula mas fácil donde

$d^* = d_{COND} + e_H \cdot 2$ donde (e_H) es el espesor.

siendo: ZONA C mas de 1500m B=240. C=480.

$$e_H = -r + \sqrt{r^2 + \frac{480\sqrt{2r}}{\pi}}$$

$$e_A = -\frac{25'38}{2} + \sqrt{\left(\frac{25'38}{2}\right)^2 + \frac{480\sqrt{25'38}}{\pi}} = 17'8184\,mm$$

$$d^* = 25'38 + 2 \cdot 17'8184 = 61'01684\,mm$$

La fuerza que ejerce el viento considerando una velocidad del viento de 60km/h y para un conductor con diametro mayor de 16mm.

$$q = 50\,km/h \cdot \left(\frac{Vv}{120}\right)^2 \rightarrow q_{50} = 50 \cdot \left(\frac{60\,km/h}{120}\right)^2 = 12'5\,daN/m$$

$$m_1 = \frac{\sqrt{(1'25038 + 3'08348)^2 + \left(12'5 \cdot 61'01684 \cdot 10^{-3}\right)^2}}{1'25038} = 3'549$$ ya estamos en disposición de aplicar la ECC para las tres hipotesis de flecha máxima, que son: las contempladas en la ITC - LAT 07 apartado 3.2.3 son:

1º) A 15ºC mas sobrecargas de viento a 120km/h.
2) A una temperatura de 85ºC como mínimo.
3) A una temperatura de 0ºC con sobrecarga de hielo.

1º Hipotesis a 15ºC con sobrecarga de viento a 120km/h

Esta hipótesis, como el resto de hipotesis, están recogidas en el apartado 3.2.3 de la ITC-LAT-07, esta en concreto en apartado "a", que indica sometidos a la acción de su propio peso y a una sobrecarga de viento, según el apartado 3.1.2, para una velocidad de viento de 120 km/h a la temperatura de 15ºC. $\theta_1 = -20ºC$ ZONA C.

$$A = -9'377 + 6900 \cdot 19'3 \cdot 10^{-6}(15 - (-20)) + \frac{6900 \cdot 250}{24} \cdot \frac{3'549^2 (3'2818 \cdot 10^{-3})^2}{9'377^2} = 23$$

El término B de la ECC, falta calcular m_2.

$$m_2 = \frac{\sqrt{p^2 + pv^2}}{p} = \frac{\sqrt{p^2 + (950 \cdot d \cdot dv)^2}}{p}$$

$m_2 = \sqrt{1}$

$B = \frac{6900 \cdot 250^2}{24} \cdot 1'4253^2 \cdot (3'28184 \cdot 10^{-3})^2 = 393'15$ de donde la ecuación de cambio de condiciones es de la forma: $T_{15+V}^2 [T_{15+V} + A] = B$

$T_{15+V}^2 [T_{15+V} + 23] = 393'15 \rightarrow T_{15+V}^3 + 23 T_{15+V}^2 - 393'15 = 0 \rightarrow T_{15+V} = 3'828$ daN/mm²

$F_{15+V} = T_{15+V} \cdot S \rightarrow F_{15+V} = 3'828 \cdot 381 = 1458'47$ daN y la flecha en estas condiciones es de:

$$f_{15+V} = \frac{1}{8} \cdot \frac{a^2 \cdot m_2 \cdot W}{T_{15+V}} = \frac{1}{8} \cdot \frac{250^2 \cdot 3'28184 \cdot 10^{-3} \cdot 1'4253}{3'811}$$

$f_{15+V} = 9'589$ m //

2º Hipótesis a 85°C sin sobrecarga

En este caso la constante A tiene por valor:

$$A = -9'377 + 6900 \cdot 19'3 \cdot 10^{-6}(85 - (-20)) + \frac{6900 \cdot 250^2}{24} \cdot \frac{3'549^2 \cdot (3'28184 \cdot 10^{-3})^2}{9'377^2} = 32'328$$

$$B = \frac{E \cdot a^2}{24} \cdot m_2^2 \cdot W^2 \rightarrow B = \frac{6900 \cdot 250^2}{24} \cdot 1^2 \cdot (3'28184 \cdot 10^{-3})^2 = 193'53$$

$T_{85}^2 [T_{85} + A] = B \rightarrow T_{85}^2 [T_{85} + 32'328] = 193'53 \rightarrow T_{85}^3 + 32'328 T_{85}^2 - 193'53 = 0$

$T_{85} = 2'3619$ daN/mm² $\rightarrow F_{85} = T_{85} \cdot S \rightarrow F_{85} = 2'3619 \cdot 381 = 899'88$ daN

Y la flecha en estas condiciones resulta ser:

$$f_{\infty} = \frac{1}{8} \cdot \frac{a^2 \cdot W \cdot m_2}{T_{85}} \rightarrow f_{50} = \frac{1}{8} \cdot \frac{250^2 \cdot (3'28184 \cdot 10^{-3}) \cdot 1}{2'3619} = 10'855 \text{ m}$$

3º Hipótesis a 0°C con sobrecarga de hielo:

En este caso la constante A tiene por valor:

$$A = -9'377 + 6900 \cdot 19'3 \cdot 10^{-6}(0 - (-20)) + \frac{6900 \cdot 250^2}{24} \cdot \frac{3'549^2 (3'28184 \cdot 10^{-3})^2}{9'377^2} = 21$$

Para determinar la constante B previamente hay que determinar la sobrecarga

que origina el hielo:

$$m_2 = \frac{p+ph}{p} \rightarrow m_2 = \frac{1'25038 + 3'08348}{1'25038} = 3'466$$

$$B = \frac{\bar{E}\cdot 2R^2}{24}\cdot m_2^2 \cdot w^2 \rightarrow B = \frac{6900\cdot 250^2}{24}\cdot 3'466^2 (3'28184\cdot 10^{-3})^2 = 2324'93$$

$$T_{0+H}^2 [T_{0+H} + A] = B \rightarrow T_{0+H}^2 [T_{0+H} + 21] = 2324'93 \rightarrow T_{0+H}^3 - 21\, T_{0+H}^2 - 2324'93 = 0$$

$T_{0+H} = 8'828$ daN/mm² $\quad F_{0+H} = T_{0+H}\cdot S \rightarrow F_{0+H} = 8'828\cdot 381 = 3363'47$ daN

Y la flecha en estas condiciones resulta ser:

$$f_{0+H} = \frac{1}{8}\cdot \frac{a^2\cdot w\cdot m_2}{T_{0+H}} \rightarrow f_{0+H} = \frac{1}{8}\cdot \frac{250^2\cdot (3'28184\cdot 10^{-3})\cdot 3'4666}{8'828} = 10'066\,m$$

Como sucede normalmente la flecha máxima vertical se produce en la hipotesis de temperatura y en este caso su valor es de 10'855 m.

Todos estos calculos se podrian haber realizado con la hoja de calculo de la tabla de tendido para lineas de categoría especial.

2) Pretendemos determinar que velocidad de viento es necesaria para obtener el mismo coeficiente de sobrecarga con viento que la que se obtiene bajo la sobrecarga de hielo mas viento a 60 km/h, de donde tenemos. $m_{viento} = m_{H+V(60)}$

$$m_{H+V} = \frac{\sqrt{p^2 + (q_v\cdot d)^2}}{p} = \frac{\sqrt{\left(p + \frac{0'18\cdot\sqrt{d}}{500}\cdot H\right)^2 + (q_{60}\cdot d^*)^2}}{p}$$ de donde resulta

$$p^2 + (q_v\cdot d)^2 = (p+ph)^2 + (q_{60}\cdot d^*)^2 \qquad q_v = \sqrt{\frac{18'799 - 1'5634}{0'0254^2}}$$

$$1'25038^2 + (q_v\cdot 0'0254)^2 = (1'25038 + 3'08438)^2 + (12'5\cdot 6'101684\cdot 10^{-2})^2$$

$$1'5634 + (q_v\cdot 0'0254)^2 = 18'799 \rightarrow q_v = 163'447\ \text{daN/m}^2$$

Por lo que la velocidad de viento necesaria es de:

$$V_v = q_{120}\sqrt{\frac{q_v}{q_{50}}} \rightarrow V_v = 120\cdot\sqrt{\frac{163'447}{50}} = 216'96\ \text{km/h}$$

Evidentemente velocidad de viento mas que extraordinaria, es por lo que en un principio en zonas B o C siempre se considera como mas probable la hipotesis de hielo en lineas de 1ª, 2ª y 3 categoria o la hipotesis de hielo mas viento en las de categoria especial y no se considera la hipotesis de viento debido al elevado valor necesario en la velocidad del mismo:

¿Cuanto viento tiene que haber en la sobrecarga con viento (u_V) para que dicha sobrecarga sea igual a la sobrecarga de viento mas hielo (u_{V+H})

¿Vv?

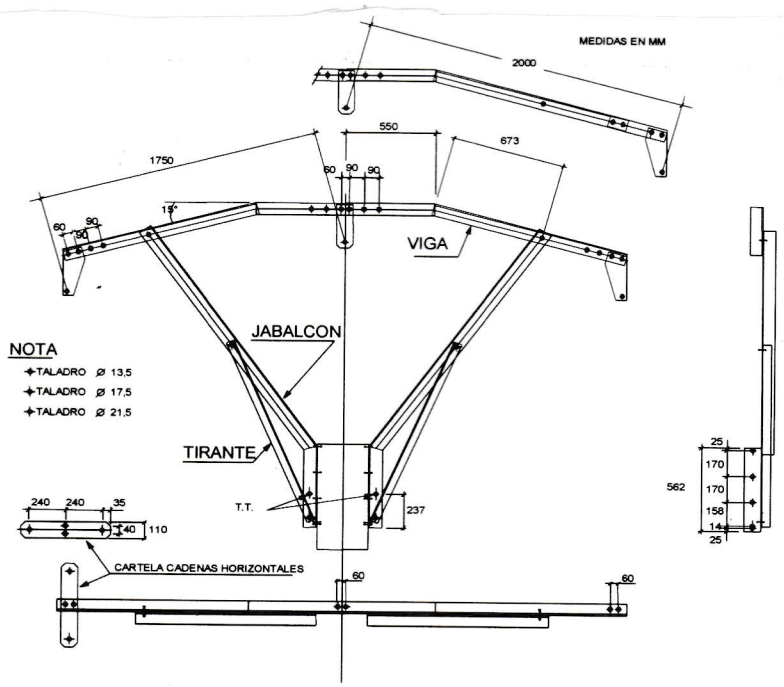
↓

$u_V = u_{V+H}$

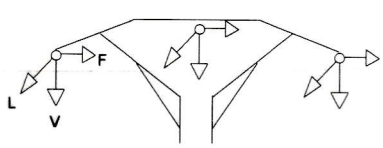
P 7.56 Una línea eléctrica a 20 kV se ha realizado con conductores recubiertos según la ITC-LAT 08 RLAT, discurre a una altitud de 800 metros y los cables empleados presentan las siguientes características:

Designación	47-AL 1/8ST1A
Sección total del conductor, mm^2	54,6
Equivalencia en cobre, mm^2	29,8
Composición	7
Diámetro de los alambres, mm	3,15
Diámetro aparente, mm	9,45
Espesor medio de la cubierta	2,3
Diámetro exterior medio	14,5
Carga mínima de rotura, daN	1600
Módulo de elasticidad, daN/mm^2	5900
Coeficiente de dilatación lineal, $°C^{-1}$	0,000023
Masa aproximada, daN/m	0,2325
Resistencia eléctrica a 20°C, Ω/km	0,6034
Densidad de corriente, A/mm^2	3,20

Para un cantón con un vano regulador de 50 m se sabe que los flectores son $F_{-15+H} = 450$ daN y $F_{-10+V} = 424$ daN y se pretenden emplear crucetas como la indicada y aisladores sintéticos:



que admiten los siguientes esfuerzos:



V = Carga vertical
L = Carga en el sentido de la línea
F = Carga transversal al sentido de la línea

Cruceta	Casos de carga	Carga de trabajo más sobrecarga daN			Coef. de seguridad	Carga límite especificada carga de ensayo daN			Duración en s
		V	L	F		V	L	F	
BP125 -17,5 Y BP125 -20	A	300	-	300	1,5	450	-	450	60
	B	300	125	-		450	188	-	

Determinar ~~para~~ un apoyo de alineación cuyos vanos adyacentes son de 47 metros, y estando el apoyo en cuestión 3 metros por encima de los apoyos contiguos:

1º) Los esfuerzos sobre la cruceta según la 1ª Hipótesis: Viento

2º) Los esfuerzos sobre la cruceta según la 2ª Hipótesis: Hielo

3º) Los esfuerzos sobre la cruceta según la 3ª Hipótesis: Desequilibrio

4º) La idoneidad de la cruceta indicada.

5º) El ángulo de desvío de la cadena de aisladores bajo la acción del viento:

Esta línea está contemplada en la ITC-LAT 08 del RLAT y se emplea según el apartado 1.1 preferentemente como alternativa a las líneas aéreas con conductores desnudos cuando estas transcurran o deban transcurrir por zonas de arboleda, zonas con fuertes vientos o zonas de protección especial de la arquitectura.

En relación con el cálculo mecánico y según capítulo 4 de la ITC-LAT-08. "Para los conductores recubiertos en lo que concierne a este apartado, será de aplicación lo indicado en el capítulo 3 de la ITC-LAT-07". Por tanto idéntico procedimiento al explicado en clase, con la salvedad que debemos calcular los esfuerzos "por fase o conductor" y compararlos con los esfuerzos que admite la cruceta.

1) Los esfuerzos según la 1ª Hipotesis : Viento son:

1.1 CARGAS PERMANENTES VERTICALES (V)

A) Peso de conductores :

$$P_C = p\left[\frac{a_1+a_2}{2} + \frac{F_{-D+V}}{P_V'}\left(\frac{h_0-h_1}{a_1}+\frac{h_0-h_2}{a_2}\right)\right]$$

$$P_C = 0'2325\left[\frac{47+47}{2} + \frac{424}{0'9}\left(\frac{3}{47}+\frac{3}{47}\right)\right] = 24'91 \text{ daN}$$

$$P_V' = \sqrt{p^2+(q_V\cdot d)^2} \Rightarrow P_V' = \sqrt{(0'2325)^2+(60\cdot 14'5\cdot 10^{-3})^2} = 0'9 \text{ daN/m}$$

b) Peso de aisladores : al ser aisladores sintéticos se adopta 2 daN/ud.

TOTAL → CARGAS PERMANENTES 26'91 daN

1.2 ESFUERZO DEL VIENTO NORMAL A LA LINEA (T):

A) Sobre conductores : Los esfuerzos del viento sobre conductores por fase tienen por valor

$$E_{NC} = \frac{a_1+a_2}{2}\cdot d\cdot q_V \Rightarrow E_{NC} = \frac{47+47}{2}\cdot 0'0145\cdot 60 = 40'89 \text{ daN}$$

B) Sobre aisladores se admite una sobrecarga de viento, por ser aisladores sintéticos de 1 daN/ud.

TOTAL ESFUERZOS PRODUCIDOS POR EL VIENTO = 41'89 daN

2) Los esfuerzos según la 2ª Hipotesis : Hielo (V) son en zona B.

A) Peso de conductores : $P_C = \left[P_H'\cdot\frac{a_1+a_2}{2} + F_H\left(\frac{h_0-h_1}{a_1}+\frac{h_0-h_2}{a_2}\right)\right]$

$$P_C = (0'2325+0'18\sqrt{14'5})\cdot\frac{47+47}{2} + 450\left(\frac{3}{47}+\frac{3}{47}\right) = 100'59 \text{ daN}$$

B) Peso de aisladores: al ser aisladores sintéticos se adopta 2 daN/ud

TOTAL CARGAS PERMANENTES = 102'59 daN //

3º) Las cargas según la Hipótesis de Desequilibrio de tracciones son:

3.1 CARGAS PERMANENTES VERTICALES: 102'59 daN

3.2 DESEQUILIBRIO DE TRACCIONES (L)

En sentido longitudinal (L) y por fase el desequilibrio de tracciones para un apoyo de alineación, tiene por valor:

$$F_L = \frac{8}{100} \cdot F_M = \frac{8}{100} \cdot 450 = 36 \text{ daN}$$

Para líneas de tensión nominal superior a 66kV será del 15% y para líneas de tensión nominal igual o inferior a 66kV será del 8%. Como estamos considerando líneas de Media Tensión se ha tomado el 8% de la fuerza F_M.

4) Comprobemos la idoneidad de la cruceta, sabemos que la cruceta admite las siguientes fuerzas:

V = 300 daN ; L = 125 daN ; T = 300 daN

- Para 1º Hipótesis: Viento: V = 26'91 daN < 300 daN, T = 41'89 < 300 daN

T = 41'89 daN < 300 daN → CRUCETA VÁLIDA

- Para 2º Hipótesis: Hielo: V = 102'59 daN < 300 daN → CRUCETA VALIDA

- Para 3º Hipótesis: Desequilibrio de tracciones V = 102'59 daN < 300 daN

L = 36 daN < 125 daN → CRUCETA VALIDA

A tenor de los resultados obtenidos la cruceta es valida.

5º) Es necesario calcular el ángulo de desvío de la cadena de aisladores bajo la acción del viento, siendo su expresión general.

$$tg\,\delta = \frac{2 \cdot F_{\theta+\frac{V}{2}} \cdot \operatorname{sen}\frac{\beta}{2} + \frac{q}{2} \cdot d \cdot a_V \cdot \cos\frac{\beta}{2} + \frac{Q_V}{2}}{p \cdot a_V + F_{-\theta+\frac{V}{2}}\left(\frac{h_0 - h_1}{a_1} + \frac{h_0 - h_2}{a_2}\right) + \frac{Q}{2}}$$

por estar la línea en zona B la fuerza a considerar será -10°C con una presión de viento mitad,

Es necesario por tanto determinar esta fuerza aplicando Ecuación de Cambio de Condiciones:

$$T_1 = T_{-15+H} = \frac{F_{-15+H}}{S} = \frac{450}{54'6} = 8'2417 \ daN/mm^2$$

$$W = \frac{p}{S} = \frac{0'2325}{54'6} = 4'2582 \cdot 10^{-3} \ daN/m\,mm^2$$

$$m_1 = \frac{p + 0'18\sqrt{d}}{p} = \frac{0'2325 + 0'18\sqrt{14'5}}{0'2325} = 3'947$$

Ya estamos en disposición de calcular la constante A:

$$A = -T_1 + E \cdot \alpha\,(\theta_2 - \theta_1) + \frac{E \cdot a_R^2}{24} \cdot \frac{m_1^2 \cdot W^2}{T_1^2} \rightarrow B = \frac{E \cdot a_R^2}{24} \cdot m_2^2 \cdot W^2$$ por lo que

habrá que calcular el coeficiente de sobrecarga con una presión de viento mitad.

$$m_2 = \frac{\sqrt{p^2 + \left(\frac{q_V}{2} \cdot d\right)^2}}{p} = \frac{\sqrt{0'2325^2 + \left(\frac{60}{2} \cdot 0'00145\right)^2}}{0'2325} = 2'1214$$ por lo que:

$$A = -8'2417 + 5900 \cdot 0'000023\left(-10 - (-15)\right) + \frac{5900 \cdot 50^2}{24} \cdot \frac{3'947^2 \left(4'2582 \cdot 10^{-3}\right)^2}{8'2417^2} = -5'007$$

$$B = \frac{5900 \cdot 50^2}{24} \cdot 2'1214^2 \cdot \left(4'2582 \cdot 10^{-3}\right)^2 = 50'15$$

$$T_{-10+\frac{V}{2}}^2 \left[T_{-10+\frac{V}{2}} + A\right] = B \rightarrow T_{-10+\frac{V}{2}}^2 \left[T_{-10+\frac{V}{2}} - 5'007\right] = 50'15 \longrightarrow T_{-10+\frac{V}{2}}^3 - 5'007\, T_{-10+\frac{V}{2}}^2 - 50'15 = 0$$

De donde el tense y la flecha a -10°C con una sobrecarga de viento mitad serán:

$T_{-10+\frac{V}{2}} = 6'279\ daN/mm^2 \rightarrow F_{-10+\frac{V}{2}} = T_{-10+\frac{V}{2}} \cdot S \rightarrow F_{-10+\frac{V}{2}} = 6'279 \cdot 54'6 = 342'77 daN$

Finalmente la tangente del ángulo de desvío de la cadena de aisladores bajo la acción del viento es de:

$$tg\,\delta = \frac{\frac{60}{2} \cdot 0'0145 \cdot \frac{47+47}{2} + \frac{1}{2}}{0'2325\,\frac{47+47}{2} + 342'77 \cdot \left(\frac{3}{47} + \frac{3}{47}\right) + \frac{2}{2}} = 0'3761$$

luego el ángulo de desvío será $\longrightarrow \delta = 20'61°$.

Para determinar la fuerza a $-10°C$ con presión de viento nulo, también podríamos partir de la fuerza a $-10°C$ con viento aplicando la ECC, en efecto:

$$T_1 = T_{-10+V} = \frac{F_{-10+V}}{S} = \frac{424}{54'6} = 7'7655\ daN/mm^2$$

$$A = -T_1 + E \cdot \alpha (\theta_2 - \theta_1) + \frac{E \cdot dn^2}{24} \cdot \frac{m_1^2 \cdot W^2}{T_1^2}$$

, m_1 será:

$$A = -7'7655 + 5900 \cdot 0'000023\,(-10-(-10)) + \frac{5900 \cdot 50^2}{24} \cdot \frac{3'873^2 \left(4'2582 \cdot 10^{-3}\right)^2}{7'76} = -4'993$$

la constante B tiene el mismo valor que anteriormente, de donde $B = 50'15$ por lo que si las constante de la ECC tienen los mismos valores su resultado será el mismo y por tanto el ángulo de desvío de la cadena de aisladores.

P 7.57 Una línea eléctrica a 20kV se ha realizado con conductores con designación 94-AL1/22-ST1A (LA-110) y discurre por zona A, para un cantón cuyo vano regulador es de 80 y sabiendo que la velocidad del viento se estima en 140 km/h. Determinar para un tense estático-dinámico

1) La fuerza a -5°C con presión de viento mitad:

2) El ángulo de desvío de la cadena de aisladores bajo la acción del viento en un apoyo de alineación - ángulo situado en dicho sabiendo que se produce un desvío de la traza de la línea 5°, y que se han utilizado aisladores de composite, estando los apoyos adyacentes 3 metros por encima del apoyo en estudio, siendo los vanos adyacentes de 80m.





1) Al emplear un tense del tipo estático-dinámico se debe cumplir simultáneamente que el coeficiente de seguridad empleado debe ser ≥ 3 y que para la temperatura de 15°C, la fuerza debe ser ser menor o igual al 15% C_R. C_R = carga de rotura.

Por tanto inicialmente adoptamos un coeficiente de seguridad igual a 3 y comprobamos si la $F_{15} \leq 15\% C_R$, si esta condición no se cumple a partir de $F_{15} = 15\% C_R$ determinaremos la fuerza en las condiciones iniciales:

Tenemos: $T_1 = T_{-5+V} = \dfrac{C_R}{C_S \cdot S} = \dfrac{4317}{3 \cdot 116'2} = 12'383 \text{ daN/mm}^2$

$w = \dfrac{P}{S} = \dfrac{0'42428}{116'2} = 3'6513 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m.mm}^2$ el coeficiente de sobrecarga en las condiciones iniciales será:

$$m_1 = m_{-5+V} = \frac{\sqrt{p^2 + \left[60\left(\frac{V_r}{120}\right)^2 \cdot d\right]^2}}{p} = \frac{\sqrt{0'42428^2 + \left[60 \cdot \left(\frac{140}{120}\right)^2 \cdot 0'014\right]^2}}{0'42428} = 2'874$$

de donde: $A = -T_1 + E\cdot\alpha(\theta_2-\theta_1) + \frac{E\cdot aR^2}{24}\cdot\frac{m_1^2\cdot w^2}{T_1^2}$

$$A = -12'383 + 8000\cdot(17'8\cdot10^{-6})\cdot(15-(-5)) + \frac{8000\cdot80^2}{24}\cdot\frac{2'874^2(3'6513\cdot10^{-3})^2}{12'383^2} = -8'003$$

La constante B tiene la expresión $B = \frac{E\cdot aR}{24}\cdot m_2^2\cdot w^2$

$$B = \frac{8000\cdot80^2}{24}\cdot1^2\cdot(3'6513\cdot10^{-3})^2 = 28'441 \quad . \quad T_{15}^2[T_{15}+A] = B \rightarrow T_{15}^2[T_{15}-8'003] = 28'441$$

$$T_{15}^3 - 8'003T_{15}^2 - 28'441 = 0 \rightarrow T_{15} = 8'4055 \text{ daN/mm}^2 \rightarrow F_{15} = T_{15}\cdot S$$

$F_{15} = 8'4055\cdot116'2 = 976'72$ daN, para cumplir la condición del Reglamento estática - dinámica, partimos por tanto de 647'55 daN a 15°C y aplicando la ECC determinaremos la fuerza en las condiciones iniciales (a 5°C con sobrecarga de viento), por lo que:

$T_{15} = \frac{F_{15}}{S} = \frac{647'55}{116'2} = 5'573$ daN/mm²

$T_{15}^2[T_{15}+A] = B \rightarrow 5'573^2[5'573+A] = 28'441$ por lo que la constante A tiene un valor de: $5'573^3 + 5'573^2A - 28'441 = 0 \rightarrow$

$$5'573^2A = -5'573^3 + 28'441 \rightarrow A = \frac{-5'573^3+28'441}{5'573^2} = -4'6573$$

Por lo que tenemos, en la ecuación del parámetro A...

$$-4'6573 = -T_{-5+V} + 8000\cdot17'8\cdot10^{-6}(15-(-5)) + \frac{8000\cdot80^2}{24}\cdot\frac{2'874^2(3'6513\cdot10^{-3})^2}{T_{-5+V}^2}$$

despejando el valor de T_{-5+V} su valor es de

$$-4'6573 = -T_{-5+V} + 2'848 + \frac{234'92}{T_{-5+V}} \rightarrow T_{-5+V} = 9'901 \text{ daN/mm}^2$$ por

lo que ya estamos en disposición de aplicar la ECC para determinar la fuerza a -5°C con presión de viento mitad, pero previamente hemos de calcular la sobrecarga para este estado:

$$M_{-5+V/2} = \frac{\sqrt{P^2 + \left(\frac{q_v}{2}\cdot d\right)^2}}{P} = \frac{\sqrt{0'42428^2 + \left(\frac{60}{2}\cdot 0'014\right)^2}}{0'42428} = 1'407$$

$$A = -9'9 + 8000\,(17'8\cdot 10^{-6})\cdot(-5-(-5)) + \frac{8000\cdot 80^2}{24}\cdot\frac{2'874^2\,(3'6513\cdot 10^{-3})^2}{9'9^2} = -7'503$$

$$B = \frac{8000\cdot 80^2}{24}\cdot 1'407^2\,(3'6513\cdot 10^{-3})^2 = 56'304 \rightarrow T_{-5+V/2}^2\left[T_{-5+V/2} - 7'503\right] = 56'304$$

de donde $T_{-5+V/2}^3 - 7'503\,T_{-5+V/2}^2 - 56'304 = 0 \rightarrow T_{-5+V/2} = 8'317$ daN/mm²

$$F_{-5+V/2} = T_{-5+V/2}\cdot S \rightarrow F_{-5+V/2} = 8'317\cdot 116'2 = 966'43 \text{ daN.}$$

Los mismos resultados se habrían obtenido por medio de la hoja de calculo de la tabla de tendido por líneas de 1°, 2° y 3° categoría.

3) Se nos pide determinar el ángulo de desvío de la cadena de aisladores bajo la acción del viento, para un apoyo de alineación - ángulo en que la hoja de la línea sufre un desvío de 5°, empleando aisladores de composite (por tanto el peso de 2 daN y el viento ejerce una fuerza de 1 daN), la expresión que determina el ángulo desvío es:

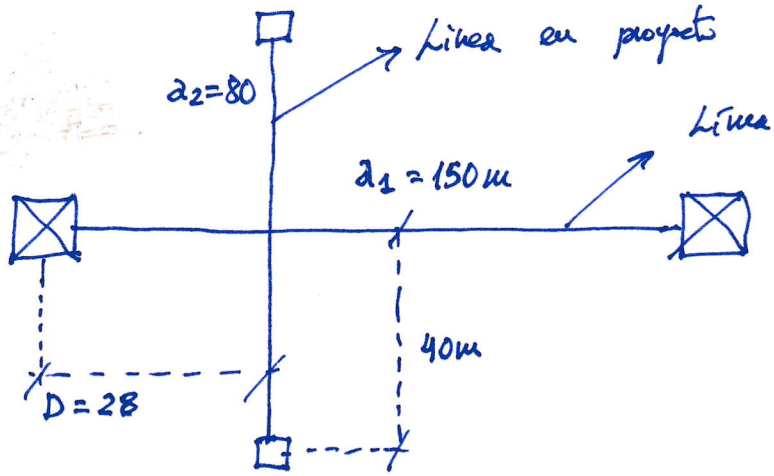
$$tg\,\delta = \frac{2\cdot F_{0+V/2}\cdot \operatorname{sen}\frac{\alpha}{2} + \frac{q}{2}\cdot d\cdot a_v\cdot\cos\frac{\alpha}{2} + \frac{q_v}{2}}{p\cdot a_v + F_{-0+V/2}\left(\frac{h_0-h_1}{a_1} + \frac{h_0-h_2}{a_2}\right) + \frac{q}{2}}$$

finalmente la tangente del ángulo de desvío de la cadena de aisladores bajo la acción del viento es de:

$$tg\,\delta = \frac{2\cdot 966'43\cdot \operatorname{sen}\frac{5}{2} + \frac{60}{2}\cdot 0'014\cdot\frac{80+80}{2}\cdot\cos\frac{5}{2} + \frac{1}{2}}{0'42428\cdot\frac{80+80}{2} + 966'43\left(-\frac{3}{80} - \frac{3}{80}\right) + \frac{2}{2}} = -3'153$$

luego el ángulo de desvío sería de $\delta = -72'405°$ o lo que es lo mismo un desvío de 107'59°, por lo que el desvío es excesivo y con toda seguridad aparecerá uno vertical, en resumen, esta disposición de apoyos es indeseada.

P 7.58) Se esta proyectando una línea aérea de 20 kV por medio del conductor 67-AL1/11-ST1A que discurre por zona B y esta línea cruza otra existente de 132 kV realizada con el conductor 147-AL1/34-ST1A tal que el cruce se realiza según el siguiente diagrama:



Se sabe que todos los apoyos del sistema son de celosía y están al mismo nivel, y el cruce se realiza en el punto medio del vano de la línea en proyecto, siendo el tipo de torre elegida para la línea en proyecto el siguiente:

Por otro lado se sabe que las alturas de los puntos de engrape de los conductores de la línea en proyecto son de 12m sobre el plano de referencia definido por el terreno. Se ha visitado la línea existente, se ha comprobado que los conductores definen un plano horizontal y se ha determinado que la altura de los puntos de engrape de los conductores de esta línea están a 18 metros y que la altura en el punto medio del vano es de 15'08 metros sobre el plano de referencia definido por el terreno y que esta última altura corresponde a una temperatura del conductor de 40°C medida por medio de una cámara termográfica.

Determinar: 1) Las flechas máximas verticales de la línea existente

2) La idoneidad del cruce de ambas líneas

Este problema pretende resolver los cruces con líneas existentes y respetar las distancias de seguridad que establece la ITC-LAT 07 en su apartado 5.6. "Distancias a otras líneas eléctricas aéreas o líneas aéreas de telecomunicación".

En primer lugar es necesario conocer el tipo de tense de la línea existente, y esto habitualmente representa una dificultad, porque en numerosas ocasiones se desconoce donde se encuentra el proyecto de ella.

Para resolver este problema se puede acudir al cruce en cuestión y por medio de una estación total se puede determinar la altura de los puntos de engrape de los conductores y la altura del punto medio del vano, además por medio de una cámara termográfica de rayos infrarrojos se determinará la temperatura real del conductor, puesto que puede estar en carga y las pérdidas en el conductor supongan un aumento de temperatura sobre la temperatura ambiente, esto es lo que se ha hecho.

Conocemos por tanto la altura en el punto medio del vano y como los apoyos están anclos el mismo nivel la flecha para estas condiciones es de:

$$f_{40} = 18 - 15'08 = 2'92\ (m)$$, evidentemente esta medición de altura se ha realizado sin viento.

Conocida la flecha, se puede determinar la fuerza y tensión para estas condiciones: de la ecuación de la flecha se despeja el tense $T_{40°C}$.

$$f_{40} = \frac{1}{8} \cdot \frac{a^2 \cdot w \cdot m_2}{T_{40}} \rightarrow T_{40} = \frac{1}{8} \cdot \frac{a^2 \cdot w \cdot m_2}{f_{40}}$$

Como no hay viento $m_2 = 1$, $w = \frac{P}{S} = \frac{0'66295}{181'6} = 3'6506 \cdot 10^{-3}\ (daN/m \cdot mm^2)$

$$T_{40} = \frac{1}{8} \cdot \frac{150^2 \cdot 3'6506 \cdot 10^{-3} \cdot 1}{2'92} = 3'516\ daN/mm^2.$$

Conocida por tanto una tensión y sus condiciones climatológicas (40°C sin ninguna sobrecarga) podemos aplicar la ECC para determinar las fuerzas y flechas para las condiciones de flecha máxima vertical, que evidentemente se corresponden con 50°C y 0°C con sobrecarga de hielo.

FLECHA VERTICAL A 50°C:

Partimos de unas condiciones iniciales a 40°C y deseamos las flechas y tensiones para unas finales de 50°C. Sabemos que:

$$T_{50}^2 [T_{50} + A] = B \quad \text{de donde} \quad A = -T_0 + E \cdot \alpha (\theta_2 - \theta_1) + \frac{E \cdot a^2}{24} \cdot \frac{m_1^2 \cdot w^2}{T_{40}^2}$$

$$A = -3'516 + 8000 \cdot 17'8 \cdot 10^{-6} \cdot (50 - (40)) + \frac{8000 \cdot 150^2}{24} \cdot \frac{(3'6506 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 1^2}{3'516^2} = 5'993$$

Por otro lado la constante B vale: $B = \frac{E \cdot a^2}{24} \cdot w^2 \cdot m_2^2 =$

$$B = \frac{8000 \cdot 150^2}{24} \cdot (3'6506 \cdot 10^{-3})^2 \cdot (1)^2 = 99'95$$ Aplicando la ECC $T_{50}^2 [T_{50} + A] = B$

$$T_{50}^2 [T_{50} + 5'993] = 99'95 \rightarrow T_{50}^3 + 5'993 T_{50}^2 - 99'95 = 0 \rightarrow T_{50} = 3'282 \ daN/mm^2$$

Por lo que la flecha es de:

$$f_{50} = \frac{1}{8} \cdot \frac{a^2 \cdot w \cdot m_2}{T_{50}} \rightarrow f_{50} = \frac{1}{8} \cdot \frac{150^2 (3'6506 \cdot 10^{-3}) \cdot 1}{3'282} \rightarrow f_{50} = 3'128 \ m$$

FLECHA VERTICAL A 0°C CON SOBRECARGA DE HIELO.

Partimos de las mismas condiciones iniciales 40°C y para unas condiciones finales de 0°C con sobrecarga de hielo tenemos:

$$A = -3'516 + 8000 \cdot (17'8 \cdot 10^{-6}) \cdot (0 - (40)) + \frac{8000 \cdot 150^2}{24} \cdot \frac{(3'6506 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 1^2}{3'516^2} = -1'126$$

por otro lado la constante B tiene por valor, y m_2 es.

$$m_2 = \frac{P + 0'18\sqrt{d}}{P} = \frac{0'66295 + 0'18\sqrt{17'5}}{0'66295} = 2'135$$

$$B = \frac{E a^2}{24} \cdot w^2 \cdot m_2^2 \rightarrow B = \frac{8000 \cdot 150^2}{24} \cdot (3'6506 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 2'135^2 = 455'594$$

$$T_{0+H}^2 [T_{0+H} + A] = B \rightarrow T_{0+H}^2 [T_{0+H} - 1'126] = 455'594 \rightarrow T_{0+H}^3 - 1'126 T_{0+H}^2 - 455'594 = 0$$

$T_{0+H} = 8'088 \ daN/mm^2$ de donde la flecha para estas condiciones es:

$$f_{0+H} = \frac{1}{8} \cdot \frac{a^2 \cdot w \cdot m_2}{T_{0+H}} \rightarrow f_{0+H} = \frac{1}{8} \cdot \frac{150^2 \cdot (3'6506 \cdot 10^{-3}) \cdot 2'135}{8'088} = 2'7102\,m$$

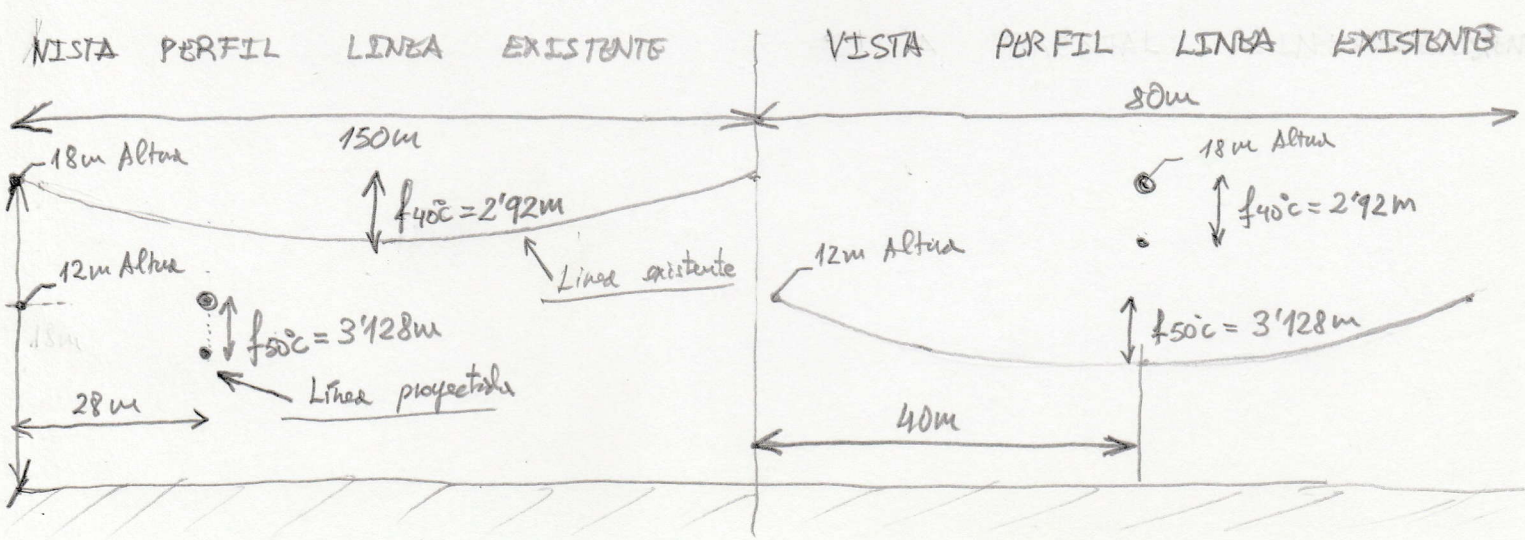
En resumen podemos concluir que la flecha máxima vertical se produce bajo la hipotesis de temperatura de 50ºC con un valor de 3'128 m

2) En este apartado se nos exige comprobar la idoneidad del cruce de ambas líneas, este se comprobará atendiendo a lo indicado en la ITC-LAT 07 apartado 5.6 "Distancias a otras líneas eléctricas o líneas aéreas de telecomunicación". En primer lugar en el apartado 5.6.1 se nos indica que la distancia entre los conductores de la línea inferior y las partes mas proximas de los apoyos de la línea superior no deberá ser inferior a.

$D_{add} + D_{el} = 1'5 + D_{el}$ en metros con un mínimo de

- 2 metros para líneas de tensión hasta 45kV
- 3 metros para líneas de tensión superior a 45kV y hasta 66kV.
- 4 metros para líneas de tensión superior a 66kV y hasta 132kV.
- 5 metros para líneas de tensión superior a 132kV y hasta 220kV.
- 7 metros para líneas de tensión superior a 220kV y hasta 400kV.

En el caso que nos ocupa como la distancia es de 28 m, independientemente del tipo de apoyo empleado en la línea de 132kV cumple con total seguridad esta exigencia reglamentaria.



Además indica este apartado (el 5.6.1), que la distancia vertical entre los conductores de fase de ambas líneas en las condiciones más desfavorables, no deberá ser inferior a:

$$D_{add} + D_{pp} \text{ en metros}$$

A los valores de la distancia adicional, D_{add} se le aplicarán los valores de la tabla 17. del apartado 5.6.1 (Cruzamientos):

En este caso como la línea existente es de 132kV D_{add} tiene un valor de 3 metros.

Además los valores D_{pp} se indican en el apartado 5.2 de la ITC LAT 07 en la tabla 15, en función de la tensión más elevada de la línea siendo su valor, para una tensión nominal de 132kV según el apartado 1.2 de la ITC LAT 07 en tabla 1, la tensión más elevada $U_s = 145kV$ aplicando la tabla del apartado 5.2 para $U_s = 145kV$ $D_{pp} = 1'40m$

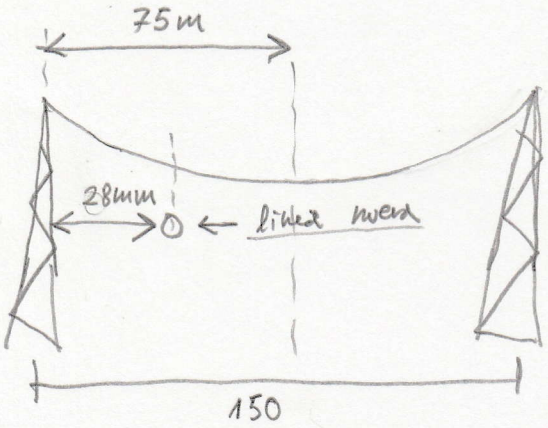
Surge en principio una duda, porque el RLAT no define si se refiere a la tensión más elevada de la línea existente en cuyo caso D_{pp} tiene un valor de 1'4 metros, o se refiere a la tensión más elevada de la línea en proyecto (20kV) y para esta situación D_{pp} tiene solo un valor de 0'25 metros, pero teniendo en cuenta que D_{pp} es una distancia entre conductores de fase para evitar descargas disruptivas entre los mismos, lógicamente este mismo criterio se puede aplicar entre conductores de líneas diferentes, además de resultar la hipótesis más desfavorable, tomamos por tanto el valor de $D_{pp} = 1'4m$, por lo que la distancia mínima vertical entre los conductores de fase debe ser como mínimo de:

$$D_{mínima} = D_{add} + D_{pp} \Rightarrow D_{mínima} = 3 + 1'4 = \underline{4'4\ m}$$

Y esta distancia en las condiciones más desfavorable, esto sucede para línea superior (132kV) en las condiciones de flecha máxima vertical (a 50°C) y para la línea inferior en las condiciones de flecha mínima vertical a -15°C.

Pero como el punto de cruce de ambas líneas no se produce en el vértice de la catenaria para la línea 132kV, se hace necesario determinar la flecha en el punto de cruce para la línea de 132kV, tenemos

por tanto la siguiente configuración en la que podemos definir un vano teorico de:



$$2\left(\frac{a_1}{2} - D\right) = \text{Vano teorico}$$

$$\text{Vano teórico} = 2\left(\frac{150}{2} - 28\right) = 94 \text{ metros}$$

que forma parte del vano real de la linea de 132kV, a este vano teorico bajo las condiciones de flecha máxima vertical le corresponden una flecha de:

$$\frac{f_{\text{VANO TEORICO}}}{f_{\text{VANO REAL}}} = \left(\frac{\text{VANO TEORICO}}{\text{VANO REAL}}\right)^2$$

porque la tensión es la misma, al pasar el vano teorico al vano real, de donde:

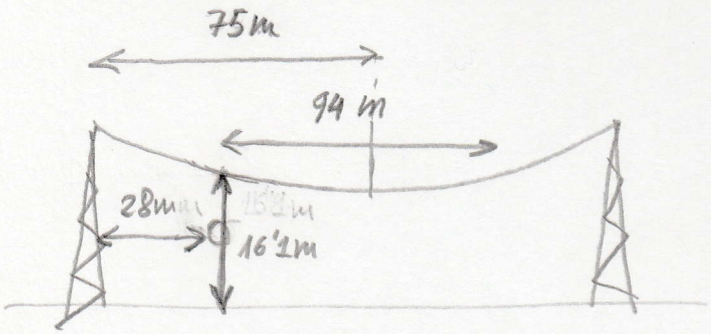
$$f_{\text{VANO TEORICO}} = f_{50^\circ}\left(\frac{\text{VANO TEORICO}}{\text{VANO REAL}}\right)^2$$

Correspondiendo f_{50° a la linea nueva en proyección.

$$f_{\text{VANO TEORICO}} = 3'128 \cdot \left(\frac{94}{150}\right)^2 = 1'228 \text{ m}$$

por lo que la altura del punto de cruce en la linea de 132kV en las condiciones de flecha máxima vertical

$$\text{Altura de cruce al suelo} = 18 - 3'128 + 1'228 = 16'1 \text{ m}$$



Por otro lado la flecha para la linea en proyecto en las condiciones de flecha mínima según la tabla de tendido adjunta a -15°C es de 0'36 metros, y como la altura de los puntos de engrape de los conductores para esta linea es de 12 metros, resulta que la altura del

conductor sobre el plano de referencia es de:

Distancia al suelo = 12 - 0'36 = 11'64 m.



De donde la distancia vertical entre ambas líneas en el punto de cruce es de:

Distancia vertical entre las dos líneas = 16'1m - 11'64m = 4'46m > Dmínima entre conductores

4'46m > 4'4 CUMPLE la distancia mínima entre conductores de ambas líneas.

En resumen podemos deducir que se puede realizar el cruce de ambas líneas líneas según las especificaciones indicadas. Además como esta el RLAT en su ITC-LAT-07 apartado 5.6.1 dejine que, cuando el punto de cruce de ambas líneas se encuentre en las proximidades del centro del vano, se tendrá en cuenta la posible desviación de los conductores de fase por la acción del viento.

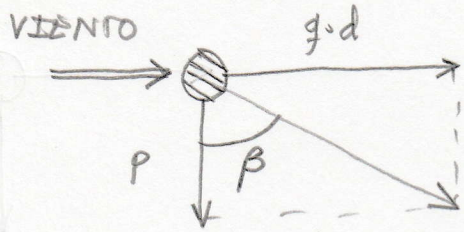
Reseña además RLAT en su apartado 5.6 que: En general cuando el punto de cruce de ambas líneas se encuentre en las proximidades del centro del vano de la línea inferior se tendrá en cuenta la posible desviación de los conductores de fase por la acción del viento.

Esto es lo que sucede, por lo que es necesario calcular la distancia entre conductores bajo esta situación, evidentemente el viento debe tener una dirección que actúe perpendicularmente sobre la línea nueva, porque en este caso dicha línea sufrirá un desvío de la vertical y así alejarse de la misma aproximándose a los conductores de la línea existente. Si el viento empujara a la línea existente las distancias entre ellos aumentarían y esta no es la situación más desfavorable.

Sabemos por la tabla de tendido que la flecha para la línea nueva es de 1'11 m para las condiciones de 15°C con sobrecarga de viento, para ahora la línea sufre un desvío sobre la vertical definido:

$$tg\,\beta = \frac{q \cdot d}{p} \rightarrow \frac{60 \cdot 11'3 \cdot 10^{-3}}{0'26663} = 2'543 \rightarrow \beta = 68'532° \;//$$

en la expresión anterior "d" y "p" son valores para el conductor de la línea en proyecto, por lo tanto tenemos la siguiente disposición:



$d_{VERTICAL} = f_{15+V} \cdot \cos\beta = 1'111 \cdot \cos 68'532° = 0'406\,m$

$d_{HORIZONTAL} = f_{15+V} \cdot \operatorname{sen}\beta = 1'111 \cdot \operatorname{sen} 68'532° = 1'032\,m$

Al desplazarse el conductor de la línea de 20kV por la acción del viento, el punto de cruce resulta también desplazado en la misma longitud horizontal por lo que el nuevo punto de cruce de ambas líneas medido desde el apoyo más próximo al punto de cruce es ahora de:

$D_{horizontal\ total}$ = Distancia horizontal al apoyo + d horizontal viento

$D_{horizontal\ total} = 28 + 1'032 = 29'032\,m$

Por lo que la altura respecto al plano de referencia (nivel del suelo) de este punto en las condiciones de flecha máxima 50°C para la línea de 132kV resulta ser de:

$$f_{LINEA\ 132kV\ AL\ PTO\ DE\ CRUCE} = f_{50°C}\left[\frac{2\left(\frac{a_1}{2} - D_{horizontal\ total}\right)}{a_1}\right]^2$$

$$f_{LINEA\ 132kV\ AL\ PUNTO\ DE\ CRUCE} = 3'128\left[\frac{2\cdot\left(\frac{150}{2} - 29'032\right)}{150}\right]^2 = 1'175\,m$$

Altura punto cruce línea = Altura pto engrape − $f_{50°C}$ + $f_{LINEA\ 132kV\ al\ pto\ cruce}$

Altura punto cruce línea = 18 − 3'128 + 1'175 = 16'047 m

Por último tenemos en cuenta la diferencia de altura entre conductores de ambas líneas y las flechas verticales de las mismas, resulta que la distancia entre conductores es de:

Distancia entre conductores = Altura punto de cruce − (Altura punto engrape 20kV − $d_{VERTICAL}$)

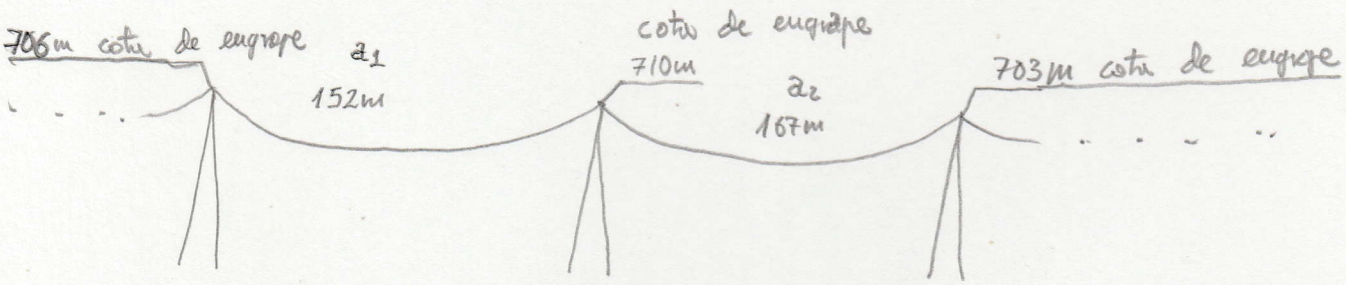
Distancia entre conductores = 16'047 − (12 − 0'406) = 4'453 m

Distancia entre conductores > Dmin → 4'453 > 4'4 IDÓNEO

Para las dos situaciones que contempla el RLAT, el cruce de las líneas respeta la distancia de seguridad, en consecuencia el cruce es idóneo.

P 7.59) Se está proyectando una línea aérea dúplex de 132kV por medio del conductor 147-AL1/34-ST1-A que discurre por zona B. Se pretende estudiar los esfuerzos que se producen por fase en un apoyo de alineación - ángulo en el que la traza de la línea se desvía 8° siendo el vano anterior al apoyo en estudio de 152m y el posterior de 167m. Por otro lado la altura del punto de engrape del conductor en el apoyo en estudio es de 710m, para el anterior de 706m y para el posterior 703m. El tipo de torre elegido para el cantón donde está situado este apoyo determina unas fuerzas cuyos son: $F_{-15+H} = 1896$ daN y $F_{-10+V} = 1617$ daN. Los aisladores empleados presentan un peso de 18 daN y una superficie 2 A ofrecida al viento de 0'15m². Determina los esfuerzos resultantes por fase o circuito en el apoyo según las distintas hipótesis:

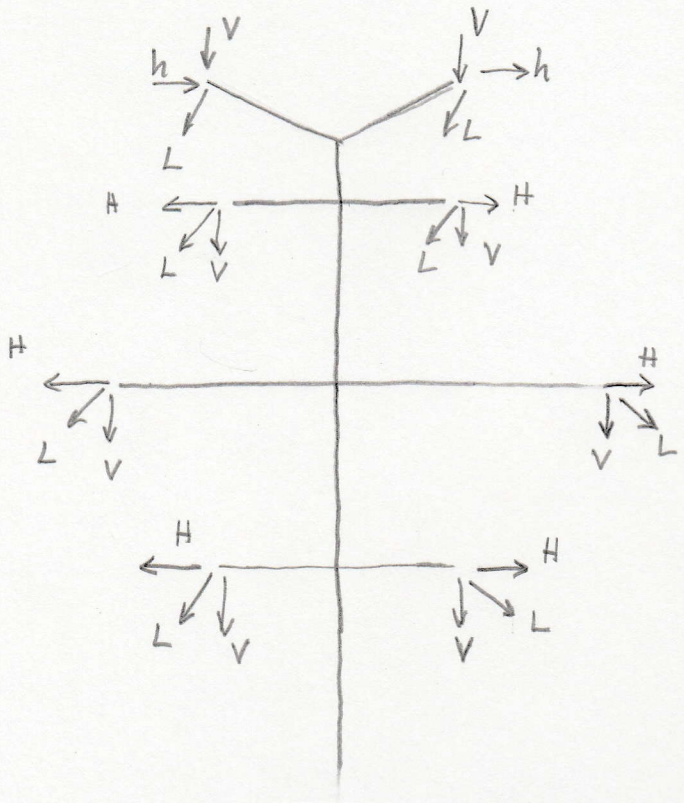
1) Hipótesis de Viento:
2) Hipótesis de Hielo:
3) Hipótesis de Desequilibrio de tracciones:
4) Hipótesis de Rotura de conductores:



En este problema se ha de calcular los esfuerzos resultantes en cruceta por fase y en este caso la fase o circuito el ser línea dúplex posee dos conductores, para las distintas hipótesis que recoge en RLAT en su ITC-LAT 07 apartado 3.5.3 que estan recogidos en la tabla siguiente:

	1	2	3	4
CARGAS	Hipotesis Viento	Hipotesis Hielo	Hipotesis Desequilibrio de Tracciones	Hipotesis Rotura de conductor
Vertical V	P_{CV} + Aislado + P herrajes y cruceta	P_{CH} + Aisladores + Pherrajes y cruceta	P_{CH} + Aisladores + Pherrajes y cruceta	P_{CH} + Aisladores + Pherrajes cruceta.
Transversal T	$n\left(q \cdot d \cdot a_v \cdot \cos\frac{\alpha}{2} + 2F_{-5+V} \cdot \operatorname{sen}\frac{\alpha}{2}\right)$	$n \cdot 2F_{-0+H} \cdot \operatorname{sen}\frac{\alpha}{2}$	$n(2-\%des) F_{-0+H} \cdot \operatorname{sen}\frac{\alpha}{2}$	$(2n-1)(\%rot \cdots \cdot F_{0+H} \cdot \operatorname{sen}\frac{\alpha}{2})$
Longitudinal L	0	0	$n(\%des) F_{-0+H} \cdot \cos\frac{\alpha}{2}$	$(\%rot) F_{0+H} \cdot \cos\frac{\alpha}{2}$

En la tabla anterior "n" tiene un valor de 2 al ser línea dúplex y los esfuerzos calculados se compararán con los que soporta el apoyo definidos por fase según la figura siguiente:



En la 1ª hipótesis es necesario calcular los esfuerzos bajo la acción del viento y como se ha definido, no hay ningún reglamento extraordinario se tomará el que establece el RLAT de 120 km/h. Por tanto tenemos

HIPOTESIS 1 Viento

1.1 CARGAS PERMANENTES VERTICALES (V):

A) Peso de conductores:

$$P_C = n \cdot p \cdot \left[\frac{a_1 + a_2}{2} + \frac{F_{-0} + \frac{V}{2}}{P_V'} \left(\frac{h_0 - h_1}{a_1} + \frac{h_0 - h_2}{a_2} \right) \right]$$

Como calculamos los esfuerzos por fase en la anterior expresión, "n" representa el número de conductores por fase, al ser línea dúplex, este tendrá un valor doble, es decir, de 2. Por dicha lado el peso de los conductores con viento P_V' será:

$$P_V = \sqrt{p^2 + (q \cdot d)^2} = \sqrt{0'66295^2 + (50 \cdot 0'0175)^2} = 1'0977 \text{ daN/m}$$ por lo que el peso de los conductores por fase de la línea dúplex transmitido

a la cruceta es de:

$$P_c = 2 \cdot 0'66295 \left[\frac{152+167}{2} + \frac{1617}{1'0977} \cdot \left(\frac{710-706}{152} + \frac{710-703}{167} \right) \right] = 344'74 \text{ daN}$$

B) Peso de aisladores:

El peso de aisladores según el enunciado del problema es de 18 daN por tanto: $P_{ais} = 18$ daN.

Por lo que el total de cargas vertical por fase, es decir los esfuerzos verticales que debe soportar la cruceta es de:

$$\begin{array}{r} 344'74 \\ + \ 18,0 \\ \hline 362'74 \text{ daN} \end{array}$$

TOTAL 1.1 CARGAS PERMANENTES =

1.2 ESFUERZO DEL VIENTO NORMAL A LA LINEA O EN LA DIRECCIÓN DE LA BISECTRIZ DEL ANGULO INTERNO DE LA LINEA (T):

A) Sobre conductores: los esfuerzos del viento sobre conductores por fase tienen por valor:

$$P_c = n \cdot \frac{d_1+d_2}{2} \cdot d \cdot q \cdot \cos\frac{\alpha}{2} \Rightarrow P_c = 2 \cdot \frac{152+167}{2} \cdot 0'0175 \cdot 50 \cdot \cos\frac{8}{2} = 278'44 \text{ (daN)}$$

B) Sobre aisladores: $q \cdot n_{aisladores/cadena} \cdot A_{aislador} = 70 \cdot 1 \cdot 0'15 = 10'5$ (daN)

puesto que el número de aisladores es de uno, al no definirse en el enunciado del problema mayor número de cadena de aisladores.

D) Resultante de ángulo: La resultante de ángulo por fase para una línea de dos conductores (dúplex) tiene por valor:

$$R_T = 2 \cdot n \cdot F_{\theta \cdot V} \cdot \operatorname{sen}\frac{\alpha}{2} \Rightarrow R_T = 2 \cdot 2 \cdot 1617 \cdot \operatorname{sen}\frac{8}{2} = 451'18 \text{ (daN)}$$

TOTAL 1.2 ESFUERZOS PRODUCIDOS POR EL VIENTO 740'12 daN

2) En la 2° Hipotesis estudiaremos los esfuerzos con sobrecarga de hielo en los conductores:

Hipotesis 2° Hielo zonas B y C

2.1 CARGAS PERMANENTES VERTICALES + SOBRECARGA DE HIELO (V)

A) Peso de conductores:

$$P_C = n \cdot \left[P_H' \frac{a_1 + a_2}{2} + F_H \left(\frac{h_0 - h_1}{a_1} + \frac{h_0 - h_2}{a_2} \right) \right] \Rightarrow$$ Resuelto el peso con hielo

$$P_H' = p + ph \rightarrow P_H' = p + 0'18\sqrt{d} \rightarrow P_H' = 0'66295 + 0'18\sqrt{17'5} = 1'415944$$

$$P_C = 2 \cdot \left[(1'415944) \cdot \frac{152 + 167}{2} + 1896 \left(\frac{710 - 706}{152} + \frac{710 - 703}{167} \right) \right] = 710'42 \text{ daN}$$

B) Peso de aisladores $P_{aisladores} = 18$ daN

TOTAL 2.1 CARGAS PERMANENTES 728'42 (daN)

2.2 RESULTANTE DE ÁNGULO (T): La resultante de angulo por fase para línea dúplex será:

$$R_T = 2 \cdot n \cdot F_{-D+H} \cdot \operatorname{sen} \frac{\alpha}{2} \Rightarrow R_T = 2 \cdot 2 \cdot 1896 \cdot \operatorname{sen} \frac{8}{2} = 529'03 \text{ (daN)}$$

TOTAL 2.2. RESULTANTE DE ANGULO = 529'03 daN

3) En la 3ª Hipotesis de desequilibrio de tracciones, definimos los esfuerzos que puede originar el desequilibrio de tracciones en los conductores a uno y otro lado del apoyo:

Hipotesis 3° Desequilibrio de tracciones

3.1 CARGAS PERMANENTES VERTICALES (V):

Fue calculado anteriormente y su valor es de: 728'42 daN

TOTAL 3.1 CARGAS PERMANENTES + SOBRECARGA: 728'42 daN //

3.2 DESEQUILIBRIO DE TRACCIONES (L y T)

En sentido longitudinal (L) y por fase el desequilibrio de tracciones para un apoyo de alineación y ángulo, para líneas de tensión nominal superior a 66kV será del 15% por tanto tenemos:

$$F_L = n \cdot \frac{15}{100} \cdot F_M \cdot \cos\frac{\alpha}{2} \Rightarrow F_L = 2 \cdot \frac{15}{100} \cdot 1896 \cdot \cos\frac{8^\circ}{2} = 567'41 \text{ daN}$$

Por otro lado al ser un apoyo de alineación - ángulo el desequilibrio produce una fuerza transversal T de valor.

$$F_T = n \cdot 1'85 \cdot F_M \cdot \operatorname{sen}\frac{\alpha}{2} \Rightarrow F_T = 2 \cdot 1'85 \cdot 1896 \cdot \operatorname{sen}\frac{8}{2} = 489'35 \text{ daN}$$

4) En este tipo de líneas es necesario calcular el esfuerzo que origina la rotura de conductores, según ITC - LAT 07 apartado 3.1.5.1 se considerará la rotura de un solo conductor o de cable de tierra. Previas las justificaciones pertinentes las justificaciones pertinentes podrá tenerse en cuenta la reducción de este esfuerzo mediante dispositivos especiales adoptados a este fin. Teniendo en cuenta este último concepto, el valor mínimo admisible del esfuerzo de rotura del 50% de la tensión del cable roto, en las líneas con uno o dos conductores por fase, y nuestra línea es duplex por tanto dos conductores por fase, de donde.

4) Rotura de conductores

4.1 CARGAS PERMANENTES VERTICALES (V).

Ha sido calculada anteriormente y su valor es de:

TOTAL 4.1 CARGAS PERMANENTES + SOBRECARGA (V) = 728'42 daN

4.2 ROTURA DE CONDUCTORES (L y T)

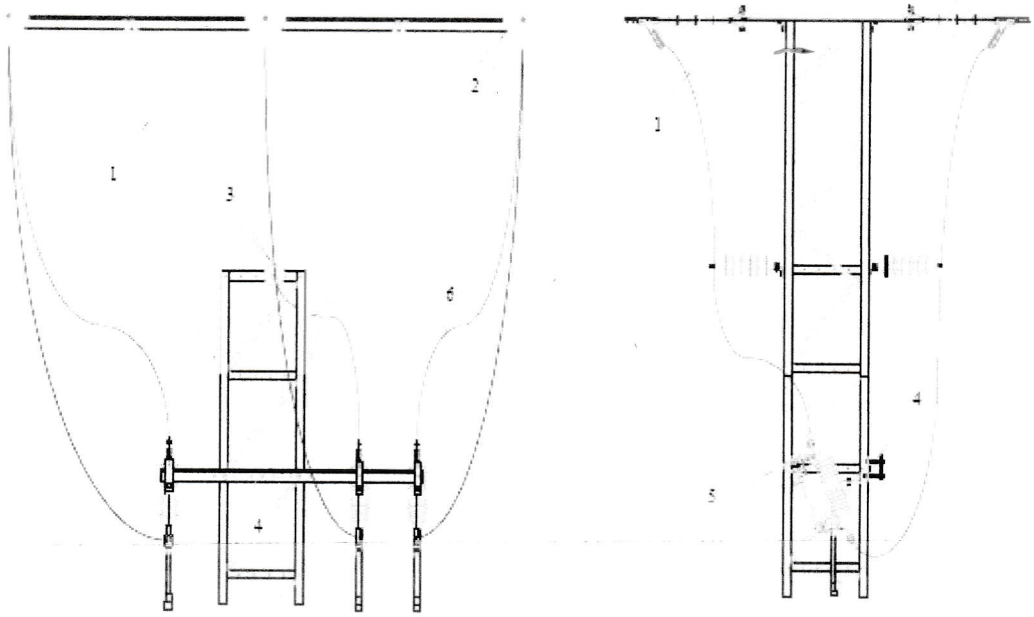
En sentido longitudinal (L) el esfuerzo esta definido por:

$$(\%\text{ rot})\, F_{-\theta+H} \cdot \cos\frac{\alpha}{2} = \frac{50}{100} \cdot 1896 \cdot \cos\frac{8}{2} = 945'69 \text{ (daN)}$$

mecánica en sentido transversal (T) tiene por valor

$$F_{\cdot} = (2n-1)(\%\,rot)\,F_{\theta+H} \cdot \operatorname{sen}\frac{\alpha}{2} = 2 \cdot 2 - 1 \cdot \frac{50}{100} \cdot 1896 \cdot \operatorname{sen}\frac{8}{2} = 198'38 \text{ daN}$$

P) 7.60 Existe una línea de simple circuito a 20kV que discurre por zona B, en el que existe un apoyo de anclaje C-2000 que dispone de una cruceta recta dispuesta en cogolla del mismo. Se desea disponer unos fusibles de expulsión XS para poder seccionar el siguiente tramo de línea, a tal fin se debe cambiar la cruceta recta por una bóveda plana, de donde resulta la siguiente configuración, tal que los conductores con esta nueva cruceta están situados a 1'5 metros por encima de la cogolla del apoyo:



Se sabe que el conductor empleado es el 94-AL1/22-ST1-A (antiguo LA-110) que se ha empleado un tipo de tense tal que para los conductores de los vanos adyacentes al apoyo $F_{-15+H} = 1309$ daN y $F_{-10+V} = 1184$ daN y que en la disposición inicial (cruceta-recta) los conductores del apoyo en cuestión y los adyacentes estaban todos al mismo nivel. Por otro lado el peso de la cruceta bóveda es de 250 daN que el viento ejerce sobre la misma un esfuerzo de 43'55 daN, referidos a cogolla de apoyo, que los aisladores pesan 5 daN y el viento ejerce un esfuerzo sobre los mismos de 2'1 daN. Por último los vanos adyacentes al apoyo son de 80m y 100m y que el peso del angular auxiliar y los portafusibles de expulsión es de 45 daN.



Determinar los esfuerzos y la validez del apoyo en:

1) Hipotesis de Viento.
2) Hipotesis de Hielo.
3) Hipotesis de desequilibrio de tracciones.
4) Hipotesis de Rotura de conductores. (Sabiendo que el brazo de la cruceta es de 2 metros)

1) En este problema se debe calcular la Validez de un apoyo existente C-2000 en el que al disponer una posible de expulsión XS, se debe disponer de una cruceta bóveda plana en sustitución de la cruceta recta original. Por lo que es necesario volver a calcular el apoyo.

Hipotesis de Viento

1.1 CARGAS PERMANENTES VERTICALES

A) Peso de conductores: $P_C = n \cdot p \cdot \left[\frac{a_1+a_2}{2} + \frac{F_{-0+V}}{P_V'}\left(\frac{h_0-h_1}{a_1} + \frac{h_0-h_2}{a_2}\right)\right] =$

En la expresión anterior "n" representa el numero de conductores es decir el numero de fases al ser una linea simple circuito. Por otro lado el peso de los conductores con viento P_V' sera:

$$P_V' = \sqrt{p^2 + (q \cdot d^2)} = \sqrt{(0'42428)^2 + (60 \cdot 0'014)^2} = 0'941 \ daN/m$$

Además originalmente los conductores del sistema, apoyo en estudio y apoyos adyacentes estaban al mismo nivel, pero al disponer la cruceta bóveda plana en el apoyo en estudio sobra 1'5 metros sobre los adyacentes, por lo que el peso de los conductores sobre el apoyo es de:

$$P_C = 3 \cdot 0'42428 \left[\frac{80+100}{2} + \frac{1184}{0'941}\left(\frac{1'5-0}{80} + \frac{1'5-0}{100}\right)\right] = 168'6 \ daN$$

B) Peso de aisladores: El peso de aisladores según el enunciado del problema es de 5 daN por aislador, pero como se disponen 8 aisladores, seis para el amarre de los conductores y dos más para hacer posibles puentes, tenemos:

$$P_{AIS} = 5 \cdot 8 = 40 \text{ daN}$$

C) Peso de cruceta: Según el enunciado el peso de la cruceta bóveda plana es de 250 daN.

d) Peso de angular y perfiles fusibles: Según el enunciado es de 45 daN.

Por lo que el total de cargas verticales que deben soportar el apoyo: $168'6 + 40 + 250 + 45 = 503'6$ daN //

TOTAL 1.1 CARGAS PERMANENTES = 503'6 daN

1.2 ESFUERZO DEL VIENTO NORMAL A LA LINEA (T)

A) Sobre conductores: los esfuerzos del viento sobre los conductores tienen por valor...

$$P_c = n \frac{a_1 + a_2}{2} \cdot d \cdot q \cdot \cos\frac{\alpha}{2} = \rightarrow P_c = 3 \cdot \frac{80+100}{2} \cdot 0'014 \cdot 60 = 226'8 \text{ daN}$$

Estos esfuerzos están aplicados a 1'5 m por encima de cogolla por lo tanto es necesario aplicarles el factor de armado, cuyo valor es:

$$K_{11} = K_{12} = K_{13} = \frac{4'6 + H_5}{4'6} \rightsquigarrow K_{11} = K_{12} = K_{13} = \frac{4'6 + 1'5}{4'6} = 1'326$$

Referido el esfuerzo del viento sobre la cogolla del apoyo tiene un valor de:

$$F_V = K_{11} = K_{12} = K_{13} \cdot P_c \Rightarrow F_V = 1'326 \cdot 226'8 = 300'73 \text{ daN}$$

B) Sobre aisladores: hay que tener en cuenta que según el dibujo del apoyo dos aisladores están dispuestos en cogolla de apoyo y 6 aisladores a 1'5m, a estos últimos es necesario aplicarles el mismo factor de armado que se ha utilizado para los conductores,

y que en general el viento sobre los aisladores ejerce una fuerza de 2'1 daN de donde:

$$P_{ais} = q \cdot n_{aisladores/cadena} \cdot A_{aislador}.$$

$P_{ais} = 6 \cdot 2'1 \cdot 1'326 + 2 \cdot 2'1 = 20'90$ daN

c) Sobre cruceta hoveda plana: el enunciado establece que el esfuerzo del viento sobre la cruceta y referido a cogolla es de 43'55 daN.

Por último no se considera la acción del viento sobre el angular y los portafusibles dado que no se han indicado valores y estan en la dirección del apoyo.

Por lo que los esfuerzos transversales a la línea tienen un valor de

TOTAL 1.2 ESFUERZOS PRODUCIDOS POR VIENTO = 300'73 + 20'9 + 43'55 = 365'18 daN

Por ser un apoyo de celosía debe cumplir la ecuación resistente:

$T = V + K \cdot H \rightarrow T = 503'6 + 5 \cdot 365'18 = 2329'5 < 10600$

Según la tabla 2 UNE 207017:2010 K=5, el apoyo C-2000 será válido:

$2329'5 < 10600$ ✓ CUMPLE LA EC RESISTENTE

2) En la 2° hipótesis estudiaremos los esfuerzos con sobrecarga de hielo en los conductores.

2 Hipótesis Hielo zona B y C:

2.1 CARGAS PERMANENTES VERTICALES + SOBRECARGA DE HIELO (V)

A) Peso de conductores: $P_C = n \left[P_H' \frac{a_1 + a_2}{2} + F_H \left(\frac{h_0 - h_1}{a_1} + \frac{h_0 - h_2}{a_2} \right) \right]$

$P_H' = p + p_h \rightarrow P_H' = p + 0'18\sqrt{d} \rightarrow P_H' = (0'42428 + 0'18\sqrt{14}) = 1'097778329$

$P_C = 3 \cdot 1'097778329 \cdot \frac{80+100}{2} + 1306 \cdot \left(\frac{1'5-0}{80} + \frac{1'5-0}{100} \right) = 428'93$ daN

B) Peso de aisladores: $P_{ais} = 8 \cdot 5 = 40$ daN

c) Peso de cruceta: Según el enunciado el peso de la cruceta hóvida plana es de 250 daN.

D) Peso de angular y portafusibles y fusibles, según el enunciado es de 45 daN

TOTAL 2.1 CARGAS PERMANENTES $428'93 + 40 + 250 + 45 = 763'93$ daN

Por ser un apoyo de celosía debe cumplir la ecuación resistente:

$T = V + K \cdot H$, $T = 763'93 + 5 \cdot 0 = 763'93$ Según la tabla 2 UNE 207017: 2010

$763'93 < 10600$ ✓ APOYO C-2000 VÁLIDO.

Si bien es verdad que las cargas verticales superan a las nominales de un C-2000, que son de 600 daN, como las fuerzas horizontales son nulas, se pueden asumir esfuerzos verticales cuyo valor máximo es de $3V = 3 \cdot 600$, ya que, en ningún caso, la carga vertical centrada V_1 será mayor que 3 veces la carga vertical nominal.

$V = 3 \cdot 600 = 1800$ daN.

3) En la hipótesis desequilibrio de tracciones, definimos los esfuerzos que puede originar el desequilibrio de tracciones en los conductores a uno y otro lado del apoyo.

3 Desequilibrio de Tracciones:

3.1 CARGAS PERMANENTES VERTICALES (V):

Ha sido calculada anteriormente y su valor es de: 763'93 daN

TOTAL 3.1 CARGAS PERMANENTES + SOBRECARGA = 763'93 daN

3.2 DESEQUILIBRIO DE TRACCIONES (L y T):

En sentido longitudinal (L) y por fase el desequilibrio de tracciones para un apoyo de anclaje, para líneas de tensión nominal de 20kV será del 50%, por tanto tenemos.

$$F_L = n\frac{50}{100}\cdot F_M \cdot \cos\frac{\alpha}{2} \rightarrow F_L = 3\cdot\frac{50}{100}\cdot 1309 = 1963'5 \text{ daN}$$

Aplicando el factor de anudado, para referir estos esfuerzos a cogolla del apoyo, resulta:

$$E_{co} = F_L \cdot K \Rightarrow E_{co} = 1963'5 \cdot 1'326 = 2603'6 \text{ daN}$$

Por ser un apoyo C-2000, soporta 2000 daN a cogolla del mismo con un coeficiente de seguridad de 1'5 como la 3ª hipotesis es anormal le corresponde un coeficiente de seguridad de 1'2 por lo que el apoyo es capaz de soportar un esfuerzo de:

Según la UNE 207017:2010 → Esfuerzo anormal = $\frac{\text{CARGA NOMINAL} \cdot C_S}{1'2}$

Esfuerzo anormal = $\frac{2000\cdot 1'5}{1'2} = 2500$ daN, mientras que los esfuerzos en cogolla son superiores.

2500 < 2603'6 NO VÁLIDO
APOYO - C2000

Por tanto el apoyo no sería válido, en principio la única solución si se desea disponer la cruceta hóreda es bajar el tense de las líneas adyacente, pero para ello se debe comprobar que la distancia al terreno de los conductores es reglamentaria puesto que al bajar el tense aumenta la flecha.

4) En este tipo de líneas es necesario calcular el esfuerzo que origina la rotura de conductores, según ITC-LAT-07 apartado 3.1.5.3 se considera la rotura de un solo conductor o cable de fiema en las líneas con un solo conductor por fase sin reducción alguna de la tensión.

4) Rotura de conductores:

4.1 CARGAS PERMANENTES VERTICALES (V):

Ha sido calculado anteriormente y su valor es de:

TOTAL 4.1 CARGAS PERMANENTES + SOBRECARGA = 763'93 daN

4.2 ROTURA DE CONDUCTORES (L):

En sentido longitudinal (L) puesto que no hay angulo de desvío en la traza de la línea en este apoyo, el esfuerzo de rotura está definido por: $F_{-D+H} = 1309$ daN

Aplicado con un brazo de cruceta de 2m, por otro lado un apoyo C-2000 soporta un esfuerzo torsor de 1400 daN con un brazo de 1'5 según norma UNE 207017:2010, por tanto tenemos

$E_C = F_T \cdot 1'5 \rightarrow E_C = 1400 \cdot 1'5 = 2100$ daN

$E_C = F_{-D+H} \cdot 2 \rightarrow E_C = 1309 \cdot 2 = 2618$ daN

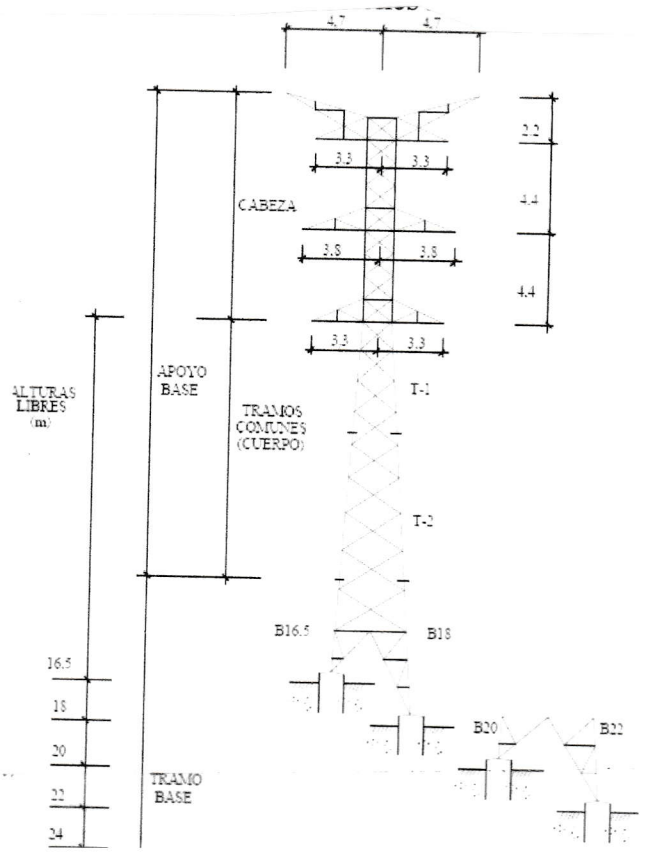
$2100 < 2618$ APOYO NO VALIDO

Por lo que el apoyo C-2000 tampoco sería válida, nuevamente las posibilidades para poder utilizar este apoyo son:

→ Disminuir el tense utilizando la misma cruceta
→ Disminuir el brazo de cruceta, cambiando el modelo de cruceta dentro de los tipos de cruceta bóveda plana.

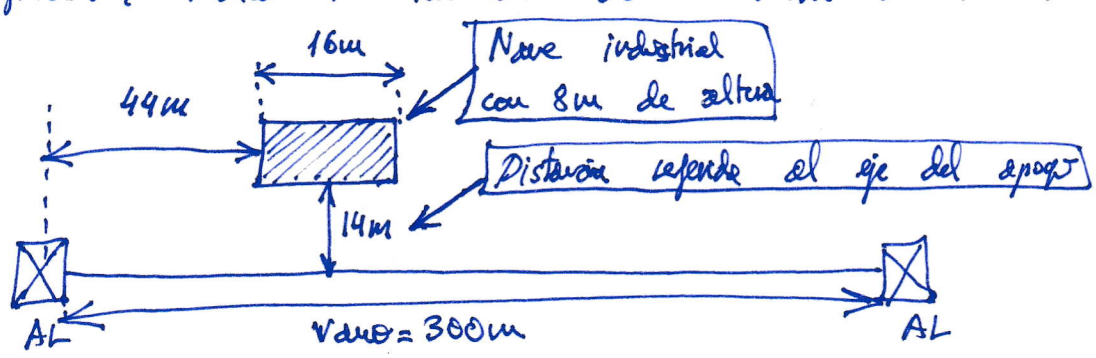
→ O ambas soluciones a la vez, modificar tense y cruceta.

P 7.6 Dado el apoyo de la figura que se ha utilizado en una línea de 220 kV que discurre por zona B, siendo la altura libre desde los conductores hasta la primera cruceta de 16'5 m.



El conductor empleado en esta línea es el 242-AL1/39-ST1A (antiguo LA-280) y se ha utilizado un tense con un coeficiente de seguridad en las condiciones iniciales de $C_s = 3$. Unos apoyos de alineación están situados en un vano con un vano regulador de 300 m. Determinar:

1) La flecha máxima a 15°C mas viento:
2) Sabiendo que las cadenas de aisladores de suspensión y herrajes presentan una longitud de 2'5 metros, con un peso de 30 daN y el viento ejerce sobre ella una fuerza de 35 daN, teniendo en cuenta la siguiente configuración, estando los apoyos al mismo nivel que la edificación, indicar la idoneidad de la traza de la línea.



1) En esta primera parte del problema se pretende determinar la flecha máxima a 15°C mas viento, puesto que será necesaria esta flecha para el 2º apartado. Partimos de la ECC que por ser línea de categoría especial las condiciones iniciales son a -15°C con sobrecargas de hielo mas viento y este con una velocidad mínima de 60km/h. Por tanto:

$$T_1 = T_{15+H+V} = \frac{C_R}{C_s \cdot S} = \frac{8489}{3 \cdot 281'1} = 10'066 \ daN/mm^2$$

$$A = -T_1 + E \cdot \alpha (\theta_2 - \theta_1) + \frac{E \cdot d_R^2}{24} \cdot \frac{m_1^2 \cdot w^2}{T_1^2} \qquad B = \frac{E \cdot d_c^2}{24} \cdot m_1^2 \cdot w^2$$

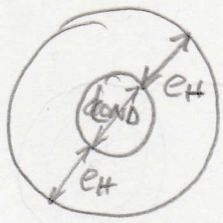
$$w = \frac{p}{S} = \frac{0'95765}{281'1} = 3'4068 \cdot 10^{-3} \ daN/m\,mm^2$$

Al estar situada la línea en zona B la sobrecarga de hielo es:

$$m_1 = \frac{\sqrt{(p+ph)^2 + (q \cdot d^*)^2}}{p} \rightarrow \qquad ph = 0'18\sqrt{d} \rightarrow ph = 0'18\sqrt{21'8} = 0'8404 \ daN/m$$

El diámetro del conductor con el manguito de hielo (d^*) para poder definir la sobrecarga que ejerce el viento a tal fin en el apartado 3.1.2.1 de la ITC-LAT-07 del RLAT se aconseja de un volumen específico, yo me aconsejo por lo mas facil y seguro, la lógica, y la lógica, me dice que el diámetro total será el diámetro del conductor del cable mas el espesor del hielo, que como está expresado en el radio del conductor, será dos veces el espesor.

$$d^* = d_{cond} + e_H \cdot 2$$



siendo el espesor para zona B

$$e_H = -r + \sqrt{r^2 + \frac{240\sqrt{2r}}{\pi}}$$

$$e_H = -\frac{21'8}{2} + \sqrt{\left(\frac{21'8}{2}\right)^2 + \frac{240\sqrt{21'8}}{\pi}} = 10'905937666 \rightarrow d^* = 21'8 + 2 \cdot 10'905937 = 43'611875 \ mm$$

$d^* = 43'611875$ mm

La fuerza que ejerce el viento considerada con velocidad del viento de 60km/h y para un conductor con diámetro mayor de 16mm es de:

$$q_{50} = 50 \cdot \left(\frac{V_v}{120}\right)^2 = \qquad q_{50} = 50 \cdot \left(\frac{60}{120}\right)^2 = 12'5 \ daN/m^2$$

de donde sustituyendo m_1=

$$m_1 = \frac{\sqrt{(0'95765+0'8404)^2+(12'5\cdot 43'611875\cdot 10^{-3})^2}}{0'95765} = 1'961$$

Ya estamos en disposición de aplicar la ECC para calcular la flecha máxima a −15°C más sobrecarga de viento a 120 km/h.

$$A = -10'066 + 7500\cdot 18'9\cdot 10^{-6}(15-(-15)) + \frac{7500\cdot 300^2}{24}\cdot\frac{1'961^2\cdot(3'4068\cdot 10^{-3})^2}{10'066^2} = 6'575$$

El coeficiente de sobrecarga a 15°C más viento será de:

$$m_2 = \frac{\sqrt{p^2+(q_{120}\cdot d)^2}}{p} = \frac{\sqrt{0'95765^2+(50\cdot 0'0218)^2}}{0'95765} = 1'515\,,$$ la cte B vale:

$$B = \frac{7500\cdot 300^2}{24}\cdot 1'515^2\cdot(3'4068\cdot 10^{-3})^2 = 749'222$$ de donde la ecuación de cambio de condiciones $T_{15+V}^2\,[T_{15+V}+A] = B$

$$T_{15+V}^2\,[T_{15+V}+6'575] = 749'222 \rightarrow T_{15+V}^3 + 6'575\,T_{15+V}^2 - 749'222 = 0$$

Por lo que la tensión a 15°C con una sobrecarga de viento de 120 km/h

$$T_{15+V} = 7'338\ daN/mm^2 \rightarrow F_{15+V} = T_{15+V}\cdot S \rightarrow F_{15+V} = 7'338\cdot 281'1 = 2062'71\ daN$$

y la flecha en estas condiciones es de:

$$f_{15+V} = \frac{1}{8}\cdot\frac{a^2\cdot m_2\cdot W}{T_{15+V}} \rightarrow f_{15+V} = \frac{1}{8}\cdot\frac{300^2\cdot 1'515\cdot(3'4068\cdot 10^{-3})}{7'338} = 7'912\ m$$

2) Es necesario calcular la distancia desde el conductor a la nave industrial y comprobar la suficiencia reglamentaria, para ello haremos uso del apartado 5.12.2 de la ITC LAT 07, que indica que no se construirán edificios e instalaciones industriales de techumbre de vuelo, incrementadas por la siguiente distancia mínima de seguridad a ambos lados:

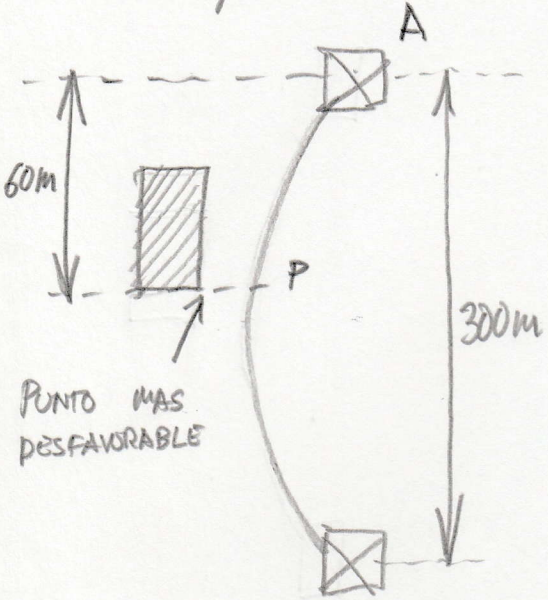
$$D_{add} + D_{el} = 3'3 + D_{el}\ (m)$$ con un mínimo de 5m

Para una línea de 220kV, tensión más elevada 245kV según tabla 1 del

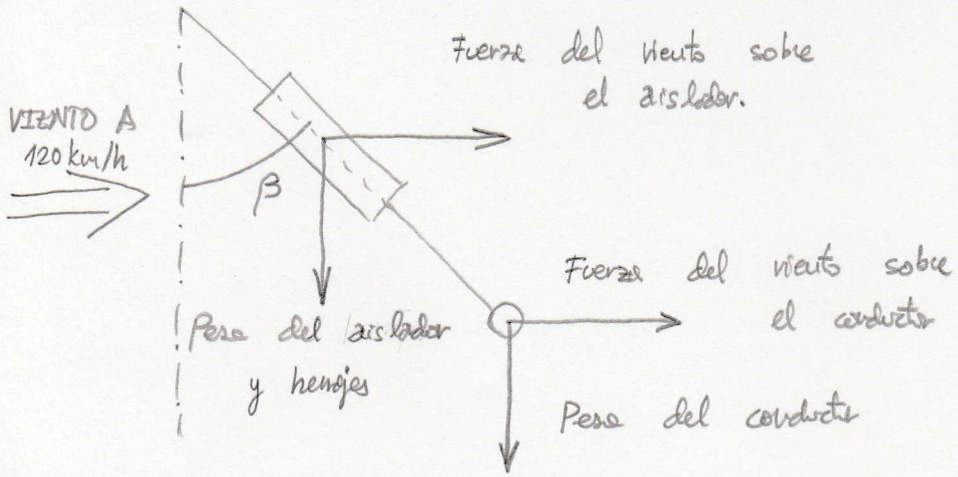
apartado 1.2 de la ITC-LAT-07 $U_N = 220\,kV \rightarrow U_s = 245\,kV$, y por tanto según la tabla 15 del RLAT, Del tiene un valor para $U_s = 245\,kV$ de $Del = 1'7\,m$, por tanto:

$$Dadd + Del = 3'3 + 1'7 = 5\,m \quad \left(\begin{array}{l}\text{con un mínimo}\\ \text{de } 5\,m\end{array}\right)$$

De donde, desde cualquier posición del conductor hasta el edificio debe existir una distancia de 5m, evidentemente la situación más desfavorable se produce a 15°C más sobrecarga de viento, el punto más próximo de la línea evidentemente en el punto P a la esquina de la edificación.



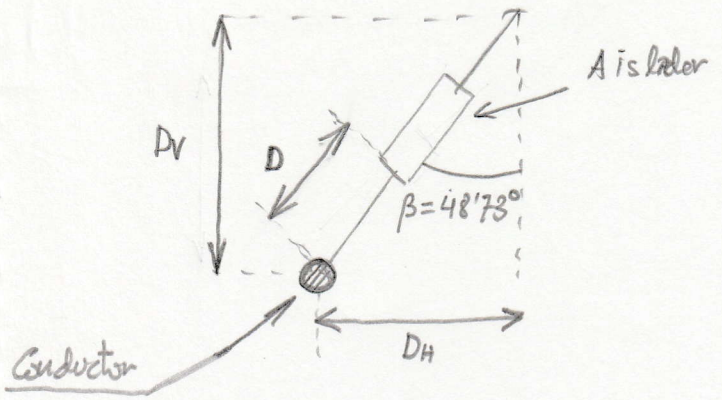
En primer lugar hay que calcular la altura a 40m del apoyo A, y derivada la cadena de aisladores y el conductor por la acción del viento. Para determinar el ángulo de desvío del conjunto aislador de suspensión y conductor, se debe tener en cuenta el siguiente diagrama de esfuerzos, considerando que el viento empuja al sistema con una velocidad del viento de 120 km/h



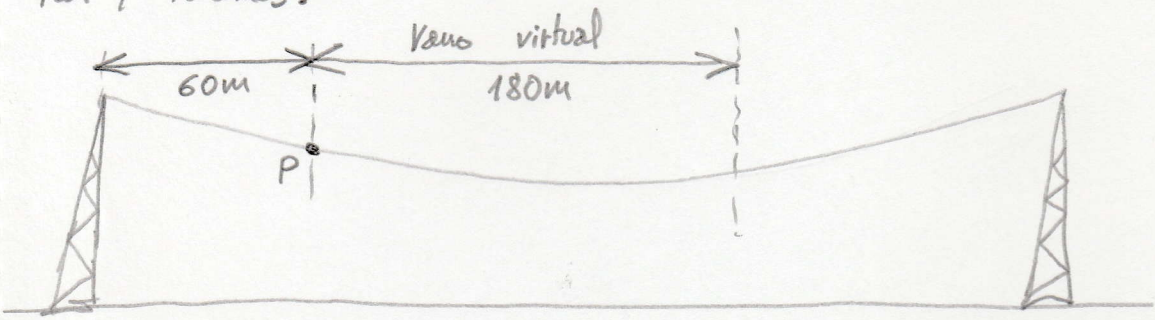
El ángulo de desvío del conjunto aislador y conductor vale evidentemente

$$tg\,\beta = \frac{q \cdot d \cdot av + \frac{\phi_{VIENTO\ AISLADOR}}{2}}{\rho \cdot av + \frac{\phi_{AISLADOR}}{2}} = \frac{50 \cdot 0'0218 \cdot 300 + \frac{35}{2}}{8'95765 \cdot 300 + \frac{30}{2}} = 1'1396 \rightarrow \beta = 48'73°$$

Resultado la siguiente configuración



Primeramente hay que calcular la distancia entre el punto P más desfavorable y la recta que une los puntos de engrape de los conductores en ambos apoyos, para ello definimos un vano virtual sobre el vano real, tenemos:



Se desde la flecha para el vano virtual que define el punto P, vano de 180m a 15°C más viento será de:

$$\frac{f_{VANO\ REAL}}{f_{VANO\ VIRTUAL}} = \left(\frac{a_{REAL}}{a_{VIRTUAL}}\right)^2 \rightarrow f_{VANO\ VIRTUAL} = 7'912 \cdot \left(\frac{180}{300}\right)^2 = 2'848\ m$$

Por lo que se deduce que la distancia D para el punto P del conductor en la figura anterior es de:

$$D = f_{15+V} - f_{VANO\ VIRTUAL}$$

$$D = 7'912 - 2'848 = 5'064\ m\ //.$$

Teniendo en cuenta la longitud de la cadena de aisladores de 2'5m las distancias vertical D_V y horizontal D_H son:

$$D_H = (\text{Longitud cadena aisladores} + D)\ \text{sen}\ \beta \Rightarrow D_H = (2'5 + 5'064) \cdot \text{sen}\ 48'73° = 5'685\ m$$

$Dv = (\text{Longitud cadena de aisladores} + D) \cdot \cos\beta \Rightarrow Dv = (2'5 + 5'064) \cdot \cos 48'73° = 4'989\,m$

Por lo que el punto del conductor mas próximo al edificio (punto P) tiene una altura de:

Altura punto P = Altura cruceta − Dv ⇒ Altura punto P = 16'5 − 4'989 = 11'511 m

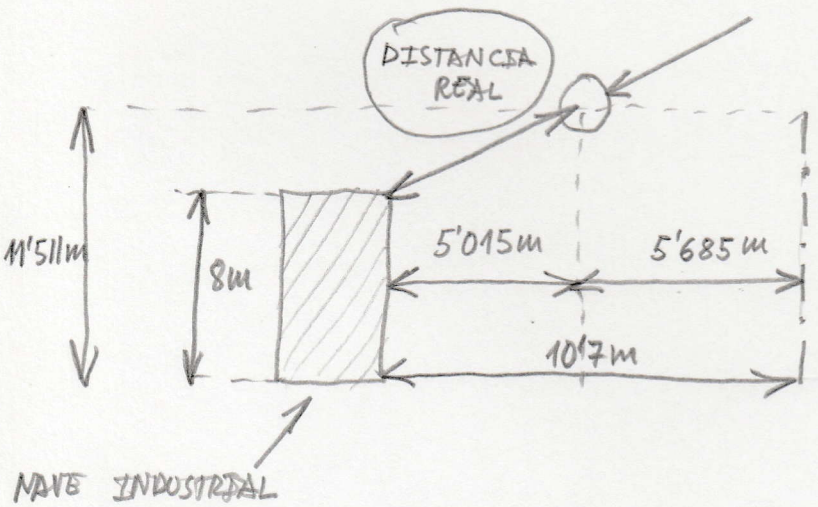
Distancia eje de la linea = D_A = 5'685 m

Finalmente la disposición con el conductor desviado bajo la acción del viento a 15°C mas viento, a tener en cuenta que se ha dejado una distancia de 14 m al eje del apoyo, pero como la cruceta presenta una distancia de 3'3 m la distancia horizontal hasta el extremo de cruceta es de:

Dh_c = Distancia entre industria y apoyo − Sobresaliente de cruceta

$Dh_c = 14 - 3'3 = 10'7\,m$

Plano vertical que contiene el extremo de cruceta y punto de engrape del conductor en su posición sin desplazamiento lateral.



La distancia real entre el punto mas desfavorable de la nave y el conductor mas próximo es de

$$\text{DISTANCIA REAL} = \sqrt{(11'511 - 8)^2 + (5'015^2)} = 6'121\,m > 5\,m \quad \text{IDÓNEO}$$

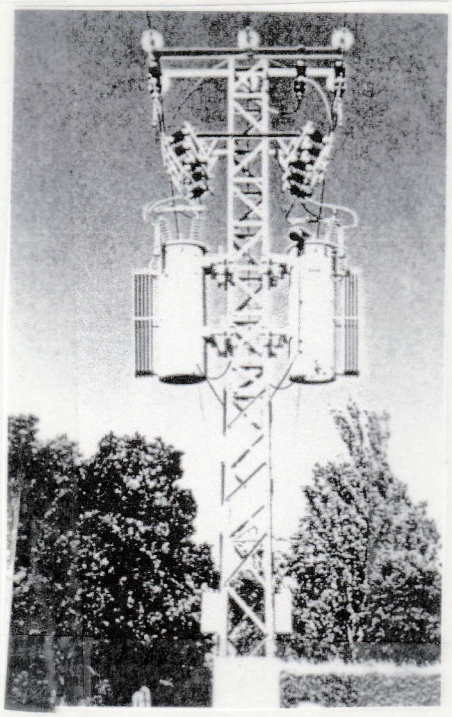
Por último como indica el RLAT ITC LAT 07 apartado 5.10.2 en su parrafo final, que reproducimos. "Se procurará a si mismo en las condiciones mas desfavorables, el mantener las anteriores distancias, en proyección horizontal, entre los conductores de la linea y los edificios y

construcciones inmediatos". En nuestro caso la distancia horizontal es de 5'015 m, por tanto supera los 5m exigidos, por lo tanto cumple la distancia mínima de seguridad, aunque el RLAT: "No exige", indica: "se procurará" por tanto es una recomendación, y no una exigencia reglamentaria, pero en nuestro caso cumple esta recomendación, en definitiva se cumple el RLAT en cuanto a exigencias de distancias a edificaciones.

P 7.62) En zona B existe un apoyo de amarre del modelo C7000 con una altura libre de 11'4 m en el que se ha dispuesto una cruceta modelo RC1-10-S (brazo de cruceta de 1 m) con un peso de 31'6 daN y el viento ejerce sobre la misma una fuerza de 8'5 daN, por otro lado, los aisladores son sintéticos con un peso de 5 daN y el viento ejerce sobre estos una fuerza de 2'1 daN, siendo los vanos adyacentes de este apoyo de 60 m y 70 m estando situados todos los apoyos sensiblemente al mismo nivel.

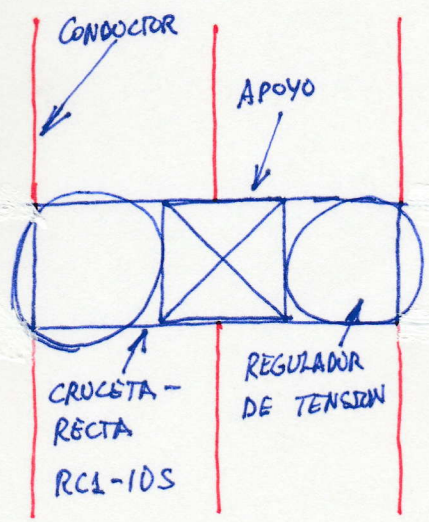
El conductor empleado en esta línea es del tipo 94-AL1/22 ST1-A (antiguo LA-110) y para ambos vanos reguladores adyacentes se ha empleado una tabla ~~una~~ de tendido que depine unas fuerzas: $F_{15+H} = 1268$ daN $F_{-10+V} = 1153$ daN.

En este apoyo se desean instalar los reguladores de tensión para mantener estable la tensión de la línea según la fotografía adjunta:



Consultando el fabricante de los reguladores de tensión, se conoce que el diámetro del regulador de tensión es de 0'74 m con una altura de 2'2 m y peso de 1465 daN, estando el centro del regulador a 7 m del suelo. Determinar los esfuerzos según las distintas hipótesis reglamentarias, justificando la validez del apoyo:

ESQUEMA DE LA DISPOSICION EN PLANTA:



transpondes de triangulo abierto

1) Hipótesis de viento:
2) Hipotesis de Hielo:
3) Hipotesis Desequilibrio de Tracciones:
4) Hipotesis Rotura de conductores:

Resolución: Se pretende comprobar la validez de un apoyo existente, al disponer sobre el mismo dos reguladores de tensión para mantener estable la tensión de la red independientemente de la carga, o en su caso la necesidad de cambiarlo:

Por lo que se le aplicaran las distintas hipótesis de cálculo en apoyos que establece en la tabla 8 de la ITC-LAT 07.

1) Hipotesis de viento:

1.1 CARGAS PERMANENTES VERTICALES (V):

A) Peso de conductores: $P_c = n \cdot p \left[\frac{a_1+a_2}{2} + \frac{F-\theta+V}{P_V'} \left(\frac{h_o-h_1}{a_1} + \frac{h_o-h_2}{a_2} \right) \right]$

$P_V' = \sqrt{p^2 + pv^2} = P_V' = \sqrt{p^2 + (q \cdot d)^2}$ siendo q_{60} al ser el diametro menor que 16mm $P_V = \sqrt{0'42428^2 + (60(14 \cdot 10^{-3}))^2} = 0'94107$ daN/m

$P_c = 3 \cdot 0'42428 \cdot \left[\frac{60+70}{2} + \frac{1153}{0'94107} \left(\frac{0}{60} + \frac{0}{70} \right) \right] = 82'73$ daN

B) Peso de aislador: $P_{ais} = 6 \cdot 5 = 30$ daN

Se conoce que el peso de los aisladores es de 5 daN por unidad y por ser un apoyo de anclaje se deben disponer cuando menos 6 aisladores.

C) Peso de cruceta: 31'6 daN

Se sabe que el peso de la cruceta RC1-10-S es de 31'6 daN

D) Peso de los reguladores: $P_{reg} = n \cdot P_{REGULADOR} = 2 \cdot 1465 = 2930$ daN

TOTAL 1.1 CARGAS PERMANENTES VERTICALES (V) = 3074'33 daN.

1.2 ESFUERZO DEL VIENTO NORMAL A LA LINEA (T):

A) Viento sobre los conductores: Los esfuerzos del viento sobre conductores por fase tienen por valor:

$$F_{CV} = \frac{a_1+a_2}{2} \cdot d \cdot q = \frac{60+70}{2} \cdot 0'014 \cdot 60 = 54'6 \text{ daN}$$

No es necesario aplicar el factor de orondo sobre cada uno de los conductores puesto que es la unidad 1. De donde resulta.

$$F_C = n \cdot F_{CV} = 3 \cdot 54'6 \text{ daN}$$

B) Viento sobre aisladores: $F_{VA} = n \cdot F_{VA_1} = 3 \cdot 2'1 \text{ daN} = 12'6 \text{ daN}$

Se conoce que el viento ejerce una fuerza de 2'1 daN sobre cada aislador y el factor de orondo es la unidad 1.

C) Sobre cruceta: se supone que el viento origina una fuerza de 8'5 daN sobre la cruceta, con factor de orondo unidad.

D) Sobre el regulador de tensión. El regulador de tensión tiene en principio una forma cilíndrica por tanto según el apartado 3.1.2.5 de la ITC-LAT 07 el viento ejerce una fuerza de 70 daN/m² (para una velocidad del viento de 120 km/h). De donde:

Superficie regulador = $2'2 \cdot 0'74 = 1'628 \text{ m}^2$

Fuerza del regulador = $S \cdot F = 1'628 \text{ m}^2 \cdot 70 \text{ daN/m}^2 = 113'96 \text{ daN}$

Al igual que en el caso de conductores multiples o en haz (apartado 3.1.2.1 de la ITC-LAT 07) que no se consideran posibles efectos pantalla entre conductores y también para los aisladores dispuestos en un apoyo, como mas desfavorable aquí tampoco consideraremos este efecto y la acción del viento se considera sobre los dos reguladores de tensión, dando en el caso de un cambio en la disposición de los dos reguladores dispuestos en la dirección del otro eje del apoyo ambos

reguladores se verán afectados por el viento, por tanto:

$F_{TOTAL\ VIENTO\ REGULADORES} = 2 \cdot 113'96 = 227'92$ daN

Pero evidentemente el punto de aplicación de la fuerza ejercida por el viento sobre el regulador, no coincide con la cogolla de la cabeza del apoyo, por tanto hay que aplicar el factor de amando, para referir este esfuerzo a dicho punto.

$$F_{TOTAL\ VIENTO\ REGULADOR\ COGOLLA} = 227'92 \cdot \frac{7}{11'4} = 139'95 \text{ daN}$$

Siendo 7, la altura del centro del regulador respecto del suelo y 11'4 m la altura del apoyo.

(H)

TOTAL 1.2 ESFUERZOS PRODUCIDOS POR EL VIENTO (T) = 324'85 daN

Por tanto tenemos unos esfuerzos V = 3074'33 daN H = 324'85 daN, aplicando la ecuación resistente para el apoyo de celosía donde en la UNE 207017:2010 Tabla 2 $T \equiv V + K \cdot H$, para un apoyo C-7000 $H = 7000 \rightarrow$ Tenemos para un apoyo C-7000:

$T = 1200 + 5 \cdot 7000 = 36200$

Además sabemos que las cargas verticales se pueden aumentar hasta 3 veces la nominal ($3 \times 1200 = 3600$ daN) con tal que las horizontales se disminuyan cumpliendo la ecuación anterior, de donde:

$T = 3074'33 + 5 \cdot 324'85 = 4698'58 < 36200$ APOYO VALIDO C-7000

2) Hipótesis de Hielo: ZONA B

2.1 CARGAS PERMANENTES VERTICALES:

A) Peso de conductores: $P_c = n \cdot \left[P'_H \cdot \frac{a_1 + a_2}{2} + F_H \cdot \left(\frac{h_0 - h_1}{a_1} + \frac{h_0 - h_2}{a_2} \right) \right]$

$P'_H = p + p_h \rightarrow p + 0'18\sqrt{d} \Rightarrow P'_H = 0'42428 + 0'18\sqrt{14} = 1'097778$

$$P_c = 3\left[1'097778 \cdot \frac{60+70}{2} + 1268\left(\frac{0}{60} + \frac{0}{70}\right)\right] = 214'06 \text{ daN}$$

B) Peso de aisladores : $P_{ais} = n \cdot P_{ais} \rightarrow P_{ais} = 6 \cdot 5 = 30$ daN

Se conoce que el peso de los aisladores es de 5 daN por unidad y por ser un apoyo de anclaje se deben disponer cuando menos 6 aisladores.

c) Peso de cruceta : 31'6 daN

Se sabe que el peso de la cruceta RC1-10-S es de 31'6 daN

D) Peso de los reguladores : $n \cdot P_{REGULADOR} = 2 \cdot 1465 = 2930$ daN

TOTAL 2.1 CARGAS PERMANENTES VERTICALES (V) = 3205'66 daN

Por las mismas consideraciones anteriores al ser las cargas horizontales nulas, las cargas verticales pueden ser hasta 3 veces las nominales, es decir como máximo 3600 daN, en nuestro caso son de 3205'66 daN inferior a este valor, por lo que el apoyo es VALIDO. $V = 1200 \cdot 3 = 3600$ daN

$3205'66 < 3600$ ✓

3) Hipotesis de desequilibrio de torsiones (T)

A la hora de estudiar los esfuerzos por desequilibrio de torsiones según el apartado 3.1.4 de la ITC-LAT 07 este apoyo se debe conceptuar como apoyo ESPECIAL y según el apartado 3.1.4.6 el proyectista deberá valorar el desequilibrio mas desfavorable que pueden ejercer los conductores y cable de tierra sobre el apoyo.

En nuestro caso caben dos posibilidades :

3.1). Baja la acción del viento actuando también sobre el regulador de tensión, considerando un 50% de desequilibrio en la fuerza de los conductores bajo la acción del viento.

3.2). Considerando el apoyo sometido a la acción del hielo y considerando también un 50% de desequilibrio en la fuerza de los conductores con sobrecarga de hielo.

CUAL DE LAS DOS ES MAS DESFAVORABLE

Así resulta:

3.1) Desequilibrio con Viento

3.1.1 CARGAS PERMANENTES VERTICALES (V):

Han sido previamente calculadas y su valor es de TOTAL = 3074'33 daN//

3.1.2 DESEQUILIBRIO DE TRACCIONES (T):

Hay que considerar la acción del viento sobre: conductores, cruceta, aisladores y reguladores de tensión, mas el 50% del desequilibrio en los conductores considerando la fuerza a -10°C con viento, estos esfuerzos son perpendiculares entre sí.

La fuerza que ejerce sobre el sistema también ha sido previamente calculada y su valor es de: TOTAL 3.1.2 Esfuerzos producidos por el viento 324'85 daN//

Ahora consideramos el desequilibrio en la fuerza de los conductores, siendo su valor:

$$F_T = 3 \cdot \frac{50\%}{100} \cdot F_{-10+V} = 3 \cdot \frac{50}{100} \cdot 1153 = 1729'5 \text{ daN//}$$

Tenemos la siguiente configuración de fuerzas:

P 7.63) Una línea de 132 kV está conceptuada por la empresa como línea de "línea de categoría especial" estando realizada con el conductor 337-AL1/44-ST1A (antiguo LA-380) y discurre por zona B. El tendido para un cantón con un vano regulador de 200m se ha realizado con un coeficiente de seguridad de 4.

Determinar:

1) Las flechas máximas verticales

2) En dicho cantón existe un vano desnivelado, siendo el vano de 210m y el desnivel de 60m, determinar la altura mínima necesaria del punto de sujeción de la cadena de aisladores de posición inferior sabiendo que la cadena de aisladores mide 1'5m.

1) En principio las líneas de categoría especial son las líneas de 220kV y 400kV, pero según el apartado 3.2.1 de la ITC-LAT 07 las empresas eléctricas o el ingeniero proyectista pueden considerar línea de menor tensión como categoría especial, este es nuestro caso.

Esto afecta a las hipótesis de cálculo iniciales, puesto que se admiten las sobrecargas simultáneas de viento mas hielo en zonas B y C.

Por otro lado las hipótesis de flechas máximas verticales están indicadas en el apartado 3.2.3 de la ITC-LAT 07, que nos indica tres posibles hipótesis de viento (esta flecha es inclinada y no la consideramos) puesto que nos piden flechas máximas verticales, temperatura y en este caso con una temperatura mínima de 85°C y hielo (si ha lugar) y como estamos en zona B, esta hipótesis se ha de considerar, con una sobrecarga de hielo según el apartado 3.1.3 de la mencionada ITC-LAT-07.

- Flecha máxima vertical para la hipótesis de temperatura de 85°C

Para determinar la flecha máxima del vano regulador a 85°C aplicamos la ECC.

$$T_1 = T_{-15+H+V} = \frac{CR}{Cs \cdot S} = \frac{10718}{4.381} = 7'033 \text{ daN/mm}^2$$

$$W = \frac{P}{S} = \frac{1'250382}{381} = 3'2818 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m.mm}^2$$

Al estar situada la línea en zona B la sobrecarga de hielo tienen un valor de:

$$ph = 0'18\sqrt{d(mm)} \rightarrow ph = 0'18\sqrt{25'4} = 0'907 \text{ daN/m}$$

por lo que el coeficiente de sobrecarga bajo la hipótesis inicial: -15°C mas sobrecarga de hielo y viento será de:

$$m_1 = \frac{\sqrt{(p+ph)^2 + (q_{60} \cdot d^*)^2}}{p}$$

es necesario determinar el diámetro del conductor del manguito de hielo (d^*) para poder definir la sobrecarga que ejerce el viento, a tal fin en el apartado 3.1.2.1 de la ITC - LAT 07 del RLAT se aconseja considerar un peso volumétrico específico del hielo, pero yo soy mas cabezón y digo

$$d^* = d_{CONDUC} + 2 \cdot e_H \rightarrow e_H = -r + \sqrt{r^2 + \frac{240 \cdot \sqrt{2r}}{\pi}}$$

$$e_H = -\frac{25'4}{2} + \sqrt{\left(\frac{25'4}{2}\right)^2 + \frac{240\sqrt{25'4}}{\pi}} \rightarrow e_H = 10'673179 \text{ mm}$$

$$d^* = 25'4 + 2 \cdot 10'673179 = 46'746358 \text{ mm},$$

La fuerza que ejerce el viento considerando una velocidad del viento de 60 km/h según establece el RLAT y para un conductor con diámetro mayor de 16 mm

$$q_{60} = 50 \cdot \left(\frac{V_r}{120}\right)^2 \rightarrow q_{60} = 50 \cdot \left(\frac{60}{120}\right)^2 = 12'5 \text{ daN/m}^2 \quad \text{de donde}$$

$$m_1 = \frac{\sqrt{(1'25038 + 0'907)^2 + (12'5 \cdot 0'0467463)^2}}{1'25038} = 1'787$$

Conocemos los valores para poder aplicar ECC:

$$A = -T_1 + E \cdot \alpha (\theta_2 - \theta_1) + \frac{E \cdot a_R^2}{24} \cdot \frac{m_1^2 \cdot W^2}{T_1^2} \quad / \quad B = \frac{E \cdot a_R^2}{24} \cdot m_2^2 \cdot W^2$$

$$A = -7'033 + 6900 \cdot 19'3 \cdot 10^{-6}\left(85-(-15)\right) + \frac{6900 \cdot 200^2}{24} \cdot \frac{1'787^2 \cdot (3'2818 \cdot 10^{-3})^2}{7'033^2} = 14'28$$

El término B de la ECC $B = \frac{E \cdot a_R^2}{24} \cdot m_2^2 \cdot w^2 \rightarrow$

$B = \frac{6900 \cdot 200^2}{24} \cdot 1^2 \cdot (3'28184 \cdot 10^{-3})^2 = 123'86$ de donde la ecuación de cambio de condiciones es de la forma $T_{85}^2 [T_{85} + 14'28] = 123'89$

Por lo que la tensión a 85°C es de: $T_{85}^3 + 14'28 T_{85}^2 - 123'89 = 0$

$T_{85} = 2'70$ daN/mm² $\rightarrow F_{85} = T_{85} \cdot S \rightarrow F_{85} = 2'70 \cdot 381 = 1028'7$ daN

y la flecha en estas condiciones es de:

$$f_{85} = \frac{1}{8} \cdot \frac{a^2 \cdot w \cdot m_2}{T_{15+V}} \rightarrow f_{85} = \frac{1}{8} \cdot \frac{200^2 \cdot (3'28184 \cdot 10^{-3}) \cdot 1}{2'7} = 6'077 \text{ m}$$

- Flecha máxima vertical para la hipótesis de hielo:

Calculemos la flecha para la temperatura de 0°C con sobrecarga de hielo en zona B. En este caso la constante A tiene por valor:

$$A = -7'033 + 6900 \cdot 19'3 \cdot 10^{-6}(0-(-15)) + \frac{6900 \cdot 200^2}{24} \cdot \frac{1'787^2 (3'28184 \cdot 10^{-3})^2}{7'033^2} = 2'961$$

$$B = \frac{E \cdot a_R^2}{24} \cdot m_2^2 \cdot w^2 \rightarrow B = \frac{6900 \cdot 200^2}{24} \cdot 1'725^2 (3'28184 \cdot 10^{-3})^2 = 368'56$$

$$m_2 = \frac{1'25038 + 0'18\sqrt{25'4}}{1'25038} = 1'725 \qquad T_{0+H}^2 [T_{0+H} + 2'961] = 368'56$$

$T_{0+H}^3 + 2'961 T_{0+H}^2 - 368'56 = 0$ Por lo que finalmente la tensión y fuerza a 0°C con sobrecarga de hielo es de:

$T_{0+H} = 6'306$ daN/mm²

$F_{0+H} = T_{0+H} \cdot S \rightarrow F_{0+H} = 6'306 \cdot 381 = 2402'58$ daN

Y la flecha en estas condiciones resulta ser:

$$f_{0+H} = \frac{1}{8} \cdot \frac{a^2 \cdot W \cdot m_2}{T_{85}} \rightarrow f_{0+H} = \frac{1}{8} \cdot \frac{200^2 \cdot 3'28184 \cdot 10^{-3} \cdot 1'725}{6'306} = 4'488\ m$$

2) Pretendemos calcular la altura mínima necesaria del punto de sujeción de la cadena de aisladores del conductor de posición inferior, en el fondo para determinar la altura del apoyo y que este cumpla la distancia al terreno según ITC-LAT 07 apartado 5.5 que exige que la distancia mínima sea de:

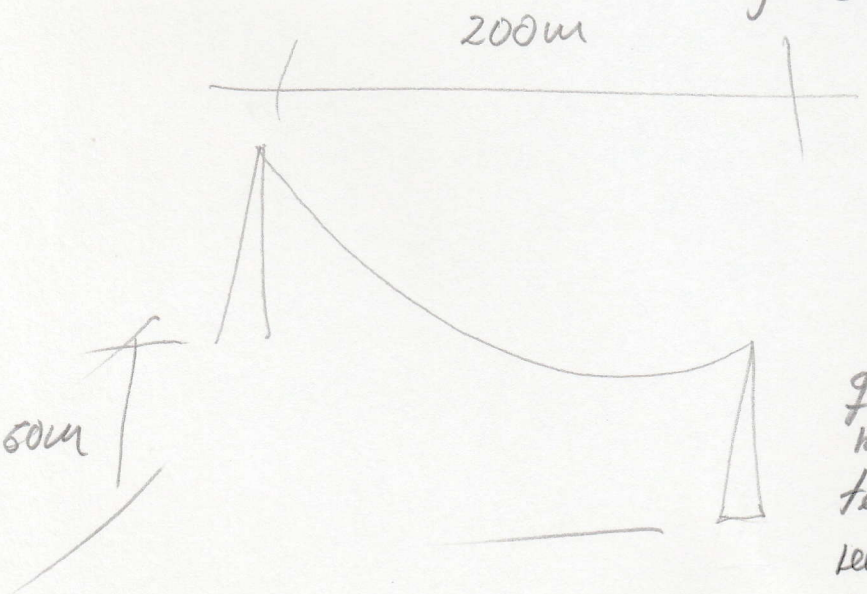
$$D_{add} + D_{el} = 5'3 + D_{el} \quad \text{(con un mínimo de 6 metros.)}$$

En nuestro caso el valor de D_{el} para una línea de 132 kV, cuya tensión más elevada es de 145 kV, es de 1'2 m según la tabla 15 de la ITC-LAT 07 de donde la distancia mínima será de:

$$D_{add} + D_{el} = 5'3 + D_{el} = 5'3 + 1'2 = 6'5 m$$

A esta distancia habrá que sumarle la flecha máxima en el vano en estudio, más la longitud de la cadena de aisladores, como el vano en estudio dentro del conjunto es un vano desnivelado con un vano de 210 m y un desnivel de 60 m, para vanos desnivelados la expresión de la flecha en primera aproximación es:

$$f = \frac{1}{8} \cdot \frac{a \cdot b \cdot W \cdot m_2}{T}$$



Siendo "b" la distancia inclinada que une los puntos de engrape de los conductores, hemos comprobado anteriormente que la hipótesis más desfavorable, es la hipótesis de temperatura, por lo que emplearemos en la expresión anterior la sobrecarga y tensión correspondiente a esta temperatura.

$$b = \sqrt{a^2 + d^2} \Rightarrow b = \sqrt{210^2 + 60^2} = 218'4\,m$$

$$f = \frac{1}{8} \cdot \frac{210 \cdot 218'4 \cdot (3'28184 \cdot 10^{-3}) \cdot 1}{2'7} = 6'968\ m$$

A tener en cuenta que esta flecha se produce aproximadamente en el punto medio del vano desnivelado, por tanto la altura mínima del punto de engrape del conductor de posición inferior es de

$$\text{Altura mínima} = 6'5 + 6'968 + 1'5 = 14'968\,m$$

Por lo que en el catálogo del fabricante será necesario buscar el apoyo con dimensiones idóneas para que se respete esta distancia desde la cruceta de posición inferior al nivel del suelo.

P 7.64) Una línea de 66kV simple circuito está situada en zona C el conductor activo empleado es el denominado 242-AL 1/39-ST1A (antiguo LA-280) mientras que el conductor de tierra es el 50-ST1A (AC-50) cuyas características son: sección 49'48 mm²; diámetro 9mm; peso propio 0'391 daN/m. En dicha línea se ha dispuesto un apoyo de anclaje-ángulo en el que la traza de la línea sufre un desvío de 45°, siendo los vanos adyacentes de 240 m y de 220 m, por otro lado el apoyo de anclaje-ángulo está situado 20m y 5m por encima de los apoyos adyacente. siendo los vanos reguladores de los vanos adyacentes de 240 m y 220 m.

Se conoce que se ha empleado una tabla de tendido que define las siguientes fuerzas:

- Para conductor activo:

  - Contiene un vano regulador de 240 m: $F_{-20+H} = 2250$ daN; $F_{-15+V} = 1309$ daN
  - Contiene un vano regulador de 220 m; $F_{-20+H} = 2250$ daN; $F_{-15+V} = 1322$ daN

- Para conductor de tierra:

  - Contiene un vano regulador de 240m; $F_{-20+H} = 1495$ daN; $F_{-15+V} = 813$ daN
  - Contiene un vano regulador de 220m; $F_{-20+H} = 1493$ daN; $F_{-15+V} = 838$ daN

Por otro lado las cadenas de aisladores de anclaje empleadas tienen un peso de 26'5 daN y la superficie ofrecida al viento es de 0'2 m².

Determinar los esfuerzos resultante para los conductores activos y el hilo de tierra en las distintas hipótesis:

1) Hipótesis con viento:
2) Hipótesis con hielo:
3) Hipótesis desequilibrio de tracciones:
4) Hipótesis de rotura de conductores:

Pretendemos determinar los esfuerzos que originan los conductores activos y el hilo de tierra en las hipótesis, evidentemente se considerarán los esfuerzos por fase o conductor activo, y para el hilo de tierra, para poder elegir el apoyo que es capaz de soportarlos.

1) Hipótesis con viento:

— Conductores activos:

CARGAS PERMANENTES VERTICALES (V):

A) Peso de conductores activos:

$$P_C = p\left[\frac{a_1+a_2}{2} + \frac{F_{-0+V}}{P_V'} \cdot \frac{h_0-h_1}{a_1} + \frac{F'_{-0+V}}{P_V'} \cdot \frac{h_0-h_2}{a_2}\right] =$$

$$P_V' = \sqrt{p^2+(q\cdot d)^2} \rightarrow P_V' = \sqrt{0'9576^2 (50\cdot 0'0218)^2} = 1'45 \text{ daN/m}$$

$$q_{60} = 50\cdot\left(\frac{120}{120}\right) = 50 \quad d \geq 16\text{mm} \; q = 50$$

$$P_C = 0'9576\left[\frac{240+220}{2} + \frac{1309}{1'45}\cdot\frac{20}{240} + \frac{1322}{1'45}\cdot\frac{5}{220}\right] = 312'13 \text{ daN}$$

B) Peso de aisladores $P_{ais} = P_{ais/ud} \cdot n_{ais} = 2\cdot 26'5 = 53$ daN

TOTAL 1.1 CARGAS PERMANENTES (V) = 365'13 daN

1.2 ESFUERZO DEL VIENTO NORMAL A LA LINEA O EN LA DIRECCION DE LA BISECTRIZ DEL ANGULO INTERNO DE LA LINEA (T):

A) Sobre conductores: los esfuerzos del viento sobre conductores por fase tienen por valor:

$$E_{CV} = \frac{a_1+a_2}{2}\cdot d\cdot q\cdot \cos\frac{\alpha}{2} \rightarrow E_{CV} = \frac{240+220}{2}\cdot 0'0218\cdot 50\cdot \cos\frac{45^\circ}{2} = 231'61 \text{ daN}$$

B) Sobre aisladores : $P_{ais} = q \cdot n_{aisl/cadena} = 70 \cdot 0'2 \cdot 2 = 28$ daN

$q = 70\left(\frac{V_V}{120}\right)^2 \Rightarrow q = 70.$

c) Resultante de ángulo : La resultante de ángulo por fase o conductor tiene por valor :

$R_T = (F_{\text{-}\theta+V} + F'_{\text{-}\theta+V}) \cdot \operatorname{sen}\frac{\alpha}{2} \Rightarrow F_T = (1309 + 1322) \cdot \operatorname{sen}\frac{45}{2} = 1006'84$ daN

TOTAL 1.2 ESFUERZOS PRODUCIDOS POR EL VIENTO MAS RESULTANTE DE ANGULO = 1266'45 daN //

— Conductor de tierra :

A) Peso de conductor de tierra: $P_V' = \sqrt{p^2 + (q \cdot d)}$ $q = 60$ $d \leq 16$ mm

$P_c = p\left[\frac{a_1 + a_2}{2} + \frac{F_{\text{-}\theta+V}}{P_V'} \cdot \frac{h_0 - h_1}{a_1} + \frac{F_{\text{-}\theta+V}}{P_V'} \cdot \frac{h_0 - h_2}{a_2}\right]$

$P_V' = \sqrt{0'391^2 + (60 \cdot 0'009)^2}$

$P_V' = 0'6666$ daN/m.

$P_c = 0'391\left[\frac{240+220}{2} + \frac{813}{0'666} \cdot \frac{20}{240} + \frac{838}{0'666} \cdot \frac{5}{220}\right] = 140'88$ daN

TOTAL 1.1 CARGAS PERMANENTES (V) = 140'88 daN

1.2 ESFUERZO DEL VIENTO NORMAL A LA LINEA O EN LA DIRECCION DE LA BISECTRIZ DEL ANGULO INTERNO DE LA LINEA (T):

A) Sobre conductor de tierra : Los esfuerzos del viento sobre el conductor de tierra tienen por valor:

$E_{CV} = \frac{a_1+a_2}{2} \cdot d \cdot q \cdot \cos\frac{\alpha}{2} \rightarrow E_{CV} = \frac{240+220}{2} \cdot 0'009 \cdot 60 \cdot \cos\frac{45^\circ}{2} = 114'74$ daN //

B) Resultante de angulo: la resultante de ángulo para el hilo de tierra tiene por valor:

$$R_T = (F_{-0+V} + F'_{-0+V}) \cdot \text{sen}\frac{\alpha}{2} \Rightarrow R_T = (813 + 838) \cdot \text{sen}\frac{45°}{2} = 631'81 \text{ daN}$$

TOTAL 1.2 ESFUERZOS PRODUCIDOS POR EL VIENTO MAS RESULTANTE DE ANGULO = 746'55 daN.

2) Hipotesis con hielo en zona C:

— Conductores activos:

2.1 CARGAS PERMANENTES VERTICALES + SOBRECARGAS DE HIELO (V)

A) Peso de conductores: $P_C = \left[P'_H \cdot \frac{d_1+d_2}{2} + F_H \left(\frac{h_0-h_1}{d_1} + \frac{h_0-h_2}{d_2}\right)\right]$

$P'_H = p_{cad} + p_h \rightarrow$ ZONA C $\rightarrow p_h = 0'36\sqrt{d} \rightarrow P'_H = 0'9756 + 0'36\sqrt{21'8} = 2'6564$ daN/m²

$$P_C = 2'6564 \cdot \frac{240+220}{2} + 2250 \cdot \left(\frac{20}{240} + \frac{5}{220}\right) = 845'48$$

B) Peso de aisladores: $P_{ais} = P_{ais/ud} \cdot n_{ais} = 26'5 \cdot 2 = 53$ daN

TOTAL 2.1 CARGAS PERMANENTES (V) = 898'48 daN

2.2 RESULTANTE DE ANGULO (T): La resultante de ángulo por fase o conductor tiene por valor:

$$R_T = 2 \cdot F_{-0+H} \cdot \text{sen}\frac{\alpha}{2} \rightarrow R_T = 2 \cdot 2250 \cdot \text{sen}\frac{45°}{2}$$

$R_T = 1722'07$ daN

TOTAL 2.2 RESULTANTE DE ANGULO (T) = 1722'07 daN

- Conductores de tierra:

2.1 CARGAS PERMANENTES VERTICALES + SOBRECARGA DE HIELO V

A) Peso de conductores: $P_C = P_H' \cdot \frac{a_1+a_2}{2} + F_H\left(\frac{h_0-h_1}{a_1} + \frac{h_0-h_2}{a_2}\right)$

$P_H' = p + ph \rightarrow P_H' = 0'391 + 0'36\sqrt{9} = 1'471$

$P_C = 1'471 \cdot \frac{240+220}{2} + 1495 \cdot \frac{20}{240} + 1493 \cdot \frac{5}{220} = 496'84$ daN

TOTAL 2.1 CARGAS PERMANENTES (V) = 496'84 daN //

2.2 RESULTANTE DE ANGULO (T):

La resultante de angulo para el conductor de tierra tiene por valor

$R_T = (F_{-0+H} + F'_{-0+H}) \cdot \text{sen}\frac{\alpha}{2} \rightarrow R_T = (1495+1493) \cdot \text{sen}\frac{45°}{2} = 1143'45$ daN.

TOTAL 2.2 RESULTANTE DE ANGULO 1143'45 daN //

3) Hipotesis desequilibrio de tracciones:

— Conductores activos

3.1 CARGAS PERMANENTES VERTICALES (V):

Ya han sido calculadas y su valor es de 898'48 daN

3.2 DESEQUILIBRIO DE TRACCIONES (L y T):

En sentido longitudinal (L) y por fase el desequilibrio de tracciones para un apoyo de anclaje y angulo, por ser el caso mas general tiene por valor:

$F_L = \frac{50}{100} \cdot F_H \cdot \cos\frac{\alpha}{2} = 0'5 \cdot 2250 \cdot \cos\frac{45°}{2} = 1039'36$ daN

Por otro lado al ser un apoyo de anclaje - ángulo el desequilibrio produce una fuerza transversal (T) de valor:

$$F_T = 1'5 F_M \cdot \text{sen}\frac{\alpha}{2} \rightarrow F_T = 1'5 \cdot 2250 \cdot \text{sen}\frac{45°}{2} = 1291'55 \text{ daN} //$$

- Conductor de tierra:

3.1 CARGAS PERMANENTES VERTICALES (V):

Ya han sido calculadas y su valor es de 496'84 daN.

3.2 DESEQUILIBRIO DE TRACCIONES (L y T):

La rotura longitudinal (L) y por lo que el desequilibrio de tracciones para un apoyo de anclaje y ángulo, por ser el caso mas general tiene por valor:

$$F_L = \frac{50}{100} \cdot F_M \cdot \cos\frac{\alpha}{2} = 0'5 \cdot 1495 \cdot \cos\frac{45°}{2} = 690'59 \text{ daN} //$$

Por otro lado al ser un apoyo de anclaje - angulo el desequilibrio produce una fuerza transversal (T) de valor:

$$F_T = 1'5 F_M \cdot \text{sen}\frac{\alpha}{2} \rightarrow F_T = 1'5 \cdot 1495 \cdot \text{sen}\frac{45°}{2} = 858'16 \text{ daN} //$$

4) Hipotesis rotura de conductores

- Conductores activos:

4.1 CARGAS PERMANENTES VERTICALES (V) + Sobrecargas incluidas en zona C:

El mismo valor consignado en 3.1 898'48 daN//

TOTAL 4.1 CARGAS PERMANENTES + SOBRECARGAS 898'48 daN//

4.2 ESFUERZO POR ROTURA DE CONDUCTORES (L):

En el caso de apoyos de anclaje y angulo la fuerza que provoca el momento torsor tiene por valor.

$F_L = F_M \cdot \cos\frac{\alpha}{2} \Rightarrow F_L = 2250 \cdot \cos\frac{45^\circ}{2} = 2078'72$ daN

El momento torsor será el producto de esta fuerza por el brazo de palanca que dependerá del modelo de apoyo elegido.

Pero además aparecerá un esfuerzo transversal a línea de valor:

$F_T = F_M \cdot \text{sen}\frac{\alpha}{2} \rightarrow F_T = 2250 \cdot \text{sen}\frac{45^\circ}{2} \rightarrow F_T = 861'03$ daN

- Conductor de tierra:

4.1 CARGAS PERMANENTES VERTICALES (V) sobrecargas incluidas en zona C. El mismo valor 3.1 496'84 daN//

TOTAL 4.1 CARGAS PERMANENTES + SOBRECARGA = 496'84 daN

4.2 ESFUERZO POR ROTURA DE CONDUCTORES (L):

En el caso de apoyos de anclaje y ángulo la fuerza que provoca el momento torsor tiene por valor

$F_L = F_M \cdot \cos\frac{\alpha}{2} \rightarrow F_L = 1495 \cdot \cos\frac{45^\circ}{2} \rightarrow F_L = 1381'9$ daN

El momento torsor será el producto de esta fuerza por el brazo de palanca que dependerá del modelo de apoyo elegido.

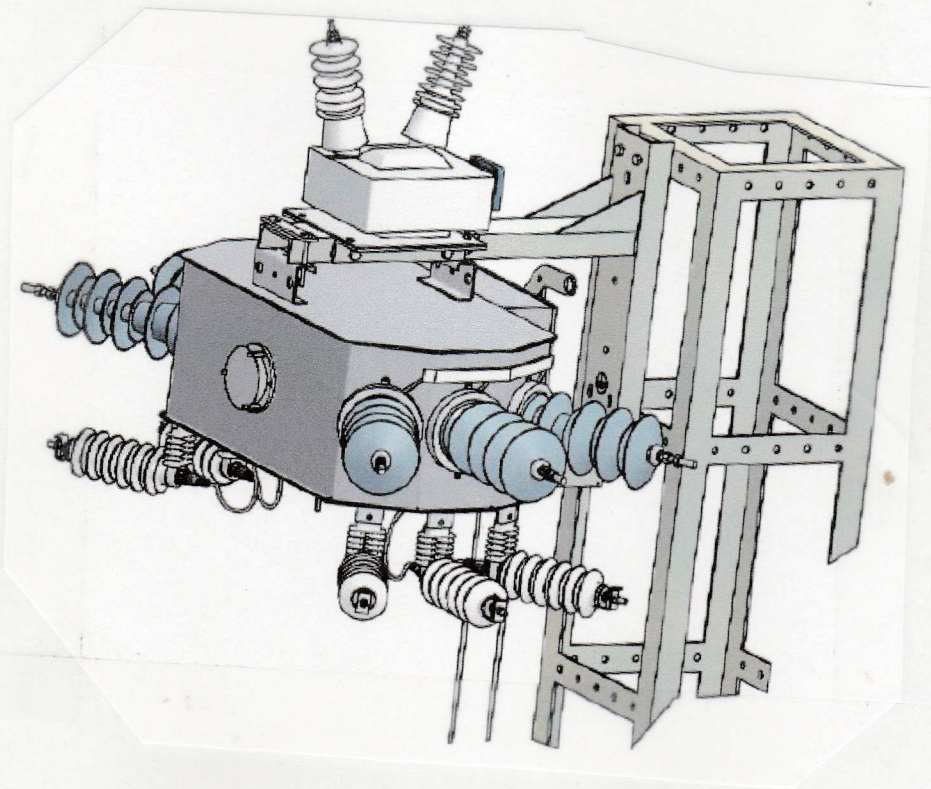
Pero además aparecerá un esfuerzo transversal a la línea de valor:

$MT = F_M \cdot \text{sen}\frac{\alpha}{2} \rightarrow MT = 1495 \cdot \text{sen}\frac{45^\circ}{2} = 572'11$ daN//

Con los valores calculados se está en disposición de comparar estos esfuerzos con los que ofrecen los catálogos de los fabricantes de apoyos

P 7.65) Existe una línea en zona B realizada con el conductor 94-AL1/22-ST1A (antiguo LA-110), en dicha línea hay un apoyo de anclaje-ángulo en el que la línea sufre un desvío de 10°, siendo este un C-3000/14 y se ha dispuesto una cruceta bóveda BC2-15.
Se conoce que los vanos regulados de los vanos adyacentes son iguales y las fuerzas en dichos vanos son $F_{-15+H} = 1268$ daN y $F_{-10+V} = 1153$ daN. Siendo la altura de los puntos de engrape en este apoyo de 7'48 m, por otro lado, los vanos adyacentes son de 105 m y 95 m, siendo las alturas respectivas de los puntos de engrape de los conductores de 7'46 m y 7'42 m.

En el citado apoyo de anclaje se desea disponer un OCRL, según el esquema:



El órgano de corte en red (OCRI) presenta una superficie aproximada ofrecida al viento de 1'4 m x 0'6 m y está dispuesto a 1'2 m del extremo superior del apoyo, su ~~peso~~ peso es de 103 daN.

Por otro lado se sabe que el peso de la cruceta BC2-15 es de 250 daN, y que la fuerza que ejerce el viento sobre ella referida a cogolla es de 43'55 daN, por otro lado los aisladores compuestos presentan un peso de 5 daN y el viento ejerce una fuerza de 2'1 daN. Por último se ha medido la distancia entre el suelo y el extremo superior de la cabeza del apoyo resultando ser de 11'52 m. R

Determinar los esfuerzos resultante según las ~~distancias~~ distintas hipotesis y la validez del apoyo C-3000/14 si se instala en el mismo el mencionado OCRL.

1) 1ª Hipotesis con viento:
2) 2ª Hipotesis con hielo:
3) 3ª Hipotesis desequilibrio de tracciones:
4) 4ª Hipotesis de rotura de conductores:

Se pretende resolver un caso real en el que dado un apoyo existente se desea en el un interruptor - seccionador, debiendo calcular los esfuerzos resultantes fruto de la instalación existente mas los esfuerzos añadidos que supone la instalación del OCRI

1) Hipotesis con viento:

1.1 CARGAS PERMANENTES VERTICALES (V):

A) Peso de conductores: $P_c = n \cdot p \left[\frac{a_1+a_2}{2} \cdot \frac{F-0+V}{P'_V} \left(\frac{h_0-h_1}{d_1} + \frac{h_0-h_2}{a_2} \right) \right]$

$P'_V = \sqrt{p^2 + (q \cdot d)^2} = \sqrt{0'42428^2 + (60 \cdot 0'014)^2} = 0'94107 \text{ daN/m}^2$

$P_c = 3 \cdot 0'42428 \left[\frac{105+95}{2} + \frac{1153}{0'94107} \left(\frac{748-746}{105} + \frac{748-742}{95} \right) \right] = 255'48 \text{ daN}$

B) Peso de aisladores: puesto que se ha empleado una cruceta bóveda, es necesario disponer 6 cadenas de aisladores, de donde:

$P_{ais} = P_{ais/cd} \cdot n_{ais} = 6 \cdot 5 = 30 \text{ daN}$

c) Peso de cruceta: Es un dato de problema y su peso es de 250 daN

TOTAL 1.1 CARGAS PERMANENTES ACTUALES = 535'48 daN

Estas son los esfuerzos sin la modificación que supone la instalación del OCRI.

Añadimos por tanto el peso del interruptor - seccionador:

D) Peso del OCRI: Según los datos del problema el peso es de 103 daN, por tanto.

TOTAL 1.1 CARGAS PERMANENTES CON OCRI 638'48 daN

1.2 ESFUERZO DEL VIENTO NORMAL A LA LINEA O EN LA DIRECCION DE LA BISECTRIZ DEL ANGULO INTERNO DE LA LINEA (T):

A) Sobre conductores: Los esfuerzos del viento sobre por fase o conductor tiene por valor.

$$E_V = \frac{a_1 + a_2}{2} \cdot d \cdot q \cdot \cos\frac{\alpha}{2} \rightarrow E_V = \frac{105+95}{2} \cdot 0'014 \cdot 60 \cdot \cos\frac{10^\circ}{2} = 83'68 \text{ daN}$$

Para referir estos esfuerzos al extremo superior de la cabeza del apoyo, es necesario calcular el factor de amarre, que para un apoyo de celosía tiene por valor:

$$K = \frac{4'6 + H_5}{4'6} \rightarrow K = \frac{4'6 + 1'5}{4'6} = 1'326$$

Por lo que el esfuerzo de los conductores referidos a cogolla del apoyo son:

$$F_c = E_{V/fase} \cdot N^{\circ}_{cond} \cdot K \rightarrow F_c = 83'68 \cdot 3 \cdot 1'326 = 332'88 \text{ daN}$$

B) Sobre Aisladores: Se conoce que el viento ejerce sobre cada cadena de aisladores una fuerza de 2'1 daN, pero teniendo en cuenta que se deben disponer 6 cadenas de aisladores y aplicando el factor de amarre con un valor de 1'326 resulta:

$$P_{ais} = P_{ais/cadena} \cdot N^{\circ}_{cadenas} \cdot K$$

$P_{ais} = 2'1 \cdot 6 \cdot 1'326 = 16'70$ daN //

c) Viento sobre cruceta: El viento ejerce un esfuerzo sobre la cruceta, pero referido este esfuerzo al extremo superior de la cabeza del apoyo es de 43'55 daN.

D) Resultante de ángulo:

La resultante de ángulo por fase o conductor tiene por valor:

$$R_T = 2 \cdot F_{-0+V} \cdot \text{sen}\frac{\alpha}{2} \rightarrow R_T = 2 \cdot 1153 \cdot \text{sen}\frac{10^\circ}{2} = 200'98 \text{ daN}$$

Aplicando el factor de armado, tenemos un esfuerzo en cogolla de apoyo de: $E_c = R_T \cdot n_{cond} \cdot K \rightarrow E_c = 200'98 \cdot 3 \cdot 1'326 = 799'49$ daN //

TOTAL 1.2 ESFUERZOS ACTUALES PRODUCIDOS POR EL VIENTO + RESULTANTE DE ANGULO = 1192'7 daN //

Ahora bien al disponer el OCRI aparece una fuerza que provoca el viento sobre este y por tanto un esfuerzo que habrá que referir a cogolla.

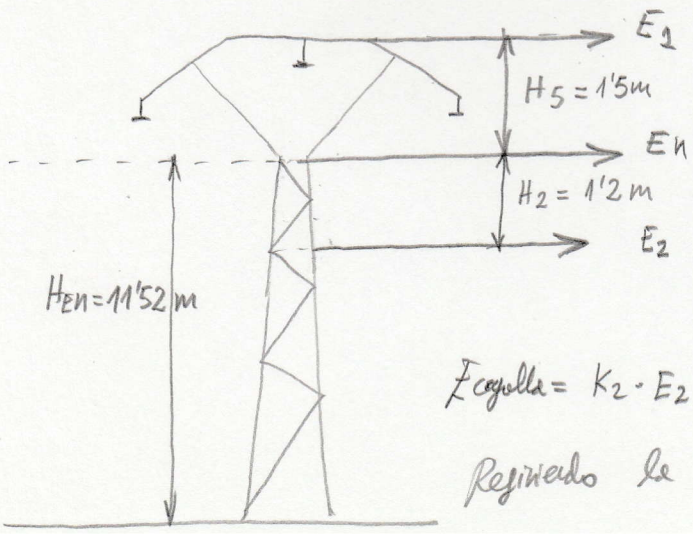
E) Viento sobre OCRI: La fuerza que ejerce el viento sobre el OCRI es función de la superficie ofrecida al viento.

Considerando un viento de 120km/h, esto supone una fuerza de 100 daN.

$$F_{VOCRI} = F_V \cdot \text{Ancho} \times \text{Largo} \Rightarrow F_{VOCRI} = 100 \cdot 1'4 \cdot 0'6 = 84 \text{ daN}$$

Pero hay que referir este esfuerzo a cogolla del apoyo, a través del factor de armado y tomando momentos respecto al suelo, puesto que se considera como sección de rotura más desfavorable la sección de apoyo en contacto con el suelo, de donde:

OCRI: está a 1'2m del extremo superior del apoyo



- Esfuerzos por debajo de cogolla

$$K_2 = \frac{H_{EN} - H_2}{H_{EN}} = \frac{11'52 - 1'2}{11'52} = 0'895$$

$$E_{cogolla} = K_2 \cdot E_2 \rightarrow E_{cogolla} = 0'895 \cdot 84 = 75'25 \text{ daN} //$$

Reflejando la fuerza del viento sobre el OCRI a cogolla del apoyo

TOTAL 1.2 ESFUERZOS CON OCRI PRODUCIDOS POR EL VIENTO + RESULTANTE DE ANGULO: 1267'95 daN

Ahora estamos en disposición de comprobar la validez de este apoyo para las nuevas cargas. Sabemos que el apoyo existente es un C-3000, que soporta unas cargas verticales de 800 daN y transversales de 3000 daN y por otro lado la carga resistente de este apoyo es:

$T = V + K \cdot H \rightarrow T = 800 + 5 \cdot 3000 \rightarrow T = 15800$ daN.

Por tanto resulta: 638'48 daN < 800 daN VALIDO
1267'95 daN < 3000 daN VALIDO

$T = V + K \cdot H \rightarrow T = 638'48 + 5 \cdot 1267'95 = 6978'23 < 15800$ VALIDO

En resumen el apoyo C-3000 sigue siendo válido

2) Hipotesis con hielo

2.1 CARGAS PERMANENTES VERTICALES (V):

A) Peso de conductores:

$$P_C = n \cdot \left[P_H' \cdot \frac{a_1 + a_2}{2} + F_{-15+H} \left(\frac{h_0 - h_1}{a_1} + \frac{h_0 - h_2}{a_2} \right) \right]$$

$P_H' = p + ph \rightarrow P_H' = p + 0'18\sqrt{d} \rightarrow P_H' = 0'42428 + 0'18\sqrt{14} = 1'09777$

$$P_C = 3 \cdot \left[1'09777 \cdot \frac{105+95}{2} + 1268 \left(\frac{748-746}{105} + \frac{748-742}{95} \right) \right] = 642'04 \text{ daN}$$

B) Peso de aisladores:

Puesto que se ha empleado una cruceta horada, es necesario disponer 6 cadenas de aisladores de donde:

$P_{ais} = n^{\circ}\text{cadenas} \cdot P_{ais/cad} = 6 \cdot 5 = 30$ daN.

c) Peso de cruceta: Es un dato de problema y su peso es de 250 daN.

TOTAL 2.1 CARGAS PERMANENTES ACTUALES 922'04 daN

Estos son los esfuerzos sin la modificación que supone la instalación del OCRI, añadimos por tanto el peso del interruptor - seccionador:

D) Peso de OCRI: Según los datos del problema el peso es de 103 daN, por tanto.

TOTAL 2.1 CARGAS PERMANENTES CON OCRI 1025'04 daN

2.2 ESFUERZO DE LA RESULTANTE DE ANGULO EN LA DIRECCIÓN DE LA BISECTRIZ DEL ANGULO INTERNO DE LA LINEA (T):

$$R_T = 2 \cdot F_{\delta+H} \cdot \operatorname{sen}\frac{\alpha}{2} \Rightarrow R_T = 2 \cdot 1268 \cdot \operatorname{sen}\frac{10^\circ}{2} \rightarrow R_T = 221'08 \text{ daN}$$

Para referirlo a cogolla se deberá multiplicar por el factor de anclado, de donde.

$$E_{cogolla} = R_T \cdot n \cdot k \Rightarrow E_{cogolla} = 221'08 \cdot 3 \cdot 1'326 = 879'24 \text{ daN}$$

TOTAL 2.2 ESFUERZO RESULTANTE DE ANGULO CON HIELO = 879'24 daN

La instalación del OCRI no modifica este esfuerzo transversal, por lo que estamos, en disposición de comparar estos valores con los esfuerzos que es capaz de soportar el apoyo, tenemos:

1025'04 daN > 800 daN NO VALIDO EN PRINCIPIO, pero cumple que 1025'04 < 3·800 = 2400 daN, ya que la carga vertical ensayada, será mayor que 3 veces la carga vertical nominal.

1025'04 daN < 3000 daN VALIDO

Deberá cumplir la ecuación resistente $T = V + K \cdot H \rightarrow T = 1025'04 + 5 \cdot 879'24$

$T = 5421'24$.

- 5421'24 < 15800 VÁLIDO

En vacíos cuentas, a pesar de que las cargas verticales superan a las verticales nominales, para no superar tres veces las cargas verticales nominales, aplicando la excisión resistente del apoyo, podemos concluir que el apoyo es VÁLIDO.

3) Hipótesis de desequilibrio:

3.1 CARGAS PERMANENTES VERTICALES (V):

Las cargas permanentes verticales ya han sido calculadas y su valor es de:

TOTAL. 3.1 CARGAS PERMANENTES CON OCRI = 1025'04 daN //

3.2 ESFUERZO DEL DESEQUILIBRIO DE TRACCIONES LA RESULTANTE DE ANGULO EN LA DIRECCION DE LA BISECTRIZ DEL ANGULO INTERNO DE LA LINEA (T):

La resultante del desequilibrio de tracciones por fase es de:

$$R_{DESEQ} = \sqrt{0'5^2 \cdot F_M^2 \cdot \cos^2\frac{\alpha}{2} + 1'5^2 \cdot F_M^2 \cdot \text{sen}^2\frac{\alpha}{2}} \rightarrow \text{Simplificando:}$$

$$R_{DESEQ} = F_M \sqrt{0'5^2 \cdot \cos^2\frac{\alpha}{2} + 1'5^2 \cdot \text{sen}^2\frac{\alpha}{2}} = 1268 \sqrt{0'5^2 \cdot \cos^2\frac{10^\circ}{2} + 1'5^2 \cdot \text{sen}^2\frac{10^\circ}{2}} = 652'97$$

Aplicando el coeficiente factor de avinado $E_{cogolla} = R_{DESEQ} \cdot n \cdot k = 652'97 \cdot 3 \cdot 1'326$

$E_{cogolla} = 2597'55$ daN //

El desequilibrio forma un ángulo respecto a la bisectriz del ángulo interno de la línea de:

$$tg\,\delta = \frac{1'5 \cdot F_M \cdot \text{sen}\frac{\alpha}{2}}{0'5 \cdot F_M \cdot \cos\frac{\alpha}{2}} = 3\,tg\frac{\alpha}{2} = 3\,tg\frac{10^\circ}{2} = 0'262$$

$\delta = 14'706^\circ$

Podemos repartir este esfuerzo a cualquiera de las direcciones de los ejes de coordenadas del apoyo, por medio de la expresión:

$$F = F_{cogolla}(\operatorname{sen}\delta + \cos\delta) = F = 2597'55 \cdot (\operatorname{sen} 14'706° + \cos 14'706°) = 3171'86 \text{ daN}$$

TOTAL 3.3 ESFUERZO POR DESEQUILIBRIO DE TRACCIONES 3171'86 daN

Realmente no habría sido necesario calcular esta hipótesis, puesto que la instalación del OCRI no modifica los esfuerzos resultante en estas condiciones, pero se ha calculado para corroborar que el apoyo C-3000 es capaz de soportar estos esfuerzos. Sabemos que el apoyo en cuestión es capaz de soportar 3000 daN con un coeficiente de seguridad de 1'5, pero como la hipótesis de desequilibrio 3° es una hipótesis anormal, para ella se debe aplicar un coeficiente de seguridad de 1'2, con lo que para este coeficiente el esfuerzo resulta ser:

$$\text{Esfuerzo anormal} = \frac{\text{CARGA NOMINAL} \cdot C_S}{1'2} = \frac{3000 \cdot 1'5}{1'2} = 3750 \text{ daN}$$

De donde $\Rightarrow$ Esfuerzos por deseq de tracciones < Esfuerzo anormal

3ª hipótesi el apoyo es: $3171'86 < 3750$ VALIDO ✓

4) Hipótesis de rotura de conductores:

4.1 CARGAS PERMANENTES VERTICALES (V):

Las cargas permanente verticales ya han sido calculadas y su valor es de:

TOTAL 4.1 CARGAS PERMANENTES CON OCRI 1025'04 daN

4.2 ESFUERZO POR ROTURA DE CONDUCTORES (L):

Este esfuerzo está aplicado en función del brazo de cureta según el tipo de cureta empleada, para el caso de apoyos de celosía, que son los más comunmente empleados para este tipo de apoyos, como el brazo de cureta bajo el cual se ensaya el apoyo es de 1'5 metros, se debe verificar que el esfuerzo torsor es inferior al que soporta el apoyo en función de la expresión:

$$F_L = \frac{F_M \cdot \cos\frac{\alpha}{2} \cdot \text{Brazo de cureta}}{1'5} \leq L_T \text{ daN}$$

$$F_L = \frac{1268 \cdot \cos\frac{10^\circ}{2} \cdot 1'5}{1'5} = 1263'17 \text{ daN} \leq 1400 \text{ daN}$$

Por lo se puede confirmar que el apoyo es también VALIDO

Lo indicado en la hipotesis de desequilibrio, en relación con la no necesidad de calcular esta hipotesis es también de aplicación aquí, pero la hemos calculado para comprobar la validez del apoyo.

1) HIPOTESIS VIENTO PAG 555

1.1 Cargas permanentes verticales

a) Peso de conductores : $P_c = n \cdot p \cdot \left[a_v + \frac{F_{-\theta+V}}{P_v'} \left(\frac{h_0 - h_1}{a_1} + \frac{h_0 - h_2}{a_2} \right) \right]$

$(F_{-\theta+V})$ según pagina 440, para calculo de apoyos en zona B $-10°C$ + Viento

$F_{-\theta+V} \approx F_{-10+V} = 983$ daN, $P_v' = \sqrt{p^2 + p_v^2} \Rightarrow P_v' = \sqrt{0'66295^2 + (50 \cdot 0'0175)^2} = 1'097783$

Siendo $p_v = \cancel{50} \left(\frac{120}{120}\right)^2 \cdot \cancel{d}\ 0'0175\,m \rightsquigarrow$, $a_v = \frac{100+110}{2} = 105\,m$, $n = 2$ circuitos,

$d > 16\,mm$ $\qquad p = 3$ conductores/circuito

$$P_c = 2 \cdot 3 \left[105 + \frac{983}{1'097783} \cdot \left(\frac{400-397}{100} + \frac{400-397}{110} \right) \right] = \underline{621'652271 \text{ daN}}$$

b) Peso de aisladores $\Rightarrow P_{ais} = n_{ais} \cdot \cancel{P_{aislador}}^{\,7\,daN} = P_{ais} = 6 \cdot 7 = \underline{42 \text{ daN}}$

c) Peso de la cruceta $= n_{cruceta} \cdot P_{cruceta}$ + Extensionamiento =

Peso de cruceta $= 3 \cdot 94'5 + 66'34 = \underline{349'84 \text{ daN}}$

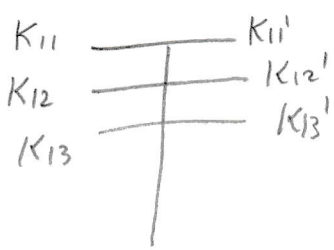
1.1 TOTAL CARGAS PERMANENTES VERTICALES = $\underline{\underline{1013'5 \text{ daN}}}$ V $1^{\circ}H$

1.2 Esfuerzo del viento normal a la línea o en la dirección de la bisectriz de la línea.

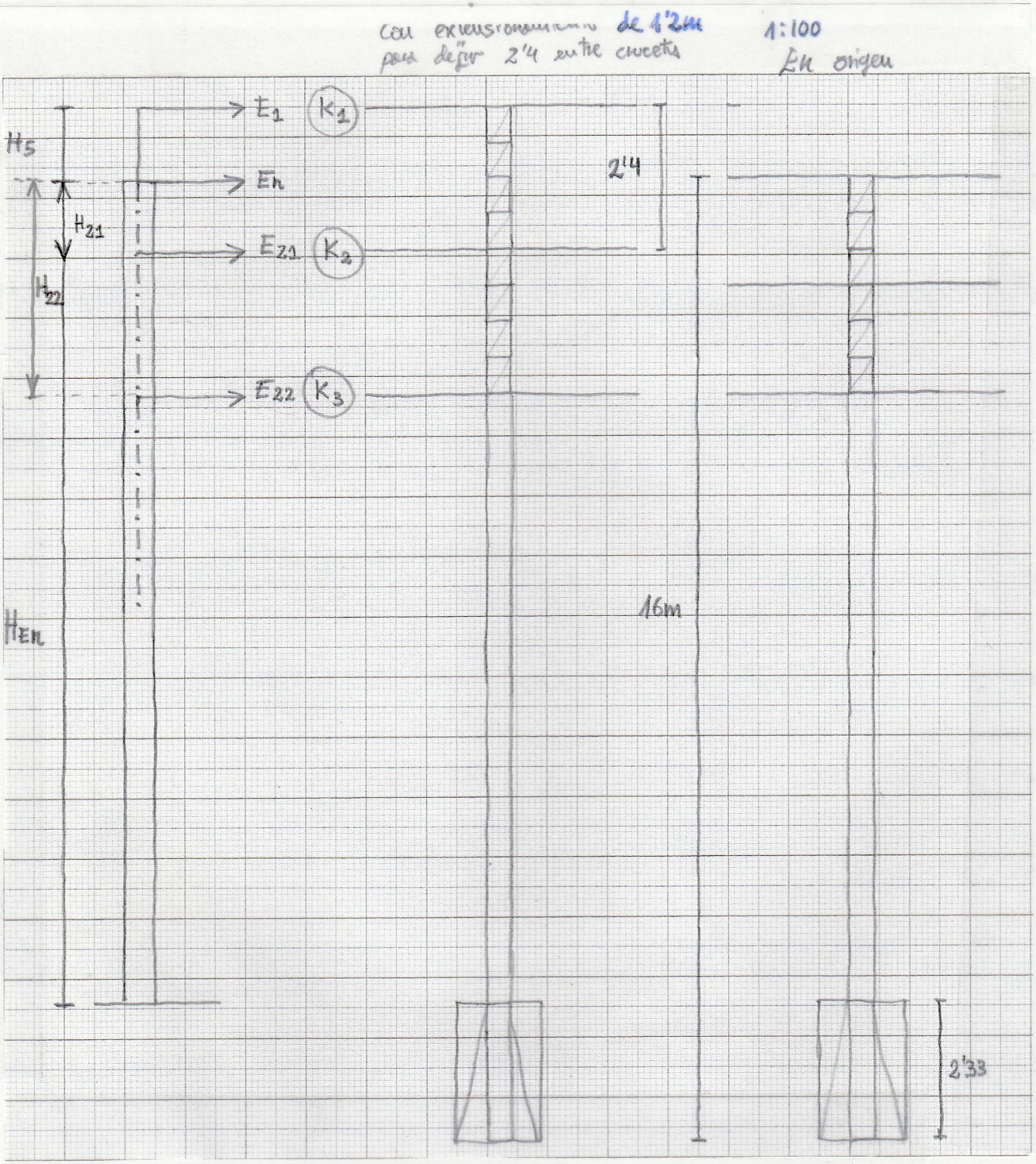
a) Sobre conductores : F_v (por fase y circuito) $= a_v \cdot p_v \cdot \cos\frac{\beta}{2}$

F_v (por fase y circuito) $= \frac{a_1 + a_2}{2} \cdot q \cdot d \cdot \cos\frac{\beta}{2} = \frac{100+110}{2} \cdot 50 \cdot 0'0175 \cdot \cos\frac{4°}{2} = 91'819$ daN

Pero estos esfuerzos hay que referirlos a los esfuerzos en los conductores, por tanto haremos uso de factores de armado, en este caso.



$E_v = F_v \cdot 2 \text{ circuitos} \cdot (K_{11} + K_{12} + K_{13})$



Para apoyos de celosía: • Esfuerzos referidos por encima de cogolla:

$$E_n \cdot 4'6 \geq E_1 (4'6 + H_4 + H_5)$$

En este caso (K_1) $\longrightarrow$ $K_1 = \dfrac{4'6 + H_5}{4'6} = \dfrac{4'6 + 1'2}{4'6} = 1'2608695$

• Esfuerzos por debajo de cogolla:

En este caso (K_2) y (K_3) $\longrightarrow$ $E_n \cdot H_{EN} \geq E_2 (H_{EN} - H_2) = E_2 \cdot H_L \rightarrow K_2 = \dfrac{H_{EN} - H_2}{H_{EN}} = \dfrac{H_L}{H_{EN}}$

$$K_2 = \frac{(16 - 2'33) + 1'2 - 2'4}{16 - 2'33} = 0'9122165$$

$$K_3 = \frac{(16 - 2'33) + 1'2 - 2 - 2'4}{16 - 2'33} = 0'73665$$

$E_v = 91'819 \cdot 2 \cdot (1'2608695 + 0'9122165 + 0'73665) = \underline{534'3381 \text{ daN}}$

b) Sobre aisladores : $E_v = q \cdot n_{aisladores/cadena} \cdot A_{islador} \, (K_{11} + K_{12} + K_{13})$

Para aisladores de composite es 2'1 daN la fuerza ofrecida al viento, por...

MT. 2.21.52, no obstante nos dice la superficie ofrecida al viento en el aislador: 0'0615 m²

$E_{vais} = (\cancel{70} \cdot 0'0615) \cdot 2 \text{ circuitos} \cdot 1 \text{ aislador} \cdot (K_{11} + K_{12} + K_{13}) = \underline{25'053 \text{ daN}}$

ITC-LAT 07 Ap 3.1.2.2 ×3 ?

c) Sobre crucetas : $E_{vcr} = F_{vc} \, (K_{11} + K_{12} + K_{13})$, segun el MT. 2.21.52,

la fuerza del viento ejercida en la cruceta es de 8'5 daN para una cruceta recta segun MT. 2.21.59., no obstante nos dicen la superficie, de la cruceta, 0'085 m².

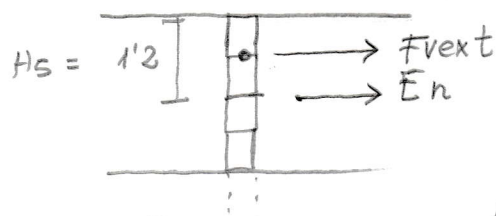
?

$E_{vcruceta} = q \cdot A_{cruceta} \cdot n^{\circ} \text{ crucetas} \, (K_{11} + K_{12} + K_{13})$

$E_{vcruceta} = 100 \cdot \underbrace{0'085}_{8'5 \text{ daN}} \cdot (1'2608695 + \underbrace{0'9122165}_{2'909736} + 0'73665) = \underline{24'732756 \text{ daN}}$

c₁) Viento sobre extensionamiento : $E_{vext} = F_{vext} \cdot \dfrac{4'6 + \frac{H_5}{2}}{4'6} \Rightarrow$

El viento ejerce una fuerza sobre el extensionamiento de 57'96, la fuerza lo ejerce en el centro del extensionamiento:



$E_{vext} = 57'96 \cdot \dfrac{4'6 + \frac{1'2}{2}}{4'6} = \underline{65'52 \text{ daN}}$

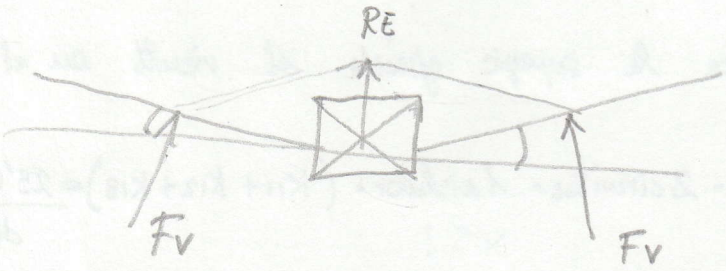
d) Resultante de ángulo: por fase y circuito $R_{fase} = 2 \cdot F_{\theta+v} \cdot \operatorname{sen} \dfrac{\beta}{2}$

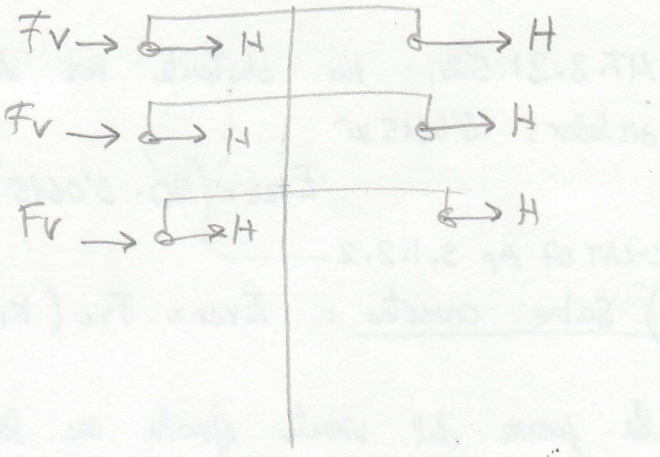
$F_{-\theta+v} = F_{-10^{\circ}C+v} = 983 \text{ daN}$, $R_{fase} = 2 \cdot 983 \cdot \operatorname{sen} \dfrac{4^{\circ}}{2} = 68'61241 \text{ daN}$

$R_E = n^{\circ} \text{ circuitos} \cdot \underbrace{R_{fase}}_{68'61241} \cdot (K_1 + K_2 + K_3) \Rightarrow 2 \cdot 68'61241 \cdot 2'909736 = \underline{399'288 \text{ daN}}$

TOTAL 1.2 Esfuerzos Horizontales por viento mas bisectriz = $\underline{\underline{1048'932 \text{ daN}}}$ (H) 1ºH

1.2 RESULTANTE DE ANGULO : FUERZA DEL VIENTO





Resumiendo, tenemos que para la 1ª Hipótesis $V = 1013'5$ daN, $H = 1048'932$ daN

La página 539 TABLA 2, Envión resistente = $V + K \cdot H = 1013'5 + 5 \cdot 1048'932$ (K = 5)

- La envión resistente = $6258'16$ daN $\leq 10600 \Rightarrow$ C2000, por tanto si la carga vertical no es mayor a 3 veces la establecida en la tabla 2 para un C-2000, valdría, en este caso lo comprobamos.

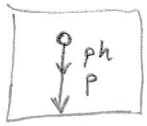
C-2000 $\Rightarrow V = 600$ daN $\cdot 3 = 1800 \geq 1013'5 \Rightarrow$ C2000 sí cumple para la 1ª Hipótesis.

2ª HIPOTESIS HIELO (ZONAS B y C)

2.1 Cargas permanente Verticales + sobrecarga de hielo:

a) Peso de conductores: $P_{CH} = n_{conduc} \cdot n^{o}_{circuitos} \left[P_H' \cdot a_V + F_H \left(\frac{h_0 - h_1}{a_1} + \frac{h_0 - h_2}{a_2} \right) \right]$

$P_{CH} = n_{conduc} \cdot n^{o}_{circuitos} \left[P_H' \cdot \frac{a_1 + a_2}{2} + F_H \left(\frac{h_0 - h_1}{a_1} + \frac{h_0 - h_2}{a_2} \right) \right]$ ($n_{conduc} = 3$, $n^{o}_{circuitos} = 2$)

$P_H' = (p + ph) \rightarrow$ 

, ph (para zona B) $\Rightarrow ph = 0'18\sqrt{d(mm)}$

$P_H' = 0'66295 + (0'18\sqrt{17'5}) = 1'415944$, F_H (para zona B) = $F_{-15°C+H} = 1200$ daN

$P_{CH} = 3 \cdot 2 \cdot \left[1'415944 \cdot \frac{100+110}{2} + 1200 \cdot \left(\frac{400-397}{100} + \frac{400-397}{110} \right) \right] = \underline{1304'4083 \text{ daN}}$

b) Peso de aisladores: $n_{aisladores} \cdot P_{aislador} = 6 \cdot 7 = \underline{42 \text{ daN}}$

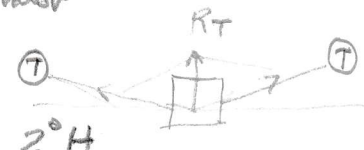
c) Peso de cruceta: $n^{o}_{crucetas} \cdot P_{crucetas} + Extensiones = 3 \cdot 94'5 + 66'34 = \underline{349'84 \text{ daN}}$

2.1 TOTAL CARGAS PERMANENTES VERTICALES 2ºHip = $\underline{1696'2483 \text{ daN}}$ (V) 2ºH

2.2 Resultante de ángulo (T) tracciones: $R_T = 2 \cdot F_H \cdot \operatorname{sen} \frac{\beta}{2} (K_1 + K_2 + K_3) \cdot 2$ ($F_H = F_{-15°+H}$)

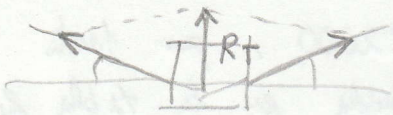
La resultante de ángulo por fase o conductor tiene por valor

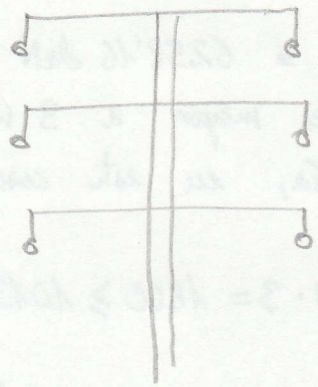
$R_T = 2 \cdot 1200 \cdot \operatorname{sen} \frac{4°}{2} \cdot 2'909736 \cdot 2 = \underline{487'432 \text{ daN}}$



2.2 RESULTANTE DE ÁNGULO 2ºHip = 487'432 daN (H) $F_{-15°C+H}$

2.2 RESULTANTE DE ANGULO: (T) TRACCIONES





conductor

Resumen de la 2ª Hipótesis: (V) 1696'2483 daN (H) = 487'432 daN = 4133'4083 (V+5H)

No supera el C-2000, tampoco $V^{2H} + 5 \cdot H^{1ºH}$, $V^{2ºH} \leq 3 \cdot V_{600}$ 1696'24 ≤ 1800

1696'2483 + 5 · 1048'932 = 6940'90 < 10000.

3º HIPOTESIS: Desequilibrio de tracciones

3.1 Cargas Permanentes Verticales (V): $3ºH$

2.1 (por ser zona B) = 1696'2483 daN (V)

3.2 Desequilibrio de Tracciones (L y T): $F_L = \frac{8}{100} \cdot F_H \cdot \cos\frac{\beta}{2}$

En sentido longitudinal y por fase el desequilibrio de tracciones para un apoyo de alineación y ángulo, por ser el caso mas general, tiene por valor: (F_L).

F_H (por ser zona B) → $F_{-15ºC+H}$ = 1200 daN.

En el caso de $F_T = 1'92 \cdot F_H \cdot \text{sen}\frac{\beta}{2}$, al ser en apoyo de alineación - ángulo el desequilibrio produce una fuerza transversal T de valor: (F_T).

Siendo la resultante de desequilibrio

$$R_{DESEQ} = \sqrt{0'08^2 F_H^2 \cdot \cos^2\frac{\beta}{2} + 1'92^2 F_H^2 \cdot \text{sen}^2\frac{\beta}{2}}$$ sacamos factor común

$$R_{DESEQ} = F_H \cdot \sqrt{0'08^2 \cdot \cos^2\frac{\beta}{2} + 1'92^2 \cdot \text{sen}^2\frac{\beta}{2}} \rightarrow 0$$

$$R_{DESEQ} = F_H \cdot \sqrt{0'08^2 \cdot \cos^2\frac{\beta}{2}} \Leftarrow$$

Normalmente en apoyos de alineación, solo puede darse un ángulo máximo de 4º siendo 2º el seno al cuadrado el valor es despreciable, por tanto tiende a 0 y el conjunto de variables que multiplican dicho valor se anulan.

Por otro lado la resultante de desequilibrio, presenta un ángulo tomando como origen del sistema una perpendicular a la bisectriz del ángulo interno de la línea, cuyo valor:

$$tg\,\delta = \frac{1'92 F_H \cdot \text{sen}\frac{\beta}{2}}{0'08 F_H \cdot \cos\frac{\beta}{2}} = 24\, tg\frac{\beta}{2}$$

Resumiendo...

Resumiendo: $F_L = \frac{8}{100} \cdot 1200 \cdot \cos\frac{4^\circ}{2} = 95'94152$ daN

$F_T = 1'92 \cdot 1200 \cdot \text{sen}\frac{4^\circ}{2} = 80'40844$ daN

$R_{DISEÑO} = \sqrt{F_T^2 + F_L^2} = \sqrt{95'94152^2 + 80'40844^2} = 125'181$ daN

$tg\,\delta = 24\ tg\frac{4^\circ}{2} = 0'8381 \longrightarrow \delta = 39'96^\circ$

Para determinar una fuerza equivalente que tenga en cuenta la suma de esfuerzos que provocan los desequilibrios en los conductores aplicaremos el factor de mayoración.

$F_{eq} = R_{DISEÑO} \cdot (K_1 + K_2 + K_3) \cdot 2 = 125'181 \cdot 2'909736 \cdot 2$

$F_{eq} = 728'487$ daN

y si fuese CH? HNH

Comprobar UNE

3°H

$F_H = F_{eq} \cdot (\text{sen}\,\delta + \cos\delta) \Rightarrow 728'487\,(\text{sen}\,39'96^\circ + \cos 39'96^\circ) = 1026'253$ daN (H)

Resumiendo $\Rightarrow$ V = 1696'2483 H = 1026'253 $\Rightarrow$ V+5H = 6827'5133 < 10000



Consideramos el C-2000 y No supera $3 \cdot V \Rightarrow 1696'2483 < 1800$

HIPOTESIS 4°: ROTURA CONDUCTORES (L)

$\frac{2000 \cdot 1'5}{1'2} = 2500$

No se considera este esfuerzo en las líneas de tensión nominal hasta 66 kV, en Apoyos AL-ANG, con cadenas de suspensión y amarre con conductores de carga mínima de rotura inferior a 6600 daN, cuando la línea se verifique simultáneamente $C_{min} \geq 3, 1'5$ y apoyos de anclaje cada 3 km.

Resumen: 1°H V = 1013'5 daN — H = 1048'932 daN

2°H V = 1696'2483 daN — H = 487'432 daN

3°H V = 1696'2483 daN — H = 1026'253 daN

4H NO HAY.

Envolvente Resistente → 1°H = 1013'5 + 5·1048'932 = 6258'16

2°H = 1696'2483 + 5·487'432 = 4133'4083 < 10000

3°H = 1696'2483 + 5·1026'253 = 6827'51

4°H = NO HAY.

C-2000

2° Condición $3 \cdot V_{C-2000} \Rightarrow 600 \cdot 3 = 1800 > 1696'24$ ↑

EXAMEN 1° PARTE 2013 PROBLEMAS 1°

Una línea de AT a 220 kV que discurre por zona B, se ha realizado con el conductor 242-AL1/39-ST1A (antiguo LA-280) y presenta en cantón con los siguientes vanos: 210m, 270m, 290m, 225m y 260m. Para el tendido de la misma se ha empleado un coeficiente de seguridad de 3'5

Por otro lado en el vano de 270m se produce un cruzamiento con un ferrocarril electrificado estando el eje de las vías del ferrocarril a 70m del apoyo más próximo y se conoce que la altura de la catenaria (conductor para alimentar el ferrocarril) es de 4'5m para ahorros en el caso de rotura de dicha catenaria el pantógrafo quedaría situado a 6m sobre el nivel definido por las vías del ferrocarril. Se ha determinado que los apoyos adyacente al cruzamiento y las vías del ferrocarril, están situados todos al mismo nivel: Determinar:

b) Las flechas máximas verticales para el vano de 270m.

Sacamos el vano regulador → $d_R = \sqrt{\frac{\sum a_j^3}{\sum a_j}} \rightarrow d_R = \sqrt{\frac{210^3+270^3+290^3+225^3+260^3}{210+270+290+225+260}} = 256\,m$

$T_1 = T_{-15°C+H+V}$ para zona B con $C_s = 3'5$ $\quad T_{-15°C+H+V} = \frac{C_R}{C_s \cdot S} = \frac{8489}{3'5 \cdot 281'1} = 8'6283478$

$T_{-15°C+H+V} = 8'6283478\ daN/mm^2 \quad \theta_1 = -15°C$ y $\theta_2 = 15°C$

Empezamos $T_2^2(T_2+A) = B$ y definimos las sobrecargas en las condiciones iniciales:

$$m_1 = m_{-15°+V+H} = \frac{\sqrt{\left(p+0'18\sqrt{d_{mm}}\right)^2 + \left(g_{60} \cdot d^*\right)^2}}{p} =$$

$$d^* = d_{COND} + e_H \cdot 2 \rightsquigarrow e_H = -r + \sqrt{r^2 + \frac{240\sqrt{2r}}{\pi}} = -\frac{21'8}{2} + \sqrt{\left(\frac{21'8}{2}\right)^2 + \frac{240\sqrt{21'8}}{\pi}} = 10'95_{mm}$$

$d^* = 21'8 + 10'905 \cdot 2 = 43'61187\,mm$, $\quad W = \frac{0'95765 \cdot 0'981}{281'1} = 3'3420656 \cdot 10^{-3}$

$g_{60} = \left(\frac{V_V}{120}\right)^2 \cdot 56 = 12'5$ (V_V = 60 km/h; $d \geq 16\,mm$)

$$m_1 = \frac{\sqrt{\left((0'95765 \cdot 0'981) + 0'18\sqrt{21'8}\right)^2 + \left(12'5 \cdot 0'04361187\right)^2}}{0'95765 \cdot 0'981} = 1'9814654$$

$$A = -T_1 + E\alpha(\theta_2 - \theta_1) + \frac{E \cdot ar^2}{24} \cdot \frac{m_1^2 \cdot w^2}{T_1^2}$$

$$A = -8'6283478 + 7500 \cdot 1'89 \cdot 10^{-5}(15-(-15)) + \frac{7500 \cdot 256^2}{24} \cdot \frac{1'9814654^2 \cdot (3'3420656 \cdot 10^{-3})^2}{8'6283478^2} = 7'6877706$$

$$B = \frac{E \cdot ar^2}{24} \cdot m_2^2 \cdot w^2 \Rightarrow \frac{7500 \cdot 256^2}{24} \cdot 1^2 \cdot (3'3420656 \cdot 10^{-3})^2 = 228'7493627$$

$$T_2^3 + 7'6877706\, T_2^2 - 228'7493627 = 0 \rightarrow T_{15^\circ C} = 4'35779119 \text{ daN/mm}^2 \rightarrow F_{15^\circ C} = T_{15^\circ C} \cdot S$$

$F_{15^\circ C} = 4'35779119 \cdot 281'1 = 1224'975$ daN $\leq 0'15 \cdot C_R = 1267'5$ SI CUMPLE

Las flechas máximas verticales son 0+Hielo y 85°C. f_{0+H} y $f_{85^\circ C}$

1) $\theta_2 = 85^\circ C$ $m_2 = 1$ $m_1 = 1'9814654$

$\downarrow$

$B = 228'7493627$

$$A = -8'6283478 + 7500 \cdot 1'89 \cdot 10^{-5}(85-(-15)) + \frac{7500 \cdot 256^2}{24} \cdot \frac{1'9814654^2 \cdot (3'3420656 \cdot 10^{-3})^2}{8'6283478^2} =$$

$A = 17'61027067$ & $B = 228'7493627 \rightarrow T_2^3 + 17'61027067 T_2^2 - 228'7493627 = 0$

$$T_{85^\circ C} = 3'306952 \text{ daN/mm}^2 \rightarrow f_{85^\circ C} = \frac{1}{8} \cdot \frac{256^2 \cdot (3'3420656 \cdot 10^{-3}) \cdot 1}{3'306952} = 8'27 m$$

La flecha para el vano de 270m $f_j = \left(\frac{a_j}{a_R}\right)^2 \cdot f_{aR} \rightarrow f_{270} = \left(\frac{270}{256}\right)^2 \cdot 8'27 m$

$f_{85^\circ C}$ para 270m = 9'2m //.

2) $\theta_2 = 0^\circ C$ $m_1 = 1'9814654$ $\theta_1 = -15^\circ C$

$$A = -8'6283478 + 7500 \cdot 1'89 \cdot 10^{-5}(0-(-15)) + \frac{7500 \cdot 256^2}{24} \cdot \frac{1'9814654^2 \cdot (3'3420656 \cdot 10^{-3})^2}{8'6283478^2} =$$

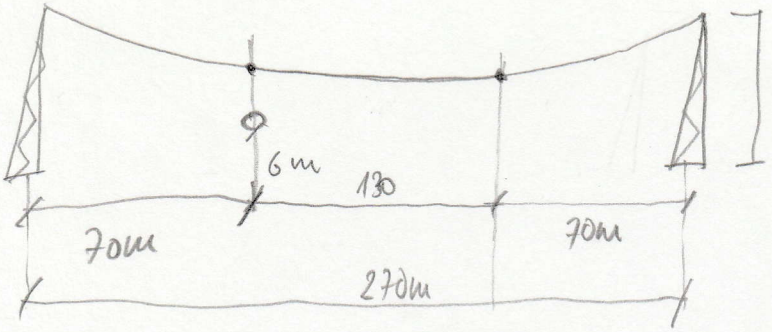
$A = 5'561520671$ / $m_2 = \frac{p + 0'18\sqrt{dm}}{p} \rightarrow \frac{(0'95765 \cdot 0'981) + 0'18\sqrt{21'8}}{0'95765 \cdot 0'981} = 1'8945918$

$$B = \frac{7500 \cdot 256^2}{24} \cdot 1'8945918^2 \cdot (3'3420656 \cdot 10^{-3})^2 = 821'0908.$$

$$T_{0+H} = 7'83026 \rightarrow f_{0+H} = \frac{1}{8} \cdot \frac{256^2 \cdot 1'8945918 \cdot (3'3420656 \cdot 10^{-3})}{7'83026} = 6'624$$

$$f_{270\,H+0} = \left(\frac{270}{256}\right)^2 \cdot 6'624 = 7'3687 m$$

2) $a_{virtual}$ Vano virtual = 130m



$f_{85°C} = 9'2m.$

$$\frac{f_{vano\,real}}{f_{vano\,virtual}} = \left(\frac{a_{real}}{a_{virtual}}\right)^2 \rightsquigarrow f_{flecha\,vano\,virtual} = f_{vano\,real} \cdot \left(\frac{a_{virtual}}{a_{real}}\right) =$$

$$f_{flecha\,virtual} = 9'2 \cdot \left(\frac{130}{270}\right)^2 = 2'132784\,m$$

Flecha del cable a 70m del apoyo es: $f_{70} = 9'2 - 2'132784$

$f_{70m} = 7'067215m \Rightarrow$ Distancia al terreno del cable a 70m del apoyo

$$D = 20 - 7'067215 = 12'9328m$$

Según el apartado 5.9.1 Cruzamientos $D_{add} + D_{el} = 3'5 + D_{el}$

$D_{el} \Rightarrow 220kV \Rightarrow 245kV \Rightarrow D_{el} = 1'7m + 3'5 = 5'2m.$

Si el cable a 70m está a 12'9328m del suelo y el cable del pantógrafo está a 6m del suelo.

$12'9328 - 6 = 6'9328 \geq (5'2m = D_{add} + D_{el})$.

Por tanto cumple.

$$y = \left(\text{paquete} \frac{\left(\frac{dR}{2}\right)^2}{f_i}\right)$$

EXAMEN 1ª PARTE 2014 PROBLEMAS 1º

Una línea de transporte de energía eléctrica se ha realizado con el conductor 94-AL1/22-ST1A (antiguo LA-110) y discurre por zona B. Para un vano regulador de 110m y empleando un tense el límite estático-dinámico. Determinar:

1) El coeficiente de seguridad a emplear en conductor:
2) Admitiendo el mismo tipo de tense, con el mismo coeficiente de seguridad y según la hipótesis excepcional de viento, calcular la velocidad de viento extraordinario necesaria que origina el mismo tipo de tense:

1) Se empieza con un coeficiente de seguridad $C_S=3$, $T_1 = T_{-15ºC+H} = \frac{CR}{C_S \cdot S} =$

$$T_1 = T_{-15ºC+H} = \frac{4310}{3 \cdot 116'2} = 12'36374 \text{ daN/mm}^2 \qquad W = \frac{0'433 \cdot 0'981}{116'2} = 3'65553365 \cdot 10^{-3}, \quad \theta_1 = -15$$

$$m_1 = m_{-15ºC+H} = \frac{(0'433 \cdot 0'981) + 0'18\sqrt{14}}{(0'433 \cdot 0'981)} = 2'5855488 \qquad \theta_2 = 15ºC \qquad \theta_1 = -15ºC$$

$$A = -12'36374 + 8000 \cdot 1'78 \cdot 10^{-5} \cdot (15-(-15)) + \frac{8000 \cdot 110^2}{24} \cdot \frac{2'5855488^2 \cdot (3'65553365 \cdot 10^{-3})^2}{12'36374^2}$$

$$A = -5'7346756 \qquad m_2 = 1 \rightarrow B = \frac{8000 \cdot 110^2}{24} \cdot 1^2 \cdot (3'65553365 \cdot 10^{-3})^2 = 53'897135$$

$$T_2 = T_{15ºC} \Rightarrow T_2^2(T_2+A) = B \Rightarrow T_2^3 - 5'7346756 T_2 - 53'897135 = 0 \qquad T_{15ºC} = 6'874983 \text{ daN/mm}^2$$

$F_{15ºC} \leq 0'15 C_R \Rightarrow \quad 6'874983 \cdot 116'2 = 798'873 \leq 646'5$ NO CUMPLE.

Forzamos el cálculo $T_{15ºC} = \frac{0'15 C_R}{S} = \frac{646'5}{116'2} = 5'5636833 \text{ daN/mm}^2$

$$A = \frac{B}{T_{15}^2} - T_{15} \rightarrow A = \frac{53'897135}{5'5636833^2} - 5'5636833 \rightarrow A = -3'8225144$$

Despejamos el tense $(T_1) \rightarrow A = -T_1 + E \cdot \alpha (\theta_2 - \theta_1) + \frac{E \cdot a_R^2}{24} \cdot \frac{m_1^2 \cdot W^2}{T_1^2}$

$$-3'8225144 = -T_1 + 8000 \cdot 1'78 \cdot 10^{-5}(15-(-15)) + \frac{8000 \cdot 110^2}{24} \cdot \frac{2'5855488^2 \cdot (3'65553365 \cdot 10^{-3})^2}{T_1^2}$$

$$-3'8225144 = -T_1 + 4'272 + \frac{360'30572}{T_1^2} \Rightarrow T_1^2\left(T_1 - 8'0945144 - \frac{360'30572}{T_1^2}\right) = 0$$

$$T_1^3 - 8'0945144 T_1^2 - 360'30572 = 0 \rightarrow T_1 = 11'046976 \text{ daN/mm}^2$$

$$C_S = \frac{C_R}{T \cdot S} \Rightarrow \frac{4310}{11'046976 \cdot 116'2} = 3'35759$$

2) Hipotesis excepcional de viento para zona B:

Tenemos que igualar los parámetros A. 1º) A (para -15ºC + Hielo) y 2º) A (para -10ºC + V),

$$-3'8225144 = -11'046976 + 8000 \cdot 1'78 \cdot 10^{-5}(15-(-10)) + \frac{8000 \cdot 110^2}{24} \cdot \frac{m'^2 \cdot (3'65553365 \cdot 10^{-3})^2}{11'046976^2}$$

$$-3'8225144 = -7'486976 + \frac{1293'531263\, m'^2}{2928'85629} \rightarrow 0 = -3'6644616 + \frac{1293'531263\, m'^2}{2928'85629}$$

$$3'6644616 - \frac{1293'531263\, m'^2}{2928'85629} = 0 \rightarrow m' = \sqrt{\frac{3'6644616 \cdot 2928'85629}{1293'531263}} =$$

$$m' = 2'88048524$$

$$m' = \frac{\sqrt{p^2 + (q_{140} \cdot d)^2}}{p} \rightarrow 2'88048524 = \frac{\sqrt{(0'433 \cdot 0'981)^2 + (q_{140} \cdot 0'014)^2}}{(0'433 \cdot 0'981)}$$

(p, t, d, b, f)

$$\frac{\sqrt{p^2 + d^2 \cdot t^2}}{f} - b = 0 \rightarrow \frac{\sqrt{p^2 + d^2 \cdot t^2}}{f} = b \rightarrow \sqrt{p^2 + d^2 \cdot t^2} = bf \rightarrow p^2 + d^2 t^2 = b^2 f^2$$

$$d^2 t^2 = b^2 f^2 - p^2 \rightarrow t^2 = \frac{b^2 f^2}{d^2} - \frac{p^2}{d^2} \rightarrow t = \sqrt{\frac{b^2 f^2}{d^2} - \frac{p^2}{d^2}} \rightarrow t = \sqrt{\frac{b^2 f^2 - p^2}{d}}$$

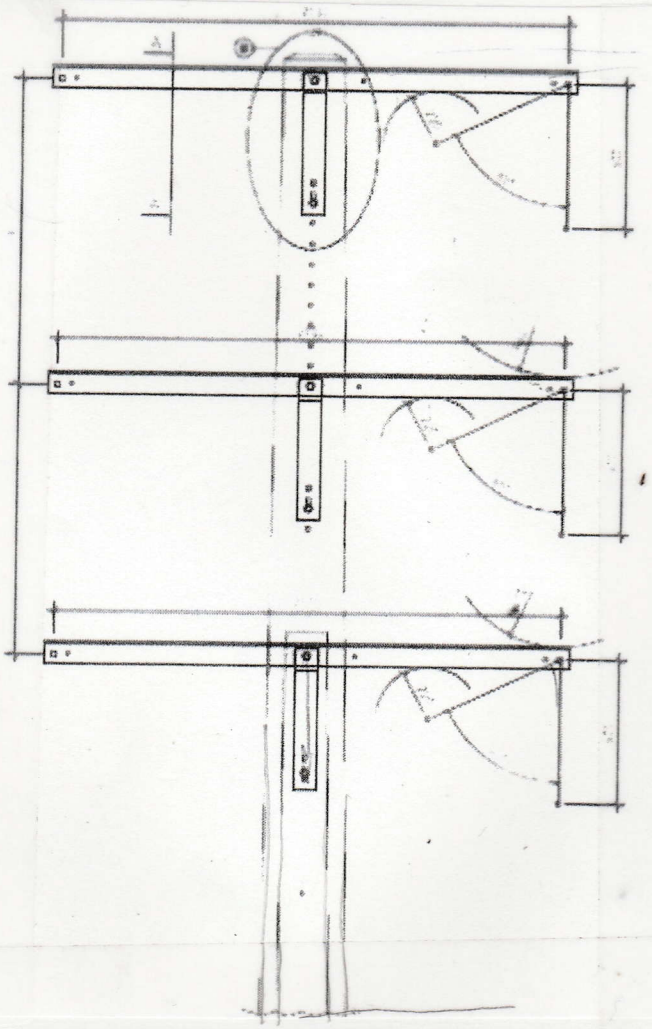
$$q_{120} = \frac{\sqrt{2'880485^2 \cdot (0'433 \cdot 0'981)^2 - (0'433 \cdot 0'981)^2}}{0'014} = 81'960917$$

$$q_{140} = \left(\frac{Vv}{120}\right)^2 \cdot 60 \rightarrow Vv = \sqrt{\frac{q_{140}}{60}} \cdot 120 \Rightarrow Vv = 140'25 \text{ km/h}$$

140'21

$$2'88 = \frac{\sqrt{0'42428^2 + \left[60\left(\frac{140'21}{120}\right)^2 \cdot 0'014\right]^2}}{0'42428}$$

Una línea de MT a 20kV doble circuito se ha realizado con el conductor 47-AL1/8-ST1A (antiguo LA-56), disposición en zona B. Se ha empleado un tipo de torre tal que los esfuerzos resultantes son $F_{-15ºH} = 531$ daN, $F_{-10ºC+V} = 442$ daN. Se ha decidido emplear para el apoyo final de línea apoyos del tipo HVH, resultando una configuración de la línea de la forma:





Se sabe que la distancia entre cogolla del apoyo y la primera cruceta es de 0'085m, mientras que la distancia entre crucetas son k = 1'275m y j = 1'127 y que las crucetas presentan una dimensión de 2'1 m, además k desea emplear un apoyo cuya altura desde el suelo hasta la cogolla es de 14'18m. Por otro lado cada cruceta tiene un peso de 60'5 daN y cada cadena de aisladores pesa 5daN y el viento ejerce una fuerza de 2'1 daN. Sabiendo que el vano adyacente al apoyo de fin de línea es de 145m y que el apoyo está 2 metros por debajo del apoyo siguiente: Determinar los esfuerzos resultantes según las distintas hipótesis y el apoyo a emplear:

(Al de estudio)

1) Hipótesis viento
2) Hipótesis hielo
3) Hipótesis desequilibrio de tracciones
4) 4ª Hipótesis de rotura de conductores:

1º HIPOTESIS : VIENTO

1.1 Cargas permanentes Verticales

a) Peso de conductores: $P_C = n_{circuitos} \cdot n_{conductores/circuito} \cdot \left[\frac{a_1}{2} + \frac{F_{O+V}}{P_V'}\left(\frac{h_0 - h_1}{a_1}\right)\right]$

$P_C = 0'1855 \cdot 2 \cdot 3 \cdot \left[\frac{145}{2} + \frac{442}{5'673} \cdot \left(\frac{-2}{145}\right)\right] = 79'4964$ daN//

F_{O+V} (para zona B) $= F_{10^\circ+V} = 442$ daN , $P_V' = \sqrt{p^2 + pv^2}$, siendo pv para zona B

$pv = q \cdot \left(\frac{V_v}{120}\right)^2 \cdot d \rightarrow pv = 60 \cdot 0'0945 \rightarrow pv = \sqrt{(0'1891 \cdot 0'981)^2 + (60 \cdot 0'0945)^2}$

$P_V' = 5'673$.

b) Peso de aisladores: $P_{ais} = n^\circ_{ais} \cdot P_{ais} \rightarrow 6 \cdot 5 = 30$ daN//

c) Peso de cruceta: $P_{cruceta} = n^\circ_{cruceta} \cdot P_{cruc} = 60'5 \cdot 3 = 181'5$ daN

1.1 TOTAL CARGAS PERMANENTES VERTICALES 1º HIPOTESIS = 291'95 daN (V) ΔH

1.2 Esfuerzo del viento normal a la línea (T)

a) Sobre conductor: $F_{VC} = \frac{a_1}{2} \cdot d \cdot q \cdot (K_{11} + K_{12} + K_{13}) \cdot 2$

Los factores de anudo son para un apoyo de HVH, para esfuerzos por:

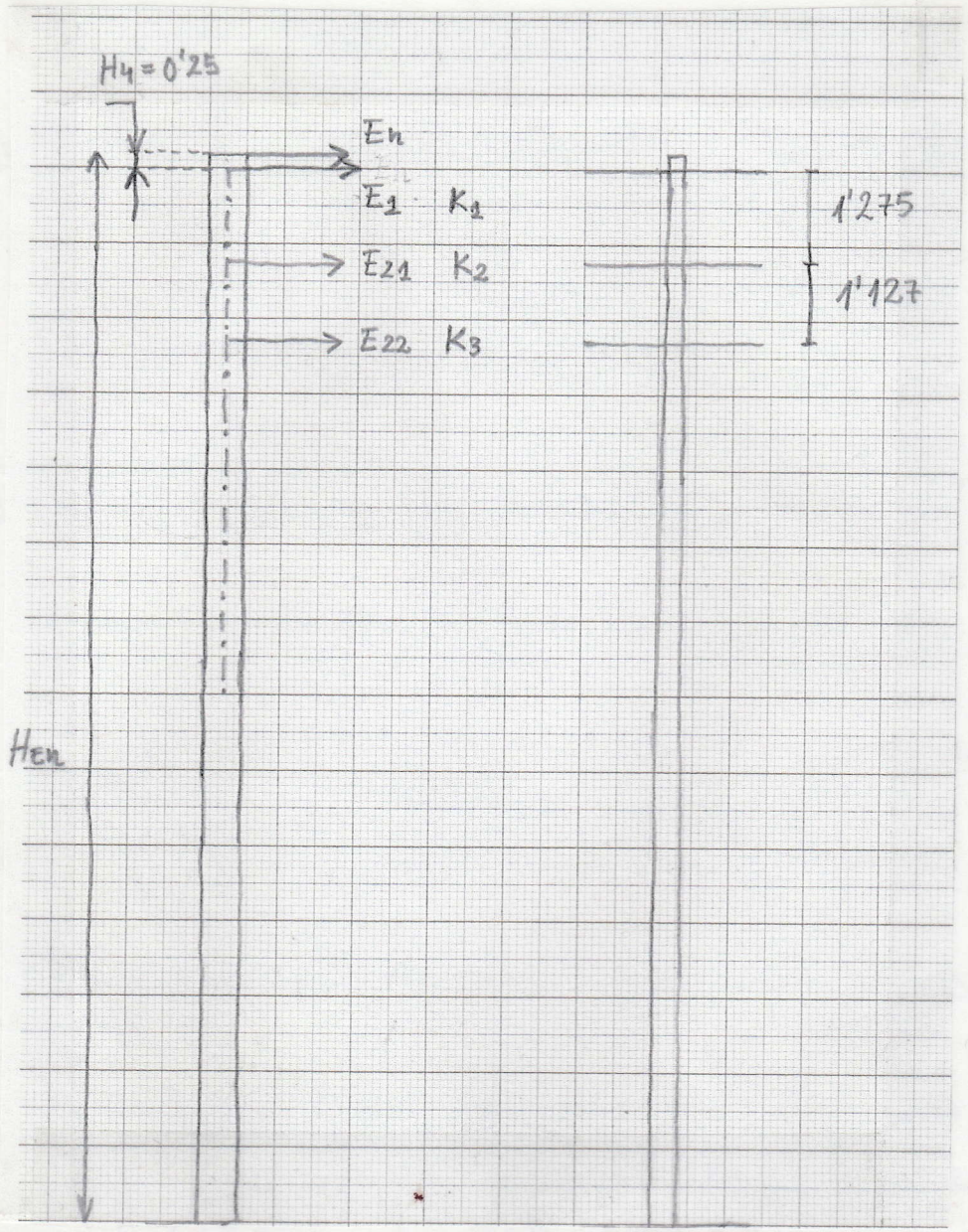
- Esfuerzos por encima de cogolla: $E_n \cdot 5'4 \geq E_1 (H_5 + 0'25)$

$K_1 = \frac{5'25 + H_5}{5'4}$ $\qquad H_4 = 0'25$

- Esfuerzos por debajo de cogolla: $E_n \cdot H_{En} \geq E_2 (H_{En} - H_2) = E_2 \cdot H_L$

$K_2 = \frac{H_{En} - H_2}{H_{En}} = \frac{H_L}{H_{En}}$

En este caso no hay H_5, por tanto los esfuerzos están definidos por debajo de cogolla, concretamente 0'25m por debajo de cogolla.



Todos los esfuerzos están por debajo, de hecho, pone que la primera arreta se halla a 0'085m por debajo de la cabeza del apoyo.

$$K_1 = \frac{H_{En} - H_{2_1}}{H_{En}} = \frac{14'18 - 0'085}{14'18 - 0'25} = 1'011844$$

$$K_2 = \frac{H_{EN} - H_{2_2}}{H_{En}} = \frac{14'18 - 0'085 - 1'275}{14'18 - 0'25} = 0'920315$$

$$K_3 = \frac{H_{EN} - H_2}{H_{En}} = \frac{14'18 - 0'085 - 1'275 - 1'127}{14'18 - 0'25} = 0'839411$$

Definidos al ser doble circuito se multiplicarán por 2.

$$F_{cv} = \frac{145}{2} \cdot 0'00945 \cdot \left(60 \cdot \left(\frac{120}{120}\right)^2\right) \cdot (1'011844 + 0'920315 + 0'839411) \cdot 2 = \underline{2278'6462}$$

226'87

daN

NO

2'77157

b) Sobre aisladores: $F_{vais} = q \cdot n_{aisladores/cadena} \cdot A_{aislador} (K_{11} + K_{12} + K_{13})$

$F_{vais} = 2'1 \cdot 2 \cdot (2'77157) = 11'640594$ daN

c) Sobre cruceta: $q \cdot S_{cruceta} (K_1 + K_2 + K_3) = 100 \cdot 0'085 \cdot (2'77157) = 23'5583$ daN

263'71 1°H

TOTAL 1.2 ESFUERZOS PRODUCIDOS POR EL VIENTO ~~2313'84~~ H daN.

1.3 Desequilibrio de tracciones (L): $F_{-\theta+V} (K_{11} + K_{12} + K_{13})$

Para zona B $F_{-10°C+V} = 442$ daN $(2'77157) \cdot 2 = 2450$ daN

TOTAL 1.3 ESFUERZOS PRODUCIDOS POR DESEQUILIBRIO

NO SOLO COLOSÍA

1.4 Esfuerzo resultante 1.2 y 1.3 (L)

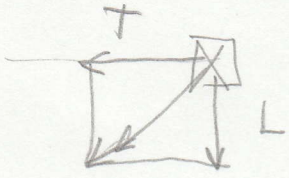
Ambos esfuerzos actúan simultáneamente sobre el apoyo por lo que la acción conjunta de ambos resulta ser (expresión válida para apoyos del tipo C.

Resumen: 1° HIPOTESIS. NO VALIDO PARA HVH

$V = 291$ $L = 2450$ $\alpha =$

Esfuerzo isoresistente: ε HVH 2500 ? Punta negra

Resultante $= \sqrt{2313'84^2 + 2450^2} = 3369'91$ HVH 3500?



$R = \sqrt{238'46 + 2446}$ 2464

$tg^3 \frac{T}{L} = \frac{238'4}{2446} = 5'5667°$

3° HIPOTESIS: Hielo zonas B y C:

2.1 Cargas Permanentes Verticales + sobrecarga de hielo (V):

a) Peso de conductores: $P_C = n\left[P'_H \frac{a_1}{2} + F_H\left(\frac{h_0 - h_1}{a_1}\right)\right] =$

$P_C = 6 \cdot \left[0'738842 \cdot \frac{145}{2} + 531\left(\frac{-2}{145}\right)\right] = 277'451$ daN //

$P'_H = p + 0'18\sqrt{d}$ por ser zona B y $F_H \rightarrow F_{-15°C+H}$ por ser zona B

$P'_H = (0'1891 \cdot 0'981) + 0'18\sqrt{9'45} = 1'1855071 + 0'55333 = 0'738842$; $F_{-15°C+H} = 531$ daN

b) Peso de aisladores: $n \cdot P_{ais} = 5 \cdot 6 = 30$ daN

c) Peso de cruceta = $60'5 \cdot 3 = 181'5$ daN

TOTAL 2.1 CARGAS PERMANENTES VERTICALES ..... $488'951$ (V) $_{2H}$

2.2 Desequilibrio de Tracciones (L): $F_H (K_{11} + K_{12} + K_{13}) \rightarrow$

$F_H = F_{-15°C+H}, 531 \cdot 2'77157 \cdot 2$

TOTAL 2.2 ESFUERZOS PRODUCIDOS POR DESEQUILIBRIO $2943'4$ daN.

$V = 488'951$ $L = 2943'4 \rightarrow$ HVH 3000

4° HIPOTESIS Rotura de conductores

4.1 Cargas permanentes verticales (V) + sobrecargas incluidas en zona B

2.1 = $488'951 = V$

TOTAL 4.1 CARGAS PERMANENTES + SOBRECARGAS

4.2 Esfuerzo por rotura de conductores (L):

$$E_s = \frac{F_M \cdot \text{Brazo cruceta}}{C_s} \leq L_t \rightarrow \frac{532 \cdot 1'05}{2'25 - 20\%} = \frac{532 \cdot 1'05}{2'25 - 0'45} = \frac{558'6}{1'8}$$

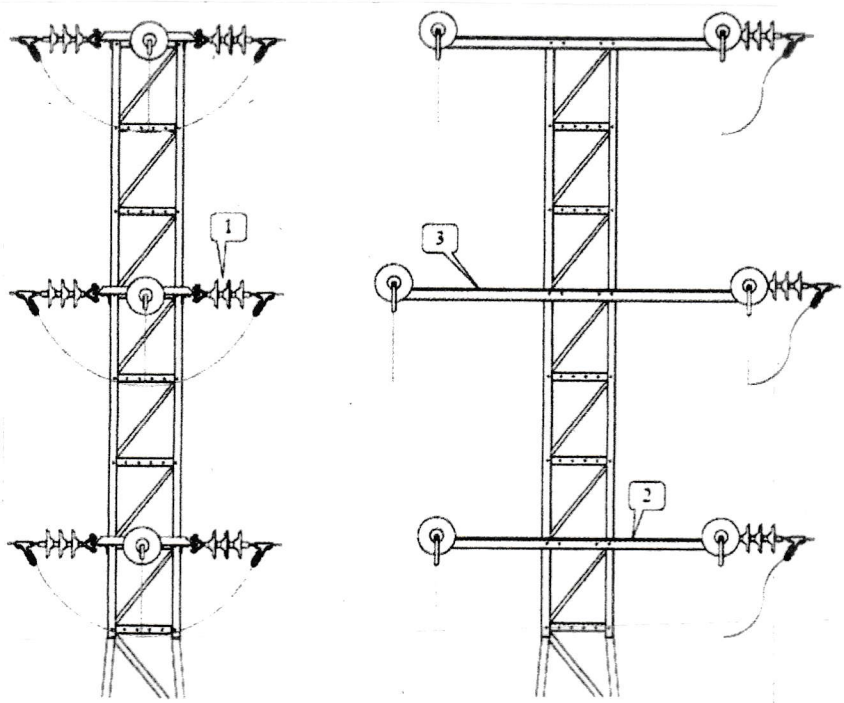
C_s → 2'25 → HVH

$L_t = 310'33$

?

P 2015

Para una línea existente de 20 kV doble circuito en zona B, se ha realizado con el conductor 147-AL1/34-ST1-A (antiguo LA180), en dicha línea existe un apoyo de anclaje, y en el mismo se pretende realizar una derivación simple, perpendicular a la línea existente, según la siguiente configuración



Se conoce que para la línea existente el apoyo en el que se pretende hacer la derivación es un C-3000 con altura desde el suelo hasta el extremo del apoyo de 13'36, las fuerzas de los vanos reguladores adyacentes son de: $F_{-15+H} = 1200$ daN, $F_{-10+V} = 971$ daN siendo los vanos adyacentes de 80 metros y 90 metros estando el apoyo en el que se realiza la derivación 3 metros por encima de los apoyos adyacentes de la línea existente. Sabemos que las crucetas extremas presentan un peso de 31'6 daN y la intermedia de 58'3 daN y la distancia entre foro y eje de apoyo es respectivamente de: 1 y 1'5 m y que se emplean aisladores de composite con un peso de 5 daN y el viento ejerce una fuerza sobre los mismos de 2'1 daN, por otro lado el viento ejerce una presión de 85 daN.
La línea derivada se debe realizar con el conductor 47-AL1/8-ST1A (antiguo LA-56) y el primer vano se realiza con un vano viso de 15 m hasta el apoyo de principio de línea, estando los conductores situados sensiblemente al mismo nivel en ambos apoyos y se debe emplear un coeficiente de seguridad para este conductor igual a 10.

Determinar:

1°) La fuerza a -10°C sin viento para la misma línea derivada.

2°) Los esfuerzos resultantes sobre el apoyo según la 1ª hipótesis.

3°) Los esfuerzos resultantes sobre el apoyo según la 2ª hipótesis

4°) Los esfuerzos resultantes sobre el apoyo según la 3ª hipótesis

5°) Los esfuerzos resultantes sobre el apoyo según la 4ª hipótesis

6) Validez del apoyo C-3000.

(F-10°C). • Condiciones iniciales por la zona B $\quad \theta_1 = -15°C$

$$m_1 = \frac{p + 0'18\sqrt{d_{medio}}}{p}$$

• Condiciones finales -10°C sin viento $\quad \theta_2 = -10°C$

$$m_2 = 1$$

$a_R = 15m \qquad C_S = 10$

$$T_1 = \frac{C_R}{C_S \cdot S} = T_{-15+H} = \frac{1629}{10 \cdot 54'6} = 2'983515 \ daN/mm^2$$

$E = 7900 \ daN/mm^2$

$\alpha = 1'91 \cdot 10^{-5} \ °C^{-1}$

$$A = -T_1 + E\alpha(\theta_2 - \theta_1) + \frac{E \cdot a_R^2}{24} \cdot \frac{m_1^2 \cdot W^2}{T_1^2} =$$

$$B = \frac{E a_R^2}{24} \cdot m_2^2 \cdot W^2 =$$

$$N = \frac{p}{S} = \frac{0'18521}{54'6} = 3'392124 \cdot 10^{-3}$$

$$m_1 = \frac{0'18521 + 0'18\sqrt{9'45}}{0'18521} =$$

$m_1 = 3'9876105$

$$A = -2'983516 + 7900 \cdot (1'91 \cdot 10^{-5}) \cdot (-10 - (-15)) + \frac{7900 \cdot 15^2}{24} \cdot \frac{3'9876105^2 \cdot (3'392124 \cdot 10^{-3})^2}{2'983516^2}$$

$$A = -2'983516 + 0'75445 + 1'52233603 = -0'70673$$

$B = 0'8522005 \qquad T_2^3 - 0'70673 T_2^2 - 0'8522005 = 0 \qquad T_2 = 1'251142 \ daN/mm^2 = T_{-10°C}$

$$F_{-10} = T_{-10} \cdot S \Rightarrow F_{-10} = 1'251142 \cdot 54'6 = 68'3123 \ daN$$

2º) Los esfuerzos 1ºH para un apoyo de anclaje

1º HIPOTESIS : Viento

1.1 Cargas permanentes Verticales

a_1) Peso de conductores : $P_C = n \cdot p \left[\frac{a_1 + a_2}{2} + \frac{F - \theta + V}{P_V'} \left(\frac{h_0 - h_1}{a_1} + \frac{h_0 - h_2}{a_2} \right) \right]$

$P_C = 6 \cdot 0'66245 \left[\frac{80+90}{2} + \frac{971}{1'097783} \left(\frac{3}{80} + \frac{3}{90} \right) \right] = 586'875 \text{ daN}$ //

$P_V' = \sqrt{P^2 + pv^2} \Rightarrow \sqrt{0'66295^2 + \left(\frac{7}{8}\right)^2} = 1'097783$

$p_{50} = 50 \left(\frac{Vv}{120}\right)^2 \cdot d \Rightarrow 50 \cdot 0'0175 = \frac{7}{8}$ (120)

Para un apoyo de fin de línea:

a_2) Peso de conductores = $P_C = n \cdot p \left[\frac{a_1}{2} + \frac{F - \theta + V}{P_V'} \left(\frac{h_0 - h_1}{15} \right) \right]$

$P_C = 3 \cdot 0'18521 \left[\frac{15}{2} + \frac{971}{0'5964828} \cdot \left(\frac{0}{15} \right) \right] = \frac{15}{2} \cdot 3 \cdot 0'18521 = 4'167225 \text{ daN}$ //

$P_V' = \sqrt{0'18521^2 + (60 \cdot 0'00945)^2} = 0'5964828$

$60 \cdot \frac{Vv^2}{120}$ (120)

b_1) Peso de aisladores : anclaje $P_{ais} = 2 \cdot 6 \cdot 5 = 60 \text{ daN}$ //

b_2) Peso de aisladores : fin de línea $P_{ais} = 3 \cdot 5 = 15 \text{ daN}$ //

c_1) Sobre cruceta = $P_{cruc} = 31'6 \cdot 2 + 58'3 = 121'5 \text{ daN}$ //

TOTAL 1.1 Cargas Permanentes Verticales : (V) = 787'54222 N // 1H

1.2 Esfuerzo del viento normal a la línea o en la dirección de la bisectriz del ángulo interno de la línea (T):

a) Sobre conductores: (para el apoyo de anclaje) $F_V = \frac{a_1+a_2}{2} \cdot d \cdot q \cdot \cos\frac{\alpha}{2}$

$E_V = F_V \cdot (K_{11}+K_{12}+K_{13})$, $F_V = \frac{80+90}{2} \cdot 0'0175 \cdot 50 \cdot \cos\frac{0°}{2} = 74'375$

$50 \cdot \frac{V_V^2}{120} \quad \frac{120}{120} = 50 \cdot 1$

Factores de anudo

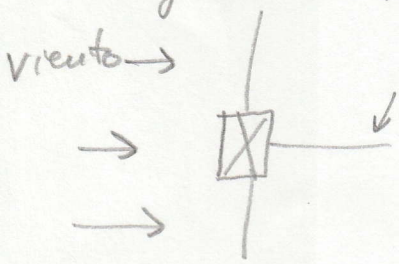
$K_1 = \frac{4'6+4'5}{4'6} = 1$ los esfuerzos nominales coinciden con los esfuerzos E_1, mientras que E_2 y E_3 están por debajo de agolla.

$K_2 = \frac{H_{EN}-H_{21}}{H_{EN}} \Rightarrow \frac{13'36-1'8}{13'36} = 0'86527$ $\quad K_3 = \frac{13'36-2\cdot 1'8}{13'36} = 0'730539$

$E_V = 74'375 \cdot 2 \cdot (1 + 0'86527 + 0'730539) = 386'12659$ daN //

$2'595809$

d_2)
los esfuerzos producidos por el viento en la derivación son nulos, puesto que son tangentes a la dirección del viento



↓ ?

b) Sobre aisladores: $E_{AIS} = 2$ cadenas $\cdot$ 2 circuitos $\cdot 2'1 (2'595809) = 21'8048$ daN //

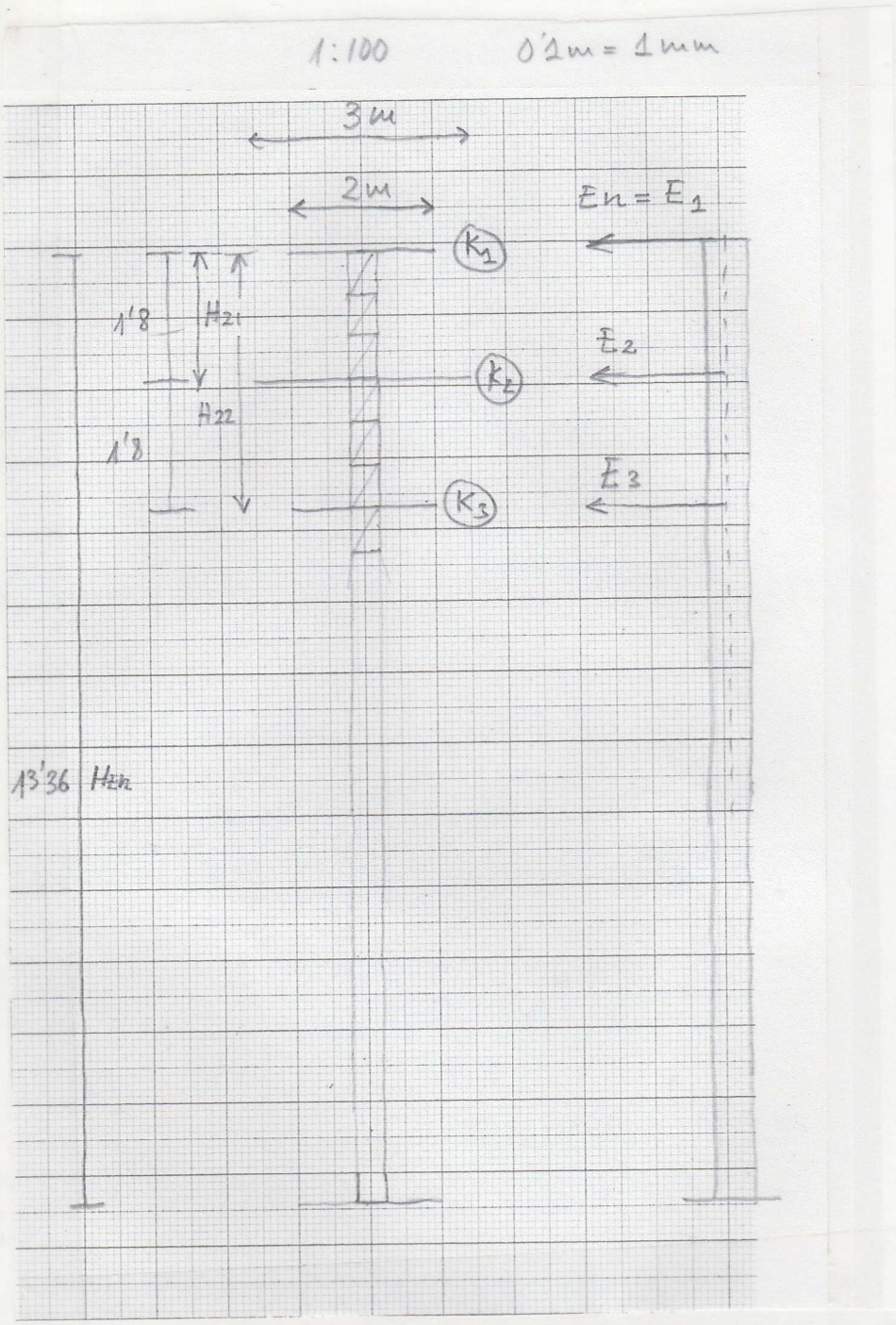
b_2) Sobre aisladores: en fin de línea tenemos un esfuerzo no perpendicular, el aislador, pues $2'1 \cdot 2'595809 = 5'4511989$ daN //

c) Sobre cruceta $E_C = F_{VC} \cdot (K_1+K_2+K_3) \rightarrow F_{VC} = 8'5$ daN.

$E_C = 8'5 \cdot (2'595809) = 22'06437$ daN //

d) Tracción (T) Derivación LA-56 $T = F_{-10°C} \cdot (K_{11}+K_{12}+K_{13})$

$T = 68'3 (2'595809) = 177'3$ daN //



1.3 Desequilibrio de Tracciones (L): $F_{-\theta+V}$ $(K_{11}+K_{12}+K_{13})$.

$L = 971 \cdot (2'595809) \cdot 2 = 5041'06$?

TOTAL 1.2 Esfuerzos producidos por hielo: (H) = 612'16 daN

Resumen 1ª HIPOTESIS = V = 787'5422 H = 612'16 =

$V+5H \Rightarrow 787'54 + 5 \cdot 612'16 = 3848'34 < 5600 \rightarrow$ C-1000

$3 \cdot V \Rightarrow 3 \cdot 600 = 1800 > 1104'916$

2ª HIPOTESIS: Hielo zona B y C

2.1 Cargas Permanentes Verticales + sobrecarga de hielo (V):

a1) Peso de conductores: (apoyo de anclaje)

$$P_{CH} = n \cdot p \left[P_H' \cdot \frac{a_1+a_2}{2} + F_H \left(\frac{h_0-h_1}{a_1} + \frac{h_0-h_2}{a_2} \right) \right] =$$

$P_H' = p + p_h$; $0'18\sqrt{d(mm)}$

$P_H' = 0'66295 + 0'18\sqrt{17'5} = 1'416$

$$P_{CH} = 2 \cdot 3 \left[1'416 \cdot \frac{80+90}{2} + 1200 \left(\frac{3}{80} + \frac{3}{90} \right) \right] = 1232'16 \text{ daN}$$

a2) Peso de conductores: (apoyo fin de línea):

$$P_{CH} = n \cdot p \left[P_H' \frac{a_1}{2} + F_H \left(\frac{h_0-h_1}{a_1} \right) \right] = 1 \cdot 3 \left[0'738545 \cdot \frac{15}{2} + 1200 \left(\frac{0}{15} \right) \right] = 2'2156 \text{ daN}$$

P_H' $0'18521 + 0'18\sqrt{9'45} = 0'738545$

b1) Peso de aisladores = (apoyo anclaje) = $P_{AIS} = 2 \cdot 6 \cdot 5 = 60$ daN

b2) Peso de aisladores = (apoyo FL) = $3 \cdot 5 = 15$ daN

c) Peso de cuerda = $2 \cdot 31'6 + 58'3 = 121'5$ daN

TOTAL 2.1 Cargas PERMANENTES = 1430'87 daN (V)

2.2 Tracción (T) LA-56 F_{-15+H} $(K_{11}+K_{12}+K_{13})$.

$F_{-15°C+H} = \frac{CR}{C_{S10}} = 162 \cdot (2'595809) = 420'52$ daN (H) DESEQUILIBRIO DE TRACCIONES EN APOYOS FIN DE LINEA

LA-56 $\Rightarrow$ F-10°C

2.2 Desequilibrio de tracciones (L):

~~$F_H(K_{11}+K_{12}+K_{13}) \Rightarrow 1200(2'595809) = 3114'9708$ daN~~

(?) PARA 15 metros, ¿no?

Resumen 2° HIPOTESIS

$V = 1430'87$ $T = 420'52 L = 3114'97$

3° HIPOTESIS Desequilibrio de tracciones:

3.1 Cargas permanentes Verticales V:

2.1 En zona B 1430'87 daN

TOTAL 3.1 Cargas permanentes + sobrecarga 1430'87 daN

3.2 Desequilibrio de tracciones (L y T)

$F_L = \frac{50}{100} \cdot F_{-0+H} \cdot \cos \frac{\alpha}{2}$ ($\alpha \to 0°$, $\frac{\alpha}{2} \to 1$) $\rightarrow F_L = \frac{50}{100} \cdot 1200 = 600 \text{ daN} \cdot 2 \cdot (2'5958)$

ZONA B = $-15°C + H = 1200$

$F_T = 1'5 F_{-15°+H} \cdot \operatorname{sen} \frac{\alpha}{2}$ ($\alpha \to 0°$, $\frac{\alpha}{2} \to 0$) $= 0$ $R_{DESEQ} = \sqrt{3114'972^2 + 420'521^2} = 3143'22$

Línea Nueva $F_{-15+H}(K_{11} + K_{12} + K_{13}) = 162 \cdot 2'59581 = 420'521$

$tg\,\delta = 3\, tg \frac{\alpha}{2}$ ($\alpha \to 0°$) $= 0°$ $\delta = tg \frac{T}{L} = 7'68824° \Rightarrow$

$F_H = F_{eq}(\operatorname{sen} \delta + \cos \delta)$ ($\delta \to 0°$) $\Rightarrow F_H = 3535 \text{ daN}$ (H) 3°H

con hip 1'2

C-3000 → 3750

Resumiendo 3HIPOTESIS $V = 1430'87$

$V + 5H = 1430'87 + 5 \cdot 3535 = 19105'1 \text{ daN} \rightarrow$ C 3500

$3 \cdot V \Rightarrow 3 \cdot 600 = 1800 > 1430$

Al ser 3°H → ANORMAL

Esfuerzo anormal $= \frac{3500 \cdot 1'5}{1'2} =$

4º HIPOTESIS Rotura de conductores

4.1 Cargas Permanentes Verticales

3.1 = 1430'87 daN

TOTAL 4.1 = V = 1430'87 daN.

4.2 Esfuerzo por rotura de conductores

Hipótesis Normales

$$\frac{1200 \cdot \cos\frac{0.2}{2} \cdot 1'5}{1'5} \leq L_T \Rightarrow \underbrace{1200 < 1400}_{C-2000}$$

C-1000 ⇒ L_T = 700

C-2000 ⇒ L_T = 1400

4.2 Hipótesis anormal $\frac{1200 \cdot 1'5}{1'2} = 1500 < 1400$

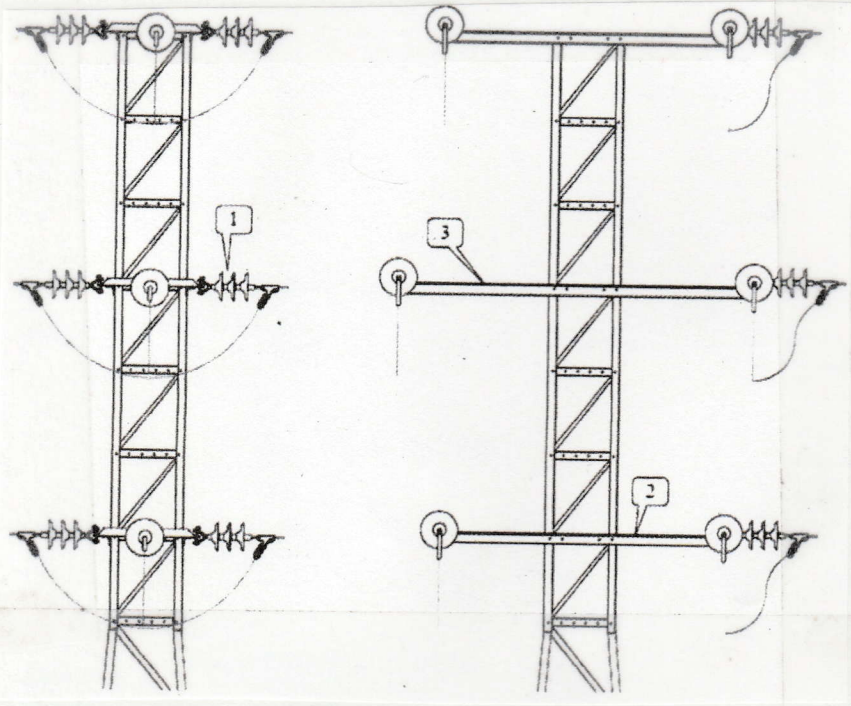
NO CUMPLE

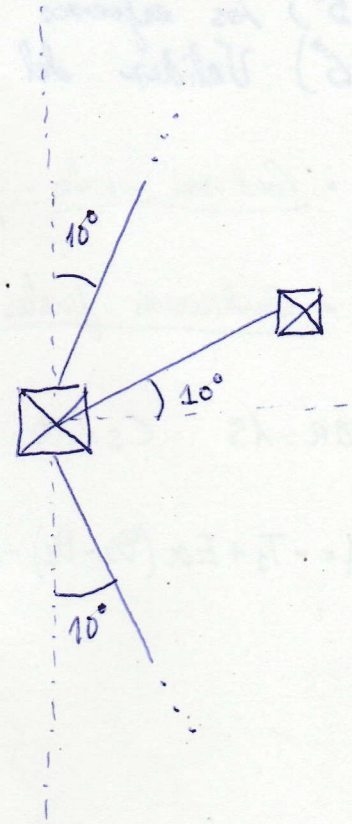
Tendrá que ser un:

C-7000 (2500 Lt)

Rotura de Conductores en cables LA-56?

Dada una línea existente de 20kV doble circuito en zona B, se ha realizado con el conductor 147-AL1/34-ST1-A (antiguo LA-180), en dicha línea existe un apoyo de anclaje, y en el mismo se pretende realizar una derivación simple, perpendicular a la línea existente según la siguiente configuración:





Se conoce que para la línea existente el apoyo en el que se pretende hacer la derivación es un C-3000 con altura desde el suelo hasta el extremo del apoyo de 13'36, las fuerzas de los vanos regulares adyacentes son de F_{-15+H} = 1200 daN, F_{-10+V} = 971 daN, el desvío de la traza es de 20° y los vanos adyacentes son de 80m y 90m estando el apoyo en el que se realiza la derivación 3 metros por encima de los apoyos adyacentes de la línea existente. Sabemos que los conductores extremos presentan un peso de 316 daN y la intermedia de 583 daN y la distancia entre fase y eje de apoyo es respectivamente de: 1 y 1'5 y que se emplean aisladores de composite con un peso de 5 daN y el viento ejerce una fuerza sobre los mismos de 2'1 daN, por otro lado el viento ejerce una presión de 8'5 daN.
La línea derivada se debe realizar con el conductor 47-AL1/8-ST1A (LA 56). y el primer vano se realiza con un vano único de 15m y con un desvío de 10° hasta el apoyo de principio de línea, estando los conductores sensiblemente al mismo nivel en ambos apoyos y se debe emplear un coeficiente de seguridad para este conductor igual a 10.

1º) La fuerza a -10°C sin viento para la nueva línea derivada:
2º) los esfuerzos resultantes sobre el apoyo según la 1ª hipótesis:
3º) los esfuerzos resultantes sobre el apoyo según la 2ª hipótesis:
4º) los esfuerzos resultantes sobre el apoyo según la 3ª hipótesis:
5º) los esfuerzos resultantes sobre el apoyo según la 4ª hipótesis:
6º) Validez del apoyo C-3000.

$\theta_1 = -15°C$

- Condiciones iniciales: por ser zona B $\quad u_1 = \dfrac{p + 0'1\sqrt{d(mm)}}{p}$

- Condiciones finales: -10°C sin viento $\quad \theta_2 = -10°C$

$u_2 = 1$

$a_R = 15 \quad C_s = 10 \quad T_1 = \dfrac{C_R}{C_s \cdot S} = \longrightarrow T_{15+H} = \dfrac{1629}{10 \cdot 54'6} = 2'983516 \ daN/mm^2$

$A = -T_1 + E\alpha(\theta_2 - \theta_1) + \dfrac{E \cdot a_R^2}{24} \cdot \dfrac{u_1^2 \cdot W^2}{T_1^2}$

$E = 7900 \ daN/mm^2$

$\alpha = 1'91 \cdot 10^{-5} \ C^{0-1}$

$W = \dfrac{p}{S} \rightarrow \dfrac{0'18521}{54'6} = 3'392124 \cdot 10^{-3}$

$u_1 = \dfrac{0'18521 + 0'18\sqrt{9'45}}{0'18521} = 3'9876105$

$A = -2'983516 + 7900(1'91 \cdot 10^{-5})(-10-(-15)) + \dfrac{7900 \cdot 15^2}{24} \cdot \dfrac{3'9876105^2 \cdot (3'392124 \cdot 10^{-3})^2}{2'983516^2}$

$A = -2'983516 + 0'75445 + 1'5223603 = -0'70673$

$B = 0'8522005$

$T_2 - 0'70673 T_2^3 - 0'8522005 = 0$

$T_2 = 1'251142 \ daN/mm^2 = T_{-10°C}$

$F_{-10°C} = T_{-10°C} \cdot S \Rightarrow F_{-10°C} = 1'251142 \cdot 54'6 = 68'3123 \ daN$ //

2º los Esfuerzos 1ºH para el apoyo de anclaje

HIPOTESIS: Viento

1.1 Cargas permanentes Verticales:

$a_1)$ $P_C = n \cdot p \left[\frac{a_1+a_2}{2} + \frac{F-\theta+V}{P_V'} \left(\frac{h_0-h_1}{a_1} + \frac{h_0-h_2}{a_2} \right) \right]$

$P_C = 2 \cdot 3 \cdot 0'66295 \left[\frac{80+90}{2} + \frac{971}{1'097785} \left(\frac{3}{80} + \frac{3}{90} \right) \right] = 587'318$ daN

$P_V' = \sqrt{p^2 + pv^2} \Rightarrow P_V' = \sqrt{0'66295^2 \cdot \left(\frac{7}{8}\right)^2} = 1'097785$

$p_{50} = 50 \left(\frac{Vv}{120} \right)^2 \cdot d \Rightarrow pv = 50 \cdot 0'0175 = \frac{7}{8}$

$a_2)$ Peso de conductores (para el apoyo fin de línea) =

$P_C = n \cdot p \left[\frac{a_1}{2} + \frac{F-\theta+V}{P_V'} \left(\frac{h_0-h_1}{15} \right) \right] = 1 \cdot 3 \cdot 0'18521 \left[\frac{15}{2} + \frac{971}{0'5964828} \cdot \frac{0}{15} \right] = 3 \cdot 0'18521 \cdot \frac{15}{2} =$

$P_V' = \sqrt{0'18521^2 + (60 \cdot 0'00995)^2} = 0'5964828$

$60 \cdot \left(\frac{Vv}{120} \right)^2 \cdot 1$

$P_C = 4'167225$ daN

$b_1)$ Peso de aisladores: anclaje: $P_{ais} = 2 \cdot 6 \cdot 5 = 60$ daN

Peso de aisladores: fin de línea: $P_{ais} = 3 \cdot 5 = 15$ daN

$c_1)$ Sobre conductor: $P_{conductor} = 31'6 \cdot 2 + 58'3 = 121'5$ daN

TOTAL 1.1 Cargas Permanentes Verticales: (V) = 787'985 daN (V) 1ºH

1.2 Esfuerzo del viento normal a la línea o en la dirección de la bisectriz del ángulo interno de la línea (T):

a) Sobre conductores $\angle A-180$ $F_V = \frac{a_1+a_2}{2} \cdot d \cdot q \cdot \cos\frac{\alpha}{2} = \frac{80+90}{2} \cdot 0'0175 \cdot 50 \cdot \cos\frac{20^\circ}{2}$

$F_V = 85'8617$ daN

Los factores de anudo $E_V = F_V \cdot (k_{11}+k_{12}+k_{13})$

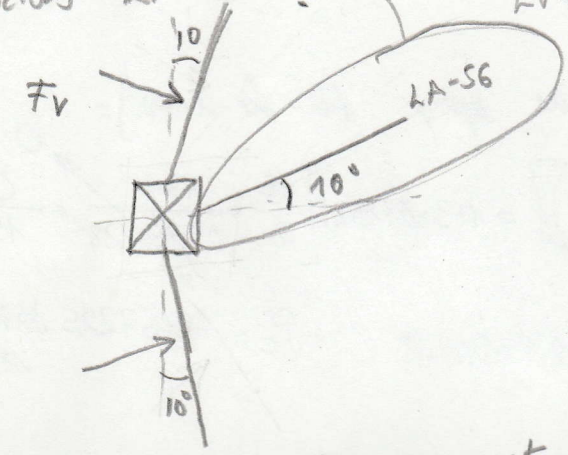
$K_1 = 1$ $\quad K_2 = \frac{13'36-1'8}{13'36} = 0'86527$

$K_3 = \frac{13'36-2\cdot 1'8}{13'36} = 0'730539$

$\rightarrow 2'595809$

$E_V = 85'8617 \cdot 2 \cdot (2'595809) = 445'7611824$ daN

a$_2$) Sobre conductores $\angle A-56$? $E_V = \frac{a_1}{2} \cdot d \cdot q \,(k_{11}+k_{12}+k_{13}) =$



b$_1$) Sobre aisladores : $E_{vais} = 2 \cdot$ cadenas $\cdot$ 2 circuitos $\cdot 2'1\,(2'595809) = 21'8048$ daN

b$_2$) Sobre aisladores (en fin de línea) $= 2'1 \cdot 2'595809 = 5'4511989$ daN

c) Sobre cruceta $= E_C = 8'5 \cdot (2'595809) = 22'06437$

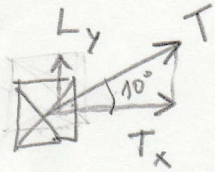
$E_C = F_C \cdot (k_{11}+k_{12}+k_{13})$ ($F_C = 8'5$; $2'595809$)

d) Resultante de ángulo $\Rightarrow R_T = 2 \cdot F_{-10°C+V} \cdot \operatorname{sen}\frac{\alpha}{2} \cdot (k_{11}+k_{12}+k_{13}) \cdot 2 =$

$F_{-10°C+V} = 971$ daN ; $\alpha = 20°$

$R_T = 2 \cdot 971 \cdot \operatorname{sen}\frac{20^\circ}{2} \cdot 2'595809 \cdot 2 = 1750'74214$ daN

e) Tracción cable $\angle A-56$ $T = F_{-10°} \cdot (k_{11}+k_{12}+k_{13}) \Rightarrow 683'1\,(2'595809) = 177'32$ daN



$T_x = 177'32 \cdot \operatorname{sen} 80° = 174'626$

$L_y = \sqrt{177'32^2 - 174'626^2} = 30'7919$ daN.

TOTAL 1.2 Esfuerzos producidos por el viento 2423'137 daN (H) 1H.

TOTAL 1H° $T = 787'985 + 5 \cdot 2423'137 = 12902'985$ daN

1.3 Desequilibrio de Tracciones (L)? $F\text{-}0+V \cdot (K_{11}+K_{12}+K_{13}) \cdot 2 =$

$971 \cdot (2'595809) \cdot 2 =$

2° HIPOTESIS =

2.1 Cargas Permanentes verticales: + Sobrecarga de Hielo (V):

a) Peso de conductores (apoyo de anclaje) $P_{CH} = n \cdot \left[P_H' \cdot \frac{a_1+a_2}{2} + F_H \left(\frac{h_0-h_1}{a_1} + \frac{h_0-h_2}{a_2} \right) \right]$

$P_{CH} = 2 \cdot 3 \cdot \left[1'416 \cdot \frac{80+90}{2} + 1200 \left(\frac{3}{80} + \frac{3}{90} \right) \right] = 1232'16$ daN //

a_2) Peso de cadenas (apoyo fin de linea) = $P_{CH} = 1 \cdot 3 \left[0'738545 \cdot \frac{15}{2} + 1200 \left(\frac{0}{15} \right) \right] = 2'2156$ daN //

b_1) Peso de grapas: $2 \cdot 6 \cdot 5 + 3 \cdot 5 = 60 + 15$ daN //

c) Peso cruceta = $2 \cdot 31'6 + 58'3 = 121'5$ daN //

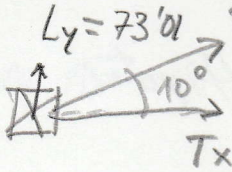
TOTAL 2.1 Cargas permanentes: 1430'87 daN

2.2 Resultante de Angulo F (T): $R_T = 2 \cdot F_H \cdot \operatorname{sen} \frac{\alpha}{2} (K_{11}+K_{12}+K_{13}) \cdot 2$

$F_H = 1200 = F\text{-}15°C+H$ $R_T = 2 \cdot 1200 \cdot \operatorname{sen} \frac{20°}{2} \cdot 2'595809 \cdot 2 = 2163'636$ daN //

2.3 Tracción (T) LA-56 $F\text{-}15+H = \frac{C_R}{C_S} = \frac{1620}{10} = 162$ daN

$F\text{-}0+H \cdot (K_{11}+K_{12}+K_{13}) \Rightarrow 162 \cdot (2'595809) = 420'52$ daN



$420'52 \cdot \operatorname{sen} 60° = 414'1323$

$\sqrt{420'52^2 - 414'1323^2} = 73'0166$

3 HIPOTESIS. 3.1 Cargas permanents Verticales

2.1 = 1430'87 daN

3.2 Desequilibrio de Tiros (L y T)

$$F_L = \frac{50}{100} \cdot F_{15+H} \cdot \cos\frac{\alpha}{2} \Rightarrow F_L = \frac{50}{100} \cdot 1200 \cdot \cos\frac{20^\circ}{2} = 590'8846 \text{ daN}$$

$$F_T = 1'5 \cdot 1200 \cdot \operatorname{sen}\frac{20^\circ}{2} = 312'566 \quad = \quad R_{DESEQ} = \sqrt{F_L^2 + F_T^2} \Rightarrow R = \sqrt{590'8846^2 + 312'566^2}$$

$$R_{DESEQ} = \sqrt{F_L^2 + F_T^2} \Rightarrow 668'46 \qquad F_{eq} = R_{DESEQ} \cdot (K_{11} + K_{12} + K_3) \cdot 2 \Rightarrow$$

$$F_{eq} = 668'46 \cdot 2'595809 \cdot 2 = 3470'4036 \text{ daN}$$

$$tg\,\delta = 3\,tg\frac{\alpha}{2} \Rightarrow 0'5289 = 27'877^\circ \qquad F_H = F_{eq} \cdot (\operatorname{sen}\delta + \cos\delta) \Rightarrow$$

$$\vec{F}_H = 3470'4036 \cdot (\operatorname{sen} 27'877^\circ + \cos 27'877^\circ) \Rightarrow 4690'35 \text{ daN} //$$

$$V + 5H = 1430'87 + 5 \cdot 4690'35 = 24882'62 \rightarrow C-7000 \text{ hasta } 36200$$

4 HIPOTESIS Rotura de Conductores

4.1 Cargas Permanents verticales

3.1 = 1430'87

TOTAL 4.1 = 1430'87 daN

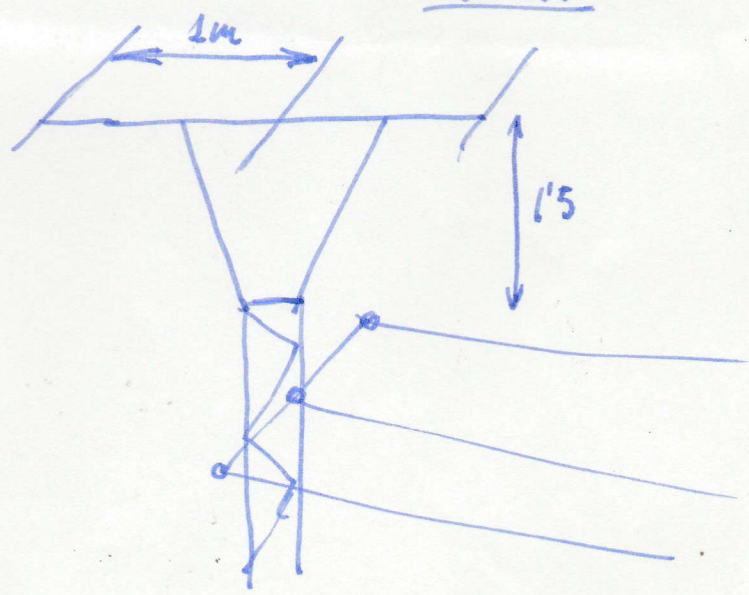
4.2 Esfuerzo por rotura de conductor Hipotesis normales. (1'5)

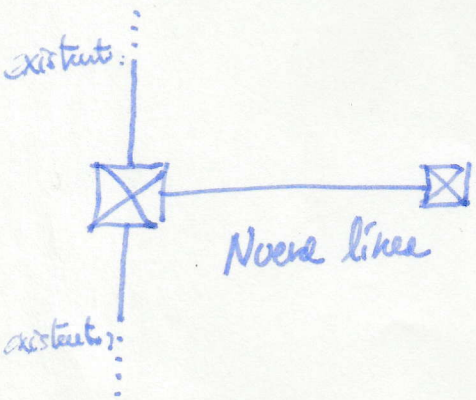
$$L_t = \frac{F_{15°C+H} \cdot \cos\frac{\alpha}{2} \cdot 1'5}{1'5} \overset{\text{Bueno}}{=} \frac{1200 \cdot \cos\frac{20^\circ}{2} \cdot 1'5}{1'5} = 1181'77 \text{ daN}$$

7.32- Dada una línea existente realizada con conductor 94-AL1/22-ST1A (LA-110) y situada en zona B, presenta un apoyo de anclaje C-3000 con cruceta bandeja plana (los conductores están situados a 1'5m por encima de cogolla de apoyo) de ~~100m~~ y los vanos están alineados siendo los vanos adyacentes al apoyo de 100m, y se ha realizado un tense para ambos conductores que determinan las siguientes fuerzas: $F_{-15+H} = 1079$ daN, $F_{-10°C+V} = 961$ daN y $F_{-10°C} = 689$ daN. En dicho apoyo se desea enhebrar una línea con el mismo tipo de conductor que forma un ángulo de 90° con la línea existente, siendo el primer vano de la línea derivada de 20 metros, enmarcado entre el apoyo de anclaje existente y un apoyo de principio de línea y se elige un tipo de tense tal que resulten los siguientes fuerzas: $F_{-15+H} = 720$ daN. $F_{10°+V} = 635$ daN y $F_{-10°C} = 608$ daN. Para hacer posible la derivación se dispone en cogolla del apoyo existente un perfil en L del que parte la línea derivada y la distancia entre conductores es de 1m, situados en un plano horizontal, además se sabe que se han empleado cadenas de aisladores con dos aisladores de vidrio por cadena. Determinar los esfuerzos resultantes según las distintas hipótesis y la idoneidad de mantener el apoyo C-3000. Fuerza del viento conductor $F_V = 91$ daN 2 aisladores por cadena. Peso conductor = 250 daN. El viento ejerce sobre un aislador 1 daN. El peso del aislador 1 es 3'5 daN

1 daN

1) 1ª HIPOTESIS: VIENTO:
2) 2ª HIPOTESIS: HIELO:
3) Desequilibrio de tracciones:
4) 4ª HIPOTESIS: Rotura de conductor:





* La línea nueva se deriva a la altura de cogolla

2ª HIPOTESIS VIENTO

1.1 Cargas Permanentes Verticales

a) Peso de Conductores: $P_C = 3 \cdot 0'42428 \cdot \left[\frac{100+100}{2} + \frac{961}{0'941070}\cdot\left(\frac{0}{100}+\frac{0}{100}\right)\right] = \frac{31821}{250}$ //

$P_V' = \sqrt{P^2 + PV^2}$ → $P_V' = \sqrt{0'42428^2 + \left(\frac{21}{25}\right)^2} = 0'941070$

$PV = 960\left(\frac{VV}{120}\right)^2 = 60 \cdot 0'014 = \frac{21}{25}$

$P_C = 0'42428 \cdot 3 \cdot \left(\frac{20}{2} + \frac{635}{0'941070}\cdot\frac{0}{109}\right) = 12'7284$ //

b) Peso aisladores $(2 \cdot 3 \cdot 2) 3'5 + (2-3)\cdot 3'5 = 63$ daN //

c) Peso cuerda = 250 daN //

TOTAL 1.1 (V) = 453'0124 daN.

1.2 Esfuerzo del viento normal o bitecho dirección:

a) Conductores $\frac{100+100}{2} \cdot 0'014 \cdot 60 \cdot \cos\frac{0°}{2}\,(K_1 + K_2 + K_3) = \frac{7686}{23}$ daN //

NO HAY EN LA DERIVACIÓN

$K_1 = \frac{4'6+1'5}{4'6} = \frac{61}{46}\cdot 3 = \frac{183}{46}$

b) Aisladores $1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 2 \cdot \left(\frac{183}{46}\right) = \frac{1098}{23}$ daN //

1 daN 2 aisladores/cadena

c) Sobre cuerda → 3 fases 2 cadenas $K_1 = \frac{4'6 \;\frac{1'5}{2}}{4'6} = \frac{107}{92}$

$91 \cdot \frac{107}{92} = \frac{9737}{92}$ daN //

d) Desequilibrio de una línea → $F_D \cdot 3 \Rightarrow 608 \cdot 3 = 1824$ //

608

No se rejecuta el F.A.

TOTAL 1.2 = (H) $\frac{9247}{4} = 2311'75$ daN

$V = 5 \cdot H \Rightarrow 453' + 5 \cdot 2311'75 = 12011'75 \rightarrow$ **C-3000**

2º HIPOTESIS HIELO:

$$3\left[1'09777 \cdot \frac{100+100}{2} + 1079\left(\frac{0}{100} + \frac{0}{100}\right)\right] = 329'333 \text{ daN}$$

$P_H' = P + P_h \Rightarrow P_H = 0'42428 + 0'18\sqrt{14} = 1'09777$

$0'18\sqrt{2m.}$

$3 \cdot 1'0977 \cdot \frac{20}{2} + = 32'931$

b) Aislados. $(2 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 3'5) + (2 \cdot 7) \cdot 3'5 = 63$

c) 250 // 2.1 TOTAL (V) = 675'261

2.3 Desequilibrio de fuerzas $F = \theta + H\,(K_{11} + K_{12} + K_{13}) \Rightarrow 720 \cdot 3 = 2160$

TOTAL. = 3 (H) = 2160

$V = 675'261 + 5 \cdot 2160 = 11475'26 =$ C-3000.

3º HIPOTESIS

3.1 → 2.1 → 675'261 (V)

3.2 Desequilibrio fuerzas linea existente

$F_L = \frac{50}{100} \cdot 1079 \cdot \cos\frac{0^\circ}{2} = 539'5$ $F_{eq} = \sqrt{539'5^2 + 0^2} =$

$F_T = 1'5 \cdot 1079 \cdot \text{sen}\frac{0^\circ}{2} = 0$ $R_{Deseq} = F_{eq}\,(K_{11} + K_{12} + K_{13}) \cdot (\text{sen}\,\theta + \cos\theta)$

$3\,tg\frac{\alpha}{2} = 0$ $R_{Deseq} = 539'5 \cdot \frac{183}{46} = 2146'3 =$ (L)

3.3 Desequilibrio de la línea mas (T) = 2160

3-720 = 2160 → $R = \sqrt{2146'3^2 + 2160^2} = 3045$

$tg = \frac{(T)}{(L)} = \frac{2160}{2146'3} = 45'182^\circ$

3H

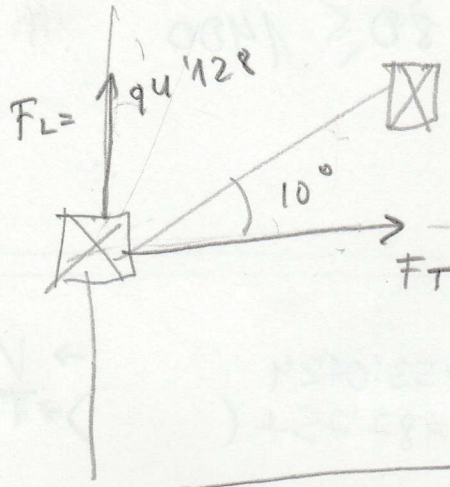
$3.1 = 2.1 = 675'261$

$3.2 =$ (linea existente) $F_L = 2146'3$ daN (L)

(nueva linea) se comporta como 50% o como 100%.

$F_T = \frac{50}{100} \cdot 720 \cdot \cos\frac{10°}{2} = 358'63$ $F_L = 1'5 \cdot 720 \cdot \operatorname{sen}\frac{10°}{2} = 94'128$

¡CAMBIO!



$F_T = 358'63$ (T) →

$F_{eq} = \sqrt{358'63^2 + 94'128^2} = \boxed{370'777 \text{ daN}}$

$R = \sqrt{2146'3^2 + 358'63^2} =$

$R = 2176'05$

$tg = \frac{358'63}{2146'3} = 9'486°$

$2176'05(\operatorname{sen} 9'486° + \cos 9'486°)$

$R_{desq} = 2504'92$

Alternativa $3 tg \frac{\alpha}{2}^{10°} = 14'706$

$370'777 \cdot (\operatorname{sen} 14'706° + \cos 14'706°)$

$R_{DESEQ} = 452'755$

$\sqrt{2146^2 + 452'7} = R$

$R = 2193'24$

$\frac{452'755}{2146'3} = 12°$

$2193'24(\operatorname{sen} 12° + \cos 12°)$

$R_{DES} = 2601$

$\frac{3000 \cdot 1'5}{1'2} = 3750$

< 3000 si

$R_{desq} = 3045 \cdot (\text{sen}\,\cancel{\delta} + \cos\cancel{\delta}) = 4306'2585$ Anomalo.

$45'182 \quad 45'182$

$$R_{sfuerz} = \frac{3000 \cdot 1'5}{1'2} = 3750 < \cancel{4306'25} \text{ NO CUMPLE}$$

4º). Rotura de conductores. de línea nueva

4.1

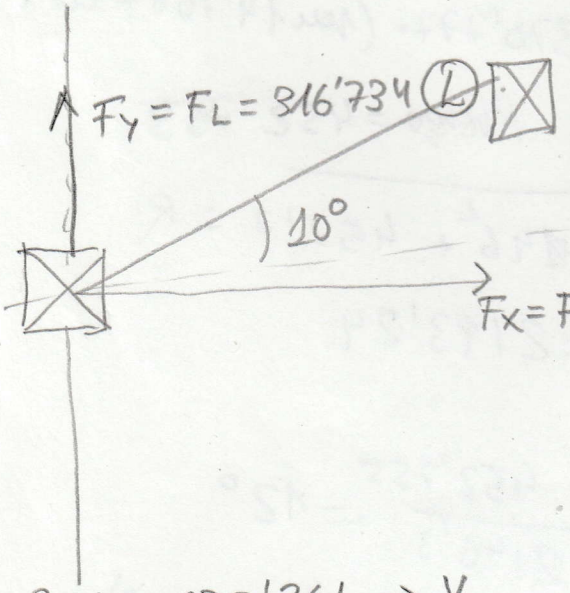
$3 \cdot 1 = 675'261$

$$4.2 = \frac{1079 \cdot \cos\cancel{\frac{0}{2}}^{\,1} \cdot 1}{1'5} \leq L_T \qquad 480 \leq 1400$$

1Hº

$1.1 = 453'0124 \rightarrow V$

$1.2 = 487'75 + (\quad) \rightarrow T$



Desequilibrio de nueva línea

$608 \cdot 3 = 1824$

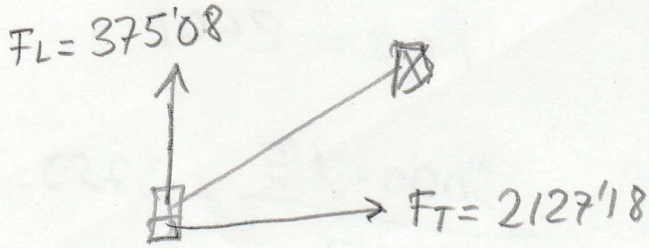
$F_X = F_T = 1796'289$ (H) $- T$

$3 \cdot 720 = 2160 \cdot \text{sen}\,80º$

$2.1 = 675'261 \rightarrow V$

$2.3 = (3 \cdot 720) \neq T$

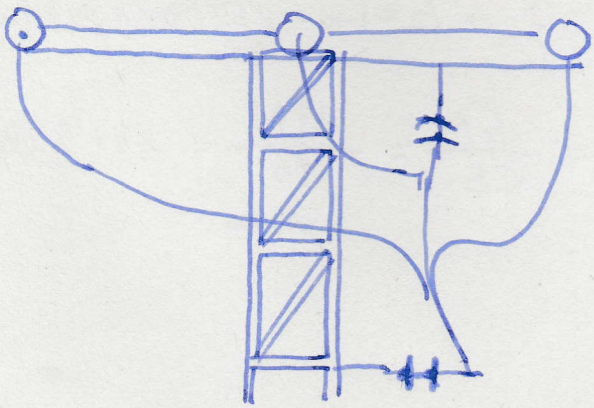
2Hº

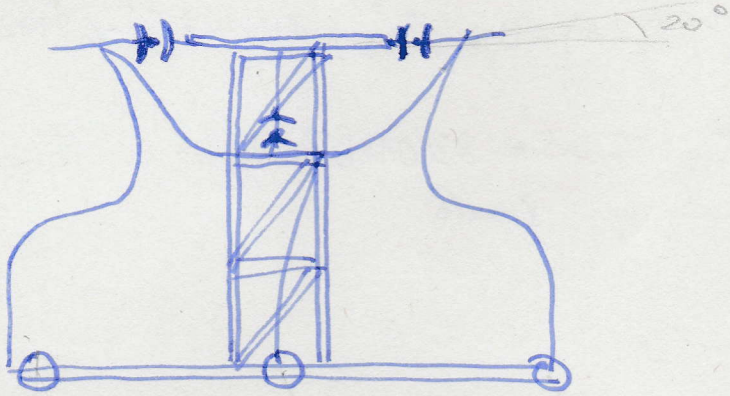


P72 Dada una línea de 20kV de simple circuito en zona B, se ha realizado con el conductor 117-AL3 (CCX-110-D), en dicha línea existe un apoyo de anclaje, y en el mismo se pretende realizar una derivación simple, ~~perpendicular~~ a la línea existente según la siguiente configuración:

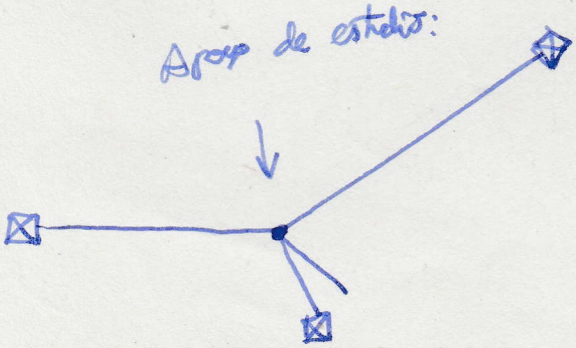
Se conoce que para la línea existente sufre un desvío de la traza de 20°, y se pretende hacer una derivación en el apoyo C-3000 con altura desde el suelo de 13'36, las fuerzas de los vanos reguladores adyacentes son de $F_{15+H} = 1200$ daN y $F_{-10+V} = 971$ daN, el desvío de la traza es de 20° y los vanos adyacentes son de 80 y 90 m estando el apoyo en el que se realiza la derivación a 3 metros por encima de los apoyos adyacentes de la línea existente. Sabemos que ~~los crucetas extremas~~ presentan un peso de 31'6 daN y la derivada 31'6 daN también: la distancia entre fases al apoyo eje es de 1'5 y se emplean aisladores compuestos con un peso de 5 daN y el viento ejerce 2'1 daN, peso de la cruceta con punto 8'5 daN.

La línea derivada se debe realizar con el conductor ~~47-AL1/8-ST1A~~ 56-AL3 (CCX-56-D) y el primer cantón se realiza con vano único de 15m hasta el apoyo de principio de línea, estando los conductores situados sensiblemente al mismo nivel en ambos apoyos y se debe emplear un coeficiente de seguridad para este conductor igual a 10.





Apoyo de estudio:



Determinar:

1) La fuerza a -10°C sin viento para la misma línea tendida:

2°) Los esfuerzos resultantes sobre el apoyo según la 1ª hipótesis.

3) Los esfuerzos resultantes sobre el apoyo según la 2ª hipótesis.

4°) Los esfuerzos resultantes sobre el apoyo según la 3ª hipótesis.

5°) Los esfuerzos resultantes sobre el apoyo según la 4ª hipótesis.

6) Validez del apoyo C-3000.

Condiciones iniciales: $\theta_1 = -15°C$ $m_1 = \frac{\rho + 0'18\sqrt{d(mm)}}{\rho}$ =

F-10]

Condiciones finales: $\theta_2 = -10°C$ m_2 = sin viento $= 1$

$$A = -T_1 + E \cdot \alpha (\theta_2 - \theta_1) + \frac{E \cdot d^2}{24} \cdot \frac{m_1^2 \cdot w^2}{T_1^2} \Rightarrow \qquad T_1 = \frac{\frac{1273}{54'6}}{10} = 3'247252 \text{ daN/mm}^2$$

$$A = -3'247252 + 6000\,(23'3 \cdot 10^{-5}) \cdot (-10 - (-15)) + \frac{6000 \cdot 15^2}{24} \cdot \frac{3'944454^2 \cdot (4'20421 \cdot 10^{-3})^2}{3'247252^2}$$

$$m_1 = \frac{0'22955 + 0'18\sqrt{14'10}}{0'22955} = 3'944454$$

$$w = \frac{P}{S} = \frac{0'22955}{54'6} = 4'204212454 \cdot 10^{-3} \qquad B = \frac{E \cdot d^2}{24} \cdot m_2^2 \cdot w^2 \Rightarrow$$

$$A = -1'0902241798 \qquad B = \frac{6000 \cdot 15^2}{24} \cdot 1 \cdot (4'20421 \cdot 10^{-3})^2 = 0'994240$$

$$T_2^2 (T_2 + A) = B \rightarrow T_2^3 - 1'0902418 T_2^2 - 0'994240 = 0 \rightarrow T_2 = T_{-10} = 1'5203666 \text{ daN/mm}^2.$$

$$F_{-10} = T_{-10} \cdot S = 83'0120 \text{ daN} \quad \text{(viento)} \qquad F_{-15+H} = \frac{CR}{CS} = \frac{1773}{10} = 177'3 \text{ daN.} \quad \text{(hielo)}$$

1ª HIPOTESIS: Viento

1.1 Cargas Permanentes Verticales:

a) Peso de conductores:
1

$$P_c = 3 \cdot 0'43066 \left[\frac{80+90}{2} + \frac{971}{1'0248746} \cdot \left(\frac{3}{80} + \frac{3}{90} \right) \right] = 196'52286 \text{ daN} //$$

$$P_v' = \sqrt{p^2 + pv^2} \rightarrow P_v' = \sqrt{0'43066^2 + \left(\frac{93}{100}\right)^2} = 1'0248746$$

$$pv = q_{50} \cdot d = \frac{120}{VV} \rightarrow pv = 50 \cdot 0'0186 = \frac{93}{100}$$

$$q_{50} = 50 \cdot \left(\frac{VV}{120}\right)^2 \rightarrow d \geq 16 \text{ mm}$$

a_2) Peso de conductores nueva línea: $P_c = 3 \cdot 0'22955 \left[\frac{15}{2} + \frac{971}{0'87659} \cdot \left(\frac{0}{15} \right) \right]$

$$P_v' = \sqrt{p^2 + pv^2} \quad P_v' = \sqrt{0'22955^2 + (60 \cdot 0'0141)^2} = 0'87659 \text{ daN} \qquad P_c = 5'1648 \text{ daN} //$$

b) Peso de distancias línea existente $5 \cdot 6 = 30$ daN
2

b_2) Peso de distancias línea nueva $5 \cdot 3 = 15$ daN

c) Peso de cruceta = 50 daN

c_2) Peso cruceta derivación = 50 daN //

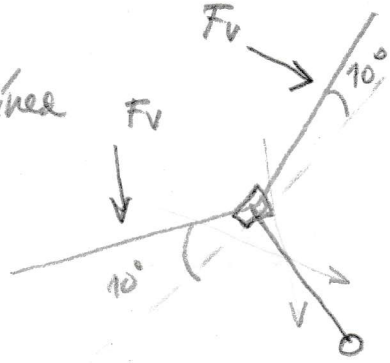
TOTAL 1.1 346'68766 daN (V) ΔH

1.2 Esfuerzo del viento normal a la línea o en la dirección de la bisectriz del ángulo interno de la línea T:

d) Sobre conductores: $Z_{sv} = \left(\frac{a_1 + a_2}{2} \cdot d \cdot q \cdot \cos\frac{\alpha}{2} \right) \cdot (K_{11} + K_{12} + K_{13}) =$
1

$$\left(\frac{80+90}{2} \cdot 0'01860 \cdot 50 \cdot \cos\frac{20^\circ}{2} \right) \cdot 3 = 233'547 \text{ daN} \qquad \text{FACTORES } (1).$$

a_2) Sobre conductores: nueva línea



La misma línea que el viento · cos 80°

Se determina que el viento no es la línea, pero

Se calcula normal a la línea mera, por si el esfuerzo fuera desfavorable

$$E_{rf} = \frac{15}{2} \cdot 0'0141 \cdot 60 \cdot (K_{11}+K_{12}+K_{13}) = 16'47 \text{ daN} \cdot \cos 80° = 2'86 \text{ daN}$$

$\rightarrow 2'5958$

$$K_{11} = K_{12} = K_{13} = \frac{H_{En} - H_a}{H_{En}} = \frac{13'36 - 1'8}{13'36} = 0'86526$$

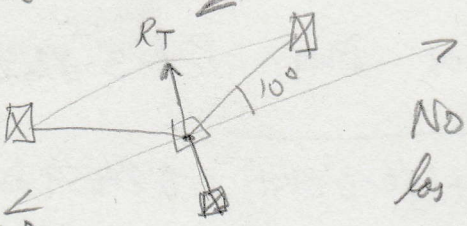
b) Sobre aisladores. la $\Rightarrow$ $2'1 \cdot 6 \cdot 3 = 37'8$ daN //

sobre la línea mera, la cruceta tapa la sección de los mismos:

c) Sobre cruceta: $8'5 \cdot (3) = 25'5$ //

d) Resultante de ángulo $2 \cdot 971 \cdot \text{sen} \frac{10°}{2} = 337'22 \cdot 3 = 1011'67$ daN

e) Resultante de mera línea



No se restan, se toman las más desfavorables.

$83'0120 \cdot (2'5958) = 215'48$

Caso 2. MT. 2.21.69

TOTAL 1.2 Esfuerzos (T): 1308'517 (H) 1H

$$T = 346'68 + 5 \cdot 1308'517 = 6889'265 > 10600 \Rightarrow C-2000$$

2ª HIPOTESIS

2.1 Cargas Per-Verticales: $3 \cdot \left[1'20695 \cdot \frac{80+90}{2} + 1200 \cdot \left(\frac{3}{80} + \frac{3}{90}\right)\right] = 562'777$ //

$$P_H' = 0'43066 + 0'18\sqrt{18'6} = 1'20695$$

$$P_{C_H} = 3 \cdot \left[0'9055 \cdot \frac{15}{2} + \cancel{1200 \cdot \left(\frac{0}{15}\right)}^{0}\right] = 20'3738 \text{ //}$$

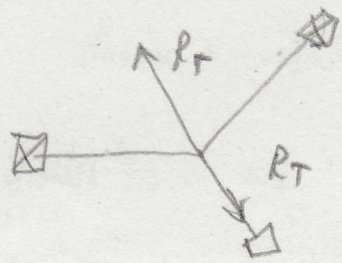
$$P_H' = 0'22955 + 0'18\sqrt{14'1} = 0'9055$$

b) Peso de aisladores: $5 \cdot 6 = 30 + 5 \cdot 3 = 15 = 45$

c) Peso cruceta = 100

TOTAL 2.1 (V) $\Rightarrow$ 727'3738 (V) 2H

2.2 Resultante de ángulo T



$$R_T = \left(2 \cdot 1200 \cdot \text{sen} \frac{20°}{2}\right) \cdot 3 = 1250'26$$

Una línea de AT a 66kV doble circuito se ha realizado según el MT 2.21.52 con el conductor 147-AL1/34-ST1A (antiguo LA-280 y disome por una B. Los apoyos de celosía son de 16 metros (fuste con cabeza) con una profundidad del empotramiento del apoyo de 2'33m y se ha dispuesto un ensanchamiento de 1'2m para hacer posible una distancia entre ~~conductores~~ crucetas de 2'4m y con un peso de 66'34 daN y el viento ejerce en el centro del ensanchamiento un peso de 57'86 daN. Para un apoyo de ángulo con cadenas de suspensión en el que la traza de la línea sufre un desvío de 40° con vanos adyacentes de 100 y 110m y que este apoyo esté situado 3 metros por encima de los vanos contiguos, se han utilizado unas crucetas que presentan un peso de 94'5 daN y ~~la superficie ofrecida al viento es de~~ 7 daN y la superficie ofrecida al viento es de 0'0615 m² con vanos de regulación de los tramos adyacentes de 100m y 110m y sus fuerzas son $F_{-15C+H} = 1200$ daN $F_{-10+V} = 983$ daN. Determinar los esfuerzos resultantes según las distintas hipótesis y el tipo de apoyo a emplear:

1) Hipótesis de viento
2) Hipótesis hielo
3) Hipótesis de desequilibrio

$F_{-10°C+V} = 983$ daN

$$d_V = \frac{100+110}{2} = 105\,m$$

1) Hipótesis de viento $\quad P_V' = \sqrt{(0'66295)^2 + (50 \cdot 0'0175)^2} = 1'097783$

A) Peso de conductor $\quad P_C = n \cdot p \cdot \left[d_V + \frac{F_{-10C+V}}{P_V'} \cdot \left(\frac{h_0 - h_1}{a_1} + \frac{h_0 - h_2}{a_2} \right) \right]$

$$P_C = 2 \cdot 3 \cdot 0'66295 \cdot \left(105 + \frac{983}{1'097783} \cdot \left(\frac{400-397}{100} + \frac{400-397}{110} \right) \right] = 621'652271 \text{ daN}$$

B) Peso de crucetas: $P = 66'34 \text{ daN} + 3 \cdot 94'5 = 349'84$ daN

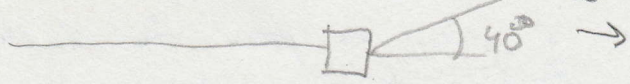
C) Peso de aisladores: $P_{AIS} = 6 \cdot 7 = 42$ daN

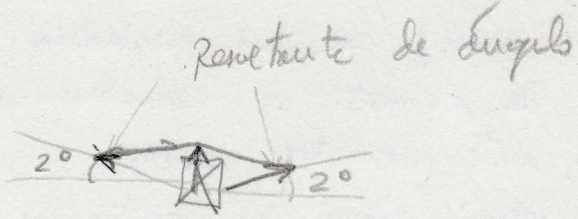
CARGAS PERMANENTES VERTICALES 3.1.1 = 1013'5 daN

1.2 Esfuerzos horizontales producidos por el viento:

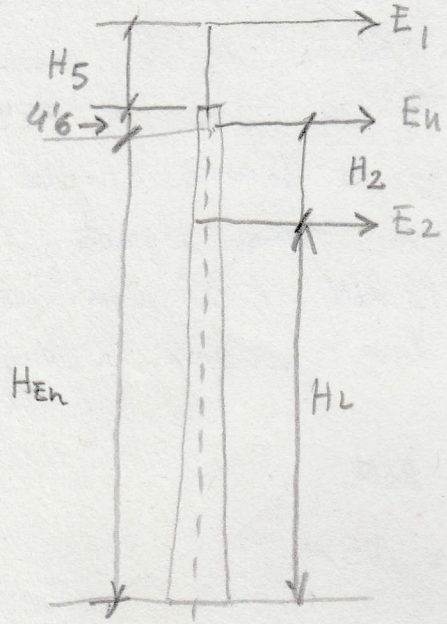
A) Sobre conductores:

F_V (por fase y circuito) $= a_V \cdot p_V \cdot d \cdot \cos\frac{\beta}{2}$





$F_V = 105 \cdot 50 \cdot 0'0175 \cdot \cos\frac{4°}{2} = 91'819$ daN , referido a cogolla.



- Esfuerzos por encima de cogolla

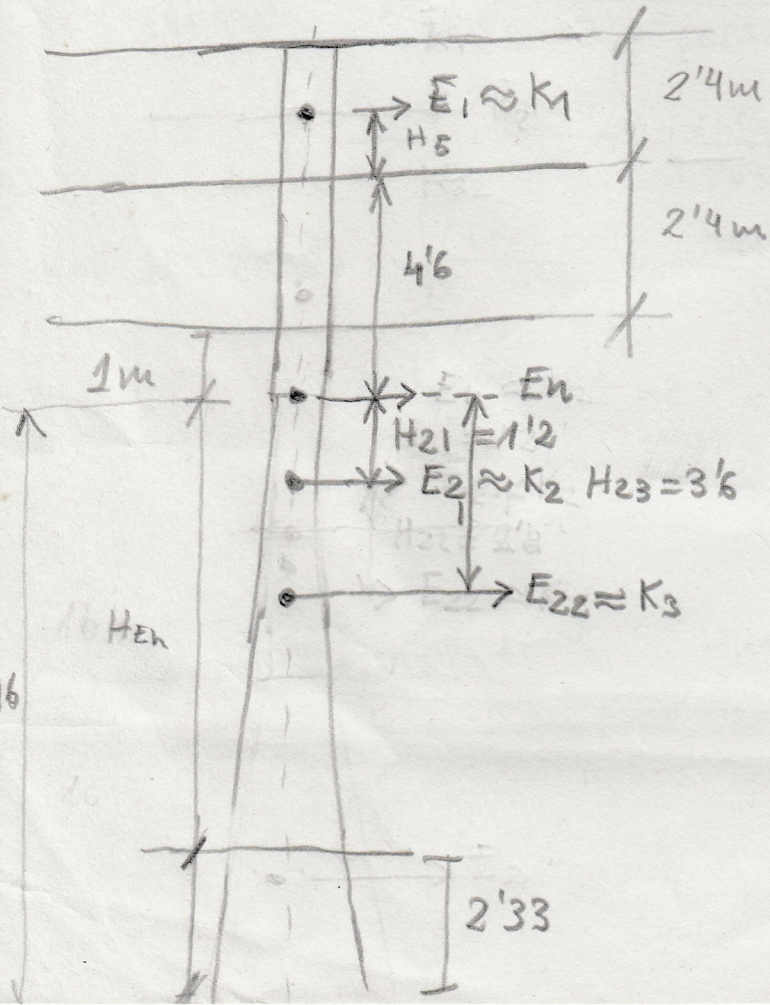
$E_n \cdot 4'6 \geq E_1 (4'6 + H_4 + H_5)$

$K_1 = \frac{4'6 + H_5}{4'6} = \frac{4'6 + 1'2}{4'6} = 1'26086$

- Esfuerzos por debajo de cogolla

E_n y $E_2 \rightarrow E_n H_{En} \geq E_2 (H_{En} - H_2) = E_2 \cdot H_L$

$K_2 = \frac{H_{En} - H_2}{H_{En}} = \frac{H_L}{H_{EN}}$



$H_{En} = 16 - 2'33$

$H_{21} = 1'2$

$K_2 = \frac{16 - 2'33 + 1'2 - 2'4}{16 - 2'33} =$

$K_3 = \frac{16 - 2'33 + 1'2 - 2 \cdot 2'4}{16 - 2'33} =$

CALCULO MECANICO DE CONDUCTORES:

CALCULO DEL COEFICIENTE DE SOBRECARGA DEL CONDUCTOR

1) Conductor emplazado en línea de 3ª categoría:

Calcular el coeficiente de sobrecarga, correspondiente a la tracción máxima admisible, para un conductor LA 56, situado en las tres zonas, si la tensión nominal de la línea es de 15 kV.

Características del conductor:

- Tipo: LA-56
- Peso conductor: $p = 0'186$ daN/m
- Diámetro: $\phi = 9'45$ mm $= d$

A) Sobre carga de viento para zonas A, B, C

$$m = \frac{P}{p} = \frac{\sqrt{p^2 + pv^2}}{p} = \frac{\sqrt{p^2 + \left(q_{60} \cdot \left(\frac{V_v}{120}\right) \cdot d\right)^2}}{p} = \frac{\sqrt{0'186^2 + \left(60 \cdot \left(\frac{120}{120}\right)^2 \cdot 9'45 \cdot 10^{-3}\right)^2}}{p} = \frac{\sqrt{0'186^2 + 0'567^2}}{0'186}$$

$$\frac{0'5967}{0'186} = 3'21.$$

B) Sobrecarga de hielo para zona B

$$m = \frac{P}{p} = \frac{p + 0'18\sqrt{d}}{p} = \frac{0'186 + 0'18\sqrt{9'45}}{0'186} = \frac{0'739}{0'186} = 3'97$$

C) Sobrecarga de hielo para zona C

$$m = \frac{P}{p} = \frac{p + 0'36\sqrt{d}}{p} = \frac{0'186 + 0'36\sqrt{9'45}}{0'186} = \frac{1'293}{0'186} = 6'95$$

Conductor empleado en línea de categoría especial:

Calcular el coeficiente de sobrecarga correspondiente a la tracción máxima admisible, para un conductor LA-280 situado en las tres zonas, si la tensión nominal de la línea es de 220 kV.

Características del conductor:

- Tipo: LA 280
- Peso propio = $p = 0'959$
- Diámetro = $d = 21'8$ mm

a) Sobrecarga de viento para zonas A, B y C

$$m = \frac{P}{p} = \frac{\sqrt{p^2 + pv^2}}{p} = \frac{\sqrt{0'959^2 + \left(50 \cdot \left(\frac{140}{120}\right)^2 \cdot 21'8 \cdot 10^{-3}\right)^2}}{0'959} = \frac{\sqrt{0'959^2 + 1'484^2}}{0'959} = \frac{1'766}{0'959}$$

$$m = 1'84$$

b) Sobrecarga combinada de hielo y viento para zona B.

El espesor del manguito de hielo vale:

$$e_H = -\frac{d}{2} + \sqrt{\frac{d^2}{4} + \frac{240\sqrt{d}}{\pi}} \Rightarrow -\frac{21'8}{2} + \sqrt{\frac{21'8^2}{4} + \frac{240\sqrt{21'8}}{\pi}} = 10'9 \text{ mm}$$

$$d^* = d + 2 \cdot e_H$$

El coeficiente de sobrecarga vale:

$$m = \frac{P}{p} = \frac{\sqrt{\left(p + 0'18\sqrt{d}\right)^2 + (g \cdot d^*)^2}}{p} = \frac{\sqrt{\left(0'959 + 0'18\sqrt{21'8}\right)^2 + \left(50 \cdot \left(\frac{66}{120}\right)^2 \cdot \left(21'8 + 2(10'9 \cdot 10^{-3})\right)\right)^2}}{0'959}$$

$$m = \frac{\sqrt{1'799^2 + 0'545^2}}{0'959} = \frac{1'88}{0'959} = 1'96$$

Conductor empleado en línea de categoría especial:

Calcular el coeficiente de sobrecarga correspondiente a la tracción máxima admisible, para un conductor LA-280 situado en las tres zonas, si la tensión nominal de la línea es de 220 kV.

Características del conductor:

- Tipo: LA 280
- Peso propio = $p = 0'959$
- Diámetro = $d = 21'8$ mm

a) Sobrecarga de viento para zonas A, B y C

$$m = \frac{P}{p} = \frac{\sqrt{p^2 + pv^2}}{p} = \frac{\sqrt{0'959^2 + \left(50 \cdot \left(\frac{140}{120}\right)^2 \cdot 21'8 \cdot 10^{-3}\right)^2}}{0'959} = \frac{\sqrt{0'959^2 + 1'484^2}}{0'959} = \frac{1'766}{0'959}$$

$$m = 1'84$$

b) Sobrecarga combinada de hielo y viento para zona B.

El espesor del manguito de hielo vale:

$$e_H = -\frac{d}{2} + \sqrt{\frac{d^2}{4} + \frac{240\sqrt{d}}{\pi}} \Rightarrow -\frac{21'8}{2} + \sqrt{\frac{21'8^2}{4} + \frac{240\sqrt{21'8}}{\pi}} = 10'9 \text{ mm}$$

$$d^* = d + 2 \cdot e_H$$

El coeficiente de sobrecarga vale:

$$m = \frac{P}{p} = \frac{\sqrt{(p + 0'18\sqrt{d})^2 + (q \cdot d^*)^2}}{p} = \frac{\sqrt{\left(0'959 + 0'18\sqrt{21'8}\right)^2 + \left(50 \cdot \left(\frac{60}{120}\right)^2 \cdot \left(21'8 + 2\left(10'9 \cdot 10^{-3}\right)\right)\right)^2}}{0'959}$$

$$m = \frac{\sqrt{1'799^2 + 0'545^2}}{0'959} = \frac{1'88}{0'959} = 1'96$$

c) Sobrecarga acumulada de hielo y viento para zona C:

El espesor del manguito de hielo vale:

$$e_A = -\frac{d}{2} + \sqrt{\frac{d^2}{4} + \frac{480\sqrt{d}}{\pi}} = -\frac{21'8}{2} + \sqrt{\frac{21'8^2}{4} + \frac{480\sqrt{21'8}}{\pi}} = 17'9 \text{ mm}$$

El coeficiente de sobrecarga vale:

$$M = \frac{P}{p} = \frac{\sqrt{(p + 0'36\sqrt{d})^2 + (760 \cdot d^*)^2}}{p} = \frac{\sqrt{(0'959 + 0'36\sqrt{21'8})^2 + \left(50 \cdot \left(\frac{60}{120}\right)^2 \cdot (21'8 + 2(17'9 \cdot 10^{-3}))\right)^2}}{0'959}$$

$$M = \frac{\sqrt{2'64^2 + 0'72^2}}{0'959} = \frac{2'73}{0'959} = 2'85.$$

COMPARACIÓN DE LOS MODELOS DE LA CATENARIA, PARÁBOLA Y EL MÉTODO DE TRUXÁ EN UN VANO DESNIVELADO.

Se pretende establecer el cálculo mecánico de un conductor LA-280 en una catenaria de 132kV, empleada a una altitud de 600m, para un vano cuya distancia horizontal entre apoyos es de 350m y con un desnivel de 100m, utilizando las expresiones de la catenaria, parábola, y el método Truxá.

Características del conductor: $S = 281'1\ mm^2$

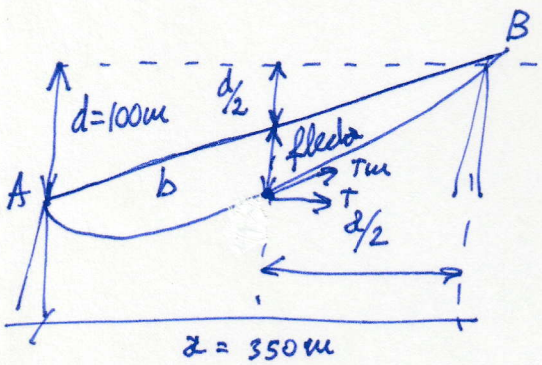
$d = 21'8\ mm$

$p = 0'959\ daN/m$

$E = 7556\ daN/mm^2$

$\alpha = 18'9 \cdot 10^{-6}\ ºC^{-1}$

$\sigma_{rot} = C_R = 8'59\ daN.$



Para comparar los resultados obtenidos por los tres métodos, se procederá a obtener el valor de la tracción en el conductor y la flecha a una temperatura de 20ºC, partiendo de la hipótesis de tracción máxima admisible con sobrecarga de hielo, establecida por RLAT en el apartado 3.2.1 de la ITC LAT 07.

La condición impuesta en el RLAT, correspondiente a la hipótesis de tracción máxima, es que no ha de superarse en el conductor, la carga de rotura dividida por un coeficiente de 2'5 con sobrecarga de hielo en zona B, a la temperatura de -15ºC.

La tracción máxima se da en el punto más elevado del cable (T_B) siendo la tracción en el punto medio del vano (T_m), la calculada según la expresión siguiente:

$$T_m = \frac{1}{4} \cdot \left[2 \cdot T_B - p \cdot d + \sqrt{(p \cdot d - 2 \cdot T_B)^2 - 2 \cdot p^2 \cdot b^2} \right]$$

donde los distintos términos que intervienen son:

(p)= peso aparente del conductor (peso propio más sobrecarga) en daN/m

$$P = p + ph = p + 0'18\sqrt{d} = 0'959 + 0'18\sqrt{21'8} = 1'8 \text{ daN/m}$$

(b)= distancia entre los puntos A y B, $= \sqrt{350^2 + 100^2} = 364$ m

$$T_B = \frac{C_R}{2'5} = \frac{8459}{2'5} = 3383'6 \text{ daN}$$

(d)= desnivel del vano, $d = 100$ m

Por lo que el valor de Tm es:

$$Tm = \frac{1}{4} \cdot \left[2 \cdot \frac{8459}{2'5} - 1'8 \cdot 100 + \sqrt{\left[1'8 \cdot 100 - 2 \cdot \frac{8459}{2'5} \right]^2 - (2 \cdot 1'8^2 \cdot 364^2)} \right] = 3277'2 \text{ daN}$$

La componente horizontal de la tracción T, correspondiente al valor de Tm, viene dada por:

$$T = Tm \cdot \frac{a}{b} = 3277'2 \cdot \frac{350}{364} = 3151'15 \text{ daN}$$

Según la hipótesis de hielo este valor de la tracción no ha de superarse a la temperatura de -15°C con un coeficiente de sobrecarga de:

$$m = \frac{P}{p} = \frac{1'8}{0'959} = 1'877$$

La flecha que se produce en estas condiciones es:

$$f = \frac{b^2 \cdot p}{8 \cdot Tm} = \frac{364^2 \cdot 1'8}{8 \cdot 3277'2} = 9'09 \text{ m}$$

Resolución mediante las ecuaciones de la catenaria:

La longitud del hilo dada por la expresión (3)

$$l = \sqrt{d^2 + 2h^2 \left(ch\left(\frac{a}{h}\right) - 1 \right)}$$

La ecuación de cambio de condiciones se expresa mediante la relación:

$$l_2 - l_1 = l_1 \cdot \left[\alpha \cdot (\theta_2 - \theta_1) + \frac{1}{S \cdot E} \cdot (Tm_2 - Tm_1) \right]$$

Para estimar la deformación elástica del conductor como consecuencia de las diferencias de tracciones entre las condiciones inicial y final se toma la tracción en el punto medio del vano, ya que para vanos desnivelados dicha tracción representa mucho mejor la tracción media a la que está sometido el conductor a lo largo del vano, que la tracción horizontal. Por ejemplo, en el caso de vanos muy desnivelados, en los que el vértice de la curva (catenaria) se sitúa fuera del vano, la tracción del conductor es superior a la componente horizontal en todos sus puntos.

Sustituyendo los valores de las longitudes para cada uno de los estados queda:

$$\sqrt{d^2+2\cdot h_2^2\cdot\left(ch\left(\frac{a}{h_2}\right)-1\right)}-\sqrt{d^2+2\cdot h_1^2\cdot\left(ch\left(\frac{a}{h_1}\right)-1\right)}=$$

$$\sqrt{d^2+2h_1^2\cdot\left(ch\left(\frac{a}{h_1}\right)-1\right)}-\left[\alpha(\theta_2-\theta_1)+\frac{1}{S\cdot E}\cdot(T_2-T_1)\cdot\frac{b}{a}\right]$$

Siendo: a = vano en metros = 350m

d = desnivel del vano = 100m

Tm_1 = 3277'2 daN, tracción en el punto medio del vano, correspondiente al estado inicial del conductor.

$T_1 = Tm_1\cdot\frac{a}{b}$ = 3151'15 daN, tracción horizontal en el vano, correspondiente al estado inicial del conductor.

p_1 = 1'8 daN/m, peso aparente del conductor correspondiente al estado inicial.

$h_1=\frac{T_1}{p_1}=\frac{3151'15}{1'8}$ = 1750'63 m el parámetro de la catenaria correspondiente al estado inicial del conductor.

θ_1 = temperatura del conductor en el estado inicial = -15°C

α = coeficiente de dilatación lineal del conductor en $C^{\circ-1}=18'9\cdot10^{-6}\,°C^{-1}$

E = Módulo de elasticidad del conductor en daN/mm² = 7556 daN/mm²

T_{m_2} = tracción en el punto medio del vano, correspondiente al estado final del conductor daN.

$T_2 = T_{m_2} \cdot \frac{a}{b}$, tracción horizontal en el vano, correspondiente al estado final del conductor, en daN.

$h_2 = \frac{T_2}{p_2}$ y el parámetro de la catenaria correspondiente al estado final del conductor, en metros.

$\theta_2 = 20°C$, temperatura del conductor en el estado final:
$p_2 = 0'959$ daN/m, peso del conductor correspondiente al estado final.

Resolviendo la ecuación de cambio de condiciones se obtiene un valor de la tracción horizontal en el conductor:

T_2 (catenaria) = 1704'9 daN

Utilizando la siguiente expresión para la flecha queda:

$$f_{catenaria} = \frac{T_{m_2}}{p_2}\left[ch\left(\frac{a}{2h_2}\right)-1\right] = \frac{T_2 \cdot \frac{b}{a}}{p_2} \cdot \left[\cosh\left(\frac{a}{2 \cdot \frac{T_2}{p_2}}\right)-1\right] = 8'97 m$$

Resolución mediante el método de Truxá

Utilizando la ecuación de cambio de condiciones, se calculará la tracción y la flecha en el vano para una temperatura de 20°C

$t_{m_2}^2 \cdot (t_{m_2} + A) = B$ donde:

$A = \alpha \cdot E \cdot (\theta_2 - \theta_1) + K \rightarrow$ siendo $K = \frac{a^2 \cdot E \cdot w^2 \cdot m_1^2}{24 \cdot t_{m_1}^2} - t_{m_1}$; $B = \frac{a^2 \cdot E \cdot w^2 \cdot m_2^2}{24}$

siendo: a = vano en metros = 350m
w = peso propio del conductor por unidad de volumen, en daN/m.mm².

$$w = \frac{p}{S} = \frac{0'959 \text{ daN/m}}{281'1 \text{ mm}^2} = 0'0034 \text{ daN/m.mm}^2$$

t_{m_1} = tensión por unidad de superficie, en el punto medio del vano correspondiente al estado inicial del conductor, en daN/mm²

$$t_{m_1} = \frac{T_M}{S} = \frac{3277'2}{281'1} = 11'66 \text{ daN/mm}^2$$

θ_1 = temperatura del conductor en el estado inicial = -15°C

m_1 = coeficiente de sobrecarga del conductor en el estado inicial = 1'877

α = coeficiente de dilatación lineal del conductor en $°C^{-1} = 19'9 \cdot 10^{-6} °C^{-1}$

E = módulo de elasticidad del conductor en daN/mm² = 7556 daN/mm²

t_{m_2} = tensión por unidad de superficie, en el punto medio del vano, correspondiente al estado final del conductor, en daN/mm².

θ_2 = temperatura del conductor en el estado final en °C.

m_2 = coeficiente de sobrecarga del conductor en el estado final.

Los parámetros correspondiente al estado inicial serán:

t_{m_1} (daN/mm²)	θ_1 °C	m_1
11'66	-15°C	1'877

Partiendo de las condiciones del estado inicial con sobrecarga de hielo y empleando la ecuación de cambio de condiciones, se obtendrá la tracción a 20°C sin sobrecarga.

t_{m_2} (daN/mm²)	θ_2 °C	m_2
?	20°C	1

Resolviendo la ecuación de cambio de condiciones se obtiene un valor de la tracción en el conductor:

$$t_{m_2} = 6'308 \text{ daN/mm}^2$$

$$T_{m_2} = t_{m_2} \cdot S = 6'308 \cdot 281'1 = 1773'1 \text{ daN}$$

La componente horizontal de la tracción vale:

$$T_2 (T_{HORIZ}) = T_{m_2} \cdot \frac{a}{b} = 1773'1 \cdot \frac{350}{364} = 1705 \text{ daN}$$

La flecha que se produce en estas condiciones es:

$$f(T_{HORIZ}) = \frac{b^2 \cdot p}{8 \cdot T_{m_2}} = \frac{364^2 \cdot 0'959}{8 \cdot 1773'17} = 8'96 \text{m}$$

Resolución utilizando la parábola considerando el vano a nivel

Utilizando la ecuación de cambio de condiciones, se calculará la tracción y la flecha en el vano para una temperatura de 20°C.

$$t_2^2 \cdot (t_2 + A) = B \qquad \text{donde:} \quad A = \alpha \cdot E \cdot (\theta_2 - \theta_1) + k \,, \quad K = \frac{a^2 \cdot E \cdot w^2 \cdot m_1^2}{24 \cdot t_1^2} - t_1$$

$$B = \frac{a^2 \cdot E \cdot w^2 \cdot m_2}{24}$$

$$w = \frac{p}{S} = \frac{0'959 \text{ daN/m}}{281'1 \text{ mm}^2} = 0'0034 \text{ daN/m·mm}^2$$

t_1 = componente horizontal de la tracción por unidad de superficie, correspondiente al estado inicial del conductor, en daN/mm²

$$t_1 = \frac{T}{S} = \frac{3151'15}{281'1} = 11'21 \text{ daN/mm}^2 \,, \quad \theta_1 = -15°, \quad m_1 = 1'877 \,, \quad \alpha = 18'9 \cdot 10^{-6}$$

Los parámetros correspondientes al estado inicial serán:

t_1	θ_1	m_1
11'21	-15°C	1'877

Partiendo de las condiciones del estado inicial con sobrecarga de hielo y empleando la ecuación de cambio de condiciones, se obtendrá la tracción a 20°C sin sobrecarga:

t_2	θ_2 °C	m_2
?	20°C	1

Resolviendo la ecuación de cambio de condiciones se obtiene un valor de la tracción en el conductor.

$$t_2 = 6'019 \text{ daN/mm}^2$$

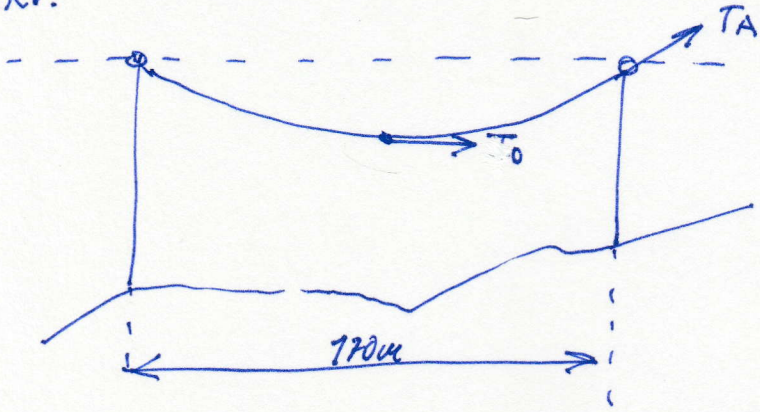
$$T_2 \text{ (Parábola)} = t_2 \cdot S = 6'019 \cdot 281'1 = 1691'9 \text{ daN} \;//$$

La flecha que se produce en estas condiciones es:

$$f \text{ (Parábola)} = \frac{a^2 \cdot p}{8 \cdot T_2} = \frac{350^2 \cdot 0'959}{8 \cdot 1691'9} = 8'68 \text{ m} \;//$$

EJEMPLO DE CALCULO MECANICO DE VANO A NIVEL

Establecer el calculo mecanico de un conductor LA-56, instalado en una zona de 600m de altitud, tendido en un solo vano a nivel de longitud 170m, suponiendo que en la zona se considera un viento excepcional de 130 km/h y la tension nominal de la linea es de 15kV.



Caracteristicas del conductor son:

$S = 54'6\ mm^2$

$\phi = 9'45\ mm$

$p = 0'1856\ daN/m$

$E = 7949\ daN/mm^2$

$\alpha = 19'1 \cdot 10^{-6}\ °C^{-1}$

$CR = 1639\ daN$

A) Hipotesis de traccion máxima:

El RLAT considera, para el calculo de la traccion máxima admisible, tres hipótesis, hielo, viento y viento excepcional. Se comenzará considerando que la hipotesis mas desfavorable sea la de hielo y comprobando posteriormente, mediante la ecuación de cambio de condiciones, que la traccion obtenida para las otras dos hipotesis resulta menor. En caso de obtener una traccion mayor para alguna de estas dos hipotesis habria que volver a iniciar el calculo partiendo de la hipótesis que da una traccion mayor.

Según la hipotesis de hielo en la zona B, no ha de soportar en el cable una traccion superior a la carga de rotura dividida por un coeficiente de seguridad de 2'5, con sobrecarga de hielo. Apartado 3.1.3 ITC-LAT 07 a la temperatura de -15°C.

En lineas de distribución de media tension (15kV, 20kV), con objeto de no tener que exigir la hipotesis de rotura de conductores en los apoyos de alineación y ángulo (Apartado 3.5.3 ITC LAT 07), se utilizará un coeficiente de seguridad 3 en vez de 2'5 mencionado anteriormente. Por tanto la traccion máxima que no ha de superarse en ningún punto del conductor es su carga de rotura dividida por 3.

Esta tracción se dará en el punto más elevado del cable T_A, siendo la tracción horizontal T_0, que corresponde a la tracción en el centro del vano

Aplicando la formula: $T_0 = \frac{1}{4}\left(2 \cdot T_A + \sqrt{4 \cdot T_A^2 - 2p^2 \cdot a^2}\right)$ donde P es el peso aparente.

$P = p + ph = 0'1856 + 0'18\sqrt{9'45} = 0'739$ daN/m , a = longitud del vano = 170 m.

$T_A = \frac{CR}{3} = \frac{1639}{3} = 546'3$ daN

Por lo que el valor de T_0 es: $T_0 = \frac{1}{4} \cdot \left[2 \cdot \left(\frac{1639}{3}\right) + \sqrt{4 \cdot \left(\frac{1639}{3}\right)^2 - \left(2 \cdot 0'739^2 \cdot 170^2\right)}\right]$

$T_0 = 542'7$ daN.

Este valor de la tracción no ha de superarse a la temperatura de -15°C con un coeficiente de sobrecarga de:

$m = \frac{P}{p} = \frac{p + ph}{p} = \frac{0'739}{0'1856} = 3'98$

La flecha que se produce en estas condiciones, aplicando la formula:

$f = \frac{a^2 \cdot p}{8 \cdot T_0} = \frac{170^2 \cdot 0'739}{8 \cdot 542'7} = 4'92$ m

Como se obtiene a continuación, también la tracción horizontal del cable está relacionada con la tracción en el punto más elevado del mismo mediante la relación siguiente y cuyo valor coincide con el obtenido anteriormente:

$T_0 = T_A - p \cdot f = 546'3 - 0'739 \cdot 4'92 = 542'7$ daN

Aplicando la ECC $\rightarrow t_2^2(t_2 + A) = B \rightarrow A = \alpha \cdot E \cdot (\theta_2 - \theta_1) + k$

$K = \frac{a^2 \cdot E \cdot W^2 \cdot m_1^2}{24 t_1^2} - t_1$; $B = \frac{a^2 \cdot E \cdot W^2 \cdot m_2^2}{24}$ siendo:

a = vano en metros = 170 m

W = peso propio del conductor en daN/m.mm²

$W = \frac{P}{S} = \frac{0'1856}{54'6} = 0'0034$ daN/m.mm²

$$t_1 = \frac{T_0}{S} = \frac{542'7}{54'6} = 9'94 \text{ daN/mm}^2$$

Los parámetros correspondientes al estado inicial serán:

t_1	θ_1	m_1
9'94	-15°C	3'98

Se obtendrá, empleando la ecuación de cambio de condiciones, la tracción en el conductor para las condiciones de viento y viento excepcional, impuestas en la hipótesis de tracción máxima.

a$_1$) La tracción horizontal en el conductor a la temperatura de -10°C, con viento de 120 km/h, ha de ser inferior a 542'7 daN (o su equivalente $t_1 = 9'94$ daN/mm^2)

t_2	θ_2	m_2
?	-10°C	3'215

Así pues, tenemos que:

$$m_2 = \frac{P}{p} = \frac{\sqrt{p^2 + pv^2}}{p} = \frac{\sqrt{0'1856^2 + \left[60 \cdot \left(\frac{120}{120}\right)^2 \cdot 9'45 \cdot 10^{-3}\right]^2}}{0'1856} = 3'215$$

Aplicando la ecuación de cambio de condiciones queda:

$$K = \frac{a^2 \cdot E \cdot w^2 \cdot m_1^2}{24 \cdot t_1^2} - t_1 = \frac{170^2 \cdot 7940 \cdot 0'0034^2 \cdot 3'98^2}{24 \cdot 9'94^2} - 9'94 = 7'81$$

$$A = \alpha \cdot E \cdot (\theta_2 - \theta_1) + K = 19'1 \cdot 10^{-6} \cdot 7949 \cdot (-10 - (-15)) + 7'81 = 8'57$$

$$B = \frac{a^2 \cdot E \cdot w^2 \cdot m_2^2}{24} = \frac{170^2 \cdot 7949 \cdot 0'0034^2 \cdot 3'215^2}{24} = 1143 \text{ daN}$$

$$t_2^2 \cdot (t_2 + A) = B \rightarrow \quad t_2^2 (t_2 + 8'57) = 1143 \quad \rightarrow t_2 = 8'25 \text{ daN/mm}^2$$

$$T_2 = t_2 \cdot S \Rightarrow T_2 = 8'25 \cdot 54'6 = 450'2 \text{ daN}$$

El valor obtenido para T_2 resulta inferior al valor de $T_1 = 542'7$ daN, y por tanto, se confirma que la hipótesis de hielo es la más desfavorable.

La flecha que se produce en estas condiciones: $f = \frac{a^2 \cdot l^o}{8 \cdot T_2} = \frac{170^2 \cdot 0'596}{8 \cdot 450'2} = 4'79$ m

a_2) Hipotesis adicional:

Por tratarse de zona B y darse un viento excepcional de 130 km/h según el apartado 3.2.1 de la ITC-LAT 07, habrá que comprobar que no se supera la carga de rotura dividida por 3 a la temperatura de -10º con la sobrecarga correspondiente a dicho viento.

$\vartheta_2 = -10°C \quad m_2 = 3'723.$

$$m_2 = \frac{P}{p} = \frac{\sqrt{p^2+pv^2}}{p} = \frac{\sqrt{0'1856^2 + \left(60\cdot\left(\frac{130}{120}\right)^2 - 9'45\cdot10^{-3}\right)^2}}{0'1856} = 3'723$$

Si se aplica la ecuación de cambio de condiciones queda:

$$A = \alpha\cdot E\cdot(\vartheta_2-\vartheta_1)+k = 19'1\cdot10^{-6}\cdot 7949\cdot[-10-(-15)]+7'81 = 8'57 \text{ daN/mm}^2$$

$$B = \frac{a^2\cdot E\cdot W^2\cdot m_2^2}{24} = \frac{170^2\cdot 7949\cdot 0'0034^2\cdot 3'723^2}{24} = 1532 \text{ daN}^3/\text{mm}^6$$

$$t_2^2(t_2+A)=B \rightarrow t_2^2(t_2+8'57)=1532 \rightarrow t_2 = 9'27 \text{ daN/mm}^2 \rightarrow T_2 = t_2\cdot S = 9'27\cdot 54'6 = 506'1 \text{ daN}$$

El valor obtenido para T_2 resulta inferior al valor de $T_1 = 542'7$ daN, y por tanto se confirma que la hipotesis de hielo es la mas desfavorable. La flecha que se produce en estas condiciones es:

$$f = \frac{a^2\cdot p}{8\cdot T_2} = \frac{170^2\cdot 0'69}{8\cdot 506'1} = 4'93 \text{ m}$$

El lector puede comprobar, por ejemplo, que si el viento fuera de 140 km/h la tracción obtenida sería superior a la obtenida en la hipotesis de hielo, en cuyo caso habría que utilizar la hipotesis de viento excepcional como punto de partida en la ecuación de cambio de condiciones.

b) Comprobación de fenomenos vibratorios:

b1) Tensión de cada día EDS: En general, se recomienda que la tracción en el conductor a la temperatura de 15°C no supere el 22% de la carga de rotura si se realiza el estudio de amortiguamiento

y se instalen dispositivos antivibratorios, o bien, que no supere el 15% de la carga de rotura si no se instalan.

Partiendo de esta hipótesis y empleando la ecuación de cambio de condiciones, se obtendrá la tracción en el conductor

$\theta_2 = 15°C \quad m_2 = 1$

Aplicando la ecuación de cambio de condiciones queda:

$$A = \alpha \cdot E \cdot (\theta_2 - \theta_1) + k = 19'1 \cdot 10^{-6} \cdot 7949 \cdot (15 - (-15)) + 7'81 = 12'36 \ daN/mm^2$$

$$B = \frac{a^2 \cdot E \cdot W^2 \cdot m_2^2}{24} = \frac{170^2 \cdot 7949 \cdot 0'0034^2 \cdot 1^2}{24} = 110'57 \ daN^3/mm^6$$

$$t_2^2 (t_2 + A) = B \rightarrow t_2^2 \cdot (t_2 + 12'36) = 110'57 \rightarrow t_2 = 2'71 \ daN/mm^2 \rightarrow T_2 = t_2 \cdot S = 2'71 \cdot 54'6$$

$T_2 = 147'9 \ daN$

Coeficiente EDS $\approx \frac{T_2}{CR} \cdot 100 = 9\%$. Por lo tanto, resulta admisible el ser inferior el 15%.

La flecha que se produce en estas condiciones es:

$$f = \frac{a^2 \cdot P}{8 \cdot T_2} = \frac{170^2 \cdot 0'1856}{8 \cdot 147'9} = 4'53 \ m$$

b2) Tensión en Horas Frías. CHS (Cond Hour Stress).

Esta hipótesis no se incluye en el RLAT pero suele ser utilizada por las distintas empresas suministradoras de energía en base a la experiencia en la explotación de sus líneas. En general, para líneas de distribución de media tensión, la tracción en el conductor a la temperatura de -5°C para todos los casos, sin sobrecarga, no debe ser superior al 20% de la carga de rotura del conductor. Para líneas de transporte, con conductor LA-280 se suele considerar, en general, una tracción en el conductor no superior al 23% de la carga de rotura a la misma temperatura

t_2	θ_2	m_1
0	-5°C	1

Aplicando la ecuación de cambio de condiciones queda:

$$A = \alpha \cdot E \cdot (\theta_2 - \theta_1) + K = 19'1 \cdot 10^{-6} \cdot 7949 (-5 - (-15)) + 7'81 = 9'33 \quad daN/mm^2$$

$$B = \frac{a^2 \cdot E \cdot w^2 \cdot m_2^2}{24} = \frac{170^2 \cdot 7949 \cdot 0'0034^2 \cdot 1^2}{24} = 110'57 \quad daN^3/mm^6$$

$$t_2^2 (t_2 + A) = B \rightarrow t_2^2 (t_2 + 9'33) = 110'57 \rightarrow t_2 = 2'99 \quad daN/mm^2 \rightarrow T_2 = t_2 \cdot S = 2'99 \cdot 54'6$$

$T_2 = 163'6$ daN Tensión en horas frías $= \frac{T_2}{C_R} \cdot 100 = \frac{163'6}{1639} \cdot 100 = 10\%$

Por lo tanto, resulta admisible al ser inferior al 20%

La flecha que se produce en estas condiciones es:

$$f = \frac{a^2 P}{8 \cdot T_2} = \frac{170^2 \cdot 0'1856}{8 \cdot 163'6} = 4'1 \ m$$

c) Hipótesis de flechas máximas

Estas hipótesis permiten calcular la tracción mecánica y la flecha máxima que se va a dar en el vano en cuanto para poder comprobar la distancia entre conductores, entre conductores y apoyos y calcular la altura de los apoyos que satisfaga las distancias de seguridad.

Se debe de calcular la flecha máxima para hipótesis de viento, temperatura y hielo:

c1) Hipótesis de flecha máxima con viento:

t_2	θ_2	m_2
	15	3'215

Se hace notar que para la hipótesis de flecha máxima con viento el RLAT no considera el viento excepcional sino un viento a 120km/h

Aplicando la ecuación de cambio de condiciones:

$$A = \alpha \cdot E (\theta_2 - \theta_1) + K = 19'1 \cdot 10^{-6} \cdot 7949 \cdot (15 - (-15)) + 7'81 = 12'36 \quad daN/mm^2$$

$$B = \frac{a^2 \cdot E \cdot w^2 \cdot m_2^2}{24} = \frac{170^2 \cdot 7949 \cdot 0'0034^2 \cdot 3'215^2}{24} = 1143 \text{ daN}^3/\text{mm}^6$$

$t_2^2 \cdot (t_2 + A) = B \longrightarrow t_2^2 \cdot (t_2 + 12'36) = 1143 \longrightarrow t_2 = 7'57 \text{ daN/mm}^2 \rightarrow T_2 = t_2 \cdot S \rightarrow$

$T_2 = 7'57 \cdot 54'6 = 413'4 \text{ daN}$

El valor de la flecha: $f_{max\ Viento} = \frac{a^2 \cdot p}{8 \cdot T_2} = \frac{170^2 \cdot 0'596}{8 \cdot 413'4} = 5'21 \text{ m}$

c2) Hipotesis de flecha máxima con temperatura

t_2	θ_2	m_2
	50°C	1

Aplicando la ecuación de cambio de condiciones

$A = \alpha \cdot E(\theta_2 - \theta_1) + K = 19'1 \cdot 10^{-6} \cdot 7949 \cdot (50 - (-15)) + 7'81 = 17'69 \text{ daN/mm}^2$

$B = \frac{a^2 \cdot E \cdot w^2 \cdot m_2^2}{24} = \frac{170^2 \cdot 7949 \cdot 0'0034^2 \cdot 1^2}{24} = 110'57 \text{ daN}^3/\text{mm}^6$

$t_2^2 (t_2 + A) = B \longrightarrow t_2^2 (t_2 + 17'69) = 110'57 \longrightarrow t_2 = 2'35 \text{ daN/mm}^2 \rightarrow T_2 = t_2 \cdot S$

$T_2 = 2'35 \cdot 54'6 = 128'3 \text{ daN}$ El valor de la flecha es:

$f_{max\ \theta} = \frac{a^2 \cdot p}{8 \cdot T_2} = \frac{170^2 \cdot 0'1856}{8 \cdot 128'3} = 5'22 \text{m}$

c3) Hipotesis de flecha máxima con hielo:

t_2	θ_2	m_2
?	0°C	3'98

$m_2 = \frac{P}{p} = \frac{p + p_h}{p} = \frac{0'1856 + 0'18\sqrt{9'45}}{0'1856} = \frac{0'739}{0'1856} = 3'98$

Aplicando la ecuación de cambio de condiciones queda:

$A = \alpha \cdot E(\theta_2 - \theta_1) + K = 19'1 \cdot 10^{-6} \cdot 7949 \cdot (0 - (-15)) + 7'81 = 10'09 \text{ daN/mm}^2$

$B = \frac{a^2 \cdot E \cdot w^2 \cdot m_2^2}{24} = \frac{170^2 \cdot 7949 \cdot 0'0034^2 \cdot 3'98^2}{24} = 1753 \text{ daN}^3/\text{mm}^6$

$t_2^2(t_2+A)=B \rightarrow t_2^2(t_2+10'09)=1753 \rightarrow t_2=9'47$ daN/mm² $\rightarrow T_2=t_2\cdot S \rightarrow T_2=9'47\cdot 54'6=517'0$ daN

El valor de la flecha es:

$$f_{max\ Hielo}=\frac{a^2\cdot p}{8\cdot T_2}=\frac{170^2\cdot 0'739}{8\cdot 517'0}=5'16\,m$$

d) Hipotesis de flecha minima vertical:

Se utiliza para comprobar en el perfil longitudinal la inexistencia de tiro ascendente sobre los apoyos de suspensión y las distancias de seguridad de la línea con otras líneas eléctricas que crucen por encima (Apartado 5.6.1 ITC - LAT 07).

t_2	θ_2	w_2
?	-15°C	1

Aplicando la ecuación de cambio de condiciones queda:

$$A=\alpha\cdot E(\theta_2-\theta_1)+k=19'1\cdot 10^{-6}\cdot 7949\cdot(-15-(-15))+7'81=7'81 \text{ daN/mm}^2$$

$$B=\frac{a^2\cdot E\cdot w_2^2}{24}=\frac{170^2\cdot 7949\cdot 0'0034^2\cdot 1^2}{24}=110'57 \text{ daN}^3/\text{mm}^6$$

$$t_2^2(t_2+A)=B \rightarrow t_2^2(t_2+7'81)=110'57 \rightarrow t_2=3'17 \text{ daN/mm}^2 \rightarrow T_2=t_2\cdot S$$

$T_2=3'17\cdot 54'6=173'3$ daN. El valor de la flecha mínima para el vano de cálculo:

$$f_{min}=\frac{a^2\cdot p}{8\cdot T_2}=\frac{170^2\cdot 0'1856}{8\cdot 173'3}=3'87\,m$$

c) Hipotesis para el calculo de apoyos:

Coinciden con las hipotesis de tracción máxima, de hielo y viento a 120km/h calculadas anteriormente.

f) Hipotesis empleada para el cálculo de la desviación

Se utiliza para calcular la distancia entre los conductores y partes puestas a tierra, según establece el Apartado 5.4.2 ITC LAT 07

Las condiciones correspondientes a esta hipótesis son

t_2	θ_2	m_2
?	$-10°C$	1'826

$$m_2 = \frac{P}{p} = \frac{\sqrt{p^2+pv^2}}{p} = \frac{\sqrt{0'1856^2+\left(\frac{60}{2}\cdot\left(\frac{120}{120}\right)^2\cdot 9'45\cdot 10^{-3}\right)^2}}{0'1856}$$

$$m_2 = \frac{0'3389}{0'1856} = 1'826$$

Aplicando la ecuación de cambio de condiciones:

$$A = \alpha\cdot E\cdot(\theta_2-\theta_1)+K = 19'1\cdot 10^{-6}\cdot 7949\,(-10-(-15)) + 7'81 = 8'57 \text{ daN/mm}^2$$

$$B = \frac{a^2\cdot E\cdot w^2\cdot m_2^2}{24} = \frac{170^2\cdot 7949\cdot 0'0034^2\cdot 1'826^2}{24} = 368'63 \text{ daN}^3/\text{mm}^6$$

$$t_2^2(t_2+A)=B \rightarrow t_2^2(t_2+8'57)=368'63 \longrightarrow t_2 = 5'18 \text{ daN/mm}^2 \rightarrow T_2 = t_2\cdot S = 5'18\cdot 54'6$$

$T_2 = 282'7$ daN. El valor de la flecha en estas condiciones vale:

$$f_{\text{derivac}} = \frac{a^2\cdot p}{8\cdot T_2} = \frac{170^2\cdot 0'3389}{8\cdot 282'7} = 4'33 \text{ m}$$

g) Tabla de tendido:

t_2	θ_2	m_2
?	0.5.10 ... 40°C	1

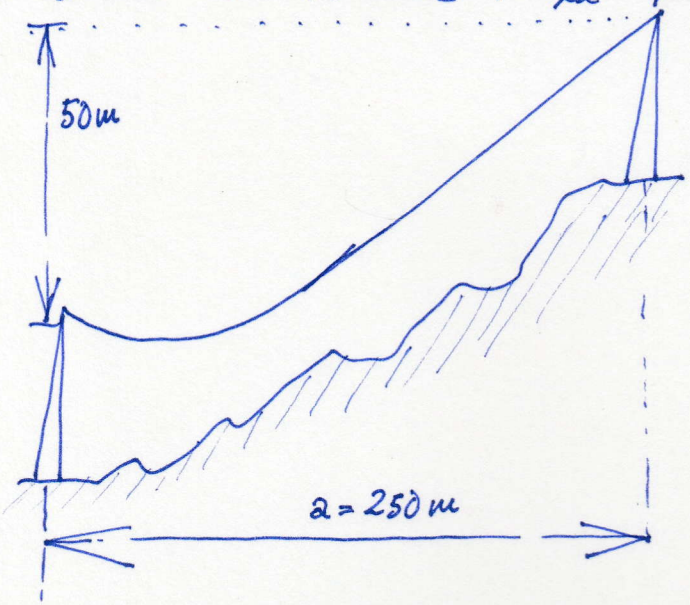
Aplicando de nuevo la ecuación de cambio de condiciones se obtienen las tracciones que han de darse el día del tendido junto con sus flechas correspondientes. Obsérvese que el tendido se realiza a temperatura ambiente y sin sobrecarga alguna en el conductor.

⋮

RESUMEN.

EJEMPLO CALCULO MECANICO DE VANO DESNIVELADO

Establecer cálculo mecánico de un conductor LA-78, instalado a una altitud de 400 metros en un solo vano cuya distancia horizontal entre apoyos es de 250 metros y para un desnivel en el apoyo de la derecha de 50 metros. La tensión nominal de la línea de 20kV



Características del conductor:

$S = 78'6\ mm^2$

$\phi = 11'34\ mm$

$p = 0'267\ daN/m$

$E = 7949\ daN/mm^2$

$\alpha = 19'1 \cdot 10^{-6}\ °C^{-1}$

$C_R = 2316\ daN$

Al tratarse de un vano desnivelado sometido a una sobrecarga de viento, cabría considerar, para los cálculos mecánicos del conductor, el vano proyectado a_v, sobre el plano inclinado paralelo a la dirección de las fuerzas que actúan sobre el conductor, así como el desnivel entre los puntos de sujeción del conductor, correspondiente al vano proyectado sobre dicho plano d_v

Teniendo en cuenta que cuando actúa el viento sobre el conductor no lo hace de forma continua sino a ráfagas, la cura de equilibrio no se encuentra siempre situada en plano inclinado, por tanto el cálculo mecánico de un conductor sometido a la acción del viento se suele realizar considerando que la cura de equilibrio del conductor siempre está en un plano vertical.

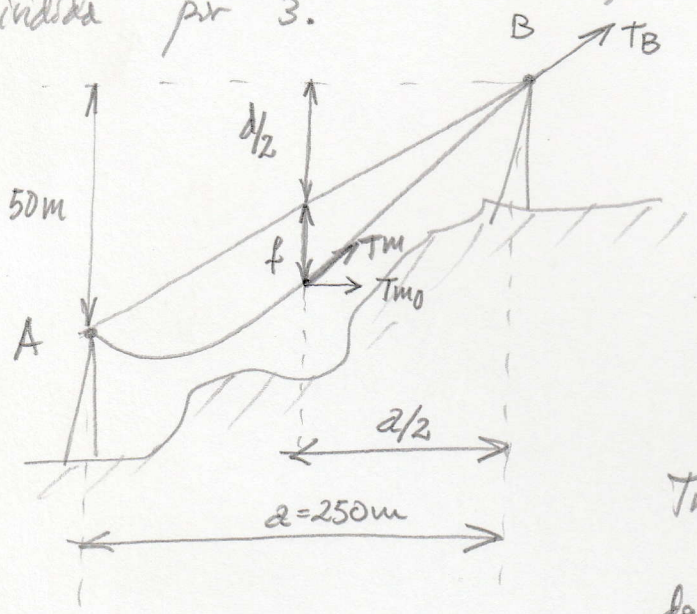
Resolución sin tener en cuenta el desplazamiento de la cura de equilibrio debida a la acción del viento:

a) Hipótesis de tracción máxima

a_1) Hipótesis de viento:

Una de las condiciones impuestas en el RLAT correspondiente a esta hipótesis es que no ha de superarse, en el conductor, la carga de rotura dividida por un coeficiente de 2'5 con sobrecarga de viento según la zona, a la temperatura de -5°C. Al tratarse de zona A, no se considera la hipótesis de hielo:

No obstante, en líneas de distribución de media tensión (15kV, 20kV), con objeto de no tener que exigir la hipótesis de rotura de conductores en el cálculo mecánico de los apoyos de alineación y ángulo, según el Apartado 3.5.3 ITC LAT 07, es habitual utilizar un coeficiente 3 en vez del 2'5 mencionado anteriormente. Por tanto, la tracción máxima que no ha de superarse en ningún punto del conductor es su carga de rotura dividida por 3.



Esta tracción se da en el punto más elevado del cable (T_B), siendo la tracción en el punto medio del vano (T_m), la calculada según la expresión:

$$T_m = \frac{1}{4}\cdot\left[2\cdot T_B - p\cdot d + \sqrt{(p\cdot d - 2\cdot T_B)^2 - 2\cdot p^2\cdot b^2}\right]$$

donde los distintos términos que intervienen son:

p= peso aparente del conductor (peso propio más sobrecarga) en daN/m.

$$p = \sqrt{p^2 + p_r^2} = \sqrt{p^2 + \left[60\cdot\left(\frac{V_v}{120}\right)^2\cdot d\cdot 10^{-3}\right]^2} = \sqrt{0'267^2 + \left[60\left(\frac{120}{120}\right)^2\cdot 11'34\cdot 10^{-3}\right]^2} = 0'731\ daN/m$$

b= distancia entre los puntos A y B $\rightarrow$ $b = \sqrt{250^2+50^2} = 254'95\ m$

$T_B = \frac{CR}{3} = \frac{2316}{3} = 772\ daN$, d= desnivel del vano = 50 m, por lo que

$$T_m = \frac{1}{4}\left[2\cdot\frac{2316}{3} - 0'731\cdot 50 + \sqrt{\left[0'731\cdot 50 - 2\cdot\frac{2316}{3}\right]^2 - (2\cdot 0'731^2\cdot 254'95^2)}\right] = 747'9\ daN.$$

Según la hipótesis de viento este valor de la tracción no ha de superarse a la temperatura de -5°C con un coeficiente de sobrecarga de:

$$m = \frac{P}{p} = \frac{0'731}{0'267} = 2'738$$

La flecha que se produce en estas condiciones es:

$$f = \frac{b^2 \cdot p}{8 \cdot T_m} = \frac{254'95^2 \cdot 0'731}{8 \cdot 747'92} = 7'94\ m$$

Como se evidencia a continuación, la tensión en el punto medio del conductor se puede calcular también a partir de la tensión en el punto más elevado del vano, mediante la relación siguiente, deducida de las propiedades de la parábola.

$$T_m = T_B - p \cdot \left(f + \frac{d}{2}\right) = 772 - 0'731 \cdot \left(7'94 + \frac{50}{2}\right) = 747'9\ daN$$

Utilizando la ecuación de cambio de condiciones, se comprobará que se cumplen los exigencias impuestas en el RLAT, se calcularán las flechas máximas y se obtendrán las tracciones para los diferentes condiciones exigidas.

$$t_{m_2}^2 \cdot (t_{m_2} + A) = B \qquad \text{donde: } A = \alpha \cdot E (\vartheta_2 - \vartheta_1) + K_1 \quad K = \frac{a^2 \cdot E \cdot w^2 \cdot m_1^2}{24 \cdot t_{m_1}^2} - t_{m_1},$$

$$B = \frac{a^2 \cdot E \cdot w^2 \cdot m_2^2}{24} \qquad \text{siendo:}$$

a = vano en metros = 250m

w = peso propio del conductor por ud de volumen. $w = \frac{P}{S} = \frac{0'267}{78'6} = 0'0034\ daN/m \cdot mm^2$

$t_{m_1} = \frac{T_m}{S} = \frac{747'9}{78'6} = 9'516\ daN/mm^2$

$\vartheta_1 = -5°C$, $m_1 = 2'738$, $\alpha = 19'1 \cdot 10^{-6} °C^{-1}$

$E = 7949\ daN/mm^2$ $\quad t_{m_2} = ?$

Los parámetros correspondientes al estado inicial serán:

t_{m_1}	ϑ_1	m_1
9'516	-5°C	2'738

a2) Hipótesis adicional: No se considera por no darse en la zona viento excepcional superior a 120km/h

b) Comprobación de fenómenos vibratorios:

b1) Tensión de cada día, (EDS) Every Day Stress:

Aplicando la ecuación de cambio de condiciones queda:

$$K = \frac{a^2 \cdot E \cdot w^2 \cdot m_2^2}{24 \cdot t_{m_1}^2} - t_{m_1} = \frac{250^2 \cdot 7949 \cdot 0'0034^2 \cdot 2'738^2}{24 \cdot 9'516^2} - 9'516 = 10'254 \text{ daN/mm}^2$$

$$A = \alpha \cdot E(\theta_2 - \theta_1) + K = 19'1 \cdot 10^{-6} \cdot 7949 \cdot (15 - (-5)) + 10'253 = 13'290 \text{ daN/mm}^2$$

$$B = \frac{a^2 \cdot E \cdot w^2 \cdot m_2^2}{24} = \frac{250^2 \cdot 7949 \cdot 0'0034^2 \cdot 1^2}{24} = 238'87 \text{ daN}^3/\text{mm}^6 \rightarrow t_{m_2}^2 \cdot (t_{m_2} + A) = B$$

$$t_{m_2}^2 (t_{m_2} + 13'290) = 238'87 \rightarrow t_{m_2} = 3'745 \text{ daN/mm}^2 \rightarrow T_{m_2} = t_2 \cdot S \Rightarrow T_{m_2} = 3'745 \cdot 78'6 =$$

$T_{m_2} = 294'3$ daN. Al ser el vano muy desnivelado el límite dinámico establecido del 15% de la carga de rotura, se debe de comprobar en el punto más elevado del vano; por lo tanto, es necesario referir la tensión anterior (tensión en el punto medio) al punto más elevado del vano. Para ello, se utiliza la relación deducida a las propiedades de la parábola:

$$T_B = T_{m_2} + p\left(f \cdot \frac{d}{2}\right) = T_{m_2} + p\left(\frac{b^2 \cdot p}{8 \cdot T_{m_2}} + \frac{d}{2}\right)$$

que sustituyendo queda:

$$T_B = 294'3 + 0'267 \cdot \left[\frac{254'95^2 \cdot 0'267}{8 \cdot 294'3} + \frac{50}{2}\right] = 303 \text{ daN}$$

El coeficiente EDS vale: $EDS = \frac{T_B}{C_R} \cdot 100 \Rightarrow EDS = \frac{303}{2316} \cdot 100 = 13'1\% < 15\%$

b2) Tensión en horas frías CHS (Cool Hour Stress).

Este criterio de diseño no se incluye en el reglamento de líneas aéreas para ser usado utilizar por las distintas empresas suministradoras de energía en base a la experiencia en la explotación de sus líneas. En general, para líneas de distribución de media tensión, la tracción en el conductor a -5°C para todas las zonas, sin sobrecarga, no debe ser superior al 20% de la carga de rotura del conductor:

t_{m_2}	θ_2	m_2
?	-5°C	1

Aplicando la ecuación de cambio de condiciones queda:

$$A = \alpha \cdot E(\theta_2 - \theta_1) + K = 19'1 \cdot 10^{-6} \cdot 7949 \cdot (-5 - (-5)) + 10'254 = 10'254 \text{ daN/mm}^2$$

$$B = \frac{a^2 \cdot E \cdot w^2 \cdot m_2^2}{24} = \frac{250^2 \cdot 7949 \cdot 0'0034^2 \cdot 1^2}{24} = 238'87 \text{ daN}^3/\text{mm}^6$$

$t_{m_2}^2 (t_2 + A) = B \rightarrow t_{m_2}^2 (t_2 + 10'254) = 238'87 \rightarrow t_{m_2} = 4'082 \ daN/mm^2$

$T_2 = t_{m_2} \cdot S \rightarrow T_2 = 4'082 \cdot 78'6 = 320'8 \ daN$

Al ser un vano muy desnivelado, el límite dinámico establecido del 20% de la carga de rotura se debe de comprobar en el punto más elevado del vano, por lo tanto es necesario refijar la tensión inicial (tensión en el punto medio) al punto más elevado del vano. Para ello se utiliza la ecuación.

$T_B = T_{m_2} + p\left(f \cdot \frac{d}{2}\right) = T_{m_2} + p \cdot \left(\frac{b^2 \cdot p}{8 \cdot T_{m_2}} + \frac{d}{2}\right)$ que sustituyendo valores queda:

$T_B = 320'84 + 0'267 \cdot \left(\frac{254'95^2 \cdot 0'267}{8 \cdot 320'84} + \frac{50}{2}\right) = 329'3 \ daN$

El coeficiente CHS vale $CHS = \frac{T_B}{CR} \cdot 100 = \frac{329'3}{2316} \cdot 100 = 14'2\% < 20\%$

c) Hipótesis de flechas máximas

Estas hipótesis permiten calcular la tracción mecánica y la flecha máxima para poder comprobar la distancia tanto entre conductores, como entre conductores y apoyos, así como calcular la altura de los apoyos. Para su cálculo se consideran las hipótesis reglamentarias correspondientes a la zona A. (viento y temperatura).

c1) Hipótesis de flecha máxima con viento:

t_{m_2}	θ_2	m_2
	15°C	2'738

Aplicando la ecuación de cambio de condiciones queda:

$A = \alpha \cdot E (\theta_2 - \theta_1) + k = 19'1 \cdot 10^{-6} \cdot 7949 \cdot (15 - (-5)) + 10'254 = 13'291 \ daN/mm^2$

$B = \frac{a^2 \cdot E \cdot w^2 \cdot m_2^2}{24} = \frac{250^2 \cdot 7949 \cdot 0'0034^2 \cdot 2'738^2}{24} = 1790 \ daN^3/mm^6$

$t_{m_2}^2 (t_{m_2} + A) = B \rightarrow t_{m_2}^2 \cdot (t_{m_2} + 13'291) = 1790 \rightarrow t_{m_2} = 8'97 \ daN/mm^2$

$T_{m_2} = t_{m_2} \cdot S \rightarrow T_{m_2} = 8'97 \cdot 78'6 = 704'9 \ daN$

El valor de la flecha es: $f_{max\ viento} = \frac{b^2 \cdot w}{8 \cdot t_2} \cdot m_2 = \frac{254'95^2 \cdot 0'0034}{8 \cdot 8'97} \cdot 2'738$

$f_{max\ viento} = 8'143 m$

c2) Hipotesis de flecha máxima con temperatura:

tm_2	θ_2	m_2
?	50°C	1

Aplicando la ecuación de cambio de condiciones

$$A = \alpha \cdot E \cdot (\theta_2 - \theta_1) + K = 19'1 \cdot 10^{-6} \cdot 7949 \cdot (50 - (-5)) + 10'254 = 18'604 \text{ daN/mm}^2$$

$$B = \frac{a^2 \cdot E \cdot w^2 \cdot m_2^2}{24} = \frac{250^2 \cdot 7949 \cdot 0'0034^2 \cdot 1^2}{24} = 238'87 \text{ daN}^3/\text{mm}^6$$

$$tm_2^2 \cdot (tm_2 + A) = B \rightarrow tm_2^2 (tm_2 + 18'604) = 238'87 \rightarrow tm_2 = 3'301 \text{ daN/mm}^2$$

$$Tm_2 = tm_2 \cdot S = 3'301 \cdot 78'6 = 259'5 \text{ daN}$$

El valor de la flecha es: $f_{max\,\theta} = \frac{b^2 \cdot w}{8 \cdot tz} \cdot m_2 = \frac{254'95^2 \cdot 0'0034}{8 \cdot 3'301} = 8'36 m$

c3) Hipotesis de flecha máxima con hielo:

No se considera en zona A.

d) Hipotesis de flecha mínima vertical:

Se utiliza para comprobar el perfil longitudinal la existencia de tiro descendente sobre los apoyos y comprobar las distancias de seguridad en los cruzamientos con otras líneas eléctricas (Apartado 5.6.1 de la ITC 07 LAT)

tm_2	θ_2	m_2
	-5°C	1

En este caso, la hipotesis de flecha mínima coincide con la hipotesis correspondiente a fenomenos vibratorios en condiciones de temperatura mínima CAS; por tanto:

$$tm_2 = 4'082 \text{ daN/mm}^2$$

$$Tm_2 = tm_2 \cdot S \rightarrow Tm_2 = 4'082 \cdot 78'6 = 320'8 \text{ daN}$$

El valor de la flecha es: $f_{min} = \frac{b^2 \cdot w}{8 \cdot tm_2} \cdot m_2 = \frac{254'95^2 \cdot 0'0034}{8 \cdot 4'082} \cdot 1 = 8'76 m$

e) Hipotesis para el cálculo de apoyos

Coincide con las hipotesis de tracción máxima, calculadas anteriormente.

f) Hipotesis empleada para el calculo de la desviación de la cadena de aisladores:

Se utiliza para calcular la distancia entre los conductores y partes puesta a tierra, según establece el Apartado 5.4.2 de la ITC-LAT 07:

Las condiciones correspondientes a esta hipotesis son:

t_{m_2}	θ_2	m_2
?	$-5°C$	1'620

$$m_2 = \frac{P}{p} = \frac{\sqrt{p^2 + \left(\frac{Pv}{2}\right)^2}}{p} = \frac{\sqrt{0'267^2 + \left[\frac{60}{2}\cdot\left(\frac{120}{120}\right)^2 \cdot 11'34\cdot 10^{-3}\right]^2}}{0'267}$$

$m_2 = 1'620$

Aplicando la ecuación de cambio de condiciones queda:

$$A = \alpha \cdot E \cdot (\theta_2 - \theta_1) + K = 19'1\cdot 10^{-6} \cdot 7949 \cdot (-5-(-5)) + 10'254 = 10'254 \ daN/mm^2$$

$$B = \frac{a^2 \cdot E \cdot w^2 \cdot m_2^2}{24} = \frac{250^2 \cdot 7949 \cdot 0'0034^2 \cdot 1'62^2}{24} = 626'67 \ daN^3/mm^6$$

$$t_{m_2}^2 \cdot (t_{m_2} + A) = B \rightarrow t_{m_2}^2 (t_{m_2} + 10'254) = 626'67 \rightarrow t_{m_2} = 6'176 \ daN/mm^2$$

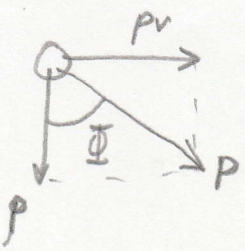
$$T_{m_2} = t_{m_2} \cdot S \rightarrow T_{m_2} = 6'176 \cdot 78'6 = 485'4 \ daN.$$

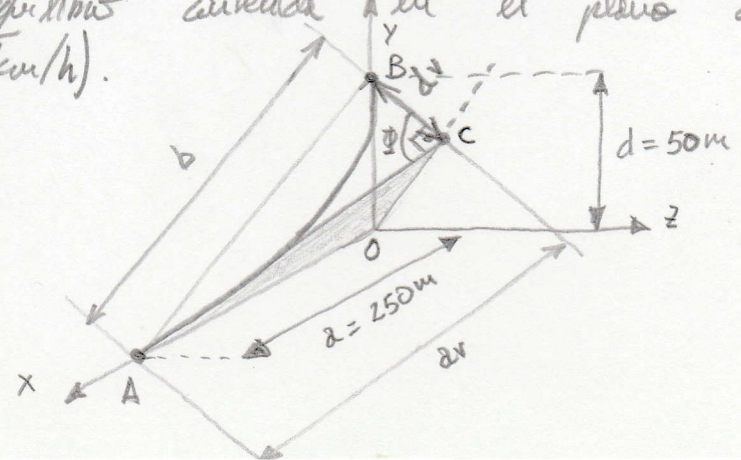
Resolución teniendo en cuenta el desplazamiento de la curva de equilibrio del conductor debido a la acción del viento:

a) Hipótesis de tracción máxima

a_1) Tracción máxima con viento.

Se considerará un viento de 120km/h a la temperatura de $-5°C$. La tracción en el conductor ha de ser inferior a la carga de rotura dividida por 3, considerando la curva de equilibrio contenida en el plano definido por la acción del viento (120km/h).





Esta tracción se da en el punto mas elevado del cable (T_B), siendo la tracción en el punto medio del vano (T_m), la dada por expresión.

$$T_m = \frac{1}{4}\cdot\left[2\cdot T_B - p\cdot d_v + \sqrt{(p\cdot d_v - 2T_B)^2 - 2p^2\cdot b^2}\right]$$ donde P= peso aparente del conductor:

$$P = \sqrt{p^2+p_v^2} = \sqrt{p^2+\left[60\cdot\left(\frac{120}{120}\right)^2\cdot d\cdot 10^{-3}\right]^2} = 0'731 \text{ daN/m}$$

b= longitud entre los puntos de sujeción del conductor: $\sqrt{250^2+50^2} = 254'95 \text{ m}$

$T_B = \frac{C_R}{3} = \frac{2316}{3} = 772 \text{ daN}$ d_v= nuevo desnivel considerando el vano situado en el plano inclinado.

$$d_v = d\cdot\cos\Phi \rightarrow \cos\Phi = \frac{p}{P} = \frac{0'267}{0'731} = 0'365 \rightarrow d_v = d\cdot\cos 0'365 = 18'26 \text{ m}$$

La nueva longitud del vano proyectado considerando el desplazamiento de la cara de equilibrio es:

$$a_v = \sqrt{b^2 - d_v^2} = \sqrt{254'95^2 - 18'26^2} = 254'29 \text{ m}$$

Por lo que el valor de T_m es:

$$T_m = \frac{1}{4}\left[2\cdot\frac{2316}{3} - 0'731\cdot 18'26 + \sqrt{\left[0'731\cdot 18'26 - 2\cdot\frac{2316}{3}\right]^2 - (2\cdot 0'731^2\cdot 254'95^2)}\right] = 759'6 \text{ daN}$$

Este valor de la tracción no ha de superarse a la temperatura de $-5^\circ C$ con un coeficiente de sobrecarga de:

$$m = \frac{P}{p} = \frac{0'731}{0'267} = 2'738$$

La flecha se produce en estas condiciones:

$$f = \frac{b^2\cdot p}{8\cdot T_m} = \frac{254'95^2\cdot 0'731}{8\cdot 759'61} = 7'82 \text{ m}$$

Como se obtiene a continuación, también la tensión en el punto medio del conductor está relacionada con la tensión en el punto mas elevado del mismo mediante la relación siguiente y cuyo valor coincide con el obtenido anteriormente:

$$T_m = T_B - p\left(f\cdot\frac{d_v}{2}\right) = 772 - 0'731\cdot\left(7'82 + \frac{18'26}{2}\right) \quad 759'6 \text{ daN}$$

Utilizando la ecuación de cambio de condiciones, se comprobará que se cumplen las exigencias impuestas en el RLAT, se calcularán las flechas máximas y se obtendrán las tracciones para las diferentes consideraciones

exigidas:

$$\frac{av_2^2 \cdot W^2}{24} \cdot \frac{m_2^2}{tm_2^2} - \frac{av_1^2 \cdot W^2}{24} \cdot \frac{m_1^2}{tm_1^2} = \alpha(\theta_2 - \theta_1) + \frac{1}{E} \cdot (tm_2 - tm_1)$$

que se puede escribir de la forma: $tm_2^2 \cdot (tm_2 + A) = B$ donde:

$$A = \alpha \cdot E (\theta_2 - \theta_1) + K; \quad K = \frac{av_1^2 \cdot E \cdot W^2 \cdot m_1^2}{24 \cdot tm_1^2} - tm_1; \quad B = \frac{av_2^2 \cdot E \cdot W^2 \cdot m_2^2}{24}$$

Siendo av_1 = vano proyectado sobre el plano inclinado en las condiciones iniciales de tendido (120km/h) en metros $av = 254'29\,m$

$W = 0'0034\ daN/m \cdot mm^2$

$$tm_1 = \frac{Tm_1}{S} = \frac{759'61}{78'6} = 9'664\ daN/mm^2$$

θ_1 = temperatura $-5°C$, $m_1 = 2'738$, $\alpha = 19'1 \cdot 10^{-6}\ °C^{-1}$,

$E = 7949\ daN/mm^2$

Los parametros correspondiente el estado inicial:

tm_1	θ_1	m_1
9'664	-5°C	2'738

a2) Hipótesis adicional: No se considera por no darse vientos excepcional en la zona.

b) Comprobación de fenomenos vibratorios:

b1) Tensión de cada día EDS (Every Day Stress):

Como en el apartado 2.7.1 de este problema, la tracción a temperatura de 15°C no debe superar el 15% de la carga de rotura del conductor

Partiendo de las condiciones del estado inicial con viento y empleando la ecuación de cambio de condiciones, se obtendrá la tracción en el conductor:

tm_2	θ_2	m_2
?	15°C	1

Aplicando la ecuación de cambio de condiciones.

$$K = \frac{2v_1^2 \cdot E \cdot w^2 \cdot m_1^2}{24\, tm_1^2} - tm_1 = \frac{254'29^2 \cdot 7949 \cdot 0'0034^2 \cdot 2'738^2}{24 \cdot 9'664^2} - 9'664 = 10'166 \text{ daN/mm}^2$$

$$A = \alpha \cdot E \cdot (\theta_2 - \theta_1) + K \rightarrow 19'1 \cdot 10^{-6} \cdot 7949 \cdot (15 - (-5)) + 10'166 = 13'202 \text{ daN/mm}^2$$

$$B = \frac{2v_2^2 \cdot E \cdot w^2 \cdot m_2^2}{24} = \frac{250^2 \cdot 7949 \cdot 0'0034^2 \cdot 1^2}{24} = 238'87 \text{ daN}^3/\text{mm}^6$$

$$tm_2^2 (tm_2 + A) = B \rightarrow tm_2^2 (tm_2 + 13'202) = 238'87 \rightarrow tm_2 = 3'75 \text{ daN/mm}^2 \rightarrow T_2 = tm_2 \cdot S$$

$$T_2 = 3'75 \cdot 78'6 = 295 \text{ daN}$$

A partir de Tm_2 se puede calcular la tracción en el punto B o más elevado del vano mediante la expresión:

$$T_B = Tm_2 + p\left(f + \frac{d}{2}\right) = Tm_2 + p \cdot \left(\frac{b^2 \cdot \rho}{8 \cdot Tm_2} + \frac{d}{2}\right)$$

que sustituyendo valores queda $T_B = 295 + 0'267 \cdot \left[\frac{254'95^2 \cdot 0'267}{8 \cdot 295} + \frac{50}{2}\right] = 303'6$ daN

El coeficiente EDS vale: $EDS = \frac{T_B}{CR} \cdot 100 \rightarrow EDS = \frac{303'6}{2316} \cdot 100 = 13'1\%$

EDS $13'1\% < 15\%$

b2) Tensión en Horas frías. (CHS)

La tracción en el conductor a -5°C para todas las zonas, sin sobrecargas, no deben ser superior al 20% de la carga de rotura del conductor:

tm_2	θ_2	m_2
?	-5°C	1

Aplicando la ecuación de cambio de condiciones queda:

$$A = \alpha \cdot E \cdot (\theta_2 - \theta_1) + K = 19'1 \cdot 10^{-6} \cdot 7949 \cdot (-5 - (-5)) + 10'166 = 10'166 \text{ daN/mm}^2$$

$$B = \frac{2v_2^2 \cdot E \cdot w^2 \cdot m_2^2}{24} = \frac{250^2 \cdot 7949 \cdot 0'0034^2 \cdot 1^2}{24} = 238'87 \text{ daN}^3/\text{mm}^6$$

$$tm_2^2 \cdot (tm_2 + A) = B \rightarrow tm_2^2 (tm_2 + 10'166) = 238'87 \rightarrow tm_2 = 4'093 \text{ daN/mm}^2$$

$$Tm_2 = tm_2 \cdot S \rightarrow Tm_2 = 4'093 \cdot 78'6 = 321'7 \text{ daN}$$

A partir de Tm_2 se puede calcular la tracción en el punto B o más elevado del vano mediante la expresión:

$T_B = Tm_2 + p\cdot\left(f + \frac{d}{2}\right) = Tm_2 + p\cdot\left(\frac{b^2\cdot p}{8\cdot Tm_2} + \frac{d}{2}\right)$ que sustituyendo valores queda:

$$T_B = 321'7 + 0'267\cdot\left[\frac{254'95^2\cdot 0'267}{8\cdot 321'7} + \frac{50}{2}\right] = 330'2 \text{ daN}$$

El coeficiente CHS vale: $\frac{T_B}{CR}\cdot 100 \rightarrow \frac{330'2}{2316'}\cdot 100 = 14'3\% < 20\%$

c) Hipotesis de flechas máximas

Estas hipotesis permiten calcular la tracción mecánica y la flecha máxima para poder comprobar la distancia tanto entre conductores como entre conductores y apoyos, así como calcular la altura de los apoyos.

Para su cálculo se consideran las hipotesis reglamentarias correspondientes a la zona A (viento y temperatura)

c1) Hipotesis de flecha máxima con viento:

tm_2	θ_2	m_2
?	15°C	2'738

Aplicando la ecuación de cambio de condiciones:

$$A = \alpha\cdot E\cdot(\theta_2 - \theta_1) + k = 19'1\cdot 10^{-6}\cdot 7949\cdot(15-(-5)) + 10'166 = 13'202 \text{ daN/mm}^2$$

$$B = \frac{a_{v2}^2\cdot E\cdot W^2\cdot m_2^2}{24} = \frac{254'29^2\cdot 7949\cdot 0'0034\cdot 2'738^2}{24} = 1852'105 \text{ daN}^3/\text{mm}^6$$

$$tm_2^2\cdot(tm_2 + A) = B \rightarrow tm_2^2(tm_2 + 13'202) = 1852'105 \rightarrow tm_2 = 9'111 \text{ daN/mm}^2$$

$T_2 = tm_2\cdot S \rightarrow T_2 = 9'111\cdot 78'6 = 716'1$ daN El valor de la flecha:

$$f_{max\ viento} = \frac{b^2\cdot W}{8\cdot t_2}\cdot m_2 = \frac{254'95^2\cdot 0'0034}{8\cdot 9'111}\cdot 2'738 = 8'29 \text{ m}$$

c2) Hipotesis de flecha máxima con temperatura:

tm_2	θ_2	m_2
?	50°C	1

Aplicando la ecuación de cambio de condiciones queda:

$A = \alpha \cdot E \cdot (\theta_2 - \theta_1) + K = 19'1 \cdot 10^{-6} \cdot 7949 \cdot (50 - (-5)) + 10'166 = 18'516 \ daN/mm^2$

$B = \frac{a_{v_2}^2 \cdot E \cdot w^2 \cdot m_2^2}{24} = \frac{250^2 \cdot 7949 \cdot 0'0034 \cdot 1^2}{24} = 238'868 \ daN^3/mm^6$

$t_{m_2}^2 \cdot (t_{m_2} + A) = B \rightarrow t_{m_2}^2 \cdot (t_{m_2} + 18'516) = 238'868 \rightarrow t_{m_2} = 3'309 \rightarrow T_2 = t_{m_2} \cdot S = 3'309 \cdot 78'6$

$T_2 = 260'1 \ daN$

El valor de la flecha es: $f_{max} = \frac{b^2 \cdot w}{8 \cdot t_2} \cdot m_2 = \frac{254'95^2 \cdot 0'0034}{8 \cdot 3'309} \cdot 1 = 8'34 \ m$

c3) Hipotesis de flecha máxima con hielo

No se considera en zona A

d) Hipotesis de flecha mínima vertical:

t_{m_2}	θ_2	m_2
?	-5°C	1

En este caso la hipotesis de flecha mínima coincide con la hipotesis correspondiente a fenomenos vibratorios en condiciones de temperatura mínima (CHS).

$t_{m_2} = 4'093 \ daN/mm^2$

$\rightarrow T_2 = t_{m_2} \cdot S \rightarrow T_2 = 4'093 \cdot 78'6 = 321'71 \ daN$

El valor de la flecha es: $f_{min} = \frac{b^2 \cdot w}{8 \cdot t_2} \cdot m_2 = \frac{254'95^2 \cdot 0'0034}{8 \cdot 4'093} \cdot 1 = 6'74 \ m$

e) Hipotesis para el calculo de apoyos:

Se utiliza para obtener la tracción del conductor que hay que tener en cuenta a la hora de calcular los apoyos de la línea. Esta tracción, para este caso, en la zona A, es la correspondiente al conductor sometido a una sobrecarga de viento de 120 km/h a la temperatura de -5°C. Es decir esta hipotesis es coincidente con la hipótesis de tracción máxima con viento, anteriormente calculada.

f) Hipotesis empleada para el calculo de la desviación de la cadena de aisladores.

Se utiliza para calcular la distancia entre los conductores y partes puestas a tierra, según establece el Apartado 5.4.2 ITC LAT 07.

Al considerarse en esta hipótesis una sobrecarga sobre el conductor correspondiente a una presión de viento actuando en el apartado 3.1.2 del RLAT, será necesario, al emplear la ecuación de cambio de condiciones, calcular el vano a_v proyectado sobre el plano definido del conductor por efecto de la presión del viento.

Siendo:

$$P = \sqrt{p^2 + \left(\frac{pv}{2}\right)^2} \Rightarrow P = \sqrt{p^2 + \left[\frac{60}{2}\cdot\left(\frac{120}{120}\right)^2 \cdot d \cdot 10^{-3}\right]^2} = 0'432 \text{ daN/m}$$

$$\cos\Phi = \frac{p}{P} = \frac{0'267}{0'432} = 0'617 \rightsquigarrow d_v = d \cdot \cos\Phi = 50 \cdot 0'618 = 30'871 \text{ m}$$

La nueva longitud del vano proyectado es:

$$a_v = \sqrt{b^2 - d_v^2} = \sqrt{254'95^2 - 30'871^2} = 253'075 \text{ m}$$

siendo $b = \sqrt{250^2 + 50^2} = 254'95$ m

El coeficiente de sobrecarga será: $m_2 = \frac{P}{p} = \frac{0'432}{0'267} = 1'620$

Las condiciones correspondientes a esta hipótesis son:

t_{m2}	θ_2	m_2
?	-5°C	1'62

Aplicando la ecuación de cambio de condiciones

$$A = \alpha \cdot E \cdot (\theta_2 - \theta_1) + k = 19'1 \cdot 10^{-6} \cdot 7949 \cdot (-5 - (-5)) + 10'166 = 10'166 \text{ daN/mm}^2$$

$$B = \frac{a_{v2}^2 \cdot E \cdot w^2 \cdot m_2^2}{24} = \frac{253'071^2 \cdot 7949 \cdot 0'0034^2 \cdot 1'62^2}{24} = 642'178 \text{ daN}^3/\text{mm}^6$$

$$t_{m2}^2 (t_{m2} + A) = B \rightarrow t_{m2}^2 (t_{m2} + 10'166) = 642'178 \rightarrow t_{m2} = 6'254 \text{ daN/mm}^2$$

$$T_2 = t_{m2} \cdot S \rightarrow T_2 = 6'254 \cdot 78'6 = 491'6 \text{ daN}$$

Resolución teniendo en cuenta el desplazamiento de la curva de equilibrio debida a la acción del viento con un viento excepcional de 150 km/h:

Este ejemplo se corresponderá con las líneas de distribución de media tensión, emplazadas en lugares con fuertes vientos, por ejemplo en las islas Canarias.

a) Hipótesis de tracción máxima:

a_1) Hipótesis de tracción máxima (adicional) con viento de 150 km/h a la temperatura de -5°C.

La tracción en el conductor ha de ser inferior a la carga de rotura dividida por 3, considerando la curva de equilibrio contenida en el plano desviado bajo la acción del viento (150 km/h).

Esta tracción se da en el punto más elevado del cable (T_B), siendo la tracción en el punto medio del vano (T_M), la dada por la siguiente expresión:

$$T_M = \frac{1}{4}\cdot\left[2\cdot T_B - p\cdot dv + \sqrt{(p\cdot dv - 2\cdot T_B)^2 - 2p^2b^2}\right]$$

donde:

$$p = \sqrt{p+pv} = \sqrt{p^2 + \left[60\cdot\left(\frac{150}{120}\right)^2\cdot 11'34\cdot 10^{-3}\right]^2} = 1'096$$

$$b = \sqrt{250^2+50^2} = 254'95\ m$$

$$T_B = \frac{CR}{3} = \frac{2316}{3} = 772\ daN\ ,\quad dv = d\cdot\cos\Phi \rightarrow \cos\Phi = \frac{p}{P} = \frac{1'267}{1'096} = 0'2436$$

$$dv = d\cdot\cos\Phi \rightarrow dv = 50\cdot 0'2436 = 12'18\ m$$

La nueva longitud del vano proyectado considerando el desplazamiento de la curva de equilibrio es:

$$dv = \sqrt{b^2 - dv^2} \Rightarrow dv = \sqrt{254'95^2 - 12'18^2} = 254'65\ m$$

Por lo que el valor de T_M es:

$$T_M = \frac{1}{4}\cdot\left[2\cdot\frac{2316}{3} - 1'096\cdot 12'18 + \sqrt{\left[1'096\cdot 12'18 - 2\cdot\frac{2316}{3}\right]^2 - (2\cdot 1'096^2\cdot 254'95^2)}\right] = 752'3\ daN$$

$T_M = 752'3\ daN$ //

Los parametros correspondiente al estado inicial, a la hora de establecer los calculos mecanicos, al aplicar la ecuación de cambio de condiciones son:

tm_1	θ_1	m_1
9'572	-5°C	4'105

donde $tm_1 = \frac{Tm_1}{S} = \frac{752'3}{78'6} = 9'572 \text{ daN/mm}^2$

$$m_1 = \frac{p}{\rho} = \frac{\sqrt{p_z^2 + pv^2}}{\rho} = \frac{\sqrt{0'267^2 + \left[60 \cdot \left(\frac{150}{120}\right)^2 \cdot 11'34 \cdot 10^{-3}\right]^2}}{0'267} = \frac{1'096}{0'267} = 4'105$$

b) Comprobación de fenómenos vibratorios:

b1) Tensión de cada día (Every Day Stress):

La tracción a temperatura de 15°C no debe superar el 15% de la carga de rotura, ya que no se instalan dispositivos antivibratorios.

Partiendo de las condiciones del estado inicial con sobrecarga de viento excepcional de 150 km/h y empleando la ecuación de cambio de condiciones, se obtendrá la tracción en el conductor:

tm_2	θ_2	m_2
?	15°C	1

Aplicando la ecuación de cambio de condiciones queda:

$$K = \frac{a_{r1}^2 \cdot E \cdot W^2 \cdot m_1^2}{24 \cdot tm_1^2} - tm_1 = \frac{254'65^2 \cdot 7949 \cdot 0'0034^2 \cdot 4'105^2}{24 \cdot 9'572^2} - 9'572 = 36'023 \text{ daN/mm}^2$$

$$A = \alpha \cdot E(\theta_2 - \theta_1) + K = 19'1 \cdot 10^{-6} \cdot 7949 \cdot (15 - (-5)) + 36'023 = 39'059 \text{ daN/mm}^2$$

$$B = \frac{a_{r2}^2 \cdot E \cdot W^2 \cdot m_2^2}{24} = \frac{250^2 \cdot 7949 \cdot 0'0034^2 \cdot 1^2}{24} = 238'868 \text{ daN}^3/\text{mm}^6$$

$$tm_2^2 (tm_2 + A) = B \rightarrow tm_2^2 (tm_2 + 39'059) = 238'868 \text{ daN/mm} \rightarrow tm_2 = 2'4 \text{ daN/mm}^2$$

$$Tm_2 = tm_2 \cdot S \rightarrow Tm_2 = 2'4 \cdot 78'6 = 188'7 \text{ daN}$$

A partir de Tm_2 se puede calcular la tracción en el punto B o más elevado del vano mediante la expresión.

$$T_B = Tm_2 + p \cdot \left(f + \frac{d}{2}\right) = Tm_2 + p \cdot \left(\frac{b^2 \cdot p}{8 \cdot Tm_2} + \frac{d}{2}\right)$$ que sustituyendo valores queda:

$$T_B = 188'7 + 0'267 \left[\frac{254'95^2 \cdot 0'267}{8 \cdot 188'7} + \frac{50}{2}\right] = 198'4 \text{ daN}$$

El coeficiente EDS vale $\frac{T_B}{CR} \cdot 100 = \frac{198'4}{2316} \cdot 100 = 8'6\% < 15\%$

b_2) Tensión en horas frías CHS (Cool Hour Stress)

La tensión en el conductor a -5°C para todas las zonas, sin sobrecargas, no debe ser superior al 20% de la carga de rotura del conductor

tm_2	θ_2	m_2
?	-5°C	1

Aplicando la ecuación de cambio de condiciones queda

$$K = \frac{2v_1^2 \cdot E \cdot w^2 \cdot m_1^2}{24 \cdot tm_1^2} - tm_1 = \frac{254'65^2 \cdot 7949 \cdot 0'0034^2 \cdot 4705^2}{24 \cdot 9'572^2} - 9'572 = 36'023 \text{ daN/mm}^2$$

$$A = \alpha \cdot E \cdot (\theta_2 - \theta_1) + K = 19'1 \cdot 10^{-6} \cdot 7949 \cdot (-5 - (-5)) + 36'023 = 36'023 \text{ daN/mm}^2$$

$$B = \frac{2v_2^2 \cdot E \cdot w^2 \cdot m_2^2}{24} = \frac{250^2 \cdot 7949 \cdot 0'0034^2 \cdot 1^2}{24} = 238'868 \text{ daN}^3/\text{mm}^6$$

$$tm_2^2 \cdot (tm_2 + A) = B \rightarrow tm_2^2 (tm_2 + 36'023) = 238'868 \longrightarrow tm_2 = 2'490 \text{ daN/mm}^2$$

$$Tm_2 = tm_2 \cdot S \rightarrow Tm_2 = 2'49 \cdot 78'6 = 195'7 \text{ daN}.$$

A partir de Tm_2 se puede calcular la tensión en el punto B, o sea el del vano, mediante la expresión.

$$T_B = Tm_2 + p \cdot \left(f + \frac{d}{2}\right) = Tm_2 + p \cdot \left(\frac{b^2 \cdot p}{8 \cdot Tm_2} + \frac{d}{2}\right)$$ que sustituyendo

$$T_B = 195'7 + 0'267 \cdot \left[\frac{254'95^2 \cdot 0'267}{8 \cdot 195'7} + \frac{50}{2}\right] = 205'4 \text{ daN}$$

El coeficiente CHS vale $\frac{T_B}{CR} \cdot 100 = \frac{205'4}{2316} \cdot 100 = 8'9\% < 20\%$

c) Hipótesis de flechas máximas

Para su cálculo se consideran las hipótesis de viento y temperatura correspondiente a la zona A.

c_1) Hipótesis de flechas máximas con viento:

t_2	θ_2	m_2
	15°C	2'738

Aplicando la ecuación de cambio de condiciones queda:

$A = \alpha \cdot E(\theta_2 - \theta_1) + K = 19'1 \cdot 10^{-6} \cdot 7949 \cdot (15 - (-5)) + 36'023 = 39'059$ daN/mm²

$B = \frac{av_2^2 \cdot E \cdot W^2 \cdot m_2^2}{24} = \frac{254'29^2 \cdot 7949 \cdot 0'0034^2 \cdot 2'738^2}{24} = 1852'105$ daN³/mm⁶

$tm_2^2(tm_2 + A) = B \rightarrow tm_2^2(tm_2 + 39'059) = 1852'105 \rightarrow tm_2 = 6'384$ daN/mm² $\rightarrow Tm_2 = tm_2 \cdot S$

$Tm_2 = 6'384 \cdot 78'6 = 501'8$ daN

El valor de la flecha es: $f_{max\ viento} = \frac{b^2 \cdot W}{8 \cdot tm_2} \cdot m_2 = \frac{254'95^2 \cdot 0'0034}{8 \cdot 6'384} \cdot 2'738$

$f_{max\ viento} = 11'84$ m

c2) Hipotesis de flecha máxima con temperatura:

tm_2	θ_2	m_2
?	50°C	1

Aplicando la ecuación de cambio de condiciones queda:

$A = \alpha \cdot E(\theta_2 - \theta_1) + K = 19'1 \cdot 10^{-6} \cdot 7949\,(50 - (-5)) + 36'023 = 44'373$ daN/mm²

$B = \frac{av_2^2 \cdot E \cdot W^2 \cdot m_2^2}{24} = \frac{250^2 \cdot 7949 \cdot 0'0034 \cdot 1^2}{24} = 238'868$ daN³/mm⁶

$tm_2^2(tm_2 + A) = B \rightarrow tm_2^2(tm_2 + 44'373) = 238'868 \rightarrow tm_2 = 2'263$ daN/mm²

$Tm_2 = tm_2 \cdot S \rightarrow Tm_2 = 2'263 \cdot 78'6 = 177'9$ daN

El valor de la flecha es: $f_{max\ \theta} = \frac{b^2 \cdot W}{8 \cdot tm_2} \cdot m_2 = \frac{254'95^2 \cdot 0'0034}{8 \cdot 2'263} \cdot 1$

$f_{max\ \theta} = 12'20$ m.

c3) Hipotesis de flecha máxima con hielo

No se considera en zona A.

d) Hipotesis de flecha mínima vertical

tm_2	θ_2	m_2
?	-5°C	1

La hipotesis de la flecha mínima coincide con la hipotesis correspondiente a fenomenos vibratorios en condiciones de temperaturas mínimas (CHS) por tanto: $tm_2 = 2'49$ daN/mm² $\rightarrow Tm_2 = tm_2 \cdot S = 2'49 \cdot 78'6 = 195'7$ daN

El valor de la flecha es:

$$f_{max} = \frac{b^2 \cdot W}{8 \cdot t_2} \cdot m_2 = \frac{254'95^2 \cdot 0'0034}{8 \cdot 2'49} \cdot 1 = 11'08\ m$$

c) Hipotesis para el calculo de apoyos

Se utiliza para obtener la tracción del conductor a tener en cuenta a la hora de calcular los apoyos de la línea. Esta tracción, según el RLAT en zona A_1 y aquella existe un viento excepcional, es la correspondiente al conductor sometido a una sobrecarga de viento de 120km/h a la temperatura de -5°C. No obstante, y con objeto de obtener un mayor margen de seguridad, el proyectista podría utilizar la velocidad excepcional de 150km/h. En este ejemplo se calcula para 120km/h

t_{m_2}	θ_2	m_2
?	-5°C	2'738

Aplicando la ecuación de cambio de condiciones

$$A = E \cdot \alpha (\theta_2 - \theta_1) + K = 19'1 \cdot 10^{-6} \cdot 7949 \cdot (-5 - (-5)) + 36'023 = 36'023\ daN/mm^2$$

$$B = \frac{a v_2^2 \cdot E \cdot W^2 \cdot m_2^2}{24} = \frac{254'29^2 \cdot 7949 \cdot 0'0034^2 \cdot 2'738}{24} = 1852'105\ daN^3/mm^6$$

$$t_{m_2}^2 \cdot (t_{m_2} + A) = B \rightarrow t_{m_2}^2 \cdot (t_{m_2} + 36'023) = 1852'105 \rightarrow t_{m_2} = 6'592\ daN/mm^2 \rightarrow T_{m_2} = t_{m_2} \cdot S$$

$T_{m_2} = 6'592 \cdot 78'6 = 518'2\ daN$ El valor de la flecha es:

$$f = \frac{b^2 \cdot W}{8 \cdot t_{m_2}} \cdot m_2 = \frac{254'95 \cdot 0'0034}{8 \cdot 6'592} \cdot 2'738 = 11'46\ m$$

f) Hipotesis empleada para el cálculo de la desviación de la cadena de aisladores:

Se utiliza para calcular la distancia entre los conductores y partes puestas a tierra, según establece el Apartado 5.4.2 de la ITC-LAT-07. Al considerarse en esta hipótesis una sobrecarga sobre el conductor correspondiente a una presión de viento de la mitad de la indicada en el apartado 3.1.2 del RLAT, será necesario, al emplear la ecuación de cambio de condiciones, calcular el vano ar proyectado sobre el plano inclinado del conductor por efecto de la presión del viento.

Así pues tenemos:

$$P = \sqrt{P^2 + \left(\frac{P_v}{2}\right)^2} \Rightarrow P = \sqrt{0'267^2 + \left(\frac{60}{2} \cdot \left(\frac{120}{120}\right)^2 \cdot 11'34 \cdot 10^{-3}\right)^2} = 0'432 \text{ daN/m}$$

$$b = \sqrt{250^2 + 50^2} = 254'95 \text{m}$$

$$d_v = d \cdot \cos \Psi \rightarrow \cos \Psi = \frac{P}{P} = \frac{0'267}{0'432} = 0'617 \quad d_v = 50 \cdot \cos 0'618 = 30'871 \text{ m}$$

La nueva longitud del vano proyectado es:

$$a_v = \sqrt{b^2 - d_v^2} \rightarrow a_v = \sqrt{254'95^2 - 30'87^2} = 253'075 \text{ m}$$

Y el coeficiente de sobrecarga $m_2 = \frac{P}{P} = \frac{0'432}{0'267} = 1'62$

Las condiciones correspondientes a esta hipótesis son:

t_{m_2}	θ_2	m_2
?	-5°C	1'62

Aplicando la ecuación de cambio de condiciones

$$A = \alpha \cdot E \cdot (\theta_2 - \theta_1) + K = 19'1 \cdot 10^{-6} \cdot 7949 \cdot (-5 - (-5)) + 36'023 = 36'023 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

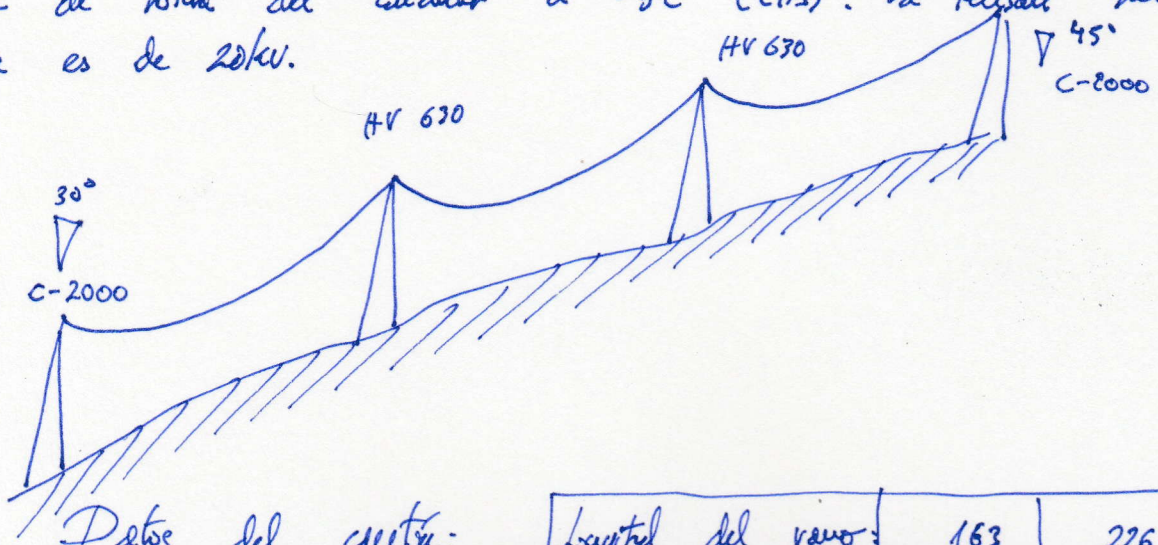
$$B = \frac{a_{v_2}^2 \cdot E \cdot w^2 \cdot m_2^2}{24} = \frac{253'071 \cdot 7949 \cdot 0'0034^2 \cdot 1'62^2}{24} = 642'178 \text{ daN}^3/\text{mm}^6$$

$$t_{m_2}^2 \cdot (t_{m_2} + A) = B \rightarrow t_{m_2}^2 \cdot (t_{m_2} + 36'023) = 642'178 \rightarrow t_{m_2} = 4'005 \text{ daN/mm}^2$$

$$T_{m_2} = t_{m_2} \cdot S \rightarrow T_{m_2} = 4'005 \cdot 78'6 = 314'8 \text{ daN.}$$

EJEMPLO DE CÁLCULO MECANICO DE UN CANTON DE LINEA:

Se trata de establecer el calculo mecánico de un conductor LA-110, instalado en un cantón con tres vanos desnivelados a 1350 metros de altitud. Se limitará la tracción en conductores de forma que no supere el 9% de la carga de rotura del conductor a 15°C (EDS) y el 16% de la carga de rotura del conductor a -5°C (CHS). La tensión nominal de la línea es de 20kv.



Pesos del cantón:

Longitud del vano:	163	226	92
Desnivel	16	19	36

Características del conductor:

$S = 116'2 mm^2$ $\quad \phi = 14 mm$ $\quad p = 0'425 daN/m$

$E = 8047 daN/mm^2$ $\quad \alpha = 17'8 \cdot 10^{-6} °C^{-1}$ $\quad C_R = 4318 daN$

Vamos a utilizar y realizar:
el cálculo del vano ideal de regulación

Supuestos vanos nivelados

$$a_R = \sqrt{\frac{\Sigma (a_i)^3}{\Sigma a_i}} = \sqrt{\frac{163^3 + 226^3 + 92^3}{163 + 226 + 92}} = 186'067 m$$

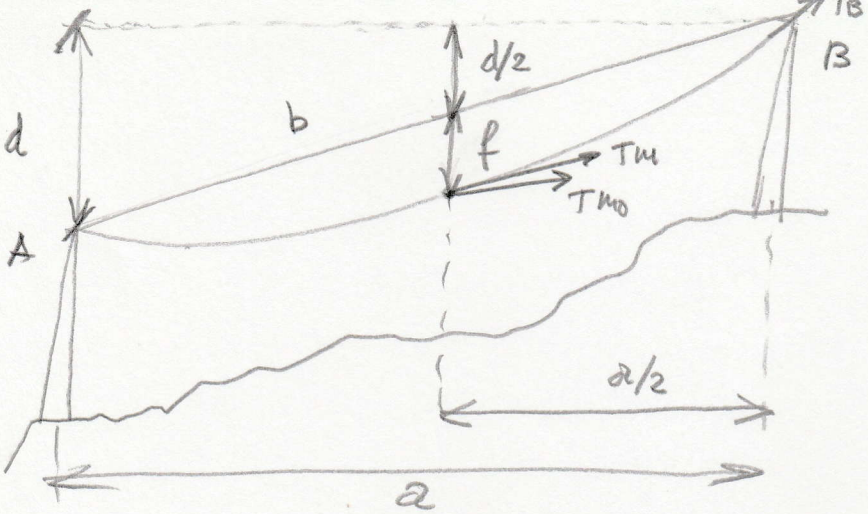
Para el caso de vanos desnivelados
el vano ideal de regulación se calcula según la ecuación

$$a_r = \frac{\Sigma \frac{b_i^3}{a_i^2}}{\Sigma \frac{b_i^2}{a_i}} \cdot \sqrt{\frac{\Sigma (a_i)^3}{\Sigma \frac{b_i^2}{a_i}}}$$

siendo b_i, la distancia real entre los puntos de sujeción de los conductores de los diferentes vanos.

Que para nuestro caso valen: $b_1 = \sqrt{163^2 + 16^2} = 163'78 m$

$b_2 = \sqrt{226^2 + 19^2} = 226'8 m$ $\quad b_3 = \sqrt{92^2 + 36^2} = 98'8 m$



Por tanto, el vano ideal de regulación tendría un valor:

$$a_r = \frac{\frac{163'78^3}{163^2} + \frac{226'8^3}{226^2} + \frac{98'8^3}{92^2}}{\frac{163'78^2}{163} + \frac{226'8^2}{226} + \frac{98'8^2}{92}} \cdot \sqrt{\frac{163^3 + 226^3 + 92^3}{\frac{163'78^2}{163} + \frac{226'8^2}{226} + \frac{98'8^2}{92}}} = 186'275 \text{ m.}$$

En primer lugar, se establecerá la tracción horizontal máxima que debe existir en el vano de regulación. Esta tracción horizontal será igual en todos los vanos y por tanto, se debe calcular como el valor que garantice que en ningún vano se sobrepase, en el punto más alto de fijación del conductor, su carga de rotura dividida por el coeficiente de seguridad de 3. Para ello se calculan las tracciones en los puntos medios de cada vano mediante la expresión que relaciona dicha tracción con la del punto más elevado del conductor:

$$T_M = \frac{1}{4}\left[2 \cdot T_B - p \cdot d + \sqrt{[(p \cdot d) - 2 \cdot T_B]^2 - (2 \cdot p^2 \cdot b^2)}\right]$$

T_B = tracción máxima que se puede dar en un cable.
p = peso del cable en el estado considerado (incluyendo sobrecarga)
d = desnivel del vano considerado, en metros
b = distancia entre los puntos de sujeción del cable para el vano considerado.

Para el primer vano del cantón, teniendo en cuenta que no ha de superarse en ningún punto del conductor la carga de rotura dividida por 3, tendremos

$$T_B = \frac{CR}{3} = \frac{4318}{3} = 1439'33 \text{ daN}$$

El peso del conductor con sobrecarga de hielo según para zona C es:

$p = p + ph = p + 0'36\sqrt{d}$ siendo d = el diámetro del conductor (mm)

$p = 0'425 + 0'36 \cdot \sqrt{14} = 1'772$ daN/m

Coeficiente de sobrecarga: $m = \frac{P}{p} = 4'169$

Sustituyendo los valores anteriores en la expresión correspondiente a la tracción en el punto medio del vano queda para el vano 1:

$$T_{m,\,vano_1} = \frac{1}{4} \cdot \left[2 \cdot 1439'33 - 1'77 \cdot 16 + \sqrt{((1'77 \cdot 16) - 2 \cdot 1439'33)^2 - (2 \cdot 1'77^2 \cdot 163'78^2)} \right] = 1417'7 \text{ daN}$$

Realizando las mismas operaciones para el resto de vanos queda

$T_{m,\,vano_2} = 1408'2$ daN $\quad T_{m,\,vano_3} = 1404'7$ daN.

Como la tracción en el punto medio del vano es paralela a la recta que une los puntos A y B de fijación del conductor, se cumple que la tracción horizontal en un vano desnivelado está relacionada con la tracción en el punto medio del vano mediante la expresión: $T_{m_0} = T_m \cdot \frac{a}{b}$

Para el primer vano vale: $T_{m0,\,vano_1} = T_{m\,vano_1} \cdot \frac{a_1}{b_1} = 1417'7 \cdot \frac{163}{163'78} = 1410'9$ daN

Realizando las mismas operaciones para el resto de vanos queda:

$T_{m0,\,vano_2} = 1403'2$ daN ; $T_{m0,\,vano_3} = 1308'1$ daN

Por tanto, para no sobrepasar en ningún punto de ningún vano, la carga de rotura del conductor dividida por el coeficiente de seguridad, la tracción horizontal que debe tener como máximo el vano de regulación será la menor de las tracciones horizontales anteriores, que en nuestro caso se corresponde con la del vano 3, es decir

$$T_{m0(min)} = 1308'1 \text{ daN}$$

Por el hecho de tener vanos desnivelados, la tracción a emplear en la ecuación de cambio de condiciones viene dada por la relación

Si llamamos: $\Gamma = \dfrac{\sum \frac{bi^3}{ai^2}}{\sum \frac{bi^2}{ai}} = 1'019$

entonces:

$$\tau_1 = \frac{T_{m0} \cdot \Gamma}{S} = \frac{1308'1 \cdot 1'019}{116'2} = \frac{1332'86}{116'2} = 11'47 \text{ daN/mm}^2$$

a) Hipótesis de tracción máxima

a_1) Tracción máxima en hielo

Una de las condiciones impuestas en el RLAT correspondiente a esta hipótesis es que no ha de superarse la tracción $\tau_1 \cdot S$, de 1332'86 daN, con sobrecarga de hielo para zona C, a la temperatura de $-20°C$, situación que está ya obtenida y que se considerará como inicial

Los parámetros correspondientes al estado inicial serán:

τ_1	θ_1	m_1
11'47 daN/mm²	$-20°C$	4'17

Empleando la ecuación de cambio de condiciones, se obtendrá la tracción en el conductor para las otras condiciones impuestas en la hipótesis de tracción máxima:

a_2) Tracción máxima en viento

La tracción en el conductor a la temperatura de $-15°C$ con viento de 120km/h ha de ser inferior a 1332'9 daN.

τ_2	θ_2	m_2
?	$-15°C$	2'21

$$m_2 = \frac{P}{p} = \frac{\sqrt{p^2 + p_v^2}}{p} = \frac{\sqrt{0'425^2 + \left[60 \cdot \left(\frac{120}{120}\right) \cdot 14 \cdot 10^{-3}\right]^2}}{0'425}$$

$$m_2 = 2'21$$

Aplicando la ecuación de cambio de condiciones, queda

$$K = \frac{a^2 \cdot E \cdot w^2 \cdot m_1^2}{24 \cdot \tau_1^2} - \tau_1 = \frac{186'275^2 \cdot 8047 \cdot 0'003657^2 \cdot 4'17^2}{24 \cdot 11'47^2} - 11'47 = 9'093 \text{ daN/mm}^2$$

$$A = \alpha \cdot E \cdot (\theta_2 - \theta_1) + K = 17'8 \cdot 10^{-6} \cdot 8047 \cdot (-15 - (-20)) + 9'903 = 9'809 \text{ daN/mm}^2$$

$$B = \frac{a_r^2 \cdot E \cdot w^2 \cdot m_2^2}{24} = \frac{186'275^2 \cdot 8047 \cdot 0'003657^2 \cdot 4'17^2}{24} = 763'598 \text{ daN}^3/\text{mm}^6$$

$$T_2^2 \cdot (T_2 + A) = B \rightarrow T_2^2 \cdot (T_2 + 9'809) = 763'598 \rightarrow T_2 = 6'78 \text{ daN/mm}^2$$

$$T_2 = \frac{\tau_2 \cdot S}{\Gamma} = \frac{6'78 \cdot 116'2}{1'019} = 773'6 \text{ daN.}$$ Tracción inferior a 1332'86 daN

a3) Hipotesis adicional

Con viento excepcional superior a 120km/h deberá de comprobarse si se supera la tracción de 1332'86 daN a -15°C.

b) Comprobación de fenómenos vibratorios:

b1). Tensión de cada día (Every Day Shen)

En general, se recomienda que la tracción a temperatura de 15°C no supere el 22% de la carga de rotura si se realiza el estudio de amortiguamiento y se instalan dispositicos antivibratorios, o que bien no supere el 15% de la carga de rotura si no se instalan. Para nuestro ejemplo se ha exigido no superar 9% a la temperatura de 15°C.

T_2	θ_2	m_2
?	15°C	1

Aplicando la ecuación de cambio de condiciones queda:

$$A = \alpha \cdot E (\theta_2 - \theta_1) + K = 17'8 \cdot 10^{-6} \cdot 8047 \cdot (15 - (-20)) + 9'093 = 14'106 \ daN/mm^2$$

$$B = \frac{a_r^2 \cdot E \cdot w^2 \cdot m_2^2}{24} = \frac{186'275^2 \cdot 8047 \cdot 0'003657^2 \cdot 1^2}{24} = 155'632 \ daN^3/mm^6$$

$$T_2^2 \cdot (T_2 + A) = B \rightarrow T_2^2 \cdot (T_2 + 14'106) = 155'632 \rightarrow T_2 = 3'015 \ daN/mm^2 \rightarrow T_2 = \frac{T_2 \cdot S}{\Gamma} =$$

$$T_2 = \frac{3'015 \cdot 116'2}{1'019} = 343'8 \ daN.$$

A continuación se calcula el coeficiente EDS, en %.

La tracción en el punto medio de los vanos correspondiente a esta tracción horizontal será:

$$T_{m2, vano\ i} = T_2 \cdot \frac{b_i}{a_i}$$ que para cada uno de los vanos quedará:

$$T_{m2, vano\ 2} = 345 \ daN \ ; \ T_{m2, vano\ 3} = 369'2 \ daN$$

La tracción en el extremo superior de cada vano, correspondiente a esta tracción

$$T_{B, vano\ i} = \rho \cdot \left[\frac{b_i^2 \cdot \rho}{8 \cdot T_{m2, vano\ i}} + \frac{d_i}{2} \right] + T_{m2, vano\ i}$$

Para el vano 1 quedaría:

$$T_{B,\,vano\,1} = 0'425 \cdot \left[\frac{163'78^2 \cdot 0'425}{8 \cdot 343'8} + \frac{16}{2}\right] + 343'8 = 350'6 \text{ daN}$$

Para el resto de vanos queda:

$T_{B,\,vano\,2} = 353'4$ daN $T_{B,\,vano\,3} = 377'5$ daN

El coeficiente EDS vale → $Coef.EDS = \frac{Max\,(T_{B,\,vano\,i})}{C_R} \cdot 100 = \frac{409'3}{4318} \cdot 100 = 9'48\% < 16\%$

c) Hipotesis de flechas máximas

Estas hipotesis permiten calcular la tracción mecánica y la flecha máxima para poder comprobar la distancia entre conductores, entre conductores y apoyos y calcular la altura de los apoyos. Para su cálculo se consideran las hipótesis reglamentarias correspondientes a la zona C, (viento, temperatura y hielo)

c_1) Hipotesis de flecha máxima con viento:

T_2	θ_2	m_2
?	15°C	2'21

Aplicando la ecuación de cambio de condiciones queda:

$$A = \alpha \cdot E(\theta_2 - \theta_1) + K = 17'8 \cdot 10^{-6} \cdot 8047 \cdot (15 - (-20)) + 9'093 = 14'106 \text{ daN/mm}^2$$

$$B = \frac{ar^2 \cdot E \cdot W^2 \cdot m_2^2}{24} = \frac{186'275^2 \cdot 8047 \cdot 0'003657^2 \cdot 2'21^2}{24} = 763'598 \text{ daN}^3/\text{mm}^6$$

$$T_2^2 \cdot (T_2 + A) = B \rightarrow T_2^2 (T_2 + 14'106) = 763'598 \rightarrow T_2 = 6'1415 \text{ daN/mm}^2$$

$$T_2 = \frac{T_2 \cdot S}{\Gamma} = \frac{6'141 \cdot 116'2}{1'019} = 700'4 \text{ daN}$$

El valor de la flecha es: $f_{max\,viento} = \frac{ar^2 \cdot p}{8 \cdot T_2} \cdot m_2 = \frac{186'275 \cdot 0'425}{8 \cdot 700'4} \cdot 2'21$

$f_{max,\,viento} = 5'83$ m

c_2) Hipotesis de flecha máxima con temperatura:

T_2	θ_2	m_2
?	50°C	1

Aplicando la ecuación de cambio de condiciones queda:

$$A = \alpha \cdot E(\theta_2 - \theta_1) + k = 17'8 \cdot 10^{-6} \cdot 8047 \cdot (50 - (-20)) + 9'093 = 19'119 \ daN/mm^2$$

$$B = \frac{ar^2 \cdot E \cdot w^2 \cdot m_2^2}{24} = \frac{186'275^2 \cdot 8047 \cdot 0'003657 \cdot 1^2}{24} = 155'632 \ daN^3/mm^6$$

$$T_2^2 \cdot (T_2 + A) = B \longrightarrow T_2^2 \cdot (T_2 + 19'119) = 155'632 \longrightarrow T_2 = 2'673 \ daN/mm^2 \rightarrow T_2 = \frac{T_2 \cdot S}{\Gamma} =$$

$$T_2 = \frac{2'672 \cdot 116'2}{1'019} = 304'8 \ daN$$ El valor de la flecha es:

$$f_{max,\theta} = \frac{ar^2 \cdot p}{8 \cdot T_2} \cdot m_2 = \frac{186'275^2 \cdot 0'425}{8 \cdot 304'8} \cdot 1 = 6'048 m$$

C_3) Hipótesis de flecha máxima con hielo

T_2	θ_2	m_2
?	0°C	4'17

Aplicando la ecuación de cambio de condiciones:

$$A = \alpha \cdot E \cdot (\theta_2 - \theta_1) + k = 17'8 \cdot 10^{-6} \cdot 8047 \cdot (0 - (-20)) + 9'093 = 11'958 \ daN/mm^2$$

$$B = \frac{ar^2 \cdot E \cdot w^2 \cdot m_2^2}{24} = \frac{186'275^2 \cdot 8047 \cdot 0'003657^2 \cdot 4'17^2}{24} = 2705'495 \ daN^3/mm^6$$

$$T_2^2 \cdot (T_2 + A) = B \longrightarrow T_2^2 \cdot (T_2 + 11'958) = 2705'495 \longrightarrow T_2 = 10'883 \ daN/mm^2 \longrightarrow T_2 = \frac{T_2 \cdot S}{\Gamma}$$

$$T_2 = \frac{10'883 \cdot 116'2}{1'019} = 1241'2 \ daN$$ El valor de la flecha es:

$$f_{max\ hielo} = \frac{ar^2 \cdot p}{8 \cdot T_2} \cdot m_2 = \frac{186'275^2 \cdot 0'425}{8 \cdot 1241'2} \cdot 4'17 = 6'192 m$$

Si se quiere obtener el valor de la flecha para cada uno de los vanos pertenecientes al cantón, teniendo en cuenta la expresión, resulta que:

$f_{max\ hielo,\ vano\ i} = \frac{a_i \cdot b_i}{ar^2} \cdot f_{max\ hielo}$ que para cada uno de los vanos queda:

$$f_{max\ hielo,\ vano\ 1} = \frac{a_1 \cdot b_1}{ar^2} \cdot f_{max\ hielo} = \frac{163 \cdot 163'78}{186'275^2} \cdot 6'192 = 4'764 m$$

$$f_{max\ hielo,\ vano\ 2} = \frac{a_2 \cdot b_2}{ar^2} \cdot f_{max\ hielo} = \frac{226 \cdot 226'8}{186'275^2} \cdot 6'192 = 9'147 m$$

$$f_{max\ hielo,\ vano\ 3} = \frac{a_3 \cdot b_3}{ar^2} \cdot f_{max\ hielo} = \frac{92 \cdot 98'8}{186'275^2} \cdot 6'192 = 1'622 m$$

d) Hipotesis de flecha mínima vertical:

Se utiliza para comprobar en el perfil longitudinal la existencia de tiro ascendente sobre los apoyos y comprobar las distancias de seguridad en los cruzamientos con otras líneas eléctricas (Apartado 5.6.1 ITC-LAT 07).

T_2	θ_2	m_2
?	-20°C	1

Aplicando la ecuación de cambio de condiciones queda:

$$A = \alpha \cdot E (\theta_2 - \theta_1) + K = 17'8 \cdot 10^{-6} \cdot 8047 \cdot (-20-(-20)) + 9'093 = 9'093 \ daN/mm^2$$

$$B = \frac{ar^2 \cdot E \cdot w^2 \cdot m_2^2}{24} = \frac{186'275^2 \cdot 8047 \cdot 0'003657^2 \cdot 1^2}{24} = 155'632 \ daN^3/mm^6$$

$$T_2^2 \cdot (T_2 + A) = B \rightarrow T_2^2 (T_2 + 9'093) = 155'632 \rightarrow T_2 = 3'514 \ daN/mm^2 \rightarrow T_2 = \frac{T_2 \cdot S}{\Gamma}$$

$$T_2 = \frac{3'514 \cdot 116'2}{1'019} = 400'7 \ daN$$, El valor de la flecha es:

$$f \ min \ ar = \frac{ar^2 \cdot \rho}{8 \cdot T_2} \cdot m_2 = \frac{186'275^2 \cdot 0'425}{8 \cdot 400'7} \cdot 1 = 4'6 \ m$$

Si se quiere obtener el valor de la flecha mínima para cada uno de los vanos pertenecientes al cantón, utilizaremos la expresión:

$$f_{min \ vano \ i} = \frac{a_i \cdot b_i}{ar^2} \cdot f_{min \ ar}$$ que para cada uno de los vanos:

$$f_{min \ vano \ 1} = \frac{a_1 \cdot b_1}{ar^2} \cdot f_{min \ ar} = \frac{163 \cdot 163'78}{186'275^2} \cdot 4'6 = 3'539 \ m$$

$$f_{min \ vano \ 2} = \frac{a_2 \cdot b_2}{ar^2} \cdot f_{min \ ar} = \frac{226 \cdot 226'8}{186'275^2} \cdot 4'6 = 6'796 \ m$$

$$f_{min \ vano \ 3} = \frac{a_3 \cdot b_3}{ar^2} \cdot f_{min \ ar} = \frac{92 \cdot 98'8}{186'275^2} \cdot 4'6 = 1'205 \ m$$

e) Hipotesis para el calculo de apoyos:

Coincide con las hipotesis de tracción máxima, calculadas anteriormente.

f) Hipotesis empleada para el calculo de la desviación de la cadena de aisladores:

Se utiliza para calcular la distancia entre los conductores y partes puestas a tierra, según establece el apartado 5.4.2 ITC - LAT-07

Las condiciones correspondientes a esta hipótesis son:

T_2	θ_2	w_2
?	-15°C	1'406

$$m_2 = \frac{P}{p} = \frac{\sqrt{p^2 + pv^2}}{p} = \frac{\sqrt{0'425^2 + \left[\frac{60}{2}\cdot\left(\frac{120}{120}\right)^2 \cdot 14\cdot 10^{-3}\right]^2}}{0'425} = 1'406$$

Aplicando la ecuación de cambio de condiciones queda:

$$A = \alpha \cdot E(\theta_2 - \theta_1) + K = 17'8\cdot 10^{-6}\cdot 8047\cdot(-15-(-20)) + 9'093 = 9'809 \text{ daN/mm}^2$$

$$B = \frac{a_r^2 \cdot E \cdot w^2 \cdot m_2^2}{24} = \frac{186'275^2 \cdot 8047 \cdot 0'003657^2 \cdot 1'406^2}{24} = 307'624$$

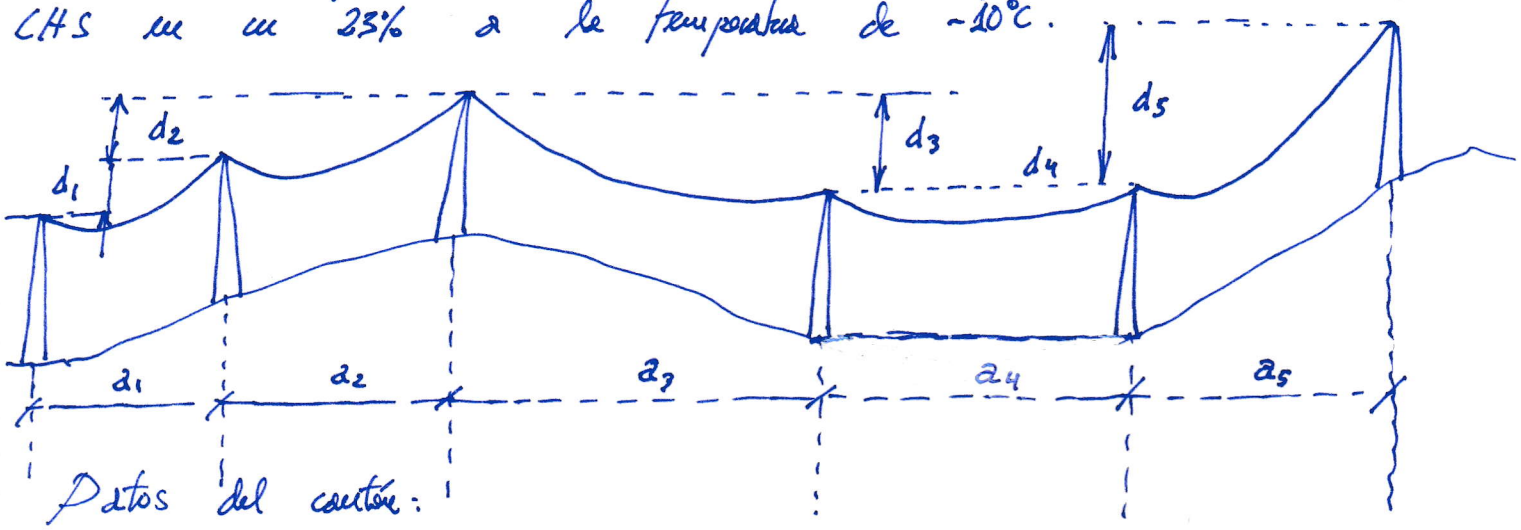
$$T_2^2\cdot(T_2 + A) = B \rightarrow T_2^2(T_2 + 9'809) = 307'624 \rightarrow T_2 = 4'618 \text{ daN/mm}^2 \rightarrow T_2 = \frac{T_2 \cdot S}{\Pi} =$$

$$T_2 = \frac{4'618\cdot 116'2}{1'019} = 526'61 \text{ daN}.$$

EJEMPLO DE CALCULO MECANICO DE UN CANTON DE LINEA DE CATEGORIA ESPECIAL:

- Calculo mecánico del conductor de fase:

Se quiere establecer el calculo mecánico de un conductor LA-280, instalado en un cantón con vanos desnivelados a 1200 metros de altitud zona C. La tensión nominal de la línea es de 220 kV. El límite EDS para esta línea se fija en un 21% a la temperatura de 15°C y el CHS en un 23% a la temperatura de -10°C.



Datos del cantón:

Longitud del vano a_i (m)	250	240	277	245	280
Desnivel (m)	15	20	-10	0	40

Caracteristicas del conductor:

$S = 281'1\ mm^2$

$d = 21'8\ mm$

$p = 0'959\ daN/m$

$E = 7556\ daN/mm^2$

$\alpha = 18'9 \cdot (0^{-6}\ °C^{-1})$

$CR = 8459\ daN$

El calculo del vano ideal de regulación, cuando vanos nivelados, se realiza según la expresión:

$$a_r = \sqrt{\frac{\sum (a_i)^3}{\sum a_i}} = \sqrt{\frac{250^3 + 240^3 + 277^3 + 245^3 + 280^3}{250 + 240 + 277 + 245 + 280}} = 260'033\ m$$

No obstante, para el caso de vanos desnivelados, la expresión a utilizar para el vano ideal de regulación es:

$$a_r = \frac{\sum \frac{b_i^3}{a_i^2}}{\sum \frac{b_i^2}{a_i}} \cdot \sqrt{\frac{\sum (a_i)^3}{\sum \frac{b_i^2}{a_i}}}$$

siendo b_i, la distancia real entre los puntos de sujeción de los conductores de los diferentes vanos, que para nuestro caso valen.

$b_1 = \sqrt{250^2 + 15^2} = 250'45\,m$ $\quad b_3 = \sqrt{277^2 + 10^2} = 277'18\,m$

$b_5 = \sqrt{280^2 + 40^2} = 282'84\,m$

$b_2 = \sqrt{240^2 + 20^2} = 240'83\,m$ $\quad b_4 = \sqrt{245^2 + 0^2} = 245\,m$

Por tanto, el vano ideal de regulación tendrá la longitud siguiente

$$a_r = \frac{\frac{250'45^3}{250^2} + \frac{240'83^3}{240^2} + \frac{277'18^3}{277^2} + \frac{245^3}{245^2} + \frac{282'84^3}{280^2}}{\frac{250'45^2}{250} + \frac{240'83^2}{240} + \frac{277'18^2}{277} + \frac{245^2}{245} + \frac{282'84^2}{280}} \cdot \sqrt{\frac{250^3 + 240^3 + 277^3 + 245^3 + 280^3}{\frac{250'45^2}{250} + \frac{240'83^2}{240} + \frac{277'18^2}{277} + \frac{245^2}{245} + \frac{282'84^2}{280}}}$$

que prácticamente el 1er $a_r = 260'038$, coincide con el vano anterior de $a_r = 260'033\,m$ para el caso de vanos nivelados.

Se establecerá primeramente la tracción horizontal máxima que debe existir en el vano de regulación. Esta tracción horizontal será igual en todos los vanos y por tanto se debe calcular como el valor que garantice que en ningún vano sobrepase la tracción, en el punto más alto de fijación del conductor, la carga de rotura dividida por el coeficiente de seguridad de 2'5. Para ello se calculan las tracciones en los puntos medios de cada vano mediante la expresión que relaciona dicha tracción con la del punto más elevado del conductor.

$$T_M = \frac{1}{H} \cdot \left[2 \cdot T_B - p \cdot d + \sqrt{\left[(p \cdot d) - 2 \cdot T_B \right]^2 - \left(2 \cdot p^2 \cdot b^2 \right)} \right] \quad \text{donde:}$$

Para el primer vano del cantón, teniendo en cuenta que no ha de superarse en ningún punto del cable la carga de rotura dividida por 2'5:

$$T_B = \frac{C_R}{2'5} = 3383'6\,daN$$

El paso del conductor con sobrecarga de hielo para zona C y viento de 60 km/h es:

$$p = \sqrt{(p + p_h)^2 + p_v^2} = \sqrt{\left(p + 0'36\sqrt{d}\right)^2 + \left(50 \cdot \left(\frac{60}{120}\right)^2 + d^* \cdot 10^{-3}\,m\right)^2} \quad \text{siendo } d^* = d_{cond} + 2 \cdot e_H$$

siendo el espesor del hielo $e_H = -r + \sqrt{r^2 + \frac{480 \cdot \sqrt{2}r}{\pi}} = -10'9 + \sqrt{10'9^2 + \frac{480\sqrt{2 \cdot 10'9}}{\pi}}$

$c_H = 17'948$ mm $d^* = d_{cond} + 2 \cdot c_H \rightarrow d^* = 21'8 + 2 \cdot 17'948 = 57'696$ mm

$$P = \sqrt{(0'959 + 0'36\sqrt{21'8})^2 + \left[50 \cdot \left(\frac{60}{120}\right)^2 \cdot (57'696 \cdot 10^{-3})\right]^2} = 2'737 \text{ daN/m}$$

$d_1 = 15$m

$b_1 = 250'45$m

por lo que sustituyendo en la expresión correspondiente a la tracción en el punto medio del vano queda para

$$T_{m,\,vano\,1} = \frac{1}{4}\left[2 \cdot 3383'6 - 2'736 \cdot 15 + \sqrt{[(2'736 \cdot 15) - 2 \cdot 3383'6]^2 - (2 \cdot 2'736^2 \cdot 250'45^2)}\right] = 3345'5 \text{ daN}$$

Realizando las mismas operaciones para el resto de vanos queda:

$T_{m,\,vano\,2} = 3340$ daN $T_{m\,vano\,3} = 3348'4$ daN

$T_{m,\,vano\,4} = 3366'9$ daN $T_{m\,vano\,5} = 3306'2$ daN

La tracción horizontal en un vano desnivelado está relacionada con la tracción en el punto medio del vano mediante la expresión:

$$T_{m0} = T_m \cdot \frac{a}{b}$$

Para el primer vano vale: $T_{m0\,vano\,1} = T_{m,\,vano\,1} \cdot \frac{a_1}{b_1} = 3345'5 \cdot \frac{250}{250'45} = 3339'5$

Realizando las mismas operaciones para el resto de vanos queda:

$T_{m0,\,vano\,2} = 3328'4$ daN $T_{m0,\,vano\,3} = 3346'3$ daN

$T_{m0,\,vano\,4} = 3366'9$ daN $T_{m0,\,vano\,5} = 3273'$ daN.

Por tanto, para no sobrecargar en ningún punto de ningún vano, la carga de rotura del conductor dividida por el coeficiente de seguridad, la tracción horizontal que debe tener como máximo el vano de regulación, será la menor de las tracciones horizontales anteriores, que en nuestro caso se corresponde con la del vano 5, es decir:

$$T_{m0\,(min)} = 3273 \text{ daN}$$

Por el hecho de tener vanos desnivelados la tracción a emplear en la ecuación de cambio de condiciones será de:

$$T_2 = \frac{T_{MO(min)} \cdot \frac{\sum \frac{bi^3}{ai^2}}{\sum \frac{bi^2}{ai}}}{S} = \frac{3273 \cdot 1'0034}{1162} = 11'683 \text{ daN/mm}^2 \qquad \text{siendo } \frac{\sum \frac{bi^3}{ai^2}}{\sum \frac{bi^2}{ai}} = 1'0034 = \Gamma$$

a) Hipótesis de tracción máxima:

a1) Tracción máxima con hielo y viento:

Una de las condiciones impuestas en el RLAT correspondiente a esta hipótesis es que no ha de superarse la tracción de 3273' daN, con sobrecarga de hielo para la zona C y viento de 60 km/h, a la temperatura de -20°C, situación esta ya estudiada y que se considerará como inicial

Los parámetros correspondientes al estado inicial serán:

T_1	θ_1	m_1
11'683	-20°C	2'854

$$m_1 = \frac{P}{p} = \frac{\sqrt{(p+ph)^2 + pv^2}}{p} = \frac{2'737}{0'959} = 2'854$$

a2) Tracción máxima con viento:

La tracción en el conductor a la temperatura de -15°C con viento de 140 km/h ha de ser inferior a 3273 daN

T_2	θ_2	m_2
?	-15°C	1'842

$$m_2 = \frac{P}{p} = \frac{\sqrt{p^2 + pv^2}}{p} = \frac{\sqrt{0'959^2 + \left[50 \cdot \left(\frac{140}{120}\right)^2 \cdot 21'8 \cdot 10^{-3}\right]^2}}{0'959}$$

$$m_2 = 1'842$$

Aplicando la ecuación de cambio de condiciones queda:

$$K = \frac{ar^2 \cdot E \cdot w^2 \cdot m_1^2}{24\, T_1^2} - T_1 = \frac{260'038^2 \cdot 7556 \cdot 0'003412^2 \cdot 2'854^2}{24 \cdot 11'683^2} - 11'683 = 3'101 \text{ daN/mm}^2$$

$$A = \alpha \cdot E \cdot (\theta_2 - \theta_1) + K = 18'9 \cdot 10^{-6} \cdot 7556 \cdot (-15 - (-20)) + 3'101 = 3'815 \text{ daN/mm}^2$$

$$B = \frac{ar^2 \cdot E \cdot w^2 \cdot m_2^2}{24} = \frac{260'038^2 \cdot 7556 \cdot 0'003412^2 \cdot 1'842^2}{24} = 840'807 \text{ daN}^3/\text{mm}^6$$

$$T_2^2 \cdot (T_2 + A) = B \rightarrow T_2^2 (T_2 + 3'815) = 840'807 \rightarrow T_2 = 8'323 \text{ daN/mm}^2$$

$$T_2 = \frac{T_2 \cdot S}{\Gamma} = \frac{8'323 \cdot 281'1}{1'0034} = 2331'7 \text{ daN} \quad \text{tracción inferior a 3273 daN}$$

Si hubiesemos tenido un viento excepcional superior a 140 Km/h deberíamos de comprobarse si se supera la tracción de 3271 daN -15°C.

b) Comprobación de fenómenos vibratorios:

b1) Tensión de cada día, EDS (Every Day Stress)

Para nuestro ejemplo se ha exigido no superar el 21% de la carga de rotura a la temperatura de 15°C.

T_2	θ_2	m_2
?	15°C	1

Aplicando la ecuación de cambio de condiciones:

$$A = \alpha \cdot E(\theta_2 - \theta_1) + K = 18'9 \cdot 10^{-6} \cdot 7556 \cdot (15-(-20)) + 3'101 = 8'099 \ daN/mm^2$$

$$B = \frac{a_1^2 \cdot E \cdot w^2 \cdot m_2^2}{24} = \frac{260'038^2 \cdot 7556 \cdot 0'003412^2 \cdot 1^2}{24} = 247'782 \ daN^3/mm^6$$

$$T_2^2 \cdot (T_2 + A) = B \longrightarrow T_2^2 \cdot (T_2 + 8'099) = 247'782 \longrightarrow T_2 = 4'444 \ daN/mm^2 \rightarrow T_2 = \frac{T_2 \cdot S}{\Gamma}$$

$$T_2 = \frac{4'444 \cdot 281'2}{1'0034} = 1245'2 \ daN$$

A continuación se calcula el coeficiente EDS en %.

La tracción en el punto medio de los vanos correspondientes a esta tracción horizontal será:

$$T_{m2,\ vano\ 1} = T_2 \cdot \frac{b_1}{a_1} = 1245'2 \cdot \frac{250'45}{250} = 1247'4 \ daN$$

Para el resto de vanos quedaría:

$T_{m2,\ vano\ 2} = 1249'5$ daN $T_{m2,\ vano\ 3} = 1246'0$ daN.

$T_{m2,\ vano\ 4} = 1245'2$ daN $T_{m2,\ vano\ 5} = 1257'8$ daN.

La tracción en el extremo superior de cada vano correspondiente a esta tracción será:

$$T_{B,\ vano\ i} = p \cdot \left[\frac{bi^2 \cdot p}{8 \cdot T_{m2,\ vano\ i}} + \frac{di}{2} \right] + T_{m2,\ vano\ i}$$

Para el vano 1 queda:

$$T_{B,\,vano\,1} = 0'959 \cdot \left[\frac{250'45^2 \cdot 0'959}{8 \cdot 1247'4} + \frac{15}{2}\right] + 1247'4 = 1260'4 \ daN$$

Para el resto de vanos queda:

$T_{B,\,vano\,2} = 1264'4\ daN$; $T_{B,\,vano\,3} = 1248'3\ daN$

$T_{B,\,vano\,4} = 1250'7\ daN$; $T_{B,\,vano\,5} = 1284'3\ daN$

El coeficiente EDS vale:

$$\text{Coeficiente EDS} = \frac{Max(T_{B,\,vano\,i})}{CR} \cdot 100 = \frac{1284'3}{8459} \cdot 100 = 15'2\% < 21\%.$$

b2) Tensiones en horas frías: CHS (Cool Hour Stress)

Para nuestro ejemplo se ha exigido no superar 23% a la temperatura de -10°C.

T_2	θ_2	m_2
?	-10°C	1

Aplicando la ecuación de cambio de condiciones queda:

$$A = \alpha \cdot E(\theta_2 - \theta_1) + k = 18'9 \cdot 10^{-6} \cdot 7556 \cdot (-10-(-20)) + 3'101 = 4'529 \ daN/mm^2$$

$$B = \frac{a_1^2 \cdot E \cdot w^2 \cdot m_2^2}{24} = \frac{260'038^2 \cdot 7556 \cdot 0'003412^2 \cdot 1^2}{24} = 247'782 \ daN^3/mm^6$$

$$T_2^2(T_2 + A) = B \rightarrow T_2^2(T_2 + 4'529) = 247'782 \rightarrow T_2 = 5'078 \ daN/mm^2$$

$$T_2 = \frac{T_2 \cdot s}{\Gamma} = \frac{5'078 \cdot 281'1}{1'0034} = 1422'8 \ daN$$ A continuación, se calcula el coeficiente CHS en %.

La tracción en el punto medio de los vanos correspondiente a esta tracción horizontal sería:

$$T_{m2,\,vano\,1} = T_2 \cdot \frac{b_1}{a_1} = 1422'8 \cdot \frac{250'45}{250} = 1425'3 \ daN$$

Para el resto de vanos quedaría

$T_{m2\,vano\,2} = 1427'7\ daN$ $T_{m2,\,vano\,3} = 1423'7\ daN$

$T_{m2,\,vano\,4} = 1422'9\ daN$ $T_{m2,\,vano\,5} = 1437'2\ daN$

La tracción en el extremo superior de cada vano, correspondiente a esta hipótesis, será:

$$T_{B,\text{vano } i} = p \cdot \left[\frac{b_i^2 \cdot p}{8 \cdot T_{H2,\text{vano } i}} + \frac{d_i}{2} \right] + T_{H2,\text{vano } i}$$

Para el vano 1 quedará:

$$T_{B,\text{vano } 1} = 0'959 \cdot \left[\frac{250'45^2 \cdot 0'959}{8 \cdot 1425'3} + \frac{15}{2} \right] + 1425'3 = 1437'6 \text{ daN}$$

Para el resto de vanos queda:

$T_{B,\text{vano } 2} = 1442$ daN $T_{B,\text{vano } 3} = 1425'1$ daN

$T_{B,\text{vano } 4} = 1427'6$ daN $T_{B,\text{vano } 5} = 1462'8$ daN

El coeficiente CHS vale: $CHS = \frac{\text{Max}(T_{B,\text{vano } i})}{C_R} \cdot 100 = \frac{1462'8}{8459} \cdot 100 = 17'3\% < 23\%$

c) Hipotesis de flechas máximas:

Estas hipótesis permiten calcular la tracción mecanica y la flecha máxima para poder comprobar la distancia tanto entre conductores como entre conductores y apoyos, así como calcular la altura de los apoyos. Para su calculo se consideran las hipotesis reglamentarias correspondientes a la zona C (viento, temperatura y hielo).

c1) Hipotesis de flecha máxima con viento

Aunque el RLAT establece el cálculo de la flecha máxima para un viento de 120 km/h, en este caso, el proyectista decide calcularla para un viento de 140 km/h, con objeto de aumentar las distancias de seguridad.

T_2	θ_2	m_2
?	15°C	1'842

Aplicando la ecuación de cambio de condiciones queda:

$$A = \alpha \cdot E \cdot (\theta_2 - \theta_1) + K = 18'9 \cdot 10^{-6} \cdot 7556 \cdot (15 - (-20)) + 3'101 = 8'099 \quad \text{daN/mm}^2$$

$$B = \frac{2r^2 \cdot E \cdot W^2 \cdot m_2^2}{24} = \frac{260'038^2 \cdot 7556 \cdot 0'003412^2 \cdot 1'842}{24} = 840'807 \quad \text{daN}^3/\text{mm}^6$$

$$T_2^2 (T_2 + A) = B \rightarrow T_2^2 (T_2 + 8'099) = 840'807 \rightarrow T_2 = 7'372 \text{ daN/mm}^2 \rightarrow T_2 = \frac{T_2 \cdot S}{\Pi}$$

$T_2 = 2065'3$ daN El valor de la flecha es:

$$f_{max\ viento} = \frac{ar^2 \cdot p}{8 \cdot T_2} \cdot m_2 = \frac{260'038^2 \cdot 0'959}{8 \cdot 2065'3} \cdot 1'842 = 7'23\ m$$

c2) Hipotesis de flecha máxima con temperatura

T_2	θ_2	m_2
?	85°C	1

Aplicando la ecuación de cambio de condiciones queda

$$A = \alpha \cdot E \cdot (\theta_2 - \theta_1) + K = 18'9 \cdot 10^{-6} \cdot 7556 \cdot (85 - (-20)) + 3'101 = 18'096\ daN/mm^2$$

$$B = \frac{ar^2 \cdot E \cdot W^2 \cdot m_2^2}{24} = \frac{260'038^2 \cdot 7556 \cdot 0'003412^2 \cdot 1^2}{24} = 247'782\ daN^3/mm^6$$

$$T_2^2 \cdot (T_2 + A) = B \longrightarrow T_2^2 (T_2 + 18'096) = 247'782 \longrightarrow T_2 = 3'397\ daN/mm^2 \rightarrow T_2 = \frac{T_2 \cdot s}{\Gamma}$$

$$T_2 = \frac{3'397 \cdot 281'1}{1'0034} = 951'6\ daN$$

El valor de la flecha es:

$$f_{max\theta} = \frac{ar^2 \cdot p}{8 \cdot T_2} \cdot m_2 = \frac{260'038^2 \cdot 0'959}{8 \cdot 951'6} \cdot 1 = 8'518\ m$$

Si se quiere obtener el valor de la flecha para cada uno de los vanos pertenecientes al cantón, teniendo en cuenta las expresiones (5) y (14). resulta:

$$f_{max\theta,\ vano\ i} = \frac{a_i \cdot b_i}{ar^2} \cdot f_{max\theta}$$ que para cada uno de los vanos queda:

$$f_{max\theta,\ vano\ 1} = \frac{a_1 \cdot b_1}{ar^2} \cdot f_{max\theta} = \frac{250 \cdot 250'45}{260'038^2} \cdot 8'518 = 7'887\ m$$

$f_{max\theta,\ vano\ 2} = 7'281\ m$; $f_{max\theta,\ vano\ 3} = 9'672\ m$; $f_{max\theta,\ vano\ 4} = 7'561\ m$

$f_{max\theta,\ vano\ 5} = 9'976\ m$.

c3) Hipotesis de flecha máxima con hielo:

T_2	θ_2	m_2
0	0°C	2'753

$$m_2 = \frac{P}{p} = \frac{p + ph}{p} = \frac{0'959 + 0'36\sqrt{21'8}}{0'959} = 2'7534$$

Aplicando la ecuación de cambio de condiciones queda:

$A = \alpha \cdot E (\theta_2 - \theta_1) + K = 18'9 \cdot 10^{-6} \cdot 7556 \cdot (0 - (-20)) + 3'101 = 5'957 \quad daN/mm^2.$

$B = \frac{ar^2 \cdot E \cdot W^2 \cdot m_2^2}{24} = \frac{260'038^2 \cdot 7556 \cdot 0'003412^2 \cdot 2'7534^2}{24} = 1877'559 \quad daN^3/mm^6$

$T_2^2 (T_2 + A) = B \longrightarrow T_2^2 (T_2 + 5'957) = 1877'559 \rightarrow T_2 = 10'637 \quad daN/mm^2 \rightarrow T_2 = \frac{T_2 \cdot S}{\pi}$

$T_2 = \frac{10'637 \cdot 281'1}{1'0034} = 2980'1 \quad daN$ El valor de la flecha es:

$f_{max\ hielo} = \frac{ar^2 \cdot P}{8 \cdot T_2} \cdot m_2 = \frac{260'038^2 \cdot 0'959}{8 \cdot 2980'1} \cdot 2'753 = 7'487 \ m$

Se observa que la flecha máxima es la obtenida en la hipótesis de temperatura.

d) Hipotesis de flecha mínima vertical:

Se utiliza para comprobar en el perfil longitudinal la existencia de tira ascendente sobre los apoyos y comprobar las distancias de seguridad en los cruzamientos con otras líneas eléctricas. (Apto 5.6.1 ITC - LAT-07)

T_2	θ_2	m_2
?	-20°C	1

Aplicando la ecuación de cambio de condiciones queda:

$A = \alpha \cdot E (\theta_2 - \theta_1) + K = 18'9 \cdot 10^{-6} \cdot 7556 \cdot (-20^{\circ} - (-20)) + 3'101 = 3'101 \quad daN/mm^2$

$B = \frac{ar^2 \cdot E \cdot W^2 \cdot m_2^2}{24} = \frac{260'038^2 \cdot 7556 \cdot 0'003412^2 \cdot 1^2}{24} = 247'782 \quad daN^3/mm^6$

$T_2^2 \cdot (T_2 + A) = B \longrightarrow T_2^2 (T_2 + 3'101) = 247'782 \longrightarrow T_2 = 5'399 \quad daN/mm^2 \rightarrow T_2 = \frac{T_2 \cdot S}{\pi}$

$T_2 = \frac{5'399 \cdot 281'1}{1'0034} = 1512'6$ El valor de la flecha es:

$f_{min\ ar} = \frac{ar^2 \cdot P}{8 \cdot T_2} \cdot m_2 = \frac{260'038^2 \cdot 0'959}{8 \cdot 1512'6} \cdot 1 = 5'359 \ m$

Si se quiere obtener el valor de la flecha mínima para cada uno de los vanos pertenecientes al cantón, utilizaremos la expresión:

$f_{min,\ vano\ i} = \frac{a_i b_i}{ar^2} \cdot f_{min\ ar}$ que para cada uno de los vanos queda:

$f_{min,\ vano\ 1} = 4'962\ m$ $f_{min,\ vano\ 2} = 4'581\ m$ $f_{min,\ vano\ 3} = 6'085\ m$

$f_{min,\ vano\ 4} = 4'757\ m$ $f_{min,\ vano\ 5} = 6'276\ m$

e) Hipotesis para el calculo de apoyos:

Coincide con las hipotesis de tracción máxima, calculadas anteriormente:

f) Hipotesis empleada para el calculo de la desviación de la cadena de aisladores:

Aunque el RLAT establece el cálculo de la distancia entre conductores y partes puestas a tierra, considerando sobre el conductor una sobrecarga correspondiente a una presión de viento de la mitad, para un viento de 120 km/h, en este caso el proyectista, para mayor seguridad, la calcula como la mitad de la presión correspondiente a un viento de 140 km/h. Las condiciones correspondientes a esta hipotesis

T_2	θ_2	w_2
?	-15°C	1'264

$$w_2 = \frac{p}{P} = \frac{\sqrt{p^2 + pv^2}}{p} = \frac{\sqrt{0'959^2 + \left[\frac{50}{2} \cdot \left(\frac{140}{120}\right)^2 \cdot 21'8 \cdot 10^{-3}\right]^2}}{0'959} = 1'264$$

Aplicando la ecuación de cambio de condiciones:

$$A = \alpha \cdot E(\theta_2 - \theta_1) + K = 18'9 \cdot 10^{-6} \cdot 7556 \cdot (-15 - (-20)) + 3'101 = 3'815\ daN/mm^2$$

$$B = \frac{dr^2 \cdot E \cdot w^2 \cdot w_2^2}{24} = \frac{260'038^2 \cdot 7556 \cdot 0'003412^2 \cdot 1'264^2}{24} = 396'038\ daN^3/mm^6$$

$$T_2^2(T_2 + A) = B \longrightarrow T_2^2(T_2 + 3'815) = 396'038 \longrightarrow T_2 = 6'267\ daN/mm^2 \longrightarrow T_2 = \frac{T_2 \cdot s}{\Pi} = \frac{6'267 \cdot 281'1}{1'0034}$$

$$T_2 = 1755'9\ daN$$

CALCULO MECÁNICO DE CONDUCTOR DE TIERRA

Se trata de realizar el calculo mecánico de un conductor de tierra de tipo AC-50, instalado en la misma línea descrita en el apartado anterior. El límite EDS para este conductor se fija en un 17% a la temperatura de 15°C y el CHS en un 18% a la temperatura de -10°C.

Características del conductor:

$S = 49'48\ mm^2$

$d = 9\ mm$

$p = 0'391\ daN/m$

$E = 18000\ daN/mm^2$

$\alpha = 11'5 \cdot 10^{-6}\ ºC^{-1}$

$C_R = 6174\ daN$

Para el primer vano del contor, teniendo en cuenta que no ha de superarse en ningún punto del cable la carga de rotura dividido por 2'5, tendremos:

$$T_B = \frac{C_R}{2'5} = 2469'6\ daN.$$

El peso del conductor con sobrecarga de hielo para zona C y viento de 60 km/h es:

$$P = \sqrt{(p+ph)^2 + pv^2} = \sqrt{(p+0'36\sqrt{d})^2 + \left[50 \cdot \left(\frac{60}{120}\right)^2 \cdot d^* \cdot 10^{-3}\right]^2}$$ siendo $d^* = d_{CND} + 2e_H$

siendo e_H el espesor del manguito de hielo en mm.

$$e_H = -r + \sqrt{r^2 + \frac{480\sqrt{2r}}{\pi}} \Rightarrow e_H = -4'5 + \sqrt{4'5^2 + \frac{480 \cdot \sqrt{2 \cdot 4'5}}{\pi}} = 17'38\ mm$$ por lo

que: $d^* = 9 + 2 \cdot 17'38 = 43'76\ mm$ por lo tanto

$$P = \sqrt{(0'391 + 0'36\sqrt{9})^2 + \left[50 \cdot \left(\frac{60}{120}\right)^2 \cdot 43'76 \cdot 10^{-3}\right]^2} = 1'57\ daN/m$$

Sustituyendo los valores anteriores en la expresión correspondiente a la tracción en el punto medio del vano queda para el vano 1:

$$T_{M,\,vano\,1} = \frac{1}{4}\cdot\left[2\cdot 2469'6 - 1'57\cdot 1'5 + \sqrt{\left[(1'57\cdot 15) - 2\cdot 2469'6\right]^2 - \left(2\cdot 1'57^2\cdot 250'45^2\right)}\right] = 2449'6\ daN$$

Realizando las mismas operaciones para el resto de vanos queda:

$T_{M,\,vano\,2} = 2449'6\ daN$; $T_{M,\,vano\,3} = 2467'9\ daN$

$T_{M,\,vano\,4} = 2462\ daN$; $T_{M,\,vano\,5} = 2428\ daN$

Para el primer vano la tracción horizontal se calcula como:

$$T_{HO,\,vano\,1} = T_{M,\,vano\,1}\cdot\frac{a_1}{b_1} = 2449'9\cdot\frac{250}{250'45} = 2445'5\ daN.$$

Realizando las mismas operaciones para el resto de vanos queda:

$T_{HO,\,vano\,2} = 2438'1\ daN$, $T_{HO,\,vano\,3} = 2466'2\ daN$

$T_{HO,\,vano\,4} = 2462\ daN$, $T_{HO,\,vano\,5} = 2403'6\ daN$

Por tanto, para no sobrepasar en ningún punto de ningún vano la carga de rotura del conductor dividida por el coeficiente de seguridad, la tracción horizontal que debe tener como máximo el vano de regulación será la menor de las tracciones horizontales anteriores, que en nuestro caso se corresponde con la del vano 5.

$$T_{HO(mín)} = 2403'6\ daN$$

Por el hecho de tener vanos desnivelados, la tracción a emplear en la ecuación de cambio de condiciones, según:

$$\tau_1 = \frac{T_{HO(mín)}\cdot\Gamma}{S} = \frac{2403'6\cdot 1'0034}{49'48} = 48'74\ daN/mm^2$$

a) Hipótesis de tracción máxima

a_1) Tracción máxima con hielo y viento:

Una de las condiciones impuestas por el RLAT correspondiente a esta hipotesis es que no ha de superarse la tracción de 2403'6 daN con sobrecarga de hielo para la zona C y viento de 60km/h, a la temperatura de -20°C, situación esta ya estudiada y que se considerará como inicial.

Los parametros correspondientes al estado inicial son:

T_1	θ_1	m_1
48'74	-20°C	4'02

$$m_1 = \frac{P}{p} = \frac{\sqrt{(p+ph)^2 + pv^2}}{p} = \frac{1'57}{0'391} = 4'01$$

a_2) Tracción máxima con viento:

La tracción en el conductor a la temperatura de -15°C con viento de 140km/h ha de ser inferior a 2403'6 daN.

T_2	θ_2	m_2
?	-15°C	2'129

$$m_2 = \frac{P}{p} = \frac{\sqrt{p^2 + pv^2}}{p} = \frac{\sqrt{0'391^2 + \left[60\cdot\left(\frac{140}{120}\right)^2 \cdot 9\cdot 10^{-2}\right]^2}}{0'391}$$

$$m_2 = 2'129$$

Aplicando la ecuación de cambio de condiciones queda:

$$K = \frac{ar^2 \cdot E \cdot w^2 \cdot m_2^2}{24\, T_1} - T_1 = \frac{260'038^2 \cdot 18000 \cdot 0'0079^2 \cdot 4'01}{24 \cdot 48'74^2} - 48'74^2 = -27'32 \ daN/mm^2$$

$$A = \alpha \cdot E \cdot (\theta_2 - \theta_1) + K = 11'5 \cdot 10^{-6} \cdot 18000 \cdot (-15 - (-20)) - 27'32 = -26'28 \ daN/mm^2$$

$$B = \frac{ar^2 \cdot E \cdot w^2 \cdot m_2^2}{24} = \frac{260'038^2 \cdot 18000 \cdot 0'0079^2 \cdot 2'129^2}{24} = 14346'3 \ daN^3/mm^6$$

$$T_2^2 (T_2 + A) = B \rightarrow T_2^2 (T_2 - 26'28) = 14346'3 \rightarrow T_2 = 36'85 \ daN/mm^2 \rightarrow T_2 = \frac{T_2 \cdot S}{1'0034}$$

$$T_2 = \frac{36'85 \cdot 49'48}{1'0034} = 1817'2 \ daN \quad \text{tracción inferior a } 2403'6 \ daN.$$

Si hubiesemos tenido un viento excepcional superior a 140km/h deberá de comprobarse si se supera la tracción de 2403'6 daN a -15°C.

b) Comprobación de fenómenos vibratorios:

b_1) Tensión de cada día EDS (Every Day Stress).

Para nuestro ejemplo se ha exigido no superar el 17% de la carga de rotura a la temperatura de 15°C.

T_2	θ_2	m_2
?	50°C	1

Aplicando la ecuación de cambio de condiciones

$$A = \alpha \cdot E(\theta_2 - \theta_1) + K = 11'5 \cdot 10^{-6} \cdot 18000 \cdot (15 - (-20)) - 27'32 = -20'07 \ daN/mm^2$$

$$B = \frac{a_v^2 \cdot E \cdot W^2 \cdot m_2^2}{24} = \frac{260'88^2 \cdot 18000 \cdot 0'0079^2 \cdot 1^2}{24} = 3165'11 \ daN^3/mm^6$$

$$T_2^2 \cdot (T_2 + A) = B \rightarrow T_2^2 (T_2 - 20'07) = 3165'11 \rightarrow T_2 = 25'1 \ daN/mm^2 \rightarrow T_2 = \frac{T_2 \cdot S}{\Gamma} = \frac{25'1 \cdot 49'48}{1'0034}$$

$$T_2 = 1237'7 \ daN.$$

La tracción en el punto medio de los vanos correspondiente a esta tracción horizontal sería:

$$T_{m_2, vano\,1} = T_2 \cdot \frac{b_1}{a_1} = 1237'7 \cdot \frac{250'45}{250} = 1239'9 \ daN$$

Para el resto de vanos quedaría:

$T_{m_2, vano\,2} = 1240'3 \ daN$; $T_{m_2, vano\,3} = 1236'8 \ daN$

$T_{m_2, vano\,4} = 1236 \ daN$; $T_{m_2, vano} = 1248'5 \ daN$

La tracción en el extremo superior de cada vano, correspondiente a esta tracción, sería

$$T_{B, vano\,i} = \rho \cdot \left[\frac{bi^2 \cdot \rho}{8 \cdot T_{m_2, vano\,i}} + \frac{di}{2} \right] + T_{m_2, vano\,i}.$$

Para el vano 1 quedaría

$$T_{B, vano\,1} = 0'391 \cdot \left[\frac{250'45^2 \cdot 0'391}{8 \cdot 1239'9} + \frac{15}{2} \right] + 1239'9 = 1243'8 \ daN$$

Para el resto de vanos queda:

$T_{B, vano\,2} = 1245 \ daN$, $T_{B, vano\,3} = 1236 \ daN$

$T_{B, vano\,4} = 1237 \ daN$, $T_{B, vano\,5} = 1257'6 \ daN$

El coeficiente EDS vale:

$$Coef\ EDS = \frac{Max(T_{B, vano\,i})}{CR} \cdot 100 = \frac{1257'6}{6174} \cdot 100 = 20'36\% > 17\%$$

Al ser el coeficiente EDS superior al 17%, el límite dinámico de la tracción lo impone esta hipótesis de tensión de cada día, por lo cual el cálculo mecánico del conductor debe realizarse estableciendo como parámetros del estado inicial en la ecuación de cambio de condiciones, los indicados para la tensión de cada día.

Para el primer vano del cantón, teniendo en cuenta que no ha de sobreponerse en ningún punto del cable el 17% de la carga de rotura (CR), tendremos:

$$T_B = \frac{17\% \cdot CR}{100} = 1049'58 \text{ daN}$$

La tracción en el punto medio del vano queda para el vano 1

$$T_m = \frac{1}{4}\left[2 \cdot T_B - p \cdot d + \sqrt{\left[(p \cdot d) - 2 \cdot T_B\right]^2 - (2 \cdot p^2 \cdot b^2)}\right]$$

$$T_m = \frac{1}{4}\left[2 \cdot 1049'58 - 0'391 \cdot 15 + \sqrt{\left[(0'391 \cdot 15) - 2 \cdot 1049'58\right]^2 - (2 \cdot 0'391^2 \cdot 250'45^2)}\right] = 1045'5 \text{ daN}$$

Realizando las mismas operaciones para el resto de vanos queda:

T_m, vano 2 = 1044'6 daN , T_m, vano 3 = 1050'1 daN

T_m, vano 4 = 1048'5 daN , T_m, vano 5 = 1040'3 daN

La tracción horizontal en el primer plano vale:

$$T_{H0,\text{vano }1} = T_{m,\text{vano }1} \cdot \frac{a_1}{b_1} = 1045'5 \cdot \frac{250}{250'45} = 1043'6 \text{ daN}$$

Realizando las mismas operaciones para el resto de vanos queda:

T_{H0}, vano 2 = 1041 daN T_{H0}, vano 3 = 1049'5 daN

T_{H0}, vano 4 = 1048'5 daN T_{H0}, vano 5 = 1029'8 daN

Por tanto no sobreponer en ningún punto de ningún vano, el 17% de la carga de rotura del conductor, la tracción horizontal que debe tener, como máximo, el vano de regulación, será la menor de las tracciones horizontales anteriores, que en nuestro caso se corresponde con la del vano 5, es decir: $T_{H0(\min)} = 1029'8$ daN

la hacían a emplear en la ecuación de cambio de condiciones viene dada por:

$$T_1 = \frac{T_{máx(mín)} \cdot \Gamma}{S} = \frac{1029'8 \cdot 1'0034}{49'48} = 20'84 \ daN/mm^2$$

Los parámetros correspondiente al estado inicial serán:

T_1	θ_1	m_2
20'88	15°C	1

b2) Tensión en horas frías: (CHS) Cool Hour Stress.

Para nuestro ejemplo se ha exigido no superar 18% a la temperatura de -10°C.

T_2	θ_2	m_2
?	-10°C	1

Aplicando la ecuación de cambio de condiciones queda:

$$K = \frac{ar^2 \cdot E \cdot w^2 \cdot m_2^2}{24 \cdot T_1^2} - T_2 = \frac{260'038^2 \cdot 18000 \cdot 0'0079^2 \cdot 1^2}{24 \cdot 20'88^2} - 20'88 = -13'62 \ daN/mm^2$$

$$A = \alpha \cdot E(\theta_2 - \theta_1) + K = 11'5 \cdot 10^{-6} \cdot 18000 \cdot (-10-(15)) - 13'62 = -18'79 \ daN/mm^2$$

$$B = \frac{ar^2 \cdot E \cdot w^2 \cdot m_2^2}{24} = \frac{260'038^2 \cdot 18000 \cdot 0'0079^2 \cdot 1^2}{24} = 3165'1 \ daN^3/mm^6$$

$$T_2^2(T_2 + A) = B \rightarrow T_2^2(T_2 - 18'79) = 3165'1 \rightarrow T_2 = 24'19 \ daN/mm^2 \rightarrow T_2 = \frac{T_2 \cdot S}{\Gamma}$$

$$T_2 = \frac{24'19 \cdot 49'48}{1'0034} = 1192'8 \ daN$$

A continuación se calcula el coeficiente CHS en %.

La tracción en el punto medio de los vanos correspondientes a esta tracción horizontal será: $T_{m_2,\ vano\ 1} = T_2 \cdot \frac{b_1}{a_1} = 1192'8 \cdot \frac{250'45}{250} = 1194'9 \ daN$

Para el resto de vanos quedaría:

$T_{m_2,\ vano\ 2} = 1197'7 \ daN$ $T_{m_2,\ vano\ 3} = 1194'3 \ daN$

$T_{m_2,\ vano\ 4} = 1193'5 \ daN$ $T_{m_2,\ vano\ 5} = 1205'7 \ daN$

La tracción en el extremo superior de cada vano, correspondiente a esta tracción sería:

$$T_{B,\,vano\,i} = p \cdot \left[\frac{bi^2 \cdot p}{8 \cdot T_{m_2,\,vano\,i}} + \frac{di}{2} \right] + T_{m_2,\,vano\,i}$$

Para el vano 1 quedaría

$$T_{B,\,vano\,1} = 0'391 \cdot \left[\frac{250'45^2 \cdot 0'391}{8 \cdot 1194'9} + \frac{15}{2} \right] + 1194'9 = 1198'8 \text{ daN}$$

Para el resto de vanos queda:

$T_{B,\,vano\,2} = 1202'5$ daN , $T_{B,\,vano\,3} = 1193'6$ daN

$T_{B,\,vano\,4} = 1194'5$ daN , $T_{B,\,vano\,5} = 1214'7$ daN

El coeficiente CHS vale: $\text{coef CHS} = \frac{Max\,(T_{B,\,vano\,i})}{CR} \cdot 100 = \frac{1214'7}{6174} \cdot 100 = 19'67\% > 18\%$

Al ser el coeficiente CHS superior al 18%, el límite dinámico de la tracción la impone esta hipótesis de tensión en horas frías, por lo cual el cálculo mecánico del conductor debe realizarse estableciendo como parámetros del estado inicial en la ecuación de cambio de condiciones, los indicados para la tensión en horas frías:

Para el primer vano del cantón, teniendo en cuenta que no ha de superarse en ningún punto del cable el 18% de la carga de rotura tendremos: $T_B = \frac{18 \cdot CR}{100} = 1111'32$ daN

La tracción en el punto medio del vano queda para el vano 1.

$$T_m = \frac{1}{4} \left[2 \cdot T_B - p \cdot d + \sqrt{\left[(p \cdot d) - 2 \cdot T_B \right]^2 - (2 \cdot p^2 \cdot b^2)} \right]$$

$$T_{m,\,vano\,1} = \frac{1}{4} \cdot \left[2 \cdot 1111'32 - 0'391 \cdot 15 + \sqrt{\left[(0'391 \cdot 15) - 2 \cdot 1111'32 \right]^2 - (2 \cdot 0'391^2 \cdot 250'45^2)} \right]$$

$T_{m,\,vano\,1} = 1107'3$ daN

Realizando las mismas operaciones para el resto de vanos queda:

$T_{M,\,vano\,2} = 1106'4$ daN , $T_{M,\,vano\,3} = 1111'9$ daN

$T_{M,\,vano\,4} = 1110'3$ daN , $T_{M,\,vano\,5} = 1102'1$ daN

La tracción horizontal para el primer vano vale:

$$T_{HO,\,vano\,1} = T_{M,\,vano_1} \cdot \frac{a_1}{b_1} = 1107'3 \cdot \frac{250}{250'45} = 1105'3 \text{ daN}$$

Realizando las mismas operaciones para el resto de vanos queda

$T_{HO,\,vano\,2} = 1102'6$ daN $\qquad$ $T_{HO\,vano\,3} = 1111'2$ daN

$T_{HO,\,vano\,4} = 1110'3$ daN $\qquad$ $T_{HO,\,vano\,5} = 1091$ daN

Por tanto, para no sobrepasar en ningún punt de ningún vano, el 18% de la carga de rotura del conductor, la tracción horizontal que debe tener como máximo el vano de regulación será la menor de las tracciones horizontales anteriores, que en nuestro caso se corresponde con la del vano 5, es decir.

$$T_{HO(min)} = 1091 \text{ daN}$$

La tracción a emplear en la ecuación de cambio de condiciones viene por:

$$\tau_2 = \frac{T_{HO(min)} - \Gamma}{S} = \frac{1091 \cdot 1'0039}{49'48} = 22'12 \text{ daN/mm}^2$$

Los parámetros correspondiente al estado inicial serán:

τ_1	θ_1	m_1
22'12	-10°C	1

A continuación se deben calcular, partiendo de estas nuevas condiciones iniciales, las tracciones correspondientes el resto de hipótesis.

c) Revisión de la hipótesis de tracción máxima:

c1) Revisión de la tracción máxima con hielo y viento:

Se determina la tracción en el conductor con sobrecarga de hielo para zona C y viento de 60km/h a la temperatura de -20°C.

τ_2	θ_2	m_2
?	-20°C	4'09

Aplicando la ecuación de cambio de condiciones, queda:

$$K = \frac{ar^2 \cdot E \cdot w^2 \cdot m_1^2}{24 \cdot T_1} - T_1 = \frac{260'038^2 \cdot 18000 \cdot 0'0079^2 \cdot 1^2}{24 \cdot 22'12^2} - 22'12 = -15'65 \ daN/mm^2$$

$$A = \alpha \cdot E \cdot (\theta_2 - \theta_1) + K = 11'5 \cdot 10^{-6} \cdot 18000 \cdot (-20 - (-10)) - 15'65 = -17'72 \ daN/mm^2$$

$$B = \frac{ar^2 \cdot E \cdot w^2 \cdot m_2^2}{24} = \frac{260'038^2 \cdot 18000 \cdot 0'0079^2 \cdot 4'01^2}{24} = 50895'3 \ daN^3/mm^6$$

$$T_2^2 \cdot (T_2 + A) = B \rightarrow T_2^2 (T_2 - 17'72) = 50895'3 \rightarrow T_2 = 44'01 \ daN/mm^2 \rightarrow T_2 = \frac{T_2 \cdot S}{\Gamma} = \frac{44'01 \cdot 49'48}{1'0034}$$

$T_2 = 2170'2$ daN valor que resulta menor del obtenido inicialmente para esta misma hipótesis.

c2) Revisión de la tracción máxima con viento:

Se determina la tracción en el conductor a la temperatura de -15°C con viento de 140km/h.

T_2	θ_2	m_2
?	-15°C	2'129

Aplicando la ecuación de cambio de condiciones queda:

$$A = \alpha \cdot E (\theta_2 - \theta_1) + K = 11'5 \cdot 10^{-6} \cdot 18000 \cdot (-15 - (-10)) - 15'65 = -16'58 \ daN/mm^2$$

$$B = \frac{ar^2 \cdot E \cdot w^2 \cdot m_2^2}{24} = \frac{260'038^2 \cdot 18000 \cdot 0'0079^2 \cdot 2'129^2}{24} = 14346'3 \ daN^3/mm^6$$

$$T_2^2 (T_2 + A) = B \rightarrow T_2^2 (T_2 - 16'68) = 14346'3 \rightarrow T_2 = 31'32 \ daN/mm^2 \rightarrow T_2 = \frac{T_2 \cdot S}{\Gamma} =$$

$$T_2 = \frac{31'32 \cdot 49'48}{1'0034} = 1544'5 \ daN.$$ valor que resulta menor del obtenido inicialmente para esta misma hipótesis.

A continuación se debe calcular, para estas mismas condiciones iniciales, el mismo coeficiente EDS.

d) Revisión de la tensión de cada día EDS (Every Day Stress)

Se determina la tracción en el conductor a la temperatura de 15°C sin sobrecarga:

T_2	ϑ_2	m_2
	15°C	1

Aplicando la ecuación de cambio de condiciones queda:

$$A = \alpha \cdot E(\vartheta_2 - \vartheta_1) + k = 11'5 \cdot 10^{-6} \cdot 18000 \cdot (15 - (-10)) - 15'65 = -10'47 \text{ daN/mm}^2$$

$$B = \frac{ar^2 \cdot E \cdot w^2 \cdot m_2^2}{24} = \frac{260'038^2 \cdot 18000 \cdot 0'0079^2 \cdot 1^2}{24} = 3165'1 \text{ daN}^3/\text{mm}^6$$

$$T_2^2(T_2 + A) = B \longrightarrow T_2^2(T_2 - 10'47) = 3165'1 \longrightarrow T_2 = 19'13 \text{ daN/mm}^2 \rightarrow T_2 = \frac{T_2 \cdot S}{T'} = \frac{19'13 \cdot 49'48}{1'0034}$$

$T_2 = 943'3$ daN. A continuación, se calcula el coeficiente EDS en %.

La tracción en el punto medio de los vanos correspondiente a esta tracción horizontal sería: $T_{m_2,\text{vano }1} = T_2 \cdot \frac{b_1}{a_1} = 943'3 \cdot \frac{250'45}{250} = 945$ daN.

Para el resto de vanos quedaría:

$T_{m_2,\text{vano }2} = 947$ daN $\quad T_{m_2,\text{vano }3} = 944$ daN $\quad T_{m_2,\text{vano }4} = 943$ daN

$T_{m_2,\text{vano }5} = 953$ daN

La tracción en el extremo superior de cada vano, correspondiente a esta hipótesis, sería:

$$T_{B,\text{vano }i} = p \cdot \left[\frac{b^2 \cdot p}{8 \cdot T_{m_2,\text{vano }i}} + \frac{d}{2}\right] + T_{m_2,\text{vano }i}$$

Para el vano 1 quedaría:

$$T_{B,\text{vano }1} = 0'391 \cdot \left[\frac{250'45^2 \cdot 0'391}{8 \cdot 945} + \frac{15}{2}\right] + 945 = 949 \text{ daN}$$

Para el resto de vanos queda:

$T_{B,\text{vano }2} = 952$ daN $\quad T_{B,\text{vano }3} = 944$ daN $\quad T_{B,\text{vano }4} = 945$ daN

$T_{B,\text{vano }5} = 962$ daN

El coeficiente EDS vale:

$$\text{Coef EDS} = \frac{\text{Max}(T_{B,\text{vano }i})}{CR} \cdot 100 = \frac{962}{6174} \cdot 100 = 15'58\%$$

$$\text{Coef EDS} = \frac{\text{Max}(T_{B,\text{vano }i})}{CR} \cdot 100 = \frac{962}{6174} \cdot 100 = 15'58\%$$

e) Hipotesis de flechas máximas

e_1) Hipotesis de flecha máxima con viento

Aunque el RLAT establece el calculo de la flecha máxima para un viento de 120 km/h, en este caso, el proyectista decide calcularla para un viento de 140 km/h, con objeto de aumentar las distancias de seguridad.

T_2	θ_2	m_2
	15°C	2'129

$$A = \alpha \cdot E(\theta_2 - \theta_1) + K = 11'5 \cdot 10^{-6} \cdot 18000 \cdot (15 - (-10)) - 15'65 = -10'47 \ daN/mm^2$$

$$B = \frac{ar^2 \cdot E \cdot w^2 \cdot m_2^2}{24} = \frac{260'038^2 \cdot 18000 \cdot 0'0079^2 \cdot 2'129^2}{24} = 14346'3 \ daN^3/mm^6$$

$$T_2^2(T_2 + A) = B \rightarrow T_2^2(T_2 - 10'47) = 14346'3 \longrightarrow T_2 = 28'34 \ daN/mm^2 \rightarrow T_2 = \frac{T_2 \cdot S}{\Pi}$$

$$T_2 = \frac{28'34 \cdot 49'48}{1'0034} = 1397'5 \ daN$$. El valor de la flecha es:

$$f_{max\ verticales} = \frac{ar^2 \cdot p}{8 \cdot T_2} \cdot m_2 = \frac{260'038^2 \cdot 0'391}{8 \cdot 1397'5} \cdot 2'129 = 5'03 m$$

e_2) Hipotesis de flecha máxima con temperatura:

T_2	θ_2	m_2
?	85°C	1

Aplicando la ecuación de cambio de condiciones:

$$A = \alpha \cdot E(\theta_2 - \theta_1) + K = 11'5 \cdot 10^{-6} \cdot 18000(85 - (-10)) - 15'65 = 4'025 \ daN/mm^2$$

$$B = \frac{ar^2 \cdot E \cdot w^2 \cdot m_2^2}{24} = \frac{260'038^2 \cdot 18000 \cdot 0'0079^2 \cdot 1^2}{24} = 3165'1 \ daN^3/mm^6$$

$$T_2^2(T_2 + A) = B \rightarrow T_2^2(T_2 + 4'025) = 3165'1 \longrightarrow T_2 = 13'46 \ daN/mm^2 \rightarrow T_2 = \frac{T_2 \cdot S}{\Pi}$$

$$T_2 = \frac{13'46 \cdot 49'48}{1'0034} = 663'7 \ daN$$

El valor de la flecha es:

$$f_{max\ \theta} = \frac{ar^2 \cdot p}{8 \cdot T_2} \cdot m_2 = \frac{260'038^2 \cdot 0'391}{8 \cdot 663'7} \cdot 1 = 4'98 m$$

c3) Hipotesis de flecha máxima con hielo:

T_2	θ_2	m_2
	0°C	3'76

$$m_2 = \frac{P}{P} = \frac{P+ph}{P} = \frac{0'391 + 0'36\sqrt{9}}{0'391} = 3'76$$

Aplicando la ecuación de cambio de condiciones queda:

$$A = \alpha \cdot E (\theta_2 - \theta_1) + k = 11'5 \cdot 10^{-6} \cdot 18000 \cdot (0-(-10)) - 15'65 = -13'58 \ daN/mm^2$$

$$B = \frac{ar^2 \cdot E \cdot w^2 \cdot m_2^2}{24} = \frac{260'038^2 \cdot 18000 \cdot 0'0079^2 \cdot 3'76^2}{24} = 44747 \ daN^3/mm^6$$

$$T_2^2 (T_2 + A) = B \rightarrow T_2^2 (T_2 - 13'58) = 44747 \rightarrow T_2 = 48'66 \ daN/mm^2 \rightarrow T_2 = \frac{T_2 \cdot S}{n}$$

$$T_2 = \frac{40'66 \cdot 49'48}{1'0034} = 2005 \ daN$$

. El valor de la flecha es:

$$f_{max\ hielo} = \frac{ar^2 \cdot p}{8 \cdot T_2} \cdot m_2 = \frac{260'038^2 \cdot 0'391}{8 \cdot 2005} \cdot 3'76 = 6'2 \ m$$

Se obtiene que la flecha máxima es la obtenida en la hipótesis de hielo.

Si se quiere obtener el valor de la flecha para cada uno de los vanos pertenecientes al cantón, teniendo en cuenta la expresión:

$$f_{max\ hielo,\ vano\ i} = \frac{a_i \cdot b_i}{ar^2} \cdot f_{max\ hielo}$$

que para cada uno de los vanos queda:

$$f_{max\ hielo,\ vano\ 1} = \frac{a_1 \cdot b_1}{ar^2} \cdot f_{max\ hielo} = \frac{250 \cdot 250'45}{260'038^2} \cdot 6'2 = 5'74\ m$$

$f_{max\ hielo,\ vano\ 2} = 5'3m$; $f_{max\ hielo,\ vano\ 3} = 7m$

$f_{max\ hielo,\ vano\ 4} = 5'5m$; $f_{max\ hielo,\ vano\ 5} = 7'2\ m$.

f) Hipotesis de flecha mínima vertical:

Se utiliza para comprobar en el perfil longitudinal la existencia de tiro escandalete sobre los apoyos y comprobar las distancias de seguridad en los cruzamientos con otras líneas eléctricas (Aptdo 5.6.1 ITC-LAT 07

T_2	θ_2	m_2	
?	-20°C	1	Aplicando la ecuación de cambio de condiciones

$$A = \alpha \cdot E(\theta_2 - \theta_1) + K = 11'5 \cdot 10^{-6} \cdot 18000 \cdot (-20 - (-10)) - 15'65 = -17'72 \ daN/mm^2$$

$$B = \frac{ar^2 \cdot E \cdot W^2 \cdot m_2^2}{24} = \frac{260'038^2 \cdot 18000 \cdot 0'0079^2 \cdot 1^2}{24} = 3165'1 \ daN^3/mm^6$$

$$T_2^2(T_2 + A) = B \rightarrow T_2^2(T_2 - 17'72) = 3165'1 \rightarrow T_2 = 23'47 \ daN/mm^2 \rightarrow T_2 = \frac{T_2 \cdot S}{\pi} = \frac{23'47 \cdot 49'48}{1'0034}$$

$T_2 = 1157'3$ daN El valor de la flecha es:

$$f_{min\ ar} = \frac{ar^2 \cdot p}{8 \cdot T_2} \cdot m_2 = \frac{260'038^2 \cdot 0'391}{8 \cdot 1157'3} \cdot 1 = 2'85 \ m$$

Si se quiere obtener el valor de la flecha mínima para cada uno de los vanos pertenecientes al cantón, se utiliza la expresión.

$$f_{min,\ vano\ i} = \frac{a_i \cdot b_i}{ar^2} \cdot f_{min\ ar}$$ que para cada uno de los vanos queda

$f_{min,\ vano\ 1} = 2'6$ m ; $f_{min,\ vano\ 2} = 2'2$ m ; $f_{min,\ vano\ 3} = 3'3$ m
$f_{min,\ vano\ 4} = 2'5$ m ; $f_{min,\ vano\ 5} = 3'3$ m

g) Hipótesis para el cálculo de apoyos

Coincide con las hipótesis de tracción máximas calculadas anteriormente:

REPOTENCIACION DE UNA LINEA UTILIZANDO CONDUCTORES DE ALTA TEMPERATURA:

Ejemplo de cálculo de una línea de 1ª categoría con conductor LA-280 o alternativamente conductor GTACSR 260:

El cruzamiento de un río, en zona climatológicamente A, se realiza con una línea aérea de tensión nominal 132 kV, con conductor LA-280, siendo el vano nivelado y de 440 metros de longitud. Se debe de calcular la flecha máxima suponiendo una temperatura de servicio del conductor de 85°C, y una intensidad máxima admisible en esas condiciones de 581 A.

Se pretende repotenciar la línea cambiando el conductor LA-280 por uno de alta temperatura tipo GTACSR de 260 mm², que permite una intensidad admisible en régimen permanente de 970 A, para una temperatura del conductor de 150°C, lo cual supone aumentar la capacidad de carga de la línea en un 67%.

Para poder utilizar los mismos apoyos, las condiciones habituales a cumplir, según (UNE 21191. Parte 2. Cálculo de las capacidades de transporte de los cables para regímenes de carga cíclicos y sobrecarga de emergencia)

- El diámetro del nuevo conductor no debe ser mucho mayor que el del conductor actual (del orden del 5%).
- La tensión máxima admisible no puede superar en más de un 10% la tensión original:
- La flecha máxima en las condiciones más desfavorables no puede superar la flecha máxima calculada en el proyecto original:

Se debe realizar el cálculo mecánico del conductor de alta temperatura para comprobar que se cumplen las condiciones anteriores y que el proyecto es viable.

Tengase en cuenta que en el conductor de alta temperatura, para temperaturas superiores a la del fusible, solo esta funcionando el alma de acero y por tanto el coeficiente de dilatación, modulo de elasticidad y carga de rotura a utilizar en el calculo mecánico serán correspondientes al alma de acero:

Las características de los conductores según [The design of specially insulated cables system. Working Group 07, of study Committee nº 21 (HV insulated cables) Electra nº 28. 1973]

1) Características dimensionales eléctricas:

Tipo de conductor	Sección (mm²) Al	Acero	Total	Ø total mm	Alambres de aluminio	Alambres de acero	Intensidad máxima admisible (reg. permanente)
LA 280	241'7	39'4	281'1	21'8			
GTACSR 260	261'7	56'21	317'6				

FOTOCOPIA

2) Características mecánicas:

FOTOCOPIA.

- Calculos mecánicos correspondientes al conductor LA-280:

Características del conductor LA-280:

$S = 281'1 \text{ mm}^2$

$\phi = 21'8 \text{ mm}$

$p = 0'959 \text{ daN/m}$ $\quad C_R = 8459 \text{ daN}$

$E = 7556 \text{ daN/mm}^2$

$\alpha = 18'9 \cdot 10^{-6} \text{ °C}^{-1}$

a) Hipotesis de tracción máxima (hipotesis de viento)

Una de las condiciones impuestas en el RLAT correspondiente a esta hipotesis es que no ha de superarse, en el conductor, la carga de rotura dividida por un coeficiente de 2'5, con sobrecarga de viento según la zona, a la temperatura de -5°C. Al tratarse de zona A, no se considera la hipótesis de hielo:

Por tanto, la tracción que no ha de superarse en ningún punto del conductor es la carga de rotura dividida por 2'5. Esta tracción se dará en el punto mas elevado del cable T_A, siendo la tracción horizontal T_0, que corresponde a la tracción en el centro del vano.

Aplicando la formula: $T_0 = \frac{1}{4}\left(2 \cdot T_A + \sqrt{4 \cdot T_A^2 - 2 \cdot p^2 \cdot a^2}\right)$ donde:

p= peso aparente del conductor (peso propio mas sobrecarga) en daN/m.

$$p = \sqrt{p^2 + pv^2} = \sqrt{p^2 + \left[50 \cdot \left(\frac{V_v}{120}\right)^2 \cdot d \cdot 10^{-3}\right]^2} = \sqrt{0'959^2 + \left[50 \cdot \left(\frac{120}{120}\right)^2 \cdot 21'8 \cdot 10^{-3}\right]^2}$$

$p = 1'45$ daN/m

a= longitud del vano, $a = 440$ m $\qquad T_A = \frac{C_R}{2'5} = \frac{8459}{2'5} = 3383'6$ daN

Por lo que el valor de T_0 es:

$$T_0 = \frac{1}{4}\left[2 \cdot \left(\frac{8459}{2'5}\right) + \sqrt{4 \cdot \left(\frac{8459}{2'5}\right)^2 - \left(2 \cdot 1'45^2 \cdot 440^2\right)}\right] = 3368'5 \text{ daN}$$

Este valor de la tracción no ha de superarse a la temperatura de -5°C con un coeficiente de sobrecarga de:

$$m = \frac{P}{p} = \frac{\sqrt{p^2 + pv^2}}{p} = \frac{1'45}{0'959} = 1'52$$

La flecha que se produce en estas condiciones, aplicando la formula

$$f = \frac{a^2 \cdot p}{8 \cdot T_0} = \frac{440^2 \cdot 1'45}{8 \cdot 3368'5} = 10'41 \text{ m}$$

Aplicando la ecuación de cambio de ecuaciones, y considerando como estado inicial la hipótesis de viento anteriormente estudiada, se obtendrá la tracción en el conductor y las flechas para las hipótesis de flechas máximas reglamentarias

$$t_2^2 \cdot (t_2 + A) = B \rightarrow A = \alpha \cdot E \cdot (\theta_2 - \theta_1) + K \;,\; K = \frac{a^2 \cdot E \cdot w^2 \cdot m^2}{24 \cdot t_1^2} - t_1 \;,\; B = \frac{a^2 \cdot E \cdot w^2 \cdot m_2^2}{24}$$

siendo: a = vano en metros = 440 m

w = peso propio del conductor en $daN/m/mm^2$ $\quad w = \frac{p}{s}$

$$t_1 = \frac{T_0}{s} = \frac{3368'5}{281'1} = 11'98 \quad daN/mm^2$$

$\theta_1 = -5°C$; $m_1 = 1'52$; $\alpha = 18'9 \cdot 10^{-6} C^{o-1}$

$E = 7556 \quad daN/mm^2$; $t_2 =$

Los parámetros correspondientes al estado inicial serán:

t_1	θ_1	m_1
11'98	-5°C	1'52

b) Hipótesis de flechas máximas:

Estas hipótesis permiten calcular la tracción mecánica y la flecha máxima que se va a dar en el vano en cuestión, para poder comprobar la distancia entre conductores, entre conductores y apoyos y calcular la altura de los apoyos que satisfaga las distancias de seguridad.

Se debe calcular la flecha máxima para la hipótesis de viento y temperatura, ya que no se considera hielo en esta zona.

b1) Hipótesis de flecha máxima con viento

t_2	θ_2	m_2
	15°C	1'52

Aplicando la ecuación de cambio de condiciones queda:

$t_2 = 11'07 \quad daN/mm^2 \rightarrow T_2 = t_2 \cdot s = 11'07 \cdot 281'1 = 3113'3 \quad daN$

El valor de la flecha es: $f_{max\ viento} = \frac{a^2 \cdot p}{8 \cdot T_2} = \frac{440^2 \cdot 1'45}{8 \cdot 3113'3} = 11'3 \; m$

Calculos mecanicos correspondientes al conductor GTA CSR 260.

Características del conductor GTA CSR – 260:

$S_{acero} = 56'29\ mm^2$

$d_{conduc} = 23'1\ mm$

$p = 1'165\ daN/m$

$E_{acero} = 20580\ daN/mm^2$

$\alpha_{acero} = 11'5 \cdot 10^{-6}\ °C^{-1}$

$CR = 8970\ daN$

a) Hipótesis de tracción máxima (hipótesis de viento):

La tracción horizontal T_o que corresponde a la tracción en el centro del vano es:

$$T_o = \frac{1}{4} \cdot \left(2 \cdot T_A + \sqrt{4 \cdot T_A^2 - 2 \cdot p^2 \cdot a^2}\right) \quad \text{donde:}$$

p = peso aparente del conductor (peso propio más sobrecarga)

$$p = \sqrt{p^2 + pv} = \sqrt{p^2 + \left[50 \cdot \left(\frac{Vv}{120}\right)^2 \cdot d \cdot 10^{-3}\right]^2} = \sqrt{1'165^2 + \left[50 \cdot \left(\frac{120}{120}\right)^2 \cdot 23'1 \cdot 10^{-3}\right]^2} = 1'64\ \frac{daN}{m}$$

a = longitud del vano = 440 m

$T_A = \frac{CR}{2'5} = \frac{8970}{2'5} = 3588\ daN$. Por lo que el valor de T_o es:

$$T_o = \frac{1}{4} \cdot \left[2 \cdot \left(\frac{8970}{2'5}\right) + \sqrt{4 \cdot \left(\frac{8970}{2'5}\right)^2 - (2 \cdot 1'64^2 \cdot 440^2)}\right] = 3569'77\ daN$$

Este valor de la tracción no ha de superarse a la temperatura de $-5°C$ con un coeficiente de sobrecarga de:

$M = \frac{P}{p} = \frac{\sqrt{p^2 + pv^2}}{p} = \frac{1'64}{1'165} = 1'41$. La flecha que se produce en estas condiciones, aplicando la fórmula:

$f = \frac{a^2 \cdot p}{8 \cdot T_o} = \frac{440^2 \cdot 1'65}{8 \cdot 3569'77} = 11'18\ m$

Aplicando la ecuación de cambio de condiciones, y considerando como estado inicial la hipótesis de viento anteriormente estudiada, se obtendrá la tracción en el conductor y las flechas para las hipótesis de flechas máximas reglamentarias. $t_2^2 \cdot (t_2 + A) = B$ donde:

$A = \alpha \cdot E (\theta_2 - \theta_1) + K$, $K = \frac{a^2 \cdot E \cdot W^2 \cdot m_2^2}{24 \cdot t_1^2} - t_1$, $B = \frac{a^2 \cdot E \cdot W^2 \cdot m_2^2}{24}$ siendo:

a = vano en metros = 440

W = peso propio del conductor en daN/m/mm² $W = \frac{P}{S} = \frac{1'165}{56'29} = 0'0207$

t_1 = tensión en el estado inicial = $\frac{T_0}{S} = \frac{3569'77}{56'29} = 63'42$ daN/mm²

$\theta_1 = -5°C$ $m_1 = 1'41$ $\alpha = 11'5 \cdot 10^{-6} C^{o-1}$ $E = 20580$ daN/mm²

Los parametros correspondientes al estado inicial serán:

t_1	θ_1	m_1
63'42	-5°C	1'41

b) Hipotesis de flechas máximas

b_1) Hipotesis de flecha máxima con viento:

t_2	θ_2	m_2
	15°C	1'41

Aplicando la ecuación de cambio de condiciones queda: $t_2 = 61'23$ daN/mm²

$T_2 = t_2 \cdot S \Rightarrow 61'23 \cdot 56'29 = 3446'9$ daN

El valor de la flecha es: $f_{max\ viento} = \frac{a^2 \cdot P}{8 \cdot T_2} = \frac{440^2 \cdot 1'65}{8 \cdot 3446'9} = 11'5$ m

b_2) Hipotesis de flecha máxima con temperatura

t_2	θ_2	m_2
	150°C	1

Aplicando la ecuación de cambio de condiciones queda:

$t_2 = 38'84$ daN/mm² $\rightarrow T_2 = t_2 \cdot S = 38'84 \cdot 56'29 = 2186'2$ daN

El valor de la flecha es: $f_{max\theta} = \frac{a^2 \cdot P}{8 \cdot T_2} = \frac{440^2 \cdot 1'165}{8 \cdot 2186'2} = 12'9$ m.

Verificación de las condiciones de utilización del nuevo conductor

Para poder utilizar los apoyos existentes con este nuevo conductor, se han puesto como requisitos:

- El diámetro del nuevo conductor no debe ser muy superior al del conductor instalado. Este requisito indica que las sobrecargas de viento sobre los conductores, que darán lugar a esfuerzos transversales sobre los apoyos, no difieran mucho entre sí con objeto de que los nuevos esfuerzos sean asumibles por los apoyos existentes. Realmente esta consideración habría que verificarla teniendo en cuenta los esfuerzos reales soportados por los apoyos:
  - → Diámetro del conductor LA-280 : 21'8 mm
  - → Diámetro del conductor GTACSR: 260 : 23'1 mm

El esfuerzo transversal, debido al viento sobre el conductor, y aplicado en el punto de sujeción del conductor sobre el apoyo, para cada uno de los apoyos que sustentan el vano de 440 m, suponiendo un conductor por fase, viene dado por

$$F_T = q \cdot d \cdot \frac{a}{2} = 50 \cdot \left(\frac{120}{120}\right)^2 \cdot 21'8 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{440}{2} = 239'8 \text{ daN (para el LA-280)}$$

$$F_T = q \cdot d \cdot \frac{a}{2} = 50 \cdot \left(\frac{120}{120}\right) \cdot 23'1 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{440}{2} = 254'1 \text{ daN (para el GTASCR-260)}$$

El esfuerzo transversal, al utilizar este nuevo conductor se incrementa del orden del 6%, siendo este porcentaje normalmente asumible por los apoyos existentes:

- La tracción máxima admisible no puede superar en más de un 10% la tracción original:

La tracción que se emplea en el cálculo de apoyos, empleados en zona A, es la correspondiente a la hipótesis de tracción máxima (temperatura de -5°C con sobrecarga de viento 120 km/h), los valores de dicha tracción para cada uno de los conductores estudiados son:

$T_{max} = 3368'5$ daN (para el LA-280) $T_{max} = 3569'8$ daN (para el GTASCR 260)

La flecha para el nuevo conductor no difiere de la del conductor instalado en más de un 6%, siendo este porcentaje normalmente asumible por los apoyos existentes:

- La flecha máxima en los vanos más desfavorables no puede superar la flecha máxima calculada en el proyecto original.

A continuación se representa un gráfico donde se indican las flechas obtenidas para cada conductor en función de la temperatura.

COPIA...

Según puede observarse, la flecha correspondiente al conductor LA-280, para una temperatura máxima de servicio de 85°C, es de 13'3 m valor inferior al de la flecha que tendría el conductor GTACSR 260 para una temperatura máxima de servicio de 150°C, que sería de 12'4 m

ESTUDIO DE LAS PERDIDAS DE POTENCIA Y CAIDAS DE TENSION:

Uno de los inconvenientes de la repotenciación mediante conductores de alta temperatura es el aumento de las pérdidas de potencia y de la caída de tensión. Aunque este aspecto no resulta crítico en este ejemplo, al tratarse de un tramo de 440m de longitud, se estudiará la pérdida de potencia y caída de tensión por kilómetro de longitud de la línea en función del tipo de conductor utilizado.

Para ello, y con objeto de simplificar los cálculos, se considerará que la línea funciona con un factor de potencia unitario.

En primer lugar se calculan las resistencias eléctricas de ambos conductores para sus temperaturas previstas de funcionamiento cuando la línea trabaja a plena carga.

$$R_1' = R'_{LA-280}(85°C) = R'_{LA280}(20°C)\cdot[1+\alpha(85-20)] = 0'1194\,[1+0'00403\cdot(85-20)] = 0'1507\ \Omega/km$$

$$R_2' = R'_{GTASCR-260}(150°C) = R'_{GTACSR-260}(20°C)\cdot[1+\alpha\cdot(150-20)] = 0'113\cdot[1+0'00403\cdot(150-20)] = 0'1722\ \Omega/km$$

Se calcula también la potencia de plena carga de la línea para los dos conductores:

$$P_1 = \sqrt{3}\cdot U_n\cdot I_1 = \sqrt{3}\cdot U_N\cdot I_1 = \sqrt{3}\cdot 132\,kV\cdot 581\,A = 132'8\,MW$$

$$P_2 = \sqrt{3}\cdot U_n\cdot I_2 = \sqrt{3}\cdot U_N\cdot I_2 = \sqrt{3}\cdot 132kV\cdot 970 = 221'8\,MW$$

Por último, aplicando las fórmulas de pérdidas de potencia y caída de tensión, indicadas en el capítulo de cálculos eléctricos, para línea corta, se obtiene.

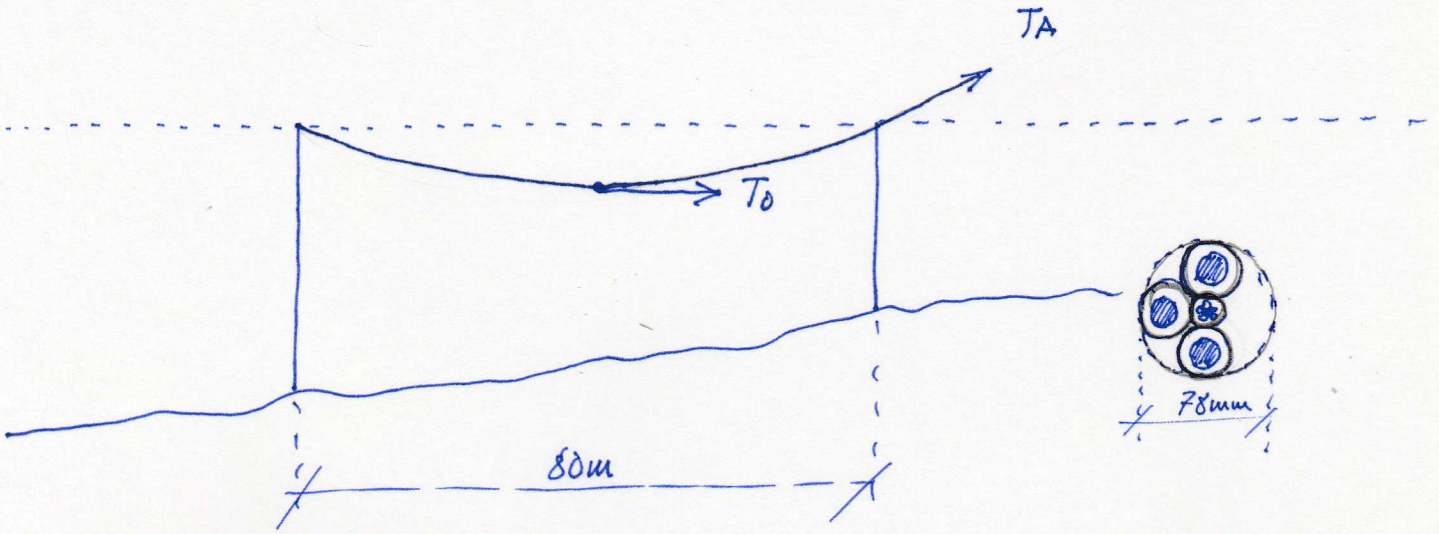
$$P_{p1} = \frac{3\cdot R_1'\cdot I_1^2\cdot 100}{P_1} = 0'115\ \%/km \quad ; \quad \Delta U_1 = \frac{P_1\cdot R_1'\cdot 100}{U_n^2} = 0'115\ \%/km$$

$$P_{p2} = \frac{3\cdot R_2'\cdot I_2^2\cdot 100}{P_2} = 0'219\ \%/km \quad ; \quad \Delta U_2 = \frac{P_2\cdot R_2'\cdot 100}{U_n^2} = 0'219\ \%/km.$$

Como conclusión se observa que tanto la pérdida de potencia como la caída de tensión porcentual aumentan del orden de un 90% lo cual si bien no es crítico en este ejemplo, dado que la longitud de la línea es tan solo de 440m, sí que resulta muy importante en líneas de mayor longitud.

EJEMPLO DE CALCULO MECANICO CON CABLES UNIPOLARES AISLADOS REUNIDOS EN HAZ:

Establecer el cálculo mecánico de un conductor RHVS 12/20 kV 3(1x95) AL+50AC, instalado en una zona de 300m de altitud, tendido en un solo vano a nivel de longitud 80m, siendo la tensión nominal de la línea de 15kV.



Características del conductor:

$S_{Al} = 95\ mm^2$
$S_{Ac} = 50\ mm^2$
$d_{haz} = 78\ mm$
$p_{haz} = 4'45\ daN/m$
$E_{Ac} = 15000\ daN/mm^2$
$\alpha_{Ac} = 11 \cdot 10^{-6}\ ºC^{-1}$
$CR_{Ac} = 6400\ daN$:

a) Hipótesis de tracción máxima:

El RLAT considera, en el Apartado 4.3.1 de la ITC-LAT-08, para el cálculo de la tracción máxima admisible en zona A, dos hipótesis: viento y viento excepcional. En este ejemplo no se ha considerado viento excepcional alguno. No obstante, en el caso de darse sobre la línea un estudio viento excepcional, se comenzaría el cálculo por esta hipótesis.

Según la hipótesis de viento en zona A, no ha de superarse en el fiador una tracción superior a la carga de rotura dividida por un coeficiente de seguridad de 3, con sobrecarga de viento. (Apto 4.1.2 ITC-LAT-08) a la temperatura de -5°C.

Esta tracción, T_A, se dará en el punto más elevado del vano, mientras que la tracción horizontal T_0, se calcula aplicando la fórmula:

$$T_0 = \frac{1}{4} \cdot \left(2 \cdot T_A + \sqrt{4 \cdot T_A^2 - 2 \cdot p^2 \cdot a^2}\right) \quad \text{donde} \quad p = \sqrt{p^2 + pv^2} \Rightarrow p = \sqrt{4'463^2 + (50 \cdot 78 \cdot 10^{-3})^2}$$

$$p = 5'93 \text{ daN/m}$$

$a = 80\text{m}$;

$$T_A = \frac{CR}{3} = \frac{6400}{3} = 2133'33 \text{ daN}$$

Por lo que el valor de T_0 es:

$$T_0 = \frac{1}{4}\left[2 \cdot \left(\frac{6400}{3}\right) + \sqrt{4 \cdot \left(\frac{6400}{3}\right)^2 - (2 \cdot 5'93^2 \cdot 80^2)}\right] = 2120 \text{ daN}$$

Este valor de la tensión no ha de superarse a la temperatura de -5°C con coeficiente de sobrecarga de:

$$m = \frac{P}{p} = \frac{\sqrt{p^2 + pv^2}}{p} = \frac{5'93}{4'463} = 1'328$$

La flecha que se produce en estas condiciones, aplicando la fórmula es:

$$f = \frac{a^2 \cdot p}{8 \cdot T_0} = \frac{80^2 \cdot 5'93}{8 \cdot 2120} = 2'24\text{m}$$

Aplicando la ecuación de cambio de condiciones, y considerando como estado inicial la hipótesis de viento anteriormente estudiada, se obtendrá la tracción en el conductor para las hipótesis de comprobación de fenómenos vibratorios y para el cálculo de flechas máximas.

$t_2^2(t_2 + A) = B \rightarrow$ donde:

$$A = \alpha \cdot E(\theta_2 - \theta_1) + K, \quad K = \frac{a^2 \cdot E \cdot W^2 \cdot m_2^2}{24 \cdot t_1^2} - t_1, \quad B = \frac{a^2 \cdot E \cdot W^2 \cdot m_2^2}{24}$$

siendo:

$a = 80m$;

$w = \frac{P}{S} = \frac{4'45}{50} = 0'089\ daN/m\cdot mm^2$; $\theta_1 = -5°C$, $m_1 = 1'328$

$t_1 = \frac{T_0}{S} = \frac{2120}{50} = 42'4\ daN/mm^2$; $\alpha = 11\cdot10^{-6}\,C^{o-1}$; $E = 15000\ daN/mm^2$

Los parametros correspondientes al estado inicial serán:

t_1	θ_1	m_1
42'4	-5°C	1'328

b) Comprobación de fenomenos vibratorios ; tensión de cada día , EDS (Every Day Shers).

Para evitar que la aparición de vientos pueda dar origen a fenomenos vibratorios en el cable, según el Apartado 4.3.2 ITC-LAT-08, la tracción en el fiador no debe superar el 21% de su carga de rotura a la temperatura de 15°C sin sobrecarga alguna.

Partiendo de la hipótesis de tracción máxima con viento y empleando la ecuación de cambio de condiciones, se obtendrá: la tracción en el conductor:

t_2	θ_2	m_2
?	15°C	1

Aplicando la ECC tenemos:

$K = \frac{a^2\cdot E\cdot w^2\cdot m_1^2}{24\cdot t_1^2} - t_1 = \frac{80^2\cdot 15000\cdot 0'089^2\cdot 1'328^2}{24\cdot 42'4^2} - 42'4 = -11'32\ daN/mm^2$

$A = \alpha\cdot E\cdot(\theta_2-\theta_1)+K = 11\cdot10^{-6}\cdot 15000\cdot(15-(-5)) - 11'32 = -8'02\ daN/mm^2$

$B = \frac{a^2\cdot E\cdot w^2\cdot m_2^2}{24} = \frac{80^2\cdot 15000\cdot 0'089^2\cdot 1^2}{24} = 31684\ daN^3/mm^6$

$t_2^2(t_2+A) = B \rightarrow t_2^2(t_2-8'02) = 31684 \rightarrow t_2 = 34'56\ daN/mm^2 \rightarrow T_2 = t_2\cdot S \rightarrow$

$T_2 = 34'56\cdot 50 = 1728\ daN$

La flecha que se produce en estas condiciones es: $f = \frac{a^2\cdot p}{8\cdot T_2} = \frac{80^2\cdot 4'45}{8\cdot 1728}$

$f = 2'06m$.

La tracción en el extremo superior del vano correspondiente a esta tracción horizontal se puede calcular utilizando las propiedades de la catenaria como:

$$T_A = T_2 + p \cdot f = 1728 + 4'45 \cdot 2'06 = 1737 \text{ daN}$$

$$\text{Coef EDS} = \frac{T_A}{CR} \cdot 100 = \frac{1737}{6400} \cdot 100 = 27'1\% > 21\%$$

Al ser el coeficiente EDS superior al 21%, el límite de la tracción no supone esta hipótesis de tensión de cada día, por lo cual el cálculo mecánico del conductor debe realizarse estableciendo como parámetros del estado inicial en la ecuación de cambio de condiciones, los obtenidos para la tensión de cada día.

Para el vano en estudio, teniendo en cuenta que no ha de superarse en ningún punto del fiador el 21% de la carga de rotura, tendremos:

$$T_A = \frac{21 \cdot CR}{100} = 1344 \text{ daN}$$

La tracción horizontal T_0, que corresponde a la tracción anterior, en el centro del vano es:

$$T_0 = \frac{1}{4}\left(2 \cdot 1344 + \sqrt{4 \cdot 1344^2 - 2 \cdot 4'463^2 \cdot 80^2}\right) = 1332 \text{ daN}$$

La tracción a emplear en la ecuación de cambio de condiciones, viene dada por la relación

$$t_1 = \frac{T_0}{S} = \frac{1332}{50} = 26'64 \text{ daN/mm}^2.$$

Los parámetros correspondiente el estado inicial serán:

t_1	θ_1	m_1
26'64	15°C	1

A continuación se debe calcular, para estas nuevas condiciones iniciales, la tracción correspondiente a la hipótesis de tracción máxima admisible.

c) Revisión de la hipótesis de tracción máxima:

Se determina la tracción en el conductor con sobrecarga de viento (Apto 4.1.2 ITC-LAT 08) a la temperatura de -5°C.

t_2	θ_2	m_2
?	-5°C	1'328

Aplicando la ecuación de cambio de condiciones queda:

$$K = \frac{a^2 \cdot E \cdot w^2 \cdot m_1^2}{24 \cdot t_1^2} - t_1 = \frac{80^2 \cdot 15000 \cdot 0'089^2 \cdot 1^2}{24 \cdot 26'64^2} - 26'64 = 18 \text{ daN/mm}^2$$

$$A = \alpha \cdot E(\theta_2 - \theta_1) + k = 11 \cdot 10^{-6} \cdot 15000 \cdot (-5 - (-15)) + 18 = 14'7 \text{ daN/mm}^2$$

$$B = \frac{a^2 \cdot E \cdot w^2 \cdot m_2^2}{24} = \frac{80^2 \cdot 15000 \cdot 0'089^2 \cdot 1'328^2}{24} = 55877 \text{ daN}^3/\text{mm}^6$$

$$t_2^2(t_2 + A) = B \rightarrow t_2^2(t_2 + 14'7) = 55877 \rightarrow t_2 = 33'91 \text{ daN/mm}^2 \rightarrow T_2 = t_2 \cdot S$$

$$T_2 = 33'91 \cdot 50 = 1695'5 \text{ daN}.$$

La flecha que se produce en estas condiciones es:

$$f = \frac{a^2 \cdot p}{8 \cdot T_2} = \frac{80^2 \cdot 5'93}{8 \cdot 1695'5} = 2'79 \text{ m}$$

d) Hipótesis de flechas máximas

Estas hipótesis permiten calcular la tracción mecánica y la flecha máxima que se va a dar en el vano para calcular la altura de los apoyos que satisfaga las distancias de seguridad.

Partiendo de las condiciones de la hipótesis de (EDS), se debe de calcular la flecha máxima para hipótesis de viento y temperatura, ya que en zona A no se considera hielo.

d_1) Hipótesis de flecha máxima con viento

t_2	θ_2	m_2
?	15°C	1'328

Aplicando la ecuación de cambio de condiciones queda:

$$A = \alpha \cdot E(\theta_2 - \theta_1) + k = 11 \cdot 10^{-6} \cdot 15000 \cdot (15 - 15) + 18 = 18 \text{ daN/mm}^2$$

$$B = \frac{a^2 \cdot E \cdot w^2 \cdot m_2^2}{24} = \frac{80^2 \cdot 15000 \cdot 0'089^2 \cdot 1'328^2}{24} = 55877 \text{ daN}^3/\text{mm}^6$$

$t_2^2(t_2+A)=B \rightarrow t_2^2(t_2+18)=55877 \rightarrow t_2=33'08\ daN/mm^2$

$T_2=t_2\cdot S=33'08\cdot 50=1654\ daN$. El valor de la flecha es:

$$f_{max\ viento}=\frac{a^2\cdot p}{8\cdot T_2}=\frac{80^2\cdot 5'93}{8\cdot 1654}=2'87m$$

d2) Hipotesis de flecha máxima con temperatura

t_2	θ_2	m_2
	50ºC	1

Aplicando la ecuación de cambio de condiciones queda:

$$A=\alpha\cdot E\cdot(\theta_2-\theta_1)+k=11\cdot 10^{-6}\cdot 15000\cdot(50-15)+18=23'77\ daN/mm^2$$

$$B=\frac{a^2\cdot E\cdot W^2\cdot m_2^2}{24}=\frac{80^2\cdot 15000\cdot 0'089^2\cdot 1^2}{24}=31684\ daN^3/mm^6$$

$t_2^2(t_2+A)=B \rightarrow t_2^2(t_2+23'77)=31684 \rightarrow t_2=25'39\ daN/mm^2 \rightarrow T_2=t_2\cdot S \Rightarrow$

$T_2=25'39\cdot 50=1269'5\ daN$.

El valor de la flecha es: $f_{max\theta}=\frac{a^2\cdot p}{8\cdot T_2}=\frac{80^2\cdot 4'45}{8\cdot 1269'5}=2'8\ m$

d3) Hipotesis de flecha máxima con hielo (no se considera en la zona A).

A continuación, aunque no es de aplicación para este ejemplo, se realiza el calculo en la zona B, con objeto de ilustrar como se calcula la sobrecarga por manguito de hielo en este tipo de conductores

t_2	θ_2	m_2
0	0	1'12

$$m_2=\frac{P}{p}=\frac{p+p_h}{p}=\frac{4'45+0'06\sqrt{78}}{4'45}=1'12$$

Aplicando la ecuación de cambio de condiciones se obtendría

$t_2=29'66\ daN/mm^2 \rightarrow T_2=t_2\cdot S \rightarrow T_2=29'66\cdot 50=1483\ daN$

El valor de la flecha es: $f_{max\ Hielo}=\frac{a^2\cdot p}{8\cdot T_2}=\frac{80^2\cdot 4'979}{8\cdot 1483}=2'68m$

e) Hipotesis de flecha mínima vertical:

Se utiliza para comprobar en el perfil longitudinal la inexistencia de tipo escarpado sobre los apoyos de suspensión y las distancias de seguridad de la línea con otras líneas eléctricas que crucen por encima (Apt 6.5.1 ITC-LAT-08)

t_2	θ_2	m_2
	-5°C	1

Aplicando la ecuación de cambio de condiciones

$$A = \alpha \cdot E(\theta_2 - \theta_1) + K = 11 \cdot 10^{-6} \cdot 15000 \cdot (-5-15) + 18 = 14'7 \ daN/mm^2$$

$$B = \frac{a^2 \cdot E \cdot W^2 \cdot m_2^2}{24} = \frac{80^2 \cdot 15000 \cdot 0'089^2 \cdot 1^2}{24} = 31684 \ daN^3/mm^6$$

$$t_2^2 \cdot (t_2 + A) = B \rightarrow t_2^2 \cdot (t_2 + 14'7) = 31684 \rightarrow t_2 = 27'43 \ daN/mm^2 \rightarrow T_2 = t_2 \cdot S$$

$$T_2 = 27'43 \cdot 50 = 1371 \ daN$$

El valor de la flecha mínima para el vano de cálculo es:

$$f_{min} = \frac{a^2 \cdot p}{8 \cdot T_2} = \frac{80 \cdot 4'45}{8 \cdot 1371} = 2'59 \ m$$

f) Hipótesis para el cálculo de apoyos

Coincide con la hipótesis de hielo máximo de viento a 120km/h calculada anteriormente.

CALCULO DE LIMITES DINAMICOS Y ESTATICOS:

Para el vano del soporte 4.4, calcúlese los límites dinámicos (EDS y CHS) y estático (T_R/C_s), comparándolos con los recomendados por la CIGRE (Conferencia Internacional de Grandes Redes Eléctricas) y por diferentes compañías eléctricas en sus correspondientes proyectos tipo para líneas aéreas de media tensión con circuito simple con conductor LA-56:

Si no cumple la Tensión de cada día y el porcentaje es superior a 15%, se dispondrán de dispositivos antivibradores, que admiten hasta un 22%, de la carga de rotura.

Las condiciones en las que debe calcularse la tensión de cada día son:

$t^a = 15°C$

- ZONA A En esta zona y con el conductor empleado, las condiciones de partida o iniciales (CI) y las finales (CF) para el cálculo del EDS son:

$$\begin{cases} T_0 = 546\,kg \\ P_0 = \sqrt{p^2 + pv^2} \Rightarrow 0'5977\,kg/m \\ t_1^a = -5°C \end{cases} \qquad \begin{cases} T_{EDS} = ?! \\ P = pv = 0'18 \\ t_2^a = 15°C \end{cases}$$

$$A = \delta \cdot E \cdot S\left(t_2^a - t_1^a\right) - T_0 + \frac{a^2 \cdot P_0^2 \cdot S \cdot E}{24 \cdot T_0^2}$$

$$A = 19'1 \cdot 10^{-6} \cdot 8100 - 54'6 \cdot (15 - (-5)) - 546 + \frac{100^2 \cdot 0'5977^2 \cdot 54'6 \cdot 8100}{24 \cdot 546^2} = -156'231982$$

$$B = \frac{a^2 \cdot p^2 \cdot S \cdot E}{24} = \frac{100^2 \cdot 0'1891^2 \cdot 54'6 \cdot 8100}{24} = 6589454'71$$

$\int$ la ECC $\rightarrow T^2 \cdot [T - 156'231982] = 6589454'71$ que también puede ser escrita:

$$T = \sqrt{\frac{6589454'71}{T - 156'231982}}$$

$T_{EDS} = 257\ kg$; $T_R = 1665'65$

$$EDS(\%) = \frac{T_{EDS}}{T_R} \cdot 100\% \rightarrow EDS(\%) = \frac{257}{1665'66} \cdot 100 = 15'429\%.$$

Vamos a coger el criterio de Unican Fenosa 11%, y vamos a tener que cumplir que como máximo, la tensión tenga que ser:

$T_{EDS} = 11\% T_R = 183'2215 kg = 183 kg$

CI = Condición inicial.
CF = Condición final.

CI: $T_0 = T_{EDS} = 183 kg$; $P_0 = p = 0'1891\ kg/m$; $t_1^a = 15°C$ $\Rightarrow$ CF: $T = ??$; $P = \sqrt{p^2 + pv^2}$; $t_2^a = -5°C$

Aplicando la ECC $\rightarrow$ $A = 155'1786$ $B = 65831375'8$ $T = 462 kg$

lo que supone aplicar un tense máximo de 462 kg en lugar de los 546 kg inicialmente puestos. Con esa tensión el EDS será de 10'987%. < 11%.

El tense anterior, a su vez, supone aplicar un Cs de:

$$T_A = \frac{b}{a} \cdot T + p\left(\frac{h}{2} + \frac{p \cdot a \cdot b}{8T}\right) = \frac{100'72}{100} \cdot 462 + 0'5977 \cdot \left(\frac{12}{2} + \frac{0'5977 \cdot 100 \cdot 100'72}{8 \cdot 462}\right)$$

$T_A = 469'886 kg \simeq 470 kg \rightarrow Cs = \frac{1665'65}{470} = 3'54.$

CALCULO DE TRACCIONES MAXIMAS ADMISIBLES.

Uno de los vanos de la línea del supuesto 4.4 ... sido fijado en el replanteo inicial en 500m de longitud horizontal (longitud proyectada), siendo el desnivel del mismo de 12metros (considerese aproximadamente iguales los desniveles del vano y los existente entre los puntos superiores de los apoyos). Determinar:

a) Tracciones máximas admisibles en función de la zona por la que discurriese la línea:

b) Si en el censo meteorológico de la zona se nos indica que para la zona por la que discurre la línea, son previsibles vientos de hasta 44 m/s, ¿habría que considerar la hipotesis adicional de viento para las zonas B y C?

$$pv = q_{60} \cdot d \rightarrow pv = 60\ kg/m^2 \cdot (9'45 \cdot 10^{-3})\ m = 0'567\ kg/m$$

En la expresión anterior, de acuerdo con el artículo 16, la presión dinámica ha sido fijada en $60 kg/m^2$ al ser $d < 16 mm^2$.

Para zona B: $ph = 0'18\sqrt{d} \rightarrow ph = 0'18 \cdot \sqrt{9'45} = 0'5533\ kg/m$

Para zona C: $ph = 0'36\sqrt{d} \rightarrow ph = 0'36 \cdot \sqrt{9'45} = 1'1067\ kg/m$

Con los valores anteriores podemos calcular ya los pesos a tener en cuenta en las distintas hipotesis en función de la sobrecarga a considerar.
Para zona A, el peso total (P) a considerar sobre el conductor es:

$$P = \sqrt{p^2 + pv^2} = \sqrt{0'1891^2 + 0'567^2} = 0'5977\ kg/m. \quad \text{ZONA A.}$$

$$P = p + ph = 0'1891 + 0'5533 = 0'7424\ kg/m. \quad \text{ZONA B.}$$

$$P = p + ph = 0'1891 + 1'1067 = 1'2958\ kg/m. \quad \text{ZONA C.}$$

$m_A = \frac{0'5477}{0'1891} = 3'1608$; $m_B = \frac{0'7424}{0'1891} = 3'92597$; $m_C = \frac{1'2958}{0'1891} = 6'8525$.

Obsérvese, por ejemplo, la importancia que la sobrecarga tiene en la zona C_1 en la que supera en casi 7 veces el peso propio del cable.

Tracciones máximas admisibles:

ZONA A: Adoptamos $C_s = 3$, por lo ya explicado. Con ella, la tensión máxima en el punto de anclaje del apoyo más alto, deberá ser.

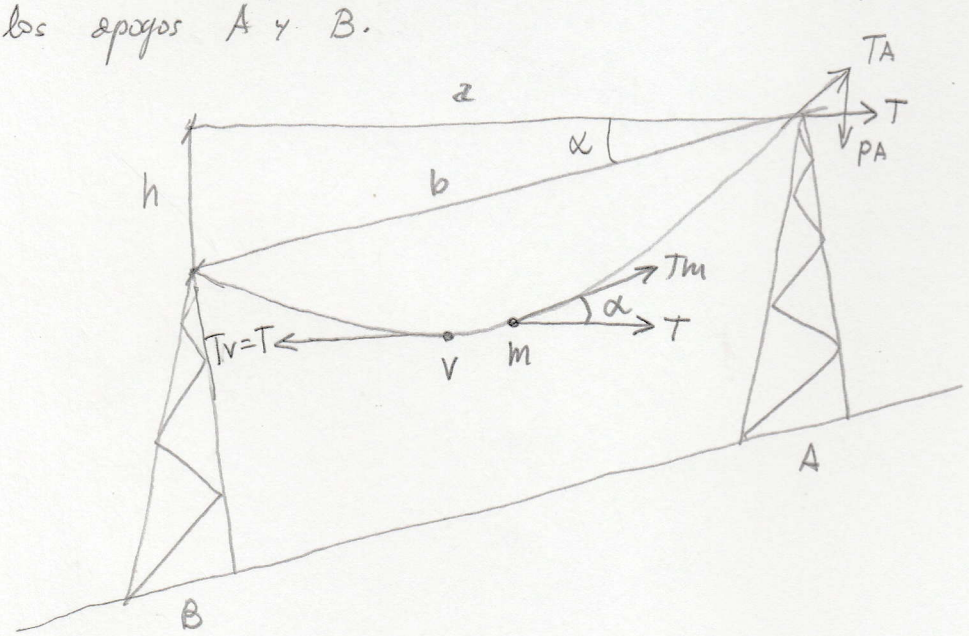
$$T_R = 16340N = 1634\ daN = \frac{1634}{0'981} \simeq 1665'65\ kg$$

$$T_A = \frac{T_R}{C_s} = \frac{1665'65}{3} = 555'217\ kg = 555\ kg$$ con lo que el C_s real es de 3'0012.

La tensión específica o cuitana máxima será:

$$t_A = \frac{T_A}{S} = \frac{555'}{54'6} = 10'165\ kg/mm^2$$

En la siguiente figura se muestra la relación existente entre los lados a y b y h del triángulo que se forma entre los puntos de fijación del conductor en los apoyos A y B.



$$b = \sqrt{a^2+h^2} = \sqrt{100^2+12^2} = 100'72m.$$

$$T_M = \frac{\left(555 - \frac{0'5977 \cdot 12}{2}\right) + \sqrt{\left(555 - \frac{0'5977 \cdot 12}{2}\right)^2 - \left(\frac{0'5977^2 \cdot 100'72^2}{2}\right)}}{2}$$

$T_M = 550'591$ kg con lo que, y teniendo en cuenta:

$$T = \frac{a}{b} \cdot T_M \Rightarrow T = \frac{100}{100'72} \cdot 550'591 = 546'66 \text{ kg} \simeq 546 \text{ kg}$$

Las condiciones de hipótesis máxima son:

ZONA A
- $T_A = 555$ kg $\Rightarrow C_s = 3'0012 \Rightarrow t_A = 10'165$ kg/mm²
- $T = 546$ kg
- $P = 0'5977$ kg/m
- $t^a = -5°C$

ZONA B
- $T_A = 555$ kg $\Rightarrow C_s = 3'0012 \Rightarrow t_A = 10'165$ kg/mm²
- $T = 545$ kg
- $P = 0'7424$
- $t^a = -15°C$

ZONA C
- $T_A = 555$ kg $\Rightarrow C_s = 3'0012 \Rightarrow t_A = 10'165$ kg/mm²
- $T = 539$ kg
- $P = 1'2958$ kg/m
- $t^a = -20°C$

$P_{hip\ adicional\ ZONA\ C}$ = (Para vientos de más de 44 m/s) (> 158'4 km/h) la presión sobre superficies cilíndricas con coeficientes de reducción de 0'6 (al ser el diámetro del cable menor o igual a 16 mm. Si fuera mayor el coeficiente de reducción sería 0'5. Nótese como de estos coeficientes provienen los valores 60 y 50 kg/m² que respectivamente se aplican como sobrecargas por viento, para vientos de 120 km/h. En cables, es de 107'52 kg/m², en lugar de los 60 kg/m² considerados anteriormente:

$$P_{hip\ adicional\ ZONA\ C} = \sqrt{p^2 + pv^2} = \sqrt{0'1891^2 + (107'52 \cdot 9'145 \cdot 10^{-3})^2} = (1'03351 < 1'2958) \text{ kg/m}$$

Luego no será necesario tener en cuenta la hipótesis adicional al ser menos desfavorable (la tensión en las condiciones de peso y temperatura correspondientes a esta hipótesis sería de 541 kg) que la característica de la zona.

$P_{hip\ adicional\ zona\ C}$ = (NO hace falta contemplarla hasta velocidades de viento superiores a 180km/h para este conducto), ya que igualando el peso aparente de las condiciones de tracción máxima al peso aparente en la hipotesis adicional, se llega a concluir:

$$P_{hip\ adicional\ ZONA\ C} = 1'2958\ Kg/m = \sqrt{p^2 + pv^2} = \sqrt{0'1891^2 + (pv \cdot 9'45 \cdot 10^{-3})^2}$$

Despejamos $pv = 135'654\ Kg/m^2$

Ambas

3.6. EJEMPLO DE CÁLCULO DE DISTANCIAS MÍNIMAS DE SEGURIDAD

A continuación, se determinan las distancias mínimas de seguridad, según establece el Apartado 5 de la ITC-LAT 07 [6], para el ejemplo del Apartado 3.4 de una línea de 15kV, suponiendo para dicha línea distintas situaciones de cruzamientos y paralelismos.

3.6.1. Distancias entre conductores

Según establece el Apartado 5.4.1 de la ITC-LAT 07, la separación mínima entre los conductores de fase de un mismo circuito se determinará por la siguiente fórmula:

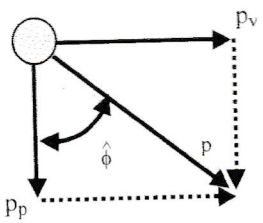
$$D = K \cdot \sqrt{f_{máx.} + L_{cad}} + K' \cdot D_{pp}$$

donde:

D = separación entre conductores de fase del mismo circuito o de circuitos distintos, en metros.

K = coeficiente que depende de la oscilación de los conductores con el viento, que se tomará de la Tabla 16 de la ITC-LAT 07.

Angulo de oscilación	Valores de *K*	
	Líneas de tensión nominal superior a 30 kV	Líneas de tensión nominal igual o inferior a 30 kV
Superior a 65°	0,7	0,65
Entre 40° y 65°	0,65	0,6
Inferior a 40°	0,6	0,55



$$p_p = 0{,}425 \ daN/m$$

$$p_V = 0{,}84 \ daN/m$$

$$tg\hat{\phi} = \frac{p_V}{p_p} = \frac{0{,}84}{0{,}425} = 1{,}976$$

$$\hat{\phi} = 63{,}16°$$

De la tabla anterior, se obtiene una valor de $K = 0{,}6$, ya que la tensión de la línea es inferior a 30 kV.

$f_{máx.}$ = flecha máxima, en metros, para las hipótesis, según el Apartado 3.2.3 de la ITC-LAT 07.

La flecha máxima a considerar para la distancia entre conductores es la correspondiente a la hipótesis de viento, que para los distintos vanos de la línea tiene un valor de:

$$f_{máx(vano1)} = 4{,}1\ m, \quad f_{máx(vano2)} = 3{,}6\ m, \quad f_{máx(vano3)} = 3{,}5\ m$$

$$f_{máx(vano4)} = 3{,}2\ m, \quad f_{máx(vano5)} = 3{,}7\ m, \quad f_{máx(vano6)} = 4{,}2\ m$$

L_{cad} = longitud en metros de la cadena de suspensión. $L_{cad} = 0{,}6$ m.

K' = coeficiente que depende de la tensión nominal de la línea, $K' = 0{,}75$ para líneas que no son de categoría especial.

D_{pp} = distancia mínima aérea especificada para prevenir una descarga disruptiva entre conductores de fase durante sobretensiones de frente lento o rápido.

Los valores de D_{pp} se indican en el Apartado 5.2 de la ITC-LAT 07, en función de la tensión más elevada de la línea. En este caso, $D_{pp} = 0{,}2$ m.

Para este caso debe de existir una distancia mínima entre conductores de:

$$D_{vano1} = 0{,}6\sqrt{4{,}1 + 0{,}6} + 0{,}75 \cdot 0{,}2 = 1{,}45\ m$$

$$D_{vano2} = 0{,}6 \cdot \sqrt{3{,}6 + 0{,}6} + 0{,}75 \cdot 0{,}2 = 1{,}38\ m$$

$$D_{vano3} = 0{,}6 \cdot \sqrt{3{,}5 + 0{,}6} + 0{,}75 \cdot 0{,}2 = 1{,}36\ m$$

$$D_{vano4} = 0{,}6 \cdot \sqrt{3{,}2 + 0{,}6} + 0{,}75 \cdot 0{,}2 = 1{,}32\ m$$

$$D_{vano5} = 0{,}6 \cdot \sqrt{3{,}7 + 0{,}6} + 0{,}75 \cdot 0{,}2 = 1{,}39\ m$$

$$D_{vano6} = 0{,}6 \cdot \sqrt{4{,}2 + 0{,}6} + 0{,}75 \cdot 0{,}2 = 1{,}46\ m$$

Las crucetas recta y de bóveda utilizadas para la línea garantizan una distancia entre conductores, según las dimensiones especificadas en el Apartado 3.4, mayor que la obtenida para cualquiera de los seis vanos.

3.6.2. Distancias entre conductores y partes puestas a tierra

La separación mínima entre los conductores y sus accesorios en tensión y los apoyos no será inferior a D_{el}, con un mínimo de 0,2 metros.

Para este ejemplo, al ser la tensión nominal de la línea de 15 kV, el valor especificado para D_{el}, en el Apartado 5.2 de la ITC-LAT 07, en función de la tensión más elevada de la línea, es de 0,16 m, por lo que la distancia mínima no será inferior a 0,2 m. Por lo tanto, habrá que comprobar si se garantiza esta distancia para la máxima desviación prevista de la cadena de aisladores.

Según la Figura de la cruceta de bóveda del Apartado 3.4, un ángulo de desviación de cadena de 58° permite una distancia del conductor central a la cruceta de 0,297 m. Si se comprueba que en ningún apoyo de alineación de la línea se sobrepasa ese ángulo, se cumpliría la distancia mínima de 0,2 m. El lector puede comprobar que el apoyo de alineación más desfavorable es el nº 6, ya que su ángulo de oscilación de cadena es muy superior al del resto de los apoyos de alineación. Según el Apartado 3.5.2 es necesario utilizar un contrapeso de 50 daN en cada una de las cadenas de suspensión, para obtener un ángulo de 50,8° cumpliendo con la distancia de seguridad.

3.6.3. Distancias al terreno

La altura de los apoyos será la necesaria para que los conductores, con su flecha máxima vertical, según la hipótesis de temperatura o de hielo, queden situados por encima de cualquier punto del terreno a una altura mínima de:

$$D_{add} + D_{el} = 5{,}3 + D_{el}$$

en metros, con un mínimo de 6 metros.

En este caso:

$$D_{add} + D_{el} = 5{,}3 + 0{,}16 = 5{,}36\ m$$

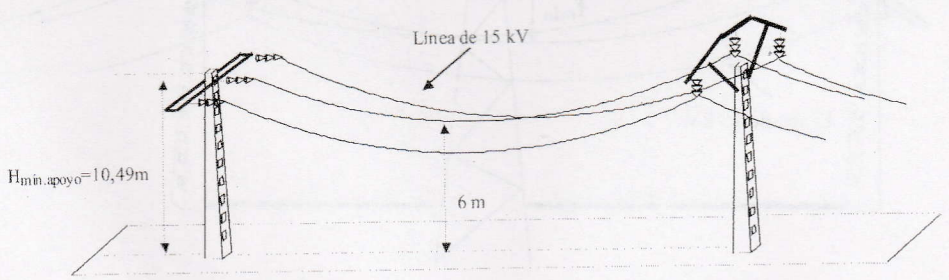
por tanto, la distancia mínima debe ser de 6 m.

Como ejemplo se calculará la altura mínima de los apoyos que permite cumplir con las distancias al terreno para el vano nº 1 de 160 m de longitud. Para ello, los datos de flecha máxima tomados del cálculo mecánico del conductor son las siguientes:

- Para 0 °C con sobrecarga de hielo, $f_{máx.hielo} = 4{,}49\ m$
- Para 50 °C sin sobrecarga, $f_{máx.\theta} = 4{,}49\ m$

Por tanto, para el apoyo nº 1, perteneciente al vano a nivel de 160 m de longitud, con cruceta de horizontal, la altura libre mínima del apoyo principio de línea sería igual a la distancia mínima de los conductores al terreno más la flecha máxima.

$$H_{apoyo.mín} = 6 + f_{máx.hielo} = 6 + 4{,}49 = 10{,}49\ m$$



3.6.4. Distancia a otras líneas aéreas

3.6.4.1. Cruzamientos

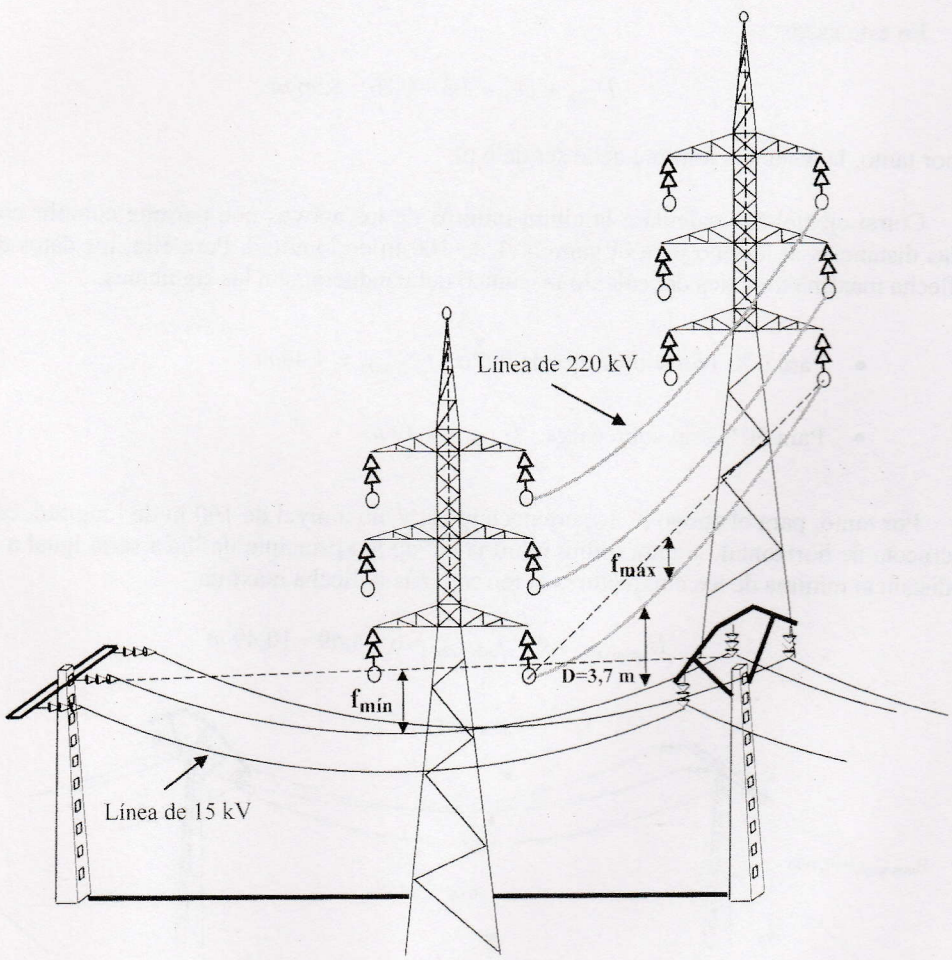
Supóngase que en el vano nº 1 se produce el cruce con una línea de alta tensión de tensión nominal 220 kV.

Según se indica en el Apartado 5.6.1 de la ITC-LAT 07, la distancia entre los conductores de la línea inferior (línea de 15 kV) y las partes más próximas de los apoyos de la línea superior (línea de 220 kV) no deberá ser inferior a:

$$D_{add} + D_{el} = 1{,}5 + D_{el}$$

con un mínimo de 5 metros para las líneas de tensión superior a 132 kV y hasta 220 kV, considerándose los conductores de la línea en su posición de máxima desviación bajo la acción de la hipótesis de viento a) del Apartado 3.2.3.

En nuestro caso: $D_{add} + D_{el} = 1{,}5 + 1{,}7 = 3{,}2\ m$, con un mínimo de 5 metros.



La distancia mínima en vertical entre ambas líneas, suponiendo los conductores de la línea de 220 kV con su máxima flecha vertical y los conductores de la línea de 15 kV con su mínima flecha, debe ser de $D_{add} + D_{pp}$, en metros.

En este caso: $D_{add} + D_{pp} = 3{,}5 + 0{,}2 = 3{,}7\ m$

3.6.4.2. Paralelismos

Supóngase que alguno de los vanos de la línea de 15 kV es paralelo a un tramo de una línea de 132 kV. Las características del tramo de la línea de 132 kV son:

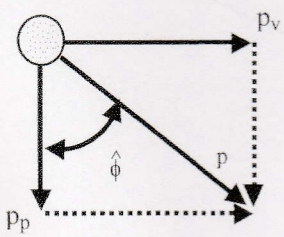
- Altura libre de los apoyos: 35,3 m.
- Conductor: LA-280.
- Peso propio: 0,957 daN/m.
- Diámetro del conductor: 21,8 mm.
- Zona C:
  - Tracción máxima del conductor: 2250 daN.
  - Flecha máxima a 15 °C con sobrecarga de viento, en el vano mayor de 240 m del tramo paralelo a la línea de 15 kV: 8,67 m.
  - Longitud de cadena de aisladores de suspensión: 1,592 m.

El Apartado 5.6.2 de la ITC-LAT 07, especifica que siempre que sea posible, se evitará la construcción de líneas paralelas de transporte o de distribución de energía eléctrica a distancias inferiores a 1,5 veces la altura del apoyo más alto, entre las trazas de los conductores más próximos.

En este caso, al ser la altura libre del apoyo más alto de 35,3 m, se evitará el paralelismo a una distancia inferior a 1,5 × 35,3 = 52,95 m.

Cuando lo anterior no sea posible, entre los conductores contiguos de las líneas paralelas no deberá existir una separación inferior a la prescrita en el Apartado 5.4.1, considerando los valores de K, K', L_{cad}, $f_{máx.}$ y D_{pp} de la línea de mayor tensión, en nuestro caso, 132 kV.

$$D = K \cdot \sqrt{f_{máx} + L_{cad}} + K' \cdot D_{pp}$$



$$p_p = 0{,}957\ \ daN/m$$

$$p_V = q \cdot \phi = 50 \cdot 21{,}8 \cdot 10^{-3} = 1{,}09\ \ daN/m$$

$$tg\hat{\phi} = \frac{p_V}{p_p} = \frac{1{,}09}{0{,}957} = 1{,}138$$

$$\hat{\phi} = 48{,}7°$$

donde:

D = separación entre conductores de fase de los circuitos de ambas líneas paralelas, en metros.

K = 0,65 ya que la tensión de la línea es superior a 30 kV y el ángulo de oscilación está comprendido entre 40 y 65 °.

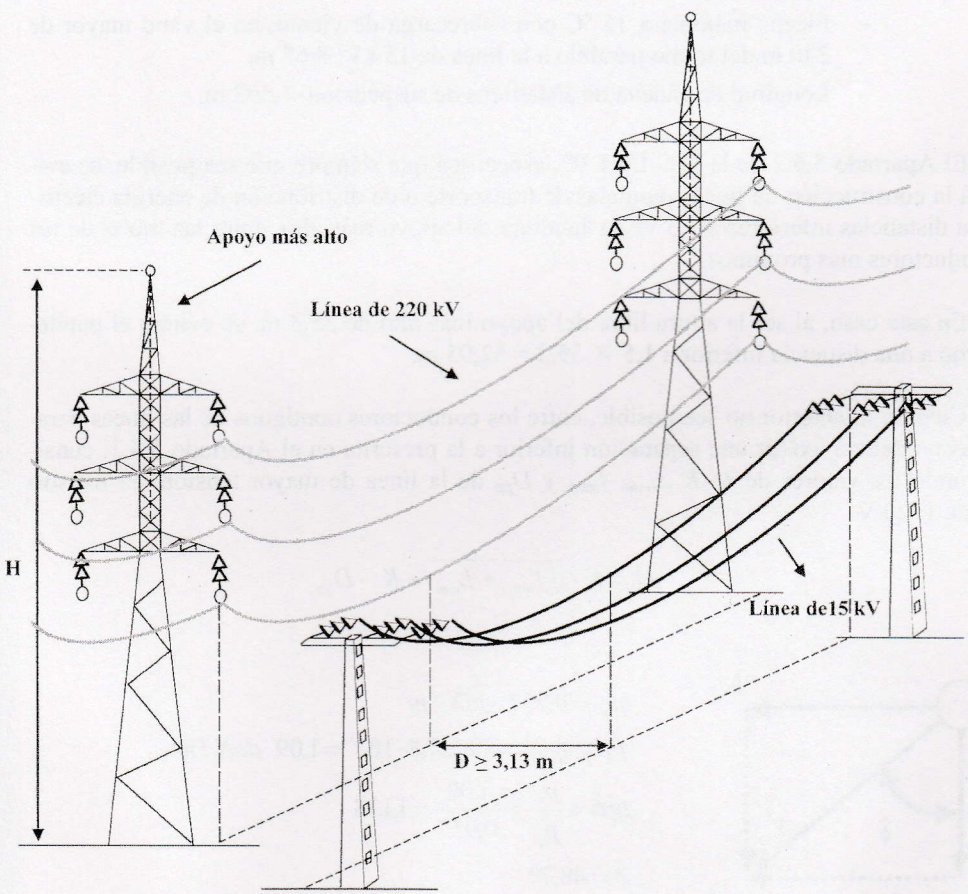
$f_{máx.}$ = flecha máxima en metros, para las hipótesis según el Apartado 3.2.3 de la ITC-LAT 07. La flecha máxima a considerar para la distancia entre conductores es la correspondiente a la hipótesis de viento, que en este caso vale 8,67 m.

L_{cad} = longitud en metros de la cadena de suspensión, L = 1,592 m.

K' = 0,75 para líneas que no son de categoría especial.

D_{pp} = distancia mínima aérea especificada en función de la tensión más elevada de la línea (para este caso, de 145 kV), D_{pp} = 1,4 m.

$$D = 0{,}65 \cdot \sqrt{8{,}67 + 1{,}592} + 0{,}75 \cdot 1{,}4 = 3{,}13 \ m$$



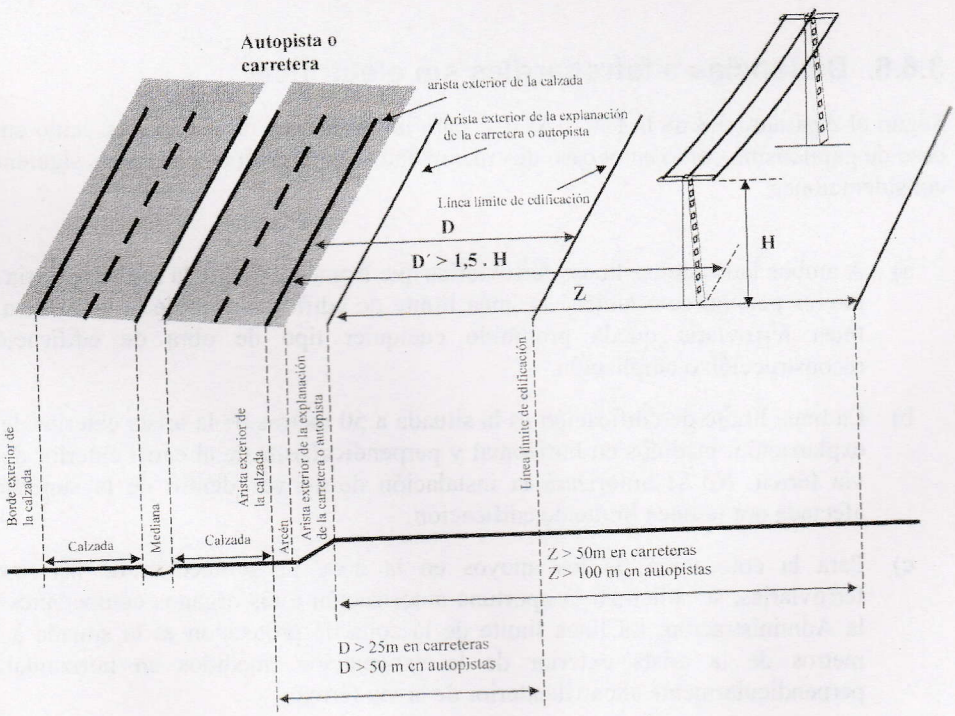
3.6.5. Distancias a carreteras

Si la línea se va a emplazar próxima a una carretera se tendrán en cuenta las consideraciones especificadas en el Apartado 5.7 de la ITC-LAT 07. Para la Red de Carreteras del Estado, la instalación de apoyos se realizará preferentemente detrás de la línea límite de edificación y a una distancia, *D*, a la arista exterior de la calzada superior a vez y media su altura. La línea límite de edificación es la situada a 50 metros en autopistas, autovías y vías rápidas, y a 25 metros en el resto de carreteras de la Red de Carreteras del Estado de la arista exterior de la calzada.

Para las carreteras no pertenecientes a la Red de Carreteras del Estado, la instalación de los apoyos deberá cumplir la normativa vigente de cada comunidad autónoma aplicable a tal efecto.

Independientemente de que la carretera pertenezca o no a la Red de Carreteras del Estado, para la colocación de apoyos dentro de la zona de afección de la carretera, se solicitará la oportuna autorización a los órganos competentes de la Administración. Para la Red de Carreteras del Estado, la zona de afección, Z, comprende una distancia de 100 metros desde la arista exterior de la explanación en el caso de autopistas, autovías y vías rápidas, y 50 metros en el resto de carreteras de la Red de Carreteras del Estado.

En circunstancias topográficas excepcionales, y previa justificación técnica y aprobación del órgano competente de la Administración, podrá permitirse la colocación de apoyos a distancias menores de las fijadas.



3.6.5.1. Cruzamientos con carreteras

La distancia mínima de los conductores sobre la rasante de la carretera será de:

$$D_{add} + D_{el} \text{ (en metros)},$$

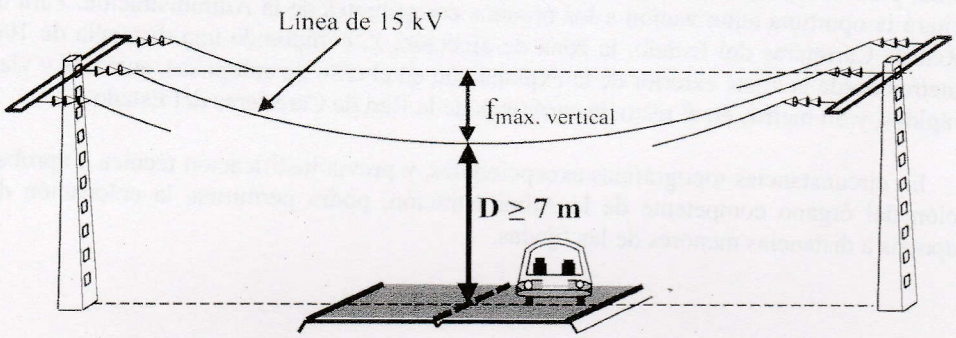
con una distancia mínima de 7 metros.

Los valores de D_{el} se indican en el Apartado en el Apartado 5.2 de la ITC-LAT 07 en función de la tensión más elevada de la línea.

Para la línea de 15 kV el valor de D_{el} es de 0,16 m, siendo $D_{add} = 6{,}3$ para líneas de categoría no especial. Por tanto la distancia de los conductores en su cruzamiento con la carretera quedará:

$$D_{add} + D_{el} = 6{,}3 + 0{,}16 = 6{,}46 \text{ m},$$

con un mínimo de 7 metros.



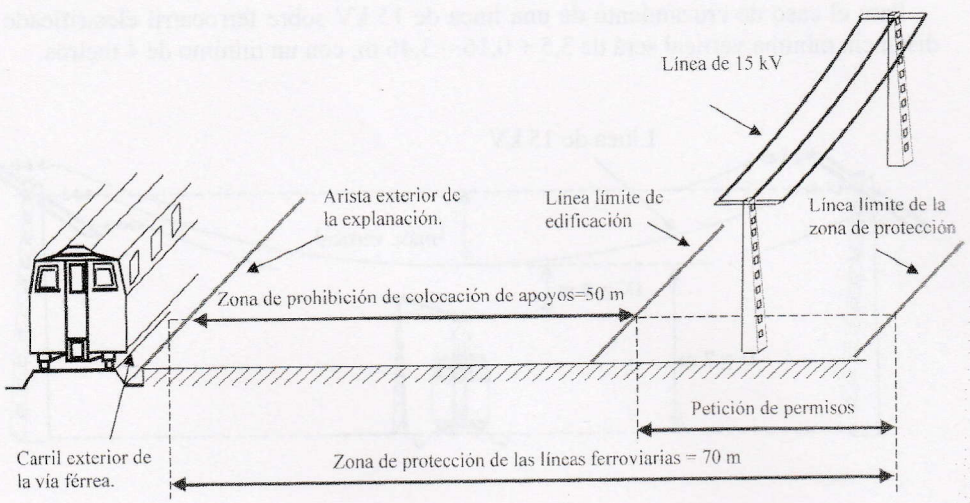
3.6.6. Distancias a ferrocarriles sin electrificar

Según el Apartado 5.8 de la ITC-LAT 07, para la instalación de los apoyos, tanto en el caso de paralelismo como en el caso de cruzamientos, se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

a) A ambos lados de las líneas ferroviarias que formen parte de la red ferroviaria de interés general se establece la línea límite de edificación desde la cual hasta la línea ferroviaria queda prohibido cualquier tipo de obra de edificación, reconstrucción o ampliación.

b) La línea límite de edificación es la situada a 50 metros de la arista exterior de la explanación, medidos en horizontal y perpendicularmente al carril exterior de la vía férrea. No se autorizará la instalación de apoyos dentro de la superficie afectada por la línea límite de edificación.

c) Para la colocación de los apoyos en la zona de protección de las líneas ferroviarias, se solicitará la oportuna autorización a los órganos competentes de la Administración. La línea límite de la zona de protección es la situada a 70 metros de la arista exterior de la explanación, medidos en horizontal y perpendicularmente al carril exterior de la vía férrea.



d) En los cruzamientos no se podrán instalar los apoyos a una distancia de la arista exterior de la explanación inferior a vez y media la altura del apoyo.

e) En circunstancias topográficas excepcionales, y previa justificación técnica y aprobación del órgano competente de la Administración, podrá permitirse la colocación de apoyos a distancias menores de las fijadas.

3.6.6.1. Cruzamientos

La distancia mínima de los conductores de la línea eléctrica sobre las cabezas de los carriles, D, será la misma que para cruzamientos con carreteras.

3.6.7. Distancias a ferrocarriles electrificados

Para la instalación de los apoyos, tanto en el caso de paralelismo como en el caso de cruzamientos, se seguirá lo indicado en al Apartado 5 para ferrocarriles sin electrificar.

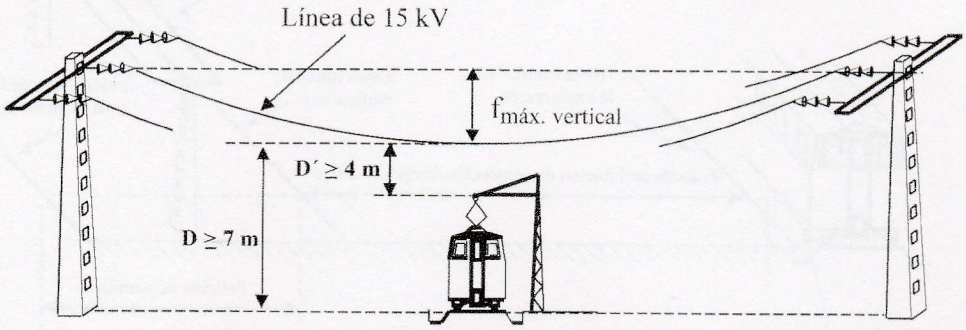
3.6.7.1. Cruzamientos

En el cruzamiento entre las líneas eléctricas y los ferrocarriles electrificados, tranvías y trolebuses, la distancia mínima vertical de los conductores de la línea eléctrica, con su máxima flecha vertical, según las hipótesis del Apartado 3.2.3 de la ITC-LAT 07, sobre el conductor más alto de todas las líneas de energía eléctrica, telefónicas y telegráficas del ferrocarril será de:

$$D' = D_{add} + D_{el} = 3{,}5 + D_{el} \text{ (en metros)}$$

con un mínimo de 4 metros. Los valores de D_{el} se indican en el Apartado 5.2 en función de la tensión más elevada de la línea.

Para el caso de cruzamiento de una línea de 15 kV sobre ferrocarril electrificado, la distancia mínima vertical será de 3,5 + 0,16 = 3,46 m, con un mínimo de 4 metros.



Además, en el caso de ferrocarriles, tranvías y trolebuses provistos de trole, o de otros elementos de toma de corriente que puedan accidentalmente separarse de la línea de contacto, los conductores de la línea eléctrica deberán estar situados a una altura tal que, al desconectarse el órgano de toma de corriente, no quede, teniendo en cuenta la posición más desfavorable que pueda adoptar, a menor distancia de aquellos que la definida anteriormente.

3.6.8. Distancias a teleféricos y cables transportadores

3.6.8.1. Cruzamientos

El cruce de una línea eléctrica con teleféricos o cables transportadores deberá efectuarse siempre superiormente, salvo casos razonadamente muy justificados que expresamente se autoricen.

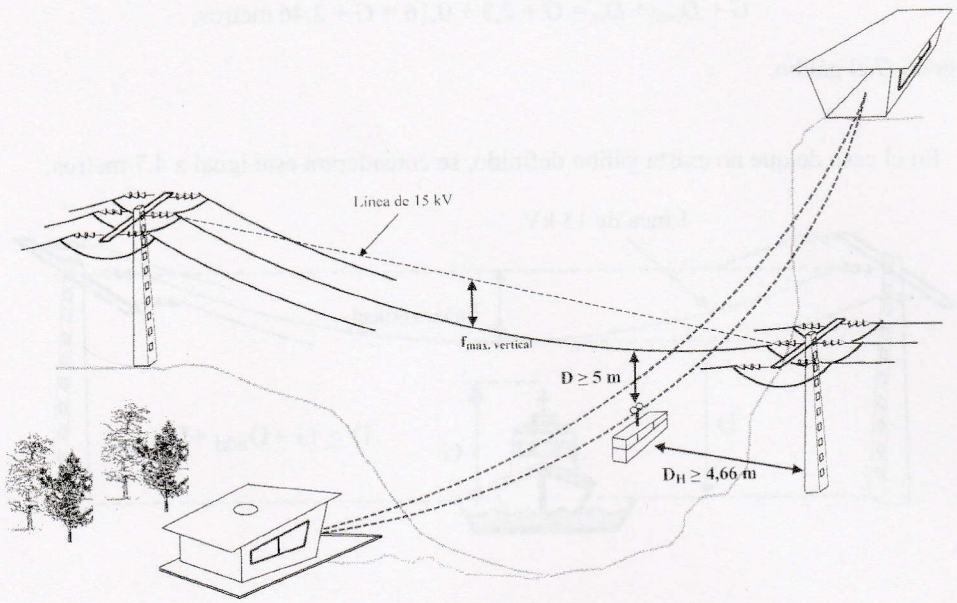
La distancia mínima vertical entre los conductores de la línea eléctrica, con su máxima flecha vertical, y la parte más elevada del teleférico, teniendo en cuenta las oscilaciones de los cables del mismo durante su explotación normal y la posible sobre elevación que pueda alcanzar por reducción de carga en caso de accidente será de:

$$D_{add} + D_{el} = 4{,}5 + D_{el} \text{ (en metros)},$$

con un mínimo de 5 metros. Los valores de D_{el} se indican en el Apartado 5.2 en función de la tensión más elevada de la línea.

Para el caso de cruzamiento de una línea de 15 kV sobre teleférico, la distancia mínima vertical será de 4,5 + 0,16 = 4,66 m, con un mínimo de 5 metros.

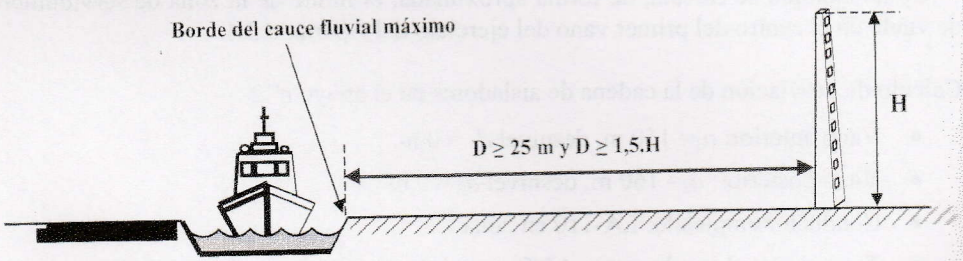
La distancia horizontal entre la parte más próxima del teleférico y los apoyos de la línea eléctrica en el vano de cruce será, como mínimo, la que se obtenga de la fórmula anteriormente indicada, en nuestro caso, de 4,66 metros.



3.6.9. Distancias a ríos y canales, navegables o flotables

Para la instalación de los apoyos, tanto en el caso de paralelismo como en el caso de cruzamientos, se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

a) La instalación de apoyos se realizará a una distancia de 25 metros y, como mínimo, vez y media la altura de los apoyos, desde el borde del cauce fluvial correspondiente al caudal de la máxima avenida. No obstante, podrá admitirse la colocación de apoyos a distancias inferiores si existe la autorización previa de la Administración competente. En el caso de la línea de 15 kV, con altura libre del apoyo de 15 m, las distancias se muestran en la figura siguiente.



b) En circunstancias topográficas excepcionales, y previa justificación técnica y aprobación de la Administración, podrá permitirse la colocación de apoyos a distancias menores de las fijadas.

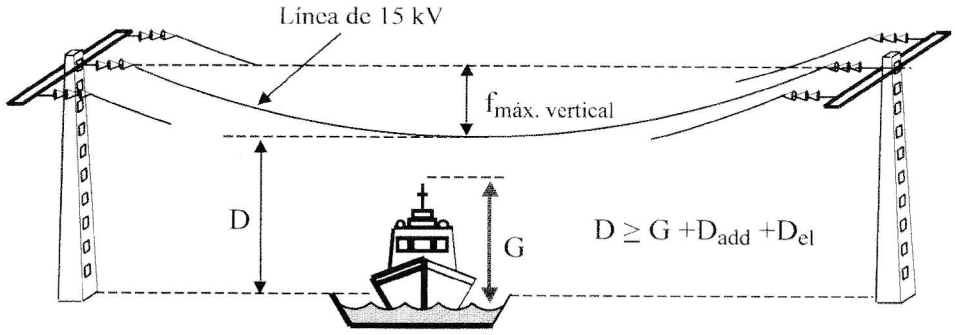
3.6.9.1. Cruzamientos

En los cruzamientos con ríos y canales, navegables o flotables, la distancia mínima vertical de los conductores, con su máxima flecha vertical según las hipótesis del Apartado 3.2.3 de la ITC-LAT 07, sobre la superficie del agua para el máximo nivel que pueda alcanzar esta será, para la línea de 15 kV de:

$$G + D_{add} + D_{el} = G + 2{,}3 + 0{,}16 = G + 2{,}46 \text{ metros},$$

siendo G el gálibo.

En el caso de que no exista gálibo definido, se considerará este igual a 4,7 metros.



3.6.10. Paso por zonas

En general, para las líneas eléctricas aéreas con conductores desnudos se define la zona de *servidumbre de vuelo* como la franja de terreno definida por la proyección sobre el suelo de los conductores extremos, considerados éstos y sus cadenas de aisladores en las condiciones más desfavorables, sin contemplar distancia alguna adicional.

Las condiciones más desfavorables son considerar los conductores y sus cadenas de aisladores en su posición de máxima desviación, es decir, sometidos a la acción de su propio peso y a una sobrecarga de viento, considerando una velocidad de viento de 120 km/h a la temperatura de +15 °C.

Como ejemplo se calcula, de forma aproximada, el límite de la zona de servidumbre de vuelo en el centro del primer vano del ejercicio del Apartado 3.4.

Cálculo de desviación de la cadena de aisladores en el apoyo nº 2.

- Vano anterior: a_1= 150 m, desnivel d_1 = 0 m.
- Vano posterior: a_2= 160 m, desnivel d_2 = 0 m.
- Conductor empleado: LA-110 en zona C.
- Tracción en el conductor a –15ºC con viento de 120 km/h: T_V = 840 daN.
- Peso aparente de conductor con viento de 120 km/h: p = 0,941 daN.
- Diámetro del conductor: ϕ_{COND} = 14 mm.
- Peso de la cadena de aisladores: P_{CAD} = 10 daN.
- Longitud de la cadena de aisladores: L_{cad} = 0,6 m.
- Diámetro de la cadena: ϕ_{CAD} = 0,255 m.
- Peso de herrajes por cadena: P_{HERR} = 2 daN.
- Peso propio: p_p = 0,425 daN/m.

Diámetro de la cadena:

Eolovano:

$$a_e = \frac{a_1 + a_2}{2} = \frac{150 + 160}{2} = 155 \ m$$

Gravivano con viento:

$$a_{gV} = a_e = 155 \ m$$

- Peso del conductor:

$$P_{COND} = p_p \cdot a_{gV} = 0{,}425 \cdot 155 = 65{,}87 \ daN$$

- Viento sobre la cadena de aisladores:

$$F_{VCAD} = q \cdot \phi_{CAD} \cdot L_{cad} = 70 \cdot 0{,}255 \cdot 0{,}6 = 10{,}71 \ daN$$

- Viento sobre el conductor:

$$F_{VCOND} = q \cdot \phi_{COND} \cdot 10^{-3} \cdot a_e = 60 \cdot 14 \cdot 10^{-3} \cdot 155 = 130{,}2 \ daN$$

El ángulo de desviación de la cadena tiene un valor:

$$\beta = arc.tag\left(\frac{\frac{10{,}71}{2} + 130{,}2}{65{,}87 + \frac{10}{2} + 2}\right) = arc.tag(1{,}86) = 61{,}73^{\circ}$$

La zona de servidumbre de vuelo en el centro del vano, se situará a una distancia de la línea que une los puntos de sujeción de las cadenas de aisladores de los apoyos nº1 y nº 2, dada por la suma de la proyección horizontal de la cadena de aisladores y de la proyección horizontal de la flecha máxima, con sobrecarga de viento a la temperatura de 15 °C.

- Proyección horizontal de la cadena de aisladores:

$$L_{cad} \cdot sen\beta = 0{,}6 \cdot sen(61{,}73) = 0{,}528 \ m$$

- Proyección horizontal de la flecha máxima con viento de 120 km/h:

$$\hat{\phi} = 63{,}16^{\circ}$$

$$\text{fmáxV} = 4{,}1 \text{ m}$$

$$f_{\max V} \cdot sen\,\hat{\phi} = 4{,}1 \cdot sen(63{,}16) = 3{,}658 \ m$$

La zona de servidumbre de vuelo en el centro del vano se situará a una distancia a una distancia de la línea que une los puntos de sujeción de las cadenas de aisladores de los apoyos nº 1 y nº 2, de 0,528 m + 3,658 m = 4,186 metros.

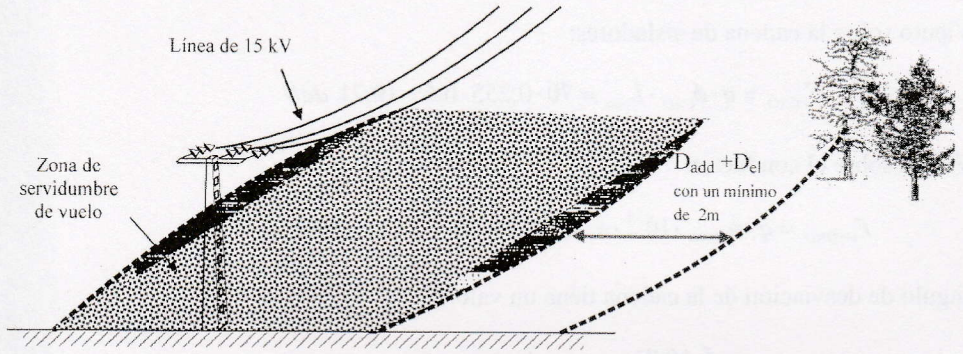
3.6.10.1. Bosques, árboles y masas de arbolado

Para evitar las interrupciones del servicio y los posibles incendios producidos por el contacto de ramas o troncos de árboles con los conductores de una línea eléctrica aérea, deberá establecerse, mediante la indemnización correspondiente, una zona de protección de la línea definida por la zona de servidumbre de vuelo, incrementada por la siguiente distancia de seguridad a ambos lados de dicha proyección:

$$D_{add} + D_{el} = 1{,}5 + D_{el} \text{ (en metros)}$$

con un mínimo de 2 metros.

Para la línea de 15 kV, la distancia será de 1,5 + 0,16 = 1,66 m, con un mínimo de 2 metros.



3.6.10.2. Edificios, construcciones y zonas urbanas

Se evitará el tendido de líneas eléctricas aéreas de alta tensión con conductores desnudos en terrenos que estén clasificados como suelo urbano, cuando pertenezcan al territorio de municipios que tengan plan de ordenación o como casco de población en municipios que carezcan de dicho plan. No obstante, a petición del titular de la instalación y cuando las circunstancias técnicas o económicas lo aconsejen, el órgano competente de la Administración podrá autorizar el tendido aéreo de dichas líneas en las zonas antes indicadas.

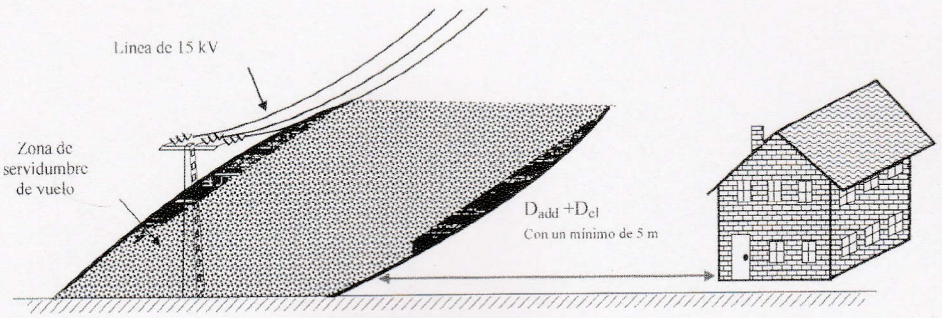
Se podrá autorizar el tendido aéreo de líneas eléctricas de alta tensión con conductores desnudos en las zonas de reserva urbana con plan general de ordenación legalmente aprobado, y en zonas y polígonos industriales con plan parcial de ordenación aprobado, así como en los terrenos del suelo urbano no comprendidos dentro del casco de la población en municipios que carezcan de plan de ordenación.

Conforme a lo establecido en el Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, no se construirán edificios e instalaciones industriales en la servidumbre de vuelo, incrementada por la siguiente distancia mínima de seguridad a ambos lados:

$$D_{add} + D_{el} = 3{,}3 + D_{el} \text{ (en metros)},$$

con un mínimo de 5 metros.

Para la línea de 15 kV, la distancia será de 3,3 + 0,16 = 3,46 m, con un mínimo de 5 metros.



Análogamente, no se construirán líneas por encima de edificios e instalaciones industriales en la franja definida anteriormente.

No obstante, en los casos de mutuo acuerdo entre las partes, las distancias mínimas que deberán existir en las condiciones más desfavorables, entre los conductores de la línea eléctrica y los edificios o construcciones que se encuentren bajo ella, serán las siguientes:

- Sobre puntos accesibles a las personas: 5,5 + D_{el} (m), con un mínimo de 6 m.
- Sobre puntos no accesibles a las personas: 3,3 + D_{el} (m), con un mínimo de 4 m.

3.6.10.3. Proximidad a aeropuertos

Las líneas eléctricas aéreas de AT con conductores desnudos que hayan de construirse en la proximidad de los aeropuertos, aeródromos, helipuertos e instalaciones de ayuda a la navegación aérea, deberán ajustarse a lo especificado en la legislación y disposiciones vigentes en la materia que correspondan.

3.6.10.4. Proximidad a parques eólicos

Por motivos de seguridad de las líneas eléctricas aéreas de conductores desnudos, no se permite la instalación de nuevos aerogeneradores en la franja de terreno definida por la zona de servidumbre de vuelo incrementada en la altura total del aerogenerador, incluida la pala, más 10 m.

3.6.10.5. Proximidades a obras

Cuando se realicen obras próximas a líneas aéreas y con objeto de garantizar la protección de los trabajadores frente a los riesgos eléctricos según la reglamentación aplicable de prevención de riesgos laborales, el promotor de la obra se encargará de que se realice la señalización mediante el balizamiento de la línea aérea. El balizamiento utilizará elementos normalizados y podrá ser temporal.

3.9.1. Comprobación de las dimensiones de los apoyos a utilizar

Antes de proceder al cálculo mecánico de los apoyos, es necesario comprobar que los apoyos y armados propuestos en el enunciado satisfacen las distancias de seguridad reglamentarias, tanto internas como externas, así como seleccionar la altura libre de los apoyos a utilizar. En este ejemplo se considerará que la línea no tiene ningún vano de longitud superior a 240 m.

3.9.1.1. Distancia entre conductores

La separación mínima entre los conductores de fase de un mismo circuito se calcula aplicando la fórmula siguiente para tres condiciones distintas: viento, hielo y temperatura elevada. La distancia obtenida para la condición de viento servirá para comprobar la separación horizontal entre conductores, mientras que la distancia máxima de las condiciones de hielo y temperatura servirá para calcular la separación vertical.

$$D = K \cdot \sqrt{F + L_{cad}} + K' \cdot D_{pp}$$

donde:

K = coeficiente que depende de la oscilación de los conductores con el viento.

K' = coeficiente que depende de la tensión nominal de la línea, $K' = 0{,}75$ líneas que no son de categoría especial.

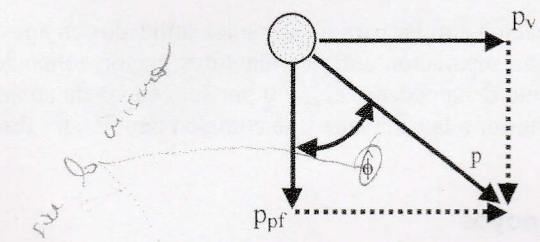
F = flecha máxima en metros, para el vano de mayor longitud.

L_{cad} = longitud en metros de la cadena de suspensión, $L_{cad} = 1{,}05$ m.

D_{pp} = distancia mínima aérea especificada para prevenir una descarga disruptiva entre conductores de fase durante sobretensiones de frente lento o rápido. Los valores de D_{pp} se indican en el Apartado 5.2 de la ITC-LAT 07, en función de la tensión más elevada de la línea. Para una línea de 66 kV, $D_{pp} = 0{,}8$ m.

D = separación entre conductores de fase del mismo circuito o circuitos distintos en metros.

a) Distancia con viento



$$p_{pf} = 0{,}957 \ \ daN/m$$

$$p_V = q \cdot \phi_f \cdot 10^{-3} = 50 \cdot 21{,}8 \cdot 10^{-3} = 1{,}09 daN/m$$

$$tg\hat{\phi} = \frac{p_V}{p_{pf}} = \frac{1{,}09}{0{,}957} = 1{,}139$$

$$\hat{\phi} = 48{,}71^\circ,$$

de la Tabla 16 del Apartado 5.4.1 de la ITC-LAT 07 se obtiene un valor de $K = 0{,}65$ ya que la tensión de la línea es superior a 30 kV.

La flecha máxima a considerar para la distancia entre conductores es la correspondiente a la hipótesis de viento, que para el vano de 240 m tiene un valor de:

$$F_{máx.viento} = 8{,}67 \ m$$

Para este caso la distancia horizontal mínima entre conductores será:

$$D_{viento.vano240} = 0{,}65 \cdot \sqrt{8{,}67 + 1{,}05} + 0{,}75 \cdot 0{,}8 = 2{,}636 \ m$$

La distancia entre conductores en posición vertical se obtendrá considerando la flecha máxima de entre las condiciones de hielo y temperatura elevada, sin desviación del conductor por viento, es decir, $\hat{\phi} = 0$, y por tanto, según la Tabla 16 del Apartado 5.4.1 de la ITC –LAT 07, $K = 0{,}6$.

b) Distancia con hielo

$$D_{hielo.vano240} = 0{,}6 \cdot \sqrt{8{,}87 + 1{,}05} + 0{,}75 \cdot 0{,}8 = 2{,}489 \ m$$

c) Distancia con temperatura elevada

$$D_{temperatura.vano240} = 0{,}6 \cdot \sqrt{9{,}21 + 1{,}05} + 0{,}75 \cdot 0{,}8 = 2{,}522 \ m$$

El armado del tipo T-2/1,3 mantiene una distancia entre conductores en disposición horizontal y vertical mayor de 2,636 y 2,522 m respectivamente, y por lo tanto satisface las condiciones reglamentarias.

Se podría hacer una comprobación similar para los armados utilizados en apoyos con cadenas de amarre que tienen una separación entre conductores mayor, tomando en la fórmula de la distancia, la longitud de la cadena, $L_{cad} = 0$ por ser cadena de amarre, con lo que resulta una distancia D inferior a la calculada y se cumplen también las distancias reglamentarias.

3.9.1.2. Altura libre de los apoyos

Para asegurar que en todo el trazado de la línea se cumplen las distancias mínimas al terreno, se debe de comprobar la altura de los apoyos mediante la utilización de las curvas de la catenaria para flecha máxima junto con el perfil del terreno. En este ejemplo se considerará que el perfil del terreno es llano, de modo que la altura libre de los apoyos se obtendrá sumando la longitud de la cadena de aisladores de suspensión,[4] la flecha máxima y la altura mínima de los conductores al suelo, añadiendo un metro más de seguridad. Este margen de seguridad tiene en cuenta las imprecisiones de cálculo y la deformación plástica de los conductores a lo largo de la vida útil de la línea.

$$L_{cad} = 1{,}05\ m$$

$$f_{máx.temperatura} = 9{,}21\ m$$

$$D_{conductor-terreno} = 5{,}3 + D_{el} = 5{,}3 + 0{,}7 = 6\ m$$

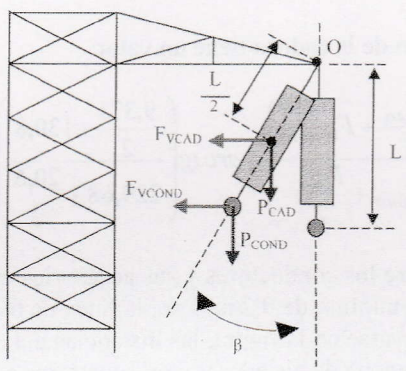
el valor de D_{el} se indica en el Apartado 5.2 de la ITC-LAT 07, en función de la tensión más elevada de la línea.

$$H_{libre} = L_{cad} + f_{máx.temperatura} + D_{conductor-terreno} + 1 = 1{,}05 + 9{,}21 + 6 + 1 = 18{,}26\ m$$

Entre la serie de apoyos tipo O se seleccionará una altura libre mayor o igual de 19,55 m, y para los apoyos tipo H, de 19,05 m.

3.9.1.3. Distancia entre los conductores de fase y las partes puestas a tierra

Se calcula la desviación de la cadena de aisladores en un apoyo de alineación entre dos vanos a nivel de 240 m.



Eolovano: $a_e = \dfrac{a_1 + a_2}{2} = \dfrac{240 + 240}{2} = 240\ m$

Tracción a –15 °C + viento mitad:

$$T_{V/2} = 1018\ daN$$

Gravivano con viento mitad: al ser vanos a nivel, coincidirán con el eolovano.

$$a_{gV/2} = \frac{a_1 + a_2}{2} + \frac{T_{V/2}}{p_{f/2}} \cdot \left(\frac{d_1}{a_1} - \frac{d_2}{a_2} \right) = \frac{240 + 240}{2} + \frac{1018}{1{,}101} \cdot \left(\frac{0}{240} - \frac{0}{240} \right) = 240\ m$$

$$p_{f/2} = \sqrt{p_{pf}^2 + \left(\frac{q}{2} \cdot \phi \cdot 10^{-3} \right)^2} = \sqrt{0{,}957^2 + \left(\frac{50}{2} \cdot 21{,}8 \cdot 10^{-3} \right)^2} = 1{,}101\ daN/m$$

siendo $p_{f/2}$, el peso del conductor de fase con una sobrecarga debida a una presión de viento mitad a la correspondiente a 120 km/h.

- Peso del conductor:

$$P_{COND} = p_{pf} \cdot a_{gV/2} = 0{,}957 \cdot 240 = 229{,}68 \ daN$$

- Peso de la cadena de aisladores:

$$P_{CAD} = 20{,}6 \ daN$$

- Viento sobre la cadena de aisladores:

$$F_{VCAD} = q_{V/2} \cdot \phi_{CAD} \cdot L_{cad} = \frac{70}{2} \cdot 0{,}255 \cdot 1{,}05 = 9{,}371 \ daN$$

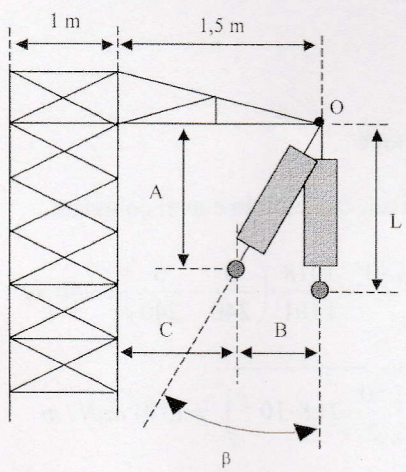
- Viento sobre el conductor:

$$F_{VCOND} = q_{V/2} \cdot \phi \cdot 10^{-3} \cdot a_e = \frac{50}{2} \cdot 21{,}8 \cdot 10^{-3} \cdot 240 = 130{,}8 \ daN$$

El ángulo de desviación de la cadena tiene un valor:

$$\beta = arc.tg\left(\frac{\frac{F_{VCAD}}{2} + F_{VCOND}}{P_{COND} + \frac{P_{CAD}}{2}}\right) = arc.tg\left(\frac{\frac{9{,}371}{2} + 130{,}8}{229{,}68 + \frac{20{,}6}{2}}\right) = 29{,}4\,^{\circ}$$

La separación mínima entre los conductores y sus accesorios en tensión y los apoyos no será inferior a D_{el}, con un mínimo de 0,2 m. Para la línea de 66 kV, el valor de D_{el} es de 0,7 m. Según puede observarse en la figura, las distancias del conductor al apoyo, en el caso de desviación de la cadena de aisladores, son superiores a 0,7 m; por lo tanto, se cumplen las distancias reglamentarias.



$$A = L_{cad} \cdot \cos\beta = 0{,}915 \ m$$

$$B = L_{cad} \cdot sen\beta = 0{,}515 \ m$$

$$C = 1{,}5 \ m - B = 0{,}985 \ m$$

$$A \ y \ C > 0{,}7 \ m$$

3.9.2. Cálculo mecánico de apoyos

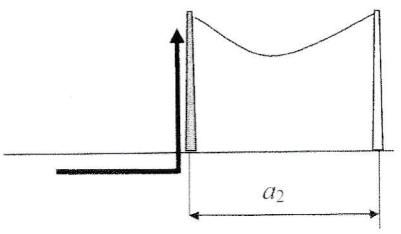
Se pretende ilustrar el cálculo mecánico de los distintos tipos de apoyos definidos en el RLAT, para lo cual se especifican en la tabla siguiente los datos de las longitudes de vanos, desniveles, ángulo de desviación de la traza y vanos de regulación, necesarios para el cálculo de algunos de los apoyos de la línea. En un proyecto real, para realizar de forma individualizada el cálculo de todos los apoyos, se utilizan habitualmente herramientas informáticas.

Datos de vanos y desniveles para los apoyos en cálculo:

Tipo de apoyo	Vano anterior		Angulo de la traza	Vano posterior		Vano de regulación para el cantón o cantones anterior y posterior	
	a_1 (m)	d_1 (m)	α (°)	a_2 (m)	d_2 (m)	a_{r1} (m)	a_{r2} (m)
Principio o fin de línea	0	0	–	240	0	–	240
Amarre en alineación	240	0	–	220	25	240	220
Suspensión en alineación	210	15	–	220	25	220	
Amarre en ángulo	240	20	45	220	–5	240	220
Anclaje en alineación	240	0	–	220	25	240	220
Anclaje en ángulo	240	20	45	220	–25	240	220
Suspensión en ángulo	240	20	5	220	–25	240	

Con objeto de comparar los esfuerzos reglamentarios a los que van a estar sometidos los apoyos con los especificados por el fabricante, se calcularán los esfuerzos verticales, transversales y longitudinales aplicados en los puntos de sujeción de los conductores.

APOYO DE PRINCIPIO DE LÍNEA



$a_2 = 240$ m.

Tracciones para el conductor de fase en el vano de regulación de 240 m

- Tracción a –20 °C + hielo: $T_{Hf} = 2250$ daN.
- Tracción a –15 °C + viento: $T_{Vf} = 1309$ daN.

Tracciones para el conductor de tierra en el vano de regulación de 240 m

- Tracción a –20 °C + hielo: T_{Ht} =1495,5 daN.
- Tracción a –15 °C + viento: T_{Vt}= 813,5 daN.

Por tratarse de un apoyo cuyo único vano a la derecha es un vano a nivel, el eolovano y el gravivano sobre el apoyo, para los conductores de fase y de tierra coinciden, siendo su valor:

$$a_{gV} = a_{gH} = a_e = \frac{a_2}{2} = \frac{240}{2} = 120 \ m$$

donde, a_{gV} es el gravivano con viento, a_{gH} el gravivano con hielo y a_e es el eolovano.

1ª hipótesis: viento de 120 km/h, a –15 °C

a) Cargas verticales

- Peso de conductores:

$$P_{COND.FASE} = n_f \cdot p_{pf} \cdot a_{gV} = 1 \cdot 0{,}957 \cdot 120 = 114{,}84 \ daN$$

$$P_{COND.TIERRA} = n_t \cdot p_{pt} \cdot a_{gV} = 1 \cdot 0{,}391 \cdot 120 = 46{,}92 \ daN$$

- Peso de cadena de aisladores, incluidos los herrajes:

$$P_{CAD} = 27 \cdot 0{,}981 = 26{,}48 \ daN$$

Total cargas verticales:

- Carga vertical por fase:

$$F_{Vf} = P_{COND.FASE} + P_{CAD} = 114{,}84 + 26{,}48 = 141{,}32 \ daN$$

- Carga vertical debida al conductor de tierra:

$$F_{Vt} = P_{COND.TIERRA} = 46{,}92 \ daN$$

b) Cargas transversales por viento sobre los conductores (Aptdo. 3.1.2. ITC-LAT 07)

Esfuerzo transversal debido al viento sobre el conductor de fase:

$$F_{Tf} = q \cdot \phi_f \cdot 10^{-3} \cdot a_e = 50 \cdot \left(\frac{120}{120}\right)^2 \cdot 21{,}8 \cdot 10^{-3} \cdot 120 = 130{,}8 \ daN$$

Esfuerzo transversal debido al viento sobre el conductor de tierra:

$$F_{Tt} = q \cdot \phi_t \cdot 10^{-3} \cdot a_e = 60 \cdot \left(\frac{120}{120}\right)^2 \cdot 9 \cdot 10^{-3} \cdot 120 = 64{,}8 \ daN$$

c) Cargas longitudinales por desequilibrio de tracciones (Aptdo. 3.1.4.4. ITC-LAT 07)

En los apoyos fin de línea se considera el 100% de las tracciones unilaterales de todos los conductores.

Esfuerzo longitudinal debido a la tracción del conductor de fase:

$$F_{Lf} = T_{Vf} = 1309 \ daN$$

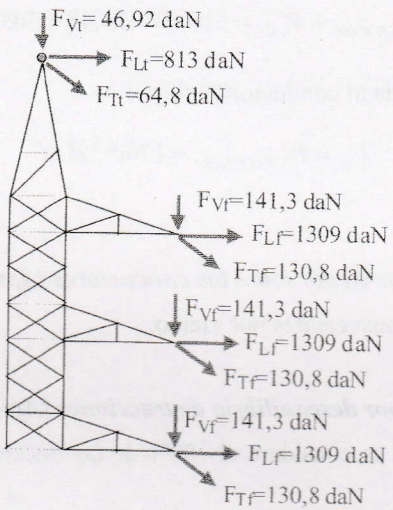
siendo T_{Vf}, la tracción del conductor de fase en el primer cantón a –15 °C con viento de 120 km/h.

Esfuerzo longitudinal debido a la tracción del conductor de tierra:

$$F_{Lt} = T_{Vt} = 813 \ daN$$

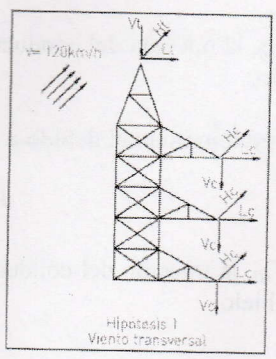
siendo T_{Vt}, la tracción del conductor de tierra en el primer cantón a –15 °C con viento de 120 km/h.

Los esfuerzos, para esta hipótesis, sobre el apoyo son:



El apoyo seleccionado para cumplir con esta hipótesis es H-8800-22,65-B-2,4/3,0-T, cuyos esfuerzos soportados se indican a continuación:

Tipo de esfuerzo	(daN)	Cumplimiento
H_C	200	$H_C > F_{Tf}$
H_t	150	$H_t > F_{Tt}$
L_C	2100	$L_C > F_{Lf}$
L_t	1160	$L_t > F_{Lt}$
V_C	250	$V_C > F_{Vf}$
V_t	150	$V_t > F_{Vt}$



2ª hipótesis: hielo en zona C, a –20 °C

a) Cargas verticales

- Peso de conductores:

$$P_{COND.FASE} = n_f \cdot \left(p_{pf} + p_{hf}\right) \cdot a_{gH} = n_f \cdot \left(p_{pf} + 0{,}36 \cdot \sqrt{\phi_f}\right) \cdot a_{gH}$$

$$P_{COND.FASE} = 1 \cdot \left(0{,}957 + 0{,}36 \cdot \sqrt{21{,}8}\right) \cdot 120 = 316{,}54 \ daN$$

$$P_{COND.TIERRA} = n_t \cdot \left(p_{pt} + p_{ht}\right) \cdot a_{gH} = n_t \cdot \left(p_{pt} + 0{,}36 \cdot \sqrt{\phi_t}\right) \cdot a_{gH}$$

$$P_{COND.TIERRA} = 1 \cdot \left(0{,}391 + 0{,}36 \cdot \sqrt{9}\right) \cdot 120 = 176{,}52 \ daN$$

- Peso de cadena de aisladores, incluidos los herrajes:

$$P_{CAD} = 27 \cdot 0{,}981 = 26{,}48 \ \ daN$$

Total cargas verticales:

- Carga vertical por fase:

$$F_{Vf} = P_{COND.FASE} + P_{CAD} = 316{,}54 + 26{,}48 = 343{,}02 \ daN$$

- Carga vertical debida al conductor de tierra:

$$F_{Vt} = P_{COND.TIERRA} = 176{,}52 \ daN$$

b) Cargas transversales por viento sobre los conductores (Aptdo. 3.1.2. ITC-LAT 07)

No se consideran cargas transversales por viento.

c) Cargas longitudinales por desequilibrio de tracciones (Aptdo. 3.1.4.4. ITC-LAT 07)

En los apoyos fin de línea se considera el 100% de las tracciones unilaterales de todos los conductores.

Esfuerzo longitudinal debido a la tracción del conductor de fase:

$$F_{Lf} = T_{Hf} = 2250 \ \ daN$$

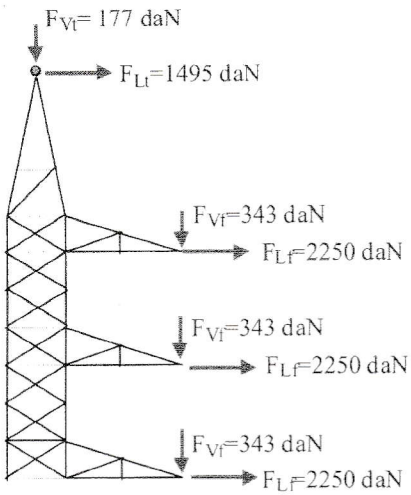
siendo, T_{Hf}, la tracción del conductor de fase en el primer cantón a –20 °C con sobrecarga de hielo.

Esfuerzo longitudinal debido a la tracción del conductor de tierra:

$$F_{Lt} = T_{Ht} = 1495 \ \ daN$$

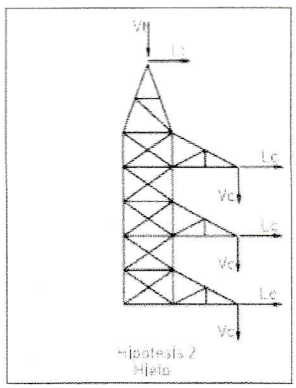
siendo, T_{Ht}, la tracción del conductor de tierra en el primer cantón a –20 °C con sobrecarga de hielo.

Los esfuerzos, para esta hipótesis, sobre el apoyo son:



El apoyo seleccionado para la 1ª hipótesis, H-8800-22,65-B-2,4/3,0-T, cumple también los esfuerzos calculados en la 2ª hipótesis ya que:

Tipo de esfuerzo	(daN)	Cumplimiento
L_C	2270	$L_C > F_{Lf}$
L_t	1500	$L_t > F_{Lt}$
V_C	500	$V_C > F_{Vf}$
V_t	1000	$V_t > F_{Vt}$



3ª hipótesis: desequilibrio de tracciones

Esta hipótesis no se aplica al ser un apoyo de fin de línea.

4ª hipótesis: rotura de conductores con hielo en la zona C, a –20 ºC

a) Cargas verticales

Idénticas a las calculadas en la 2ª hipótesis para los conductores que no se rompen.

- Carga vertical por fase: $F_{Vf} = 343{,}02\ daN$
- Carga vertical debida al conductor de tierra: $F_{Vt} = 176{,}52\ daN$

Para los conductores rotos:

$$P_{COND.FASE.r} = 0\ daN$$

$$P_{COND.TIERRA.r} = 0\ daN$$

Nótese que se desprecia el peso de conductor roto que colgaría desde la cadena de aisladores hasta el suelo.

- Carga vertical por fase del cable roto:

$$F_{Vfr} = P_{COND.FASE.r} + P_{CAD} = 0 + 26{,}48 = 26{,}48\ daN$$

- Carga vertical debida al conductor de tierra roto:

$$F_{Vtr} = P_{COND.TIERRA.r} = 0\ daN$$

b) Cargas transversales por viento sobre los conductores (Aptdo. 3.1.2. ITC-LAT 07)

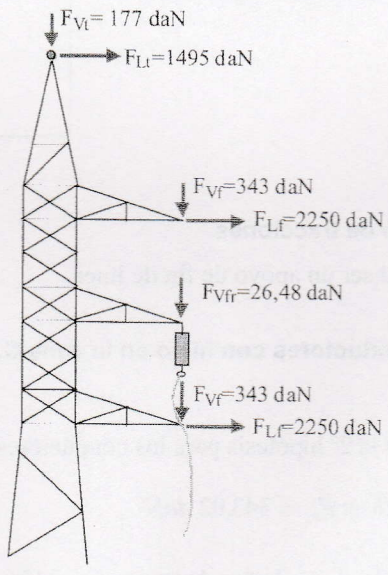
No se consideran cargas transversales por viento.

c) Cargas longitudinales por rotura de conductores (Aptdo. 3.1.5.4. ITC-LAT 07)

Se considera la rotura de un solo conductor de fase o conductor de tierra sin reducción alguna de su tracción.

c-1) Rotura del conductor de fase

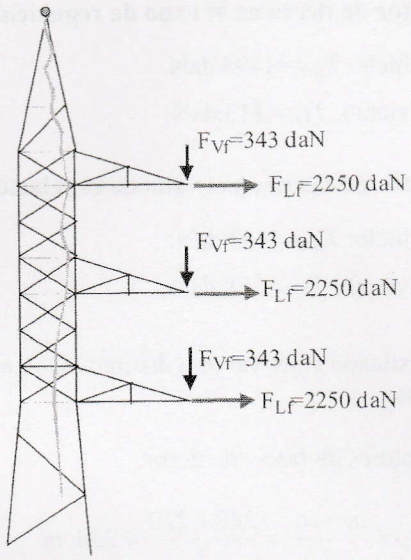
El apoyo se encuentra sometido a las cargas verticales calculadas y a las cargas longitudinales ya obtenidas en la 2ª hipótesis, según la figura siguiente:



Teniendo en cuenta que los esfuerzos del árbol de cargas obtenido en esta hipótesis son menores que los obtenidos en la hipótesis 2ª y puesto que en este apoyo no aparece momento de torsión alguno debido a la rotura del conductor, se puede concluir que el apoyo H-8800-22,65-B-2,4/3,0-T, es válido para cumplir con la 4ª hipótesis

c-2) Rotura del conductor de tierra

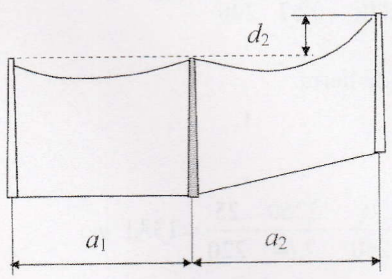
El apoyo se encuentra sometido a las cargas verticales calculadas y a las cargas longitudinales ya obtenidas en la 2ª hipótesis, según la figura siguiente:



Teniendo en cuenta que los esfuerzos del árbol de cargas obtenidos en esta hipótesis son menores que los obtenidos en la 2ª hipótesis y puesto que, en este apoyo no aparece momento de torsión alguno debido a la rotura del conductor, se puede concluir que el apoyo H-8800-22,65-B-2,4/3,0-T es válido para cumplir con la 4ª hipótesis

APOYO DE AMARRE EN ALINEACIÓN

Este apoyo delimita dos cantones, el de la izquierda con un vano de regulación de 240 metros y el de la derecha, de 220 m.



$a_1 = 240$ m.

$d_1 = 0$ m.

$a_2 = 220$ m.

$d_2 = 25$ m.

Tracciones para el conductor de fase en el vano de regulación de 240 m

- Tracción a –20 °C + hielo: T_{Hf1}=2250 daN.
- Tracción a –15 °C + viento: T_{Vf1}= 1309 daN.

Tracciones para el conductor de fase en el vano de regulación de 220 m

- Tracción a –20 °C + hielo: T_{Hf2}=2250 daN.
- Tracción a –15 °C + viento: T_{Vf2}= 1322 daN.

Tracciones para el conductor de tierra en el vano de regulación de 240 m

- Tracción a –20 °C + hielo: T_{Ht1} =1495 daN.
- Tracción a –15 °C + viento: T_{Vt1}= 813 daN.

Tracciones para el conductor de tierra en el vano de regulación de 220 m

- Tracción a –20 °C + hielo: T_{Ht2}=1493 daN.
- Tracción a –15 °C + viento: T_{Vt2}= 838 daN.

Por tratarse de un apoyo situado entre vanos a distinto nivel, el eolovano y gravivano no coinciden, siendo su valor:

Eolovano para los conductores de fase y de tierra:

$$a_e = \frac{a_1 + a_2}{2} = \frac{240 + 220}{2} = 230 \ m$$

Gravivano con viento para los conductores de fase:

$$a_{gVf} = \frac{a_1 + a_2}{2} + \left(\frac{T_{Vf1}}{p_{Vf}} \cdot \frac{d_1}{a_1} - \frac{T_{Vf2}}{p_{Vf}} \cdot \frac{d_2}{a_2} \right) = 230 + \frac{1309}{1{,}45} \cdot \frac{0}{240} - \frac{1322}{1{,}45} \cdot \frac{25}{220} = 126{,}4 \ m$$

siendo p_{Vf} el peso con sobrecarga de viento del conductor de fase.

Gravivano con viento para el conductor de tierra:

$$a_{gVt} = \frac{a_1 + a_2}{2} + \left(\frac{T_{Vt1}}{p_{Vt}} \cdot \frac{d_1}{a_1} - \frac{T_{Vt2}}{p_{Vt}} \cdot \frac{d_2}{a_2} \right) = 230 + \frac{813}{0{,}67} \cdot \frac{0}{240} - \frac{838}{0{,}67} \cdot \frac{25}{220} = 87{,}9 \ m$$

siendo p_{Vt} el peso con sobrecarga de viento del conductor de tierra.

Gravivano con hielo para los conductores de fase:

$$a_{gHf} = \frac{a_1 + a_2}{2} + \left(\frac{T_{Hf1}}{p_{Hf}} \cdot \frac{d_1}{a_1} - \frac{T_{Hf2}}{p_{Hf}} \cdot \frac{d_2}{a_2} \right) = 230 + \frac{2250}{2{,}64} \cdot \frac{0}{240} - \frac{2250}{2{,}64} \cdot \frac{25}{220} = 133{,}1 \ m$$

siendo p_{Hf}, el peso con sobrecarga de hielo del conductor de fase.

Gravivano con hielo para el conductor de tierra:

$$a_{gHt} = \frac{a_1 + a_2}{2} + \left(\frac{T_{Ht1}}{p_{Ht}} \cdot \frac{d_1}{a_1} - \frac{T_{Ht2}}{p_{Ht}} \cdot \frac{d_2}{a_2} \right) = 230 + \frac{1495}{1,47} \cdot \frac{0}{240} - \frac{1493}{1,47} \cdot \frac{25}{220} = 114,5 \ m$$

siendo p_{Ht} el peso con sobrecarga de hielo del conductor de tierra.

1ª hipótesis: viento de 120 km/h, a –15 ºC

a) Cargas verticales

- Peso de conductores:

$$P_{COND.FASE} = n_f \cdot p_{pf} \cdot a_{gVf} = 1 \cdot 0,957 \cdot 126,4 = 120,96 \ daN$$

$$P_{COND.TIERRA} = n_t \cdot p_{pt} \cdot a_{gVt} = 1 \cdot 0,391 \cdot 87,9 = 34,36 \ daN$$

- Peso de cadena de aisladores, incluidos los herrajes:

$$P_{CAD} = 27 \cdot 0,981 = 26,48 \ daN$$

Total de cargas verticales, teniendo en cuenta que al ser un apoyo de amarre cada cruceta soporta el peso de dos cadenas de aisladores:

- Carga vertical por fase:

$$F_{Vf} = P_{COND.FASE} + 2 \cdot P_{CAD} = 120,96 + 2 \cdot 26,48 = 173,9 \ daN$$

- Carga vertical debida al conductor de tierra:

$$F_{Vt} = P_{COND.TIERRA} = 34,4 daN$$

b) Cargas transversales por viento sobre los conductores (Aptdo. 3.1.2. ITC-LAT 07)

Esfuerzo transversal debido al viento sobre el conductor de fase:

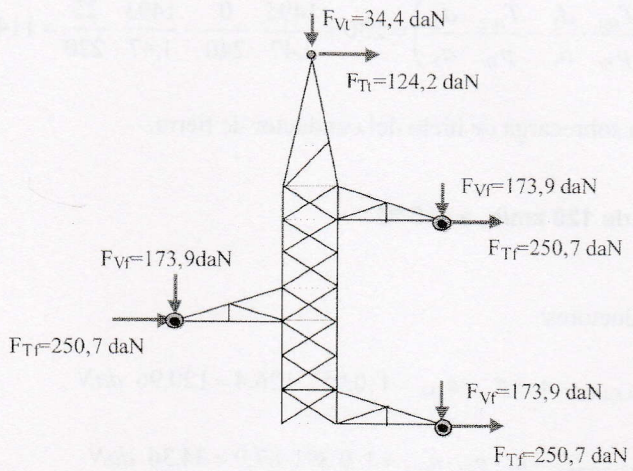
$$F_{Tf} = q \cdot \phi_f \cdot 10^{-3} \cdot a_e = 50 \cdot \left(\frac{120}{120} \right)^2 \cdot 21,8 \cdot 10^{-3} \cdot 230 = 250,7 \ daN$$

Esfuerzo transversal debido al viento sobre el conductor de tierra:

$$F_{Tt} = q \cdot \phi_t \cdot 10^{-3} \cdot a_e = 60 \cdot \left(\frac{120}{120} \right)^2 \cdot 9 \cdot 10^{-3} \cdot 230 = 124,2 \ daN$$

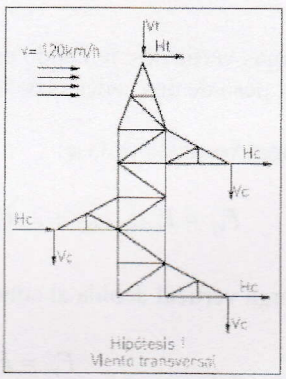
c) No se consideran cargas longitudinales en la hipótesis de viento

Los esfuerzos, para esta hipótesis, sobre el apoyo son:



El apoyo seleccionado para cumplir con esta hipótesis es el O-1600-19,55-T-2/1,3, cuyos esfuerzos soportados se indican a continuación:

Tipo de esfuerzo	(daN)	Cumplimiento
H_C	450	$H_C > F_{Tf}$
H_t	315	$H_t > F_{Tt}$
V_C	650	$V_C > F_{Vf}$
V_t	500	$V_t > F_{Vt}$



2ª hipótesis: hielo en zona C, a –20 °C

a) Cargas verticales

- Peso de conductores:

$$P_{COND.FASE} = n_f \cdot \left(p_{pf} + p_{hf}\right) \cdot a_{gHf} = n_f \cdot \left(p_{pf} + 0{,}36 \cdot \sqrt{\phi_f}\right) \cdot a_{gHf}$$

$$P_{COND.FASE} = 1 \cdot \left(0{,}957 + 0{,}36 \cdot \sqrt{21{,}8}\right) \cdot 133{,}1 = 351{,}1 \; daN$$

$$P_{COND.TIERRA} = n_t \cdot \left(p_{pt} + p_{ht}\right) \cdot a_{gHt} = n_t \cdot \left(p_{pt} + 0{,}36 \cdot \sqrt{\phi_t}\right) \cdot a_{gHt}$$

$$P_{COND.TIERRA} = 1 \cdot \left(0{,}391 + 0{,}36 \cdot \sqrt{9}\right) \cdot 114{,}5 = 168{,}4 \; daN$$

- Peso de cadena de aisladores, incluidos los herrajes:

$$P_{CAD} = 27 \cdot 0{,}981 = 26{,}48 \ daN$$

Total cargas verticales:

- Carga vertical por fase:

$$F_{Vf} = P_{COND.FASE} + 2 \cdot P_{CAD} = 351{,}1 + 2 \cdot 26{,}48 = 404{,}1 \ daN$$

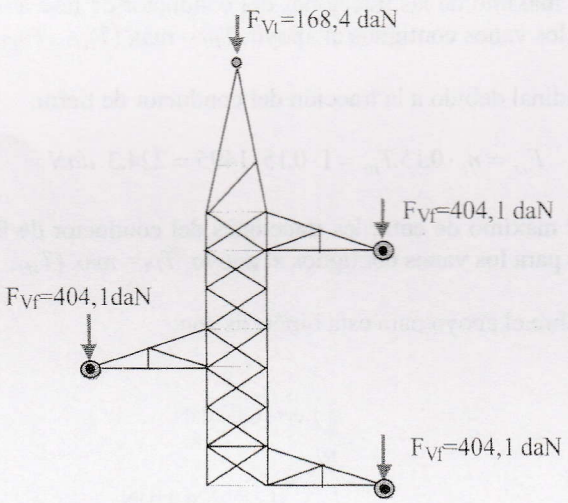
- Carga vertical debida al conductor de tierra:

$$F_{Vt} = P_{COND.TIERRA} = 168{,}4 \ daN$$

b) No se consideran cargas transversales en la hipótesis de hielo

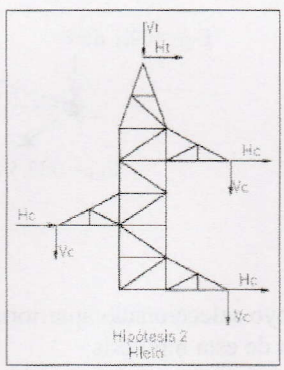
c) No se consideran cargas longitudinales en la hipótesis de hielo

Los esfuerzos sobre el apoyo, para esta hipótesis, son:



El apoyo seleccionado anteriormente, O-1600-19,55-T-2/1,3 cumple también con los esfuerzos de esta hipótesis.

Tipo de esfuerzo	(daN)	Cumplimiento
H_C	550	–
H_t	385	–
V_C	1300	$V_C > F_{Vf}$
V_t	1000	$V_t > F_{Vt}$



3ª hipótesis: desequilibrio de tracciones

a) Cargas verticales

Idénticas a las calculadas en la 2ª hipótesis.

- Carga vertical por fase: $F_{Vf} = 404{,}1\ daN$
- Carga vertical debida al conductor de tierra: $F_{Vt} = 168{,}4\ daN$

b) No se consideran cargas transversales en esta hipótesis

c) Cargas longitudinales por desequilibrio de tracciones (Aptdo. 3.1.4.2. ITC-LAT 07)

En los apoyos de alineación con cadenas de amarre, al ser la $U_n \leq 66$ kV, se considera el 15% de las tracciones unilaterales de todos los conductores.

Esfuerzo longitudinal debido a la tracción del conductor de fase:

$$F_{Lf} = n_f \cdot 0{,}15 \cdot T_{Hf} = 1 \cdot 0{,}15 \cdot 2250 = 337{,}5\ \ daN$$

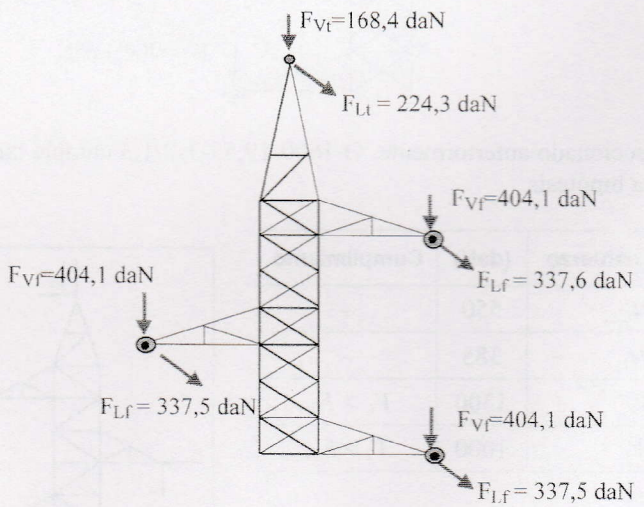
siendo T_{Hf}, el valor máximo de las tracciones del conductor de fase a –20 °C con sobrecarga de hielo para los vanos contiguos al apoyo, $T_{Hf} = \text{máx}\ (T_{Hf1}, T_{Hf2})$

Esfuerzo longitudinal debido a la tracción del conductor de tierra:

$$F_{Lt} = n_t \cdot 0{,}15 T_{Ht} = 1 \cdot 0{,}15 \cdot 1495 = 224{,}3\ \ daN$$

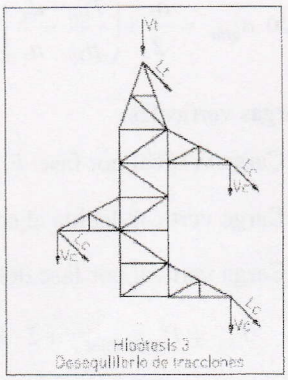
siendo T_{Hf}, el valor máximo de entre las tracciones del conductor de fase a –20 °C con sobrecarga de hielo para los vanos contiguos al apoyo, $T_{Ht} = \text{máx}\ (T_{Ht1}, T_{Ht2})$

Los esfuerzos sobre el apoyo para esta hipótesis son:



El apoyo seleccionado anteriormente, O-1600-19,55-T-2/1,3 cumple también con los esfuerzos de esta hipótesis.

Tipo de esfuerzo	(daN)	Cumplimiento
L_C	685	$L_C > F_{Lf}$
L_t	480	$L_t > F_{Lt}$
V_C	1300	$V_C > F_{Vf}$
V_t	1000	$V_t > F_{Vt}$



4ª hipótesis: rotura de conductores con hielo en la zona C, a –20 °C

El conductor de fase roto debe ser aquel que provoque el mayor esfuerzo de torsión sobre el apoyo, por lo que se romperá el conductor del vano cuya tracción a –20 °C, con sobrecarga de hielo, sea la menor. De esta forma el conductor del vano con mayor tracción es el que provoca el esfuerzo de torsión. Para los conductores de fase, como la tracción es la misma en los dos cantones, se podría romper el conductor de cualquiera de los dos vanos. En este caso se considera que se rompe el conductor en el vano de la derecha, ya que el gravivano resultante es mayor que si se rompe en el vano de la izquierda.

En este caso, el conductor de tierra roto, , debe ser aquel que provoque el mayor esfuerzo de flexión sobre el apoyo, por lo que se romperá el conductor del cantón cuya tracción a –20 °C, con sobrecarga de hielo, sea la menor. De esta forma, el conductor del cantón con mayor tracción es el que provoca el esfuerzo de flexión. En este ejemplo la tracción mayor para el conductor de tierra es, T_{Ht} = 1495 daN, por lo que se romperá el conductor de tierra en el vano de la derecha.

a) Cargas verticales

Para los conductores que no se rompen son idénticas a las calculadas en la 2ª hipótesis.

- Carga vertical por fase: $F_{Vf} = 404{,}1\ daN$
- Carga vertical debida al conductor de tierra: $F_{Vt} = 168{,}4\ daN$

La carga vertical para los conductores rotos será:

$$P_{COND.FASE.r} = n_f \cdot \left(p_{pf} + p_{hf}\right) \cdot a_{gHfr} = n_f \cdot \left(p_{pf} + 0{,}36 \cdot \sqrt{\phi_f}\right) \cdot a_{gHfr}$$

$$P_{COND.FASE.r} = 1 \cdot \left(0{,}957 + 0{,}36 \cdot \sqrt{21{,}8}\right) \cdot 120 = 316{,}54\ daN$$

Siendo: $a_{gHfr} = \dfrac{a_1}{2} + \left(\dfrac{T_{Hf1}}{p_{Hf}} \cdot \dfrac{d_1}{a_1}\right) = 120 + \dfrac{2250}{2{,}64} \cdot \dfrac{0}{240} = 120\ m$

$$P_{COND.TIERRA.r} = n_t \cdot \left(p_{pt} + p_{ht}\right) \cdot a_{gHtr} = n_t \cdot \left(p_{pt} + 0{,}36 \cdot \sqrt{\phi_t}\right) \cdot a_{gHtr}$$

$$P_{COND.TIERRA.r} = 1 \cdot \left(0{,}391 + 0{,}36 \cdot \sqrt{9}\right) \cdot 120 = 176{,}5\ daN$$

$$\text{Siendo } a_{gHtr} = \frac{a_1}{2} + \left(\frac{T_{Ht1}}{p_{Ht}} \cdot \frac{d_1}{a_1} \right) = 120 + \frac{1495}{1{,}47} \cdot \frac{0}{240} = 120 \ m$$

Total cargas verticales:

- Carga vertical por fase: $F_{Vf} = 404{,}1 \ daN$
- Carga vertical debida al conductor de tierra: $F_{Vt} = 168{,}4 \ daN$
- Carga vertical por fase del cable roto:

$$F_{Vfr} = P_{COND.FASE.r} + 2 \cdot P_{CAD} = 316{,}54 + 2 \cdot 26{,}48 = 369{,}5 \ daN$$

- Carga vertical debida al conductor de tierra roto:

$$F_{Vtr} = P_{COND.TIERRA.r} = 176{,}5 \ daN$$

b) Cargas transversales, por viento sobre los conductores (Aptdo. 3.1.2. ITC-LAT 07)

No se consideran cargas transversales por viento.

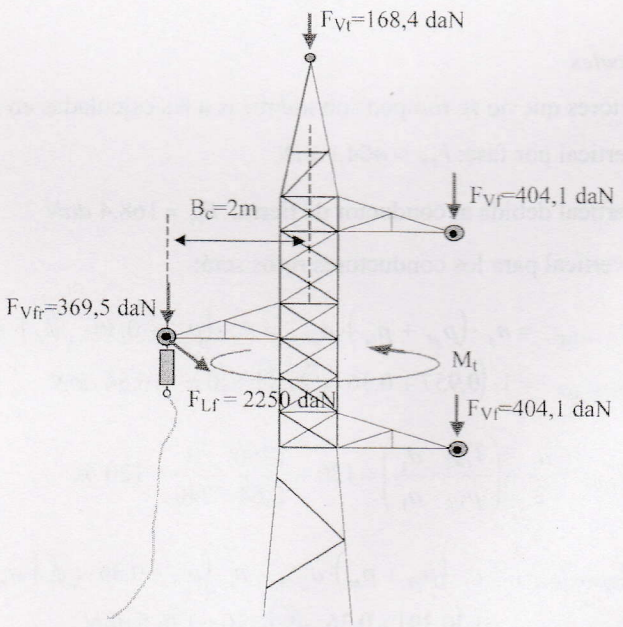
c) Cargas longitudinales por rotura de conductores (Aptdo. 3.1.5.2. ITC-LAT 07)

Se considera la rotura de un solo conductor de fase o conductor de tierra sin reducción alguna de su tracción.

c-1) Rotura del conductor de fase

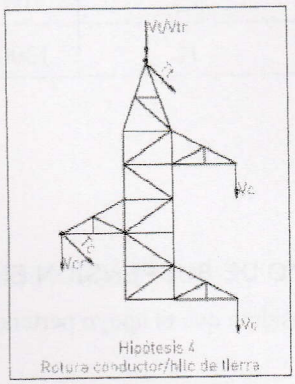
Según se muestra en la figura siguiente, el apoyo se encuentra sometido a unas cargas verticales y a un momento torsor, cuyo valor es:

$$M_t = F_{Lf} \cdot B_c = máx\left(T_{Hf1}, T_{Hf2}\right) \cdot B_c = 2250 \cdot 2 = 4500 \ daN.m$$



El apoyo seleccionado anteriormente no soporta los esfuerzos correspondientes a esta hipótesis y hay que seleccionar el O-6000-19,55-T-2/1,3, cuyos esfuerzos soportados se indican a continuación:

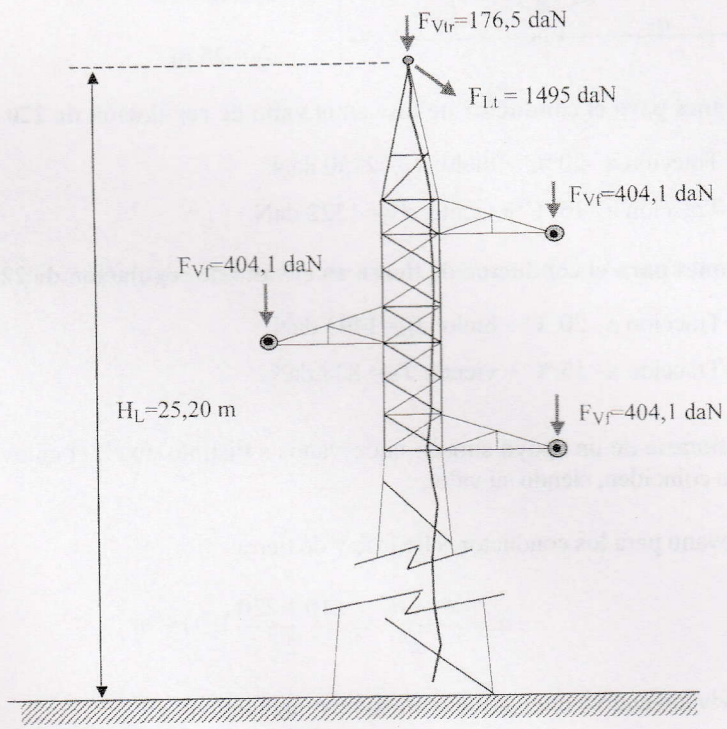
Tipo de esfuerzo	(daN)	Cumplimiento
T_c	2375	$T_C > F_{Lf}$
V_{cr}	700	$V_{cr} > F_{Vfr}$
V_c	1300	$V_C > F_{Vf}$
V_t	1000	$V_t > F_{Vt}$



c-2) Rotura del conductor de tierra

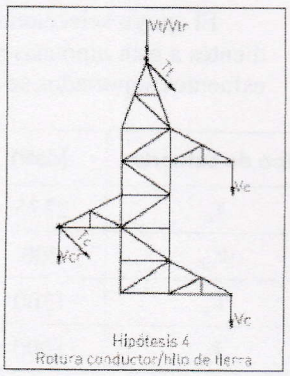
Según se muestra en la figura siguiente, el apoyo se encuentra sometido a unas cargas verticales y a un momento flector, cuyo valor es:

$$M_f = F_{Lt} \cdot H_L = máx(T_{Ht1}, T_{Ht2}) \cdot H_L = 1495 \cdot 25{,}20 = 37674\ daN \cdot m$$



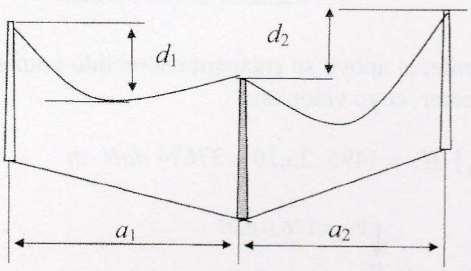
Se comprueba que el apoyo O-6000-19,55-T-2/1,3, elegido anteriormente cumple también con los esfuerzos resultantes de la rotura del conductor de tierra.

Tipo de esfuerzo	(daN)	Cumplimiento
T_t	2500	$T_t > F_{Lt}$
V_{tr}	700	$V_{tr} > F_{Vtr}$
V_c	1300	$V_C > F_{Vf}$



APOYO DE SUSPENSIÓN EN ALINEACIÓN

Se considera que el apoyo pertenece a un cantón, cuyo vano de regulación es de 220 m.



$a_1 = 210$ m.

$d_1 = -15$ m.

$a_2 = 220$ m.

$d_2 = 25$ m.

Tracciones para el conductor de fase en el vano de regulación de 220 m

- Tracción a –20 °C + hielo: T_{Hf}=2250 daN.
- Tracción a –15 °C + viento: T_{Vf}= 1322 daN.

Tracciones para el conductor de tierra en el vano de regulación de 220 m

- Tracción a –20 °C + hielo: T_{Ht}=1493 daN.
- Tracción a –15 °C + viento: T_{Vt}= 838 daN.

Por tratarse de un apoyo situado entre vanos a distinto nivel, el eolovano y el gravivano no coinciden, siendo su valor:

Eolovano para los conductores de fase y de tierra:

$$a_e = \frac{a_1 + a_2}{2} = \frac{210 + 220}{2} = 215 \ m$$

Gravivano con viento para los conductores de fase:

$$a_{gVf} = \frac{a_1 + a_2}{2} + \frac{T_{Vf}}{p_{Vf}} \cdot \left(\frac{d_1}{a_1} - \frac{d_2}{a_2} \right) = 215 + \frac{1322}{1{,}45} \cdot \left(\frac{-15}{210} - \frac{25}{220} \right) = 46{,}22 \ m$$

siendo p_{Vf} el peso con sobrecarga de viento del conductor de fase.

Gravivano con viento para el conductor de tierra:

$$a_{gVt} = \frac{a_1 + a_2}{2} + \frac{T_{Vt}}{p_{Vt}} \cdot \left(\frac{d_1}{a_1} - \frac{d_2}{a_2} \right) = 215 + \frac{838}{0{,}67} \cdot \left(\frac{-15}{210} - \frac{25}{220} \right) = -16{,}41 \ m$$

siendo p_{Vt} el peso con sobrecarga de viento del conductor de tierra.

Gravivano con hielo para los conductores de fase:

$$a_{gHf} = \frac{a_1 + a_2}{2} + \frac{T_{Hf}}{p_{Hf}} \cdot \left(\frac{d_1}{a_1} - \frac{d_2}{a_2} \right) = 230 + \frac{2250}{2{,}64} \cdot \left(\frac{-15}{210} - \frac{25}{220} \right) = 72{,}27 \ m$$

siendo p_{Hf}, el peso con sobrecarga de hielo del conductor de fase.

Gravivano con hielo para los conductores de tierra:

$$a_{gHt} = \frac{a_1 + a_2}{2} + \frac{T_{Ht}}{p_{Ht}} \cdot \left(\frac{d_1}{a_1} - \frac{d_2}{a_2} \right) = 230 + \frac{1493}{1{,}47} \cdot \left(\frac{-15}{210} - \frac{25}{220} \right) = 41{,}97 \ m$$

siendo p_{Hb} el peso con sobrecarga de hielo del conductor de tierra.

1ª hipótesis: viento de 120 km/h a –15 °C

a) Cargas verticales

- Peso de conductores:

$$P_{COND.FASE} = n_f \cdot p_{pf} \cdot a_{gVf} = 1 \cdot 0{,}957 \cdot 46{,}22 = 44{,}23 \ daN$$

$$P_{COND.TIERRA} = n_t \cdot p_{pt} \cdot a_{gVt} = 1 \cdot 0{,}391 \cdot (-16{,}41) = -6{,}41 \ daN$$

- Peso de cadena de aisladores, incluidos los herrajes:

$$P_{CAD} = 21 \cdot 0{,}981 = 20{,}6 \ daN$$

Total cargas verticales:

- Carga vertical por fase: $F_{Vf} = P_{COND.FASE} + P_{CAD} = 44{,}23 + 20{,}6 = 64{,}83 \ daN$
- Carga vertical debida al conductor de tierra: $F_{Vt} = P_{COND.TIERRA} = -6{,}41 \ daN$

Nótese que, aunque el tiro vertical en el conductor de tierra sea ascendente, este aspecto, al contrario de lo que sucedería con los conductores de fase, no plantea problema alguno de distancias al apoyo, ya que el conductor de tierra y el apoyo están unidos eléctricamente.

b) Cargas transversales por viento sobre los conductores (Aptdo. 3.1.2. ITC-LAT 07)

Esfuerzo transversal debido al viento sobre el conductor de fase:

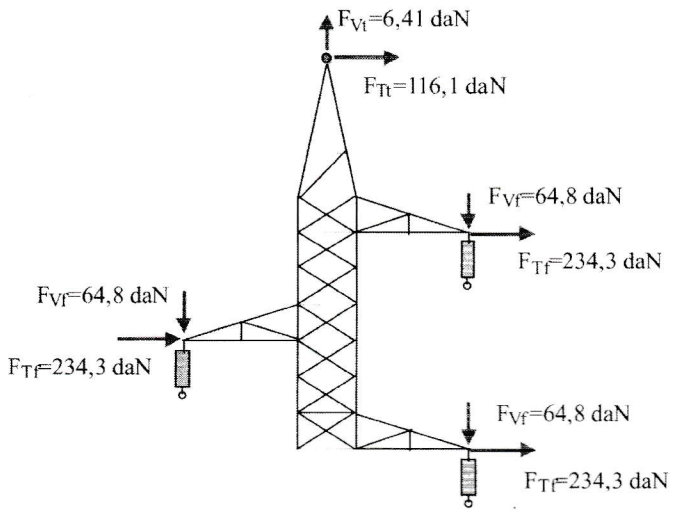
$$F_{Tf} = q \cdot \phi_f \cdot 10^{-3} \cdot a_e = 50 \cdot \left(\frac{120}{120}\right)^2 \cdot 21{,}8 \cdot 10^{-3} \cdot 215 = 234{,}3 \ daN$$

Esfuerzo transversal debido al viento sobre el conductor de tierra:

$$F_{Tt} = q \cdot \phi_t \cdot 10^{-3} \cdot a_e = 60 \cdot \left(\frac{120}{120}\right)^2 \cdot 9 \cdot 10^{-3} \cdot 215 = 116{,}1 \ daN$$

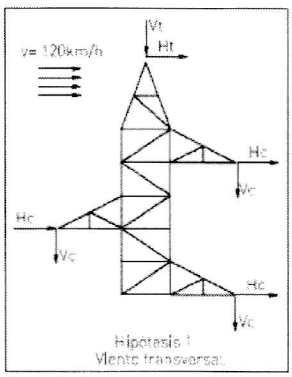
c) No se consideran cargas longitudinales en la hipótesis de viento

Los esfuerzos sobre el apoyo para esta hipótesis son:



El apoyo seleccionado para cumplir con esta hipótesis es el O-1600-19,55-T-2/1,3, cuyos esfuerzos soportados se indican a continuación:

Tipo de esfuerzo	(daN)	Cumplimiento
H_C	450	$H_C > F_{Tf}$
H_t	315	$H_t > F_{Tt}$
V_C	650	$V_C > F_{Vf}$
V_t	500	$V_t > F_{Vt}$



2ª hipótesis: hielo en la zona C, a –20 °C

a) Cargas verticales

- Peso de conductores:

$$P_{COND.FASE} = n_f \cdot \left(p_{pf} + p_{hf}\right) \cdot a_{gHf} = n_f \cdot \left(p_{pf} + 0{,}36 \cdot \sqrt{\phi_f}\right) \cdot a_{gHf}$$

$$P_{COND.FASE} = 1 \cdot \left(0{,}957 + 0{,}36 \cdot \sqrt{21{,}8}\right) \cdot 72{,}27 = 190{,}63 \; daN$$

$$P_{COND.TIERRA} = n_t \cdot \left(p_{pt} + p_{ht}\right) \cdot a_{gHt} = n_t \cdot \left(p_{pt} + 0{,}36 \cdot \sqrt{\phi_t}\right) \cdot a_{gHt}$$

$$P_{COND.TIERRA} = 1 \cdot \left(0{,}391 + 0{,}36 \cdot \sqrt{9}\right) \cdot 41{,}97 = 61{,}73 \; daN$$

- Peso de cadena de aisladores, incluidos los herrajes:

$$P_{CAD} = 21 \cdot 0{,}981 = 20{,}6 \; daN$$

Total cargas verticales:

- Carga vertical por fase:

$$F_{Vf} = P_{COND.FASE} + P_{CAD} = 190{,}63 + 20{,}68 = 211{,}31 \; daN$$

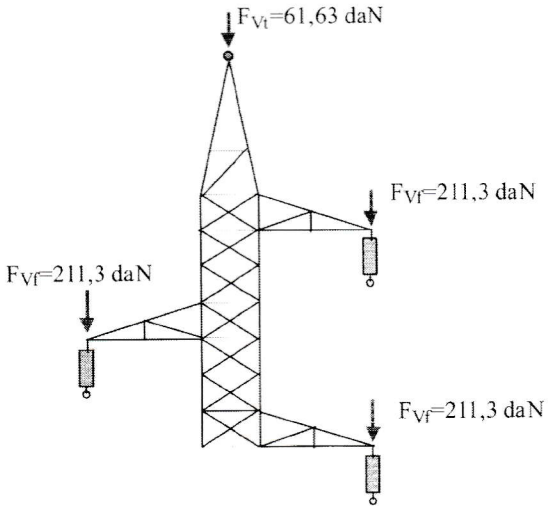
- Carga vertical debida al conductor de tierra:

$$F_{Vt} = P_{COND.TIERRA} = 61{,}63 \; daN$$

b) No se consideran cargas transversales en la hipótesis de hielo.

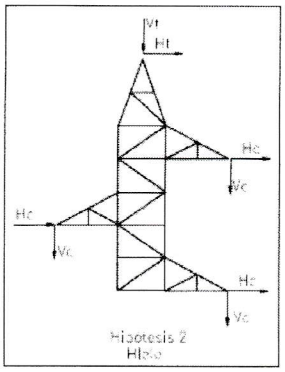
c) No se consideran cargas longitudinales en la hipótesis de hielo.

Los esfuerzos sobre el apoyo para esta hipótesis son:



El apoyo seleccionado anteriormente, O-1600-19,55-T-2/1,3 cumple también con los esfuerzos de esta hipótesis.

Tipo de esfuerzo	(daN)	Cumplimiento
H_C	550	–
H_t	385	–
V_C	1300	$V_C > F_{Vf}$
V_t	1000	$V_t > F_{Vt}$



3ª hipótesis: desequilibrio de tracciones

a) Cargas verticales

Idénticas a las calculadas en la 2ª hipótesis.

- Carga vertical por fase: $F_{Vf} = 211{,}31\ daN$
- Carga vertical debida al conductor de tierra: $F_{Vt} = 61{,}63\ daN$

b) No se consideran cargas transversales en esta hipótesis

c) Cargas longitudinales por desequilibrio de tracciones (Aptdo. 3.1.4.1. ITC-LAT 07)

En los apoyos de alineación con cadenas de suspensión, al ser una línea de $U_n \leq 66$ kV, se considera el 8% de las tracciones unilaterales de todos los conductores.

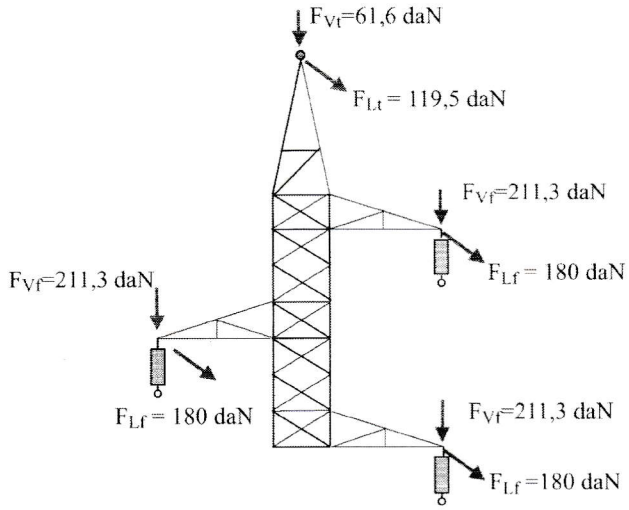
Esfuerzo longitudinal debido a la tracción del conductor de fase:

$$F_{Lf} = n_f \cdot 0{,}08 \cdot T_{Hf} = 1 \cdot 0{,}08 \cdot 2250 = 180\ daN$$

Esfuerzo longitudinal debido a la tracción del conductor de tierra:

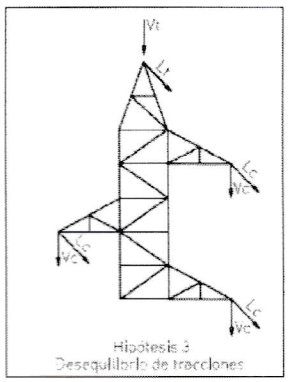
$$F_{Lt} = n_t \cdot 0{,}08 \cdot T_{Ht} = 1 \cdot 0{,}08 \cdot 1493 = 119{,}5\ daN$$

Los esfuerzos, para esta hipótesis, sobre el apoyo son:



El apoyo seleccionado anteriormente, O-1600-19,55-T-2/1,3 cumple también con los esfuerzos de esta hipótesis.

Tipo de esfuerzo	(daN)	Cumplimiento
L_C	685	$L_C > F_{Lf}$
L_t	480	$L_t > F_{Lt}$
V_C	1300	$V_C > F_{Vf}$
V_t	1000	$V_t > F_{Vt}$



4ª hipótesis: rotura de conductores con hielo en la zona C, a –20 °C

a) Cargas verticales (Aptdo. 3.1.1. ITC-LAT 07)

Para los conductores que no se rompen son idénticas a las calculadas en la 2ª hipótesis.

- Carga vertical por fase: $F_{Vf} = 211{,}31\ daN$
- Carga vertical debida al conductor de tierra: $F_{Vt} = 61{,}63\ daN$

Se considera que se rompe el conductor o el cable de tierra en el vano de la derecha, ya que el gravivano resultante es mayor que si se rompe en el vano de la izquierda.

Para los conductores rotos:

$$P_{COND.FASE.r} = n_f \cdot \left(p_{pf} + p_{hf}\right) \cdot a_{gHfr} = n_f \cdot \left(p_{pf} + 0{,}36 \cdot \sqrt{\phi_f}\right) \cdot a_{gHfr}$$
$$P_{COND.FASE.r} = 1 \cdot \left(0{,}957 + 0{,}36 \cdot \sqrt{21{,}8}\right) \cdot 44{,}12 = 116{,}4 \; daN$$

Siendo, $a_{gHfr} = \frac{a_1}{2} + \frac{T_{Hf}}{p_{Hf}} \cdot \frac{d_1}{a_1} = \frac{210}{2} + \frac{2250}{2{,}64} \cdot \left(\frac{-15}{210}\right) = 44{,}12 \; m$

$$P_{COND.TIERRA.r} = n_t \cdot \left(p_{pt} + p_{ht}\right) \cdot a_{gHtr} = n_t \cdot \left(p_{pt} + 0{,}36 \cdot \sqrt{\phi_t}\right) \cdot a_{gHtr}$$
$$P_{COND.TIERRA.r} = 1 \cdot \left(0{,}391 + 0{,}36 \cdot \sqrt{9}\right) \cdot 32{,}43 = 47{,}7 \; daN$$

Siendo, $a_{gHtr} = \frac{a_1}{2} + \frac{T_{Ht}}{p_{Ht}} \cdot \frac{d_1}{a_1} = \frac{210}{2} + \frac{1493}{1{,}47} \cdot \left(\frac{-15}{210}\right) = 32{,}43 \; m$

Total cargas verticales:

- Carga vertical por fase: $F_{Vf} = 211{,}31 \; daN$
- Carga vertical debida al conductor de tierra: $F_{Vt} = 61{,}63 \; daN$
- Carga vertical por fase del cable roto:

$$F_{Vfr} = P_{COND.FASE.r} + P_{CAD} = 116{,}4 + 20{,}68 = 137{,}1 \; daN$$

- Carga vertical debida al conductor de tierra roto:

$$F_{Vtr} = P_{COND.TIERRA.r} = 47{,}7 \; daN$$

b) Cargas transversales, por viento sobre los conductores (Aptdo. 3.1.2. ITC-LAT 07)

No se consideran cargas transversales por viento.

c) Cargas longitudinales por rotura de conductores (Aptdo. 3.1.5.2. ITC-LAT 07)

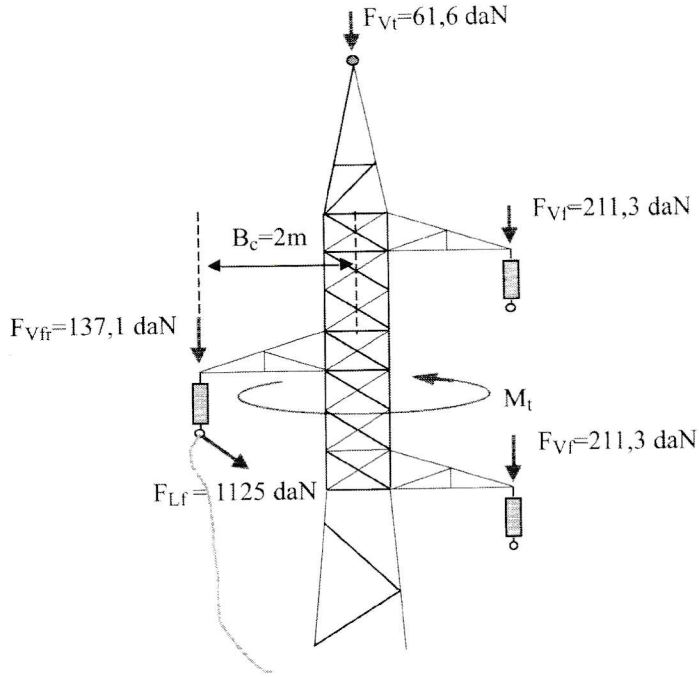
Se considera la rotura de un solo conductor de fase o conductor de tierra.

c-1) Rotura del conductor de fase

Se considera la rotura de un solo conductor de fase, con una reducción del 50% de la tracción del conductor roto por ser una línea simplex, debido al desvío de la cadena de aisladores cuando se produce la rotura del conductor.

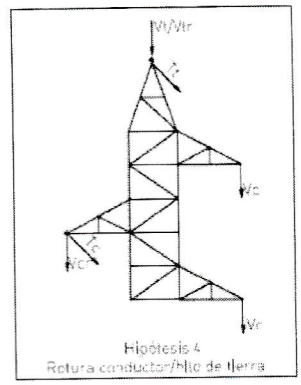
Según se muestra en la figura siguiente, el apoyo se encuentra sometido a unas cargas verticales y a un momento torsor, cuyo valor es:

$$M_t = 0{,}5 \cdot F_{Lf} \cdot B_c = 0{,}5 \cdot T_{Hf} \cdot B_c = 0{,}5 \cdot 2250 \cdot 2 = 2250 \; daN \cdot m$$



El apoyo seleccionado anteriormente, O-1600-19,55-T-2/1,3 cumple también con los esfuerzos de esta hipótesis.

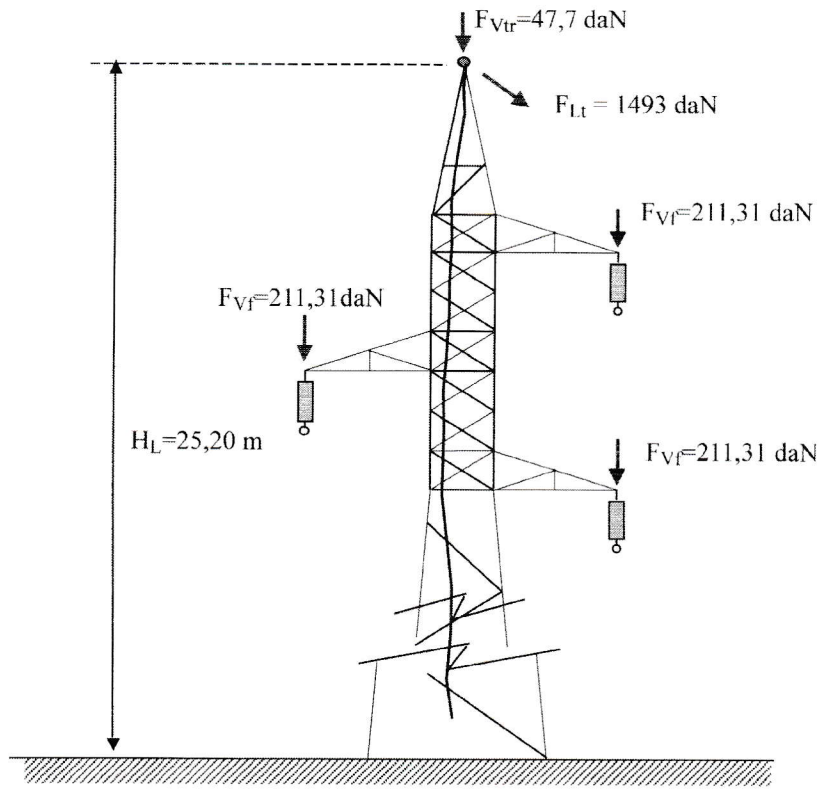
Tipo de esfuerzo	(daN)	Cumplimiento
T_c	2000	$T_C > F_{Lf}$
V_{cr}	700	$V_{cr} > F_{Vfr}$
V_c	1300	$V_C > F_{Vf}$
V_t	1000	$V_t > F_{Vt}$



c-2) Rotura del conductor de tierra

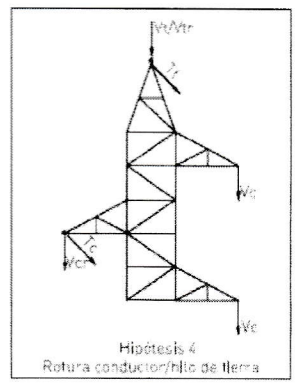
Se considera la rotura del conductor de tierra sin reducción alguna de su tracción. Según se muestra en la figura siguiente, el apoyo se encuentra sometido a unas cargas verticales y a un momento flector, cuyo valor es:

$$M_f = F_{Lt} \cdot H_L = T_{Hr} \cdot H_L = 1493 \cdot 25{,}20 = 37624\ daN \cdot m$$



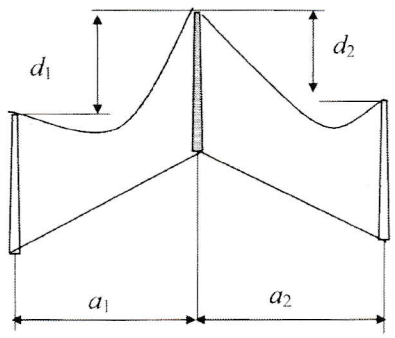
El apoyo seleccionado anteriormente, O-1600-19,55-T-2/1,3 cumple también con los esfuerzos de esta hipótesis.

Tipo de esfuerzo	(daN)	Cumplimiento
T_t	2000	$T_t > F_{Lt}$
V_{tr}	700	$V_{tr} > F_{Vtr}$
V_c	1300	$V_C > F_{Vf}$



APOYO DE AMARRE EN ÁNGULO

Este apoyo delimita dos cantones el de la izquierda, con un vano de regulación de 240 metros y el de la derecha, de 220 metros.



$a_1 = 240$ m.

$d_1 = 20$ m.

$a_2 = 220$ m.

$d_2 = -5$ m.

Ángulo de desviación de la traza, $\alpha = 45$ °

Tracciones para el conductor de fase en el vano de regulación de 240 m

- Tracción a –20 °C + hielo: T_{Hf1}=2250 daN.
- Tracción a –15 °C + viento: T_{Vf1}= 1309 daN.

Tracciones para el conductor de fase en el vano de regulación de 220m

- Tracción a –20 °C + hielo: T_{Hf2}=2250 daN.
- Tracción a –15 °C + viento: T_{Vf2}= 1322 daN.

Tracciones para el conductor de tierra en el vano de regulación de 240 m

- Tracción a –20 °C + hielo: T_{Ht1} =1495 daN.
- Tracción a –15 °C + viento: T_{Vt1}= 813 daN.

Tracciones para el conductor de tierra en el vano de regulación de 220 m

- Tracción a –20 °C + hielo: T_{Ht2}=1493 daN.
- Tracción a –15 °C + viento: T_{Vt2}= 838 daN.

Por tratarse de un apoyo situado entre vanos a distinto nivel, el Eolovano y Gravivano no coinciden, siendo su valor:

Eolovano para los conductores de fase y de tierra:

$$a_e = \frac{a_1 + a_2}{2} = \frac{240 + 220}{2} = 230 \ m$$

Gravivano con viento para los conductores de fase:

$$a_{gVf} = \frac{a_1 + a_2}{2} + \left(\frac{T_{Vf1}}{p_{Vf}} \cdot \frac{d_1}{a_1} - \frac{T_{Vf2}}{p_{Vf}} \cdot \frac{d_2}{a_2} \right) = 230 + \frac{1309}{1,45} \cdot \frac{20}{240} - \frac{1322}{1,45} \cdot \left(\frac{-5}{220} \right) = 325,95 \ m$$

siendo p_{vf} el peso con sobrecarga de viento del conductor de fase.

Gravivano con viento para el conductor de tierra:

$$a_{gVt} = \frac{a_1 + a_2}{2} + \left(\frac{T_{Vt1}}{p_{Vt}} \cdot \frac{d_1}{a_1} - \frac{T_{Vt2}}{p_{Vt}} \cdot \frac{d_2}{a_2} \right) = 230 + \frac{813}{0,67} \cdot \frac{20}{240} - \frac{838}{0,67} \cdot \left(\frac{-5}{220} \right) = 359,6 \ m$$

siendo p_{Vt} el peso con sobrecarga de viento del conductor de tierra.

Gravivano con hielo para los conductores de fase:

$$a_{gHf} = \frac{a_1 + a_2}{2} + \left(\frac{T_{Hf1}}{p_{Hf}} \cdot \frac{d_1}{a_1} - \frac{T_{Hf2}}{p_{Hf}} \cdot \frac{d_2}{a_2} \right) = 230 + \frac{2250}{2,64} \cdot \frac{20}{240} - \frac{2250}{2,64} \cdot \left(\frac{-5}{220} \right) = 320,39 \ m$$

siendo p_{Hf} el peso con sobrecarga de hielo del conductor de fase.

Gravivano con hielo para los conductores de tierra:

$$a_{gHt} = \frac{a_1 + a_2}{2} + \left(\frac{T_{Ht1}}{p_{Ht}} \cdot \frac{d_1}{a_1} - \frac{T_{Ht2}}{p_{Ht}} \cdot \frac{d_2}{a_2} \right) = 230 + \frac{1495}{1,47} \cdot \frac{20}{240} - \frac{1493}{1,47} \cdot \left(\frac{-5}{220} \right) = 337,87 \ m$$

siendo p_{Ht} el peso con sobrecarga de hielo del conductor de tierra.

1ª hipótesis: viento de 120 km/h a –15 °C

a) Cargas verticales

- Peso de conductores:

$$P_{COND.FASE} = n_f \cdot p_{pf} \cdot a_{gVf} = 1 \cdot 0,957 \cdot 325,95 = 311,93 \ daN$$

$$P_{COND.TIERRA} = n_t \cdot p_{pt} \cdot a_{gVt} = 1 \cdot 0,391 \cdot 359,6 = 140,6 \ daN$$

- Peso de cadena de aisladores, incluidos los herrajes:

$$P_{CAD} = 27 \cdot 0,981 = 26,48 \ daN$$

Total cargas verticales:

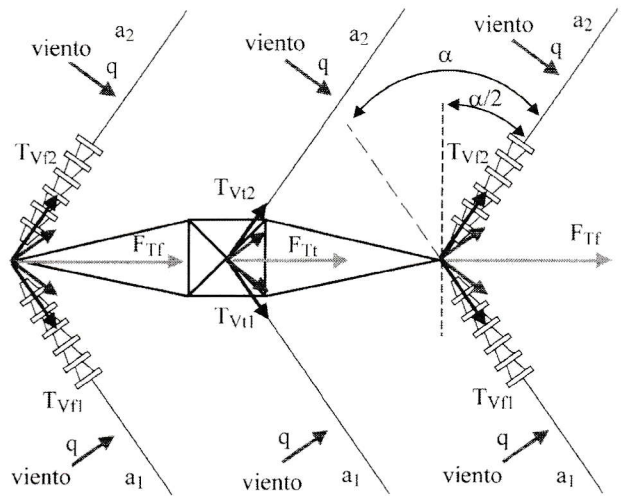
- Carga vertical por fase:

$$F_{Vf} = P_{COND.FASE} + 2 \cdot P_{CAD} = 311,93 + 2 \cdot 26,48 = 364,9 \ daN$$

- Carga vertical debida al conductor de tierra:

$$F_{Vt} = P_{COND.TIERRA} = 140{,}6\ daN$$

b) Cargas transversales debidas a la resultante de ángulo (Aptdo. 3.1.6. ITC-LAT 07) y al viento (Aptdo. 3.1.2. ITC-LAT 07).



Esfuerzo transversal debido al viento y a la resultante de ángulo sobre el conductor de fase:

$$F_{Tf} = n_f \cdot \left[\left(T_{Vf1} + T_{Vf2} \right) \cdot sen\frac{\alpha}{2} + \left(\frac{a_1 + a_2}{2} \right) \cdot q \cdot \phi_f \cdot 10^{-3} \cdot \cos\frac{\alpha}{2} \right]$$

$$F_{Tf} = 1 \cdot \left[(1309 + 1322) \cdot sen\frac{45}{2} + 230 \cdot 50 \cdot \left(\frac{120}{120} \right)^2 \cdot 21{,}8 \cdot 10^{-3} \cdot \cos\frac{45}{2} \right] = 1238{,}6\ daN$$

Esfuerzo transversal debido al viento y a la resultante de ángulo sobre el conductor de tierra:

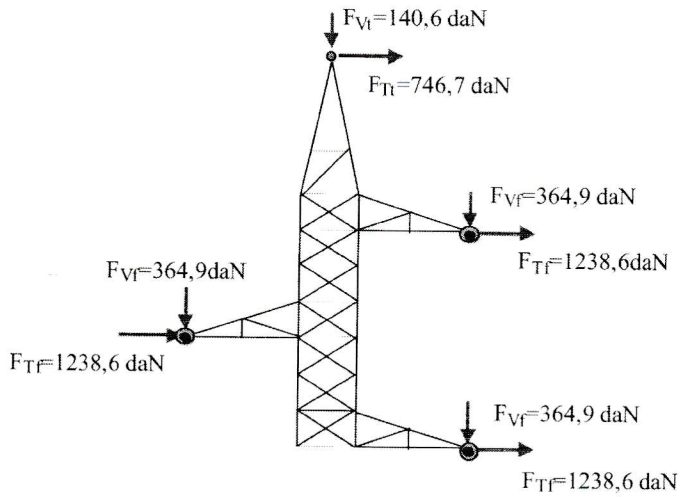
$$F_{Tt} = n_t \cdot \left[\left(T_{Vt1} + T_{Vt2} \right) \cdot sen\frac{\alpha}{2} + \left(\frac{a_1 + a_2}{2} \right) \cdot q \cdot \phi_t \cdot 10^{-3} \cdot \cos\frac{\alpha}{2} \right]$$

$$F_{Tt} = 1 \cdot \left[(813 + 838) \cdot sen\frac{45}{2} + 230 \cdot 60 \cdot \left(\frac{120}{120} \right)^2 \cdot 9 \cdot 10^{-3} \cdot \cos\frac{45}{2} \right] = 746{,}7\ daN$$

c) No se consideran cargas longitudinales en la hipótesis de viento

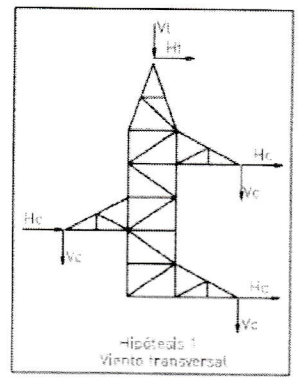
Aunque existen realmente cargas longitudinales debidas a las diferencias entre las tracciones de los conductores en los dos cantones y al viento que actúa sobre vanos de diferente longitud, el RLAT no considera dichas cargas, ya que, en general, son pequeñas.

Los esfuerzos sobre el apoyo para esta hipótesis son:



El apoyo seleccionado para cumplir con esta hipótesis es el H-7200-19,05-T-2,4/2, cuyos esfuerzos soportados se indican a continuación:

Tipo de esfuerzo	(daN)	Cumplimiento
H_C	1680	$H_C > F_{Tf}$
H_t	1050	$H_t > F_{Tt}$
V_C	650	$V_C > F_{Vf}$
V_t	500	$V_t > F_{Vt}$



2ª hipótesis: hielo en zona C, a –20 °C

a) Cargas verticales

- Peso de conductores:

$$P_{COND.FASE} = n_f \cdot \left(p_{pf} + p_{hf}\right) \cdot a_{gHf} = n_f \cdot \left(p_{pf} + 0{,}36 \cdot \sqrt{\phi_f}\right) \cdot a_{gHf}$$

$$P_{COND.FASE} = 1 \cdot \left(0{,}957 + 0{,}36 \cdot \sqrt{21{,}8}\right) \cdot 320{,}39 = 845{,}14 \; daN$$

$$P_{COND.TIERRA} = n_t \cdot \left(p_{pt} + p_{ht}\right) \cdot a_{gHt} = n_t \cdot \left(p_{pt} + 0{,}36 \cdot \sqrt{\phi_t}\right) \cdot a_{gHt}$$

$$P_{COND.TIERRA} = 1 \cdot \left(0{,}391 + 0{,}36 \cdot \sqrt{9}\right) \cdot 337{,}87 = 497 \; daN$$

- Peso de cadena de aisladores, incluidos los herrajes:

$$P_{CAD} = 27 \cdot 0{,}981 = 26{,}48 \ daN$$

Total cargas verticales:

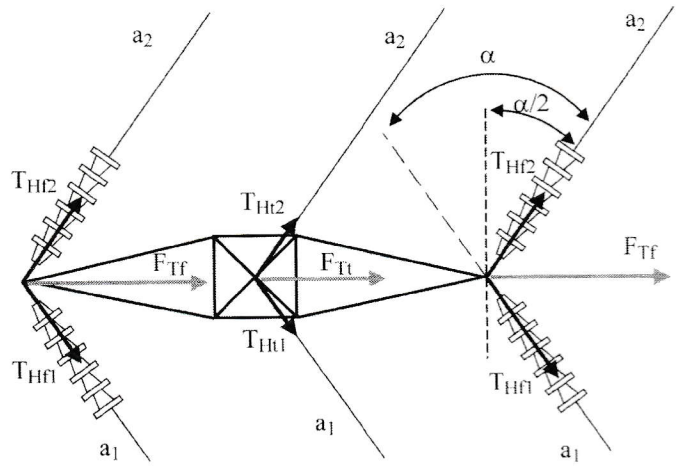
- Carga vertical por fase:

$$F_{Vf} = P_{COND.FASE} + 2 \cdot P_{CAD} = 845{,}14 + 2 \cdot 26{,}48 = 898 daN$$

- Carga vertical debida al conductor de tierra:

$$F_{Vt} = P_{COND.TIERRA} = 497 \ daN$$

b) Cargas transversales debidas a la resultante de ángulo (Aptdo. 3.1.6. ITC-LAT 07)



Esfuerzo transversal debido a la resultante de ángulo sobre el conductor de fase:

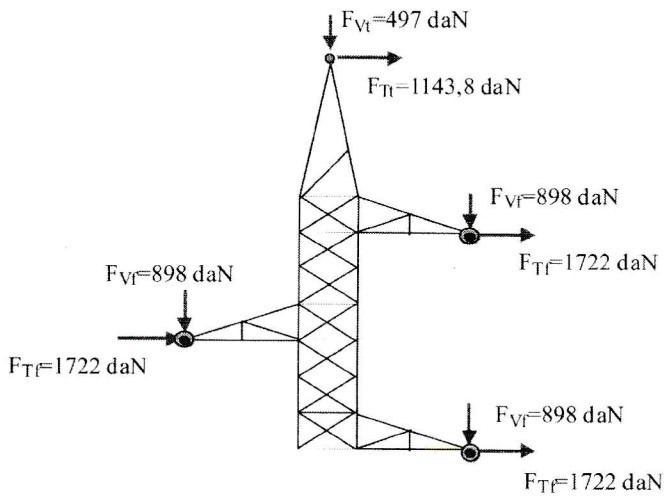
$$F_{Tf} = n_f \cdot \left[\left(T_{Hf1} + T_{Hf2} \right) \cdot sen \frac{\alpha}{2} \right] = 1 \cdot \left[\left(2250 + 2250 \right) \cdot sen \frac{45}{2} \right] = 1722 \ daN$$

Esfuerzo transversal debido al viento y a la resultante de ángulo sobre el conductor de tierra:

$$F_{Tt} = n_t \cdot \left[\left(T_{Ht1} + T_{Ht2} \right) \cdot sen \frac{\alpha}{2} \right] = 1 \cdot \left[\left(1495 + 1493 \right) \cdot sen \frac{45}{2} \right] = 1143{,}8 \ daN$$

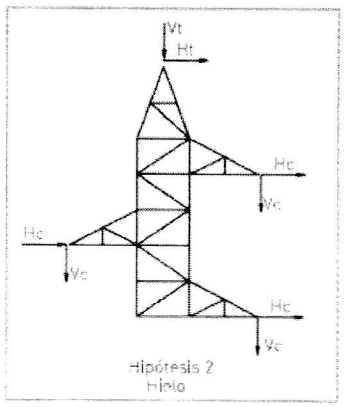
c) No se consideran cargas longitudinales en la hipótesis de viento

Los esfuerzos sobre el apoyo para esta hipótesis, son:



El apoyo seleccionado anteriormente no soporta los esfuerzos correspondientes a esta hipótesis y hay que seleccionar el H-9500-19,05-T-2,4/2, cuyos esfuerzos soportados se indican a continuación:

Tipo de esfuerzo	(daN)	Cumplimiento
H_C	2600	$H_C > F_{Tf}$
H_t	1750	$H_t > F_{Tt}$
V_C	1300	$V_C > F_{Vf}$
V_t	1000	$V_t > F_{Vt}$



3ª hipótesis: desequilibrio de tracciones

a) Cargas verticales

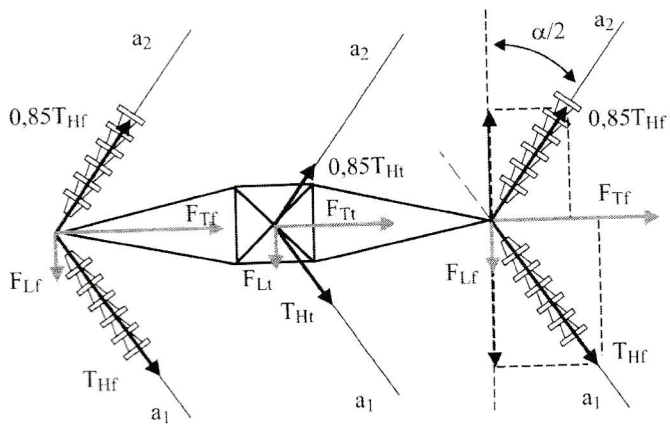
Idénticas a las calculadas en la 2 ª hipótesis.

Total cargas verticales:

- Carga vertical por fase: $F_{Vf} = 898 daN$
- Carga vertical debida al conductor de tierra: $F_{Vt} = 497\ daN$

b) Cargas transversales debidas a la resultante de ángulo (Aptdo. 3.1.6. ITC-LAT 07) y longitudinales por desequilibrio de tracciones (Aptdo. 3.1.4.2 ITC-LAT 07)

En los apoyos de ángulo, para líneas de $U_n \leq 66$ kV con cadenas de amarre, se considera el 15% de las tracciones unilaterales de todos los conductores y cables de tierra. Este desequilibrio produce los esfuerzos transversales y longitudinales indicados en la figura siguiente, donde T_{Hf} y T_{Ht} son las tracciones máximas a –20 °C, con sobrecarga de hielo, entre las tracciones de los cantones contiguos al apoyo para el conductor de fase y conductor de tierra respectivamente. En este caso $T_{Hf} = 2250$ daN y $T_{Ht} = 1395$ daN.



Los esfuerzos longitudinal y transversal para el conductor de fase son:

$$F_{Tf} = \left(T_{Hf} + 0{,}85 \cdot T_{Hf}\right) \cdot sen\frac{\alpha}{2} = 1{,}85 \cdot T_{Hf} \cdot sen\frac{\alpha}{2} = 1{,}85 \cdot 2250 \cdot sen\frac{45}{2} = 1592{,}9\ daN$$

$$F_{Lf} = \left(T_{Hf} - 0{,}85 \cdot T_{Hf}\right) \cdot \cos\frac{\alpha}{2} = 0{,}15 \cdot T_{Hf} \cdot \cos\frac{\alpha}{2} = 0{,}15 \cdot 2250 \cdot \cos\frac{45}{2} = 311{,}8\ daN$$

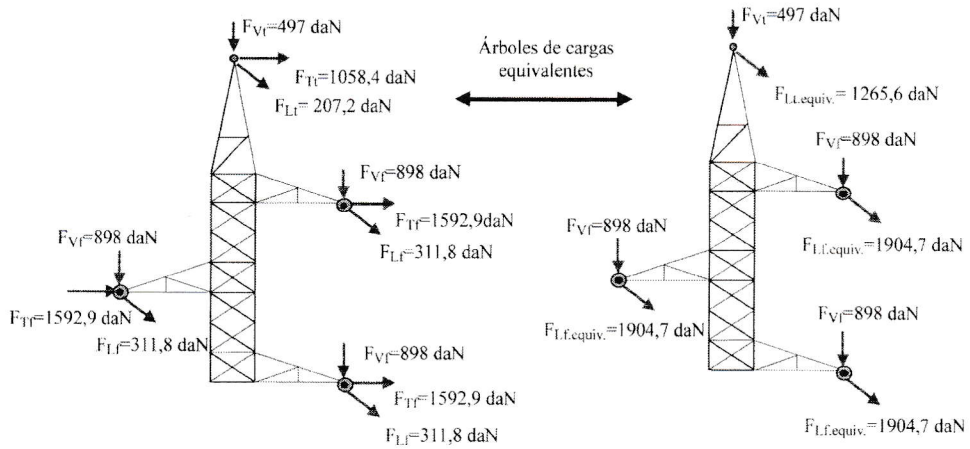
Los esfuerzos longitudinal y transversal para el conductor de tierra son:

$$F_{Tt} = \left(T_{Ht} + 0{,}85 \cdot T_{Ht}\right) \cdot sen\frac{\alpha}{2} = 1{,}85 \cdot T_{Ht} \cdot sen\frac{\alpha}{2} = 1{,}85 \cdot 1495 \cdot sen\frac{45}{2} = 1058{,}4\ daN$$

$$F_{Lt} = \left(T_{Ht} - 0{,}85 \cdot T_{Ht}\right) \cdot \cos\frac{\alpha}{2} = 0{,}15 \cdot T_{Ht} \cdot \cos\frac{\alpha}{2} = 0{,}15 \cdot 1495 \cdot \cos\frac{45}{2} = 207{,}2\ daN$$

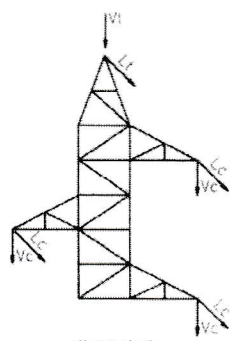
Para esta hipótesis, los esfuerzos calculados sobre el apoyo, , no son directamente comparables con el árbol de cargas especificado. Sin embargo, teniendo en cuenta que

el apoyo de celosía es de base cuadrada, resulta admisible calcular un esfuerzo longitudinal equivalente a la suma aritmética de los esfuerzos longitudinal y transversal, y que provoca la misma flexión sobre el apoyo.



El apoyo seleccionado anteriormente, H-9500-19,05-T-2,4/2 cumple también con los esfuerzos de esta hipótesis.

Tipo de esfuerzo	(daN)	Cumplimiento
L_C	2000	$L_C > F_{Lf.equiv.}$
L_t	2000	$L_t > F_{Lt.equiv.}$
V_C	1300	$V_C > F_{Vf}$
V_t	1000	$V_t > F_{Vt}$



Hipótesis 3
Desequilibrio de tracciones

4ª hipótesis: rotura de conductores con hielo en zona C a –20 °C

El conductor de fase roto debe ser aquel que provoque el mayor esfuerzo de torsión sobre el apoyo, por lo que se romperá el conductor del vano cuya tracción a –20 °C, con sobrecarga de hielo, sea la menor. De esta forma, el conductor del vano con mayor tracción es el que provoca el esfuerzo de torsión. Para los conductores de fase, como la tracción es la misma en los dos cantones, se podría romper el conductor de cualquiera de los dos vanos. En este caso, se considera que se rompe el conductor en el vano de la derecha, ya que el gravivano resultante es mayor que si se rompe en el vano de la izquierda.

El conductor de tierra roto, en este caso, debe ser aquel que provoque el mayor esfuerzo de flexión sobre el apoyo, por lo que se romperá el conductor del cantón cuya

tracción a –20 °C, con sobrecarga de hielo, sea la menor. De esta forma, el conductor del cantón con mayor tracción es el que provoca el esfuerzo de flexión. En este ejemplo, la tracción mayor para el conductor de tierra es, $T_{Ht} = 1495$ daN, por lo que se romperá el conductor de tierra en el vano de la derecha.

a) Cargas verticales

Idénticas a las calculadas en la 2ª hipótesis para los conductores que no se rompen.

- Carga vertical por fase: $F_{Vf} = 898daN$
- Carga vertical debida al conductor de tierra: $F_{Vt} = 497\ daN$

Para los conductores rotos:

$$P_{COND.FASE.r} = n_f \cdot \left(p_{pf} + p_{hf}\right) \cdot a_{gHf} = n_f \cdot \left(p_{pf} + 0{,}36 \cdot \sqrt{\phi_f}\right) \cdot a_{gHfr}$$

$$P_{COND.FASE.r} = 1 \cdot \left(0{,}957 + 0{,}36 \cdot \sqrt{21{,}8}\right) \cdot 191 = 503{,}8\ daN$$

Siendo:

$$a_{gHfr} = \frac{a_1}{2} + \left(\frac{T_{Hf1}}{p_{Hf}} \cdot \frac{d_1}{a_1}\right) = \frac{240}{2} + \frac{2250}{2{,}64} \cdot \frac{20}{240} = 191\ m$$

$$P_{COND.TIERRA.r} = n_t \cdot \left(p_{pt} + p_{ht}\right) \cdot a_{gHtr} = n_t \cdot \left(p_{pt} + 0{,}36 \cdot \sqrt{\phi_t}\right) \cdot a_{gHtr}$$

$$P_{COND.TIERRA.r} = 1 \cdot \left(0{,}391 + 0{,}36 \cdot \sqrt{9}\right) \cdot 204{,}7 = 301{,}1\ daN$$

Siendo

$$a_{gHtr} = \frac{a_1}{2} + \left(\frac{T_{Ht1}}{p_{Ht}} \cdot \frac{d_1}{a_1}\right) = \frac{240}{2} + \frac{1495}{1{,}47} \cdot \frac{20}{240} = 204{,}7\ m$$

Total cargas verticales:

- Carga vertical por fase: $F_{Vf} = 898daN$
- Carga vertical debida al conductor de tierra: $F_{Vt} = 497\ daN$
- Carga vertical por fase del cable roto:

$$F_{Vfr} = P_{COND.FASE.r} + 2 \cdot P_{CAD} = 503{,}8 + 2 \cdot 26{,}48 = 556{,}8\ daN$$

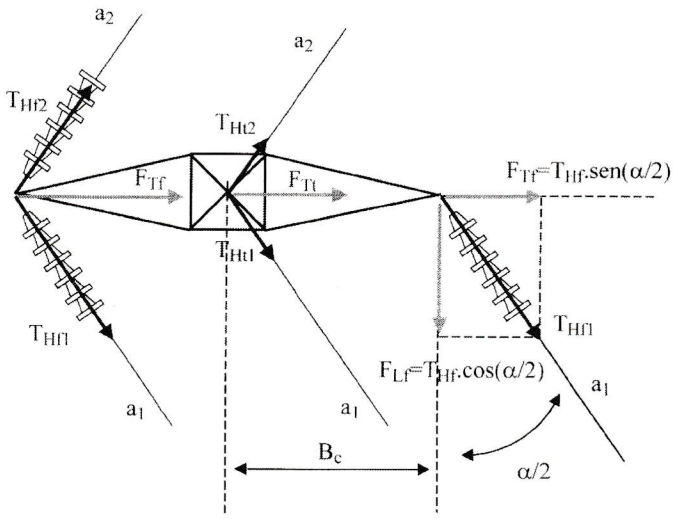
- Carga vertical debida al conductor de tierra roto:

$$F_{Vtr} = P_{COND.TIERRA.r} = 301{,}1\ daN$$

b) Cargas transversales debidas a la resultante de ángulo (Aptdo. 3.1.6. ITC-LAT 07) y longitudinales por rotura del conductor (Aptdo. 3.1.5.2. ITC-LAT 07)

Se considera la rotura de un solo conductor de fase o conductor de tierra sin reducción alguna de su tracción.

b-1) Caso de rotura del conductor de fase



El esfuerzo transversal debido al conductor de fase roto, vale:

$$F_{Tfr} = T_{Hf} \cdot sen\frac{\alpha}{2} = 2250 \cdot sen\frac{45}{2} = 861\ daN$$

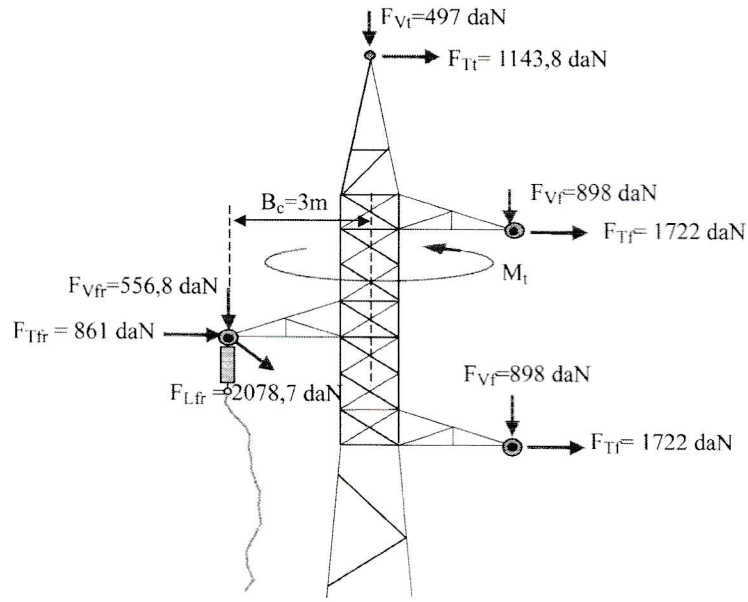
El esfuerzo longitudinal debido al conductor de fase roto, vale:

$$F_{Lfr} = T_{Hf} \cdot \cos\frac{\alpha}{2} = 2250 \cdot \cos\frac{45}{2} = 2078{,}7\ daN$$

Este esfuerzo longitudinal provoca sobre el apoyo un momento torsor de valor:

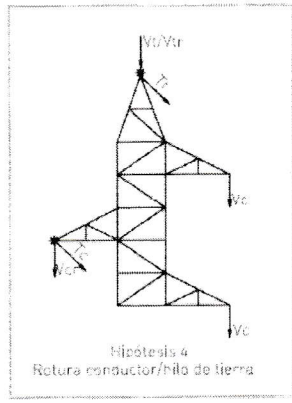
$$M_t = F_{Lfr} \cdot B_c = 2078{,}7 \cdot 3 = 6236\ daN \cdot m$$

Los esfuerzos a los que queda sometido el apoyo se muestran en la figura siguiente:



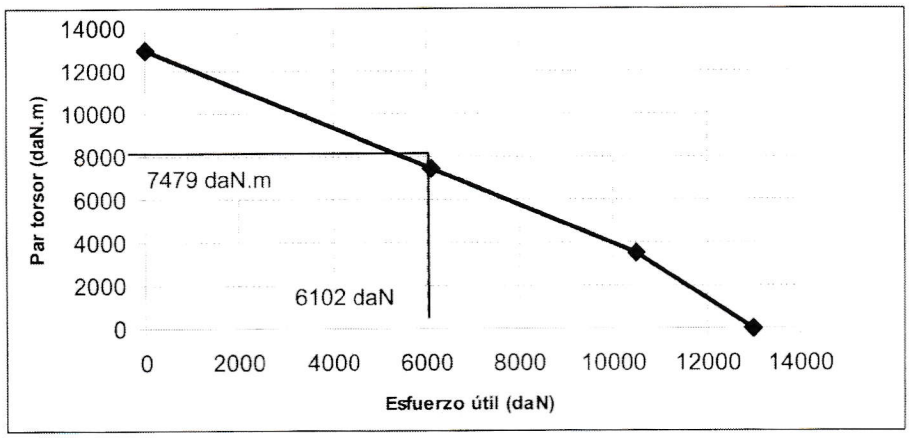
Para el apoyo seleccionado anteriormente, H-9500-19,05-T-2,4/2, los esfuerzos especificados, que se muestran a continuación, no incluyen el efecto combinado de la torsión, M_t con el esfuerzo transversal F_{Tf}, al no incluirse este último.

Tipo de esfuerzo	(daN)
T_C	3000
V_{Cr}	900
V_C	1300
V_t	1000



Para comprobar si un apoyo es capaz de soportar la acción combinada de los esfuerzos transversales y del par torsor, los fabricantes deben facilitar esta información, por ejemplo, mediante gráficos que indiquen el par torsor soportado en función del esfuerzo útil del apoyo, tal y como se aprecia en la figura siguiente para un apoyo de similares características.

Para calcular el esfuerzo útil del apoyo se debe de utilizar la información especificada por el fabricante [10], aunque generalmente se calcula como la suma aritmética de todos los esfuerzos transversales y longitudinales aplicados sobre el apoyo, teniendo en cuenta un coeficiente de mayoración cuando existen esfuerzos aplicados en su cúpula.

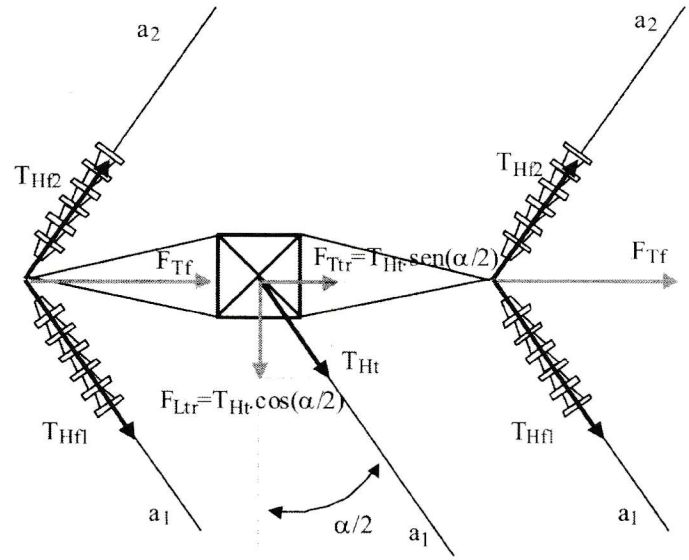


En este ejemplo, el esfuerzo útil se calcula como:

$$F_{útil} = \left(F_{Tt} + 2 \cdot F_{Tf} + F_{Tfr}\right) \cdot Coef. = \left(1143{,}8 + 2 \cdot 1722 + 861\right) \cdot 1{,}12 = 6102\ daN$$

Para este esfuerzo útil, según la gráfica, el par torsor soportado es de 7479 daN·m, valor superior a M_t, por lo que se cumpliría con los esfuerzos solicitados en esta hipótesis.

b-2) Caso de rotura del conductor de tierra



El esfuerzo transversal debido al conductor de tierra roto, vale:

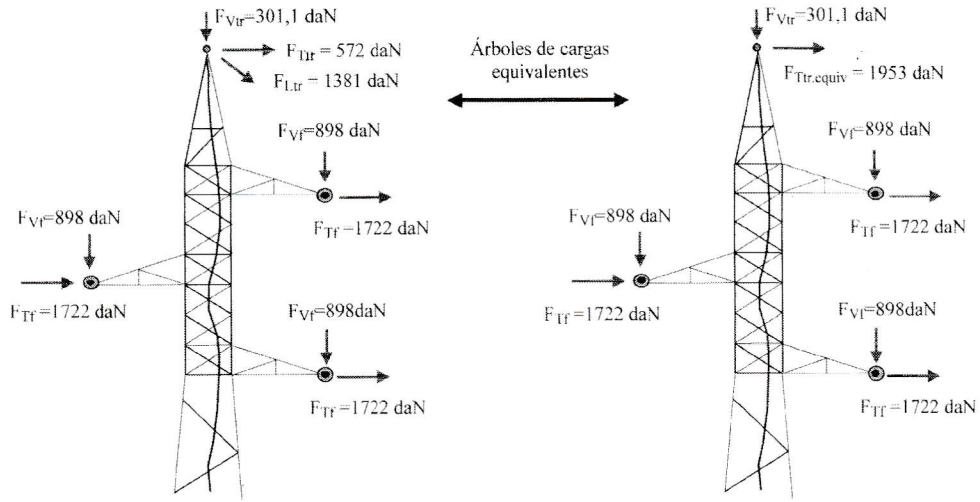
$$F_{Ttr} = T_{Ht} \cdot sen\frac{\alpha}{2} = 1495 \cdot sen\left(\frac{45}{2}\right) = 572\ daN$$

El esfuerzo longitudinal debido al conductor de fase roto, vale:

$$F_{Ltr} = T_{Ht} \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) = 1495 \cdot \cos\left(\frac{45}{2}\right) = 1381\ daN$$

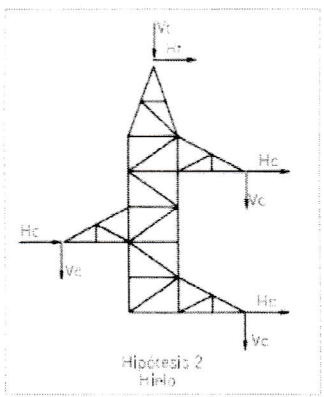
Para esta hipótesis, los esfuerzos calculados sobre el apoyo no son directamente comparables con el árbol de cargas especificado. Sin embargo, resulta admisible calcular un esfuerzo longitudinal equivalente para el cable de tierra como la suma aritmética de los esfuerzos longitudinal y transversal, y que provoca la misma flexión sobre el apoyo, con objeto de compararlos con los especificados por el fabricante para la 2ª hipótesis.

Los esfuerzos a los que queda sometido el apoyo se muestran en la figura siguiente:



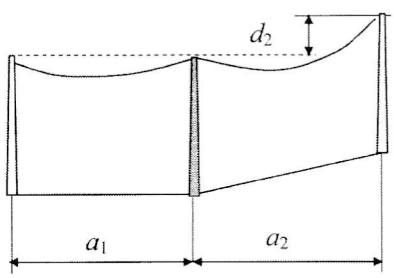
El apoyo seleccionado anteriormente, H-9500-19,05-T-2,4/2, no cumple con los esfuerzos solicitados y es necesario seleccionar el apoyo, H-13000-19,05-T-2,4/2, cuyos esfuerzos especificados para la 2ª hipótesis se indican a continuación:

Tipo de esfuerzo	(daN)	Cumplimiento
H_C	3250	$H_C > F_{Tf}$
H_t	2000	$H_t > F_{Ttr.equivg}$
V_C	1300	$V_C > F_{Vf}$
V_t	1000	$V_t > F_{Vtr}$



APOYO DE ANCLAJE EN ALINEACIÓN

Utilizando las mismas longitudes, desniveles y tracciones que en el apoyo de amarre en alineación, se trata ahora de realizar el cálculo mecánico de un apoyo de anclaje en alineación.



$a_1 = 240$ m.

$d_1 = 0$ m.

$a_2 = 220$ m.

$d_2 = 25$ m.

Las hipótesis 1ª, 2ª y 4ª calculadas para el apoyo de amarre, son idénticas para el apoyo de anclaje, y solo es necesario realizar el cálculo de la 3ª hipótesis de desequilibrio de tracciones, que es más exigente en un apoyo de anclaje. En el apoyo de amarre calculado anteriormente, se seleccionó el O-6000-19,55-T-2/1,3, debido a los esfuerzos calculados para la 4ª hipótesis de rotura de conductores, que resultaba ser la más exigente de todas. Por tanto, para el apoyo de anclaje que se calcula a continuación, solamente es necesario comprobar si el apoyo O-6000-19,55-T-2/1,3 cumple con la 3ª hipótesis.

3ª hipótesis: desequilibrio de tracciones

a) Cargas verticales

Idénticas a las calculadas en la 2ª hipótesis para el apoyo de amarre.

- Carga vertical por fase: $F_{Vf} = 404{,}1\ daN$
- Carga vertical debida al conductor de tierra: $F_{Vt} = 168{,}4\ daN$

b) No se consideran cargas transversales en esta hipótesis

c) Cargas longitudinales por desequilibrio de tracciones (Aptdo. 3.1.4.2. ITC-LAT 07)

En los apoyos de anclaje se considera el 50% de las tracciones unilaterales de todos los conductores.

Esfuerzo longitudinal debido a la tracción del conductor de fase:

$$F_{Lf} = n_f \cdot 0{,}5.T_{Hf} = 1 \cdot 0{,}5 \cdot 2250 = 1125\ daN$$

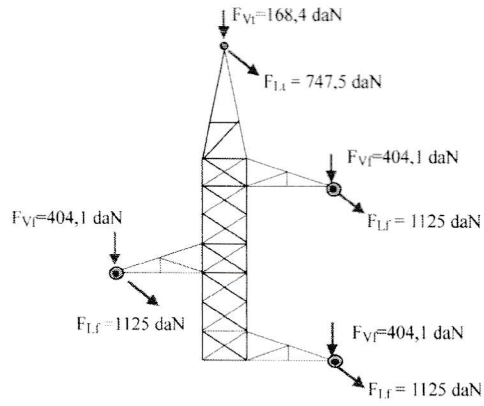
siendo T_{Hf}, el valor máximo de entre las tracciones del conductor de fase, a –20 ºC con sobrecarga de hielo, para los vanos contiguos al apoyo. T_{Hf}= máx (T_{Hf1}, T_{Hf2})

Esfuerzo longitudinal debido a la tracción del conductor de tierra:

$$F_{Lt} = n_t \cdot 0{,}5 \cdot T_{Ht} = 1 \cdot 0{,}5 \cdot 1495 = 747{,}5\ daN$$

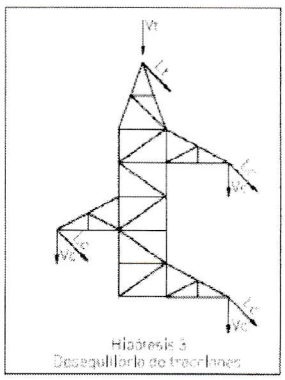
siendo T_{Hf}, el valor máximo de entre las tracciones del conductor de fase a –20 ºC con sobrecarga de hielo para los vanos contiguos al apoyo T_{Ht}= máx (T_{Ht1}, T_{Ht2})

Los esfuerzos, para esta hipótesis, sobre el apoyo son:



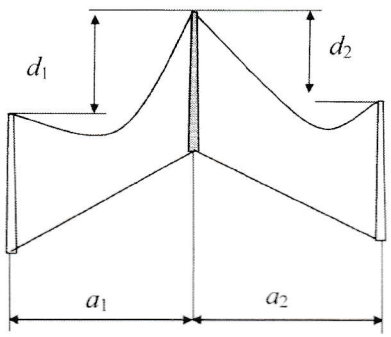
El apoyo O-6000-19,55-T-2/1,3, cumple también con los esfuerzos de esta hipótesis.

Tipo de esfuerzo	(daN)	Cumplimiento
L_C	1425	$L_C > F_{Lf}$
L_t	1000	$L_t > F_{Lt}$
V_C	1300	$V_C > F_{Vf}$
V_t	1000	$V_t > F_{Vt}$



APOYO DE ANCLAJE EN ÁNGULO

Utilizando las mismas longitudes, desniveles y tracciones que en el apoyo de amarre en ángulo, se trata ahora de realizar el cálculo mecánico de un apoyo de anclaje en ángulo.



$a_1 = 240$ m.

$d_1 = 20$ m.

$a_2 = 220$ m.

$d_2 = -5$ m.

Ángulo de desviación de la traza, $\alpha = 45°$

Las hipótesis 1ª, 2ª y 4ª calculadas para el apoyo de amarre en ángulo son idénticas para el apoyo de anclaje en ángulo, y tan solo es necesario realizar el cálculo de la 3ª hipótesis de desequilibrio de tracciones, que es más exigente en un apoyo de anclaje. En el apoyo de amarre en ángulo calculado anteriormente se seleccionó el apoyo H-13000-19,05-T-2,4/2, debido a los esfuerzos calculados para la 4ª hipótesis de rotura de conductores, que resultaba ser la más exigente de todas. Por tanto, para el apoyo de anclaje en ángulo que se calcula a continuación solamente es necesario comprobar si el apoyo H-13000-19,05-T-2,4/2 cumple con la 3ª hipótesis.

3ª hipótesis: desequilibrio de tracciones

a) Cargas verticales (Aptdo. 3.1.1. ITC-LAT 07)

Idénticas a las calculadas en la 2ª hipótesis para el apoyo de amarre en ángulo.

Total cargas verticales:

- Carga vertical por fase:

$$F_{Vf} = 898\ daN$$

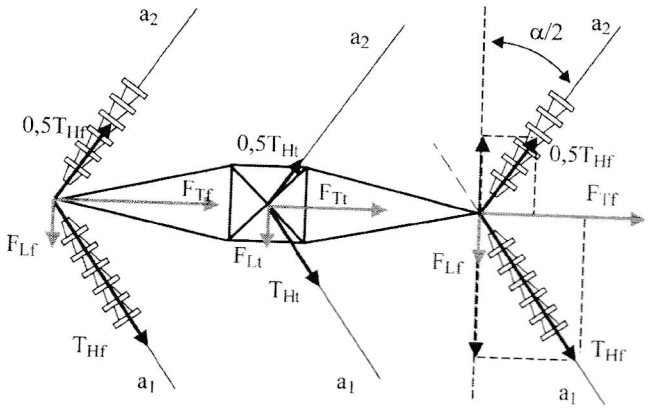
- Carga vertical debida al conductor de tierra:

$$F_{Vt} = 497\ daN$$

b) Cargas transversales debidas a la resultante de ángulo (Aptdo. 3.1.6. ITC-LAT 07) y longitudinales por desequilibrio de tracciones (Aptdo. 3.1.4.2. ITC-LAT 07)

En los apoyos de anclaje se considera el 50% de las tracciones unilaterales de todos los conductores y cables de tierra. Este desequilibrio produce los esfuerzos transversales y longitudinales indicados en la figura siguiente, donde T_{Hf} y T_{Ht} son las tracciones máximas a –20 °C, con sobrecarga de hielo, entre las tracciones de los cantones contiguos al apoyo para el conductor de fase y conductor de tierra, respectivamente.

En este caso, T_{Hf} = 2250 daN y T_{Ht} = 1495 daN.



Los esfuerzos longitudinal y transversal correspondientes al conductor de fase son:

$$F_{Tf} = \left(T_{Hf} + 0{,}5 \cdot T_{Hf}\right) \cdot sen\frac{\alpha}{2} = 1{,}5 \cdot T_{Hf} \cdot sen\frac{\alpha}{2} = 1{,}5 \cdot 2250 \cdot sen\frac{45}{2} = 1291{,}5\ daN$$

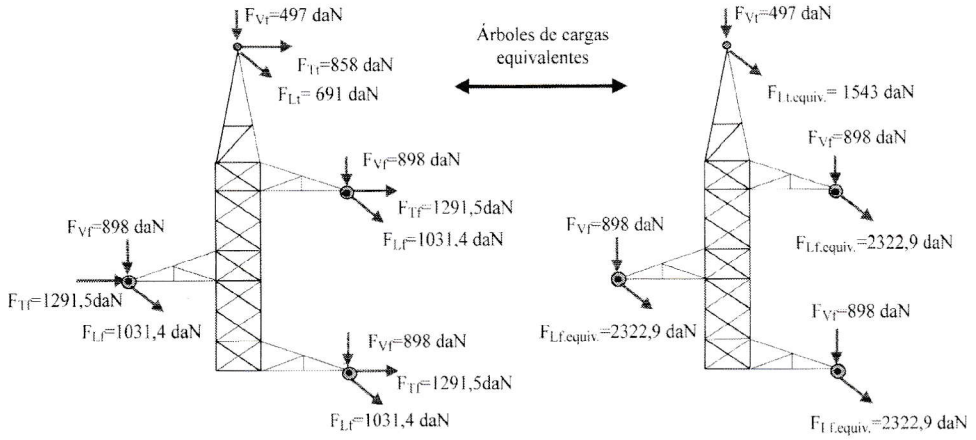
$$F_{Lf} = \left(T_{Hf} - 0{,}5 \cdot T_{Hf}\right) \cdot \cos\frac{\alpha}{2} = 0{,}5 \cdot T_{Hf} \cdot \cos\frac{\alpha}{2} = 0{,}5 \cdot 2250 \cdot \cos\frac{45}{2} = 1039{,}4\ daN$$

Los esfuerzos longitudinal y transversal correspondientes al conductor de tierra son:

$$F_{Tt} = \left(T_{Ht} + 0{,}5 \cdot T_{Ht}\right) \cdot sen\frac{\alpha}{2} = 1{,}5 \cdot T_{Ht} \cdot sen\frac{\alpha}{2} = 1{,}5 \cdot 1495 \cdot sen\frac{45}{2} = 858\ daN$$

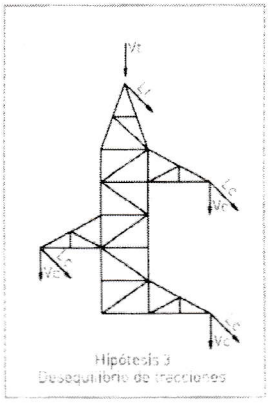
$$F_{Lt} = \left(T_{Ht} - 0{,}5 \cdot T_{Ht}\right) \cdot \cos\frac{\alpha}{2} = 0{,}5 \cdot T_{Ht} \cdot \cos\frac{\alpha}{2} = 0{,}5 \cdot 1495 \cdot \cos\frac{45}{2} = 691\ daN$$

Los esfuerzos, para esta hipótesis, sobre el apoyo son:



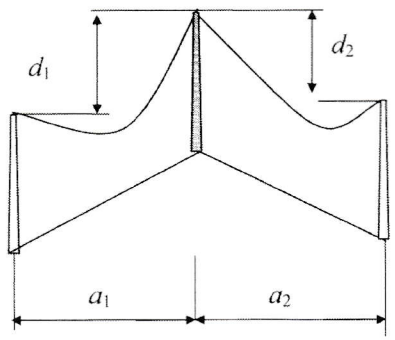
El apoyo seleccionado, H-1300-19,05-T-2,4/2, cumple también con los esfuerzos de esta hipótesis.

Tipo de esfuerzo	(daN)	Cumplimiento
L_C	3100	$L_C > F_{Lf.equiv}$
L_t	2500	$L_t > F_{Lt.equiv}$
V_C	1300	$V_C > F_{Vf}$
V_t	1000	$V_t > F_{Vt}$



APOYO DE SUSPENSIÓN EN ÁNGULO

Este apoyo pertenece a un cantón cuyo vano ideal de regulación es de 240 m.



$a_1 = 240$ m.

$d_1 = 20$ m.

$a_2 = 220$ m.

$d_2 = -5$ m.

Ángulo de desviación de la traza, $\alpha = 5°$

Tracciones para el conductor de fase en el vano de regulación de 240 m

- Tracción a –20 °C + hielo: $T_{Hf} = 2250$ daN.
- Tracción a –15 °C + viento: $T_{Vf} = 1309$ daN.

Tracciones para el conductor de tierra en el vano de regulación de 240 m

- Tracción a –20 °C + hielo: $T_{Ht} = 1495$ daN.
- Tracción a –15 °C + viento: $T_{Vt} = 813$ daN.

Por tratarse de un apoyo situado entre vanos a distinto nivel, el eolovano y gravivano no coinciden, siendo su valor:

Eolovano para los conductores de fase y de tierra:

$$a_e = \frac{a_1 + a_2}{2} = \frac{240 + 220}{2} = 230 \ m$$

Gravivano con viento para los conductores de fase:

$$a_{gVf} = \frac{a_1 + a_2}{2} + \frac{T_{Vf}}{p_{Vf}} \cdot \left(\frac{d_1}{a_1} - \frac{d_2}{a_2} \right) = 230 + \frac{1309}{1{,}45} \cdot \left[\frac{20}{240} - \left(\frac{-5}{220} \right) \right] = 325{,}75 \ m$$

siendo p_{vf} el peso con sobrecarga de viento del conductor de fase.

Gravivano con viento para el conductor de tierra:

$$a_{gVt} = \frac{a_1 + a_2}{2} + \frac{T_{Vt}}{p_{Vt}} \cdot \left(\frac{d_1}{a_1} - \frac{d_2}{a_2} \right) = 230 + \frac{813}{0{,}67} \cdot \left[\frac{20}{240} - \left(\frac{-5}{220} \right) \right] = 358{,}70 \ m$$

siendo p_{Vt} el peso con sobrecarga de viento del conductor de tierra.

Gravivano con hielo para los conductores de fase:

$$a_{gHf} = \frac{a_1 + a_2}{2} + \frac{T_{Hf}}{p_{Hf}} \cdot \left(\frac{d_1}{a_1} - \frac{d_2}{a_2} \right) = 230 + \frac{2250}{2{,}64} \cdot \left[\frac{20}{240} - \left(\frac{-5}{220} \right) \right] = 320{,}39 \ m$$

siendo p_{Hf} el peso con sobrecarga de hielo del conductor de fase.

Gravivano con hielo para los conductores de tierra:

$$a_{gHt} = \frac{a_1 + a_2}{2} + \frac{T_{Ht}}{p_{Ht}} \cdot \left(\frac{d_1}{a_1} - \frac{d_2}{a_2} \right) = 230 + \frac{1495}{1{,}47} \cdot \left[\frac{20}{240} - \left(\frac{-5}{220} \right) \right] = 337{,}87 \ m$$

siendo p_{Ht} el peso con sobrecarga de hielo del conductor de tierra.

1ª hipótesis: viento de 120 km/h, a –15 ºC

a) Cargas verticales

- Peso de los conductores:

$$P_{COND.FASE} = n_f \cdot p_{pf} \cdot a_{gVf} = 1 \cdot 0{,}957 \cdot 325{,}75 = 311{,}74 \ daN$$

$$P_{COND.TIERRA} = n_t \cdot p_{pt} \cdot a_{gVt} = 1 \cdot 0{,}391 \cdot 358{,}7 = 140{,}25 \ daN$$

- Peso de la cadena de aisladores, incluidos los herrajes:

$$P_{CAD} = 21 \cdot 0{,}981 = 20{,}6 \ daN$$

Total cargas verticales:

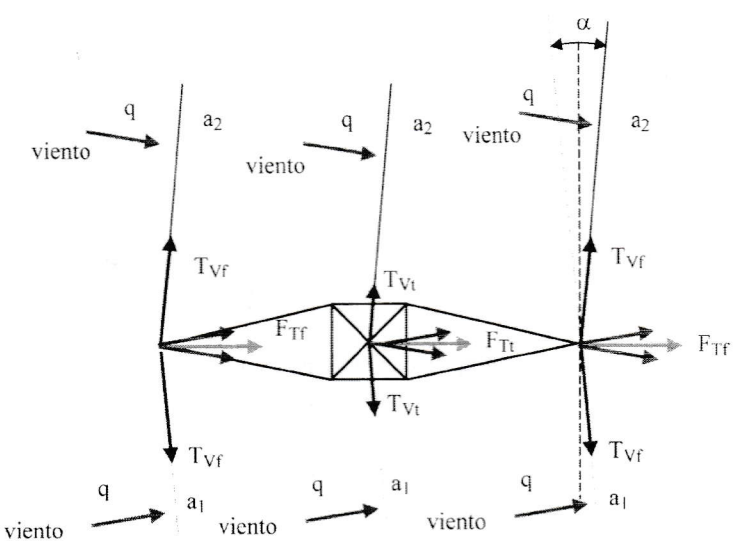
- Carga vertical por fase:

$$F_{Vf} = P_{COND.FASE} + P_{CAD} = 311{,}74 + 20{,}6 = 332{,}34 \ daN$$

- Carga vertical debida al conductor de tierra:

$$F_{Vt} = P_{COND.TIERRA} = 140{,}25 \ daN$$

b) Cargas transversales debidas a la resultante de ángulo (Aptdo. 3.1.6. ITC-LAT 07) y al viento (Aptdo. 3.1.2. ITC-LAT 07)



Esfuerzo transversal debido al viento y a la resultante de ángulo sobre el conductor de fase:

$$F_{Tf} = n_f \cdot \left[2 \cdot T_{Vf} \cdot sen\frac{\alpha}{2} + \left(\frac{a_1 + a_2}{2} \right) \cdot q \cdot \phi_f \cdot 10^{-3} \cdot \cos\frac{\alpha}{2} \right]$$

$$F_{Tf} = 1 \cdot \left[2 \cdot 1309 \cdot sen\frac{5}{2} + 230 \cdot 50 \cdot 21{,}8 \cdot 10^{-3} \cdot \cos\frac{5}{2} \right] = 364{,}66\ daN$$

Esfuerzo transversal debido al viento y a la resultante de ángulo sobre el conductor de tierra:

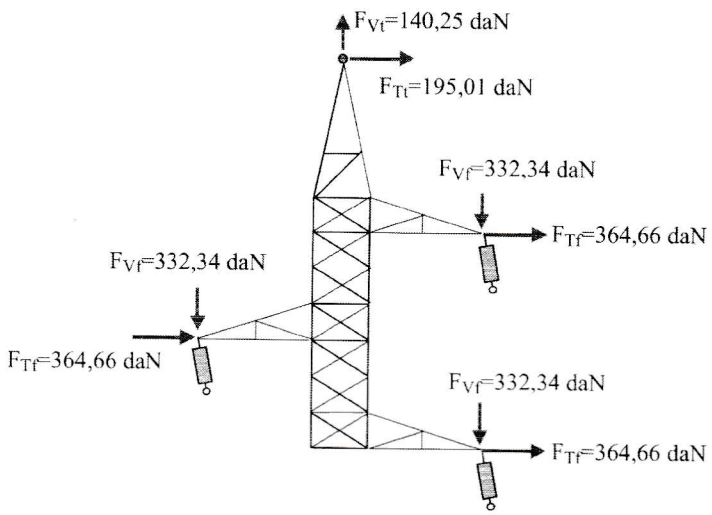
$$F_{Tt} = n_t \cdot \left[2 \cdot T_{Vt} \cdot sen\frac{\alpha}{2} + \left(\frac{a_1 + a_2}{2} \right) \cdot q \cdot \phi_f \cdot 10^{-3} \cdot \cos\frac{\alpha}{2} \right]$$

$$F_{Tt} = 1 \cdot \left[2 \cdot 813 \cdot sen\frac{5}{2} + 230 \cdot 60 \cdot 9 \cdot 10^{-3} \cdot \cos\frac{5}{2} \right] = 195{,}01\ daN$$

c) No se consideran cargas longitudinales en la hipótesis de viento

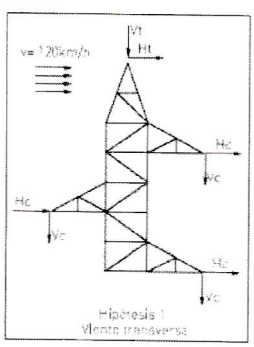
Aunque realmente existen cargas longitudinales debido a que el viento actúa sobre vanos de diferente longitud, el RLAT no considera dichas cargas, ya que en general son pequeñas.

Los esfuerzos sobre el apoyo para esta hipótesis son:



El apoyo seleccionado para cumplir con esta hipótesis es el O-1600-19,55-T-2/1,3, cuyos esfuerzos soportados se indican a continuación:

Tipo de esfuerzo	(daN)	Cumplimiento
H_C	450	$H_C > F_{Tf}$
H_t	315	$H_t > F_{Tt}$
V_C	650	$V_C > F_{Vf}$
V_t	500	$V_t > F_{Vt}$



2ª hipótesis: hielo en la zona C, a –20 °C

a) Cargas verticales

- Peso de conductores:

$$P_{COND.FASE} = n_f \cdot \left(p_{pf} + p_{hf}\right) \cdot a_{gHf} = n_f \cdot \left(p_{pf} + 0{,}36 \cdot \sqrt{\phi_f}\right) \cdot a_{gHf}$$
$$P_{COND.FASE} = 1 \cdot \left(0{,}957 + 0{,}36 \cdot \sqrt{21{,}8}\right) \cdot 320{,}39 = 845{,}14 \; daN$$

$$P_{COND.TIERRA} = n_t \cdot \left(p_{pt} + p_{ht}\right) \cdot a_{gHt} = n_t \cdot \left(p_{pt} + 0{,}36 \cdot \sqrt{\phi_t}\right) \cdot a_{gHt}$$
$$P_{COND.TIERRA} = 1 \cdot \left(0{,}391 + 0{,}36 \cdot \sqrt{9}\right) \cdot 337{,}87 = 497 \; daN$$

- Peso de cadena de aisladores, incluidos los herrajes:

$$P_{CAD} = 21 \cdot 0{,}981 = 20{,}6 \; daN$$

Total cargas verticales:

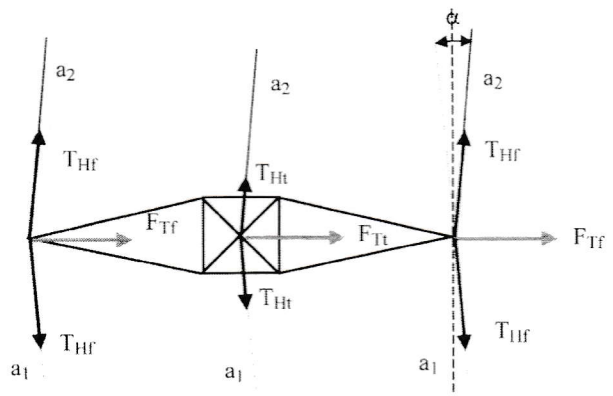
- Carga vertical por fase:

$$F_{Vf} = P_{COND.FASE} + P_{CAD} = 845{,}14 + 20{,}6 = 874{,}7 \; daN$$

- Carga vertical debida al conductor de tierra:

$$F_{Vt} = P_{COND.TIERRA} = 497 \; daN$$

b) Cargas transversales debidas a la resultante de ángulo (Aptdo. 3.1.6. ITC-LAT 07)



Esfuerzo transversal debido a la resultante de ángulo sobre el conductor de fase:

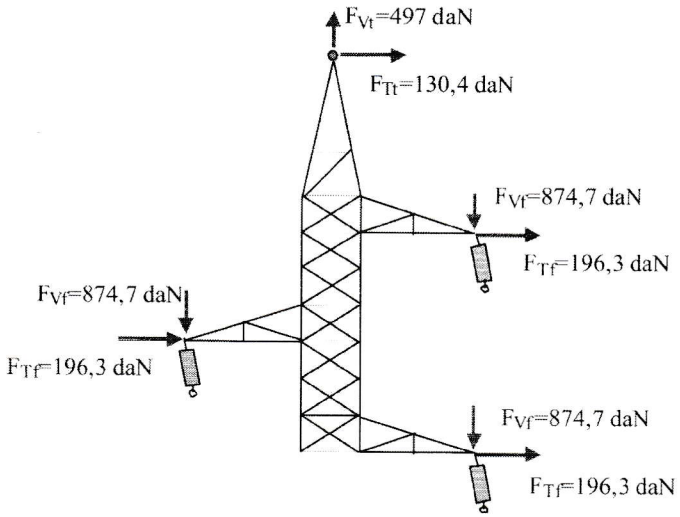
$$F_{Tf} = n_f \cdot 2 \cdot T_{Hf} \cdot sen\frac{\alpha}{2} = 1 \cdot 2 \cdot 2250 \cdot sen\left(\frac{5}{2}\right) = 196{,}3 \; daN$$

Esfuerzo transversal debido al viento y a la resultante de ángulo sobre el conductor de tierra:

$$F_{Tt} = n_f \cdot 2 \cdot T_{Ht} \cdot sen\frac{\alpha}{2} = 1 \cdot 2 \cdot 1495 \cdot sen\left(\frac{5}{2}\right) = 130{,}4\ daN$$

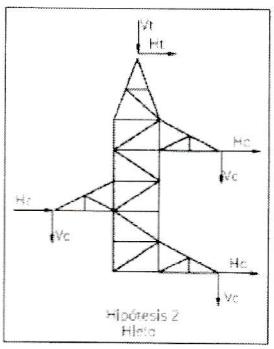
c) No se consideran cargas longitudinales en esta hipótesis

Los esfuerzos, para esta hipótesis, sobre el apoyo son:



El apoyo seleccionado anteriormente, O-1600-19,55-T-2/1,3, cumple también con los esfuerzos de esta hipótesis.

Tipo de esfuerzo	(daN)	Cumplimiento
H_C	550	$H_C > F_{Tf}$
H_t	385	$H_T > F_{Tt}$
V_C	1300	$V_C > F_{Vf}$
V_t	1000	$V_t > F_{Vt}$



3ª hipótesis: desequilibrio de tracciones

a) Cargas verticales (Aptdo. 3.1.1. ITC-LAT 07)

Idénticas a las calculadas en la 2 ª hipótesis.

Total cargas verticales:

- Carga vertical por fase:

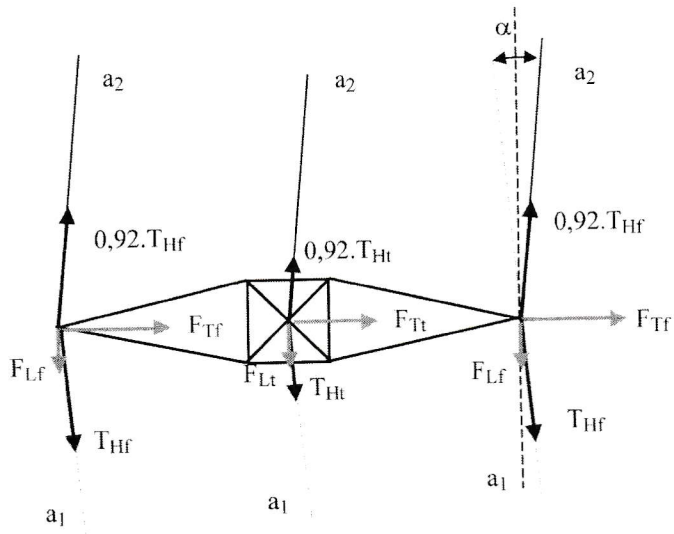
$$F_{Vf} = 874{,}7\ daN$$

- Carga vertical debida al conductor de tierra:

$$F_{Vt} = 497\ daN$$

b) Cargas transversales debidas a la resultante de ángulo (Aptdo. 3.1.6. ITC-LAT 07) y longitudinales por desequilibrio de tracciones (Aptdo. 3.1.4.2 ITC-LAT 07)

En los apoyos de ángulo con cadenas de suspensión, para líneas de $U_n \leq 66$ kV, se considera el 8% de las tracciones unilaterales de todos los conductores y cables de tierra. Este desequilibrio produce los esfuerzos transversales y longitudinales indicados en la figura siguiente, donde T_{Hf} y T_{Ht} son las tracciones en el cantón, a –20 °C con sobrecarga de hielo, para el conductor de fase y conductor de tierra, respectivamente. En este caso, $T_{Hf} = 2250$ daN y $T_{Ht} = 1495$ daN



Los esfuerzos longitudinal y transversal correspondientes al conductor de fase son:

$$F_{Tf} = \left(T_{Hf} + 0{,}92 \cdot T_{Hf}\right) \cdot sen\frac{\alpha}{2} = 1{,}92 \cdot T_{Hf} \cdot sen\frac{\alpha}{2} = 1{,}92 \cdot 2250 \cdot sen\frac{5}{2} = 188{,}4\ daN$$

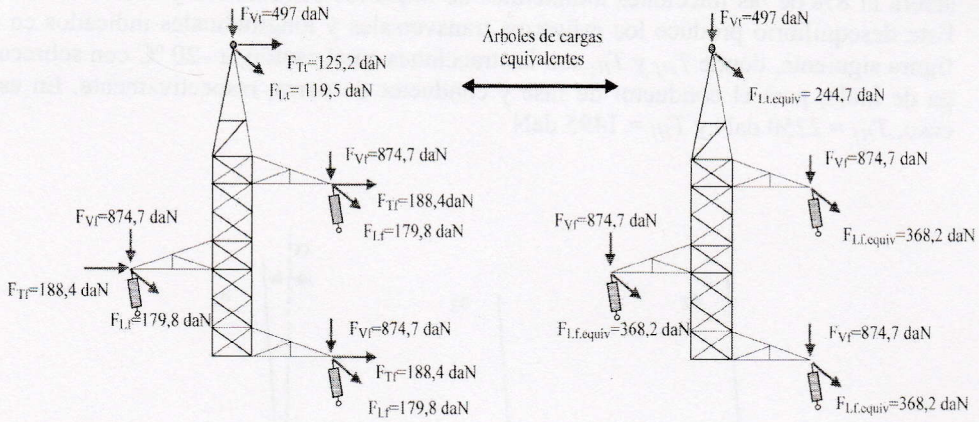
$$F_{Lf} = \left(T_{Hf} - 0{,}92 \cdot T_{Hf}\right) \cdot \cos\frac{\alpha}{2} = 0{,}08 \cdot T_{Hf} \cdot \cos\frac{\alpha}{2} = 0{,}08 \cdot 2250 \cdot \cos\frac{5}{2} = 179{,}8\ daN$$

Los esfuerzos longitudinal y transversal correspondientes al conductor de tierra son:

$$F_{Tt} = \left(T_{Ht} + 0{,}92 \cdot T_{Ht}\right) \cdot sen\frac{\alpha}{2} = 1{,}92 \cdot T_{Ht} \cdot sen\frac{\alpha}{2} = 1{,}92 \cdot 1495 \cdot sen\frac{5}{2} = 125{,}2\ daN$$

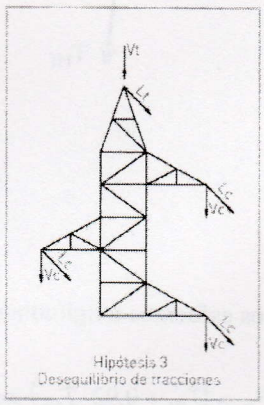
$$F_{Lt} = \left(T_{Ht} - 0{,}92 \cdot T_{Ht}\right) \cdot \cos\frac{\alpha}{2} = 0{,}08 \cdot T_{Ht} \cdot \cos\frac{\alpha}{2} = 0{,}08 \cdot 1495 \cdot \cos\frac{5}{2} = 119{,}5 \; daN$$

Para esta hipótesis, los esfuerzos calculados sobre el apoyo no son directamente comparables con el árbol de cargas especificado. Sin embargo, resulta admisible calcular un esfuerzo longitudinal equivalente, como la suma aritmética de los esfuerzos longitudinal y transversal, y que provoca la misma flexión sobre el apoyo.



El apoyo seleccionado anteriormente O-1600-19,55-T-2/1,3, cumple también con los esfuerzos de esta hipótesis.

Tipo de esfuerzo	(daN)	Cumplimiento
L_C	685	$L_C > F_{Lf.equiv}$
L_t	480	$L_t > F_{Lt.equiv}$
V_C	1300	$V_C > F_{Vf}$
V_t	1000	$V_t > F_{Vt}$



4ª hipótesis: rotura de conductores con hielo en la zona C, a –20 °C

a) Cargas verticales

Idénticas a las calculadas en la 2ª hipótesis para los conductores que no se rompen.

- Carga vertical por fase:

$$F_{Vf} = 874{,}7 \; daN$$

- Carga vertical debida al conductor de tierra:

$$F_{Vt} = 497\ daN$$

Se considera que se rompe el conductor o el cable de tierra en el vano de la derecha, ya que el gravivano resultante es mayor que si se rompe en el vano de la izquierda.

Para los conductores rotos:

$$P_{COND.FASE.r} = n_f \cdot \left(p_{pf} + p_{hf}\right) \cdot a_{gHf} = n_f \cdot \left(p_{pf} + 0{,}36 \cdot \sqrt{\phi_f}\right) \cdot a_{gHfr}$$
$$P_{COND.FASE.r} = 1 \cdot \left(0{,}957 + 0{,}36 \cdot \sqrt{21{,}8}\right) \cdot 191 = 503{,}8\ daN$$

Siendo:

$$a_{gHfr} = \frac{a_1}{2} + \left(\frac{T_{Hf}}{p_{Hf}} \cdot \frac{d_1}{a_1}\right) = \frac{240}{2} + \frac{2250}{2{,}64} \cdot \frac{20}{240} = 191\ m$$

$$P_{COND.TIERRA.r} = n_t \cdot \left(p_{pt} + p_{ht}\right) \cdot a_{gHtr} = n_t \cdot \left(p_{pt} + 0{,}36 \cdot \sqrt{\phi_t}\right) \cdot a_{gHtr}$$
$$P_{COND.TIERRA.r} = 1 \cdot \left(0{,}391 + 0{,}36 \cdot \sqrt{9}\right) \cdot 204{,}7 = 301{,}1\ daN$$

Siendo

$$a_{gHtr} = \frac{a_1}{2} + \left(\frac{T_{Ht}}{p_{Ht}} \cdot \frac{d_1}{a_1}\right) = \frac{240}{2} + \frac{1495}{1{,}47} \cdot \frac{20}{240} = 204{,}7\ m$$

Total cargas verticales:

- Carga vertical por fase:

$$F_{Vf} = 874{,}7\ daN$$

- Carga vertical debida al conductor de tierra:

$$F_{Vt} = 497\ daN$$

- Carga vertical por fase del cable roto:

$$F_{Vfr} = P_{COND.FASE.r} + P_{CAD} = 503{,}8 + 20{,}6 = 524{,}4\ daN$$

- Carga vertical debida al conductor de tierra roto:

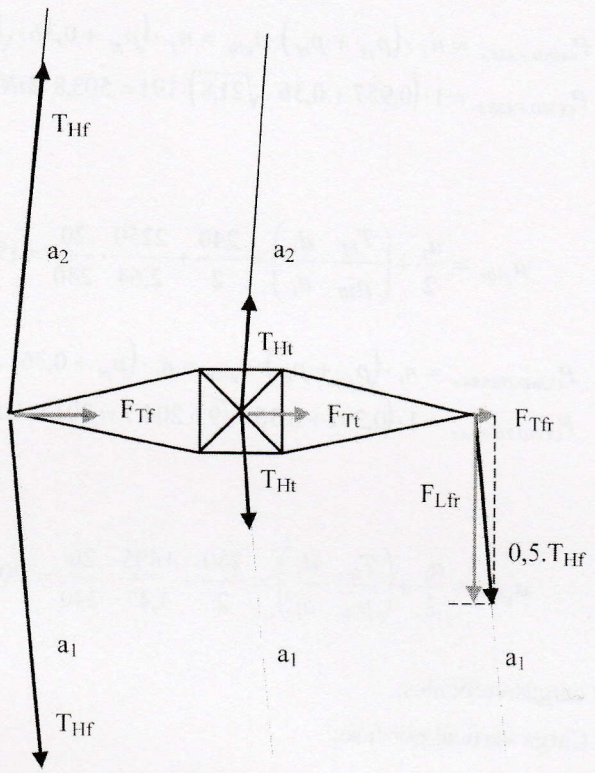
$$F_{Vtr} = P_{COND.TIERRA.r} = 301{,}1\ daN$$

b) Cargas transversales y longitudinales debidas a la resultante de ángulo (Aptdo. 3.1.6. ITC-LAT 07) y rotura del conductor (Aptdo. 3.1.5.1. ITC-LAT 07)

Se considera la rotura de un solo conductor de fase o conductor de tierra.

b-1) Caso de rotura del conductor de fase

Se considera la rotura de un solo conductor de fase, con una reducción del 50% de la tracción del conductor roto por ser una línea simplex, debido al desvío de la cadena de aisladores cuando se produce la rotura del conductor.



El esfuerzo transversal debido al conductor de fase roto, vale:

$$F_{Tfr} = 0{,}5 \cdot T_{Hf} \cdot sen\frac{\alpha}{2} = 0{,}5 \cdot 2250 \cdot sen\frac{5}{2} = 49{,}1\ daN$$

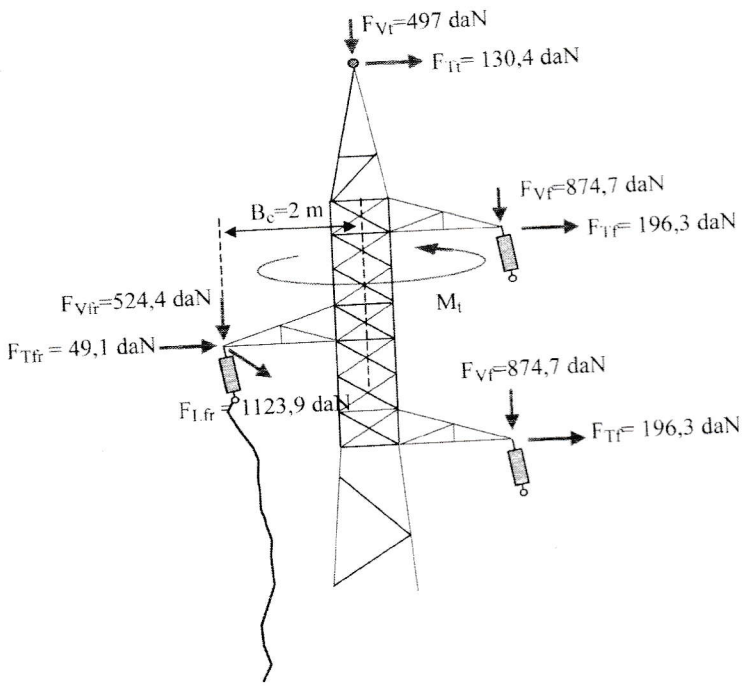
El esfuerzo longitudinal debido al conductor de fase roto, vale:

$$F_{Lfr} = 0{,}5 \cdot T_{Hf} \cdot \cos\frac{\alpha}{2} = 0{,}5 \cdot 2250 \cdot \cos\frac{5}{2} = 1123{,}9\ daN$$

Este esfuerzo longitudinal provoca sobre el apoyo un momento torsor de valor:

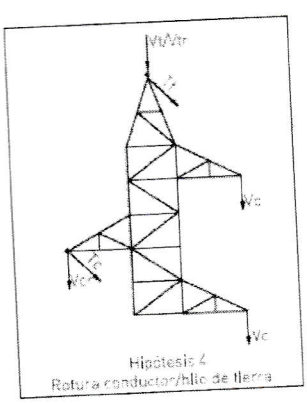
$$M_t = F_{Lfr} . B_c = 1123{,}9 \cdot 2 = 2248\ daN \cdot m$$

Los esfuerzos a los que queda sometido el apoyo se muestran en la figura siguiente:



Para el apoyo seleccionado anteriormente, O-1600-19,55-T-2/1,3, los esfuerzos especificados, que se muestran a continuación, no incluyen el efecto combinado de la torsión, M_t, con el esfuerzo transversal F_{Tf}, al no incluirse este último.

Tipo de esfuerzo	(daN)
T_c	2000
V_{cr}	700
V_c	1300
V_t	1000

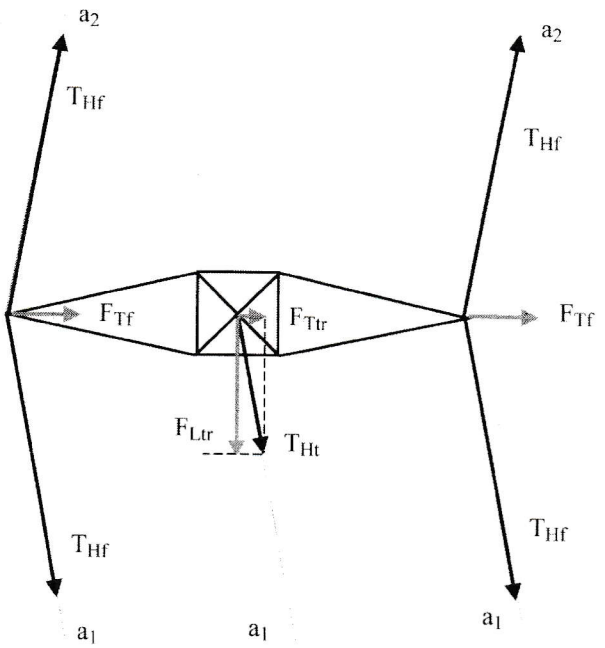


Para comprobar si un apoyo es capaz de soportar la acción combinada de los esfuerzos transversales y del par torsor, los fabricantes deben facilitar esta información,

por ejemplo, mediante gráficos o tablas tal y como se explicó al estudiar el apoyo de amarre en ángulo.

b-2) Caso de rotura del conductor de tierra

Se considera la rotura del conductor de tierra sin reducción alguna de la tracción.



El esfuerzo transversal debido al conductor de tierra roto, vale:

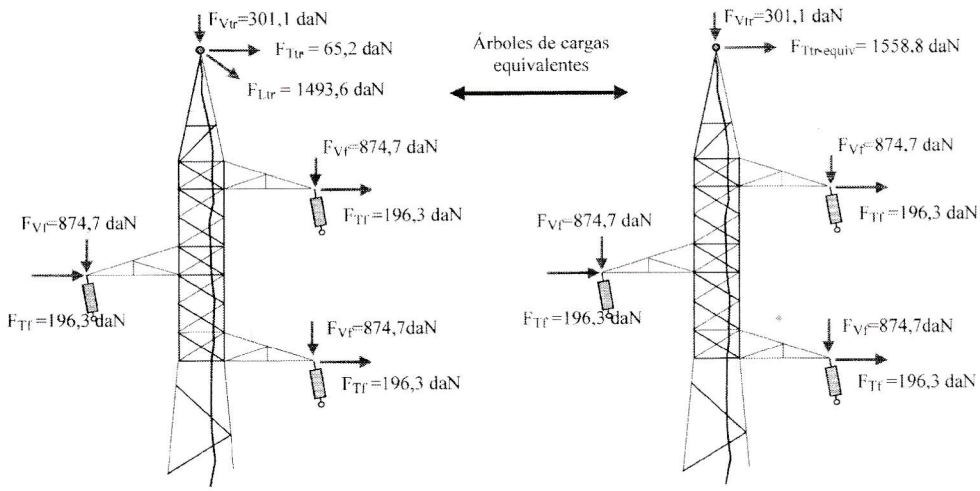
$$F_{Ttr} = T_{Ht} \cdot sen\frac{\alpha}{2} = 1495 \cdot sen\frac{5}{2} = 65{,}2\ daN$$

El esfuerzo longitudinal debido al conductor de fase roto, vale:

$$F_{Ltr} = T_{Ht} \cdot \cos\frac{\alpha}{2} = 1495 \cdot \cos\frac{5}{2} = 1493{,}6\ daN$$

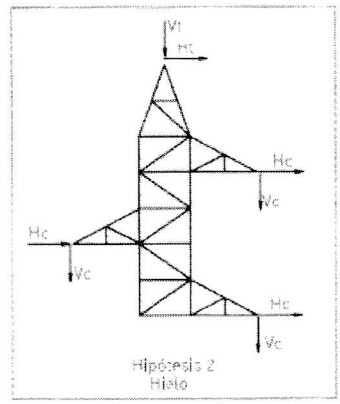
Para esta hipótesis, los esfuerzos calculados sobre el apoyo, no son directamente comparables con el árbol de cargas especificado. Sin embargo, resulta admisible calcular un esfuerzo longitudinal equivalente para el cable de tierra,

como la suma aritmética de los esfuerzos longitudinal y transversal y que provoca la misma flexión sobre el apoyo, con objeto de compararlos con los especificados por el fabricante para la 2ª hipótesis. Los esfuerzos a los que queda sometido el apoyo se muestran en la figura siguiente:



El apoyo seleccionado anteriormente, O-1600-19,55-T-2/1,3 no cumple con los esfuerzos solicitados y es necesario seleccionar el apoyo O-600-19,55-T-2/1,3, cuyos esfuerzos especificados para la 2ª hipótesis se indican a continuación:

Tipo de esfuerzo	(daN)	Cumplimiento
H_C	1550	$H_C > F_{Tf}$
H_t	1550	$H_t \approx F_{Tt}$ (*)
V_C	1300	$V_C > F_{Vf}$
V_t	1000	$V_t > F_{Vt}$



(*) Aunque el esfuerzo calculado es ligeramente superior al admisible, se considera válido ya que la diferencia entre ambos en tan solo del 0,6%.

3.10. EJEMPLO DE CÁLCULO DE APOYOS EN LÍNEA DE AÉREA DE CATEGORÍA ESPECIAL

Tensión nominal, U_n = 220 kV, doble circuito dúplex y emplazada en la zona B.

Características del conductor de fase utilizado:

- Denominación: 242-AL1/39-ST1A (LA-280).
- Sección, S = 281,1 mm^2.
- Diámetro, Φ_f = 21,8 mm.
- Peso propio, p_{pf} = 0,957 daN/m.
- Módulo de elasticidad, E = 7500 daN/mm^2.
- Coeficiente de dilatación, $\alpha = 18{,}9 \cdot 10^{-6}$ °C^{-1}.
- Carga de rotura, σ_{rot} = 8489 daN.

- Peso con sobrecarga de viento del conductor de fase. Por ser de categoría especial el viento será de 140 km/h.

$$p_{Vf} = \sqrt{p_{pf}^2 + \left(q \cdot \phi_f \cdot 10^{-3}\right)^2} = \sqrt{0{,}957^2 + \left[50 \cdot \left(\frac{140}{120}\right)^2 \cdot 21{,}8.10^{-3}\right]^2} = 1{,}765\ daN/m$$

- Peso con sobrecarga de hielo del conductor de fase.

$$p_{Hf} = p_{pf} + 0{,}18 \cdot \sqrt{\phi_f} = 0{,}957 + 0{,}18 \cdot \sqrt{21{,}8} = 1{,}797\ daN/m$$

- Peso con sobrecarga de hielo y viento de 60 km/h, del conductor de fase.

$$p_{HVf} = \sqrt{\left(p_{pf} + 0{,}18 \cdot \sqrt{\phi_f}\right)^2 + \left[q \cdot \left(\phi_f + 2 \cdot e_f\right) \cdot 10^{-3}\right]^2}$$

$$p_{HVf} = \sqrt{\left(0{,}957 + 0{,}18 \cdot \sqrt{21{,}8}\right)^2 + \left[50 \cdot \left(\frac{60}{120}\right)^2 \cdot (21{,}8 + 2 \cdot 10{,}9) \cdot 10^{-3}\right]^2} = 1{,}878\ daN/m,$$

donde el espesor del manguito de hielo se calcula como:

$$e_f = -\frac{\phi_f}{2} + \sqrt{\left(\frac{\phi_f}{2}\right)^2 + \frac{240 \cdot \sqrt{\phi_f}}{\pi}} = -\frac{21{,}8}{2} + \sqrt{\left(\frac{21{,}8}{2}\right)^2 + \frac{240 \cdot \sqrt{21{,}8}}{\pi}} = 10{,}91\ mm$$

Características del conductor de tierra utilizado:

- Denominación: OPGW 2...48.
- Sección, S = 106,21 mm^2.
- Diámetro, Φ_t = 14,68 mm.
- Peso propio, p_{pt} = 0,529 daN/m.
- Módulo de elasticidad, E = 10964 daN/mm^2.
- Coeficiente de dilatación, $\alpha = 15{,}76 \cdot 10^{6}$ °C^{-1}.

- Carga de rotura, $\sigma_{rot} = 7827$ daN.
- Peso con sobrecarga de viento de 140km/h del conductor de tierra:

$$p_{Vt} = \sqrt{p_{pt}^2 + \left(q \cdot \phi_t \cdot 10^{-3}\right)^2} = \sqrt{0{,}529^2 + \left[60 \cdot \left(\frac{140}{120}\right)^2 \cdot 14{,}68 \cdot 10^{-3}\right]^2} = 1{,}310\ daN/m$$

- Peso con sobrecarga de hielo del conductor de tierra.

$$p_{Ht} = p_{pt} + 0{,}18 \cdot \sqrt{\phi_t} = 0{,}529 + 0{,}18 \cdot \sqrt{14{,}68} = 1{,}219\ daN/m$$

- Peso con sobrecarga de hielo y viento de 60 km/h, del conductor de tierra.

$$p_{HVt} = \sqrt{\left(p_{pt} + 0{,}18 \cdot \sqrt{\phi_t}\right)^2 + \left[q.(\phi_t + 2 \cdot e_t) \cdot 10^{-3}\right]^2} =$$

$$p_{HVt} = \sqrt{\left(0{,}529 + 0{,}18 \cdot \sqrt{14{,}68}\right)^2 + \left[60 \cdot \left(\frac{60}{120}\right)^2 \cdot (14{,}68 + 2 \cdot 11{,}28) \cdot 10^{-3}\right]^2} = 1{,}341\ daN/m$$

donde el espesor del manguito de hielo se calcula como:

$$e_t = -\frac{\phi_t}{2} + \sqrt{\left(\frac{\phi_t}{2}\right)^2 + \frac{240 \cdot \sqrt{\phi_t}}{\pi}} = -\frac{14{,}68}{2} + \sqrt{\left(\frac{14{,}68}{2}\right)^2 + \frac{240 \cdot \sqrt{14{,}68}}{\pi}} = 11{,}28\ mm$$

Datos obtenidos del cálculo mecánico de los conductores

Se van a estudiar los apoyos pertenecientes a tres cantones de la línea con vanos de regulación de 300, 320 y 340 m. Según la especificación de la bibliografía [1], se han obtenido las tracciones y flechas siguientes:

Para el conductor de fase:

- CHS admisible a –5 °C del 23%.
- EDS admisible a 15 °C del 21%.

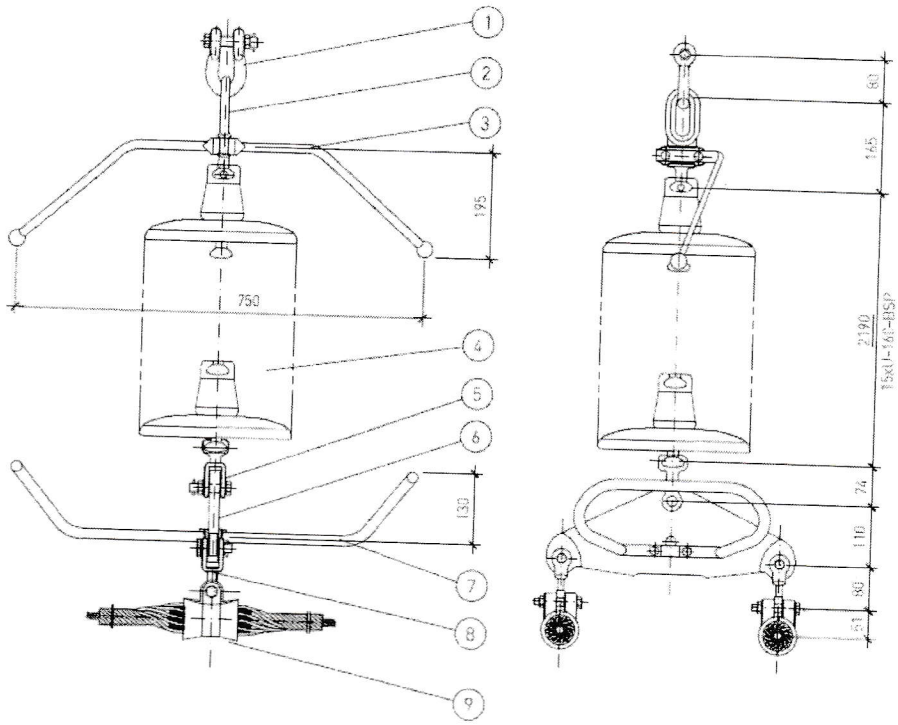
Vano de regulación(m)	Tracción máxima (daN)		Tracción (daN)	Flecha máxima (m)		
	–15°C + hielo + viento de 60 km/h	–10 °C +viento de 140 km/h	–10 °C con presión de viento mitad	15°C +viento	0°C +hielo	85 °C
300	3191	2997	2209	7,02	6,98	8,74
320	3231	3034	2209	7,85	7,82	9,62
340	3267	3070	2212	8,72	8,70	10,54

Para el conductor de tierra:

- CHS admisible a –5 °C del 19%.
- EDS admisible a 15 °C del 16%.

Vano de regulación (m)	Tracción máxima (daN)		Tracción (daN)	Flecha máxima (m)		
	–15°C + hielo + viento de 60 km/h	–10 °C +viento de 140 km/h	–10 °C con presión de viento mitad	15°C +viento	0°C +hielo	85 °C
300	2150	2085	1407	7,09	7,12	7,88
320	2150	2086	1373	8,06	8,10	8,87
340	2150	2088	1346	9,09	9,13	9,92

Cadena de aisladores de la suspensión utilizada

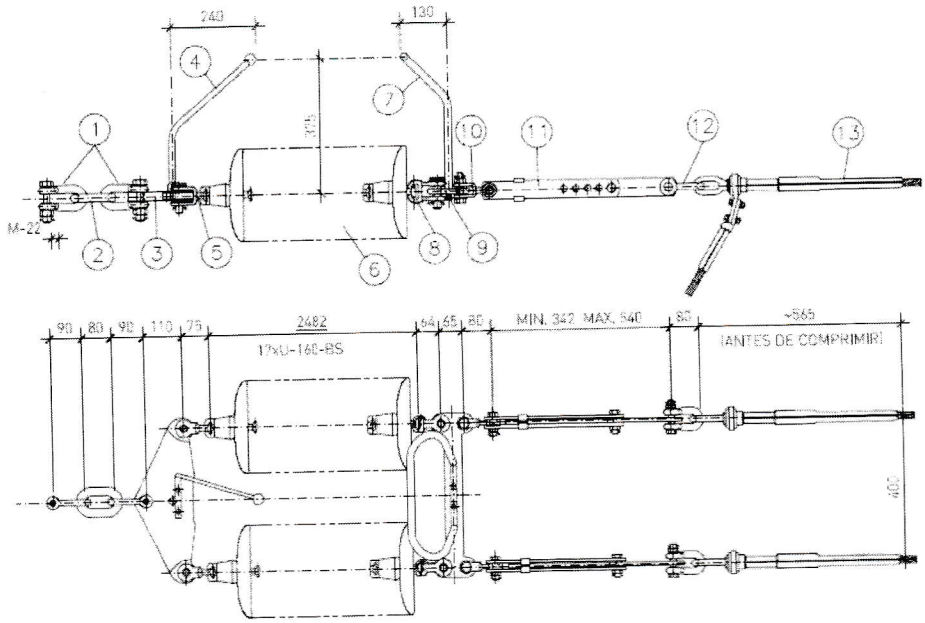


1. Grillete recto.
2. Anilla bola.
3. Descargador.
4. Aislador de vidrio.
5. Rótula horquilla.
6. Yugo triangular.
7. Raqueta de suspensión.
8. Horquilla revirada.
9. Grapa de suspensión armada.

- Cadena de suspensión: 15×U-160-BSP.
- Peso: 159 kg.
- Diámetro, ϕ_{CAD} = 0,330 m.
- Longitud, $L_{cad} \approx$ 2,75 m.

Cadena de aisladores de amarre utilizada

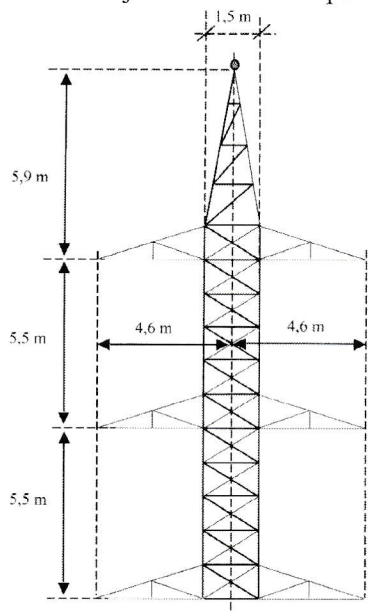
- Cadena de amarre: 2×17×U-160-BS.
- Peso: 242 kg.
- Diámetro, ϕ_{CAD} =0,280 m.
- Longitud, $L_{cad} \approx$ 4,32 m.



1. Grillete recto.	8. Rótula de horquilla.
2. Eslabón.	9. Yugo separador.
3. Yugo triangular.	10. Horquilla revirada.
4. Descargador.	11. Tensor de corredera.
5. Horquilla bola.	12. Grillete recto.
6. Aislador de vidrio.	13. Grapa de amarre de compresión.
7. Raqueta de amarre.	

Apoyos y armados utilizados

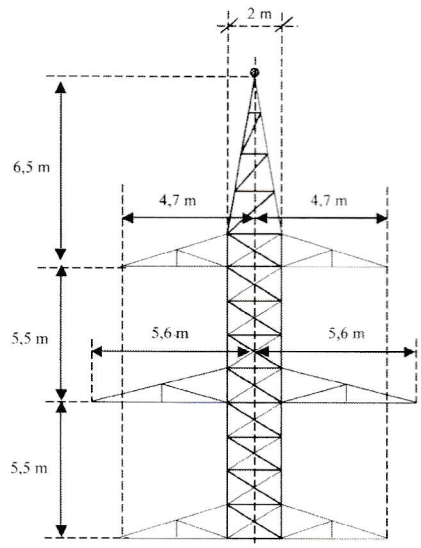
- Apoyo de suspensión en alineación y ángulo ($\leq 5^{o}$), amarre en alineación y anclaje en alineación: tipo D con armado E-4,6/5,5-T



Serie de alturas libres disponibles (medidas entre la cruceta inferior y el terreno):

18,00 –21,00 –24,00 –27,00 –30,00 y 33,00 m.

- Apoyo de amarre en ángulo, anclaje en ángulo y fin de línea: tipo T, con armado E-4,7/5,5-T



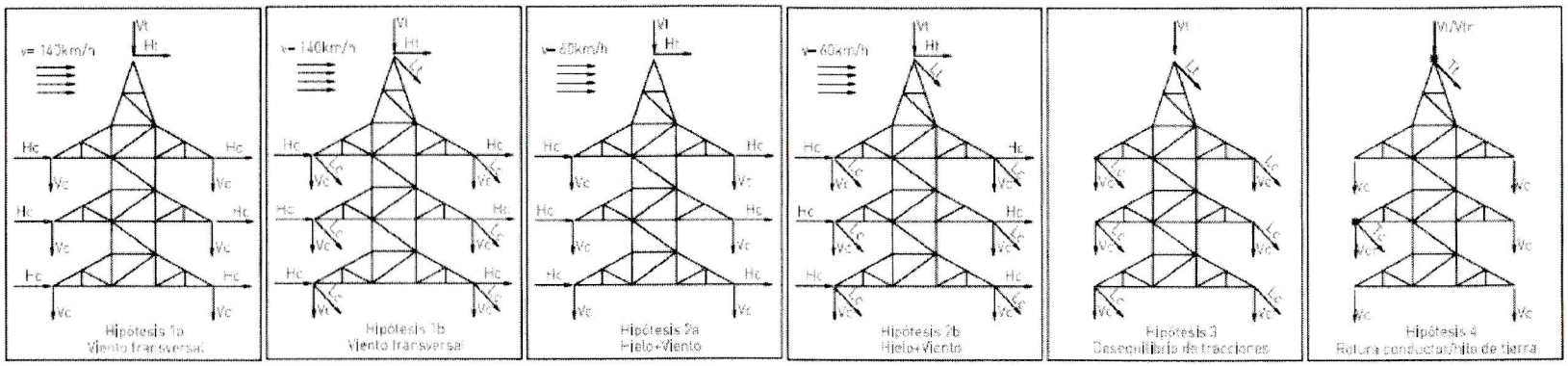
Serie de alturas libres disponibles (medidas entre la cruceta inferior y el terreno):

15,00 –20,00 –25,00 –30,00 y 35,00 m.

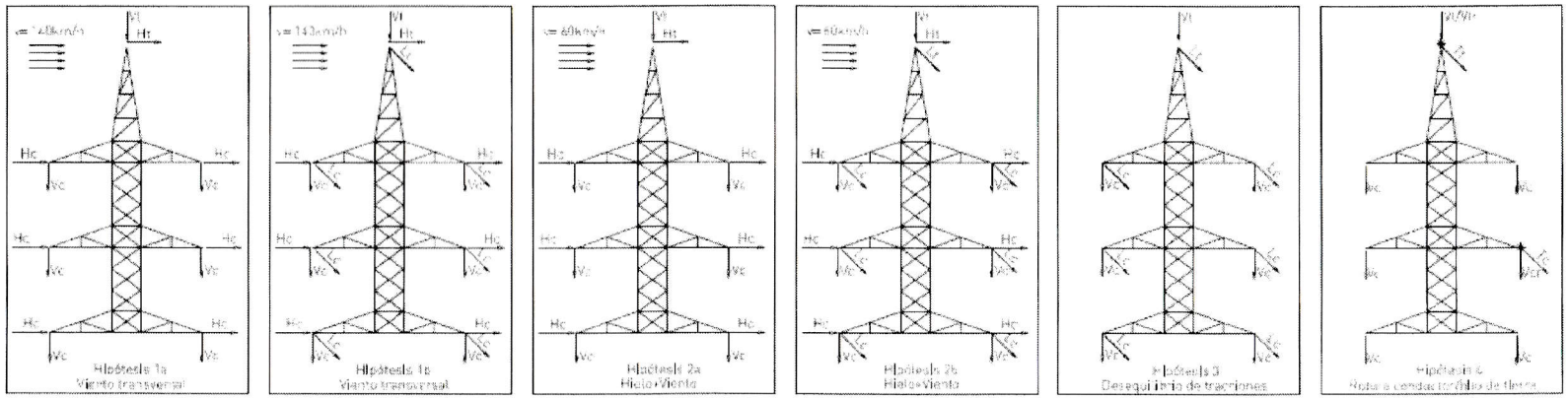
A continuación se especifican los esfuerzos soportados en los puntos de fijación de los conductores, para cada uno de los dos tipos de apoyos y para cada una de las hipótesis reglamentarias, de forma similar a cómo lo hacen los fabricantes en sus catálogos técnicos. En las dos tablas siguientes, cada esfuerzo nominal caracteriza un tipo de apoyo que se fabrica con diferentes alturas.

Símbolos utilizados para los árboles de carga

- Apoyo tipo D con armado E-4,6/5,5.



- Apoyo tipo T con armado E-4,7/5,5-T



Esfuerzos soportados por los apoyos

APOYOS METÁLICOS DE CELOSÍA TIPO D CON ARMADO E-4,6/5,5-T

DENOMINACION	PESO APROX. (kg)	ALTURA A (m) [3]	Esfuerzo Nominal (daN)	ESFUERZOS (daN) [1]																											
				Hipótesis 1a Viento a 140 km/h C.S.=1,5				Hipótesis 1b Viento a 140 km/h C.S.=1,5						Hipótesis 2a Hielo+Viento 60 km/h C.S.=1,5				Hipótesis 2b Hielo+Viento 60 km/h C.S.=1,5						Hipótesis 3. Desequilibrio de tracciones C.S.=1,2				Hipótesis 4a Rotura de conductor C.S.=1,2				Hipótesis 4b Rotura cable tierra C.S.=1,2		
				Hc	Ht	Vc	Vt	Hc	Ht	Lc	Lt	Vc	Vt	Hc	Ht	Vc	Vt	Hc	Ht	Lc	Lt	Vc	Vt	Lc	Lt	Vc	Vt	Tc	Vcr	Vc	Vt	Tt	Vtr	Vc
D-4900-18,00-E-4,6/5,5-T	4.187	18,00																															
D-4900-21,00-E-4,6/5,5-T	4.725	21,00																															
D-4900-24,00-E-4,6/5,5-T	5.117	24,00	F=4950	610	365	1.500	500	210	165	400	200	1.500	500	680	410	2.200	1.000	210	130	500	300	2.000	1.000	940	665	2.500	1.000	2.300	1.750	2.500	1.000	2.200	700	2.500
D-4900-27,00-E-4,6/5,5-T	5.729	27,00																															
D-4900-30,00-E-4,6/5,5-T	6.141	30,00																															
D-4900-33,00-E-4,6/5,5-T	6.890	33,00																															
D-6900-18,00-E-4,6/5,5-T	4.427	18,00																															
D-6900-21,00-E-4,6/5,5-T	5.051	21,00																															
D-6900-24,00-E-4,6/5,5-T	5.480	24,00	F=6900	940	565	1.500	500	340	215	600	350	1.500	500	1.070	640	2.500	1.000	220	140	850	500	2.000	1.000	1.405	845	2.500	1.000	2.300	1.750	2.500	1.000	2.500	700	2.500
D-6900-27,00-E-4,6/5,5-T	6.133	27,00																															
D-6900-30,00-E-4,6/5,5-T	6.594	30,00																															
D-6900-33,00-E-4,6/5,5-T	7.383	33,00																															
D-11200-18,00-E-4,6/5,5-T	5.996	18,00																															
D-11200-21,00-E-4,6/5,5-T	6.683	21,00																															
D-11200-24,00-E-4,6/5,5-T	7.186	24,00	F=11220	1.550	930	2.000	500	450	330	1.100	600	2.000	500	1.740	1.055	2.500	1.500	250	150	1.600	900	2.000	1.000	2.345	1.405	2.500	1.000	4.150	1.960	2.500	1.000	3.000	700	2.500
D-11200-27,00-E-4,6/5,5-T	7.934	27,00																															
D-11200-30,00-E-4,6/5,5-T	8.462	30,00																															
D-11200-33,00-E-4,6/5,5-T	9.372	33,00																															
D-18300-18,00-E-4,6/5,5-T	7.018	18,00																															
D-18300-21,00-E-4,6/5,5-T	7.857	21,00																															
D-18300-24,00-E-4,6/5,5-T	8.478	24,00	F=18300	2.540	1.530	2.000	500	540	430	2.000	1.100	2.000	500	2.720	1.630	2.500	1.000	300	200	2.300	1.700	2.000	1.000	3.250	2.405	2.500	1.000	4.150	1.960	2.500	1.000	3.000	700	2.500
D-18300-27,00-E-4,6/5,5-T	9.376	27,00																															
D-18300-30,00-E-4,6/5,5-T	10.024	30,00																															
D-18300-33,00-E-4,6/5,5-T	11.033	33,00																															
D-27000-18,00-E-4,6/5,5-T	8.758	18,00																															
D-27000-21,00-E-4,6/5,5-T	9.797	21,00																															
D-27000-24,00-E-4,6/5,5-T	10.539	24,00	F=27000	3.750	2.255	2.000	500	760	455	3.000	1.800	2.000	500	4.000	2.300	2.800	1.000	400	200	3.600	2.100	2.000	1.000	5.125	2.935	2.500	1.000	5.150	1.960	2.800	1.000	3.000	700	2.800
D-27000-27,00-E-4,6/5,5-T	11.644	27,00																															
D-27000-30,00-E-4,6/5,5-T	12.434	30,00																															
D-27000-33,00-E-4,6/5,5-T	13.630	33,00																															

APOYOS METÁLICOS DE CELOSÍA TIPO T CON ARMADO E-4,7/5,5-T

DENOMINACIÓN	PESO APROX [kg]	ALTURA A [m] [3]	Esfuerzo Nominal [daN]	ESFUERZOS [daN] [1]																											
				Hipótesis 1a Viento a 140 km/h C.S.=1,5				Hipótesis 1b Viento a 140 km/h C.S.=1,5						Hipótesis 2a Hielo+Viento 60km/h C.S.=1,5				Hipótesis 2b Hielo+Viento 60km/h C.S.=1,5						Hipótesis 3. Desequilibrio de tracciones C.S.=1,2				Hipótesis 4a Rotura de conductor C.S.=1,2				Hipótesis 4b Rotura cable tierra C.S.=1,2		
				Hc	Ht	Vc	Vt	Hc	Ht	Lc	Lt	Vc	Vt	Hc	Ht	Vc	Vt	Hc	Ht	Lc	Lt	Vc	Vt	Lc	Lt	Vc	Vt	Tc	Vcr	Vc	Vt	Tt	Vtr	Vc
T-39300-15,00-E-4,7/5,5-T	10.158	15,00																															
T-39300-20,00-E-4,7/5,5-T	11.812	20,00																															
T-39300-25,00-E-4,7/5,5-T	13.690	25,00	F=39.300	5.750	2.800	2.000	700	1.000	700	4.750	2.100	2.000	700	5.950	2.900	3.000	1.000	1.200	800	4.750	2.100	3.000	1.000	7.500	3.750	3.000	1.000	6.400	2.000	3.000	1.000	3.750	700	3.000
T-39300-30,00-E-4,7/5,5-T	15.752	30,00																															
T-39300-35,00-E-4,7/5,5-T	17.809	35,00																															
T-62400-15,00-E-4,7/5,5-T	15.240	15,00																															
T-62400-20,00-E-4,7/5,5-T	17.950	20,00																															
T-62400-25,00-E-4,7/5,5-T	20.850	25,00	F=62.400	8.900	4.400	2.000	1.000	1.900	1.400	7.000	3.000	2.000	700	9.300	4.200	3.650	1.500	600	500	6.800	3.300	3.650	1.500	11.600	5.100	3.650	1.500	11.600	3.650	3.650	1.500	8.800	1.500	3.650
T-62400-30,00-E-4,7/5,5-T	24.050	30,00																															
T-62400-35,00-E-4,7/5,5-T	27.040	35,00																															

3.10.1. Comprobación de las dimensiones de los apoyos a utilizar

Antes de proceder al cálculo mecánico de los apoyos es necesario comprobar que los apoyos y armados propuestos en el enunciado satisfacen las distancias de seguridad reglamentarias, tanto internas como externas, así como seleccionar la altura libre de los apoyos a utilizar. En este ejemplo se considerará que la línea no tiene ningún vano de longitud superior a 340 m.

3.10.1.1. Distancia entre conductores

La separación mínima entre los conductores de fase de un mismo circuito se calcula aplicando la fórmula siguiente para tres condiciones distintas: viento, hielo y temperatura elevada. La distancia obtenida para la condición de viento servirá para comprobar la separación horizontal entre conductores, mientras que la distancia máxima de las condiciones de hielo y temperatura servirá para calcular la separación vertical.

$$D = K \cdot \sqrt{F + L_{cad}} + K' \cdot D_{pp}$$

donde:

K = coeficiente que depende de la oscilación de los conductores con el viento.

K' = coeficiente que depende de la tensión nominal de la línea, $K' = 0{,}85$ para líneas de categoría especial.

F = flecha máxima, en metros, para el vano de mayor longitud.

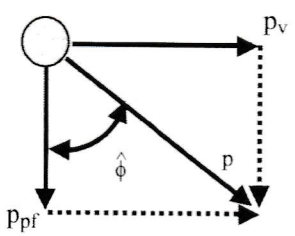
L_{cad} = longitud en metros de la cadena de suspensión. $L = 2{,}75$ m.

D_{pp} = distancia mínima aérea especificada para prevenir una descarga disruptiva entre conductores de fase durante sobretensiones de frente lento o rápido.

Los valores de D_{pp} se indican en el Apartado 5.2 en función de la tensión más elevada de la línea. Para una línea de 220 kV, $D_{pp} = 2$ m.

D = separación entre conductores de fase del mismo circuito o circuitos distintos en metros.

a) Distancia con viento



$$p_{pf} = 0{,}957 \ daN/m$$

$$p_V = q \cdot \phi_f \cdot 10^{-3} = 50 \cdot 21{,}8 \cdot 10^{-3} = 1{,}09 \ daN/m$$

$$tg\hat{\phi} = \frac{p_V}{p_{pf}} = \frac{1{,}09}{0{,}957} = 1{,}139$$

$$\hat{\phi} = 48{,}71^{\circ},$$

de la Tabla16 del Apartado 5.4.1 de la ITC-LAT 07, se obtiene una valor de $K = 0{,}65$, ya que la tensión de la línea es superior a 30 kV.

La flecha máxima a considerar para la distancia entre conductores es la correspondiente a la hipótesis de viento, que para el vano de 340 m tiene un valor de:

$$F_{máx.viento} = 8{,}72 \ m$$

Para este caso, la distancia horizontal mínima entre conductores será:

$$D_{viento.vano\ 340} = 0{,}65 \cdot \sqrt{8{,}72 + 2{,}75} + 0{,}85 \cdot 2 = 3{,}9 \ m$$

La distancia entre conductores en posición vertical se obtendrá considerando la flecha máxima de entre las condiciones de hielo y temperatura elevada, sin desviación del conductor por viento, es decir, $\hat{\phi} = 0$, y por tanto, según la Tabla 16 del Apartado 5.4.1 de la ITC-LAT 07, $K = 0{,}6$.

b) Distancia con hielo

$$D_{hielo.vano\ 340} = 0{,}6 \cdot \sqrt{8{,}80 + 2{,}75} + 0{,}85 \cdot 2 = 3{,}74 \ m$$

c) Distancia con temperatura elevada

$$D_{temperatura.vano\ 340} = 0{,}6 \cdot \sqrt{10{,}54 + 2{,}75} + 0{,}85 \cdot 2 = 3{,}88 \ m$$

El armado del tipo E-4,6/5,5-T mantiene una distancia entre conductores en disposición horizontal y vertical mayor de 3,9 y 3,88 m respectivamente, y por lo tanto, satisface las condiciones reglamentarias.

Se podría hacer una comprobación similar para los armados utilizados en apoyos con cadenas de amarre que tienen una mayor separación entre conductores, tomando en la fórmula de la distancia, la longitud de la cadena, $L_{cad} = 0$, por ser cadena de amarre, con lo que resulta una distancia D inferior a la calculada y se cumplen también las distancias reglamentarias.

3.10.1.2. Altura libre de los apoyos

Para asegurar que en todo el trazado de la línea se cumplen las distancias mínimas al terreno, la altura de los apoyos se debe de comprobar mediante la utilización de las curvas de la catenaria para una flecha máxima, junto con el perfil del terreno. En este ejemplo se considerará que el perfil del terreno es llano, de modo que la altura libre de los apoyos se obtendrá sumando la longitud de la cadena de aisladores de suspensión, la flecha máxima y la altura mínima de los conductores al suelo, añadiendo un metro más de seguridad. Este margen de seguridad tiene en cuenta las imprecisiones de cálculo y la deformación plástica de los conductores a lo largo de la vida útil de la línea

$$L_{cad} = 2{,}75 \ m$$

$$f_{máx.temperatura} = 10{,}54 \ m$$

$$D_{conductor-terreno} = 5{,}3 + D_{el} = 5{,}3 + 1{,}7 = 7\ m$$

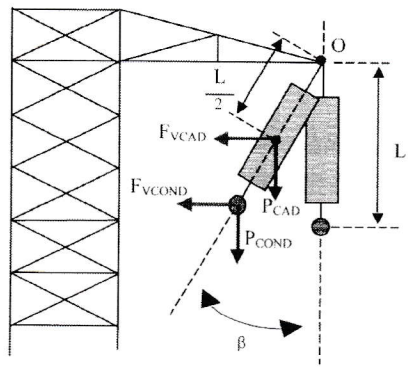
el valor de D_{el} se indica en el Apartado 5.2 de la ITC-LAT 07, en función de la tensión más elevada de la línea.

$$H_{libre} = L_{cad} + f_{máx.temperatura} + D_{conductor-terreno} + 1 = 2{,}75 + 10{,}54 + 7 + 1 = 21{,}29\ m$$

De entre la serie de apoyos tipo D, se seleccionará una altura libre mayor o igual de 24 m, y para los apoyos tipo T, de 25 m.

3.10.1.3. Distancia entre los conductores de fase y las partes puestas a tierra

A continuación se calcula, a modo de ejemplo, la desviación de la cadena de aisladores en un apoyo de alineación entre dos vanos a nivel de 340 m. El cálculo de las distancias para cada uno de los apoyos de la línea se debería realizar de forma detallada, tal y como se ha indicado en el Apartado 3.5.



Eolovano: $a_e = \dfrac{a_1 + a_2}{2} = \dfrac{340 + 340}{2} = 340\ m$

Tracción a –10 °C + viento mitad: $T_{V/2} = 2212\ daN$

Gravivano con viento mitad: al ser vanos a nivel coincidirá con el eolovano.

$$a_{gV/2} = \frac{a_1 + a_2}{2} + \frac{T_{V/2}}{p_{f/2}} \cdot \left(\frac{d_1}{a_1} - \frac{d_2}{a_2} \right) = \frac{340 + 340}{2} + \frac{2212}{1{,}101} \cdot \left(\frac{0}{340} - \frac{0}{340} \right) = 340\ m$$

$$p_{f/2} = \sqrt{p_{pf}^2 + \left(\frac{q}{2} \cdot \phi \right)^2} = \sqrt{0{,}957^2 + \left(\frac{50}{2} \cdot 21{,}8 \cdot 10^{-3} \right)^2} = 1{,}101\ daN/m$$

siendo $p_{f/2}$, el peso del conductor de fase con una sobrecarga debida a una presión de viento mitad a la correspondiente a 120 km/h.

- Peso de los conductores:

$$P_{COND} = 2 \cdot p_{pf} \cdot a_{gV/2} = 2 \cdot 0{,}957 \cdot 340 = 650{,}76\ daN$$

- Peso de la cadena de aisladores:

$$P_{CAD} = 156 \ daN$$

- Viento sobre la cadena de aisladores:

$$F_{VCAD} = q_{V/2} \cdot \phi_{CAD} \cdot L_{cad} = \frac{70}{2} \cdot 0{,}330 \cdot 2{,}75 = 31{,}76 \ daN$$

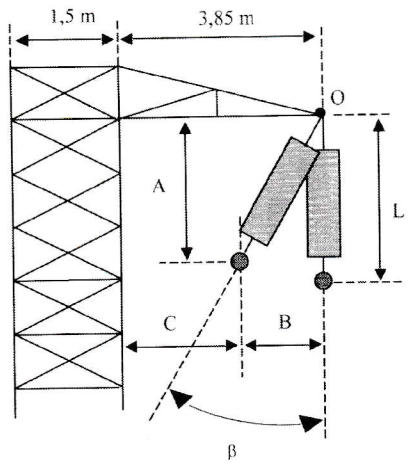
- Viento sobre los conductores:

$$F_{VCOND} = 2 \cdot q_{V/2} \cdot \phi \cdot 10^{-3} \cdot a_c = 2 \cdot \frac{50}{2} \cdot 21{,}8 \cdot 10^{-3} \cdot 340 = 370{,}6 \ daN$$

El ángulo de desviación de la cadena tiene un valor:

$$\beta = arc.tg\left(\frac{\frac{F_{VCAD}}{2} + F_{VCOND}}{P_{COND} + \frac{P_{CAD}}{2}}\right) = arc.tg\left(\frac{\frac{31{,}76}{2} + 370{,}6}{650{,}76 + \frac{156}{2}}\right) = 27{,}9^{\circ}$$

La separación mínima entre los conductores y sus accesorios en tensión y los apoyos no será inferior a D_{el}, con un mínimo de 0,2 m. Para la línea de 220 kV el valor de D_{el} es de 1,7 m. Según puede observarse en la figura, las distancias del conductor al apoyo, en el caso de desviación de la cadena de aisladores, son superiores a 1,7 m; por lo tanto, se cumplen las distancias reglamentarias.



$A = L_{cad} \cdot \cos\beta = 2{,}43 \ m$

$B = L_{cad} \cdot sen\beta = 1{,}28 \ m$

$C = 3{,}85 \ m - B = 2{,}57 \ m$

$A \ y \ C > 1{,}7 \ m$

3.10.2. Cálculo mecánico de apoyos

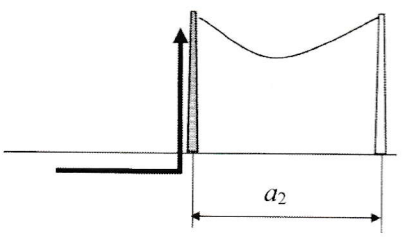
Se pretende ilustrar el cálculo mecánico de los distintos tipos de apoyos definidos en el RLAT, para lo cual se especifican en la tabla siguiente los datos de las longitudes de vanos, desniveles, ángulo de desviación de la traza y vanos de regulación, necesarios para el cálculo de algunos de los apoyos de la línea. En un proyecto real, para realizar de forma individualizada el cálculo de todos los apoyos, se utilizan habitualmente herramientas informáticas.

Datos de vanos y desniveles para los apoyos en cálculo

Tipo de apoyo	Vano anterior		Angulo de la traza	Vano posterior		Vano de regulación para el cantón o cantones anterior y posterior	
	a_1 (m)	d_1 (m)	α (°)	a_2 (m)	d_2 (m)	a_{r1} (m)	a_{r2} (m)
Principio o fin de línea	0	0	–	340	0	–	340
Amarre en alineación	340	0	–	300	50	340	300
Suspensión en alineación	310	–20	–	300	30	320	
Amarre en ángulo	340	10	55	320	–10	340	320
Anclaje en alineación	340	0	–	300	50	340	300
Anclaje en ángulo	340	10	55	320	–10	340	320
Suspensión en ángulo	310	–20	5	300	30	320	

Con objeto de comparar los esfuerzos reglamentarios a los que van a estar sometidos los apoyos con los especificados por el fabricante, se calcularán los esfuerzos verticales, transversales y longitudinales aplicados en los puntos de sujeción de los conductores.

APOYO DE PRINCIPIO DE LÍNEA



a_2 = 340 m.

Tracciones para el conductor de fase en el vano de regulación de 340 m

- Tracción a –10°C + viento de 140 km/h: T_{Vf}= 3070 daN.
- Tracción a –15°C + hielo+ viento de 60 km/h: T_{HVf}=3267 daN.

Tracciones para el conductor de tierra en el vano de regulación de 340 m

- Tracción a –10°C + viento de 140 km/h: T_{Vt}= 2088 daN.
- Tracción a –15°C + hielo+ viento de 60 km/h: T_{HVt}=2150 daN.

Por tratarse de un apoyo cuyo único vano a la derecha es un vano a nivel, el eolovano y el gravivano sobre el apoyo coinciden, para los conductores de fase y de tierra, siendo su valor:

$$a_{gV} = a_{gH} = a_e = \frac{a_2}{2} = \frac{340}{2} = 170 \ m$$

donde a_{gV} es el gravivano con viento, a_{gH} el gravivano con hielo y a_e es el eolovano.

1ª hipótesis: viento de 140 km/h, a –10 °C

a) Cargas verticales

- Peso de conductores:

$$P_{COND.FASE} = n_f \cdot p_{pf} \cdot a_{gV} = 2 \cdot 0{,}957 \cdot 170 = 325{,}38 \ daN$$

$$P_{COND.TIERRA} = n_t \cdot p_{pt} \cdot a_{gV} = 1 \cdot 0{,}529 \cdot 170 = 89{,}93 \ daN$$

- Peso de cadena de aisladores, incluidos los herrajes:

$$P_{CAD} = 242 \cdot 0{,}981 = 237{,}4 \ daN$$

Nótese que esta cadena es doble, ya que consta de un yugo triangular y de dos cadenas de aisladores, una para cada conductor del haz.

Total cargas verticales:

- Carga vertical por fase:

$$F_{Vf} = P_{COND.FASE} + P_{CAD} = 325{,}38 + 237{,}4 = 562{,}78 \ daN$$

- Carga vertical debida al conductor de tierra:

$$F_{Vt} = P_{COND.TIERRA} = 89{,}93 \ daN$$

b) Cargas transversales por viento sobre los conductores (Aptdo. 3.1.2. ITC-LAT 07)

Esfuerzo transversal debido al viento sobre el conductor de fase:

$$F_{Tf} = n_f \cdot q \cdot \phi_f \cdot 10^{-3} \cdot a_e = 2 \cdot 50 \cdot \left(\frac{140}{120}\right)^2 \cdot 21{,}8 \cdot 10^{-3} \cdot 170 = 504{,}42 \ daN$$

Esfuerzo transversal debido al viento sobre el conductor de tierra:

$$F_{Tt} = n_t \cdot q \cdot 10^{-3} \cdot \phi_t \cdot a_e = 1 \cdot 60 \cdot \left(\frac{140}{120}\right)^2 \cdot 14{,}68 \cdot 10^{-3} \cdot 170 = 203{,}8 \ daN$$

Nótese que no se ha tenido en cuenta el viento sobre la cadena de aisladores. El proyectista juzgará si su consideración supone un esfuerzo importante sobre el apoyo, sobre todo, como en este caso, al tratarse de cadena de aisladores de gran longitud y considerable diámetro.

c) Cargas longitudinales por desequilibrio de tracciones (Aptdo. 3.1.4.4. ITC-LAT 07)

En los apoyos fin de línea se considera el 100% de las tracciones unilaterales de todos los conductores.

Esfuerzo longitudinal debido a la tracción del conductor de fase:

$$F_{Lf} = n_f \cdot T_{Vf} = 2 \cdot 3070 = 6140 \ daN,$$

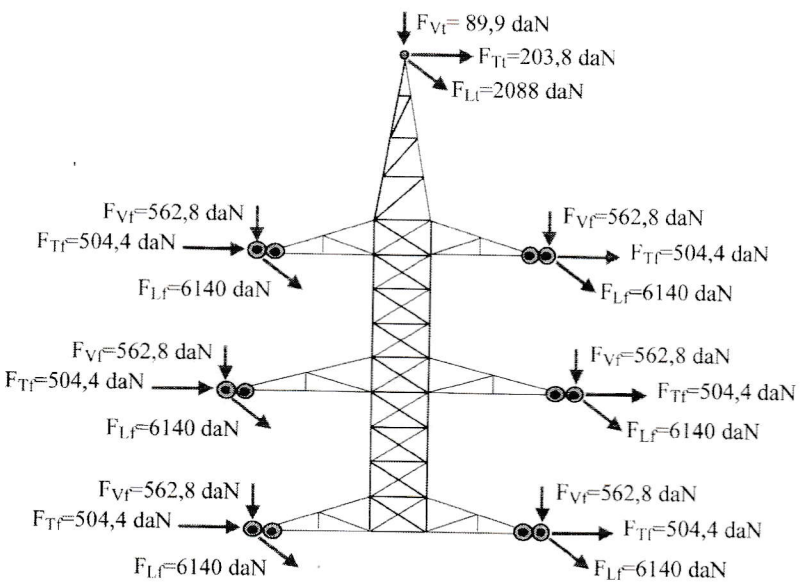
siendo T_{Vf}, la tracción del conductor de fase en el primer cantón a –10 °C, con viento de 140 km/h.

Esfuerzo longitudinal debido a la tracción del conductor de tierra:

$$F_{Lt} = n_t \cdot T_{Vt} = 1 \cdot 2088 = 2088 \ daN,$$

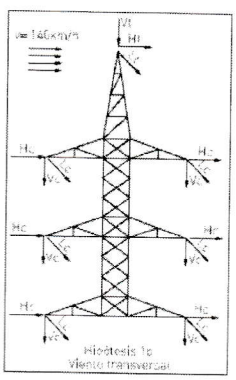
siendo T_{Vt}, la tracción del conductor de tierra en el primer cantón a –10 °C con viento de 140 km/h.

Los esfuerzos sobre el apoyo, para esta hipótesis, son:



El apoyo seleccionado para cumplir con esta hipótesis es el T-62400-25,00-E-4,7/5,5-T, cuyos esfuerzos soportados se indican a continuación:

Tipo de esfuerzo	(daN)	Cumplimiento
H_C	1900	$H_C > F_{Tf}$
H_t	1400	$H_t > F_{Tt}$
L_C	7000	$L_C > F_{Lf}$
L_t	3000	$L_t > F_{Lt}$
V_C	2000	$V_C > F_{Vf}$
V_t	700	$V_t > F_{Vt}$



2ª hipótesis: hielo en zona B y viento de 60 km/h, a –15 °C

a) Cargas verticales

- Peso de conductores:

$$P_{COND.FASE} = n_f \cdot \left(p_{pf} + p_{hf}\right) \cdot a_{gH} = n_f \cdot \left(p_{pf} + 0{,}18 \cdot \sqrt{\phi_f}\right) \cdot a_{gH}$$
$$P_{COND.FASE} = 2 \cdot \left(0{,}957 + 0{,}18 \cdot \sqrt{21{,}8}\right) \cdot 170 = 611{,}1 \ daN$$

$$P_{COND.TIERRA} = n_t \cdot \left(p_{pt} + p_{ht}\right) \cdot a_{gH} = n_t \cdot \left(p_{pt} + 0{,}18 \cdot \sqrt{\phi_t}\right) \cdot a_{gH}$$
$$P_{COND.TIERRA} = 1 \cdot \left(0{,}529 + 0{,}18 \cdot \sqrt{14{,}68}\right) \cdot 170 = 207{,}2 \ daN$$

- Peso de cadena de aisladores, incluidos los herrajes:

$$P_{CAD} = 242 \cdot 0{,}981 = 237{,}4 \ daN$$

Total cargas verticales:

- Carga vertical por fase:

$$F_{Vf} = P_{COND.FASE} + P_{CAD} = 611{,}1 + 237{,}4 = 848{,}5 \ daN$$

- Carga vertical debida al conductor de tierra:

$$F_{Vt} = P_{COND.TIERRA} = 207{,}2 \ daN$$

b) Cargas transversales, por viento sobre los conductores (Aptdo. 3.1.2. ITC-LAT 07)

Esfuerzo transversal debido al viento de 60 km/h sobre el conductor de fase:

$$F_{Tf} = n_f \cdot q \cdot \left(\phi_f + 2 \cdot e_f\right) \cdot 10^{-3} \cdot a_e = 2 \cdot 50 \cdot \left(\frac{60}{120}\right)^2 \cdot \left(21{,}8 + 2 \cdot 10{,}9\right) \cdot 10^{-3} \cdot 170 = 185{,}3 \ daN$$

Esfuerzo transversal debido al viento de 60 km/h sobre el conductor de tierra:

$$F_{Tt} = n_t \cdot q \cdot \left(\phi_t + 2 \cdot e_t\right) \cdot 10^{-3} \cdot a_e = 1 \cdot 50 \cdot \left(\frac{60}{120}\right)^2 \cdot \left(14{,}68 + 2 \cdot 11{,}28\right) \cdot 10^{-3} \cdot 170 = 79{,}1 \ daN$$

c) Cargas longitudinales por desequilibrio de tracciones (Aptdo. 3.1.4.4. ITC-LAT 07)

En los apoyos fin de línea se considera el 100% de las tracciones unilaterales de todos los conductores.

Esfuerzo longitudinal debido a la tracción del conductor de fase:

$$F_{Lf} = n_f \cdot T_{HVf} = 2 \cdot 3267 = 6534 \ daN$$

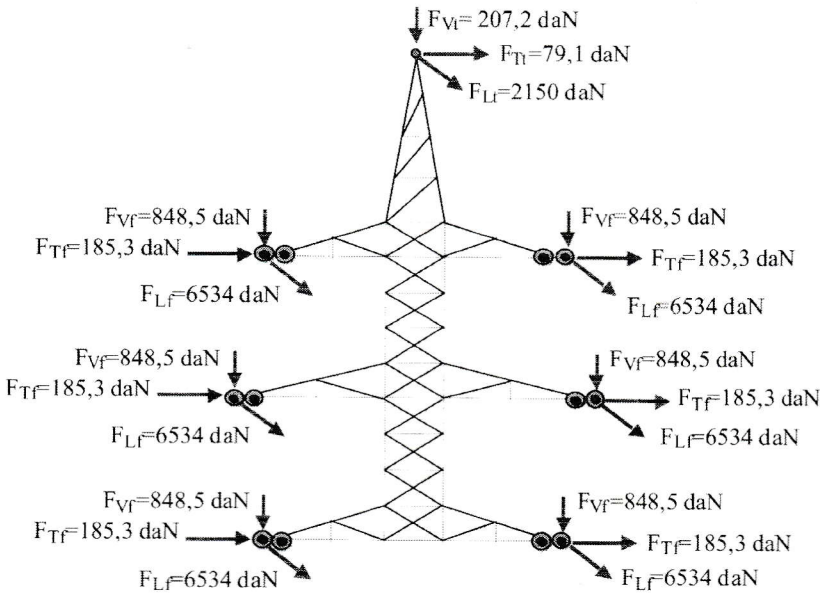
siendo T_{HVf}, la tracción del conductor de fase en el primer cantón a –15 °C con sobrecarga de hielo y viento de 60 km/h.

Esfuerzo longitudinal debido a la tracción del conductor de tierra:

$$F_{Lt} = n_t \cdot T_{HVt} = 1 \cdot 2150 = 2150 \ daN$$

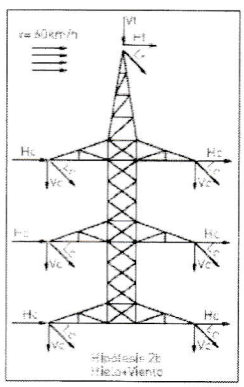
siendo T_{HVt}, la tracción del conductor de tierra en el primer cantón a –15 °C con sobrecarga de hielo y viento de 60 km/h.

Los esfuerzos sobre el apoyo, para esta hipótesis, son:



El apoyo seleccionado para la hipótesis 1ª, T-62400-25,00-E-4,7/5,5-T, cumple también los esfuerzos calculados en la hipótesis 2ª ya que:

Tipo de esfuerzo	(daN)	Cumplimiento
H_C	600	$H_C > F_{Tf}$
H_t	500	$H_t > F_{Tt}$
L_C	8800	$L_C > F_{Lf}$
L_t	3300	$L_t > F_{Lt}$
V_C	3650	$V_C > F_{Vf}$
V_t	1500	$V_t > F_{Vt}$



3ª hipótesis: desequilibrio de tracciones

Esta hipótesis no aplica al ser un apoyo de fin de línea.

4ª hipótesis: rotura de conductores con hielo en zona B y viento de 60 km/h, a –15ºC

a) Cargas verticales

Idénticas a las calculadas en la 2ª hipótesis para los conductores que no se rompen.

- Carga vertical por fase:

$$F_{Vf} = 848{,}5\ daN$$

- Carga vertical debida al conductor de tierra:

$$F_{Vt} = 207{,}2\ daN$$

Para los conductores rotos:

$$P_{COND.FASE.r} = 0\ daN$$

$$P_{COND.TIERRA.r} = 0\ daN$$

Nótese que se desprecia el peso de conductor roto que colgaría desde la cadena de aisladores hasta el suelo.

- Carga vertical por fase del cable roto:

$$F_{Vfr} = P_{COND.FASE.r} + P_{CAD} = 0 + 237{,}4 = 237{,}4\ daN$$

- Carga vertical debida al conductor de tierra roto:

$$F_{Vtr} = P_{COND.TIERRA.r} = 0\ daN$$

b) Cargas transversales, por viento sobre los conductores (Aptdo. 3.1.2. ITC-LAT 07)

No se consideran cargas transversales por viento.

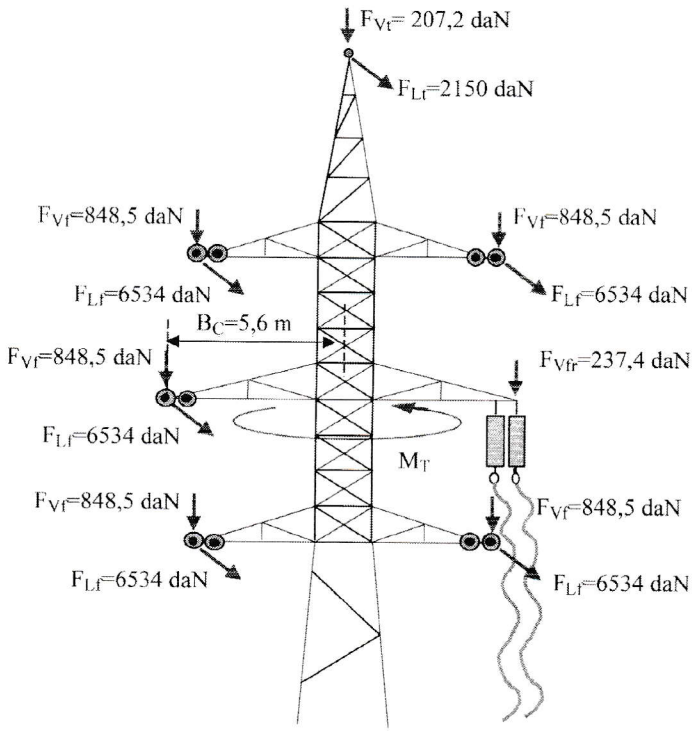
c) Cargas longitudinales por rotura de conductores (Aptdo. 3.1.5.4. ITC-LAT 07)

Se considera la rotura de los dos conductores del haz correspondientes a una fase o rotura del conductor de tierra, sin reducción alguna de su tracción en los conductores que no se rompen.

c-1) Rotura de los conductores de fase

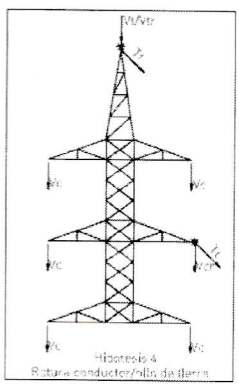
Se considera la rotura de uno de los haces correspondientes a la cruceta central, ya que al ser esta cruceta la de mayor dimensión, la rotura de conductores provoca un esfuerzo a torsión mayor sobre el apoyo. Según se muestra en la figura siguiente, el apoyo se encuentra sometido a unas cargas verticales y longitudinales, ya calculadas en la 2ª hipótesis, junto a un momento torsor, cuyo valor es:

$$M_T = F_{Lf} \cdot B_c = 2 \cdot T_{HVf} \cdot B_c = 2 \cdot 3267 \cdot 5{,}6 = 36590{,}4\ daN \cdot m$$



Para el apoyo seleccionado anteriormente, T-62400-25,00-E-4,7/5,5-T, los esfuerzos especificados que se muestran a continuación, no incluyen el efecto combinado de la torsión, M_t, con los esfuerzos longitudinales F_{Lf} y F_{Lt}, al no incluirse estos últimos.

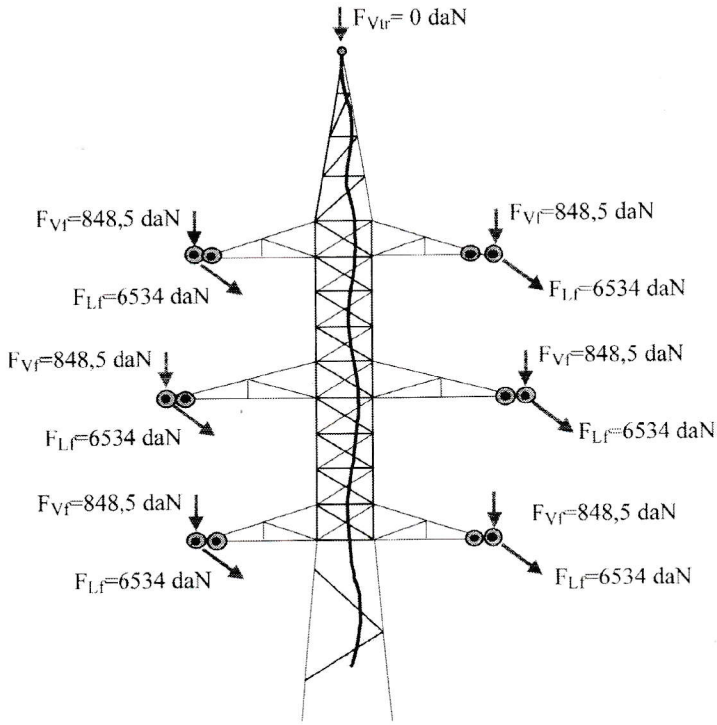
Tipo de esfuerzo	(daN)
T_C	11600
V_{Cr}	3150
V_C	3650
V_t	1500



Para comprobar si el apoyo es capaz de soportar la acción combinada de los esfuerzos longitudinales y del par torsor, los fabricantes deben facilitar esta información, por ejemplo, mediante gráficos que indiquen el par torsor soportado en función del esfuerzo útil del apoyo, tal y como se explicó en el Apartado 3.9.

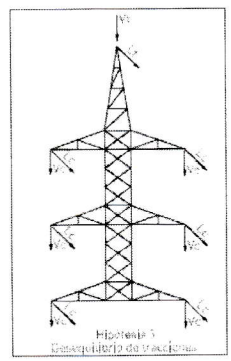
c-2) Rotura del conductor de tierra

El apoyo se encuentra sometido a unas cargas verticales y longitudinales, cuyos valores, ya calculados en la 2ª hipótesis, se indican en la figura siguiente:



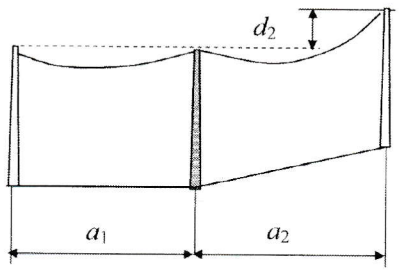
Para el apoyo seleccionado anteriormente, T-62400-25,00-E-4,7/5,5-T, los esfuerzos especificados para la 4ª hipótesis, no incluyen el efecto longitudinal F_{Lf}. Sin embargo, si que son comparables los esfuerzos soportados por este apoyo en la 3ª hipótesis, tal y como se indica a continuación.

Tipo de esfuerzo	(daN)	Cumplimiento
L_C	11600	$L_C > F_{Lf}$
L_t	6100	$L_t > 0$
V_C	3650	$V_C > F_{Vf}$
V_t	1500	$V_t > F_{Vt}$



APOYO DE AMARRE EN ALINEACIÓN

Este apoyo delimita dos cantones, el de la izquierda con un vano de regulación, de 340 metros y el de la derecha, de 300 metros.



$a_1 = 340$ m.

$d_1 = 0$ m.

$a_2 = 300$ m.

$d_2 = 50$ m.

Tracciones para el conductor de fase en el vano de regulación de 340 m

- Tracción a –10ºC + viento de 140 km/h: $T_{Vf1} = 3070$ daN.
- Tracción a –15ºC + hielo+ viento de 60 km/h: $T_{HVf1} = 3267$ daN.

Tracciones para el conductor de fase en el vano de regulación de 300 m

- Tracción a –10 ºC + viento de 140 km/h: $T_{Vf2} = 2997$ daN.
- Tracción a –15 ºC + hielo + viento de 60 km/h: $T_{HVf2} = 3191$ daN.

Tracciones para el conductor de tierra en el vano de regulación de 340 m

- Tracción a –10ºC + viento de 140 km/h: $T_{Vt1} = 2088$ daN.
- Tracción a –15ºC + hielo+ viento de 60 km/h: $T_{HVt1} = 2150$daN.

Tracciones para el conductor de tierra en el vano de regulación de 300 m

- Tracción a –10 ºC + viento de 140 km/h: $T_{Vt2} = 2085$ daN.
- Tracción a –15 ºC + hielo + viento de 60 km/h: $T_{HVt2} = 2150$ daN.

Por tratarse de un apoyo situado entre vanos a distinto nivel, el eolovano y gravivano no coinciden, siendo su valor:

Eolovano para los conductores de fase y de tierra:

$$a_e = \frac{a_1 + a_2}{2} = \frac{340 + 300}{2} = 320 \ m$$

Gravivano con viento de 140 km/h para los conductores de fase:

$$a_{gVf} = \frac{a_1 + a_2}{2} + \left(\frac{T_{Vf1}}{p_{Vf}} \cdot \frac{d_1}{a_1} - \frac{T_{Vf2}}{p_{Vf}} \cdot \frac{d_2}{a_2} \right) = 320 + \frac{3070}{1{,}765} \cdot \frac{0}{340} - \frac{2997}{1{,}765} \cdot \frac{50}{300} = 37{,}0 \ m,$$

siendo p_{vf}, el peso con sobrecarga de viento del conductor de fase.

Gravivano con viento de 140 km/h para el conductor de tierra:

$$a_{gVt} = \frac{a_1 + a_2}{2} + \left(\frac{T_{Vt1}}{p_{Vt}} \cdot \frac{d_1}{a_1} - \frac{T_{Vt2}}{p_{Vt}} \cdot \frac{d_2}{a_2} \right) = 320 + \frac{2088}{1{,}31} \cdot \frac{0}{340} - \frac{2085}{1{,}31} \cdot \frac{50}{300} = 54{,}7 \ m$$

siendo p_{Vt}, el peso con sobrecarga de viento del conductor de tierra.

Gravivano con hielo y viento de 60 km/h para los conductores de fase:

$$a_{gHVf} = \frac{a_1 + a_2}{2} + \left(\frac{T_{HVf1}}{p_{HVf}} \cdot \frac{d_1}{a_1} - \frac{T_{HVf2}}{p_{HVf}} \cdot \frac{d_2}{a_2} \right) = 320 + \frac{3267}{1{,}878} \cdot \frac{0}{340} - \frac{3191}{1{,}878} \cdot \frac{50}{300} = 36{,}8 \ m$$

siendo p_{HVf}, el peso con sobrecarga de hielo y viento del conductor de fase.

Gravivano con hielo y viento de 60 km/h para el conductor de tierra:

$$a_{gHVt} = \frac{a_1 + a_2}{2} + \left(\frac{T_{HVt1}}{p_{HVt}} \cdot \frac{d_1}{a_1} - \frac{T_{HVt2}}{p_{HVt}} \cdot \frac{d_2}{a_2} \right) = 320 + \frac{2150}{1{,}341} \cdot \frac{0}{340} - \frac{2150}{1{,}341} \cdot \frac{50}{300} = 52{,}8 \ m$$

siendo p_{HVt}, el peso con sobrecarga de hielo y viento del conductor de tierra.

1ª hipótesis: viento de 140 km/h a –10 °C

a) Cargas verticales

- Peso de conductores:

$$P_{COND.FASE} = n_f \cdot p_{pf} \cdot a_{gVf} = 2 \cdot 0{,}957 \cdot 37{,}0 = 70{,}8 \ daN$$

$$P_{COND.TIERRA} = n_t \cdot p_{pt} \cdot a_{gVt} = 1 \cdot 0{,}529 \cdot 54{,}7 = 28{,}9 \ daN$$

- Peso de cadena de aisladores incluidos los herrajes:

$$P_{CAD} = 242 \cdot 0{,}981 = 237{,}4 \ daN$$

Total cargas verticales:

- Carga vertical por fase:

$$F_{Vf} = P_{COND.FASE} + 2 \cdot P_{CAD} = 70{,}8 + 2 \cdot 237{,}4 = 545{,}6 \ daN$$

- Carga vertical debida al conductor de tierra:

$$F_{Vt} = P_{COND.TIERRA} = 28{,}9 daN$$

b) Cargas transversales, por viento sobre los conductores (Aptdo. 3.1.2. ITC-LAT 07)

Esfuerzo transversal debido al viento sobre el conductor de fase:

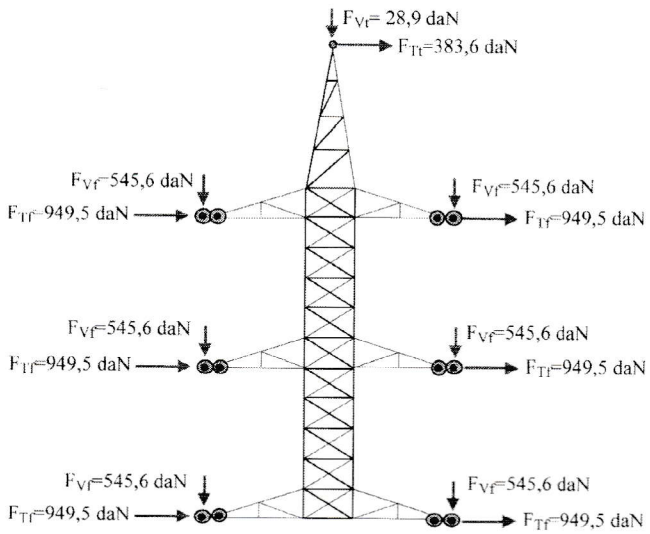
$$F_{Tf} = n_f \cdot q \cdot \phi_f \cdot 10^{-3} \cdot a_e = 2 \cdot 50 \cdot \left(\frac{140}{120} \right)^2 \cdot 21{,}8 \cdot 10^{-3} \cdot 320 = 949{,}5 \ daN$$

Esfuerzo transversal debido al viento sobre el conductor de tierra:

$$F_{Tt} = n_t \cdot q \cdot \phi_t \cdot 10^{-3} \cdot a_e = 1 \cdot 60 \cdot \left(\frac{140}{120}\right)^2 \cdot 14{,}68 \cdot 10^{-3} \cdot 320 = 383{,}6 \ daN$$

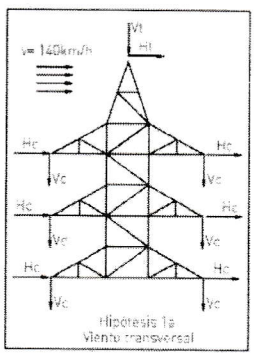
c) No se consideran cargas longitudinales en la hipótesis de viento

Los esfuerzos sobre el apoyo, para esta hipótesis son:



El apoyo seleccionado para cumplir con esta hipótesis es el D-11200-24,00-E-4,6/5,5-T, cuyos esfuerzos soportados se indican a continuación:

Tipo de esfuerzo	(daN)	Cumplimiento
H_C	1550	$HC > F_{Tf}$
Ht	930	$Ht > F_{Tt}$
V_C	2000	$VC > F_{Vf}$
Vt	500	$Vt > F_{Vt}$



2ª hipótesis: hielo en zona B y viento de 60 km/h, a –15 ºC

a) Cargas verticales

- Peso de conductores:

$$P_{COND.FASE} = n_f \cdot \left(p_{pf} + p_{hf}\right) \cdot a_{gHVf} = n_f \cdot \left(p_{pf} + 0{,}18 \cdot \sqrt{\phi_f}\right) \cdot a_{gHVf}$$

$$P_{COND.FASE} = 2 \cdot \left(0{,}957 + 0{,}18 \cdot \sqrt{21{,}8}\right) \cdot 36{,}8 = 132{,}27 \ daN$$

$$P_{COND.TIERRA} = n_t \cdot \left(p_{pt} + p_{ht}\right) \cdot a_{gHVt} = n_t \cdot \left(p_{pt} + 0{,}18 \cdot \sqrt{\phi_t}\right) \cdot a_{gHVt}$$
$$P_{COND.TIERRA} = 1 \cdot \left(0{,}529 + 0{,}18 \cdot \sqrt{14{,}68}\right) \cdot 52{,}8 = 64{,}36 \; daN$$

- Peso de cadena de aisladores, incluidos los herrajes:

$$P_{CAD} = 242 \cdot 0{,}981 = 237{,}4 \; daN$$

Total cargas verticales:

- Carga vertical por fase:

$$F_{Vf} = P_{COND.FASE} + 2 \cdot P_{CAD} = 132{,}27 + 2 \cdot 237{,}4 = 607{,}1 \; daN$$

- Carga vertical debida al conductor de tierra:

$$F_{Vt} = P_{COND.TIERRA} = 64{,}4 \; daN$$

b) Cargas transversales, por viento sobre los conductores (Aptdo. 3.1.2. ITC-LAT 07)

Esfuerzo transversal debido al viento de 60 km/h sobre el conductor de fase:

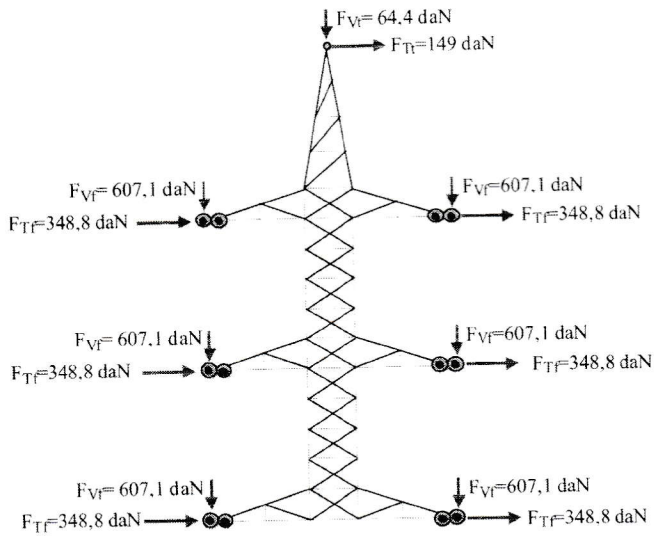
$$F_{Tf} = n_f \cdot q \cdot \left(\phi_f + 2 \cdot e_f\right) \cdot 10^{-3} \cdot a_e = 2 \cdot 50 \cdot \left(\frac{60}{120}\right)^2 \cdot \left(21{,}8 + 2 \cdot 10{,}9\right) \cdot 10^{-3} \cdot 320 = 348{,}8 \; daN$$

Esfuerzo transversal debido al viento de 60 km/h sobre el conductor de tierra:

$$F_{Tt} = n_t \cdot q \cdot \left(\phi_t + 2 \cdot e_t\right) \cdot 10^{-3} \cdot a_e = 1 \cdot 50 \cdot \left(\frac{60}{120}\right)^2 \cdot \left(14{,}68 + 2 \cdot 11{,}28\right) \cdot 10^{-3} \cdot 320 = 149 \; daN$$

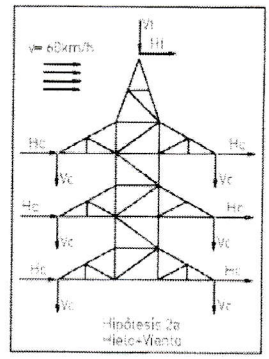
c) No se consideran cargas longitudinales en la hipótesis de hielo y viento de 60 km/h

Los esfuerzos sobre el apoyo, para esta hipótesis, son:



El apoyo seleccionado anteriormente, D-11200-24,00-E-4,6/5,5-T, cumple también con los esfuerzos de esta hipótesis.

Tipo de esfuerzo	(daN)	Cumplimiento
H_C	1740	$H_C > F_{Tf}$
H_t	1055	$H_t > F_{Tt}$
V_C	2500	$V_C > F_{Vf}$
V_t	1500	$V_t > F_{Vt}$



3ª hipótesis: desequilibrio de tracciones

a) Cargas verticales

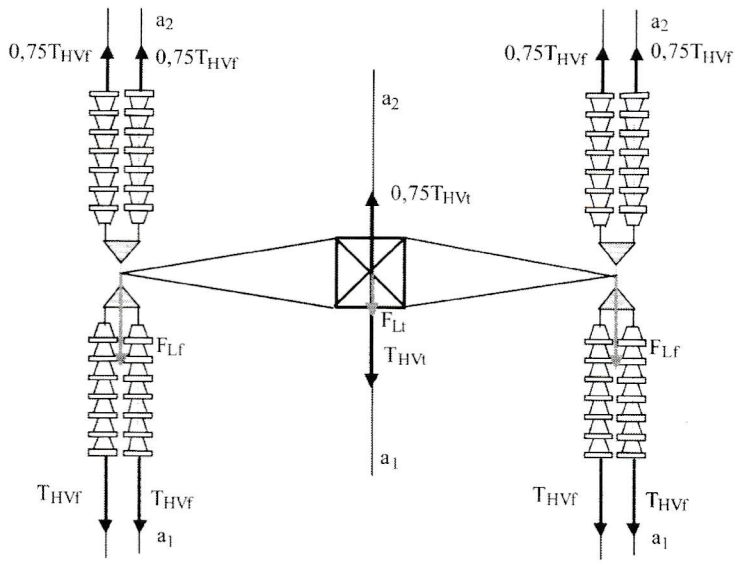
Idénticas a las calculadas en la 2ª hipótesis.

- Carga vertical por fase: $F_{Vf} = 607{,}1\ daN$
- Carga vertical debida al conductor de tierra: $F_{Vt} = 64{,}4\ daN$

b) No se consideran cargas transversales en esta hipótesis

c) Cargas longitudinales por desequilibrio de tracciones (Aptdo. 3.1.4.2. ITC-LAT 07)

En los apoyos de alineación con cadenas de amarre, al ser la $U_n > 66$ kV, se considera el 25% de las tracciones unilaterales de todos los conductores.



Esfuerzo longitudinal debido a la tracción del conductor de fase:

$$F_{Lf} = n_f \cdot 0{,}25 \cdot T_{HVf} = 2 \cdot 0{,}25 \cdot 3267 = 1633{,}5 \ daN$$

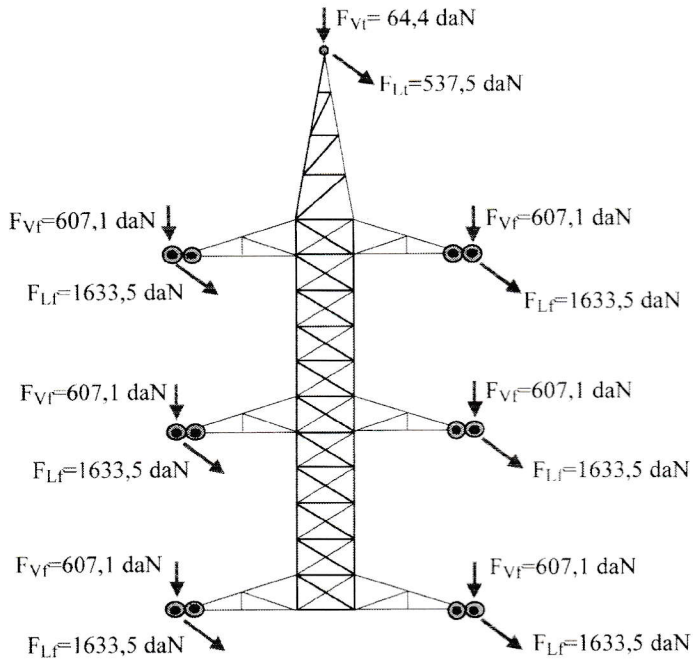
siendo T_{HVf}, el valor máximo de entre las tracciones del conductor de fase a –15 °C, con sobrecarga de hielo y viento de 60 km/h, para los vanos contiguos al apoyo. T_{HVf} = máx (T_{HVf1}, T_{HVf2}).

Esfuerzo longitudinal debido a la tracción del conductor de tierra:

$$F_{Lt} = n_t \cdot 0{,}25 \cdot T_{HVt} = 1 \cdot 0{,}25 \cdot 2150 = 537{,}5 \ daN$$

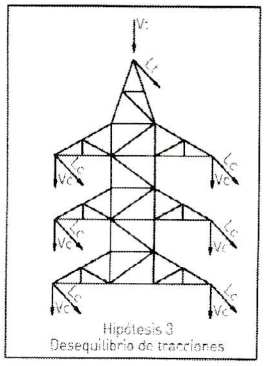
siendo T_{HVf}, el valor máximo de entre las tracciones del conductor de fase a –15 °C, con sobrecarga de hielo y viento de 60 km/h, para los vanos contiguos al apoyo. T_{HVt} = máx (T_{HVt1}, T_{HVt2}).

Los esfuerzos, para esta hipótesis, sobre el apoyo son:



El apoyo seleccionado anteriormente, D-11200-24,00-E-4,6/5,5-T cumple también con los esfuerzos de esta hipótesis.

Tipo de esfuerzo	(daN)	Cumplimiento
L_C	2345	$L_C > F_{Lf}$
L_t	1405	$L_t > F_{Lt}$
V_C	2500	$V_C > F_{Vf}$
V_t	1000	$V_t > F_{Vt}$



4ª hipótesis: rotura de conductores con hielo en la zona B y viento de 60 km/h, a –15 °C

El conductor de fase roto debe ser aquel que provoque el mayor esfuerzo de torsión sobre el apoyo, por lo que se romperá el conductor del vano cuya tracción a –15 °C, con sobrecarga de hielo y viento de 60 km/h, sea la menor. De esta forma el conductor del vano con mayor tracción es el que provoca el esfuerzo de torsión. En este ejemplo la tracción mayor para el conductor de fase se tiene en el vano de la izquierda, T_{HVf1} = 3267 daN, por lo que se romperá el conductor de fase en el vano de la derecha.

El conductor de tierra roto debe ser aquel que provoque el mayor esfuerzo de flexión sobre el apoyo. Como la tracción es la misma en los dos cantones, se podría romper el conductor de cualquiera de los dos vanos. En este caso, se considera que se rompe el conductor en el vano de la derecha, ya que el gravivano resultante es mayor que si se rompe en el vano de la izquierda.

a) Cargas verticales

Idénticas a las calculadas en la 2ª hipótesis para los conductores que no se rompen.

- Carga vertical por fase: $F_{Vf} = 607{,}1\ daN$
- Carga vertical debida al conductor de tierra: $F_{Vt} = 64{,}4\ daN$

La carga vertical para los conductores rotos, teniendo en cuenta que se rompe un solo conductor del haz, será:

$$P_{COND.FASE.r} = (p_{pf} + p_{hf}) \cdot a_{gHVf} + (p_{pf} + p_{hf}) \cdot a_{gHVfr} = (p_{pf} + p_{hf}) \cdot (a_{gHVf} + a_{gHVfr})$$

$$P_{COND.FASE.r} = \left(0{,}957 + 0{,}18 \cdot \sqrt{21{,}8}\right) \cdot (36{,}8 + 170) = 371{,}6\ daN$$

Siendo:

$$a_{gHVfr} = \frac{a_1}{2} + \left(\frac{T_{HVf1}}{p_{HVf}} \cdot \frac{d_1}{a_1}\right) = \frac{340}{2} + \frac{3267}{1{,}878} \cdot \frac{0}{340} = 170\ m$$

$$P_{COND.TIERRA.r} = (p_{pt} + p_{ht}) \cdot a_{gHVtr} = \left(0{,}529 + 0{,}18 \cdot \sqrt{14{,}68}\right) \cdot 170 = 207{,}2\ daN$$

Siendo:

$$a_{gHVtr} = \frac{a_1}{2} + \left(\frac{T_{HVt1}}{p_{HVt}} \cdot \frac{d_1}{a_1} \right) = \frac{340}{2} + \frac{2150}{1{,}34} \cdot \frac{0}{340} = 170 \ m$$

Total cargas verticales:

- Carga vertical por fase: $F_{Vf} = 607{,}1 \ daN$
- Carga vertical debida al conductor de tierra: $F_{Vt} = 64{,}4 \ daN$
- Carga vertical por fase del cable roto:

$$F_{Vfr} = P_{COND.FASE.r} + 2 \cdot P_{CAD} = 371{,}6 + 2 \cdot 237{,}4 = 846{,}4 \ daN$$

- Carga vertical debida al conductor de tierra roto:

$$F_{Vtr} = P_{COND.TIERRA.r} = 207{,}2 \ daN$$

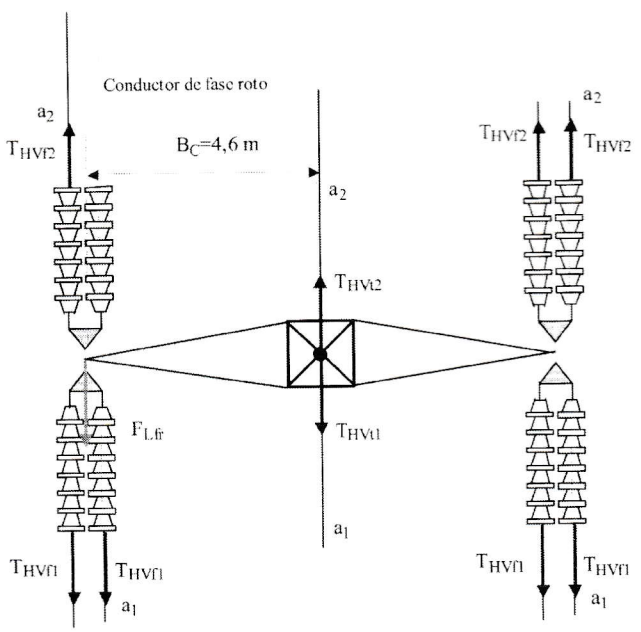
b) Cargas transversales, por viento sobre los conductores (Aptdo. 3.1.2. ITC-LAT 07)

No se consideran cargas transversales por viento.

c) Cargas longitudinales por rotura de conductores (Aptdo. 3.1.5.2. ITC-LAT 07)

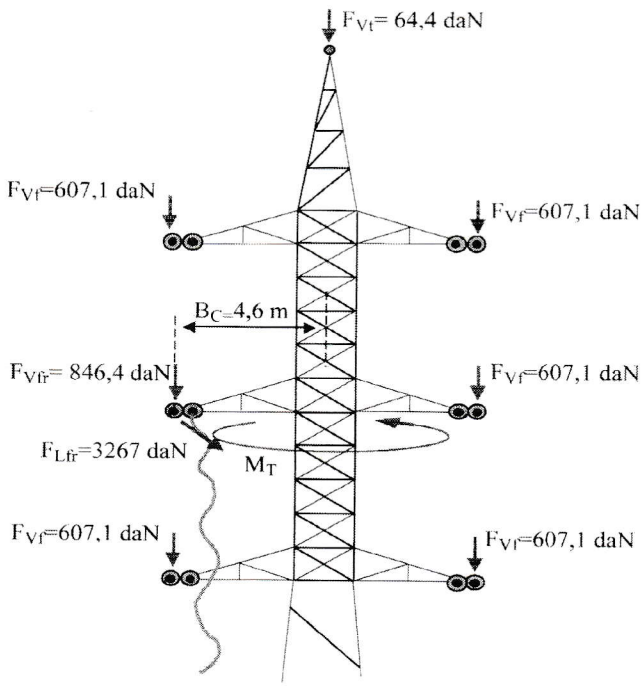
Se considera la rotura de un solo conductor por fase o conductor de tierra, sin reducción alguna de su tracción.

c-1) Rotura del conductor de fase



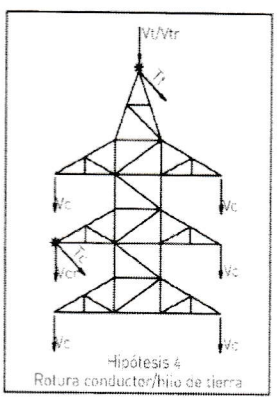
Según se muestra en la figura siguiente, el apoyo se encuentra sometido a unas cargas verticales junto a un momento torsor cuyo valor es:

$$M_t = F_{Lfr} \cdot B_c = T_{HVf1} \cdot B_c = 3267 \cdot 4{,}6 = 15028\ daN \cdot m$$

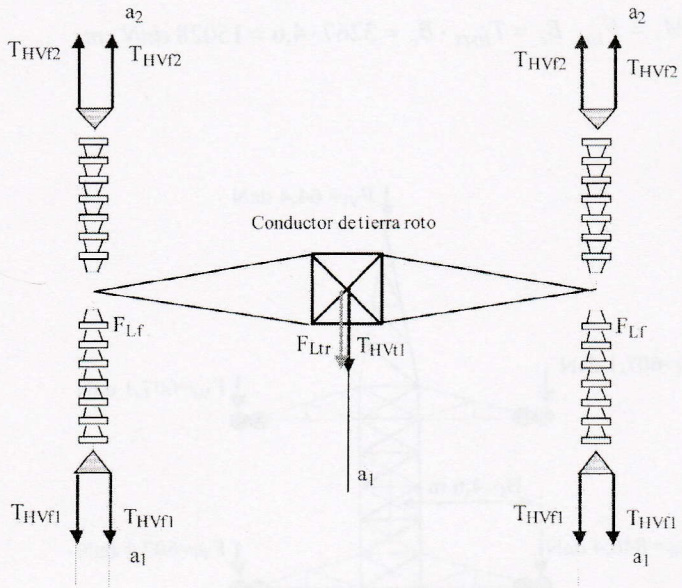


El apoyo seleccionado anteriormente, D-11200-24,00-E-4,6/5,5-T, cumple también con los esfuerzos de esta hipótesis.

Tipo de esfuerzo	(daN)	Cumplimiento
T_c	4150	$T_C > F_{Lfr}$
V_{cr}	1960	$V_{cr} > F_{Vfr}$
V_c	2500	$V_C > F_{Vf}$
V_t	1000	$V_t > F_{Vt}$

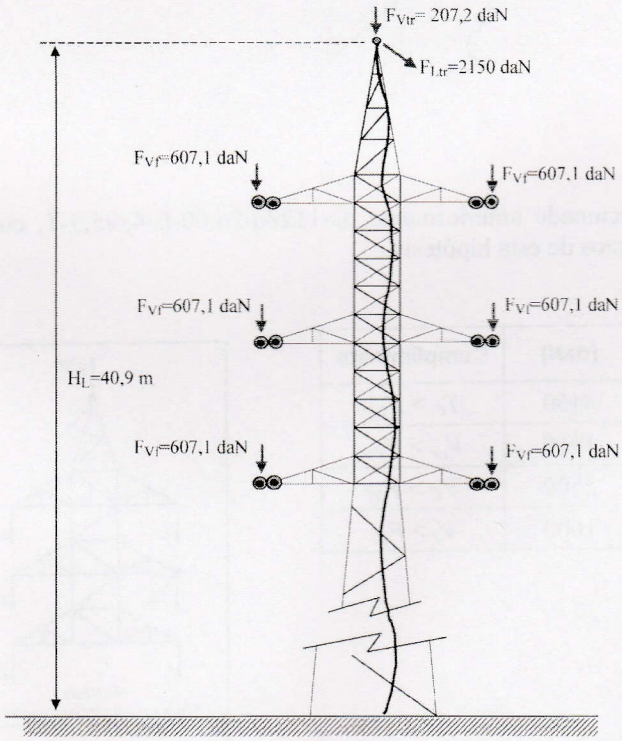


c-2) Rotura del conductor de tierra



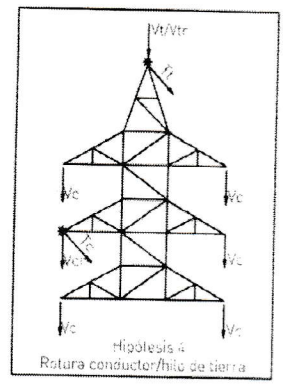
Según se muestra en la figura siguiente, el apoyo se encuentra sometido a unas cargas verticales y a un momento flector, cuyo valor es:

$$M_t = F_{Lt} \cdot H_L = máx(T_{HVf1}, T_{HVf2}) \cdot H_L = 2150 \cdot 40{,}9 = 87935\ daN \cdot m$$



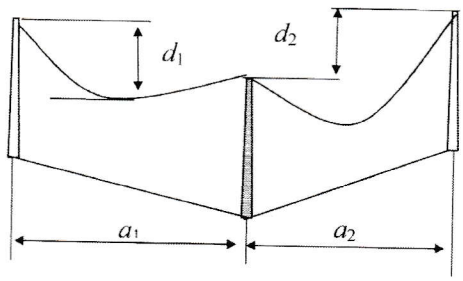
El apoyo seleccionado anteriormente, D-11200-24,00-E-4,6/5,5-T, cumple también con los esfuerzos de esta hipótesis.

Tipo de esfuerzo	(daN)	Cumplimiento
T_t	3000	$T_t > F_{Ltr}$
V_{tr}	700	$L_t > F_{Vtr}$
V_c	2500	$V_C > F_{Vf}$



APOYO DE SUSPENSIÓN EN ALINEACIÓN

Se considera que el apoyo pertenece a un cantón cuyo vano de regulación es de 320 m.



$a_1 = 310$ m.

$d_1 = -20$ m.

$a_2 = 300$ m.

$d_2 = 30$ m.

Tracciones para el conductor de fase en el vano de regulación de 320 m

- Tracción a –10 °C + viento de 140 km/h: T_{Vf}=3034 daN.
- Tracción a –15 °C + hielo + viento de 60 km/h: T_{HVf}=3231 daN.

Tracciones para el conductor de tierra en el vano de regulación de 320 m

- Tracción a –10 °C + viento de 140 km/h: T_{Vt}=2086 daN.
- Tracción a –15 °C + hielo + viento de 60 km/h: T_{HVt}=2150 daN.

Por tratarse de un apoyo situado entre vanos a distinto nivel, el eolovano y gravivano no coinciden, siendo su valor:

Eolovano para los conductores de fase y de tierra:

$$a_e = \frac{a_1 + a_2}{2} = \frac{310 + 300}{2} = 305 \ m$$

Gravivano con viento para los conductores de fase:

$$a_{gVf} = \frac{a_1 + a_2}{2} + \frac{T_{Vf}}{p_{Vf}} \cdot \left(\frac{d_1}{a_1} - \frac{d_2}{a_2} \right) = 305 + \frac{3034}{1{,}765} \cdot \left(\frac{-20}{310} - \frac{30}{300} \right) = 22{,}20 \ m$$

siendo p_{Vf}, el peso con sobrecarga de viento de 140 km/h del conductor de fase.

Gravivano con viento para el conductor de tierra:

$$a_{gVt} = \frac{a_1 + a_2}{2} + \frac{T_{Vt}}{p_{Vt}} \cdot \left(\frac{d_1}{a_1} - \frac{d_2}{a_2} \right) = 305 + \frac{2086}{1{,}310} \cdot \left(\frac{-20}{310} - \frac{30}{300} \right) = 43{,}03 \ m$$

siendo p_{Vt}, el peso con sobrecarga de viento del conductor de tierra.

Gravivano con hielo y viento de 60 km/h para los conductores de fase:

$$a_{gHVf} = \frac{a_1 + a_2}{2} + \frac{T_{HVf}}{p_{HVf}} \cdot \left(\frac{d_1}{a_1} - \frac{d_2}{a_2} \right) = 305 + \frac{3231}{1{,}878} \cdot \left(\frac{-20}{310} - \frac{30}{300} \right) = 21{,}96 \ m$$

siendo p_{Hf}, el peso con sobrecarga de hielo y viento de 60 km/h del conductor de fase.

Gravivano con hielo y viento de 60 km/h para los conductores de tierra:

$$a_{gHVt} = \frac{a_1 + a_2}{2} + \frac{T_{HVt}}{p_{HVt}} \cdot \left(\frac{d_1}{a_1} - \frac{d_2}{a_2} \right) = 305 + \frac{2150}{1{,}341} \cdot \left(\frac{-20}{310} - \frac{30}{300} \right) = 41{,}23 \ m$$

siendo p_{Ht}, el peso con sobrecarga de hielo y viento de 60 km/h del conductor de tierra.

1ª hipótesis: viento de 140 km/h, a –15 °C

a) Cargas verticales

- Peso de conductores:

$$P_{COND.FASE} = n_f \cdot p_{pf} \cdot a_{gVf} = 2 \cdot 0{,}957 \cdot 22{,}20 = 42{,}49 \ daN$$

$$P_{COND.TIERRA} = n_t \cdot p_{pt} \cdot a_{gVt} = 1 \cdot 0{,}529 \cdot 43{,}03 = 22{,}76 \ daN$$

- Peso de cadena de aisladores, incluidos los herrajes:

$$P_{CAD} = 159 \cdot 0{,}981 = 156 \ daN$$

Total cargas verticales:

- Carga vertical por fase:

$$F_{Vf} = P_{COND.FASE} + P_{CAD} = 42{,}49 + 156 = 198{,}5 \ daN$$

- Carga vertical debida al conductor de tierra:

$$F_{Vt} = P_{COND.TIERRA} = 22{,}76\ daN$$

b) Cargas transversales, por viento sobre los conductores (Aptdo. 3.1.2. ITC-LAT 07)

Esfuerzo transversal debido al viento sobre el conductor de fase:

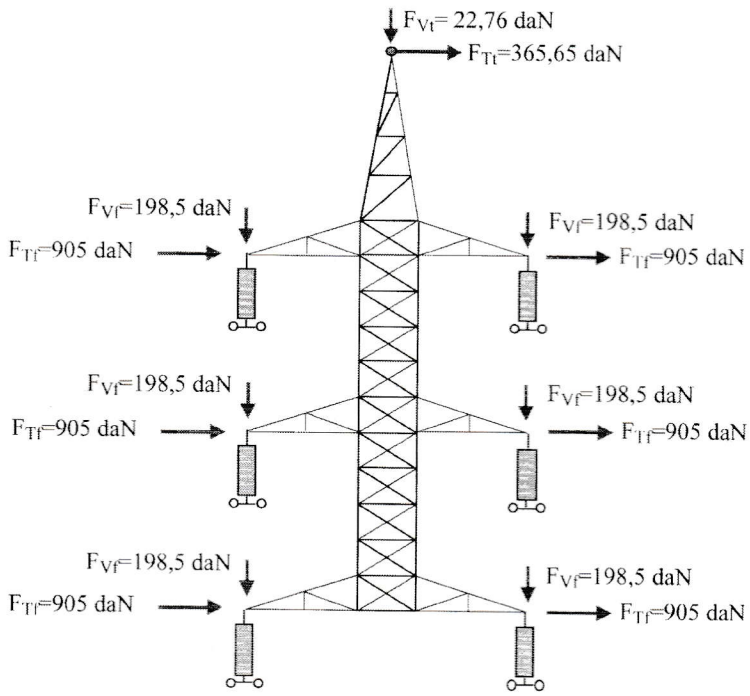
$$F_{Tf} = n_f \cdot q \cdot \phi_f \cdot 10^{-3} \cdot a_e = 2 \cdot 50 \cdot \left(\frac{140}{120}\right)^2 \cdot 21{,}8 \cdot 10^{-3} \cdot 305 = 905\ daN$$

Esfuerzo transversal debido al viento sobre el conductor de tierra:

$$F_{Tt} = n_t \cdot q \cdot \phi_t \cdot 10^{-3} \cdot a_e = 1 \cdot 60 \cdot \left(\frac{140}{120}\right)^2 \cdot 14{,}68 \cdot 10^{-3} \cdot 305 = 365{,}65\ daN$$

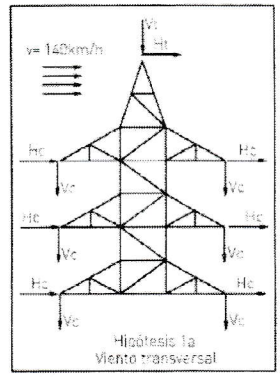
c) No se consideran cargas longitudinales en la hipótesis de viento

Los esfuerzos sobre el apoyo, para esta hipótesis, son:



El apoyo seleccionado para cumplir con esta hipótesis es el D-6900-24-E-4,6/5,5-T, cuyos esfuerzos soportados se indican a continuación:

Tipo de esfuerzo	(daN)	Cumplimiento
H_C	940	$H_C > F_{Tf}$
H_t	565	$H_t > F_{Tt}$
V_C	1500	$V_C > F_{Vf}$
V_t	500	$V_t > F_{Vt}$



2ª hipótesis: hielo en zona B y viento de 60 km/h, a –15 °C

a) Cargas verticales

- Peso de los conductores:

$$P_{COND.FASE} = n_f \cdot \left(p_{pf} + p_{hf}\right) \cdot a_{gHVf} = n_f \cdot \left(p_{pf} + 0{,}18 \cdot \sqrt{\phi_f}\right) a_{gHVf}$$

$$P_{COND.FASE} = 2 \cdot \left(0{,}957 + 0{,}18 \cdot \sqrt{21{,}8}\right) \cdot 21{,}96 = 78{,}94 \; daN$$

$$P_{COND.TIERRA} = n_t \cdot \left(p_{pt} + p_{ht}\right) \cdot a_{gHVt} = n_t \cdot \left(p_{pt} + 0{,}18 \cdot \sqrt{\phi_t}\right) \cdot a_{gHVt}$$

$$P_{COND.TIERRA} = 1 \cdot \left(0{,}529 + 0{,}18 \cdot \sqrt{14{,}68}\right) \cdot 41{,}23 = 50{,}24 \; daN$$

- Peso de la cadena de aisladores, incluidos los herrajes:

$$P_{CAD} = 159 \cdot 0{,}981 = 156 \; daN$$

Total cargas verticales:

- Carga vertical por fase:

$$F_{Vf} = P_{COND.FASE} + P_{CAD} = 78{,}94 + 156 = 234{,}9 \; daN$$

- Carga vertical debida al conductor de tierra:

$$F_{Vt} = P_{COND.TIERRA} = 50{,}2 \; daN$$

b) Cargas transversales por viento sobre los conductores (Aptdo. 3.1.2. ITC-LAT 07)

Esfuerzo transversal debido al viento de 60 km/h sobre el conductor de fase:

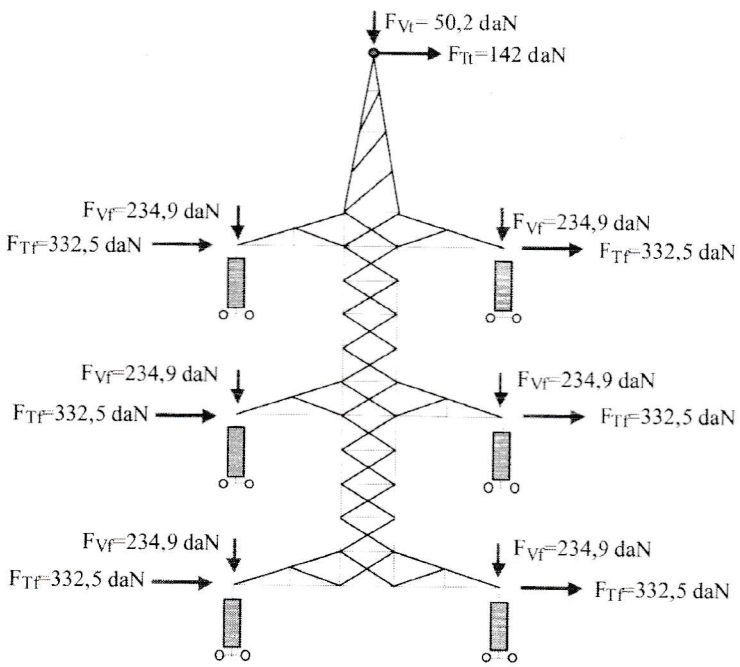
$$F_{Tf} = n_f \cdot q \cdot \left(\phi_f + 2 \cdot e_f\right) \cdot 10^{-3} \cdot a_e = 2 \cdot 50 \cdot \left(\frac{60}{120}\right)^2 \cdot \left(21{,}8 + 2 \cdot 10{,}9\right) \cdot 10^{-3} \cdot 305 = 332{,}5 \; daN$$

Esfuerzo transversal debido al viento de 60 km/h sobre el conductor de tierra:

$$F_{Tt} = n_t \cdot q \cdot (\phi_t + 2 \cdot e_t) \cdot 10^{-3} \cdot a_e = 1 \cdot 50 \cdot \left(\frac{60}{120}\right)^2 \cdot (14{,}68 + 2 \cdot 11{,}28) \cdot 10^{-3} \cdot 305 = 142 \ daN$$

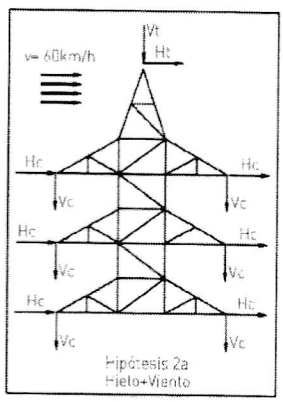
c) No se consideran cargas longitudinales en la hipótesis de hielo y viento de 60 km/h

Los esfuerzos, para esta hipótesis, sobre el apoyo son:



El apoyo seleccionado anteriormente, D-6900-24-E-4,6/5,5-T, 3 cumple también con los esfuerzos de esta hipótesis.

Tipo de esfuerzo	(daN)	Cumplimiento
H_C	1070	$H_C > F_{Tf}$
H_t	640	$H_t > F_{Tt}$
V_C	2500	$V_C > F_{Vf}$
V_t	1000	$V_t > F_{Vt}$



3ª hipótesis: desequilibrio de tracciones

a) Cargas verticales

Idénticas a las calculadas en la 2ª hipótesis.

- Carga vertical por fase:

$$F_{Vf} = 234{,}9\ daN$$

- Carga vertical debida al conductor de tierra:

$$F_{Vt} = 50{,}2\ daN$$

b) No se consideran cargas transversales en esta hipótesis

c) Cargas longitudinales por desequilibrio de tracciones (Aptdo. 3.1.4.1. ITC-LAT 07)

En los apoyos de alineación con cadenas de suspensión, al ser una línea de $U_n > 66$ kV, se considera el 15% de las tracciones unilaterales de todos los conductores.

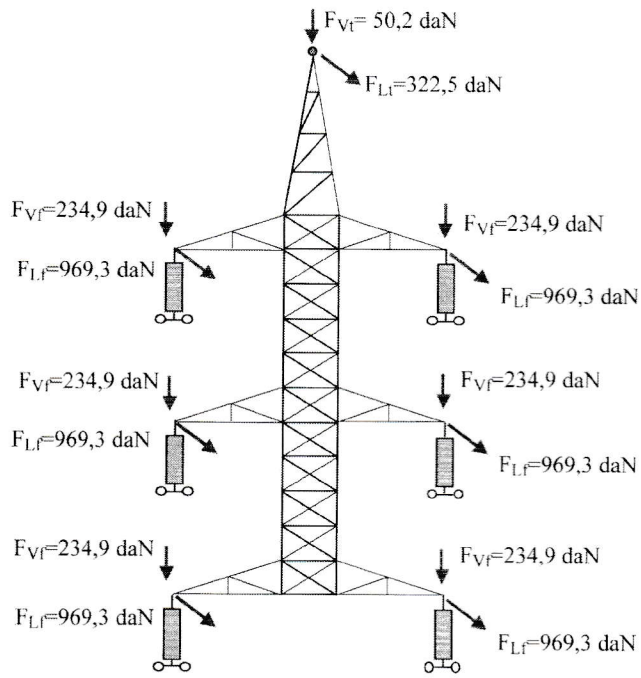
Esfuerzo longitudinal debido a la tracción del conductor de fase:

$$F_{Lf} = n_f \cdot 0{,}15 \cdot T_{HVf} = 2 \cdot 0{,}15 \cdot 3231 = 969{,}3\ daN$$

Esfuerzo longitudinal debido a la tracción del conductor de tierra:

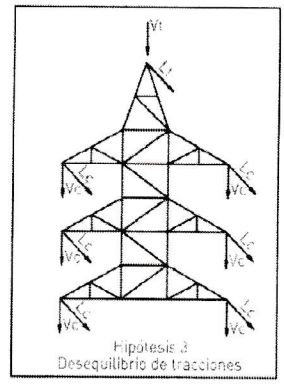
$$F_{Lt} = n_t \cdot 0{,}15 \cdot T_{HVt} = 1 \cdot 0{,}15 \cdot 2150 = 322{,}5\ daN$$

Los esfuerzos, para esta hipótesis, sobre el apoyo son:



El apoyo seleccionado anteriormente, D-6900-24-E-4,6/5,5-T, cumple también con los esfuerzos de esta hipótesis.

Tipo de esfuerzo	(daN)	Cumplimiento
L_C	1405	$L_C > F_{Lf}$
L_t	845	$L_t > F_{Lt}$
V_C	2500	$V_C > F_{Vf}$
V_t	1000	$V_t > F_{Vt}$



4ª hipótesis: rotura de conductores con hielo en zona B y viento de 60 km/h, a –15 °C

a) Cargas verticales

Idénticas a las calculadas en la 2ª hipótesis para los conductores que no se rompen.

- Carga vertical por fase:

$$F_{Vf} = 234{,}9\ daN$$

- Carga vertical debida al conductor de tierra:

$$F_{Vt} = 50{,}2\ daN$$

Para los conductores rotos: se considera que se rompe el conductor o el conductor de tierra en el vano de la derecha, ya que el gravivano resultante es mayor que si se rompe en el vano de la izquierda.

$$P_{COND.FASE.r} = (p_{pf} + p_{hf}) \cdot a_{gHVf} + (p_{pf} + p_{hf}) \cdot a_{gHVfr} = (p_{pf} + p_{hf}) \cdot (a_{gHVf} + a_{gHVfr})$$

$$P_{COND.FASE.r} = \left(0{,}957 + 0{,}18 \cdot \sqrt{21{,}8}\right) \cdot (21{,}96 + 44) = 118{,}56\ daN$$

Siendo:

$$a_{gHVfr} = \frac{a_1}{2} + \frac{T_{HVf}}{p_{HVf}} \cdot \frac{d_1}{a_1} = \frac{310}{2} + \frac{3231}{1{,}878} \cdot \left(\frac{-20}{310}\right) = 44\ m$$

$$P_{COND.TIERRA.r} = (p_{pt} + p_{ht}) \cdot a_{gHVtr} = \left(0{,}529 + 0{,}18 \cdot \sqrt{14{,}68}\right) \cdot 51{,}56 = 62{,}83\ daN$$

Siendo:

$$a_{gHVtr} = \frac{a_1}{2} + \frac{T_{HVt}}{p_{HVt}} \cdot \frac{d_1}{a_1} = \frac{310}{2} + \frac{2150}{1{,}341} \cdot \left(\frac{-20}{310}\right) = 51{,}56 \ m$$

- Carga vertical por fase del cable roto:

$$F_{Vfr} = P_{COND.FASE.r} + P_{CAD} = 118{,}56 + 156 = 274{,}6 \ daN$$

- Carga vertical debida al conductor de tierra roto:

$$F_{Vtr} = P_{COND.TIERRA.r} = 62{,}8 \ daN$$

b) Cargas transversales, por viento sobre los conductores (Aptdo. 3.1.2. ITC-LAT 07)

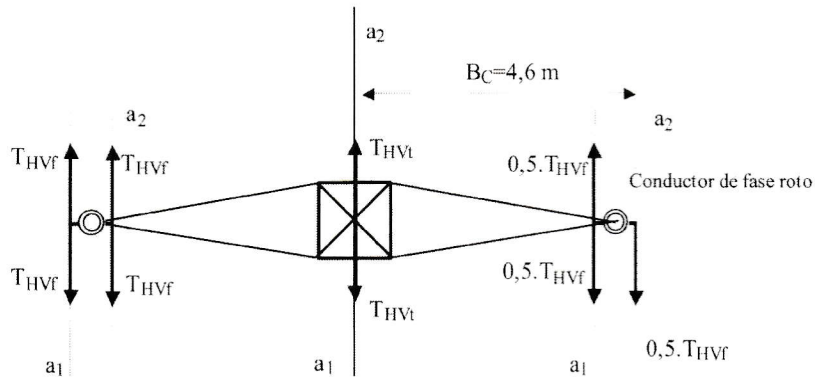
No se consideran cargas transversales por viento.

c) Cargas longitudinales por rotura de conductores (Aptdo. 3.1.5.2. ITC-LAT 07)

Se considera la rotura de un solo conductor de fase o conductor de tierra.

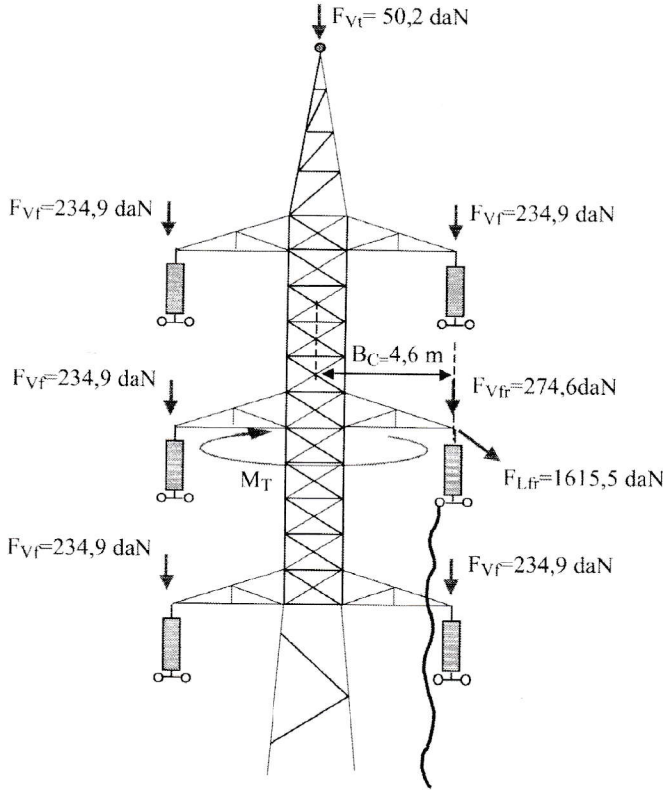
c-1) Rotura del conductor de fase

Tal como establece el RLAT, se considera la rotura de un solo conductor por fase, con una reducción del 50% de la tracción del conductor roto, por ser una línea dúplex.



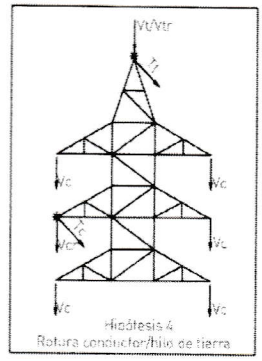
Según se muestra en la figura siguiente, el apoyo se encuentra sometido a unas cargas verticales y a un momento torsor, cuyo valor es:

$$M_T = 0{,}5 \cdot T_{HVf} \cdot B_c = 0{,}5 \cdot 3231 \cdot 4{,}6 = 1615{,}5 \cdot 4{,}6 = 7431{,}3 \ daN \cdot m$$



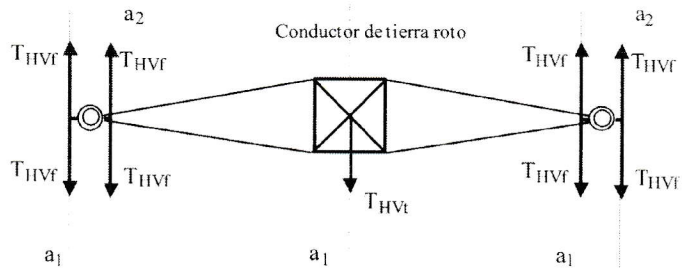
El apoyo seleccionado anteriormente, D-6900-24-E-4,6/5,5-T, cumple también con los esfuerzos de esta hipótesis.

Tipo de esfuerzo	(daN)	Cumplimiento
T_c	2300	$T_C > F_{Lf}$
V_{cr}	1750	$V_{cr} > F_{Vfr}$
V_c	2500	$V_C > F_{Vf}$
V_t	1000	$V_t > F_{Vt}$



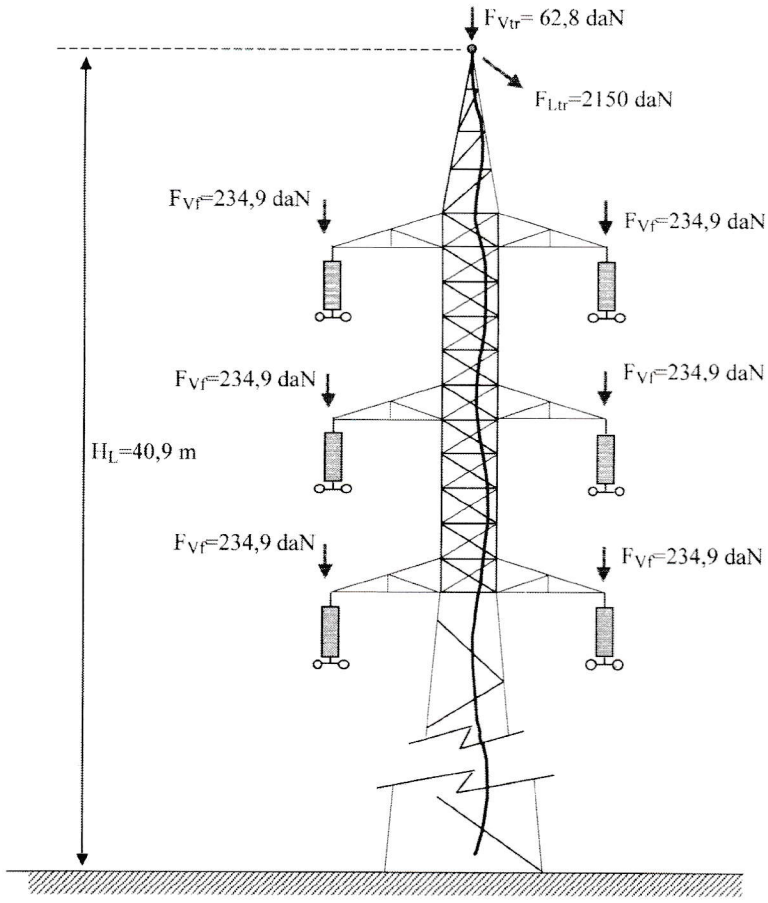
c-2) Rotura del conductor de tierra

Se considera la rotura del conductor de tierra sin reducción alguna de su tracción.



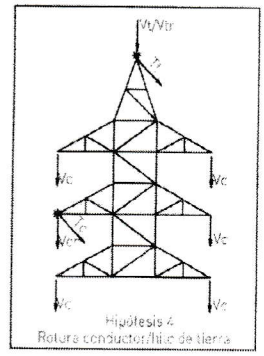
Según se muestra en la figura siguiente, el apoyo se encuentra sometido a unas cargas verticales y a un momento flector, cuyo valor es:

$$M_t = F_L \cdot H_L = T_{HVf} \cdot H_L = 2150 \cdot 40{,}9 = 87935\ daN \cdot m$$



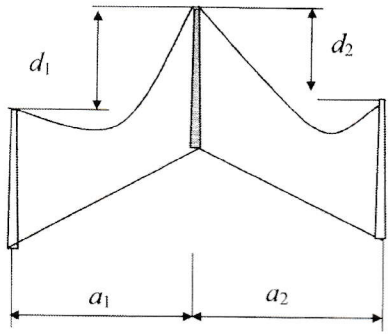
El apoyo seleccionado anteriormente, D-6900-24-E-4,6/5,5-T, cumple también con los esfuerzos de esta hipótesis.

Tipo de esfuerzo	(daN)	Cumplimiento
T_t	2500	$T_t > F_{Lt}$
V_{tr}	700	$L_t > F_{Vtr}$
V_c	2500	$V_C > F_{Vf}$



APOYO DE AMARRE EN ÁNGULO

Este apoyo delimita dos cantones, el de la izquierda con un vano de regulación de 340 metros y el de la derecha, de 320 metros.



$a_1 = 340$ m.

$d_1 = 10$ m.

$a_2 = 320$ m.

$d_2 = -10$ m.

Ángulo de desviación de la traza, $\alpha = 55^\circ$

Tracciones para el conductor de fase en el vano de regulación de 340 m

- Tracción a –10 ºC + viento de 140 km/h: T_{Vf1} =3070 daN.
- Tracción a –15 ºC + hielo + viento de 60 km/h: T_{HVf1}=3267 daN.

Tracciones para el conductor de fase en el vano de regulación de 320 m

- Tracción a –10 ºC + viento de 140 km/h: T_{Vf2} =3034 daN.
- Tracción a –15 ºC + hielo + viento de 60 km/h: T_{HVf2}=3231 daN.

Tracciones para el conductor de tierra en el vano de regulación de 340 m

- Tracción a –10 ºC + viento de 140 km/h: T_{Vt1}= 2088 daN.
- Tracción a –15 ºC + hielo + viento de 60 km/h: T_{HVt1}=2150 daN.

Tracciones para el conductor de tierra en el vano de regulación de 320 m

- Tracción a –10 °C + viento de 140 km/h: T_{Vt2}=2086 daN.
- Tracción a –15 °C + hielo + viento de 60 km/h: T_{HVt2}=2150 daN.

Por tratarse de un apoyo situado entre vanos a distinto nivel, el eolovano y gravivano no coinciden, siendo su valor:

Eolovano para los conductores de fase y de tierra:

$$a_e = \frac{a_1 + a_2}{2} = \frac{340 + 320}{2} = 330 \ m$$

Gravivano con viento para los conductores de fase:

$$a_{gVf} = \frac{a_1 + a_2}{2} + \left(\frac{T_{Vf1}}{p_{Vf}} \cdot \frac{d_1}{a_1} - \frac{T_{Vf2}}{p_{Vf}} \cdot \frac{d_2}{a_2} \right) = 330 + \frac{3070}{1{,}765} \cdot \frac{10}{340} - \frac{3034}{1{,}765} \cdot \left(\frac{-10}{320} \right) = 434.88 \ m$$

siendo p_{Vf}, el peso con sobrecarga de viento de 140 km/h del conductor de fase.

Gravivano con viento para el conductor de tierra:

$$a_{gVt} = \frac{a_1 + a_2}{2} + \left(\frac{T_{Vt1}}{p_{Vt}} \cdot \frac{d_1}{a_1} - \frac{T_{Vt2}}{p_{Vt}} \cdot \frac{d_2}{a_2} \right) = 330 + \frac{2088}{1{,}31} \cdot \frac{10}{340} - \frac{2086}{1{,}31} \cdot \left(\frac{-10}{320} \right) = 426{,}64 \ m$$

siendo p_{Vt}, el peso con sobrecarga de viento de 140 km/h del conductor de tierra.

Gravivano con hielo y viento de 60 km/h para los conductores de fase:

$$a_{gHVf} = \frac{a_1 + a_2}{2} + \left(\frac{T_{HVf1}}{p_{HVf}} \cdot \frac{d_1}{a_1} - \frac{T_{HVf2}}{p_{HVf}} \cdot \frac{d_2}{a_2} \right) = 330 + \frac{3267}{1{,}878} \cdot \frac{10}{340} - \frac{3231}{1{,}878} \cdot \left(\frac{-10}{320} \right) = 434{,}93 \ m$$

siendo p_{HVf}, el peso con sobrecarga de hielo y viento de 60 km/h del conductor de fase.

Gravivano con hielo y viento de 60 km/h para los conductores de tierra:

$$a_{gHVt} = \frac{a_1 + a_2}{2} + \left(\frac{T_{HVt1}}{p_{HVt}} \cdot \frac{d_1}{a_1} - \frac{T_{HVt2}}{p_{HVt}} \cdot \frac{d_2}{a_2} \right) = 330 + \frac{2150}{1{,}341} \cdot \frac{10}{340} - \frac{2150}{1{,}341} \cdot \left(\frac{-10}{320} \right) = 427{,}26 \ m$$

siendo p_{HVt}, el peso con sobrecarga de hielo y viento de 60 km/h del conductor de tierra.

1ª hipótesis: viento de 140 km/h, a –10 °C

a) Cargas verticales

- Peso de conductores:

$$P_{COND.FASE} = n_f \cdot p_{pf} \cdot a_{gVf} = 2 \cdot 0{,}957 \cdot 434{,}88 = 832{,}36 \ daN$$

$$P_{COND.TIERRA} = n_t \cdot p_{pt} \cdot a_{gVt} = 1 \cdot 0{,}529 \cdot 426{,}64 = 225{,}69 \ daN$$

- Peso de cadena de aisladores, incluidos los herrajes:

$$P_{CAD} = 242 \cdot 0{,}981 = 237{,}4 \ daN$$

Total cargas verticales:

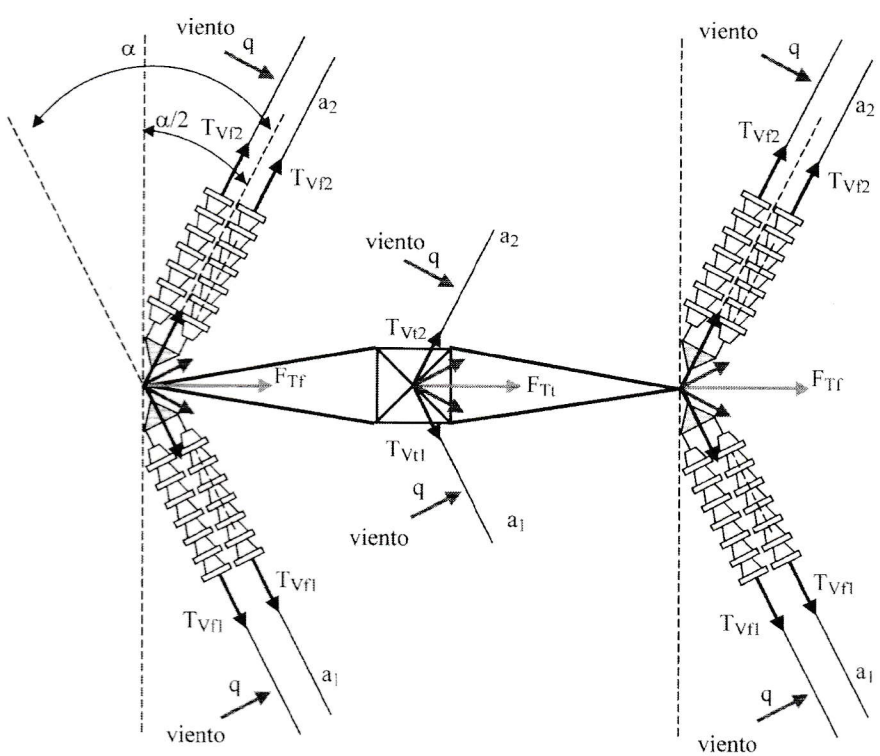
- Carga vertical por fase:

$$F_{Vf} = P_{COND.FASE} + 2 \cdot P_{CAD} = 832{,}36 + 2 \cdot 237{,}4 = 1307{,}2 daN$$

- Carga vertical debida al conductor de tierra:

$$F_{Vt} = P_{COND.TIERRA} = 225{,}7 daN$$

b) Resultante de ángulo con viento de 140 km/h (Aptdo. 3.1.6. ITC-LAT 07)



Esfuerzo transversal debido al viento de 140 km/h y a la resultante de ángulo sobre el conductor de fase:

$$F_{Tf} = n_f \cdot \left[\left(T_{Vf1} + T_{Vf2} \right) \cdot sen \frac{\alpha}{2} + \left(\frac{a_1 + a_2}{2} \right) \cdot q \cdot \phi_f \cdot 10^{-3} \cdot \cos \frac{\alpha}{2} \right]$$

$$F_{Tf} = 2 \cdot \left[(3070 + 3034) \cdot sen \frac{55}{2} + 330 \cdot 50 \cdot \left(\frac{140}{120} \right)^2 \cdot 21{,}8 \cdot 10^{-3} \cdot \cos \frac{55}{2} \right]$$

$$F_{Tf} = 6505{,}6 \ daN$$

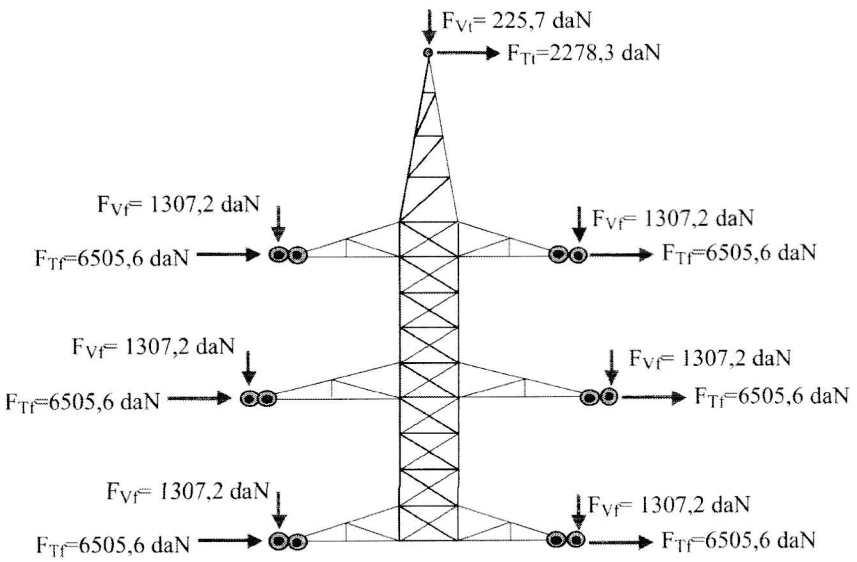
Esfuerzo transversal debido al viento de 140 km/h y a la resultante de ángulo sobre el conductor de tierra:

$$F_{Tt} = n_t \cdot \left[\left(T_{Vt1} + T_{Vt2} \right) \cdot sen \frac{\alpha}{2} + \left(\frac{a_1 + a_2}{2} \right) \cdot q \cdot \phi_t \cdot 10^{-3} \cdot \cos \frac{\alpha}{2} \right]$$

$$F_{Tt} = 1 \cdot \left[(2088 + 2086) \cdot sen \frac{55}{2} + 330 \cdot 60 \cdot \left(\frac{140}{120} \right)^2 \cdot 14{,}68 \cdot 10^{-3} \cdot \cos \frac{55}{2} \right] = 2278{,}3 \ daN$$

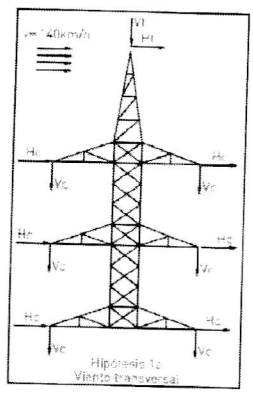
c) No se consideran cargas longitudinales en la hipótesis de viento

Para esta hipótesis, los esfuerzos sobre el apoyo son:



El apoyo seleccionado para cumplir con esta hipótesis es el T-62400-25,00-E-4,7/5,5-T, cuyos esfuerzos soportados se indican a continuación:

Tipo de esfuerzo	(daN)	Cumplimiento
H_C	8900	$H_C > F_{Tf}$
H_t	4400	$H_t > F_{Tt}$
V_C	2000	$V_C > F_{Vf}$
V_t	1000	$V_t > F_{Vt}$



2ª hipótesis: hielo en la zona B y viento de 60 km/h, a –15 ºC

a) Cargas verticales

- Peso de conductores:

$$P_{COND.FASE} = n_f \cdot \left(p_{pf} + p_{hf}\right) \cdot a_{gHVf} = n_f \cdot \left(p_{pf} + 0{,}36 \cdot \sqrt{\phi_f}\right) \cdot a_{gHVf}$$
$$P_{COND.FASE} = 2 \cdot \left(0{,}957 + 0{,}18 \cdot \sqrt{21{,}8}\right) \cdot 434{,}93 = 1563{,}51\ daN$$

$$P_{COND.TIERRA} = n_t \cdot \left(p_{pt} + p_{ht}\right) \cdot a_{gHVt} = n_t \cdot \left(p_{pt} + 0{,}36 \cdot \sqrt{\phi_t}\right) \cdot a_{gHVt}$$
$$P_{COND.TIERRA} = 1 \cdot \left(0{,}529 + 0{,}18 \cdot \sqrt{14{,}68}\right) \cdot 427{,}26 = 520{,}68\ daN$$

- Peso de cadena de aisladores, incluidos los herrajes:

$$P_{CAD} = 242 \cdot 0{,}981 = 237{,}4\ daN$$

Total cargas verticales:

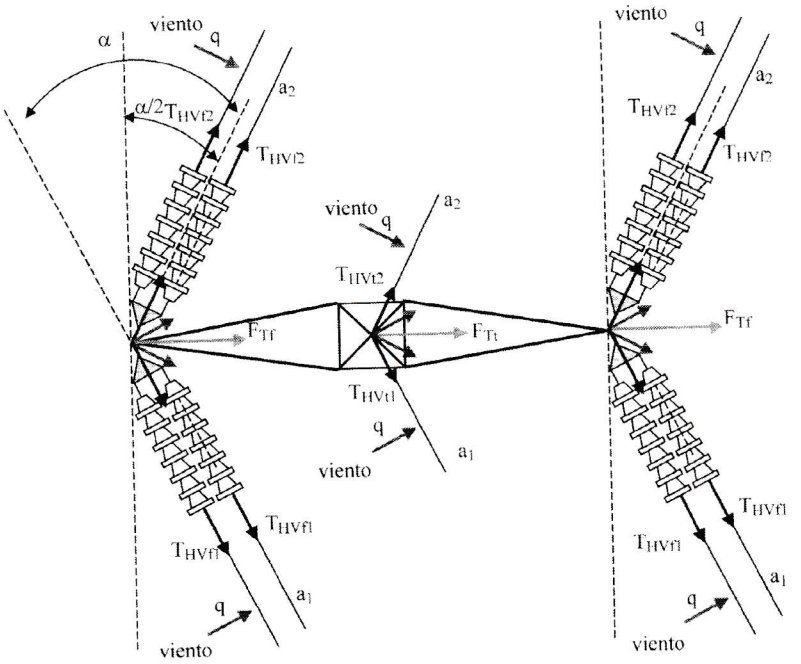
- Carga vertical por fase:

$$F_{Vf} = P_{COND.FASE} + 2 \cdot P_{CAD} = 1563{,}51 + 2 \cdot 237{,}4 = 2038{,}3 daN$$

- Carga vertical debida al conductor de tierra:

$$F_{Vt} = P_{COND.TIERRA} = 520{,}7\ daN$$

b) Resultante de ángulo con hielo y viento de 60 km/h (Aptdo. 3.1.6. ITC-LAT 07)



Esfuerzo transversal debido al viento de 60 km/h y a la resultante del ángulo sobre el conductor de fase:

$$F_{Tf} = n_f \cdot \left[\left(T_{HVf1} + T_{HVf2} \right) \cdot sen \frac{\alpha}{2} + a_e \cdot q \cdot \left(\phi_f + 2. \cdot e_f \right) \cdot 10^{-3} \cdot \cos \frac{\alpha}{2} \right]$$

$$F_{Tf} = 2 \cdot \left[\left(3267 + 3231 \right) \cdot sen \frac{55}{2} + 330 \cdot 50 \cdot \left(\frac{60}{120} \right)^2 \cdot \left(21{,}8 + 2 \cdot 10{,}9 \right) \cdot 10^{-3} \cdot \cos \frac{55}{2} \right] =$$

$$= 6319{,}9 \; daN$$

Esfuerzo transversal debido al viento de 60 km/h y a la resultante del ángulo sobre el conductor de tierra:

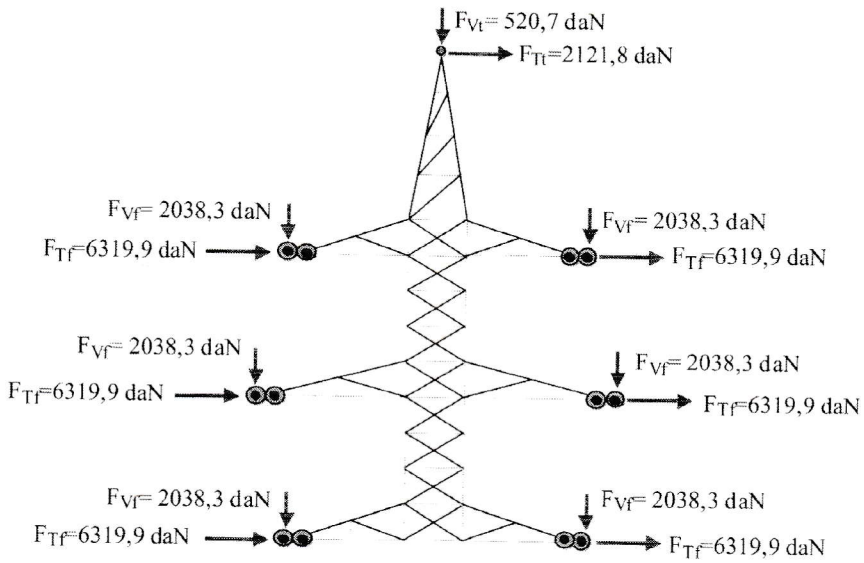
$$F_{Tt} = n_t \cdot \left[\left(T_{HVt1} + T_{HVt2} \right) \cdot sen \frac{\alpha}{2} + a_e \cdot q \cdot \left(\phi_t + 2 \cdot e_t \right) \cdot 10^{-3} \cdot \cos \frac{\alpha}{2} \right]$$

$$F_{Tt} = 1 \cdot \left[\left(2150 + 2150 \right) \cdot sen \frac{55}{2} + 330 \cdot 50 \cdot \left(\frac{60}{120} \right)^2 \cdot \left(14{,}68 + 2 \cdot 11{,}28 \right) \cdot 10^{-3} \cdot \cos \frac{55}{2} \right] =$$

$$= 2121{,}8 \; daN$$

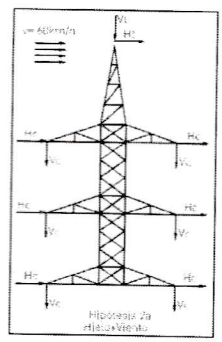
c) No se consideran cargas longitudinales en la hipótesis de hielo y viento de 60 km/h

Los esfuerzos sobre el apoyo para esta hipótesis, son:



El apoyo seleccionado anteriormente, T-62400-25,00-E-4,7/5,5-T, también soporta los esfuerzos de esta hipótesis.

Tipo de esfuerzo	(daN)	Cumplimiento
H_C	9300	$H_C > F_{Tf}$
H_t	4200	$H_t > F_{Tt}$
V_C	3650	$V_C > F_{Vf}$
V_t	1500	$V_t > F_{Vt}$



3ª hipótesis: desequilibrio de tracciones

a) Cargas verticales

Idénticas a las calculadas en la 2 ª hipótesis.

Total cargas verticales:

- Carga vertical por fase:

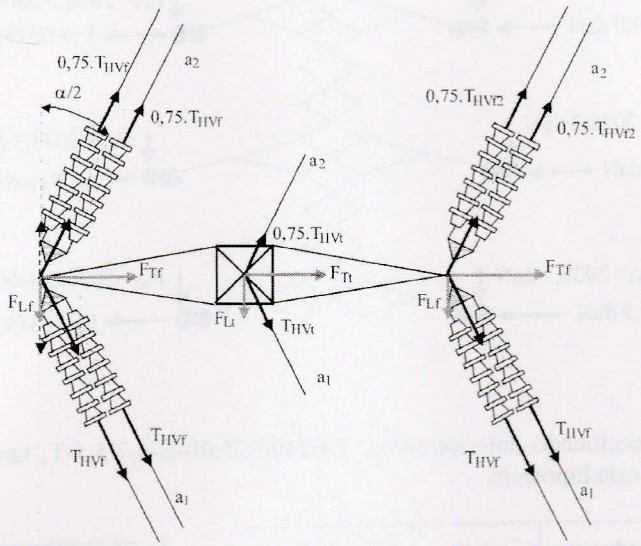
$$F_{Vf} = 2038{,}3\ daN$$

- Carga vertical debida al conductor de tierra:

$$F_{Vt} = 520{,}7\ daN$$

b) Cargas transversales debidas a la resultante de ángulo (Aptdo. 3.1.6. ITC-LAT 07) y longitudinales por desequilibrio de tracciones (Aptdo. 3.1.4.2. ITC-LAT 07)

En los apoyos de ángulo con cadenas de amarre, para líneas de tensión nominal superior a 66 kV, se considera el 25% de las tracciones unilaterales de todos los conductores y cables de tierra. Este desequilibrio produce los esfuerzos transversales y longitudinales indicados en la figura siguiente, donde T_{HVf} y T_{HVt} son las tracciones máximas a –15 °C, con sobrecarga de hielo y viento de 60 km/h, entre las tracciones de los cantones contiguos al apoyo para el conductor de fase y el conductor de tierra, respectivamente. En este caso, $T_{HVf} = 3267$ daN y $T_{HVt} = 2150$ daN.



Los esfuerzos longitudinal y transversal correspondientes al conductor de fase son:

$$F_{Tf} = n_f \cdot \left(T_{HVf} + 0{,}75 \cdot T_{HVf}\right) \cdot sen\frac{\alpha}{2} = 2 \cdot 1{,}75 \cdot T_{HVf} \cdot sen\frac{\alpha}{2} = 2 \cdot 1{,}75 \cdot 3267 \cdot sen\frac{55}{2} =$$

$$= 5279{,}9\ daN$$

$$F_{Lf} = n_f \cdot \left(T_{HVf} - 0{,}75 \cdot T_{HVf}\right) \cdot \cos\frac{\alpha}{2} = 2 \cdot 0{,}25 \cdot T_{HVf} \cdot \cos\frac{\alpha}{2} = 2 \cdot 0{,}25 \cdot 3267 \cdot \cos\frac{55}{2} =$$

$$= 1448{,}9\ daN$$

Los esfuerzos longitudinal y transversal correspondientes al conductor de tierra son:

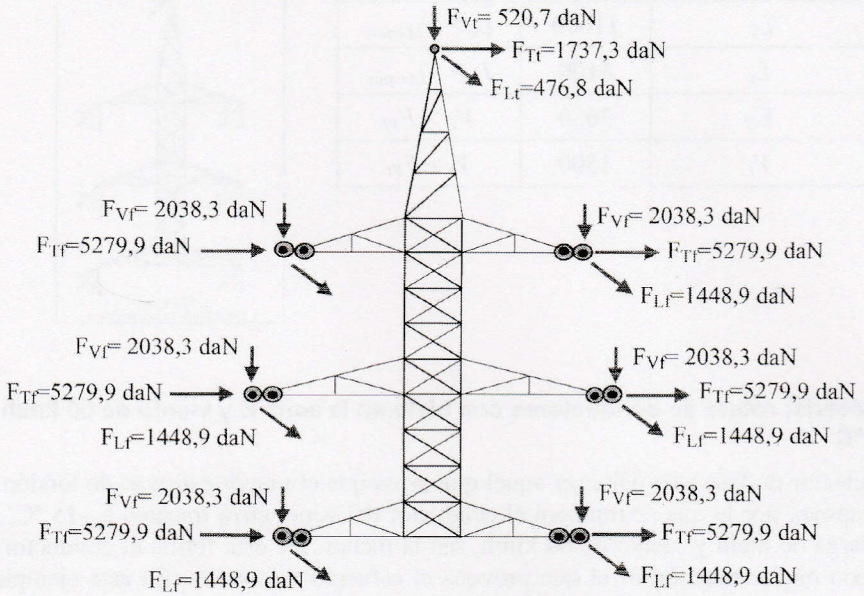
$$F_{Tt} = n_t \cdot \left(T_{HVt} + 0{,}75 \cdot T_{HVt}\right) \cdot sen\frac{\alpha}{2} = 1 \cdot 1{,}75 \cdot T_{HVt} \cdot sen\frac{\alpha}{2} = 1 \cdot 1{,}75 \cdot 2150 \cdot sen\frac{55}{2} =$$

$$= 1737{,}3\ daN$$

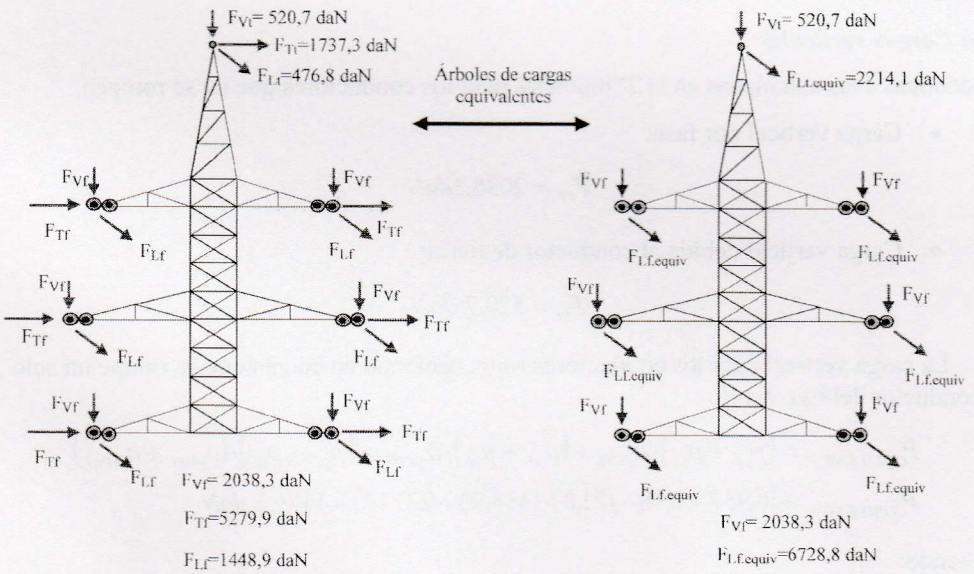
$$F_{Lt} = n_t \cdot \left(T_{HVt} - 0{,}75 \cdot T_{HVt}\right) \cdot \cos\frac{\alpha}{2} = 1 \cdot 0{,}25 \cdot T_{HVt} \cdot \cos\frac{\alpha}{2} = 1 \cdot 0{,}25 \cdot 2150 \cdot \cos\frac{55}{2} =$$

$$= 476{,}8\ daN$$

Los esfuerzos sobre el apoyo para esta hipótesis son:

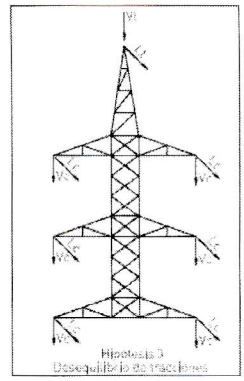


Para esta hipótesis, los esfuerzos calculados sobre el apoyo, no son directamente comparables con el árbol de cargas especificado. Sin embargo, teniendo en cuenta que el apoyo de celosía es de base cuadrada, resulta admisible calcular un esfuerzo longitudinal equivalente, que es la suma aritmética de los esfuerzos longitudinal y transversal, y que provoca la misma flexión sobre el apoyo.



El apoyo seleccionado anteriormente, T-62400-25,00-E-4,7/5,5-T, también soporta los esfuerzos de esta hipótesis.

Tipo de esfuerzo	(daN)	Cumplimiento
L_C	11600	$L_C > F_{Lf.equiv}$
L_t	6100	$L_t > F_{Lt.equiv}$
V_C	3650	$V_C > F_{Vf}$
V_t	1500	$V_t > F_{Vt}$



4ª hipótesis: rotura de conductores con hielo en la zona B y viento de 60 km/h, a –15 ºC

El conductor de fase roto debe ser aquel que provoque el mayor esfuerzo de torsión sobre el apoyo, por lo que se romperá el conductor del vano, cuya tracción a –15 ºC, con sobrecarga de hielo y viento de 60 km/h, sea la menor. De esta forma el conductor del vano con mayor tracción es el que provoca el esfuerzo de torsión. En este ejemplo la tracción mayor para el conductor de fase se tiene en el vano de la izquierda, T_{HVf1} = 3267 daN, por lo que se romperá el conductor de fase en el vano de la derecha.

El conductor de tierra roto debe ser aquel que provoque el mayor esfuerzo de flexión sobre el apoyo cómo la tracción es la misma en los dos cantones, se podría romper el conductor de cualquiera de los dos vanos. En este caso se considera que se rompe el conductor en el vano de la derecha, ya que el gravivano resultante es mayor que si se rompe en el vano de la izquierda.

a) Cargas verticales

Idénticas a las calculadas en la 2ª hipótesis para los conductores que no se rompen.

- Carga vertical por fase:

$$F_{Vf} = 2038{,}3 daN$$

- Carga vertical debida al conductor de tierra:

$$F_{Vt} = 520{,}7\ daN$$

La carga vertical para los conductores rotos, teniendo en cuenta que se rompe un solo conductor del haz, será:

$$P_{COND.FASE.r} = (p_{pf} + p_{hf}) \cdot a_{gHVf} + (p_{pf} + p_{hf}) \cdot a_{gHVfr} = (p_{pf} + p_{hf}) \cdot (a_{gHVf} + a_{gHVfr})$$

$$P_{COND.FASE.r} = (0{,}957 + 0{,}18 \cdot \sqrt{21{,}8}) \cdot (434{,}93 + 221{,}17) = 1179{,}3\ daN$$

Siendo:

$$a_{gHVfr} = \frac{a_1}{2} + \left(\frac{T_{HVf1}}{p_{HVf}} \cdot \frac{d_1}{a_1} \right) = \frac{340}{2} + \frac{3267}{1{,}878} \cdot \frac{10}{340} = 221{,}17\ m$$

$$P_{COND.TIERRA.r} = \left(p_{pt} + p_{ht}\right) \cdot a_{gHVtr} = \left(0{,}529 + 0{,}18 \cdot \sqrt{14{,}68}\right) \cdot 217{,}16 = 264{,}64\ daN$$

Siendo:

$$a_{gHVtr} = \frac{a_1}{2} + \left(\frac{T_{HVt1}}{p_{HVt}} \cdot \frac{d_1}{a_1}\right) = \frac{340}{2} + \frac{2150}{1{,}341} \cdot \frac{10}{340} = 217{,}16\ m$$

- Carga vertical por fase del cable roto:

$$F_{Vfr} = P_{COND.FASE.r} + 2 \cdot P_{CAD} = 1179{,}3 + 2 \cdot 237{,}4 = 1654{,}1\ daN$$

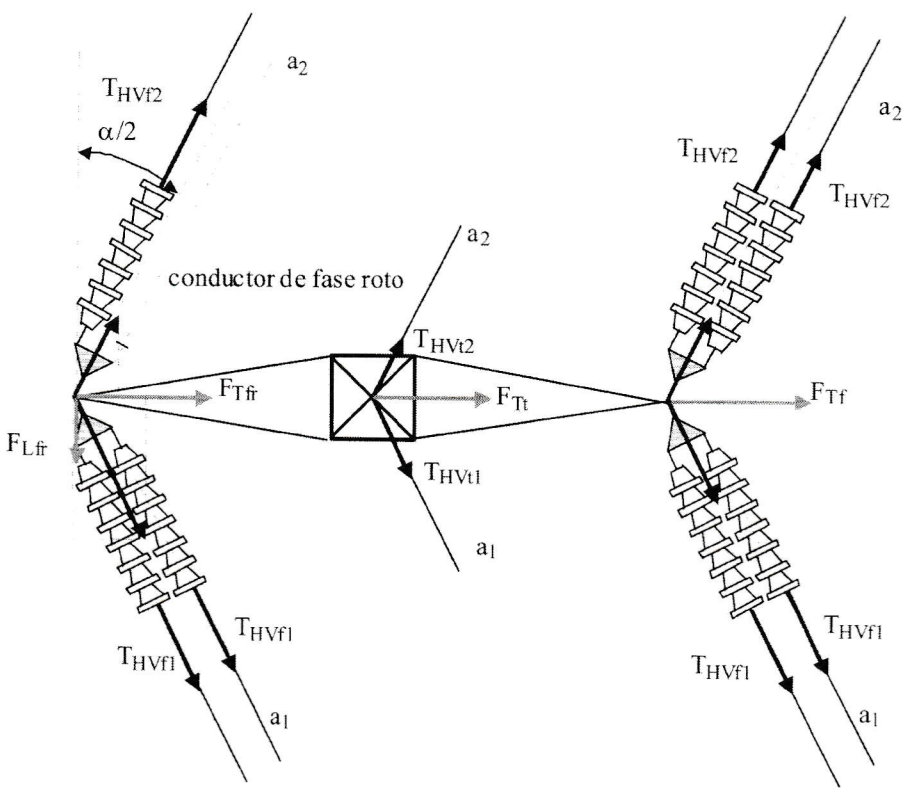
- Carga vertical debida al conductor de tierra roto:

$$F_{Vtr} = P_{COND.TIERRA.r} = 264{,}6\ daN$$

b) Cargas transversales debidas a la resultante de ángulo (Aptdo. 3.1.6. ITC-LAT 07) y longitudinales por rotura del conductor (Aptdo. 3.1.5.2. ITC-LAT 07)

Se considera la rotura de un solo conductor por fase o conductor de tierra sin reducción alguna de su tracción.

b-1) Caso de rotura del conductor de fase



El esfuerzo transversal debido a los conductores de fase no rotos, vale:

$$F_{Tf} = n_f \cdot \left(T_{HVf1} + T_{HVf2}\right) \cdot sen\frac{\alpha}{2} = 2 \cdot (3267 + 3231) \cdot sen\frac{55}{2} = 6000{,}9\ daN$$

El esfuerzo transversal debido al conductor de fase roto, vale:

$$F_{Tfr} = \left(2 \cdot T_{HVf1} + T_{HVf2}\right) \cdot sen\frac{\alpha}{2} = (2 \cdot 3267 + 3231) \cdot sen\frac{55}{2} = 4509\ daN$$

El esfuerzo transversal debido al conductor de tierra no roto, vale:

$$F_{Tt} = \left(T_{HVt1} + T_{HVt2}\right) \cdot sen\frac{\alpha}{2} = (2150 + 2150) \cdot sen\frac{55}{2} = 1985{,}5\ daN$$

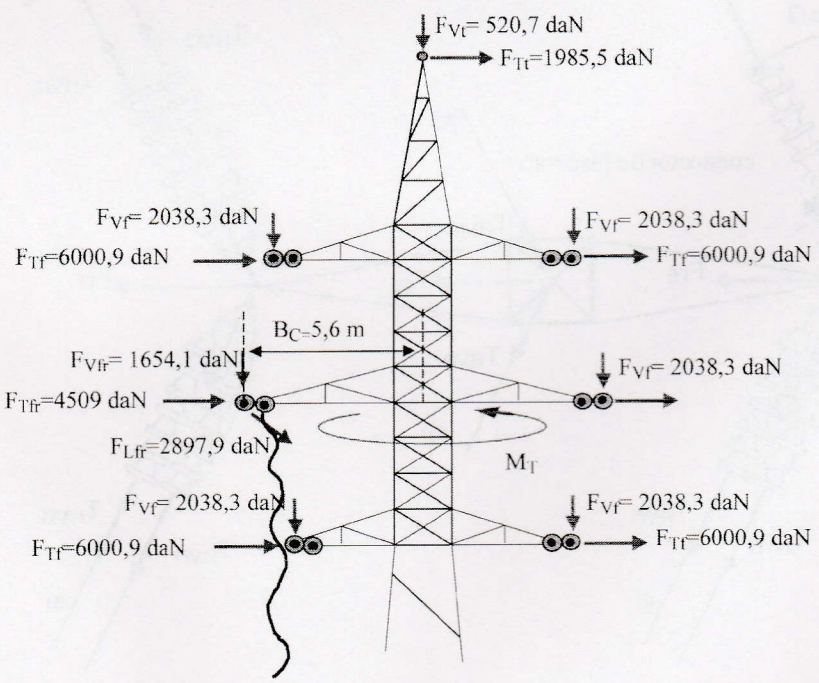
El esfuerzo longitudinal debido al conductor de fase roto, vale:

$$F_{Lfr} = \left(2 \cdot T_{HVf1} - T_{HVf2}\right) \cdot \cos\frac{\alpha}{2} \approx T_{HVf1} \cdot \cos\frac{\alpha}{2} = 3267 \cdot \cos\frac{55}{2} = 2897{,}9\ daN$$

Este esfuerzo longitudinal provoca sobre el apoyo un momento torsor de valor:

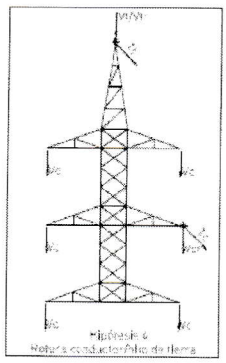
$$M_t = F_{Lfr} \cdot B_c = 2897{,}9 \cdot 5{,}6 = 16228\ daN \cdot m$$

Los esfuerzos a los que queda sometido el apoyo se muestran en la figura siguiente:



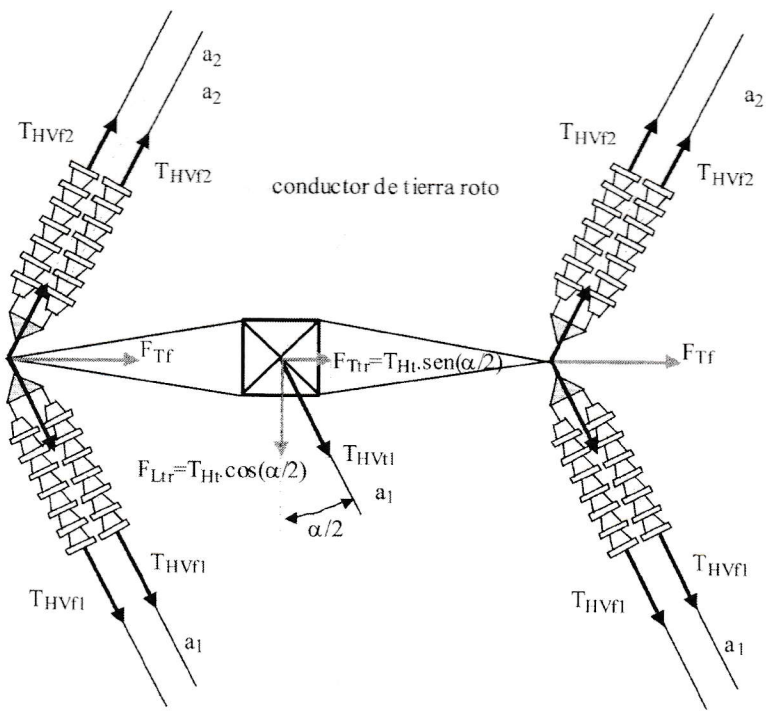
Para el apoyo seleccionado anteriormente, T-62400-25,00-E-4,7/5,5-T, los esfuerzos especificados que se muestran a continuación no incluyen el efecto combinado de la torsión M_t, con el esfuerzo transversal F_{Tf}, al no incluirse este último.

Tipo de esfuerzo	(daN)
T_C	11600
V_{Cr}	3650
V_C	3650
V_t	1500



Para comprobar si un apoyo es capaz de soportar la acción combinada de los esfuerzos transversales y del par torsor, los fabricantes deben facilitar esta información, tal como se indicó, para un apoyo del mismo tipo en el Apartado 3.9.

b-2) Caso de rotura del conductor de tierra



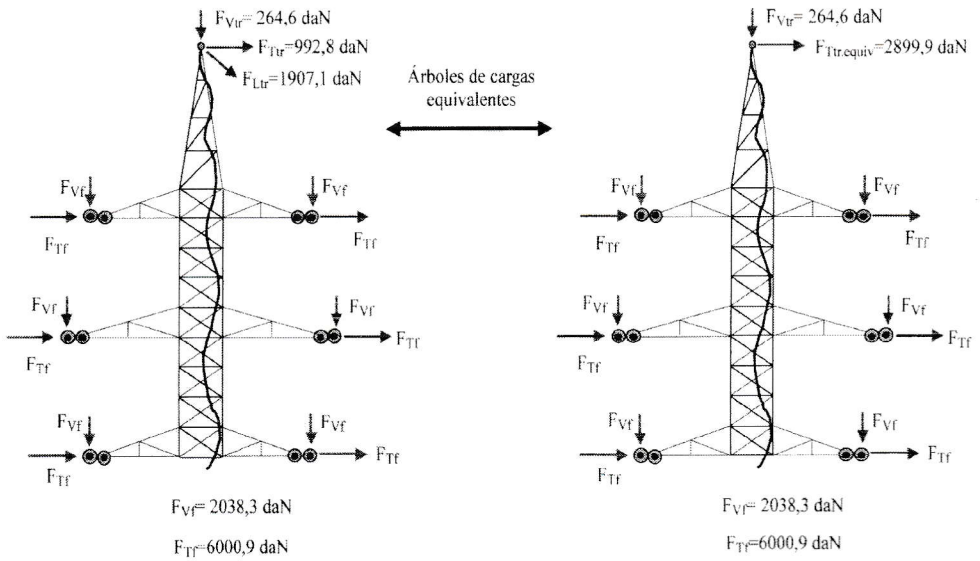
El esfuerzo transversal debido al conductor de tierra roto, vale:

$$F_{Ttr} = T_{HVt} \cdot sen\frac{\alpha}{2} = 2150 \cdot sen\frac{55}{2} = 992{,}8\ daN$$

El esfuerzo longitudinal debido al conductor de tierra roto, vale:

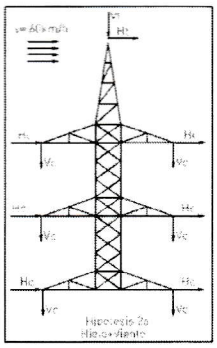
$$F_{Ltr} = T_{HVt} \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) = 2150 \cdot \cos\frac{55}{2} = 1907{,}1\ daN$$

Para esta hipótesis, los esfuerzos calculados sobre el apoyo, no son directamente comparables con el árbol de cargas especificado. Sin embargo, resulta admisible calcular un esfuerzo longitudinal equivalente para el cable de tierra, como la suma aritmética de los esfuerzos longitudinal y transversal, y que provoca la misma flexión sobre el apoyo, con objeto de compararlos con los especificados por el fabricante para la 2ª hipótesis. Los esfuerzos a los que queda sometido el apoyo se muestran en la figura siguiente:



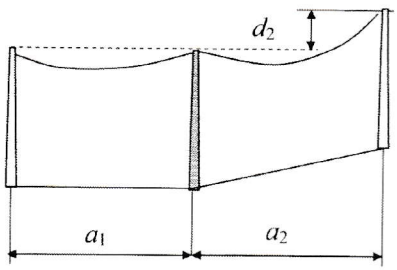
El apoyo seleccionado anteriormente, T-62400-25,00-E-4,7/5,5-T, cumple con los esfuerzos calculados para esta hipótesis.

Tipo de esfuerzo	(daN)	Cumplimiento
H_C	9300	$H_C > F_{Tf}$
H_t	4200	$H_t > F_{Ttr.equivg}$
V_C	3650	$V_C > F_{Vf}$
V_t	1500	$V_t > F_{Vtr}$



APOYO DE ANCLAJE EN ALINEACIÓN

Utilizando las mismas longitudes, desniveles y tracciones que en el apoyo de amarre en alineación, se trata ahora de realizar el cálculo mecánico de un apoyo de anclaje en alineación.



$a_1 = 340$ m.

$d_1 = 0$ m.

$a_2 = 300$ m.

$d_2 = 50$ m.

Las hipótesis 1ª, 2ª y 4ª, calculadas para el apoyo de amarre son idénticas para el apoyo de anclaje, y tan solo es necesario realizar el cálculo de la 3ª hipótesis de desequilibrio de tracciones que es más exigente en un apoyo de anclaje.

En el apoyo de amarre calculado anteriormente se seleccionó el D-11200-24,00-E-4,6/5,5-T. Por tanto, para el apoyo de anclaje que se calcula a continuación solamente es necesario comprobar si este tipo de apoyo cumple con la 3ª hipótesis.

3ª hipótesis: desequilibrio de tracciones

a) Cargas verticales

Idénticas a las calculadas en la 2ª hipótesis para el apoyo de amarre.

- Carga vertical por fase:

$$F_{Vf} = 607{,}1\ daN$$

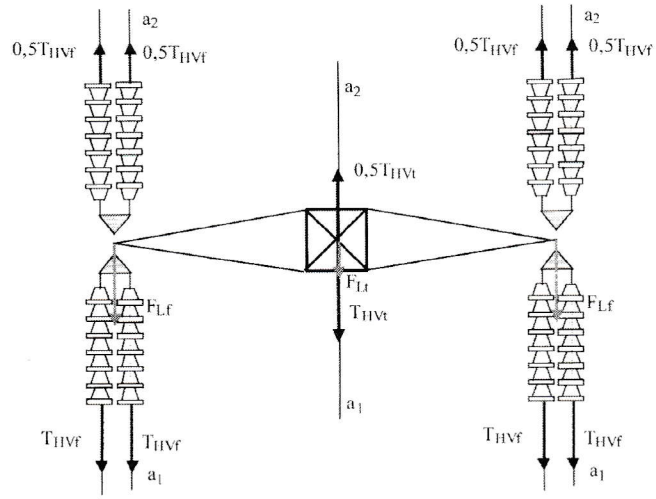
- Carga vertical debida al conductor de tierra:

$$F_{Vt} = 64{,}4\ daN$$

b) No se consideran cargas transversales en esta hipótesis

c) Cargas longitudinales por desequilibrio de tracciones (Aptdo. 3.1.4.3. ITC-LAT 07)

En los apoyos de anclaje se considera el 50% de las tracciones unilaterales de todos los conductores.



Esfuerzo longitudinal debido a la tracción del conductor de fase:

$$F_{Lf} = n_f \cdot 0{,}5 \cdot T_{HVf} = 2 \cdot 0{,}5 \cdot 3267 = 3267 \ \ daN$$

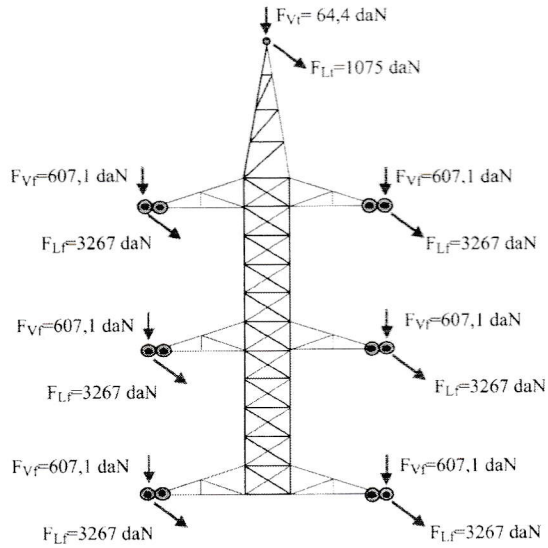
siendo T_{HVf}, el valor máximo entre las tracciones del conductor de fase a −15 °C, con sobrecarga de hielo y viento de 60 km/h para los vanos contiguos al apoyo. T_{HVf} = máx (T_{HVf1}, T_{HVf2}).

Esfuerzo longitudinal debido a la tracción del conductor de tierra:

$$F_{Lt} = n_t \cdot 0{,}5 \cdot T_{HVt} = 1 \cdot 0{,}5 \cdot 2150 = 1075 \ \ daN$$

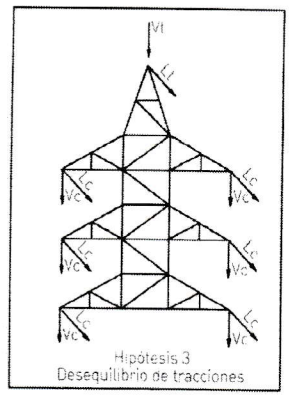
siendo T_{HVf}, el valor máximo entre las tracciones del conductor de fase a −15 °C, con sobrecarga de hielo y viento de 60 km/h para los vanos contiguos al apoyo. T_{HVt} = máx (T_{HVt1}, T_{HVt2}).

Para esta hipótesis, los esfuerzos sobre el apoyo, son:



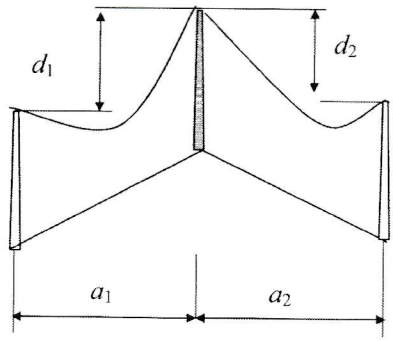
El apoyo seleccionado anteriormente no cumple con estos esfuerzos, por lo que es necesario utilizar el D-27000-24,00-E-4,6/5,5-T, cuyos esfuerzos soportados se indican a continuación.

Tipo de esfuerzo	(daN)	Cumplimiento
L_C	5125	$L_C > F_{Lf}$
L_t	2935	$L_t > F_{Lt}$
V_C	2500	$V_C > F_{Vf}$
V_t	1000	$V_t > F_{Vt}$



APOYO DE ANCLAJE EN ÁNGULO

Utilizando las mismas longitudes, desniveles y tracciones que en el apoyo de amarre en ángulo, se trata ahora de realizar el cálculo mecánico de un apoyo de anclaje en ángulo.



$a_1 = 340$ m.

$d_1 = 10$ m.

$a_2 = 320$ m.

$d_2 = -10$ m.

Ángulo de desviación de la traza, $\alpha = 55°$

Las hipótesis 1ª, 2ª y 4ª calculadas para el apoyo de amarre en ángulo son idénticas para el apoyo de anclaje en ángulo, y tan solo es necesario realizar el cálculo de la 3ª hipótesis de desequilibrio de tracciones que es más exigente en un apoyo de anclaje.

En el apoyo de amarre en ángulo calculado anteriormente, se seleccionó el T-62400-25,00-E-4,7/5,5-T. Por tanto, para el apoyo de anclaje en ángulo que se calcula a continuación solamente es necesario comprobar si este tipo de apoyo cumple con la 3ª hipótesis.

3ª hipótesis: desequilibrio de tracciones

a) Cargas verticales

Idénticas a las calculadas en la 2 ª hipótesis para el apoyo de amarre en ángulo.

Total cargas verticales:

- Carga vertical por fase:

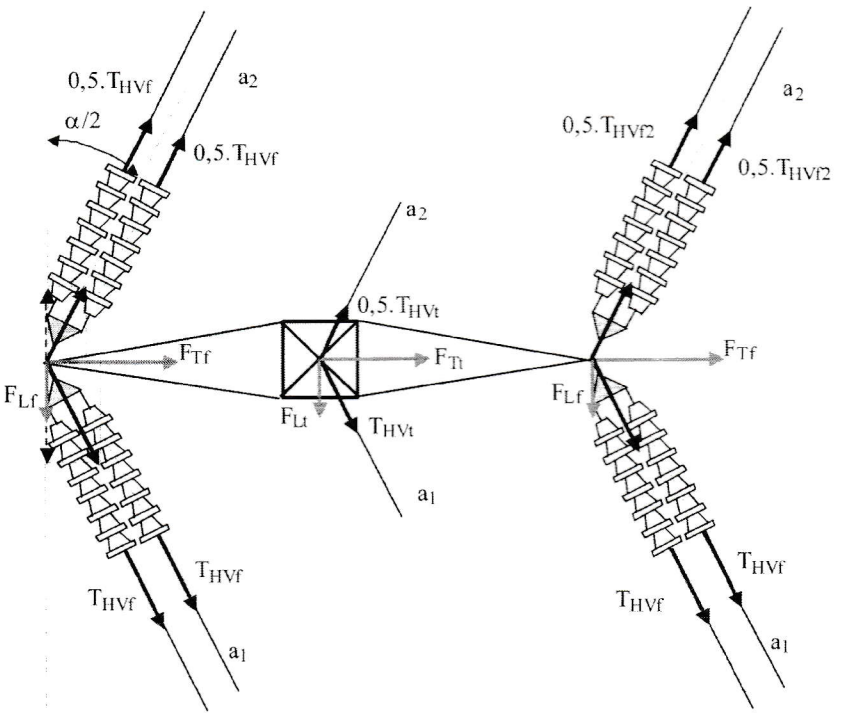
$$F_{Vf} = 2038{,}3daN$$

- Carga vertical debida al conductor de tierra:

$$F_{Vt} = 520{,}7\ daN$$

b) Cargas transversales debidas a la resultante de ángulo (Aptdo. 3.1.6. ITC-LAT 07) y longitudinales por Desequilibrio de tracciones (Aptdo. 3.1.4.3. ITC-LAT 07)

En los apoyos de anclaje en ángulo se considera el 50% de las tracciones unilaterales de todos los conductores y cables de tierra. Este desequilibrio produce los esfuerzos transversales y longitudinales indicados en la figura siguiente, donde T_{HVf} y T_{HVt} son las tracciones máximas a –15 °C, con sobrecarga de hielo y viento de 60 km/h, elegidas entre las tracciones de los cantones contiguos al apoyo para el conductor de fase y conductor de tierra, respectivamente. En este caso, T_{HVf} = 3267 daN y T_{HVt} = 2150 daN.



Los esfuerzos longitudinal y transversal correspondientes al conductor de fase son:

$$F_{Tf} = n_f \cdot \left(T_{HVf} + 0{,}5 \cdot T_{HVf}\right) \cdot sen\frac{\alpha}{2} = 2 \cdot 1{,}5 \cdot T_{HVf} \cdot sen\frac{\alpha}{2} = 2 \cdot 1{,}5 \cdot 3267 \cdot sen\frac{55}{2} =$$

$$= 4525{,}6\ daN$$

$$F_{Lf} = n_f \cdot \left(T_{HVf} - 0{,}5 \cdot T_{HVf}\right) \cdot \cos\frac{\alpha}{2} = 2 \cdot 0{,}5 \cdot T_{HVf} \cdot \cos\frac{\alpha}{2} = 2 \cdot 0{,}5 \cdot 3267 \cdot \cos\frac{55}{2} =$$

$$= 2897{,}9\ daN$$

Los esfuerzos longitudinal y transversal correspondientes al conductor de tierra son:

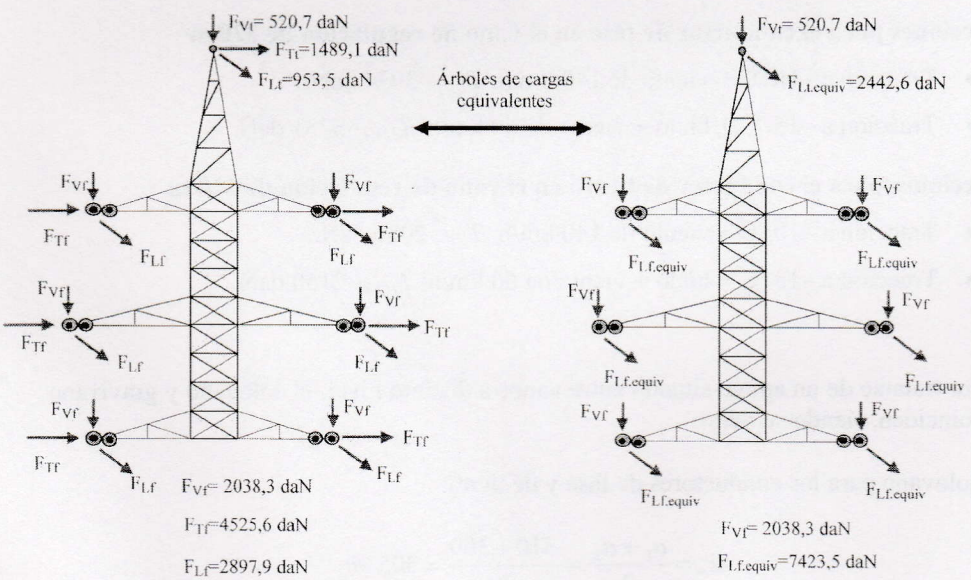
$$F_{Tt} = n_t \cdot \left(T_{HVt} + 0{,}5 \cdot T_{HVt}\right) \cdot sen\frac{\alpha}{2} = 1 \cdot 1{,}5 \cdot T_{HVt} \cdot sen\frac{\alpha}{2} = 1 \cdot 1{,}5 \cdot 2150 \cdot sen\frac{55}{2} =$$

$$= 1489{,}1\ daN$$

$$F_{Lt} = n_t \cdot \left(T_{HVt} - 0{,}5 \cdot T_{HVt}\right) \cdot \cos\frac{\alpha}{2} = 1 \cdot 0{,}5 \cdot T_{HVt} \cdot \cos\frac{\alpha}{2} = 1 \cdot 0{,}5 \cdot 2150 \cdot \cos\frac{55}{2} =$$

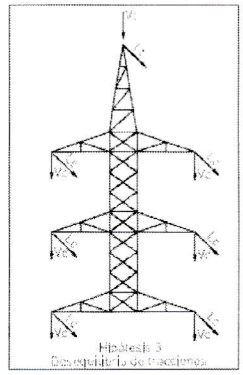
$$= 953{,}5\ daN$$

Los esfuerzos, para esta hipótesis, sobre el apoyo son:



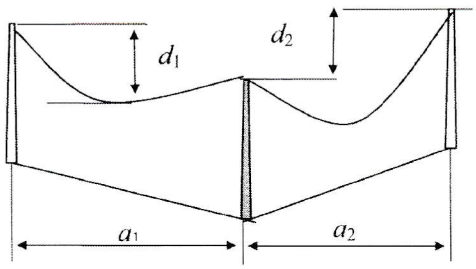
El apoyo seleccionado anteriormente, T-62400-25,00-E-4,7/5,5-T, cumple con los esfuerzos calculados para esta hipótesis.

Tipo de esfuerzo	(daN)	Cumplimiento
L_C	11600	$L_C > F_{Lf.equiv}$
L_t	6100	$L_t > F_{Lt.equiv}$
V_C	3650	$V_C > F_{Vf}$
V_t	1500	$V_t > F_{Vt}$



APOYO DE SUSPENSIÓN EN ANGULO

Este apoyo pertenece a un cantón cuyo vano ideal de regulación es de 320 m.



$a_1 = 310$ m.

$d_1 = -20$ m.

$a_2 = 300$ m.

$d_2 = 30$ m.

Ángulo de desviación de la traza, $\alpha = 5°$

Tracciones para el conductor de fase en el vano de regulación de 320 m

- Tracción a –10 ºC + viento de 140 km/h: T_{Vf} =3034 daN.
- Tracción a –15 ºC + hielo + viento de 60 km/h: T_{HVf}=3231 daN.

Tracciones para el conductor de tierra en el vano de regulación de 320 m

- Tracción a –10 ºC + viento de 140 km/h: T_{Vt} =2086 daN.
- Tracción a –15 ºC + hielo + viento de 60 km/h: T_{HVt}=2150 daN.

Por tratarse de un apoyo situado entre vanos a distinto nivel, el eolovano y gravivano no coinciden, siendo su valor:

Eolovano para los conductores de fase y de tierra:

$$a_e = \frac{a_1 + a_2}{2} = \frac{310 + 300}{2} = 305 \ m$$

Gravivano con viento para los conductores de fase:

$$a_{gVf} = \frac{a_1 + a_2}{2} + \frac{T_{Vf}}{p_{Vf}} \cdot \left(\frac{d_1}{a_1} - \frac{d_2}{a_2} \right) = 305 + \frac{3034}{1{,}765} \cdot \left(\frac{-20}{310} - \frac{30}{300} \right) = 22{,}20 \ m$$

siendo p_{vf}, el peso con sobrecarga de viento de 140 km/h del conductor de fase.

Gravivano con viento para el conductor de tierra:

$$a_{gVt} = \frac{a_1 + a_2}{2} + \frac{T_{Vt}}{p_{Vt}} \cdot \left(\frac{d_1}{a_1} - \frac{d_2}{a_2} \right) = 305 + \frac{2086}{1{,}31} \cdot \left(\frac{-20}{310} - \frac{30}{300} \right) = 43{,}03 \ m$$

siendo p_{Vt}, el peso con sobrecarga de viento del conductor de tierra.

Gravivano con hielo y viento de 60 km/h para los conductores de fase:

$$a_{gHVf} = \frac{a_1 + a_2}{2} + \frac{T_{HVf}}{p_{HVf}} \cdot \left(\frac{d_1}{a_1} - \frac{d_2}{a_2} \right) = 305 + \frac{3231}{1{,}878} \cdot \left(\frac{-20}{310} - \frac{30}{300} \right) = 21{,}96 \ m$$

siendo p_{Hf}, el peso con sobrecarga de hielo y viento de 60 km/h del conductor de fase.

Gravivano con hielo y viento de 60 km/h para los conductores de tierra:

$$a_{gHVt} = \frac{a_1 + a_2}{2} + \frac{T_{HVt}}{p_{HVt}} \cdot \left(\frac{d_1}{a_1} - \frac{d_2}{a_2} \right) = 305 + \frac{2150}{1{,}341} \cdot \left(\frac{-20}{310} - \frac{30}{300} \right) = 41{,}23 \ m$$

siendo p_{Ht}, el peso con sobrecarga de hielo y viento de 60 km/h del conductor de tierra.

1ª hipótesis: viento de 140 km/h, a –10 °C

a) Cargas verticales (Aptdo. 3.1.1. ITC-LAT 07)

- Peso de los conductores:

$$P_{COND.FASE} = n_f \cdot p_{pf} \cdot a_{gVf} = 2 \cdot 0{,}957 \cdot 22{,}2 = 42{,}49 \ daN$$

$$P_{COND.TIERRA} = n_t \cdot p_{pt} \cdot a_{gVt} = 1 \cdot 0{,}529 \cdot 43{,}03 = 22{,}76 \ daN$$

- Peso de la cadena de aisladores, incluidos los herrajes:

$$P_{CAD} = 159 \cdot 0{,}981 = 156 \ daN$$

Total cargas verticales:

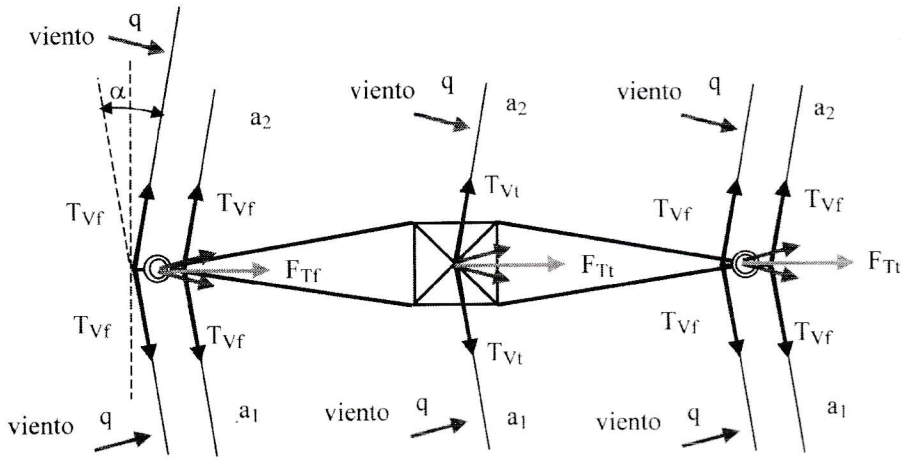
- Carga vertical por fase:

$$F_{Vf} = P_{COND.FASE} + P_{CAD} = 42{,}29 + 156 = 198{,}49 \ daN$$

- Carga vertical debida al conductor de tierra:

$$F_{Vt} = P_{COND.TIERRA} = 22{,}76\ daN$$

b) Cargas transversales debidas a la resultante de ángulo (Aptdo. 3.1.6. ITC-LAT 07) y al viento (Aptdo. 3.1.2. ITC-LAT 07)



Esfuerzo transversal debido al viento de 140 km/h y a la resultante de ángulo sobre el conductor de fase:

$$F_{Tf} = n_f \cdot \left[2 \cdot T_{Vf} \cdot sen\frac{\alpha}{2} + a_e \cdot q \cdot \phi_f \cdot 10^{-3} \cdot \cos\ \frac{\alpha}{2} \right]$$

$$F_{Tf} = 2 \cdot \left[2 \cdot 2086 \cdot sen\frac{5}{2} + 330 \cdot 50 \cdot \left(\frac{140}{120}\right)^2 \cdot 21{,}8 \cdot 10^{-3} \cdot \cos\ \frac{5}{2} \right] = 1342{,}2\ daN$$

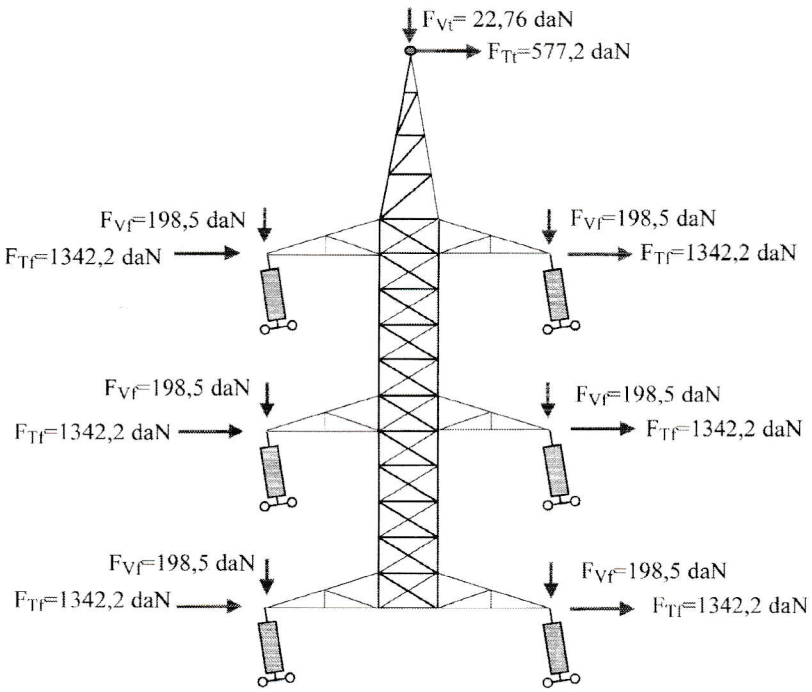
Esfuerzo transversal debido al viento de 140 km/h y a la resultante de ángulo sobre el conductor de tierra:

$$F_{Tt} = n_t \cdot \left[2 \cdot T_{Vt} \cdot sen\frac{\alpha}{2} + a_e \cdot q \cdot \phi_t \cdot 10^{-3} \cdot \cos\frac{\alpha}{2} \right]$$

$$F_{Tt} = 1 \cdot \left[2 \cdot 2086 \cdot sen\frac{5}{2} + 330 \cdot 60 \cdot \left(\frac{140}{120}\right)^2 \cdot 14{,}68 \cdot 10^{-3} \cdot \cos\frac{5}{2} \right] = 577{,}23\ daN$$

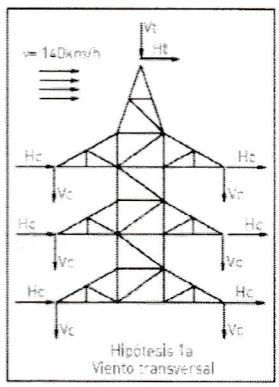
c) No se consideran cargas longitudinales en la hipótesis de viento

Para esta hipótesis, los esfuerzos sobre el apoyo son:



El apoyo seleccionado para cumplir con esta hipótesis es el D-11200-24-E-4,6/5,5-T, cuyos esfuerzos soportados se indican a continuación:

Tipo de esfuerzo	(daN)	Cumplimiento
H_C	1550	$H_C > F_{Tf}$
H_t	930	$H_t > F_{Tt}$
V_C	2000	$V_C > F_{Vf}$
V_t	500	$V_t > F_{Vt}$



2ª hipótesis: hielo en la zona B y viento de 60 km/h, a –15 ºC

a) Cargas verticales

- Peso de los conductores:

$$P_{COND.FASE} = n_f \cdot \left(p_{pf} + p_{hf}\right) \cdot a_{gHVf} = n_f \cdot \left(p_{pf} + 0{,}18 \cdot \sqrt{\phi_f}\right) \cdot a_{gHVf}$$

$$P_{COND.FASE} = 2 \cdot \left(0{,}957 + 0{,}18 \cdot \sqrt{21{,}8}\right) \cdot 21{,}96 = 78{,}94\ daN$$

$$P_{COND.TIERRA} = n_t \cdot \left(p_{pt} + p_{ht}\right) \cdot a_{gHVt} = n_t \cdot \left(p_{pt} + 0{,}18 \cdot \sqrt{\phi_t}\right) \cdot a_{gHVt}$$

$$P_{COND.TIERRA} = 1 \cdot \left(0{,}529 + 0{,}18 \cdot \sqrt{14{,}68}\right) \cdot 41{,}23 = 50{,}24 \; daN$$

- Peso de la cadena de aisladores, incluidos los herrajes:

$$P_{CAD} = 159 \cdot 0{,}981 = 156 \; daN$$

Total cargas verticales:

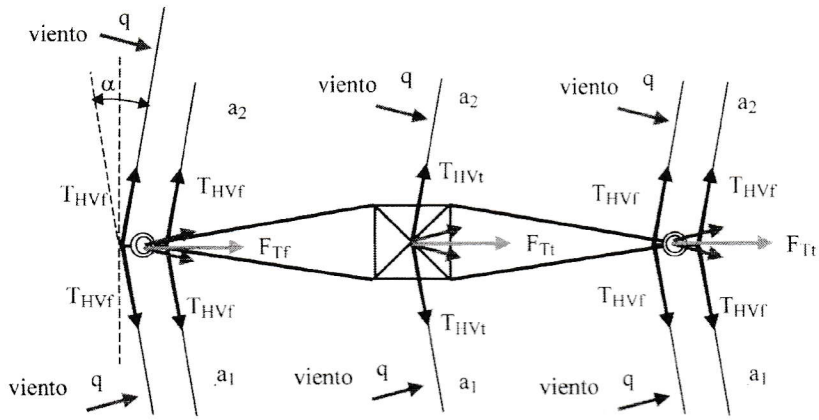
- Carga vertical por fase:

$$F_{Vf} = P_{COND.FASE} + P_{CAD} = 78{,}94 + 156 = 234{,}94 \; daN$$

- Carga vertical debida al conductor de tierra:

$$F_{Vt} = P_{COND.TIERRA} = 50{,}2 \; daN$$

b) Cargas transversales debidas a la resultante de ángulo (Aptdo. 3.1.6. ITC-LAT 07)



Esfuerzo transversal debido al viento de 60 km/h y a la resultante de ángulo sobre el conductor de fase:

$$F_{Tf} = n_f \cdot \left[2 \cdot T_{HVf} \cdot sen\frac{\alpha}{2} + a_e \cdot q \cdot \left(\phi_f + 2 \cdot e_f\right) \cdot 10^{-3} \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)\right]$$

$$F_{Tf} = 2 \cdot \left[2 \cdot 3231 \cdot sen\frac{5}{2} + 330 \cdot 50 \cdot \left(\frac{60}{120}\right)^2 \cdot \left(21{,}8 + 2 \cdot 10{,}9\right) \cdot 10^{-3} \cdot \cos\frac{5}{2}\right] = 923{,}1 \; daN$$

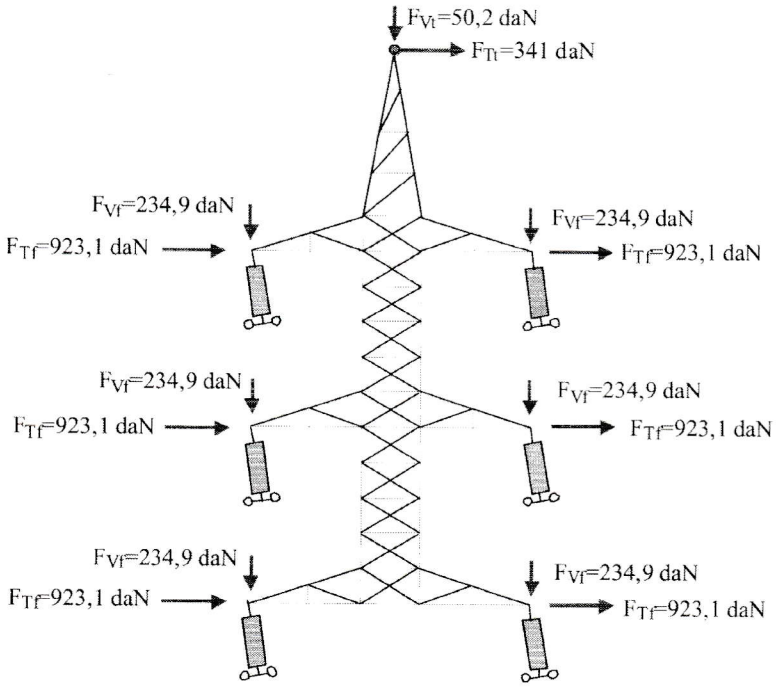
Esfuerzo transversal debido al viento de 60 km/h y a la resultante de ángulo sobre el conductor de tierra:

$$F_{Tt} = n_t \cdot \left[2 \cdot T_{HVt} \cdot sen\frac{\alpha}{2} + a_e \cdot q \cdot \left(\phi_t + 2 \cdot e_t\right) \cdot 10^{-3} \cdot \cos\frac{\alpha}{2}\right]$$

$$F_{Tt} = 1 \cdot \left[2 \cdot 2150 \cdot sen\frac{5}{2} + 330 \cdot 50 \cdot \left(\frac{60}{120}\right)^2 \cdot (14{,}68 + 2 \cdot 11{,}28) \cdot 10^{-3} \cdot \cos\frac{5}{2} \right] = 341\ daN$$

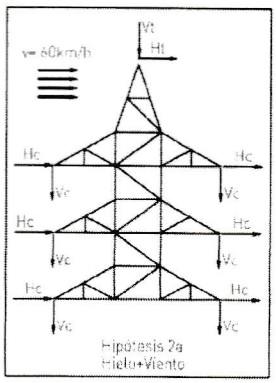
c) No se consideran cargas longitudinales en la hipótesis de hielo y viento de 60 km/h

Los esfuerzos, para esta hipótesis, sobre el apoyo son:



El apoyo seleccionado anteriormente, D-11200-24-E-4,6/5,5-T, cumple también con los esfuerzos de esta hipótesis.

Tipo de esfuerzo	(daN)	Cumplimiento
H_C	1740	$H_C > F_{Tf}$
H_t	1055	$H_t > F_{Tt}$
V_C	2500	$V_C > F_{Vf}$
V_t	1500	$V_t > F_{Vt}$



3ª hipótesis: desequilibrio de tracciones

a) Cargas verticales

Idénticas a las calculadas en la 2ª hipótesis.

- Carga vertical por fase:

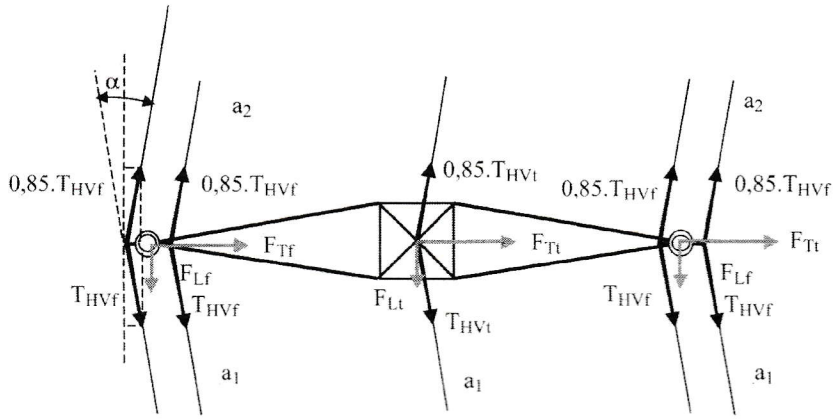
$$F_{Vf} = 234{,}9\ daN$$

- Carga vertical debida al conductor de tierra:

$$F_{Vt} = 50{,}2\ daN$$

b) Cargas transversales debidas a la resultante de ángulo (Aptdo. 3.1.6. ITC-LAT 07) y longitudinales por desequilibrio de tracciones (Aptdo. 3.1.4.2 ITC-LAT 07)

En los apoyos de ángulo con cadenas de suspensión, para líneas de $U_n > 66$ kV, se considera el 15% de las tracciones unilaterales de todos los conductores y cables de tierra. Este desequilibrio produce los esfuerzos transversales y longitudinales indicados en la figura siguiente, donde T_{HVf} y T_{HVt} son las tracciones en el cantón a –15 °C, con sobrecarga de hielo y viento de 60 km/h, para el conductor de fase y conductor de tierra respectivamente. En este caso, T_{HVf} = 3231 daN y T_{HVt} = 2150 daN.



Los esfuerzos longitudinal y transversal correspondientes al conductor de fase son:

$$F_{Tf} = n_f \cdot \left(T_{HVf} + 0{,}85 \cdot T_{HVf}\right) \cdot sen\frac{\alpha}{2} = 2 \cdot 1{,}75 \cdot T_{HVf} \cdot sen\frac{\alpha}{2} = 2 \cdot 1{,}85 \cdot 3231 \cdot sen\frac{5}{2} =$$

$$= 521{,}4\ daN$$

$$F_{Lf} = n_f \cdot \left(T_{HVf} - 0{,}85 \cdot T_{HVf}\right) \cdot \cos\frac{\alpha}{2} = 2 \cdot 0{,}15 \cdot T_{HVf} \cdot \cos\frac{\alpha}{2} = 2 \cdot 0{,}15 \cdot 3231 \cdot \cos\frac{5}{2} =$$

$$= 968{,}4\ daN$$

Los esfuerzos longitudinal y transversal correspondientes al conductor de tierra son:

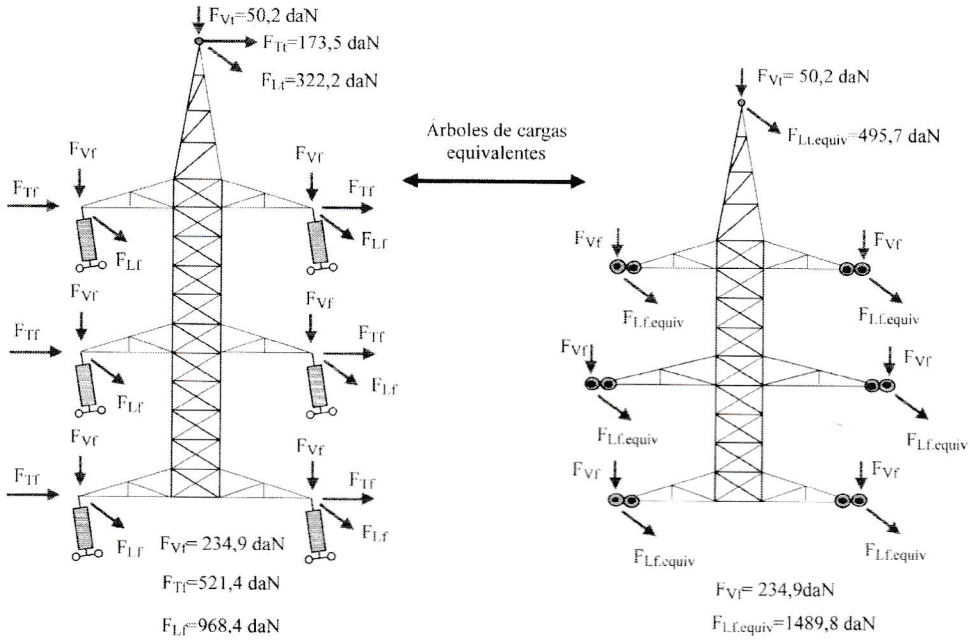
$$F_{Tt} = n_t \cdot \left(T_{HVt} + 0{,}85 \cdot T_{HVt}\right) \cdot sen\frac{\alpha}{2} = 1 \cdot 1{,}85 \cdot T_{HVt} \cdot sen\frac{\alpha}{2} = 1 \cdot 1{,}85 \cdot 2150 \cdot sen\frac{5}{2} =$$

$$= 173{,}5\ daN$$

$$F_{Lt} = n_t \cdot \left(T_{HVt} - 0{,}85 \cdot T_{HVt}\right) \cdot \cos\frac{\alpha}{2} = 1 \cdot 0{,}15 \cdot T_{HVt} \cdot \cos\frac{\alpha}{2} = 1 \cdot 0{,}15 \cdot 2150 \cdot \cos\frac{5}{2} =$$

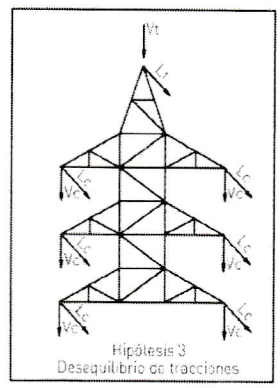
$$= 322{,}2 \; daN$$

Para esta hipótesis, los esfuerzos calculados sobre el apoyo, no son directamente comparables con el árbol de cargas especificado. Sin embargo, resulta admisible calcular un esfuerzo longitudinal equivalente como la suma aritmética de los esfuerzos longitudinal y transversal, y que provoca la misma flexión sobre el apoyo.



El apoyo seleccionado anteriormente, el D-11200-24-E-4,6/5,5-T, cumple también con los esfuerzos de esta hipótesis.

Tipo de esfuerzo	(daN)	Cumplimiento
L_C	2345	$L_C > F_{Lf.equiv}$
L_t	1405	$L_t > F_{Lt.equiv}$
V_C	2500	$V_C > F_{Vf}$
V_t	1000	$V_t > F_{Vt}$



4ª hipótesis: rotura de conductores con hielo en zona C y viento de 60 km/h a –15 °C)

a) Cargas verticales

Idénticas a las calculadas en la 2ª hipótesis para los conductores que no se rompen.

- Carga vertical por fase:

$$F_{Vf} = 234{,}9\ daN$$

- Carga vertical debida al conductor de tierra:

$$F_{Vt} = 50{,}2\ daN$$

- Para los conductores rotos:

  Se considera que se rompe el conductor o el conductor de tierra en el vano de la derecha, ya que el gravivano resultante es mayor que si se rompe en el vano de la izquierda.

$$P_{COND.FASE.r} = (p_{pf} + p_{hf}) \cdot a_{gHVf} + (p_{pf} + p_{hf}) \cdot a_{gHVfr} = (p_{pf} + p_{hf}) \cdot (a_{gHVf} + a_{gHVfr})$$

$$P_{COND.FASE.r} = \left(0{,}957 + 0{,}18 \cdot \sqrt{21{,}8}\right) \cdot (21{,}96 + 43{,}54) = 118{,}6\ daN$$

Siendo:

$$a_{gHVfr} = \frac{a_1}{2} + \left(\frac{T_{Hft}}{p_{Hft}} \cdot \frac{d_1}{a_1}\right) = \frac{310}{2} + \frac{3230{,}6}{1{,}87} \cdot \left(\frac{-20}{310}\right) = 43{,}54\ m$$

$$P_{COND.TIERRA.r} = (p_{pt} + p_{ht}) \cdot a_{gHVtr} = \left(0{,}529 + 0{,}18 \cdot \sqrt{14{,}68}\right) \cdot 51{,}56 = 62{,}8\ daN$$

Siendo:

$$a_{gHVtr} = \frac{a_1}{2} + \left(\frac{T_{HVt}}{p_{HVt}} \cdot \frac{d_1}{a_1}\right) = \frac{310}{2} + \frac{2150}{1{,}341} \cdot \left(\frac{-20}{310}\right) = 51{,}56\ m$$

Carga vertical por fase del cable roto:

$$F_{Vfr} = P_{COND.FASE.r} + P_{CAD} = 118{,}6 + 156 = 274{,}6\ daN$$

Carga vertical debida al conductor de tierra roto:

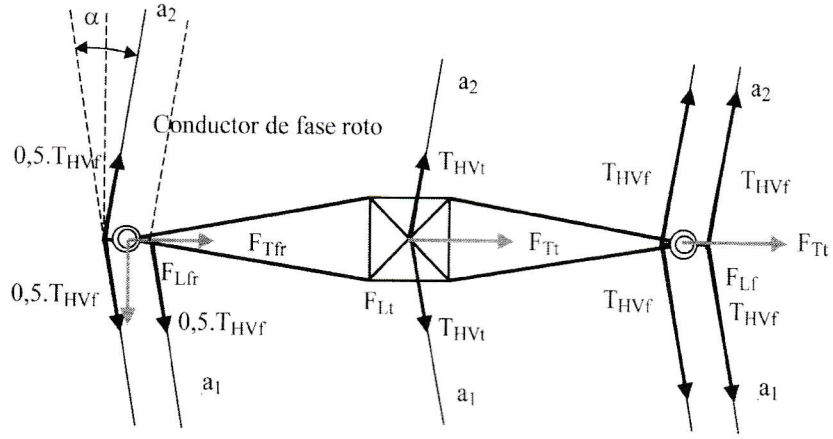
$$F_{Vtr} = P_{COND.TIERRA.r} = 62{,}8\ daN$$

b) Cargas transversales y longitudinales debidas a la resultante de ángulo (Aptdo. 3.1.6. ITC-LAT 07) y rotura del conductor (Aptdo. 3.1.5.1. ITC-LAT 07)

Se considera la rotura de un solo conductor de fase o conductor de tierra.

b-1) Caso de rotura del conductor de fase

Se considera la rotura de un solo conductor de fase, con una reducción del 50% de la tracción del conductor roto, debido al desvío de la cadena de aisladores cuando se produce la rotura del conductor.



El esfuerzo transversal debido a los conductores de fase no rotos, vale:

$$F_{Tf} = n_f \cdot 2 \cdot T_{HVf} \cdot sen\frac{\alpha}{2} = 2 \cdot 2 \cdot 3231 \cdot sen\frac{5}{2} = 563{,}7\ daN$$

El esfuerzo transversal debido al conductor de fase roto, vale:

$$F_{Tfr} = 1{,}5 \cdot T_{HVf} \cdot sen\frac{\alpha}{2} = 1{,}5 \cdot 3231 \cdot sen\frac{5}{2} = 211{,}4\ daN$$

El esfuerzo transversal debido al conductor de tierra no roto, vale:

$$F_{Tt} = 2 \cdot T_{HVt} \cdot sen\frac{\alpha}{2} = 2 \cdot 2150 \cdot sen\frac{5}{2} = 187{,}6\ daN$$

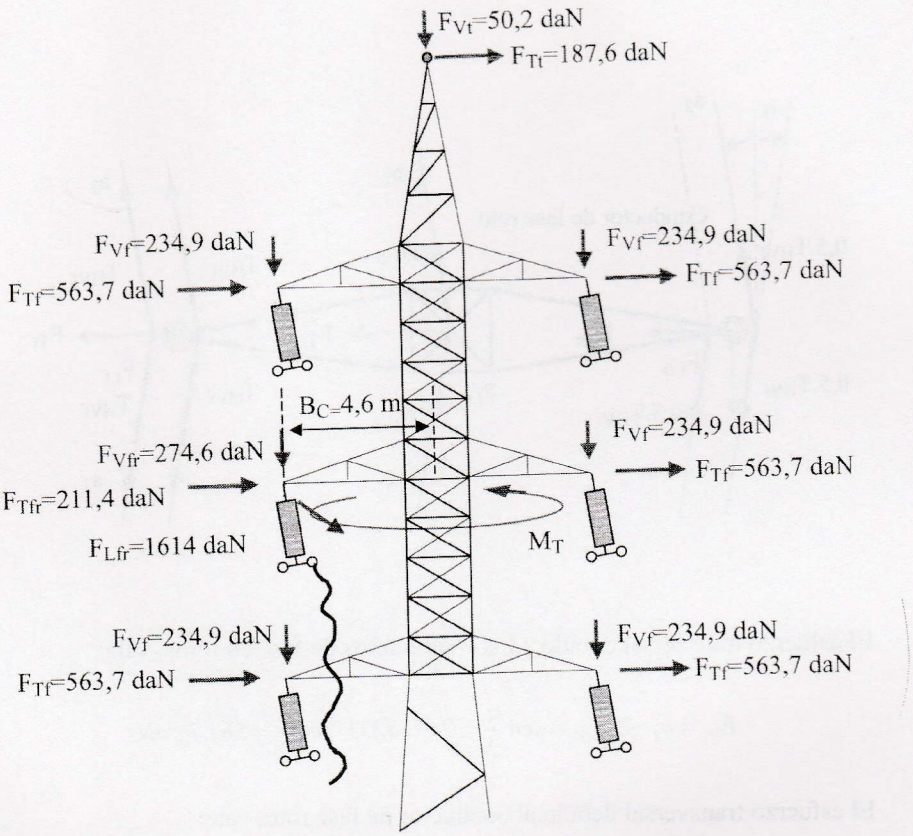
El esfuerzo longitudinal debido al conductor de fase roto, vale:

$$F_{Lfr} = 0{,}5 \cdot T_{HVf} \cdot \cos\frac{\alpha}{2} = 0{,}5 \cdot 3231 \cdot \cos\frac{5}{2} = 1614\ daN$$

Este esfuerzo longitudinal provoca sobre el apoyo un momento torsor de valor:

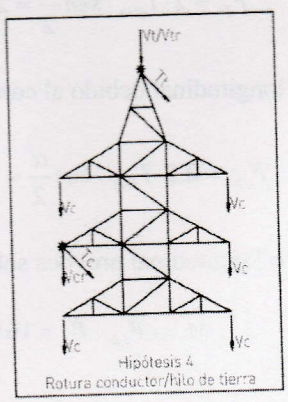
$$M_t = F_{Lfr} \cdot B_c = 1614 \cdot 5 \cdot 6 = 9038\ daN \cdot m$$

Los esfuerzos a los que queda sometido el apoyo se muestran en la figura siguiente:



Para el apoyo seleccionado anteriormente, D-11200-24-E-4,6/5,5-T, los esfuerzos especificados que se muestran a continuación no incluyen el efecto combinado de la torsión M_t, con el esfuerzo transversal F_{Tf}, al no incluirse este último.

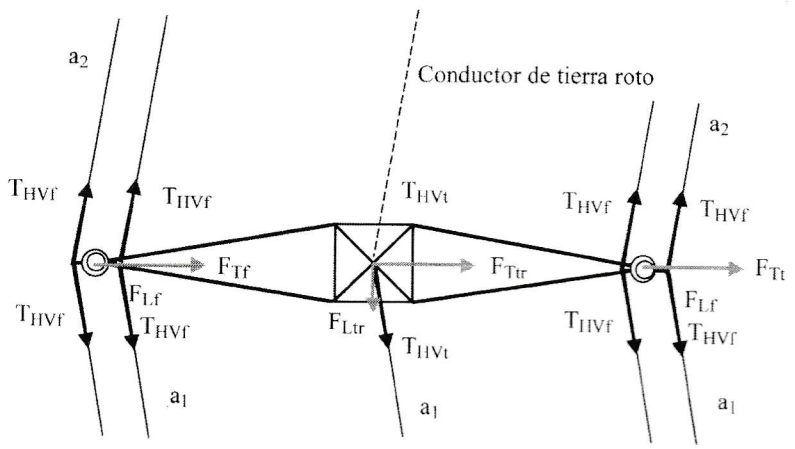
Tipo de esfuerzo	(daN)
T_c	4150
V_{cr}	1960
V_c	2500
V_t	1000



Para comprobar si un apoyo es capaz de soportar la acción combinada de los esfuerzos transversales y del par torsor, los fabricantes deben facilitar esta información, tal como se indicó, para un apoyo del mismo tipo en el Apartado 3.9.

b-2) Rotura del conductor de tierra

Se considera la rotura del conductor de tierra sin reducción alguna de su tracción.



El esfuerzo transversal debido a los conductores de fase no rotos, vale:

$$F_{Tf} = n_f \cdot 2 \cdot T_{HVf} \cdot sen\frac{\alpha}{2} = 2 \cdot 2 \cdot 3231 \cdot sen\frac{5}{2} = 563{,}7\ daN$$

El esfuerzo transversal debido al conductor de tierra roto, vale:

$$F_{Ttr} = T_{HVt} \cdot sen\frac{\alpha}{2} = 2150 \cdot sen\frac{5}{2} = 93{,}8\ daN$$

El esfuerzo longitudinal debido al conductor de tierra roto, vale:

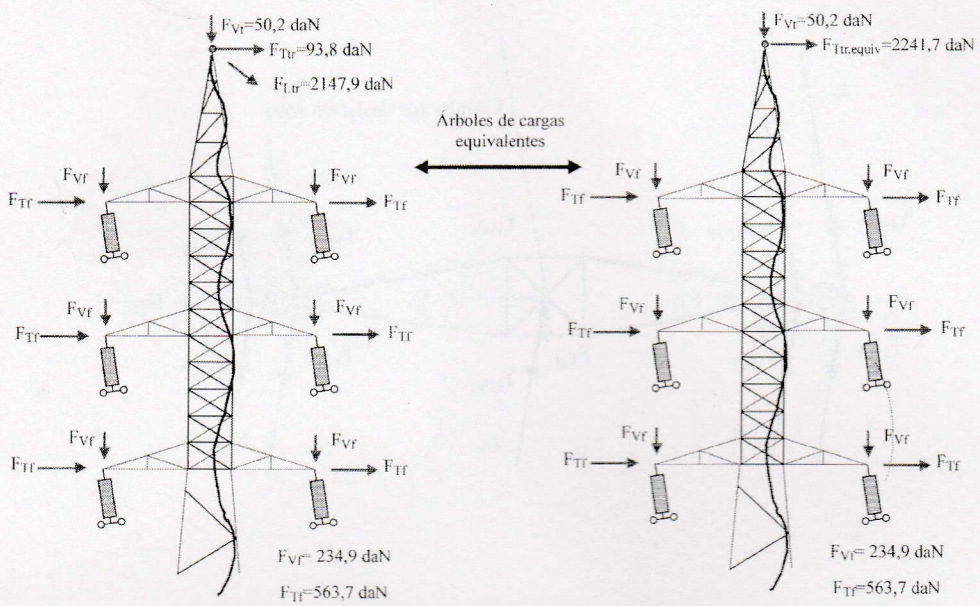
$$F_{Ltr} = T_{HVt} \cdot \cos\frac{\alpha}{2} = 2150 \cdot \cos\frac{5}{2} = 2147{,}9\ daN$$

Según se muestra en la figura siguiente, el apoyo se encuentra sometido a unas cargas verticales junto a un momento flector cuyo valor es:

$$M_t = F_{Lr} \cdot H_L = 2147{,}9 \cdot 40{,}9 = 87849\ daN \cdot m$$

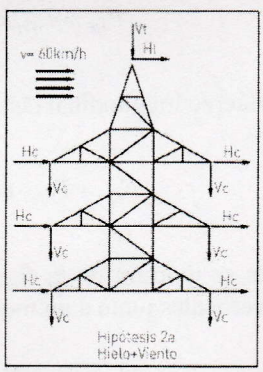
Para esta hipótesis, los esfuerzos calculados sobre el apoyo, no son directamente comparables con el árbol de cargas especificado. Sin embargo, resulta admisible calcular un esfuerzo longitudinal equivalente para el cable de tierra, como la suma aritmética de los esfuerzos longitudinal y transversal que provoca la misma flexión sobre el apoyo, con objeto de compararlos con los especificados por el fabricante para la 2ª hipótesis.

Los esfuerzos a los que queda sometido el apoyo se muestran en la figura siguiente:



El apoyo seleccionado anteriormente, D-11200-24-E-4,6/5,5-T no cumple con los esfuerzos solicitados y es necesario seleccionar el apoyo D-2700-24-E-4,6/5,5-T, cuyos esfuerzos especificados para la 2ª hipótesis se indican a continuación:

Tipo de esfuerzo	(daN)	Cumplimiento
H_C	4000	$H_C > F_{Tf}$
H_t	2300	$H_t > F_{Tt}$
V_C	2800	$V_C > F_{Vf}$
V_t	1000	$V_t > F_{Vt}$



CALCULO DE APOYOS

$$T_{Apoyo} = \frac{T_{Prisma} \cdot H_{Prisma} + T_{Tronco} \cdot H_{Tronco}}{H_{Apoyo}}$$

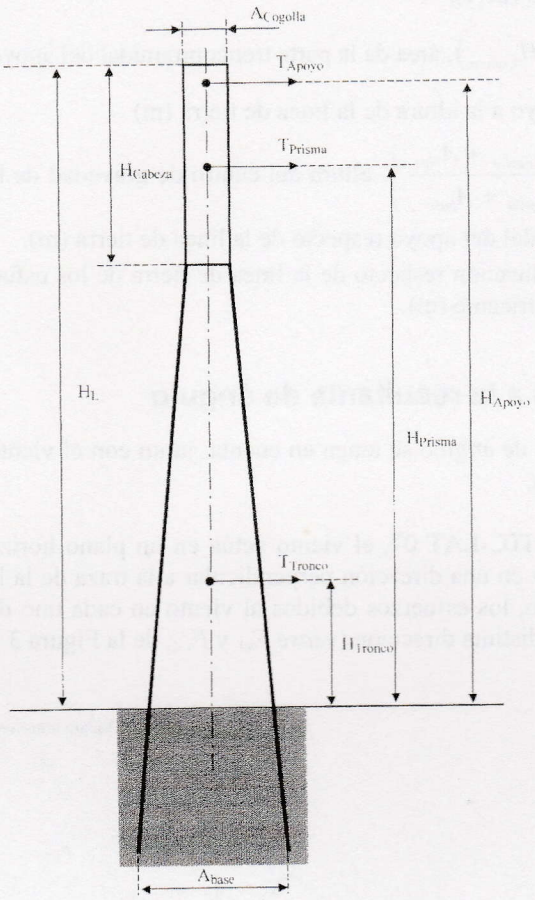


Figura 3.38. Esfuerzo debido al viento sobre el propio apoyo

donde:

T_{Apoyo} = esfuerzo transversal de la presión del viento sobre el apoyo debido a la diferencia del viento excepcional con respecto a los 120 km/h y aplicado a la distancia de la cogolla especificada por el fabricante (daN).

Pv_{Apoyo} = presión del viento sobre el apoyo debido a la diferencia del viento excepcional con respecto a los 120 km/h. (daN/m^2).

$T_{prisma} = Pv_{Apoyo} \cdot A_{Prisma}$, esfuerzo transversal de la presión del viento sobre la parte prismática del apoyo debido a la diferencia del viento excepcional con respecto a los 120 km/h (daN).

$A_{Prisma} = H_{Cabeza} \cdot A_{Cogolla}$, área de la parte prismática del apoyo expuesta al viento.

H_{Cabeza} = altura de la cabeza que es la parte prismática de los apoyos (m).

$A_{Cogolla}$ = anchura o profundidad de la cogolla del apoyo (m).

$H_{Prisma} = H_L - H_{Cabeza}/2$, altura del centro de gravedad de la superficie prismática del apoyo respecto de la línea de tierra (m).

H_L = Altura libre del apoyo (m).

$T_{Tronco} = Pv_{Apoyo} \cdot A_{Tronco}$, esfuerzo transversal de la presión del viento sobre la parte troncopiramidal del apoyo debido a la diferencia del viento excepcional con respecto a los 120 km/h (daN).

$A_{\text{Tronco}} = \dfrac{A_{cogolla} + A_{base}}{2} \cdot \left(H_L - H_{Cabeza}\right)$, área de la parte troncopiramidal del apoyo (m^2).

A_{base} = ancho de la base del apoyo a la altura de la línea de tierra (m).

$H_{\text{Tronco}} = \dfrac{H_L - H_{Cabeza}}{3} \cdot \left(\dfrac{2 \cdot A_{Cogolla} + A_{base}}{A_{Cogolla} + A_{base}} \right)$, altura del centro de gravedad de la superficie troncopiramidal del apoyo respecto de la línea de tierra (m).

H_{Apoyo} = altura del punto de aplicación respecto de la línea de tierra de los esfuerzos según especifica el fabricante (m).

3.3.4. Esfuerzos debidos a la resultante de ángulo

El RLAT exige que en los apoyos de ángulo se tenga en cuenta, junto con el viento sobre la línea, la resultante de ángulo.

Según el Apartado 5.1.2 de la ITC-LAT 07, el viento actúa en un plano horizontal sobre la superficie del conductor y en una dirección perpendicular a la traza de la línea; por tanto, en los apoyos de ángulo, los esfuerzos debidos al viento en cada uno de los vanos adyacentes al apoyo tienen distinta dirección (*véase* F_{V1} y F_{V2}, de la Figura 3.39).

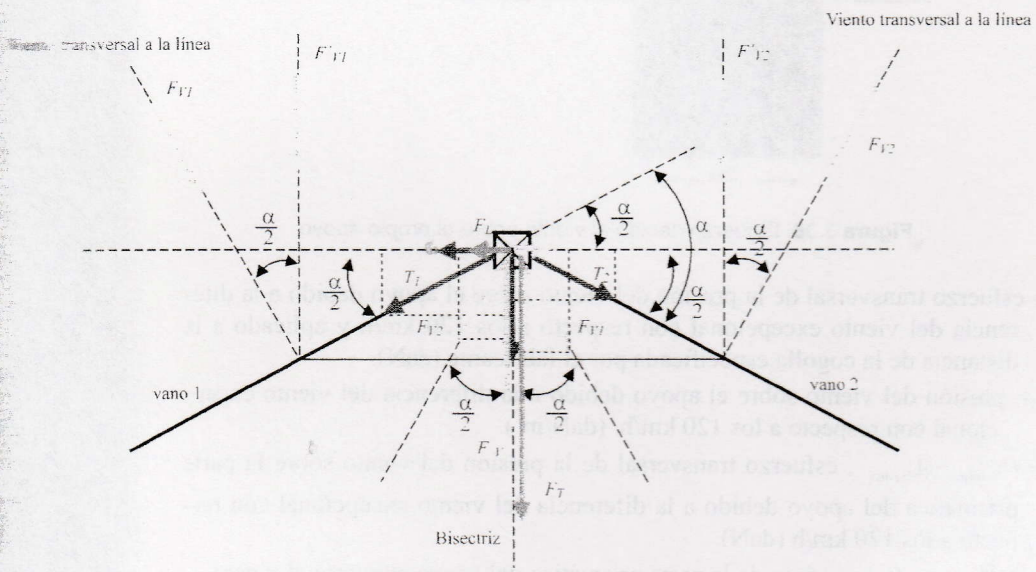


Figura 3.39. Esfuerzo debido al viento sobre el propio apoyo

Las expresiones para las fuerzas del viento sobre los conductores de cada vano son las siguientes:

$$F_{T1} = q \cdot d \cdot \frac{a_1}{2}$$

$$F_{T2} = q \cdot d \cdot \frac{a_2}{2}$$

Las expresiones para las fuerzas del viento sobre el apoyo, en la dirección de la bisectriz, son las siguientes:

$$F'_{T1} = q \cdot d \cdot \frac{a_1}{2} \cdot \cos\frac{\alpha}{2}$$

$$F'_{T2} = q \cdot d \cdot \frac{a_2}{2} \cdot \cos\frac{\alpha}{2}$$

$$F'_T = F'_{T1} + F'_{T2}$$

Para las fuerzas representadas en la Figura 3.39, la resultante transversal total sobre el apoyo, en la dirección de la bisectriz será:

$$F_T = T_1 \cdot sen\frac{\alpha}{2} + T_2 \cdot sen\frac{\alpha}{2} + q \cdot d \cdot \left(\frac{a_1 + a_2}{2}\right) \cdot \cos\frac{\alpha}{2} \quad (6)$$

La resultante sobre el apoyo en la dirección perpendicular a la bisectriz será:

$$F_L = (T_1 - T_2) \cdot \cos\frac{\alpha}{2} + (F_{T2} - F_{T1}) \cdot sen\frac{\alpha}{2} = (T_1 - T_2) \cdot \cos\frac{\alpha}{2} + q \cdot d \cdot \left(\frac{a_2 - a_1}{2}\right) \cdot sen\frac{\alpha}{2} \quad (7)$$

3.3.5. Cálculo de esfuerzos equivalentes cambiando su punto de aplicación

Independientemente que los esfuerzos aplicados sobre apoyo sean longitudinales o transversales, siempre será necesario, para elegir el apoyo a emplazar en la línea, comparar los esfuerzos obtenidos en los cálculos con los esfuerzos dados por el fabricante del apoyo. La mayor parte de las veces ocurre que los esfuerzos calculados no se aplican en los mismos puntos que los especificados por el fabricante del apoyo; por tanto, es necesario transformarlos en los equivalentes sobre los puntos de aplicación utilizados por el fabricante.

Para calcular el momento de todas las fuerzas aplicadas en los puntos de sujeción de los conductores se deberá tener en cuenta si estos puntos se encuentran por debajo o por encima de la cogolla del apoyo.

En el caso de que los puntos de sujeción de los conductores se encuentren por debajo de la cogolla del apoyo se deberán tomar momentos respecto de la línea de tierra ya que el apoyo tiende a romperse en las proximidades de la misma.

En el caso contrario, es decir, cuando se encuentren los puntos de sujeción de los conductores por encima de la cogolla, el momento a que estará sometido el apoyo

pecto de la línea de tierra será inferior al admisible, por lo que el apoyo realmente no romperá por este punto, sino por su sección más débil según su constitución, por ejemplo, a la altura de la unión de la cabeza y el fuste. Debido a todas estas consideraciones se deberán tomar momentos a la altura de la sección más débil.

A continuación se indica la obtención de los esfuerzos equivalentes para los diferentes apoyos y configuraciones empleados en líneas aéreas de alta tensión.

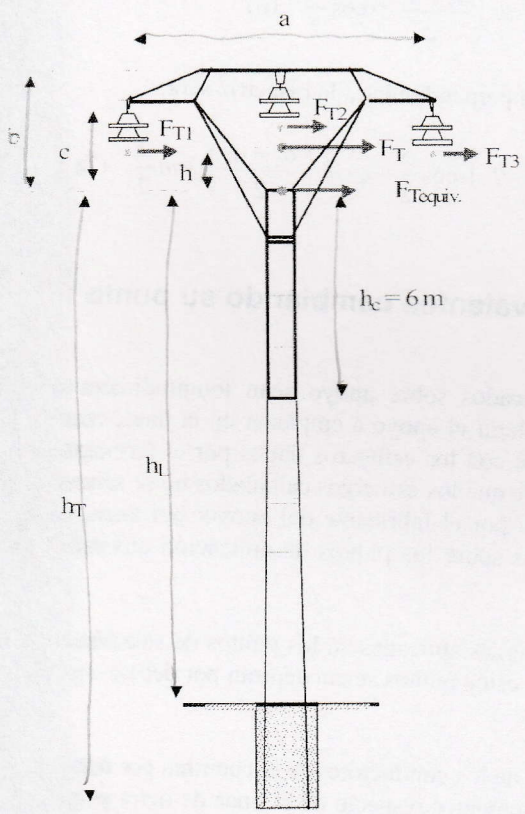
3.3.5.1. Apoyos de presilla según RU 6704 A

El esfuerzo dado por el fabricante para este tipo de apoyos, se da, como se ha especificado anteriormente, en la cogolla del apoyo.

a) Esfuerzos aplicados por encima de la cogolla del apoyo

En los apoyos de presilla se tomarán momentos respecto del punto de unión entre la cabeza y el fuste, que normalmente se encuentra a 6 m de la cogolla.

- **Apoyo de presilla con cruceta en bóveda**



$$h = \frac{2 \cdot c + b}{3}$$

$$h_C = 6\ m$$

$$F_T = F_{T1} + F_{T2} + F_{T3}$$

$$F_T \cdot (h + h_c) = F_{Tequiv} \cdot h_c$$

$$F_{Tequiv} = \frac{F_T \cdot (h + h_c)}{h_c} = \frac{F_T \cdot (h + 6)}{6}$$

Figura 3.40. Esfuerzos a considerar sobre el apoyo de presilla con cruceta en bóveda

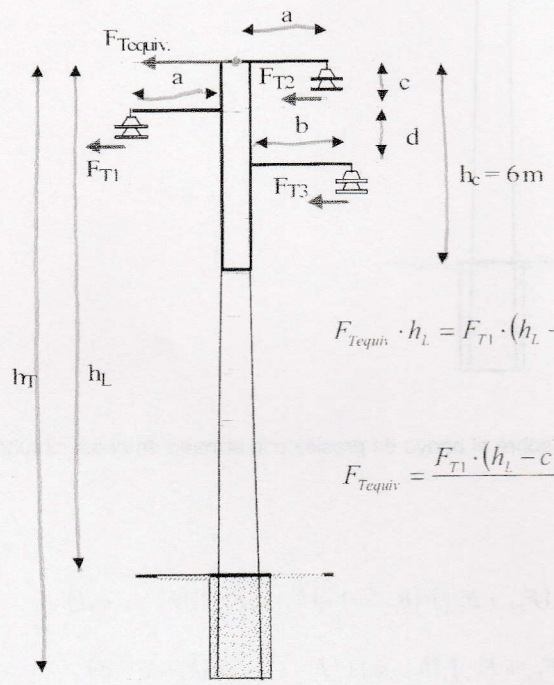
Las principales características de este tipo de cruceta se muestran en Tabla 3.41:

Tabla 3.41. Características de armados en bóveda para apoyos de presilla

Armado	*a* (m)	*b* (m)	*c* (m)	Peso (kg)
BP	1,82	1,1	0,7	83

b) Esfuerzos aplicados por debajo de la cogolla del apoyo

- **Apoyo de presilla con armado en tresbolillo**



$$F_{Tequiv} \cdot h_L = F_{T1} \cdot (h_L - c) + F_{T2} \cdot h_L + F_{T3} \cdot (h_L - c - d)$$

$$F_{Tequiv} = \frac{F_{T1} \cdot (h_L - c) + F_{T2} \cdot h_L + F_{T3} \cdot (h_L - c - d)}{h_L}$$

Figura 3.41. Esfuerzos a considerar sobre el apoyo de presilla con armado en tresbolillo

Las principales características de este tipo de cruceta se muestran en la Tabla 3.42:

Tabla 3.42. Características de armados en tresbolillo para apoyos de presilla

Armado	*a* (m)	*b* (m)	*c* (m)	*d* (m)	Peso (kg)
TB1	0,75	1	1	1	75
TB2	1	1,25	1	1	100
TB3	1,25	1,25	1	1	120

- **Apoyo de presilla con armado en doble circuito**

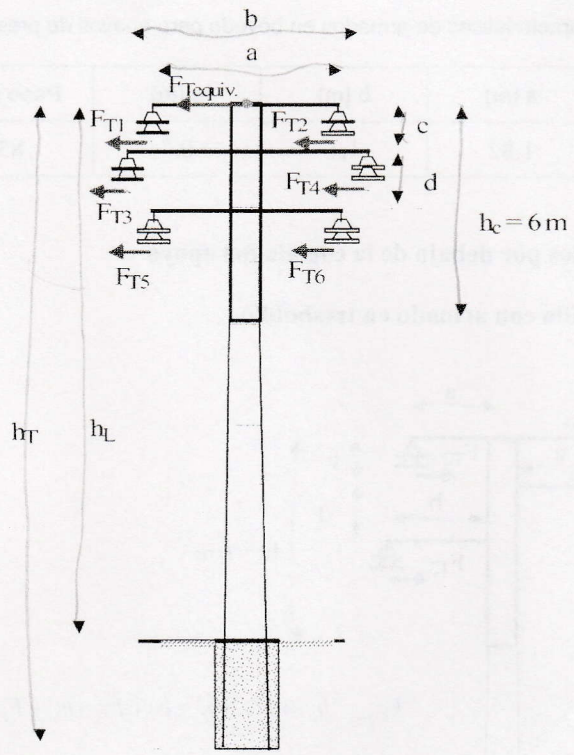


Figura 3.42. Esfuerzos a considerar sobre el apoyo de presilla con armado en doble circuito

$$F_{Tequiv.} \cdot h_L = (F_{T1} + F_{T2}) \cdot h_L + (F_{T3} + F_{T4}) \cdot (h_L - c) + (F_{T5} + F_{T6}) \cdot (h_L - c - d)$$

$$F_{Tequiv.} = \frac{(F_{T1} + F_{T2}) \cdot h_L + (F_{T3} + F_{T4}) \cdot (h_L - c) + (F_{T5} + F_{T6}) \cdot (h_L - c - d)}{h_L}$$

Las principales caracteristicas de este tipo de cruceta se muestran en la Tabla 3.43:

Tabla 3.43. Caracteristicas de armados en doble circuito para apoyos de presilla

Armado	*a* (m)	*b* (m)	*c* (m)	*d* (m)	Peso (kg)
E1	0,75	1	1	1	156
E2	1	1,25	1	1	200
E3	1,25	1,25	1	1	240

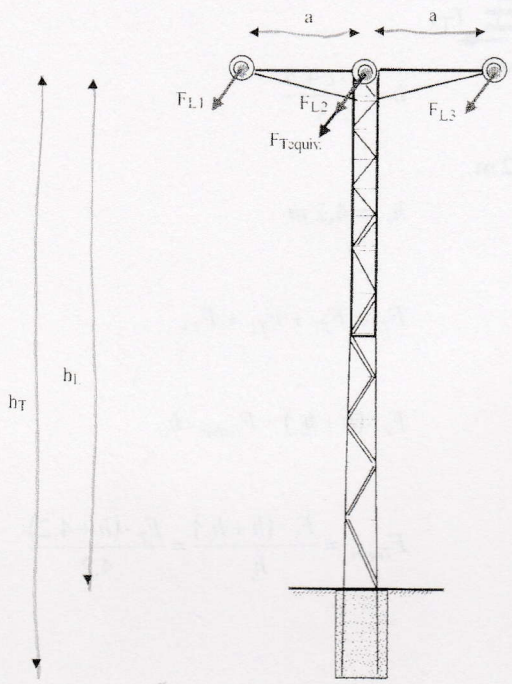
3.3.5.2. Apoyos de celosía según UNE 207017

El esfuerzo útil, especificado en la Norma, para este tipo de apoyos, se da aplicado en la cogolla del apoyo.

a) Esfuerzos aplicados en la cogolla del apoyo

En los apoyos de celosía, cuya cruceta se encuentre situada sobre la cogolla del apoyo, los esfuerzos calculados se compararán directamente con los especificados por el fabricante del apoyo o con los especificados en la Norma UNE 207017.

- **Apoyo de celosía con cruceta horizontal**



$$F_{Lequiv} = F_{L1} + F_{L2} + F_{L3}$$

Figura 3.43. Esfuerzos a considerar sobre el apoyo de celosía con cruceta horizontal

Las principales características de este tipo de cruceta se muestran en la Tabla 3.44:

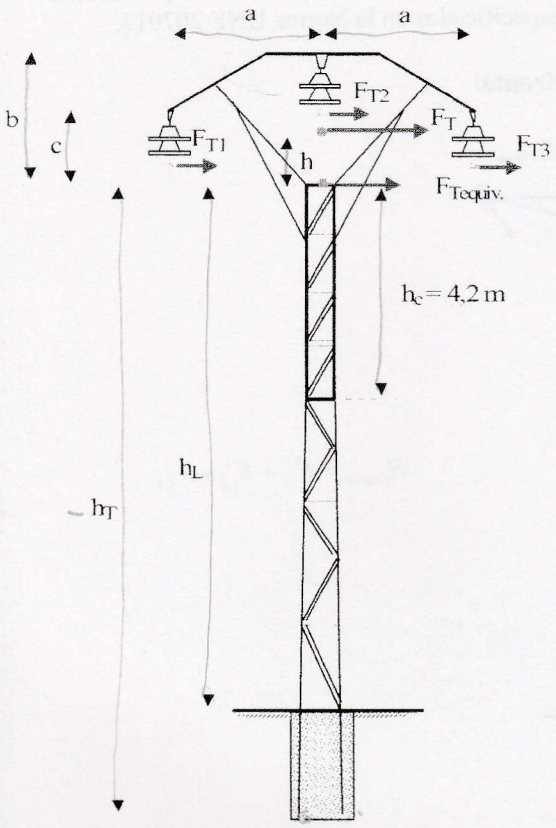
Tabla 3.44. Características de cruceta horizontal para apoyos de celosía.

Armado	*a* (m)	Anchura de la cogolla (mm)	Peso (kg)
H–35	1.75	510	70
H1–15/5	1.5	510	61
H2–15/5	2	510	85
H3–15/5	2	510	113

b) **Esfuerzos aplicados por encima de la cogolla del apoyo**

En los apoyos de celosía, según UNE 207017, se tomarán momentos respecto de la distancia de la cogolla al final del primer tramo de los apoyos, es decir, respecto de la cabeza del apoyo, que se corresponde con 4,2 m.

- **Apoyo de celosía con cruceta en bóveda**



$$h = \frac{2 \cdot c + b}{3}$$

$$h_C = 4,2\ m$$

$$F_T = F_{T1} + F_{T2} + F_{T3}$$

$$F_T \cdot (h + h_c) = F_{Tequiv} \cdot h_c$$

$$F_{Tequiv} = \frac{F_T \cdot (h + h_c)}{h_c} = \frac{F_T \cdot (h + 4,2)}{4,2}$$

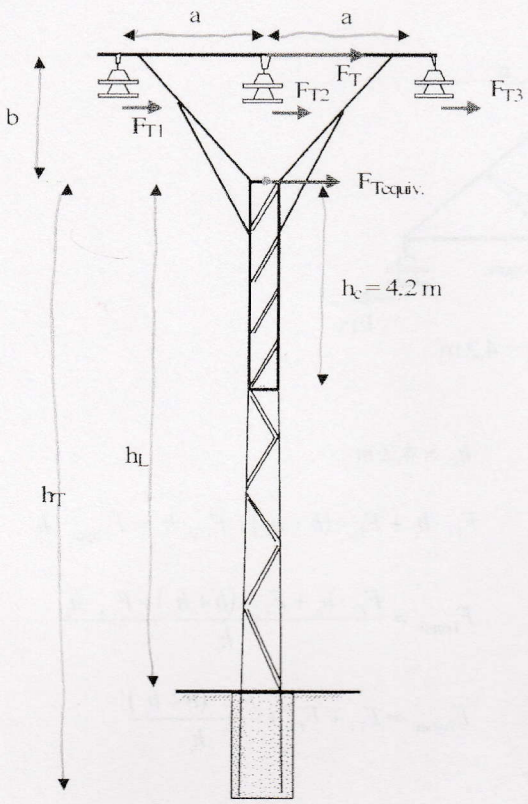
Figura 3.44. Esfuerzos a considerar sobre el apoyo de celosía con cruceta en bóveda

Las principales características de este tipo de cruceta se muestran en la Tabla 3.45:

Tabla 3.45. Características de cruceta en bóveda para apoyos de celosía

Armado	*a* (m)	*b* (m)	*c* (m)	Peso (kg)
BC–40	1,95	1,1	0,67	108
BC–50	2,42	1,1	0,5	128

- **Apoyo de celosía con armado en bóveda horizontal**



$$h_c = 4.2\ m$$

$$F_T = F_{T1} + F_{T2} + F_{T3}$$

$$F_T \cdot (b + h_c) = F_{Tequiv.} \cdot h_c$$

$$F_{Tequiv.} = \frac{F_T \cdot (b + h_c)}{h_c} = \frac{F_T \cdot (b + 4{,}2)}{4{,}2}$$

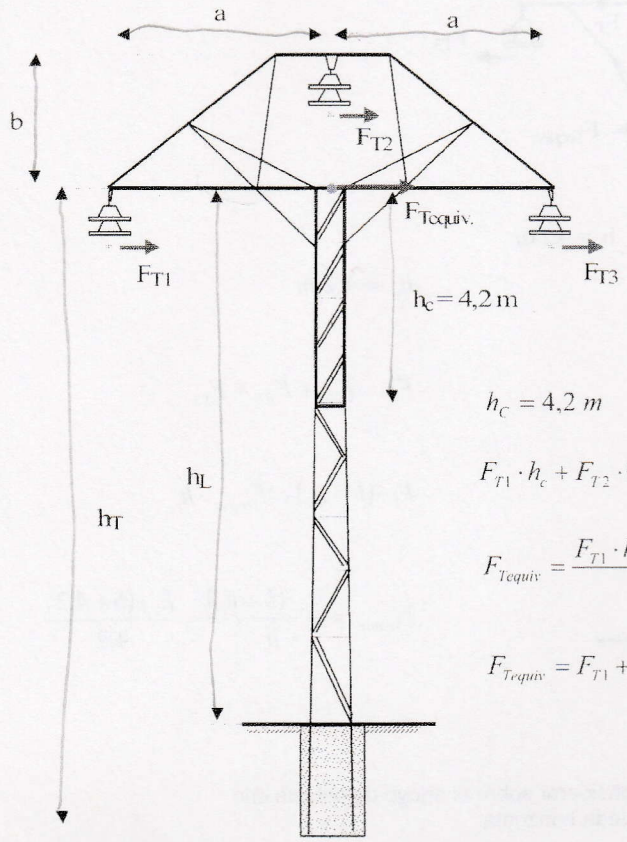
Figura 3.45. Esfuerzos a considerar sobre el apoyo de celosía con armado en bóveda horizontal

Las principales características de este tipo de cruceta se muestran en la Tabla 3.46:

Tabla 3.46. Características de armado en bóveda horizontal para apoyos de celosía

Armado	*a* (m)	*b* (m)	Peso (kg)
BC1–20	2	1,5	200
BC2–20	2	1.5	237
BC3–20	2	1,5	248
BC1–25	2,5	1,5	248
BC2–25	2,5	1,5	325

- **Apoyo de celosía con cruceta en bóveda triangular**



$$h_C = 4{,}2\ m$$

$$F_{T1} \cdot h_c + F_{T2} \cdot (b + h_c) + F_{T3} \cdot h_c = F_{Tequiv} \cdot h_c$$

$$F_{Tequiv} = \frac{F_{T1} \cdot h_c + F_{T2} \cdot (b + h_c) + F_{T3} \cdot h_c}{h_c}$$

$$F_{Tequiv} = F_{T1} + F_{T3} + \frac{F_{T2} \cdot (b + h_c)}{h_c}$$

Figura 3.46. Esfuerzos a considerar sobre el apoyo de celosía con cruceta en bóveda triangular

Las principales características de este tipo de cruceta se muestran en la Tabla 3.47:

Tabla 3.47. Características de cruceta en bóveda triangular para apoyos de celosía

Armado	*a* (m)	*b* (m)	Peso (kg)
B–36	1,8	0,9	157

c) Esfuerzos aplicados por debajo de la cogolla del apoyo

- **Apoyo de celosía con cruceta triangular**

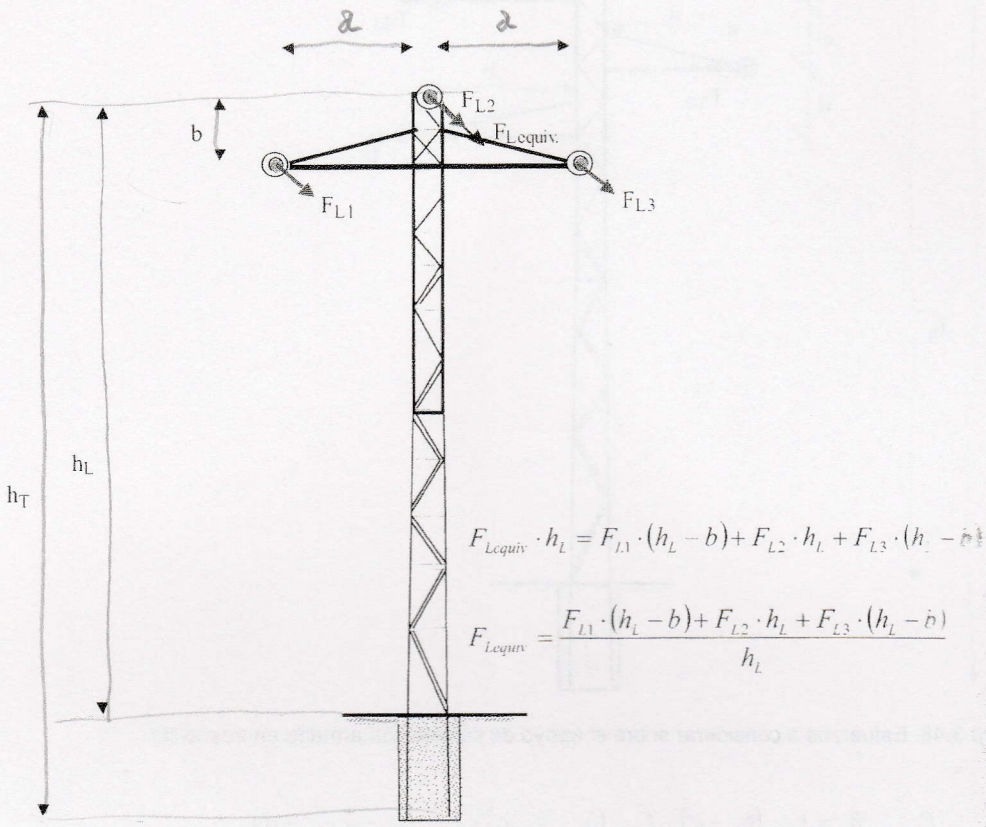


Figura 3.47. Esfuerzos a considerar sobre el apoyo de celosía con cruceta triangular

Las principales características de este tipo de cruceta se muestran en la Tabla 3.48.

Tabla 3.48. Características de cruceta triangular para apoyos de celosía

Armado	*a* (m)	*b* (m)	Anchura de la cogolla (mm)	Peso (kg)
T1 –15/5	1,5	1,2	510	61
T2 –20/5	2	1,2	510	85
T3 –20/5	2	1,2	510	113

- **Apoyo de celosía con armado en tresbolillo**

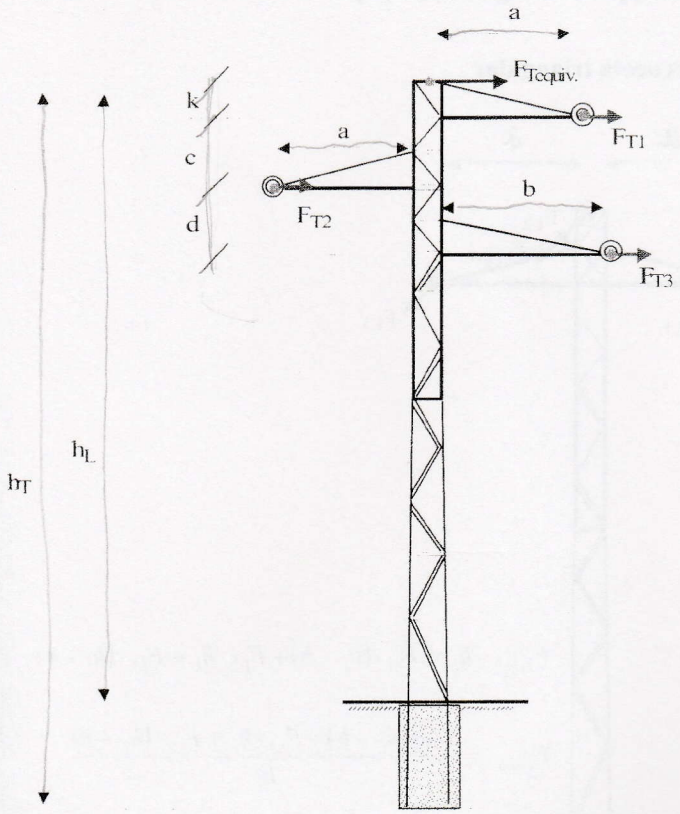


Figura 3.48. Esfuerzos a considerar sobre el apoyo de celosía con armado en tresbolillo

$$F_{Tequiv} \cdot h_L = F_{T1} \cdot (h_L - k) + F_{T2} \cdot (h_L - k - c) + F_{T3} \cdot (h_L - k - c - d)$$

$$F_{Tequiv} = \frac{F_{T1} \cdot (h_L - k) + F_{T2} \cdot (h_L - k - c) + F_{T3} \cdot (h_L - k - c - d)}{h_L}$$

Las principales características de este tipo de cruceta se muestran en la Tabla 3.49:

Tabla 3.49. Características de armado en tresbolillo para apoyos de celosía

Armado	*a* (m)	*b* (m)	*c* (m)	*d* (m)	*k* (m)	Anchura de la cogolla (mm)	Peso (kg)
D–15–I	1,5	1,75	1,2	1,2	0	510	96
D–15–II	1,5	1,75	1,8	1,8	0	510	96
TB1–15/5	1,5	2	1,2	1,2	0,6	510	96
TB2–15/5	1,5	2	1,2	1,2	0,6	510	110

- **Apoyo de celosía con cruceta en doble circuito**

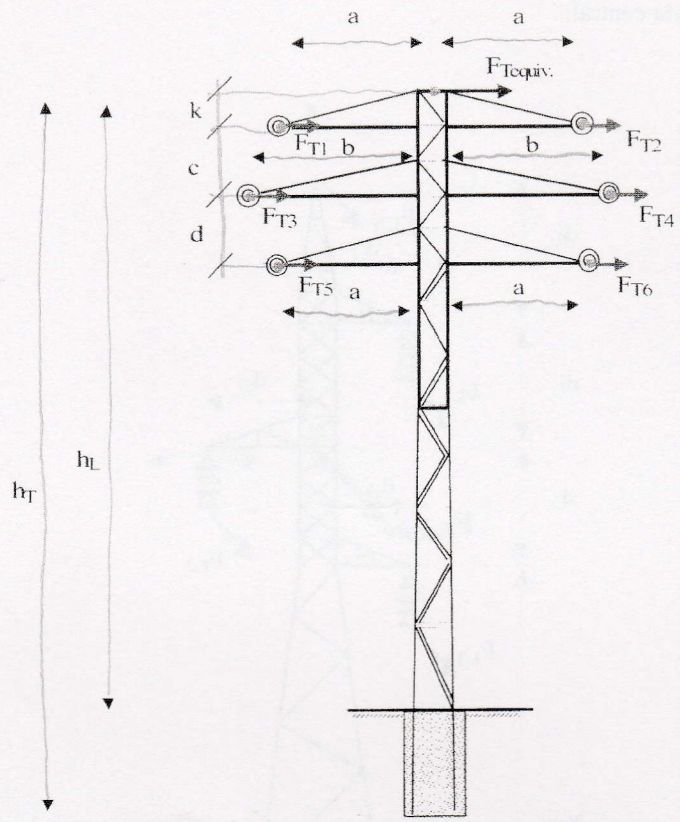


Figura 3.49. – Esfuerzos a considerar sobre el apoyo de celosía con cruceta en doble circuito

$$F_{Tequiv} \cdot h_L = (F_{T1} + F_{T2}) \cdot (h_L - k) + (F_{T3} + F_{T4}) \cdot (h_l - k - c) + (F_{T5} + F_{T6}) \cdot (h_L - k - c - d)$$

$$F_{Tequiv} = \frac{(F_{T1} + F_{T2}) \cdot (h_l - k) + (F_{T3} + F_{T4}) \cdot (h_L - k - c) + (F_{T5} + F_{T6}) \cdot (h_L - k - c - d)}{h_L}$$

Las principales caracteristicas de este tipo de cruceta se muestran en la Tabla 3.50:

Tabla 3.50. Caracteristicas de cruceta en doble circuito para apoyos de celosía

Armado	*a* (m)	*b* (m)	*c* (m)	*d* (m)	*k* (m)	Anchura de la cogolla (mm)	Peso (kg)
E –30 –I	1,5	1,75	1,2	1,2	0	510	192
E –30 –II	1,5	1,75	1,8	1,8	0	510	192
E1 –15/5	1,5	2	1,2	1,2	0,6	510	192
E2 –15/5	1,5	2	1,2	1,2	0,6	510	220

3.3.5.3. Otros apoyos de celosía empleados para líneas de 30 kV < U_n ≤ 66 kV

El esfuerzo especificado por el fabricante para este tipo de apoyos, se suele facilitar a la altura de la cruceta central.

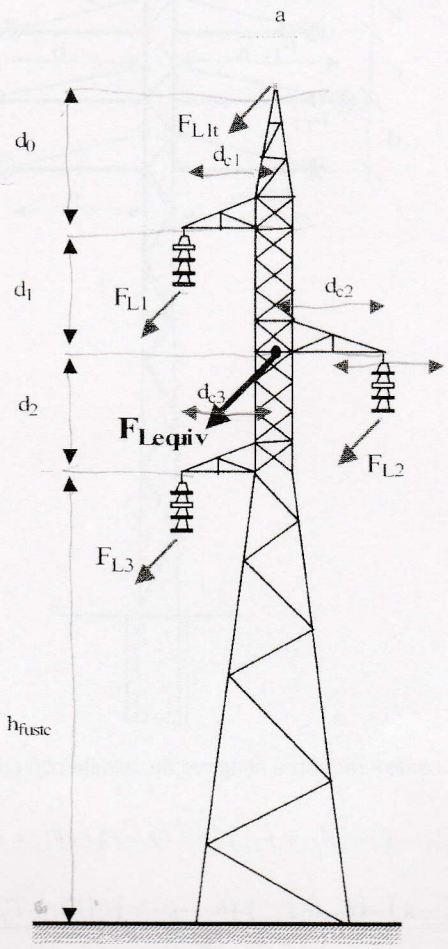


Figura 3.50. Esfuerzos a considerar sobre el apoyo de celosía para líneas de U_n > 30 kV

$$F_{Lequiv} \cdot (d_2 + h_{fuste}) = F_{L1t} \cdot (d_0 + d_1 + d_2 + h_{fuste}) + F_{L1} \cdot (d_1 + d_2 + h_{fuste}) +$$

$$+ F_{L2} \cdot (d_2 + h_{fuste}) + F_{L3} \cdot h_{fuste}$$

$$F_{Lequiv} = \frac{F_{L1t} \cdot (d_0 + d_1 + d_2 + h_{fuste}) + F_{L1} \cdot (d_1 + d_2 + h_{fuste}) + F_{L2} \cdot (d_2 + h_{fuste}) + F_{L3} \cdot h_{fuste}}{d_2 + h_{fuste}}$$

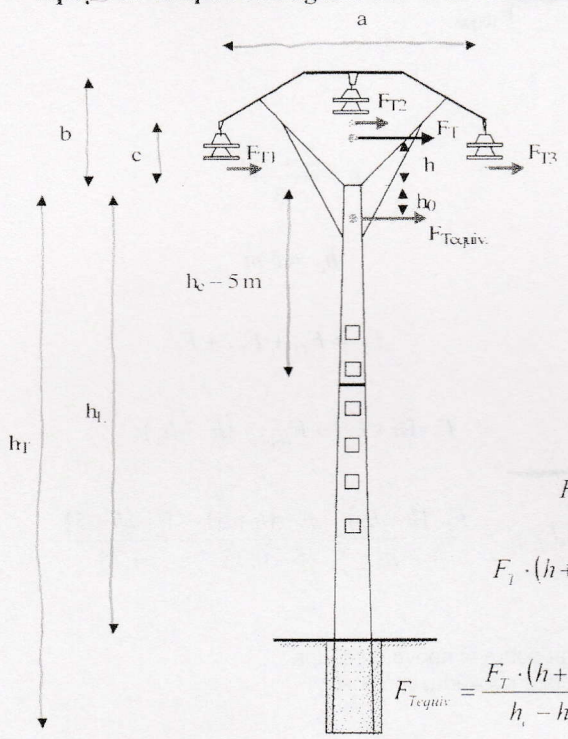
3.3.5.4. Apoyos de chapa según UNE 207018

El esfuerzo útil, especificado en la norma, para este tipo de apoyos, se aplica a una distancia $h_0 = 0{,}25$ m por debajo de la cogolla del apoyo.

a) Esfuerzos aplicados por encima de la cogolla del apoyo

En los apoyos de chapa, según UNE 207018, se tomarán momentos respecto a la distancia de la cogolla al final del primer tramo de los apoyos, es decir, respecto a la cabeza del apoyo, que se corresponde normalmente con 5 m.

- **Apoyo de chapa rectangular con cruceta en bóveda**



$$h = \frac{2 \cdot c + b}{3}$$

$$h_C = 5\ m$$

$$F_T = F_{T1} + F_{T2} + F_{T3}$$

$$F_T \cdot (h + h_c) = F_{Tequiv} \cdot (h_c - h_0)$$

$$F_{Tequiv} = \frac{F_T \cdot (h + h_c)}{h_c - h_0} = \frac{F_T \cdot (h + 5)}{5 - 0{,}25} = \frac{F_T \cdot (h - 5)}{4{,}75}$$

Figura 3.51. Esfuerzos a considerar sobre el apoyo de chapa rectangular con cruceta en bóveda

Algunas características, como ejemplo de este tipo de armado, se muestran en la Tabla 3.51:

Tabla 3.51. Características de cruceta en bóveda para apoyos de chapa rectangular.

Armado	*a* (m)	*b* (m)	*c* (m)	Peso (kg)
B –1	3,2	1,365	0,985	56
B –2	4	1,655	1,22	143
BR –1	3,2	1,365	0,985	90

- **Apoyo de chapa rectangular con cruceta en bóveda tipo B–66**

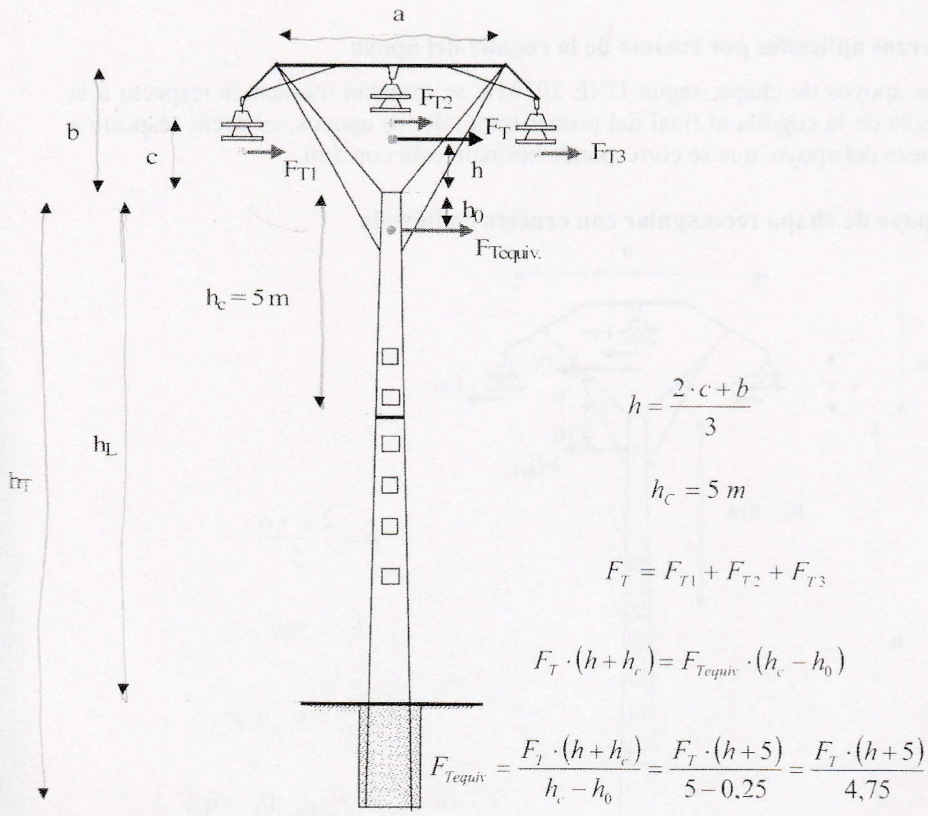


Figura 3.52. Esfuerzos a considerar sobre el apoyo de chapa rectangular con cruceta en bóveda, tipo B –66

Algunas características, como ejemplo, de este tipo de armado se muestran en la Tabla 3.52.

Tabla 3.52. Características de cruceta en bóveda tipo B–66, para apoyos de chapa rectangular

Armado	*a* (m)	*b* (m)	*c* (m)	Peso (kg)
B–66	5,25	1,7	1,15	186

b) Esfuerzos aplicados por debajo de la cogolla del apoyo

- **Apoyo de chapa rectangular con cruceta horizontal**

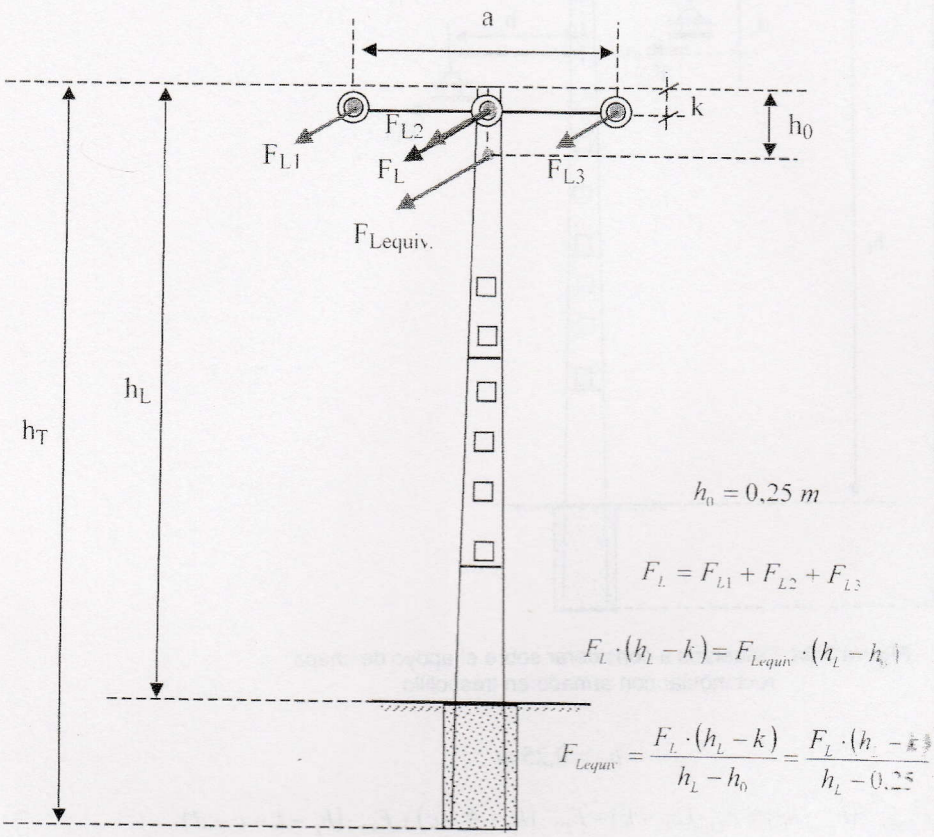


Figura 3.53 Esfuerzos a considerar sobre el apoyo de chapa rectangular con cruceta horizontal

Algunas características, como ejemplo, de este tipo de armado se muestran en la Tabla 3.53:

Tabla 3.53. Características de cruceta horizontal, para apoyos de chapa rectangular

Armado	*a* (m)	*k* (m)	Peso (kg)
CR–1	3,3	0,085	94
CR–2	4,1	0,085	139
C–2	4,1	0,085	149

- **Apoyo de chapa rectangular con armado en tresbolillo**

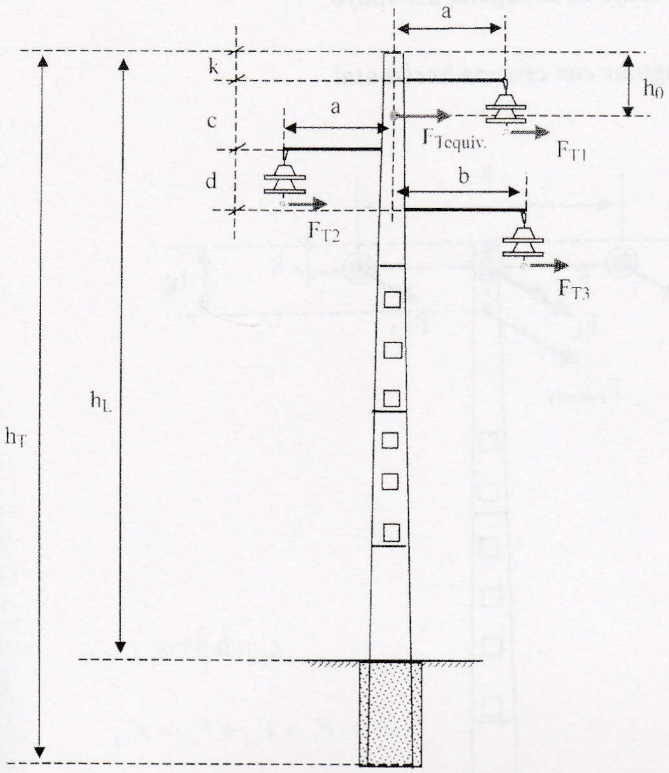


Figura 3.54. Esfuerzos a considerar sobre el apoyo de chapa rectangular con armado en tresbolillo

$$h_0 = 0{,}25\ m$$

$$F_{Tequiv} \cdot (h_L - h_0) = F_{T1} \cdot (h_L - k) + F_{T2} \cdot (h_L - k - c) + F_{T3} \cdot (h_L - k - c - d)$$

$$F_{Tequiv} = \frac{F_{T1} \cdot (h_L - k) + F_{T2} \cdot (h_L - k - c) + F_{T3} \cdot (h_L - k - c - d)}{h_L - h_0}$$

Algunas características, como ejemplo, de este tipo de armado se muestran en la Tabla 3.54:

Tabla 3.54. Características de armado en tresbolillo, para apoyos de chapa rectangular

Armado	*a* (m)	*b* (m)	*c* (m)	*d* (m)	*k* (m)	Peso (kg)
BA–1/TRES –I	0,95	1,2	1,275	1,435	0,085	62
BA–1/TRES –II	0,95	1,2	1,7	1,51	0,085	62
BA–2/TRES –I	0,95	1,2	1,275	1,435	0,085	130
BA–2/TRES –II	0,95	1,2	1,7	1,51	0,085	130
T66/132	1,5	1,75	1,19	1,225	0,085	175

- **Apoyo de chapa rectangular con cruceta en doble circuito**

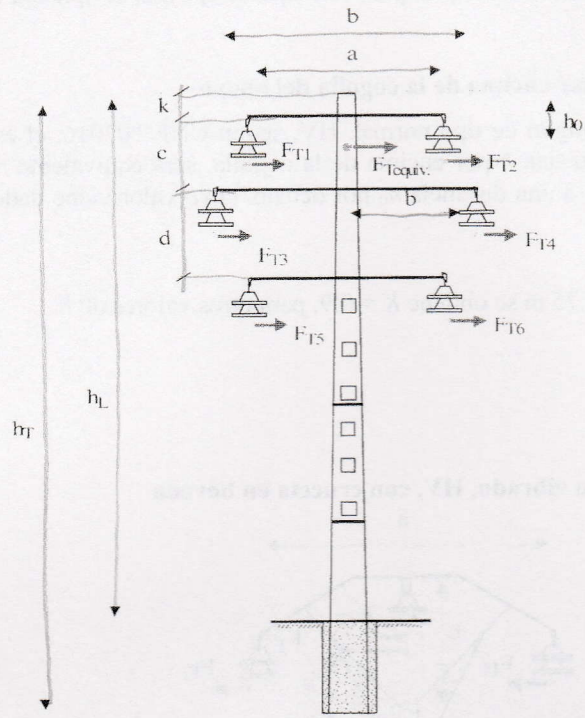


Figura 3.55. Esfuerzos a considerar sobre el apoyo de chapa rectangular con cruceta en doble circuito

$$h_0 = 0{,}25\ m$$

$$F_{Tequiv} \cdot (h_L - h_0) = (F_{T1} + F_{T2}) \cdot (h_L - k) + (F_{T3} + F_{T4}) \cdot (h_L - k - c) + (F_{T5} + F_{T6}) \cdot (h_L - k - c - d)$$

$$F_{Tequiv} = \frac{(F_{T1} + F_{T2}) \cdot (h_L - k) + (F_{T3} + F_{T4}) \cdot (h_L - k - c) + (F_{T5} + F_{T6}) \cdot (h_L - k - c - d)}{h_L - h_0}$$

Algunas características, como ejemplo, de este tipo de armado se muestran en la Tabla 3.55:

Tabla 3.55. Características de con cruceta en doble circuito, para apoyos de chapa rectangular

Armado	*a* (m)	*b* (m)	*c* (m)	*d* (m)	*k* (m)	Peso (kg)
DC–1	1,9	2,4	1,275	1,127	0,085	91
DC–2	1,9	2,4	1,275	1,127	0,085	180
DC–66	3	3,5	1,19	1,225	0,085	305

3.3.5.5. Apoyos de hormigón vibrado según UNE 207016

El esfuerzo útil, especificado en la Norma, para este tipo de apoyos, se aplica a una distancia $h_0 = 0{,}25$ m.

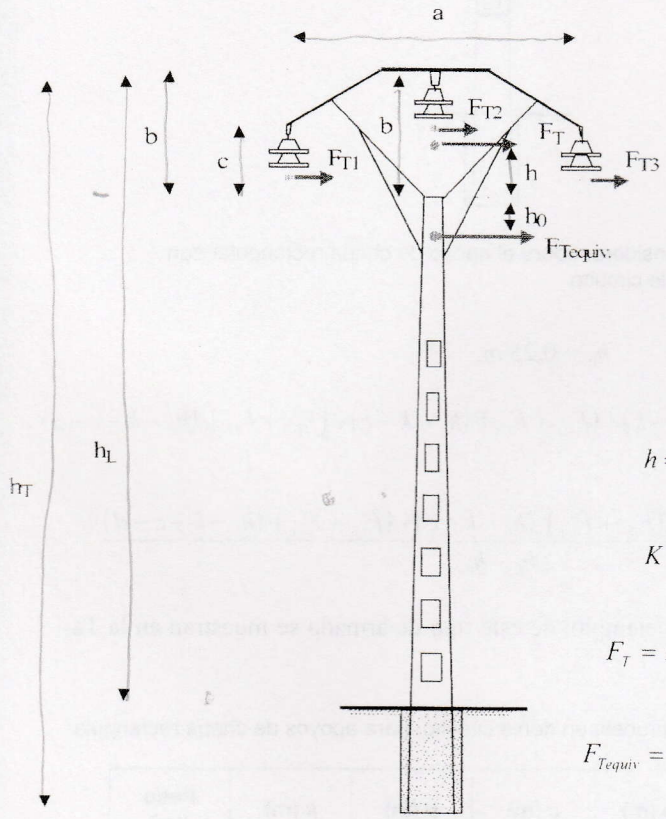
a) **Esfuerzos aplicados por encima de la cogolla del apoyo**

En los apoyos de hormigón de tipo normal, HV, según UNE 207016, el esfuerzo, F_T, aplicado a una distancia h por encima de la cogolla, será equivalente a un esfuerzo F_{Tequiv}, aplicado a una distancia h_0 por debajo, cuyo valor viene dado por la expresión:

$F_{Tequiv} = \dfrac{F_T}{K}$, para $h = 0{,}75$ m se obtiene $K = 0{,}9$, para otros valores de h.

$$K = \frac{5{,}4}{h + 5{,}25}$$

- **Apoyo de hormigón vibrado, HV, con cruceta en bóveda**



$$h = \frac{2 \cdot c + b}{3}\ m$$

$$K = \frac{5{,}4}{h + 5{,}25}$$

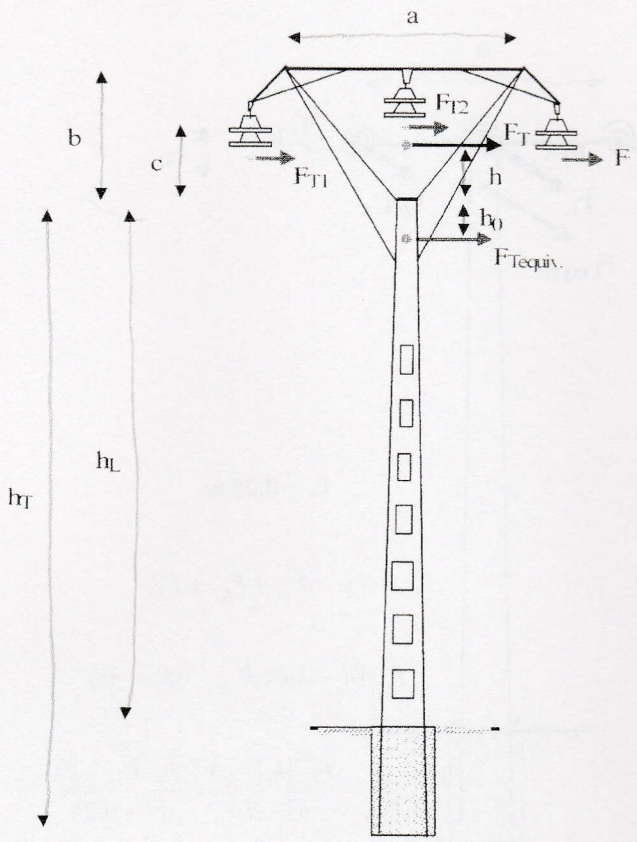
$$F_T = F_{T1} + F_{T2} + F_{T3}$$

$$F_{Tequiv} = \frac{F_T}{K} = \frac{h + 5{,}25}{5{,}4} \cdot F_T$$

Figura 3.56. Esfuerzos a considerar sobre el apoyo de hormigón vibrado con cruceta en bóveda

Algunas características de este tipo de armado se mostraron en la Tabla 3.51.

- **Apoyo de hormigón vibrado, HV, con cruceta en bóveda tipo B –66**



$$h = \frac{2 \cdot c + b}{3}$$

Si $h = 0{,}75$ m , $K = 0{,}9$.

Para otros valores de h.

$$K = \frac{5{,}4}{h + 5{,}25}$$

$$F_T = F_{T1} + F_{T2} + F_{T3}$$

$$F_{Tequiv.} = \frac{F_T}{K} = \frac{h + 5{,}25}{5{,}4} \cdot F_T$$

Figura 3.57. Esfuerzos a considerar sobre el apoyo de hormigón vibrado con cruceta en bóveda, tipo B –66

Algunas características, como ejemplo, de este tipo de armado se muestran en la Tabla 3.56:

Tabla 3.56. Características de cruceta en bóveda, B–66, para apoyos de hormigón vibrado

Armado	*a* (m)	*b* (m)	*c* (m)	Peso (kg)
B –66	5,25	1,7	1,15	186

b) **Esfuerzos aplicados por debajo de la cogolla del apoyo**

- **Apoyo de hormigón vibrado hueco, HVH, con cruceta horizontal**

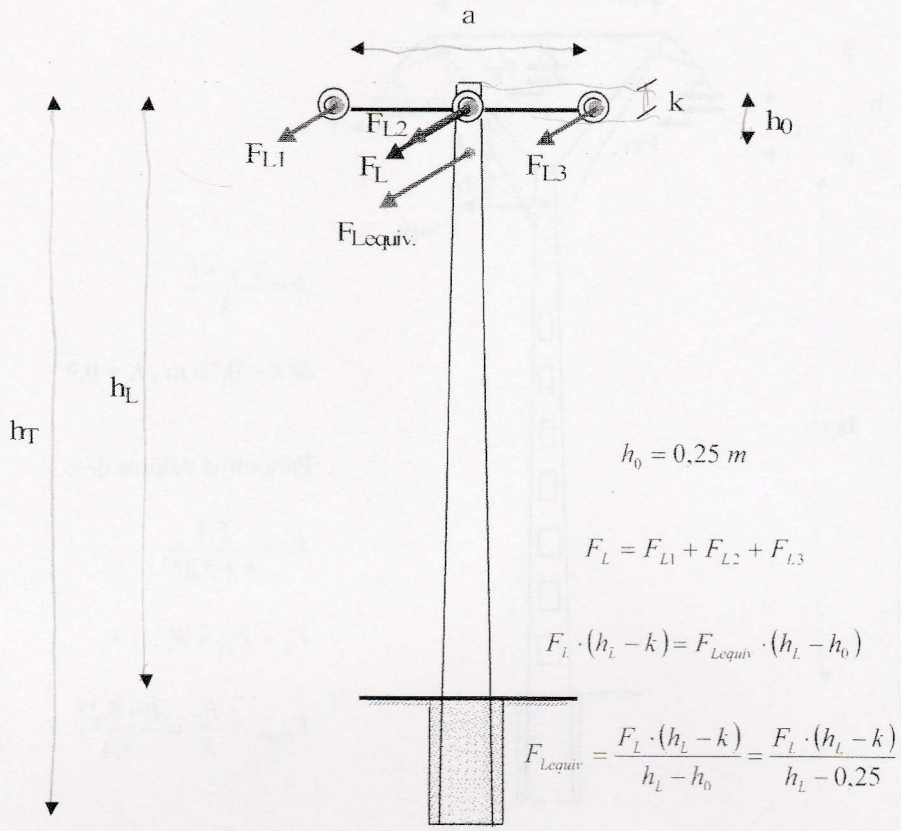


Figura 3.58. Esfuerzos a considerar sobre el apoyo de hormigón vibrado hueco con cruceta horizontal

Algunas características, como ejemplo, de este tipo de armado se muestran en la Tabla 3.57:

Tabla 3.57. Características de cruceta horizontal para apoyos de hormigón vibrado hueco

Armado	*a* (m)	*k* (m)	Peso (kg)
CR–1	3,3	0,085	94
CR–2	4,1	0,085	139

- **Apoyo de hormigón vibrado, HV, con armado en tresbolillo**

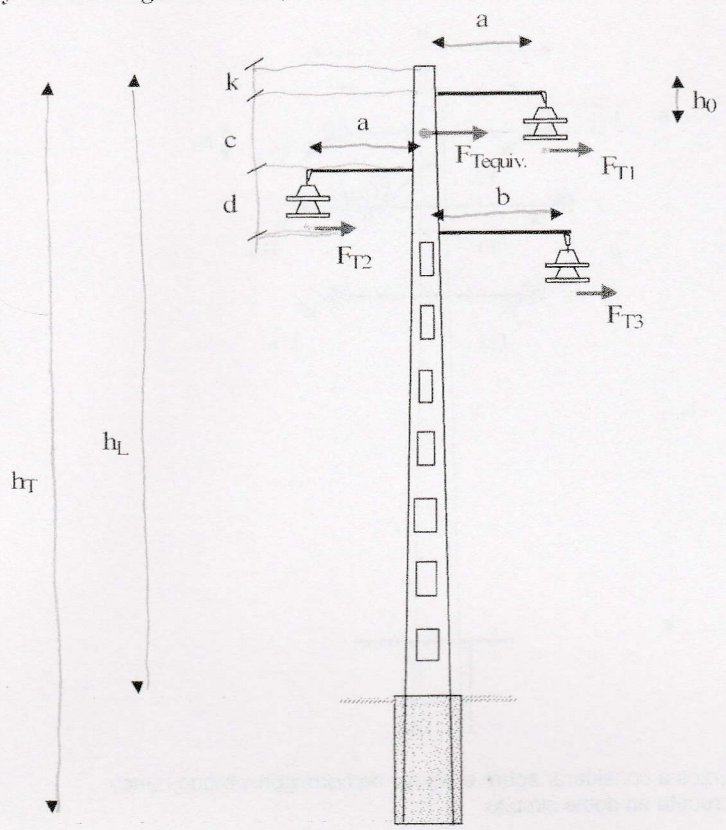


Figura 3.59. Esfuerzos a considerar sobre el apoyo de hormigón vibrado con armado a tresbolillo

$$h_0 = 0{,}25\ m$$

$$F_{Tequiv} \cdot (h_L - h_0) = F_{T1} \cdot (h_L - k) + F_{T2} \cdot (h_L - k - c) + F_{T3} \cdot (h_L - k - c - d)$$

$$F_{Tequiv} = \frac{F_{T1} \cdot (h_L - k) + F_{T2} \cdot (h_L - k - c) + F_{T3} \cdot (h_L - k - c - d)}{h_L - h_0}$$

Algunas características, como ejemplo de este tipo de armado, se muestran en la Tabla 3.58:

Tabla 3.58. Características de armado a tresbolillo para apoyos de hormigón vibrado

Armado	*a* (m)	*b* (m)	*c* (m)	*d* (m)	*k* (m)	Peso (kg)
BA–1/TRES –I	0,95	1,2	1,275	1,435	0,0085	62
BA–1/TRES –II	0,95	1,2	1,7	1,51	0,0085	62
BA–2/TRES –I	0,95	1,2	1,275	1,435	0,0085	130
BA–2/TRES –II	0,95	1,2	1,7	1,51	0,0085	130
T 66/132	1,5	1,75	1,19	1,225	0,0085	175

- **Apoyo de hormigón vibrado hueco, HVH, con cruceta en doble circuito**

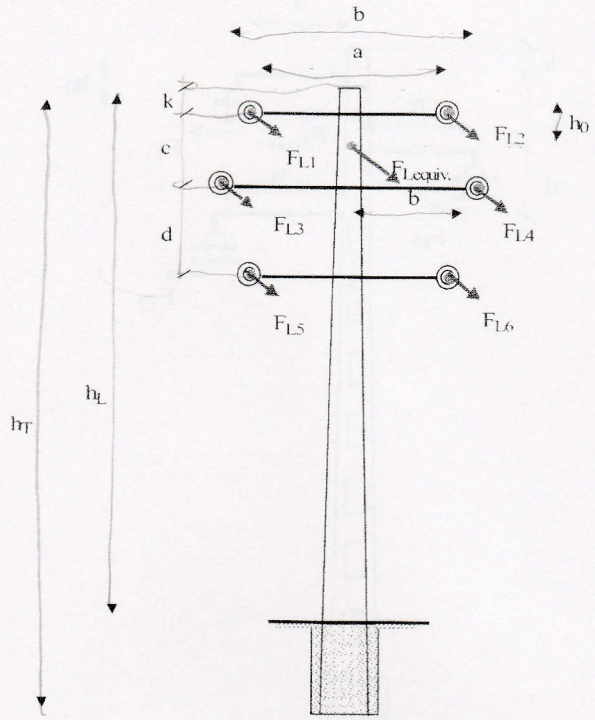


Figura 3.60. Esfuerzos a considerar sobre el apoyo de hormigón vibrado hueco con cruceta en doble circuito

$$h_0 = 0{,}25\ m$$

$$F_{Lequiv} \cdot (h_L - h_0) = (F_{L1} + F_{L2}) \cdot (h_L - k) + (F_{L3} + F_{L4}) \cdot (h_L - k - c) + (F_{L5} + F_{L6}) \cdot (h_L - k - c - d)$$

$$F_{Lequiv} = \frac{(F_{L1} + F_{L2}) \cdot (h_L - k) + (F_{L3} + F_{L4}) \cdot (h_L - k - c) + (F_{L5} + F_{L6}) \cdot (h_L - k - c - d)}{h_L - h_0}$$

Algunas características, como ejemplo, de este tipo de armado se muestran en la Tabla 3.59:

Tabla 3.59. Características de cruceta en doble circuito para apoyos de hormigón vibrado hueco

Armado	*a* (m)	*b* (m)	*c* (m)	*d* (m)	*k* (m)	Peso (kg)
DC–1	2,1	2,1	1,275	1,127	0,085	94
DC–2	2,1	2,1	1,275	1,127	0,085	185
DC–66	3	3,5	1,19	1,225	0,085	305

MPLO DE CALCULO DE APOYOS EN LINEA AEREA 3ª CATEGORIA SIMPLE CIRCUITO:

Se trata de calcular los apoyos de una línea de 15 kv cuyo perfil es conocido. El conductor a emplear es el 94-AL1/22 ST1A (Antiguo LA-110). La línea discurre a una altitud de 1200 m y se exige para el calculo mecánico del conductor, un límite dinámico del 8'7% para el EDS a la temperatura de 15°C y un 15'9% para CHS a la temperatura de -5°C.

Dadas las características de la zona y el difícil acceso a la misma, se pretende utilizar para los apoyos de principio y fin de línea, anclaje y ángulo, apoyos de celosía según la Norma UNE 207017 con cimentación y para los apoyos de alineación en suspensión, apoyos de chapa rectangular según UNE 207018 y cimentación bóveda. La línea no dispone de otro tipo de apoyos distintos distintos a los mencionados.

El aislamiento estará formado por cadenas de aisladores de vidrio, con U-70 BS de 1 metro de longitud en amarre y 0'6 m de longitud de suspensión:

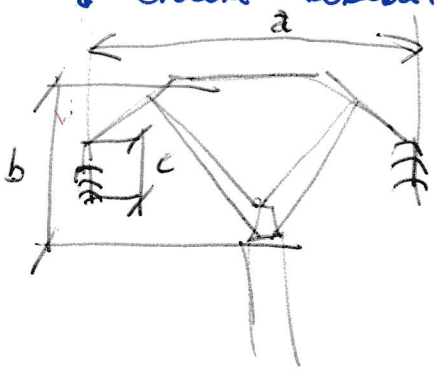
Los apoyos principio de línea y fin de línea son pórticos subterráneos aéreos y aéreos subterráneos respectivamente:

Características de los elementos empleados:

- Cadena de aisladores de suspensión:
  - → Tipo: U-70-BS
  - → Longitud: 0'6 m
  - → Peso de cadena: 8 daN
  - → Peso de herrajes: 1 daN
  - → Diámetro: 0'255
  - → Nº de aisladores: 2

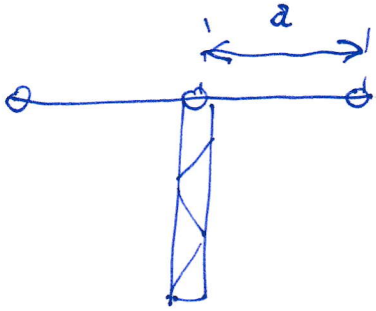
- Cadena de aisladores de amarre:
  - → Tipo U-70-BS
  - → Longitud: 1 m
  - → Peso de cadena: 10 daN
  - → Peso de herrajes: 2 daN
  - → Diámetro: 0'255 m
  - → Nº de aisladores: 3.

- Cruceta bóveda:



a(m)	b(m)	c(m)	d(m)	e(m)	φ	Peso kg
3	1'365	0'985	0'324	0'297	58°	56

- Cruceta recta



d	Cogolla	Peso kg
1'75m	0'510 m	70

Datos del conductor:

- TIPO: 94-AL1/22-ST1A (Antiguo LA-110)
- Sección: 116'2 mm²
- Diámetro: 14 mm
- Composición: 30+7
- Carga de rotura: 4318 daN
- Módulo de elasticidad: 8047 daN/mm²
- Coeficiente de dilatación: 17'8·10⁻⁶ °C⁻¹

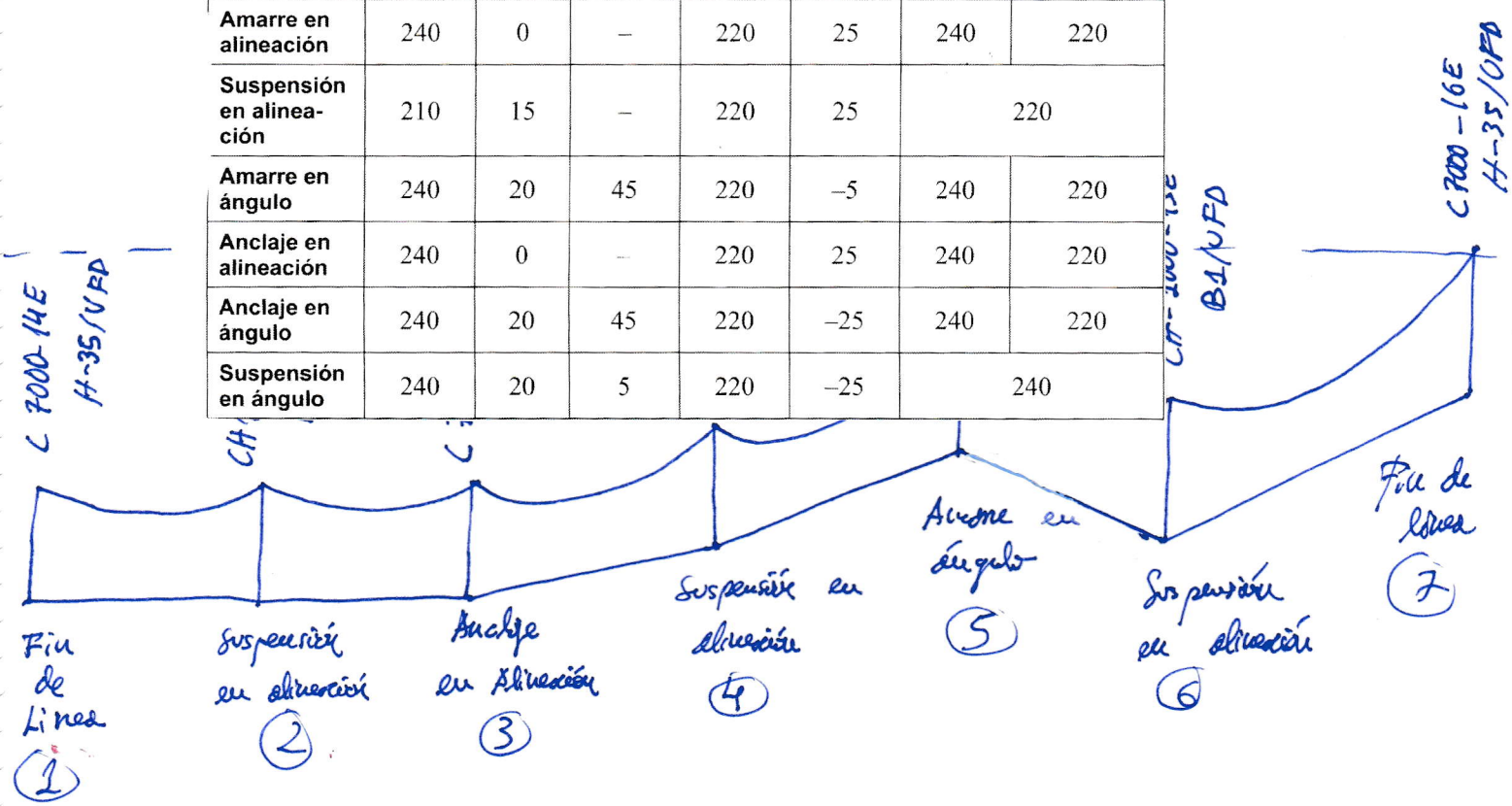
Condiciones de calculo

- Zona C
- Coeficiente de seguridad: 3
- Limite EDS: 8'7% a 15°C
- Limite CHS: 15'9% a -5°C

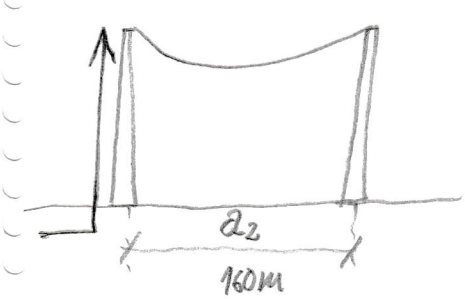
- Peso del conductor incluyendo las sobrecargas reglamentarias:
  - peso propio: $p = 0'425$ daN/m
  - peso con sobrecarga de viento = $0'941$ daN/m
  - peso con sobrecarga de hielo = $1'772$ daN/m
  - peso con sobrecarga de viento mitad = $0'597$ daN/m

Datos de vanos y desniveles para los apoyos en cálculo:

Tipo de apoyo	Vano anterior		Angulo de la traza	Vano posterior		Vano de regulación para el cantón o cantones anterior y posterior	
	a_1 (m)	d_1 (m)	α (°)	a_2 (m)	d_2 (m)	a_{r1} (m)	a_{r2} (m)
Principio o fin de línea	0	0	–	240	0	–	240
Amarre en alineación	240	0	–	220	25	240	220
Suspensión en alineación	210	15	–	220	25	220	
Amarre en ángulo	240	20	45	220	–5	240	220
Anclaje en alineación	240	0	–	220	25	240	220
Anclaje en ángulo	240	20	45	220	–25	240	220
Suspensión en ángulo	240	20	5	220	–25	240	



Apoyo Nº1 : APOYO DE PRINCIPIO DE LINEA:



Por tratarse de un apoyo con único vano a la derecha es un vano a nivel, el eolovano y el gravivano sobre el apoyo coinciden siendo su valor:

$$a_{gV} = a_{gH} = a_e = \frac{a_2}{2} = \frac{160}{2} = 80\,m$$

donde a_{gV} es el gravivano con viento, a_{gH} el gravivano con Hielo y a_e es el eolovano.

1ª hipotesis : viento de 120 km/h , a - 15°C.

a) Cargas verticales:

- Peso de conductores : $P_{COND} = n \cdot p \cdot a_{gv} = 3 \cdot 0'425 \cdot 80 = 102$ daN
- Peso de cadenas de aisladores: $P_{CAD} = n_{CAD} \cdot p_{CAD} = 3 \cdot 10 = 30$ daN
- Peso de herrajes : $P_{HERR} = n_{CAD} \cdot p_{HERR} = 3 \cdot 2 = 6$ daN
- Peso de cruceta : $P_{CRUC} = 68'67$ daN (Cruceta recta)

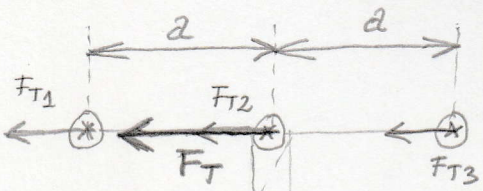
TOTAL CARGAS VERTICALES :

$$F_V = P_{COND} + P_{CAD} + P_{HERR} + P_{CRUC} = 102 + 30 + 6 + 68'67 = 206'67 \approx 207 \text{ daN}$$

b) Cargas transversales, por viento sobre los conductores (3.1.2)

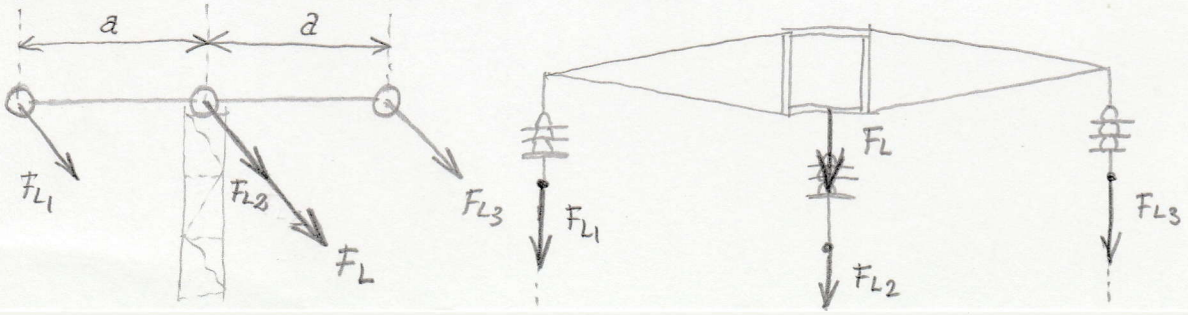
$$F_{T1} = q \cdot d \cdot 10^{-3} \cdot a_e = 60 \cdot \left(\frac{120}{120}\right)^2 \cdot 14 \cdot 10^{-3} \cdot 80 = 67'2 \text{ daN}$$

$$F_{T1} = F_{T2} = F_{T3} \longrightarrow F_T = n \cdot F_{T1} = 3 \cdot 67'2 = 201'6 \text{ daN}$$



c) Cargas longitudinales por desequilibrio de tracciones 3.1.4.4

En los apoyos fin de linea se considera el 100% de las tracciones unilaterales de todos los conductores.

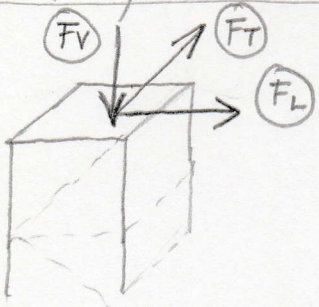


$F_{L_1} = T_V = 840$ daN

siendo T_V, la tracción horizontal en el primer cantón, a $-15°C$ con vientos de 120 km/h.

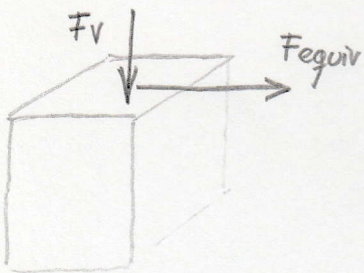
$F_{L1} = F_{L2} = F_{L3} \rightarrow F_L = n \cdot F_{L1} = 3 \cdot 840 = 2520$ daN

Los esfuerzos, para estas hipótesis, sobre el apoyo son:



$F_V = 207$ daN ; $F_T = 201'6$; $F_L = 2520$ daN

Lo que originale a esfuerzos de compresión, Fv, y de flexión, Feguiv, de valores:



$V = F_V = 207$ daN

$L = F_{eguiv} = F_T + F_L = 201'6 + 2520 = 2721'6$ daN

2ª hipótesis: hielo en zona C, a $-20°C$.

a) Cargas verticales:

- Peso de conductores: $P_{COND} = n \cdot (p + ph) \cdot a_{gH} = n \cdot (p + 0'36\sqrt{d}) \cdot a_{gH}$

$P_{COND} = 3 \cdot 1772 \cdot 80 = 425'2$ daN.

- Peso de cadenas de aisladores: herrajes y cruceta igual que en la primera hipótesis.

TOTAL CARGAS VERTICALES:

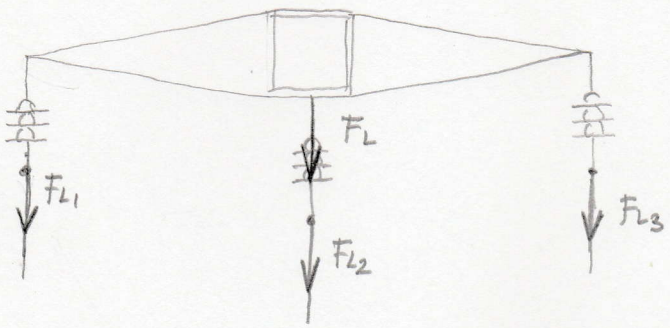
$F_V = P_{COND} + P_{CAD} + P_{HERR} + P_{CRUC} = 425'2 + 30 + 6 + 68'67 = 529'9$ daN//

b) Cargas transversales por viento sobre los conductores 3.1.2

No se consideran:

c) Cargas longitudinales por desequilibrio de tracciones 3.1.4.4.

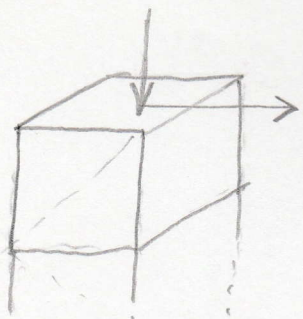
En los apoyos de fin de línea se considera el 100% de las tracciones unilaterales de todos los conductores:



$F_{L1} = T_H = 1354$ daN siendo T_H, la tracción horizontal en el primer cantón a -20°C con sobrecarga de hielo:

$$F_{L1} = F_{L2} = F_{L3} \rightarrow F_L = n \cdot F_{L1} = 3 \cdot 1354 = 4062 \text{ daN}$$

Los esfuerzos aplicados, para esta hipótesis, sobre el apoyo:



$V = F_V = 529'9$ daN

$L = F_L = 4062$ daN

3ª hipótesis: desequilibrio de tracciones:

Esta hipótesis no aplica al ser un apoyo de fin de línea

4ª hipótesis: rotura de conductores con hielo zona C, a -20°C

a) Cargas verticales:

Idénticas a los calculados en la 2° hipótesis pero descontando el peso del conductor roto.

$$P_{COND} = (n-1) \cdot (p + ph) \cdot a_g H = (n-1) \cdot (p + 0'36\sqrt{d}) \cdot a_g H \rightarrow P_{COND} = 2 \cdot 1772 \cdot 80 = 283'5$$

$P_{COND} = 283'5$ daN.

Total cargas verticales:

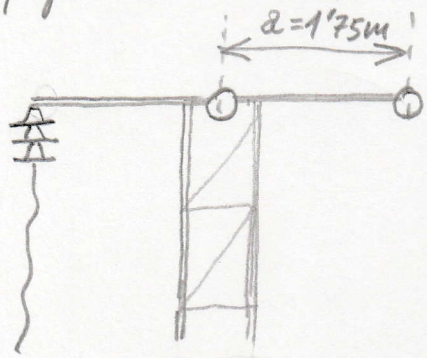
$F_V = P_{COND} + P_{CAD} + P_{HERR} + P_{CROC} = 283'5 + 30 + 6 + 68'67 = 388$ daN.

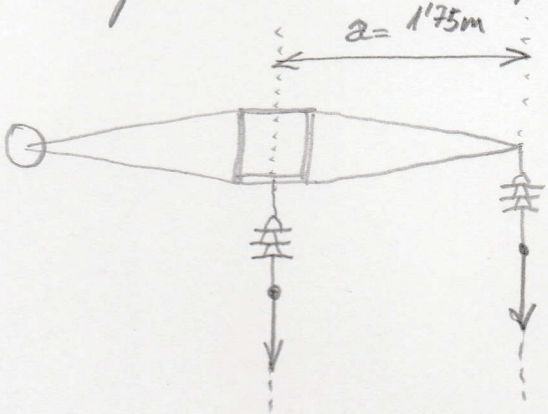
b) Cargas transversales, por viento sobre los conductores 3.1.2.

No se consideran cargas transversales por viento

c) Cargas longitudinales por rotura de conductores: 3.1.5.4.

Se considera la rotura de un solo conductor. Esto provoca sobre el apoyo un momento de torsión que viene dado por:

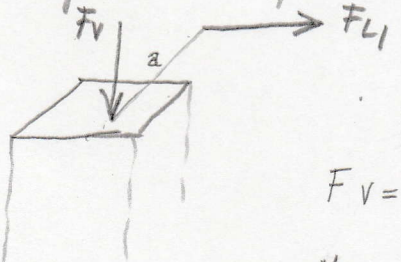




$M_T = F_{L1} \cdot a = 1354 \cdot 1'75 = 2369'5$ daN.m

Siendo T_H, la tracción en el primer cantón a -20°C con sobrecarga de de hielo.

Los esfuerzos aplicados, para esta hipótesis, sobre el apoyo son:



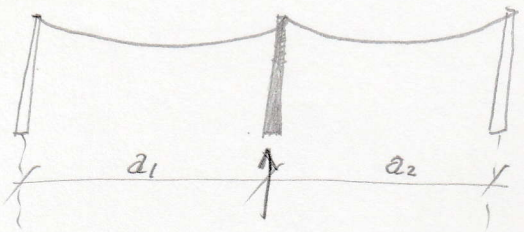
siendo (a) el brazo del momento

$F_V = 389'5$ daN

$M_T = 2369'5$ daN·m

IBER
433 libro Gaceta

APOYO Nº2 APOYO DE SUSPENSIÓN EN ALINEACIÓN



$a_1 = 160m$ $d_1 = 0m$

$a_2 = 150m$ $d_2 = 0m$

Por tratarse de un apoyo situado entre dos vanos a nivel, el eolovano y gravivano sobre el apoyo coinciden siendo su valor:

$$a_gV = a_gH = a_e = \frac{a_1 + a_2}{2} = \frac{160 + 150}{2} = 155\ m$$

1ª hipotesis: Viento de 120km/h, a -15°C.

a) Cargas verticales

- Peso de conductores: $P_{COND} = n \cdot p \cdot a_gV = 3 \cdot 0'425 \cdot 155 \approx 197'5$ daN.
- Peso de cadenas de aisladores: $P_{CAD} = n_{CAD} \cdot p_{CAD} = 3 \cdot 8 = 24$ daN
- Peso de herajes: $P_{HERR} = n_{CAD} \cdot P_{HERR/CAD} = 3 \cdot 1 = 3$ daN
- Peso de cruceta: $P_{CRUC} = 54'94$ daN (Cruceta de bóveda)

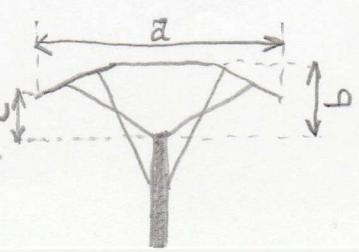
TOTAL CARGAS VERTICALES:

$$F_V = P_{COND} + P_{CAD} + P_{HERR} + P_{CRUC} = 197'6 + 24 + 3 + 54'94 = 279'5\ daN$$

b) Cargas transversales por viento sobre los conductores 3.1.2

$$F_T = n \cdot q \cdot d \cdot 10^{-3} \cdot a_e = 3 \cdot 60 \cdot \left(\frac{120}{120}\right)^2 \cdot 14 \cdot 10^{-3} \cdot 155 = 390'6\ daN$$

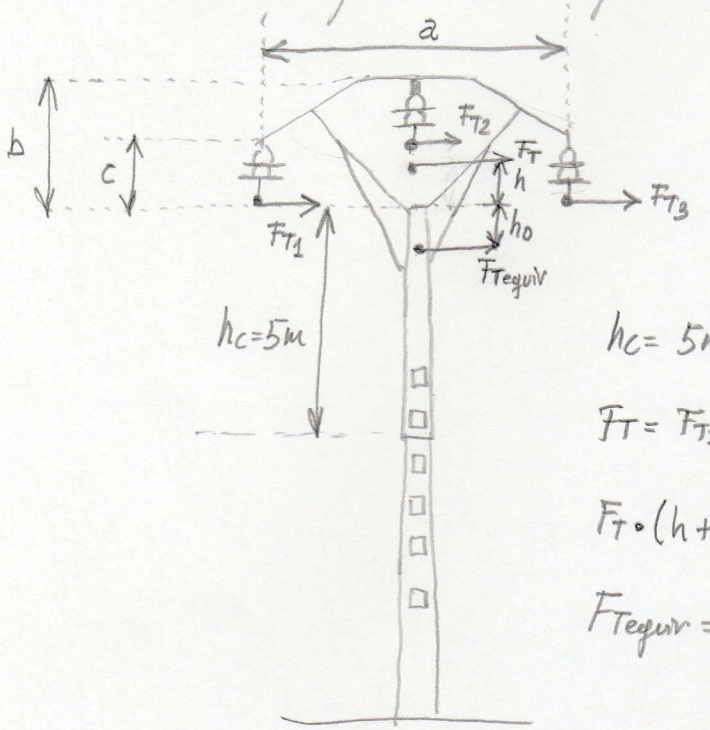
Este esfuerzo se encuentra aplicado a una distancia h por encima de la espalda, que se calcula en función de las dimensiones b, c de la cruceta, como.



Amarre	a(m)	b(m)	c(m)	Peso(K_g)
B1	3	1'385	0'985	56

$$h = \frac{b+2\cdot c}{3} = \frac{1'365+2\cdot 0'985}{3} = 1'11\ m$$

Como los esfuerzos soportados por los apoyos rectangulares de chapa, especificados en la Norma UNE 207018, están aplicados a una distancia h_0 de 0'25m por debajo de la cogolla del apoyo, es necesario, para elegir el apoyo, reducir el esfuerzo transversal calculado en esta hipótesis al mismo punto de aplicación



$h_c = 5m$

$F_T = F_{T1} + F_{T2} + F_{T3}$

$F_T \cdot (h+h_c) = F_{Tequiv} \cdot (h_c - h_0)$

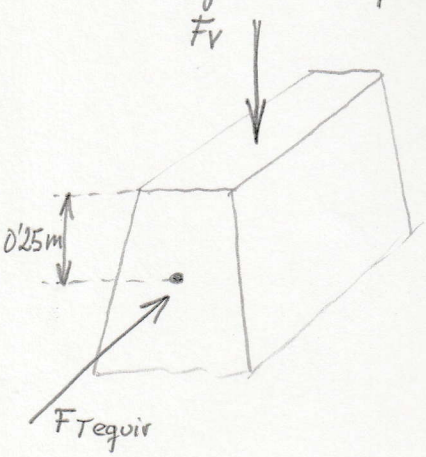
$$F_{Tequiv} = \frac{F_T \cdot (h+h_c)}{h_c - h_0} = \frac{F_T \cdot (1'1+5)}{5-0'25} = 1'286 \cdot F_T$$

Por tanto, el esfuerzo transversal F_T, reducido a 0'25m por debajo de cogolla se incrementa en un factor k igual a 1'286.

$F_{Tequiv} = F_T \cdot K = 390'6 \cdot 1'286 = 502'6\ daN$

c) No se consideran cargas longitudinales en la hipótesis de viento:

Los esfuerzos aplicados sobre el apoyo para esta hipótesis son:



$F_V = 279'5\ daN$

$F_{Tequiv} = 502'6\ daN$

2ª hipótesis : hielo en zona C, a -20°C.

a) Cargas verticales

• Peso de conductores:

$P_{COND} = n \cdot (p + ph) \cdot a_{gH} = n \cdot (p + 0'36 \cdot \sqrt{d}) \cdot a_{gH}$

$P_{COND} = 3 \cdot 1'772 \cdot 155 = 824 \quad daN$

• Peso de cadenas de aisladores, herrajes y grapa, igual que en la primera hipótesis.

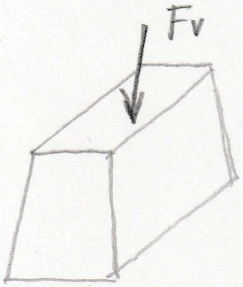
TOTAL CARGAS VERTICALES:

$F_V = P_{COND} + P_{CAD} + P_{HERR} + P_{GRUE} = 824 + 24 + 3 + 54'94 = 905'8 \quad daN$

b) No se consideran cargas transversales en la hipótesis de hielo.

c) No se consideran cargas longitudinales en la hipótesis de hielo.

Los esfuerzos aplicados sobre el apoyo para esta hipótesis son:



$F_V = 905'8 \quad daN$

3ª hipótesis : desequilibrio de tracciones.

a) Cargas verticales:

Son idénticas a las calculadas en la 2ª hipótesis.

$F_V \approx 906 \quad daN$

b) No se consideran cargas transversales en esta hipótesis

c) Cargas longitudinales por desequilibrio de tracciones (Apto 3.1.4.1)

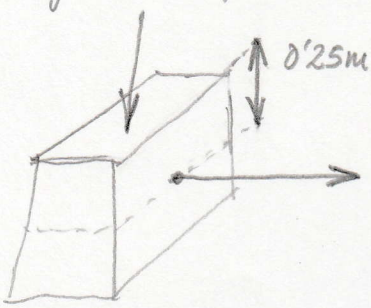
En los apoyos de alineación con cadenas de suspensión se considera el 8% de las tracciones unilaterales de todos los conductores.

$F_L = n \cdot 0'08 \cdot T_H = 3 \cdot 0'08 \cdot 1354 = 325$ daN

siendo T_H, la tracción horizontal en el primer cantón, a -20° con sobrecarga de hielo.

Igual como se estudió para los esfuerzos transversales en la 1ª hipótesis, este esfuerzo longitudinal está aplicado sobre la cruceta en un punto situado a una altura h por encima de la cogolla del apoyo, por lo que también es necesario reducirlo a 0'25m por debajo de la cogolla. $F_{L\,equiv} = F_L \cdot K = 325 \cdot 1'286 \approx 418$ daN.

Los esfuerzos aplicados sobre el apoyo para esta hipótesis son:



$F_V \approx 906$ daN

$F_L \approx 418$ daN

4ª hipótesis: rotura de conductores con hielo en zona C, a $-20°C$.

El Apartado 3.5.3 de la ITC-LAT 07 establece que, para líneas de tensión nominal hasta 66kV, en los apoyos de alineación y ángulo con cadenas de suspensión o amarre con conductores de carga de rotura inferior a 6600 daN, se puede prescindir de la consideración de la cuarta hipótesis (rotura de conductores), cuando en la línea se verifiquen simultáneamente las siguientes condiciones:

a) Que los conductores y cables de tierra tengan un coeficiente de seguridad de 3 como mínimo.

b) Que el coeficiente de seguridad de los apoyos y cimentaciones en en la hipótesis tercera sea el correspondiente a las hipótesis normales.

c) Que se instalen apoyos de anclaje cada 3 kilómetros como máximo.

En este ejemplo se dan todas las condiciones anteriores, por lo tanto, se prescinde del calculo de esta hipotesis y en consecuencia, a los apoyos de alineación y ángulo no se les exigirá que soporten momento torsor alguno.

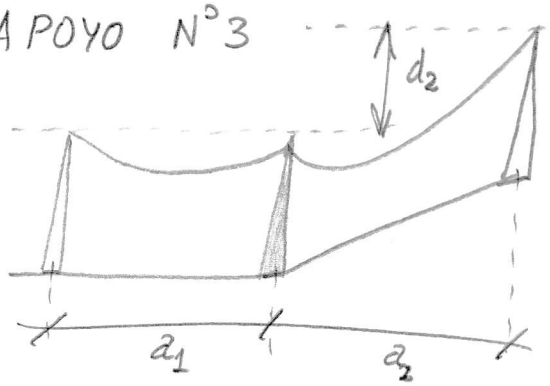
- Elección del apoyo de alineación:

Para elegir el apoyo de chapa rectangular que soporte los esfuerzos calculados en cada una de las hipótesis, vamos a reproducir los esfuerzos soportados por los apoyos chapa rectangular, según la norma UNE. 207018

Carga Nominal (daN)	Carga de trabajo más sobrecarga (daN)			
	V	T	L	L_t
800	800	800	–	–
	800	–	400	–
1000	1050	1000	–	–
	1050	–	500	–
	1050	–	–	667
1250	1650	1250	–	–
	1650	–	625	–
	1650	–	–	833

Si se comparan los esfuerzos obtenidos con los presentados en la tabla anterior el apoyo a seleccionar resulta el CH-1000.

APOYO N°3



$a_1 = 150m$ $\quad a_2 = 145m$

$d_1 = 0m$ $\quad d_2 = 5m$

Por tratarse de un apoyo situado entre vanos a distinto nivel, el eolovano y gravivano no coinciden, siendo su valor:

Eolovano: $a_e = \frac{a_1 + a_2}{2} = \frac{150 + 145m}{2} = 147'5m$

Gravivano con viento: $a_{gV} = \frac{a_1 + a_2}{2} + \left(\frac{T_{V1}}{P} \cdot \frac{d_1}{a_1} - \frac{T_{V2}}{P} \cdot \frac{d_2}{a_2}\right) =$

$$a_{gV} = 147'5 + \frac{840}{0'941} \cdot \frac{0}{150} - \frac{838}{0'941} \cdot \frac{5}{145} = 116'8 \text{ m}$$

siendo p, el peso con sobrecarga de viento.

Conductor con hielo:

$$a_{gH} = \frac{a_1 + a_2}{2} + \left(\frac{Th_1}{p} \cdot \frac{d_1}{a_1} - \frac{Th_2}{p} \cdot \frac{d_2}{a_2} \right) = 147'5 + \frac{1354}{1'772} \cdot \frac{0}{150} - \frac{1329}{1'772} \cdot \frac{5}{145} = 121'6 \text{ m}$$

siendo p, el peso con sobrecarga de hielo.

1ª hipótesis: viento de 120 km/h a −15°C.

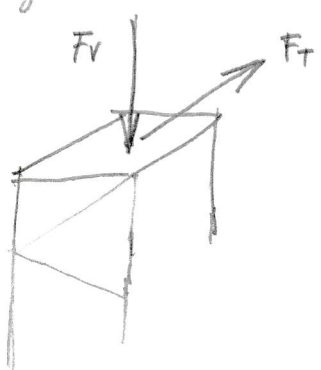
a) Cargas verticales:

- Peso de conductores: $P_{COND} = n \cdot p \cdot a_{gV} = 3 \cdot 0'425 \cdot 116'8 \approx 148'8$ daN
- Peso de cadenas de aisladores: $P_{CAD} = n_{CAD} \cdot p_{CAD} = 6 \cdot 10 = 60$ daN
- Peso de herrajes: $P_{HERR} = n_{CAD} \cdot p_{HERR/CAD} = 6 \cdot 2 = 12$ daN.
- Peso de cruceta: $P_{CRUC} = 68'67$ daN (cruceta recta)

TOTAL CARGAS VERTICALES $F_V = P_{COND} + P_{CAD} + P_{HERR} + P_{CRUC}$

$F_V = 148'8 + 60 + 12 + 68'67 \approx 289'5$ daN.

b) Cargas transversales debidas al viento sobre los conductores (Apt 3.1.2)



$$F_T = n \cdot g \cdot d \cdot 10^{-3} \cdot a_e = 3 \cdot 60 \cdot \left(\frac{120}{120}\right)^2 \cdot 14 \cdot 10^{-3} \cdot 147'5 = 371'7 \text{ daN}$$

c) No existen cargas longitudinales en esta hipótesis

2ª hipótesis: hielo en zona C, a −20°C

a) Cargas verticales

- Peso de conductores: $P_{COND} = n \cdot (p + ph) \cdot a_{gH} = n \cdot (p + 0'36\sqrt{d}) \cdot a_{gH}$

En este ejemplo se dan todas las condiciones anteriores, por lo tanto, se prescinde del calculo de esta hipotesis y en consecuencia, a los apoyos de alineación y ángulo no se les exigirá que soporten momento torsor alguno.

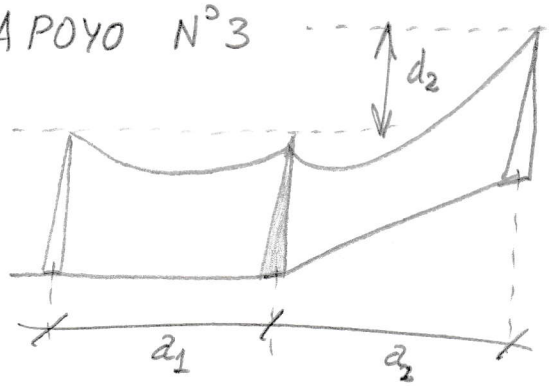
- Elección del apoyo de alineación:

Para elegir el apoyo de chapa rectangular que soporte los esfuerzos calculados en cada una de las hipótesis, vamos a reproducir los esfuerzos soportados por los apoyos chapa rectangular, según la norma UNE. 207018

Carga Nominal (daN)	Carga de trabajo más sobrecarga (daN)			
	V	T	L	L_t
800	800	800	–	–
	800	–	400	–
1000	1050	1000	–	–
	1050	–	500	–
	1050	–	–	667
1250	1650	1250	–	–
	1650	–	625	–
	1650	–	–	833

Si se comparan los esfuerzos obtenidos con los presentados en la tabla anterior el apoyo a seleccionar resulta el CH-1000.

APOYO Nº3



$a_1 = 150m$ $\quad a_2 = 145m$

$d_1 = 0m$ $\quad d_2 = 5m$

Por tratarse de un apoyo situado entre vanos a distinto nivel, el eolovano y gravivano no coinciden, siendo su valor:

Eolovano: $a_e = \frac{a_1 + a_2}{2} = \frac{150 + 145m}{2} = 147'5m$

Gravivano con viento: $a_{gV} = \frac{a_1 + a_2}{2} + \left(\frac{T_{V1}}{P} \cdot \frac{d_1}{a_1} - \frac{T_{V2}}{P} \cdot \frac{d_2}{a_2}\right) =$

$P_{COND} = 3 \cdot 1'772 - 121'6 \approx 646'5$ daN

- Peso de cadenas de aisladores, herrajes y crucetas: igual que en la 1ª hipótesis.

TOTAL CARGAS VERTICALES

$F_V = P_{COND} + P_{CAD} + P_{HERR} + P_{CRUC} = 646'5 + 60 + 12 + 68'67 \approx 787'2$ daN

b) No existen cargas transversales en esta hipótesis.

c) No existen cargas longitudinales en esta hipótesis.

3ª hipótesis: desequilibrio de tracciones

a) Cargas verticales:

Son idénticas a las calculadas en la 2ª hipótesis.

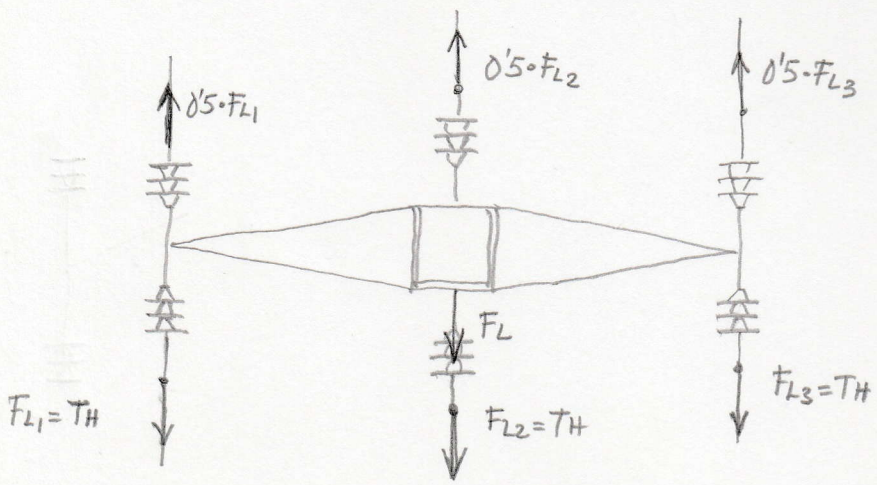
TOTAL CARGAS VERTICALES:

$F_V = P_{COND} + P_{CAD} + P_{HERR} + P_{CRUC} = 646'5 + 60 + 12 + 68'67 \approx 787'2$ daN

b) No existen cargas transversales en esta hipótesis

c) Cargas longitudinales por desequilibrio de tracciones (Aptdo 3.1.4.3)

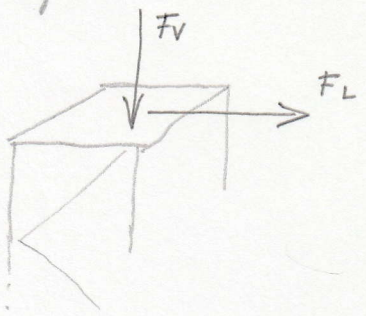
En los apoyos de anclaje se considera el 50% de las tracciones unilaterales de todos los conductores.



$F_L = n \cdot 0'5 \cdot T_H = 3 \cdot 0'5 \cdot 1354 = 2031$ daN

siendo T_H la tracción en el primer cantón a $-20°C$ con sobrecarga de hielo. Se escoge la tracción del primer cantón por ser mayor que la del segundo cantón.

Los esfuerzos sobre el apoyo son:



$F_V = 787'2$ daN

$F_L = 2031$ daN

4ª hipótesis: rotura de conductores con hielo en zona C, a $-20°C$

a) Cargas verticales

Al tratarse de un apoyo de anclaje, dicho apoyo pertenece a dos cantones diferentes. Los conductores pertenecientes a estos cantones están tendidos normalmente con tracciones diferentes. Para calcular los esfuerzos sobre el apoyo se debe de considerar que se rompe el conductor que disponga de menor tracción, ya que así se genera mayor desequilibrio en el apoyo. Dentro de esta hipótesis, al calcular las cargas permanentes sobre el apoyo y por tanto, la debida al peso de los conductores, se calculará el peso total de los conductores descontando el peso del conductor que se rompe. En este caso, el conductor roto pertenece al segundo cantón, de longitud 145 m.

El gravivano para las dos fases sanas será el ya calculado con hielo:

$$a_{gH} = 121'6 \text{ m}$$

El gravivano para la fase en la que se ha roto el conductor:

$$a_{gH_2} = \frac{a_1}{2} + \left(\frac{Th_1}{P} \cdot \frac{d_1}{a_1}\right) \Rightarrow a_{gH_2} = \frac{150}{2} + \frac{1354}{1'772} \cdot \frac{0}{150} = 75 \text{ m}$$

- Peso de conductores: $P_{COND} = (n-1)\cdot(p+ph)\cdot a_{gH1} + (p+ph)\cdot a_{gH_2}$

$$P_{COND} = 2 \cdot 1'772 \cdot 121'6 + 1'772 \cdot 75 = 563'9 \text{ daN}.$$

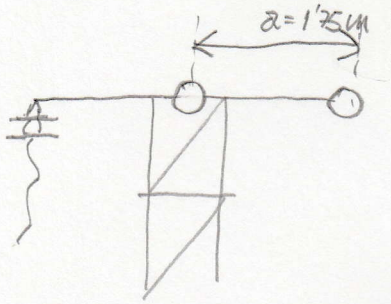
- Peso de cadenas de aisladores, herrajes y ancreta: igual que en la 1ª hipotesis.

TOTAL CARGAS VERTICALES:

$F_V = P_{COND} + P_{CAD} + P_{HERR} + P_{CRUC} = 563'9 + 60 + 12 + 68'67 \approx 705$ daN.

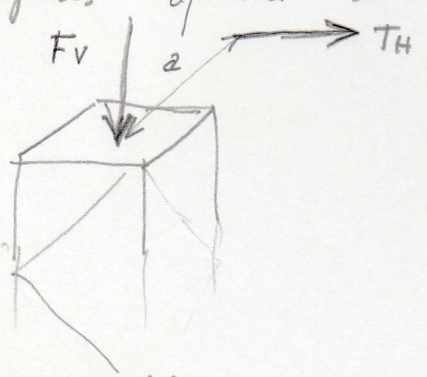
b) No existen cargas transversales en esta hipotesis:

c) Cargas longitudinales por rotura de conductores (Aptdo 3.1.5.3)



$M_T = T_H \cdot a = 1354 \cdot 1'75 = 2369'5$ daN·m

Los esfuerzos aplicados sobre el apoyo, para esta hipotesis son:



$F_V = 705$ daN

$M_T = 2369'5$ daN·m

Elección del apoyo de celosía:

Para elegir el apoyo de celosía que soporte los esfuerzos calculados en cada una de las hipotesis, vamos a reproducir los esfuerzos soportados por los apoyos de celosía, según norma UNE 207017

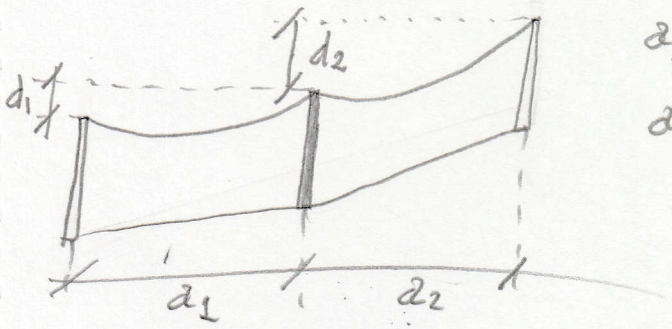
V		LOT	Lt	cota (m)
4500	800 / 800	4500	1400	1'5
7000	1200 / 1200	7000	2500	1'5
9000	1200 / 1200	9000	2500	1'5

Comparando los esfuerzos obtenidos con los presentados en la tabla anterior de la norma UNE 207017, se debe elegir un apoyo C-7000 ya que el par de torsión soportado por el apoyo es mayor

que el calculado:

$$Lt \cdot d = 2500 \cdot 1'5 = 3750 \text{ daN·m} > M_T = 2369'5 \text{ daN·m}$$

APOYO Nº4: APOYO DE SOSPENSION EN ALINEACIÓN



$a_1 = 145\,m$ $\quad d_1 = 5\,m$

$a_2 = 140\,m$ $\quad d_2 = 10\,m$

Por tratarse de un apoyo situado entre vanos a distinto nivel, el eolovano y gravivano no coinciden, siendo su valor.

Eolovano: $a_e = \frac{a_1 + a_2}{2} = \frac{145+140}{2} = 142'5\,m$

Gravivano con viento: $a_{gV} = \frac{a_1+a_2}{2} + \frac{T_V}{P} \cdot \left(\frac{d_1}{a_1} - \frac{d_2}{a_2}\right) =$

$a_{gV} = 142'5 + \frac{838}{0'941} \cdot \left(\frac{5}{145} - \frac{10}{140}\right) \approx 109'6\,m$

siendo p, el peso con sobrecarga de viento

Gravivano con hielo: $a_{gH} = \frac{a_1+a_2}{2} + \frac{T_h}{P} \cdot \left(\frac{d_1}{a_1} - \frac{d_2}{a_2}\right)$

$a_{gH} = 142'5 + \frac{1329}{1'772} \cdot \left(\frac{5}{145} - \frac{10}{140}\right) \approx 114'8\,m$

siendo p, el peso con sobrecarga de hielo

1ª hipotesis: viento de 120 km/h, a −15ºC

a) Cargas verticales

- Peso de conductores $P_{COND} = h \cdot p \cdot a_{gV} = 3 \cdot 0'425 \cdot 109'6 = 139'7$ daN

TOTAL CARGAS VERTICALES:

$$F_V = P_{COND} + P_{CAD} + P_{HERR} + P_{CRUC} = 139'7 + 24 + 3 + 54'95 \approx 221'6 \text{ daN}$$

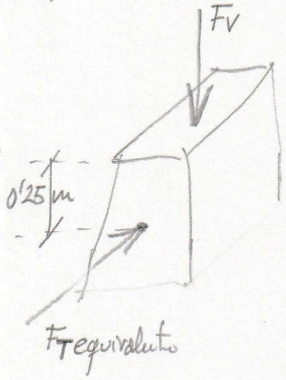
b) Cargas transversales debidas al viento sobre los conductores (Apdo 3.1.2)

$$F_T = n \cdot q \cdot d \cdot 10^{-3} \cdot a_e = 3 \cdot 60 \cdot \left(\frac{120}{120}\right)^2 \cdot 14 \cdot 10^{-3} \cdot 142'5 = 359'1 \text{ daN}$$

Este esfuerzo transversal está aplicado sobre la cruceta en un punto situado por encima de la cogolla del apoyo, por lo que es necesario reducirlo a 0'25m por debajo de la cogolla, tal como se ha especificado para el apoyo nº2.

$$F_{T\,equiv} = F_T \cdot K = 359'1 \cdot 1'286 = 461'8 \text{ daN}$$

c) No existen cargas longitudinales en esta hipótesis:



2ª hipótesis: hielo en zona C, a -20°C

a) Cargas verticales

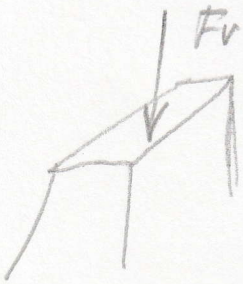
- Peso de conductores: $P_{COND} = n \cdot (p + ph) \cdot a_{gtt} = n\left(p + 0'36\sqrt{d}\right) \cdot a_{gtt}$

$$P_{COND} = 3 \cdot 1'772 \cdot 114'8 \approx 610 \text{ daN.}$$

TOTAL CARGAS VERTICALES $F_V = P_{COND} + P_{CAD} + P_{HER} + P_{CRUC} = 610 + 24 + 3 + 54'94 = 692$ daN

b) No existen cargas transversales en esta hipótesis

c) No existen cargas longitudinales en esta hipótesis



3ª hipótesis: desequilibrio de tracciones

a) Cargas verticales:

Son idénticas a las calculadas en la hipótesis 2°

$F_V = 692$ daN.

b) No existen cargas transversales en esta hipótesis:

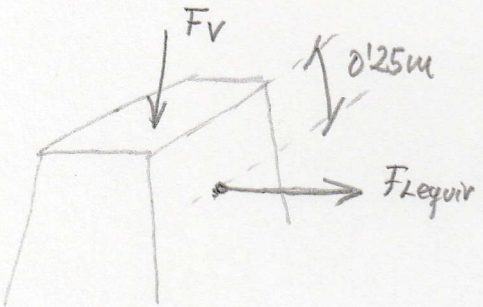
c) Cargas longitudinales por desequilibrio de tracciones (Aptdo 3.1.4.1)

En los apoyos de alineación de $Un \leq 66$ kV con cadenas de suspensión se considera el 8% de las tracciones horizontales unilaterales de todos los conductores:

$$F_L = n \cdot 0'08 \cdot T_H = 3 \cdot 0'08 \cdot 1329 = 319 \text{ daN.}$$

Este esfuerzo longitudinal está aplicado sobre la cruceta en un punto situado por encima de la cogolla del apoyo, por lo que también se necesita reducirlo a 0'25m por debajo de cogolla

$$F_{Lequiv} = F_L \cdot K = 319 \cdot 1'286 = 410'4 \text{ daN}$$



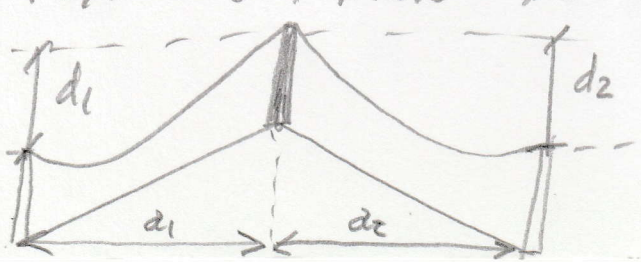
4ª hipótesis: rotura de conductores con hielo en zona C, a -20°C

Por las mismas razones expuestas para el apoyo de alineación número 2 se puede prescindir de la aplicación de esta hipótesis.

Elección del apoyo de alineación:

Comparando los esfuerzos obtenidos con los presentados en la tabla de selección del apoyo número 2, se elige un apoyo CH-1000

APOYO Nº5. APOYO DE AMARRE EN ANGOLO



$a_1 = 140$m $\quad d_1 = 10$m

$a_2 = 150$m $\quad d_2 = -10$m

Por tratarse de un apoyo situado entre vanos a distinto nivel, el calculo q gravivano no coincidan, siendo su valor.

Calculo: $a_e = \frac{a_1 + a_2}{2} = \frac{140+150}{2} = 145\,m$

Gravivano con viento: $a_{gV} = \frac{a_1+a_2}{2} + \left(\frac{T_{V1}}{p} \cdot \frac{d_1}{a_1} - \frac{T_{V2}}{p} \cdot \frac{d_2}{a_2}\right) =$

$$a_{gV} = 145 + \left(\frac{838}{0'941} \cdot \frac{10}{140} - \frac{833}{0'941} \cdot \frac{-10}{150}\right) \approx 267'6\,m$$

siendo p el peso con sobrecarga de viento:

Gravivano con hielo:

$$a_{gH} = \frac{a_1+a_2}{2} + \left(\frac{T_{h1}}{p} \cdot \frac{d_1}{a_1} - \frac{T_{h2}}{p} \cdot \frac{d_2}{a_2}\right) = 145 + \frac{1329}{1'772} \cdot \frac{10}{140} - \frac{1346}{1'772} \cdot \frac{-10}{150} \approx 249'2\,m$$

siendo p, el peso con sobrecarga de hielo:

1ª hipótesis: viento de 120km/h, a −15°C

a) Cargas verticales

- Peso de conductores $P_{COND} = n \cdot p \cdot a_{gV} = 3 \cdot 0'425 \cdot 267'6 = 341'2\,daN$

El peso de los cadenas de aisladores, herrajes y anclas se calcula igual que para el apoyo de anclaje número 3.

TOTAL CARGAS VERTICALES

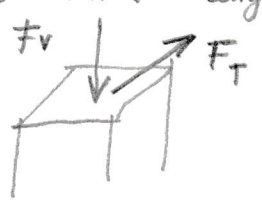
$F_V = P_{COND} + P_{CAD} + P_{HERR} + P_{CROC} = 341'2 + 60 + 12 + 68'67 = 481'7\,daN.$

b) Cargas transversales por la resultante de ángulo y el viento

$$F_T = n_x \cdot \left[(T_{V1} + T_{V2}) \cdot \operatorname{sen}\frac{\alpha}{2} + a_e \cdot q \cdot \left(\frac{120}{120}\right)^2 \cdot d \cdot 10^{-3} \cdot \cos\frac{\alpha}{2}\right]$$

$$F_T = 3 \cdot \left[(838+833) \cdot \operatorname{sen}\frac{30}{2} + 145 \cdot 60 \left(\frac{120}{120}\right)^2 \cdot 14 \cdot 10^{-3} \cdot \cos\frac{30^\circ}{2}\right]$$

c) No existen cargas longitudinales en esta hipótesis:



2ª hipótesis: hielo en zona C, a −20°C.

a) Cargas verticales

. Peso de conductores: $P_{COND} = n_c \cdot (p + ph) \cdot a_{gH} = n \cdot (p + 0'36\sqrt{d}) \cdot a_{gH}$

$P_{COND} = 3 \cdot 1'772 \cdot 249'2 = 1324'7$ daN

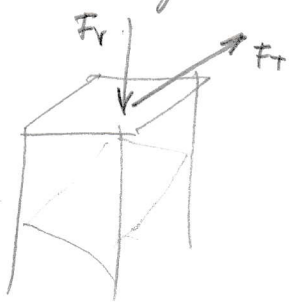
TOTAL CARGAS VERTICALES:

$F_V = P_{COND} + P_{CAD} + P_{HERR} + P_{CRUC} = 1324'7 + 60 + 12 + 68'67 \approx 1465'4$ daN

b) Cargas transversales por la resultante de ángulo (Aptdo 3.1.6)

$F_T = n \cdot (T_{H1} + T_{H2}) \cdot \text{sen}\frac{\alpha}{2} \rightarrow F_T = 3 \cdot \left[(1329 + 1346) \cdot \text{sen}\frac{30°}{2}\right] \approx 2077$ daN

c) No existen cargas longitudinales en esta hipótesis:



3ª hipótesis: desequilibrio de tracciones:

a) Cargas verticales:

Son idénticas a las calculadas en la 2ª hipótesis

TOTAL CARGAS VERTICALES $F_V \approx 1465'4$ daN

b) Cargas transversales y longitudinales por desequilibrio de tracciones (Aptdo 3.1.4.2)

En los apoyos de ángulo con cadenas de suspensión, en líneas de $U_N \leq 66$kV, se considera un desequilibrio del 15% de las tracciones

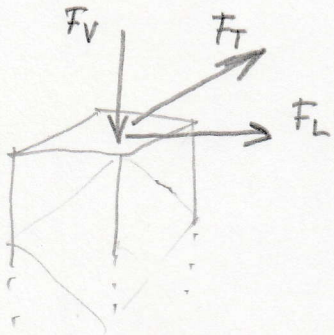
unilaterales de todos los conductores. Este desequilibrio produce los esfuerzos transversales y longitudinales siguientes.

$$F_T = n \cdot 1'85 \cdot T_{Hmax} \cdot \operatorname{sen}\frac{\alpha}{2} = 3 \cdot 1'85 \cdot 1346 \cdot \operatorname{sen}\frac{30^\circ}{2} \approx 1933'5 \text{ daN}$$

$$F_L = n \cdot 0'15 \cdot T_{Hmax} \cdot \cos\frac{\alpha}{2} = 3 \cdot 0'15 \cdot 1346 \cdot \cos\frac{30^\circ}{2} \approx 585 \text{ daN}$$

siendo T_{Hmax}, la tensión máxima de los dos cantones a $-20^\circ C$ con sobre carga de hielo.

Los esfuerzos sobre el apoyo, para esta hipótesis, son:

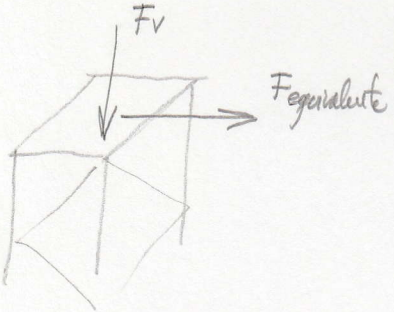


$F_V = 1465'4$ daN

$F_T = 1933'5$ daN

$F_L = 585$ daN

Se puede calcular el esfuerzo equivalente que provoca el mismo momento flector sobre el apoyo, que la aplicación simultánea de F_T y F_L



$F_V = 1467'3$ daN

$F_{equivalente} = F_T + F_L = 1933'5 + 585 = 2518'5$ daN

4ª hipótesis: rotura de conductores con hielo en zona a $-20^\circ C$.

Por las mismas razones expuestas para los apoyos de alineación números 2 y 4, se puede prescindir de la aplicación de esta hipótesis.

Elección del apoyo de ángulo adecuado:

Comparando los esfuerzos obtenidos con los presentados en la tabla de selección del apoyo número 1, se elige un apoyo C-3000, ya que el esfuerzo longitudinal o transversal a que está sometido dicho apoyo es 2518'5 daN, menor que el esfuerzo útil especificado de 3000 daN. En cuanto a la carga vertical soportada especificada que

es tan solo de 800 daN, y por tanto, menor que los 1465'4 daN aplicados, puede considerarse suficiente siempre que se cumpla la expresión

$$Fv + 5 \cdot F_{equiv} \leq V + 5 \cdot L$$

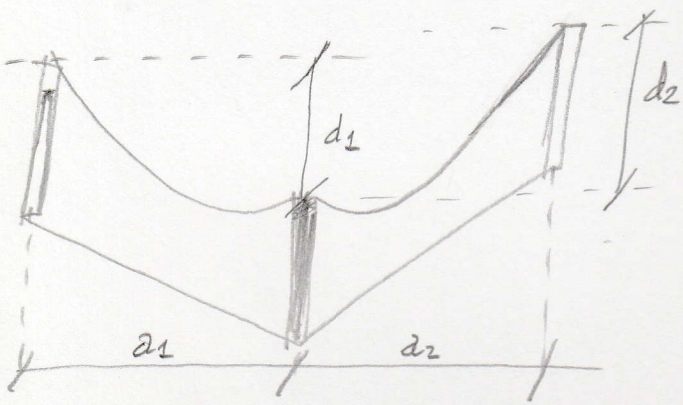
En este caso se cumple, ya que:

$$Fv + 5 \cdot F_{equiv} = 1465'4 + 5 \cdot 2518'5 = 14058$$

$$V + 5 \cdot L = 800 + 5 \cdot 3000 = 15800$$

y además se cumple la condición adicional de que $Fv < 3 \cdot V$.

APOYO Nº6. APOYO DE SUSPENSION EN ALINEACION



$a_1 = 150\,m$ $\quad d_1 = -10\,m$

$a_2 = 160\,m$ $\quad d_2 = 15\,m$

Por tratarse de un apoyo situado entre vanos a distinto nivel, el coloreado y gravivano no coinciden, siendo su valor:

Coloreado: $a_e = \frac{a_1 + a_2}{2} = \frac{150 + 160}{2} = 155\,m$

Gravivano con viento: $a_{gV} = \frac{a_1 + a_2}{2} + \frac{Tv}{2} \cdot \left(\frac{d_1}{a_1} - \frac{d_2}{a_2}\right) =$

$a_{gV} = 155 + \frac{833}{0'941} \cdot \left(\frac{-10}{150} - \frac{15}{160}\right) = 13\,m$ siendo p, el peso con sobrecarga de viento.

Gravivano con hielo: $a_{gH} = \frac{a_1 + a_2}{2} + \frac{Th}{P} \cdot \left(\frac{d_1}{a_1} - \frac{d_2}{a_2}\right)$

$a_{gH} = 155 + \frac{1346}{1'772} \cdot \left(\frac{-10}{150} - \frac{15}{160}\right) = 33'1\,m$

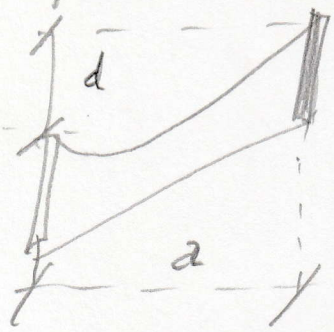
siendo p, el peso con sobrecarga de hielo.

El calculo de este apoyo se realiza de la misma forma que para los apoyos numeros 2 y 4. cambiando las longitudes del eolovano y gravivano.

El lector puede comprobar que el apoyo de chapa CH-1000, cumplirá todas las hipotesis de calculo.

APOYO Nº7. APOYO DE FIN DE LINEA.

1ª hipotesis: viento de 120km/h, a -15ºC



$a = 160\,m \qquad d = 15m$

Por tratarse de un apoyo situado entre vanos a distinto nivel, el eolovano y gravivano no coinciden, siendo su valor:

Eolovano: $de = \frac{a}{2} = \frac{160}{2} = 80m$

Gravivano con viento: $agV = \frac{a}{2} + \frac{Tv}{p} \cdot \frac{d}{a} = 80 + \frac{833}{0'941} \cdot \frac{15}{160} = 163\,m$

siendo p, el peso con sobrecarga de viento.

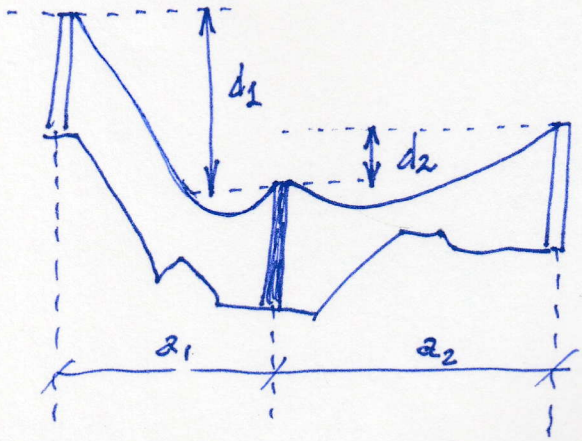
Gravivano con hielo: $agH = \frac{a}{2} + \frac{Th}{p} \cdot \frac{d}{a} = 80 + \frac{1346}{1'772} \cdot \frac{15}{160} = 151'24\,m.$

siendo p, el peso con sobrecarga de hielo:

El calculo de este apoyo se realiza de la misma forma que para el apoyo numero 1 de principio de linea, cambiando las longitudes del eolovano y gravivano. El lector puede comprobar que el apoyo de celosia C-7000, cumplirá todas las hipotesis de calculo.

DESVIACION DE LAS CADENAS DE AISLADORES:

Se va a estudiar la desviación de la cadena de aisladores en el apoyo suspensión en alineación nº6 del ejemplo anterior, utilizando una curva de bóveda:



Datos:

Vano anterior: $a_1 = 150$ m, desnivel, $d_1 = -10$ m
Vano posterior: $a_2 = 160$ m, desnivel, $d_2 = 15$ m
Conductor empleado: LA-110 en zona C
Diámetro del conductor, $\phi = 14$ mm
Tracción del conductor a -15°C V/2: $T_{V/2} = 592$ daN
Peso aparente de conductor con viento medio $p = 0'597$ daN
Peso de la cadena de aisladores: $P_{CAD} = 8$ daN
Longitud de la cadena de aisladores: $L_{cad} = 0'6$ m
Diámetro de la cadena $\phi_{CAD} = 0'255$ m
Peso de herrajes por cadena: $P_{HERR} = 1$ daN

Calculamos: $a_e = \frac{a_1 + a_2}{2} = \frac{150 + 160}{2} = 155$ m

Gravivano con viento medio: $a_{g\,V/2} = \frac{a_1 + a_2}{2} + \frac{T_{V/2}}{p} \cdot \left(\frac{d_1}{a_1} - \frac{d_2}{a_2} \right)$

$a_{g\,V/2} = 155 + \frac{592}{0'597} \cdot \left(\frac{-10}{150} - \frac{15}{160} \right) = -4'07$ m

siendo p, el peso con la sobrecarga correspondiente a una presión de viento media

- Peso del conductor: $P_{COND} = p_p \cdot a_{gV/2} = 0'425 \cdot (-4'07) = -1'7$ daN
- Viento sobre la cadena de aisladores: $F_{V\,CAD} = q_{V/2} \cdot \phi_{CAD} \cdot L_{cad}$

$F_{V\,cad} = \frac{70}{2} \cdot 0'255 \cdot 0'6 = 5'355$ daN

- Viento sobre el conductor: $F_{V\,COND} = q_{V/2} \cdot \phi \cdot 10^{-3} \cdot a_e = \frac{60}{2} \cdot 14 \cdot 10^{-3} \cdot 155 = 65'1$ daN

Como

$$P_{COND} + \frac{P_{CAD}}{2} + P_{HERR} = -1'7 + \frac{8}{2} + 1 > 0$$

El ángulo de desviación de la cadena de aisladores se calculará según la expresión

$$\beta = \operatorname{arctg}\left(\frac{\frac{F_{VCAD}}{2} + F_{VCOND}}{P_{COND} + \frac{P_{CAD}}{2} + P_{HERR}}\right) \Rightarrow \beta = \operatorname{arctg}\left(\frac{\frac{5'355}{2} + 65'1}{-17 + \frac{8}{2} + 1}\right) = \operatorname{arctg}(20'53) = 87'2°$$

Aunque en el enunciado del ejercicio no se han facilitado los dimensionados detallados de la torreta, al ser el ángulo de desviación casi de 90°, es casi seguro que incumplirán con las distancias de seguridad reglamentarias. Para corregir esta situación se podrán adoptar varias soluciones.

a) Elevar el apoyo en estudio, reducir la altura de los conductores, o ambas cosas a la vez, hasta alcanzar un valor de β aceptable. La reducción de la altura de los apoyos debe garantizar la distancia reglamentaria de los conductores al terreno.

b) Replantear la colocación de este apoyo en otro lugar.

c) Eliminar el apoyo. Esta solución supondría un vano demasiado largo (310m), lo que supondría utilizar cruceta y apoyos de diferentes características a los empleados en el ejemplo.

d) Colocar en dicho apoyo cadenas de amarre, con lo que habría que recalcular completamente la línea, ya que el cantón en el apoyo de elevación, quedaría dividido en dos.

e) Colocación de contrapesos: Aunque en líneas de MT su uso es muy reducido, podrían utilizarse contrapesos de cadena. No se debe proyectar la línea utilizando contrapesos, su empleo queda limitado a líneas existentes donde, por cualquier motivo, se produzca el volteo de cadenas.

Bien aplicación de alguna de las soluciones propuestas, se supone que se adopta la solución A), variando la altura de los apoyos, quedando como se indica a continuación:

Vano anterior: $a_1 = 150m$, desnivel $d_1 = -4m$ (antes, $-10m$)

Vano posterior: $a_2 = 160m$, desnivel $d_2 = 9m$ (antes, $15m$)

Gravivano con viento medio:

$$a_{gV/2} = \frac{a_1 + a_2}{2} + \frac{T_{V/2}}{p} \cdot \left(\frac{d_1}{a_1} - \frac{d_2}{a_2} \right) = 155 + \frac{592}{0'597} \cdot \left(\frac{-4}{150} - \frac{9}{160} \right) = 72'8 \text{ m}$$

. Peso del conductor: $P_{COND} = p_p \cdot a_{gV/2} = 0'425 \cdot 72'8 = 30'94$ daN.

El ángulo de desviación de la cadena tiene:

$$\beta = \operatorname{arctg} \left(\frac{\frac{5'355}{2} + 65'1}{30'94 + \frac{8}{2} + 1} \right) = \operatorname{arctg}(1'88) = 62'1°$$

Se puede observar como al cambiar los desniveles se ha reducido el ángulo considerablemente. Normalmente las crucetas de hóvedo con cadenas de 600 mm de longitud admiten ángulos de oscilación del orden de los 60°.

En el caso de instalar contrapesos, solución (c) anterior, si se fija un ángulo $\beta = 60°$, el contrapeso necesario para no superar dicho ángulo tendría un valor:

$$\text{Contrapeso} = \frac{\frac{F_{VCAD}}{2} + F_{VCOND}}{\operatorname{tan} \beta} - P_{COND} - \frac{P_{CAD}}{2} - P_{HERR.}$$

$$\text{Contrapeso} = \frac{\frac{5'355}{2} + 65'1}{1'732} - (-1'7) - \frac{8}{2} - 1 = 35'8 \text{ daN.}$$

Si finalmente se instalara un contrapeso normalizado de 50 daN, el ángulo pasaría a ser.

$$\beta = \operatorname{arctg} \left(\frac{\frac{5'355}{2} + 65'1}{-1'7 + \frac{8}{2} + 1 + 50} \right) = \operatorname{arctg}(1'27) = 51'8°.$$

EJEMPLO DE CALCOLO DE DISTANCIAS MINIMAS DE SEGURIDAD.

A continuación, se determinan las distancias mínimas de seguridad, según establece el apartado 5. de la ITC - LAT 07 para el ejemplo del apartado 3.4 de una línea de 15kV, suponiendo para dicha línea distintas situaciones de cruzamientos y paralelismos.

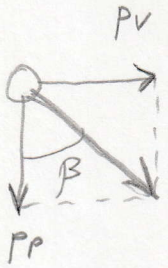
I • Distancia entre conductores:

$$D = k \cdot \sqrt{f_{max} + L_{cad}} + k' \cdot P_p \quad \text{donde:}$$

D = Separación entre conductores de fase del mismo circuito o circuitos distintos, en metros.

k = Coeficiente que depende de la oscilación de los conductores con el viento, que se toman de tabla 16 ITC 07.

Angulo de oscilación	Valores de K	
	Líneas de tensión nominal superior a 30 kV	Líneas de tensión nominal igual o inferior a 30 kV
Superior a 65°	0,7	0,65
Entre 40° y 65°	0,65	0,6
Inferior a 40°	0,6	0,55



$P_p = 0'425$ daN/m , $P_v = 0'84$ daN/m , $tg\,\beta = \frac{P_v}{P_p} = \frac{0'84}{0'425} = 1'976$

$\beta = 63'16°$

De la tabla anterior, se obtiene un valor de $K = 0'6$, ya que la tensión de la línea es superior a 30kV

f_{max} = flecha máxima, en metros, para las hipótesis, según el apartado 3.2.3 de la línea ITC - LAT-07.

La flecha máxima a considerar para la distancia entre conductores es la correspondiente a hipótesis de viento, que para los distintos vanos de la línea tiene un valor.

PASO POR ZONAS:

En general, las líneas eléctricas aéreas con conductores desnudos se define la zona de servidumbre de vuelo como la franja de terreno definida por la proyección sobre el suelo de los conductores extremos, considerados estos y sus cadenas de aisladores en las condiciones más desfavorables, sin contemplar distancia alguna adicional:

Las condiciones más desfavorables son considerar los conductores y sus cadenas de aisladores en su posición de máxima desviación; es decir, sometidos a la acción de su propio peso y a una sobrecarga de viento, considerando una velocidad de viento de 120km/h a la temperatura de 15°C.

Como ejemplo se calcula, de forma aproximada, el límite de la zona de servidumbre de vuelo en el centro del primer vano del ejercicio del Apdo. 3.4:

Cálculo de desviación de la cadena de aisladores: en el apoyo nº 2,

- Vano anterior: $a_1 = 150m$, desnivel $d_1 = 0m$
- Vano posterior: $a_2 = 160m$, desnivel $d_2 = 0m$
- Conductor empleado: LA-110 en zona C
- Tracción en el conductor a -15°C con viento de 120km/h $T_V = 3'40daN$
- Peso aparente de conductor con viento de 120km/h: $p = 0'941 daN$
- Diámetro del conductor $\phi_{CONS} = d = 14mm$
- Peso de la cadena de aisladores: $P_{CAD} = 10 daN$
- Longitud de la cadena de aisladores: $L_{CAD} = 0'6m$
- Diámetro de la cadena: $\phi_{CAD} = d_d = 0'255m$
- Peso de herrajes por cadena: $P_{HERR} = 2 daN$
- Peso propio $p_p = 0'425 daN/m$.

Diámetro de la cadena:

Solución: $a_e = \frac{a_1 + a_2}{2} = \frac{150 + 160}{2} = 155m$

Gravivano con viento = $a_{gV} = a_e = 155m$

• Peso del conductor

$$P_{COND} = p_p \cdot a_{gV} = 0'425 \cdot 155 = 65'87 \text{ daN}$$

• Viento sobre la cadena de aisladores.

$$F_{VCAD} = q \cdot d_{CAD} \cdot L_{cad} = 70 \cdot 0'255 \cdot 0'6 = 10'71 \text{ daN}$$

• Viento sobre el conductor:

$$F_{VCOND} = q \cdot d_{COND} \cdot 10^{-3} \cdot a_e = 60 \cdot 14 \cdot 10^{-3} \cdot 155 = 130'2 \text{ daN}$$

El ángulo de desviación de la cadena tiene por valor.

$$\beta = \text{arctg}\left(\frac{\frac{10'71}{2} + 130'2}{65'87 + \frac{10}{2} + 2}\right) = \text{arctg}(1'86) = 61'73°$$

La zona de servidumbre de vuelo en el centro del vano, se situará a una distancia de línea que une los puntos de sujeción de las cadenas de aisladores de los apoyos nº1 y nº2, dada por la suma de la proyección horizontal de la cadena de aisladores y de la proyección horizontal de la flecha máxima, con sobrecarga de viento a la temperatura de 15°C.

• Proyección horizontal de la cadena de aisladores:

$$L_{cad} \cdot \text{sen}\,\beta = 0'6 \cdot \text{sen}(61'73°) = 0'528 m$$

• Proyección horizontal de la flecha máxima con viento de 120km/h

$$\phi = 63'16°$$

$$f_{max\,V} = 4'1 m$$

$$f_{max\,V} \cdot \text{sen}\,\phi = 4'1 \cdot \text{sen}\,63'16° = 3'658 m$$

La zona de servidumbre de vuelo en el centro del vano se situará a una distancia de la línea que une los puntos de sujeción de los c

cadenas de aisladores de los apoyos nº1 y nº2, de 0'528 m + 3'658 m = 4'186 metros.

EJEMPLO DE CALCULO DE APOYOS EN LINEA AÉREA DE CATEGORIA Y DOBLE CIRCUITO:

Tensión nominal $U_n = 15kV$, doble circuito simplex y emplazada en zona B

Se trata de comprobar, si los apoyos calculados y que figuran en la tabla siguiente, son adecuados según lo especificado en el RLAT.

Apoyo nº	Función	Tipo	Altura libre h_L (m)
1	Principio de línea	HVH-3500-17	14,18
2	Suspensión en alineación	HV-630-15	13,06
3	Suspensión en alineación	HV-630-17	15,02
4	Amarre en ángulo (15 º)	HVH-1600-17	14,65
5	Suspensión en alineación	HV-630-15	13,06
6	Anclaje en alineación	HVH-1600-17	14,65
7	Suspensión en alineación	HV-630-15	13,06
8	Fin de línea	HVH-3500-17	14,18

El conductor empleado es el 47-ALI/8-STIA (antiguo LA-56), estando la línea emplazada a una altitud de 600m y habiéndose exigido, en los cálculos mecánicos del conductor, unos límites del 9% para el EDS a la temperatura de 15°C y del 20%, para el CHS, a la temperatura de -5°C.

Para los apoyos de principio y fin de línea, anclaje y amarre en ángulo se han utilizado apoyos de hormigón vibrado hueco (HVH), y para los de suspensión en alineación, apoyos de hormigón vibrado (HV).

La cruceta empleada en los apoyos de la línea es de doble circuito DC-1, para apoyos de suspensión y DC-2, para el resto:

El aislamiento está formado por cadenas de aisladores de nucleo fibra de vidrio y resina con aletas de silicona de 0'6m de longitud en los apoyos de suspensión y de 1m en el resto de apoyos.

Las longitudes de las cadenas utilizadas, superiores a las necesarias por los requisitos de aislamiento, tiene por objeto mejorar la protección de la

arifaena y disminuir el riesgo de electrocución de las aves cuando se posan sobre el apoyo:

Los apoyos de principio y fin de línea son pasos subterráneos - aéreos y aéreos - subterráneos respectivamente:

Características de los elementos empleados

- Cadenas de aisladores de suspensión

  - Tipo : AIS-S
  - Longitud : 0'6 m
  - Peso de cadena : 2'5 daN
  - Peso de herrajes : 1'5 daN
  - Diámetro : 0'11 m



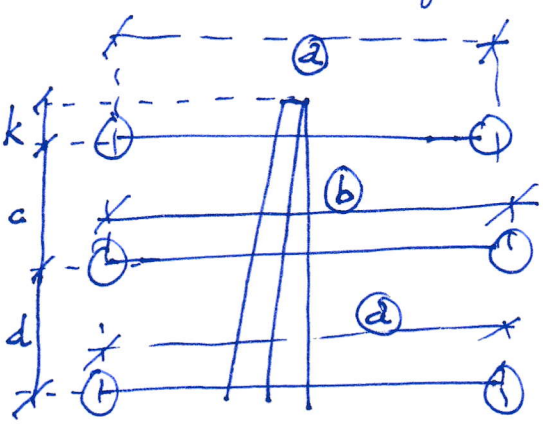
COPIA

- Cadenas de aisladores de amarre

  - Tipo : AIS-M
  - Longitud : 1 m
  - Peso de cadena : 4 daN
  - Peso de herrajes : 2 daN
  - Diámetro : 0'11 m

COPIA.

- Crucetas DC1 y DC2



COPIA.

- Datos del conductor:
  - → Tipo: 47-AL1/8-ST1A (Antiguo LA-56)
  - → Sección: 54'6 mm²
  - → Diámetro: 9'45 mm
  - → Composición: 6+1
  - → Carga de rotura: 1638'8 daN
  - → Módulo de elasticidad: 7949 daN/mm²
  - → Coeficiente de dilatación $19'1 \cdot 10^{-6}\ ^{\circ}C^{-1}$

- Condiciones de cálculo
  - → ZONA B.
  - → Coeficientes de seguridad
  - → Límite EDS: 9% a 15°C
  - → Límite CHS: 20% a -5°C

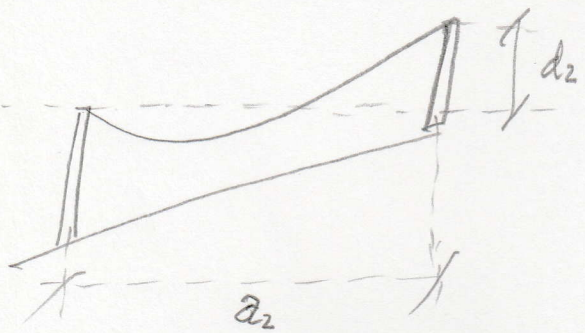
- Pesos del conductor incluyendo las sobrecargas reglamentarias:
  - → Peso propio: 0'1856 daN/m
  - → Peso con sobrecarga de viento: 0'597 daN/m
  - → Peso con sobrecarga de hielo: 0'739 daN/mm
  - → Peso con sobrecarga de viento medio: 0'339 daN/m.

COPIA.

Si se calcula la distancia mínima entre conductores, según el apartado 5.4.1 de la ITC LAT 07, las distancias c y d especificadas para los cruceta DC1 y DC2, resultan inferiores al valor calculado. No obstante el RLAT admite adoptar separaciones menores que las obtenidas por aplicación directa de la fórmula, siempre que se adopten medidas preventivas para evitar fenómenos de galope.

Estas medidas pueden incluir la instalación de accesorios especiales en la línea, por ejemplo, separadores de espiras entre conductores del haz, pesos excéntricos, amortiguadores para el viento, péndulos para desmultiplicación o contrapesos aerodinámicos.

APOYO Nº 1 DE PRINCIPIO DE LINEA:



$a_2 = 145m / d_2 = 2m$

Por tratarse de un apoyo desnivelado, el vano eólico y el gravivano no coinciden, siendo su valor.

Eólico: $de = \frac{a_2}{2} = \frac{145}{2} = 72'5m$

Gravivano con viento: $agV = \frac{a_2}{2} + \left(\frac{Tv_2}{P} \cdot \frac{d_2}{a_2}\right) = \frac{145}{2} + \left(\frac{442}{0'597} \cdot \frac{-2}{145}\right) = 62'28m$

siendo p, el peso con sobrecarga de viento.

$h_1 - 2$ $h_0 - h_2$

Gravivano con hielo: $agH = \frac{a_2}{2} + \left(\frac{Th_2}{P} \cdot \frac{d_2}{a_2}\right) = \frac{145}{2} + \left(\frac{531}{0'739} \cdot \frac{-2}{145}\right) = 62'58m.$

siendo p, el peso con sobrecarga de hielo:

1º hipótesis: viento de 120km/h, a -10ºC.

2) CARGAS VERTICALES

- Peso de conductores: $P_{COND} = n \cdot p_p \cdot agV = 6 \cdot 0'1856 \cdot 62'58 = 69'35 daN$

- Peso de cadenas de aisladores:

$P_{CAD} = n_{CAD} \cdot p_{CAD} = 6 \cdot 4 = 24$ daN

- Peso de herrajes: $P_{HERR} = n_{CAD} \cdot p_{HERR} = 6 \cdot 2 = 12$ daN

- Peso de cruceta: $P_{CRUC} = 181'48$ daN. (Cruceta DC-2)

TOTAL CARGAS VERTICALES:

$F_V = P_{COND} + P_{CAD} + P_{HERR} + P_{CRUC} = 69'35 + 24 + 12 + 181'48 = 286'8$ daN.

b) CARGAS transversales, por viento sobre conductores (Apdo 3.1.2).

$$F_{T1} = q \cdot d \cdot 10^{-3} \cdot de = 60 \cdot \left(\frac{120}{120}\right)^2 \cdot 9'45 \cdot 10^{-3} \cdot 72'5 = 41'1 \text{ daN}$$

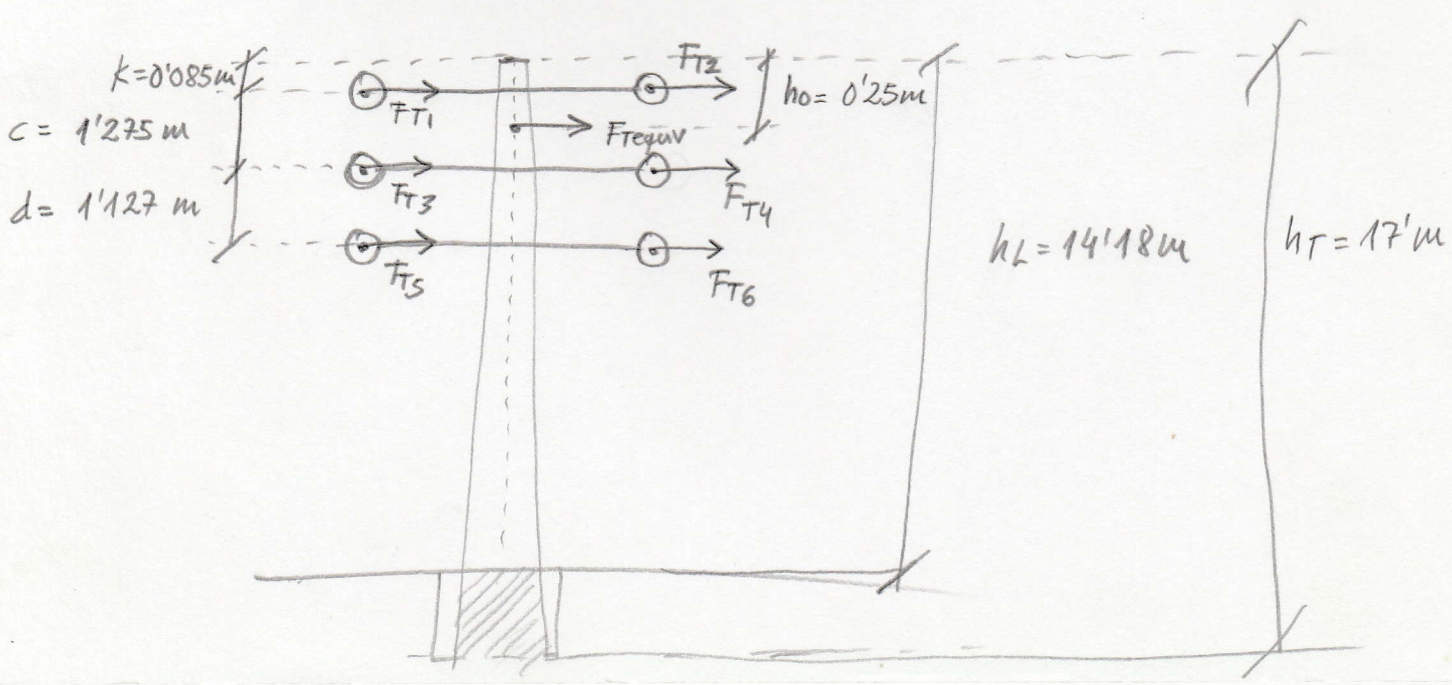
$$F_{T1} = F_{T2} = F_{T3} = F_{T4} = F_{T5} = F_{T6} = 41'1 \text{ daN}$$

$$F_{TequV} = \frac{(F_{T1}+F_{T2})\cdot(h_L-k)+(F_{T3}+F_{T4})\cdot(h_L-k-c)+(F_{T5}+F_{T6})\cdot(h_L-k-c-d)}{h_L-h_0}$$

$$F_{Tequiv} = \frac{2 \cdot F_{T1} \cdot [(h_L-k)+(h_L-k-c)+(h_L-k-c-d)]}{h_L-h_0} = F_{T1} \cdot coef$$

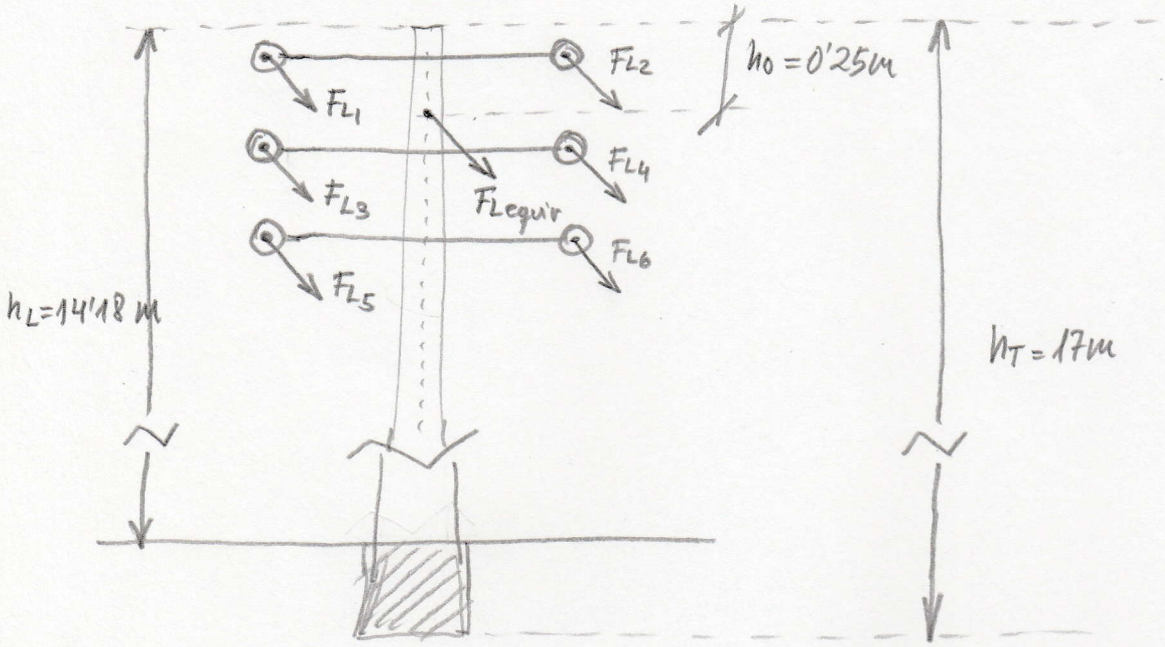
$$coef = \frac{2 \cdot [(14'18-0'085)+(14'189-0'085-1'275)+(14'18-0'085-1'275-1'127)]}{14'18-0'25} = 5'543$$

$$F_{Tequiv} = F_{T1} \cdot coef = 41'1 \cdot 5'543 = 227'8 \text{ daN}$$



c) Cargas longitudinales por desequilibrio de tracciones (Apt.d 3.1.4.4).

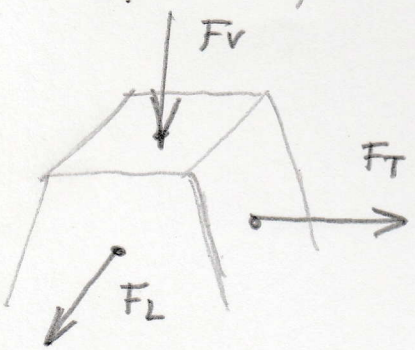
En los apoyos fin de línea se considera el 100% de las tracciones unilaterales de todos los conductores.



$F_{L1} = T_V = 442$ daN siendo T_V, la tensión en el primer cantón a -10°C, con viento de 120km/h.

$F_{L equiv} = F_{L1} \cdot coef = 442 \cdot 5'543 = 2450$ daN

Los esfuerzos, para esta hipótesis, sobre el apoyo son:



$F_V = 286'8$ daN

$F_T = 227'8$ daN

$F_L = 2450$ daN

2ª hipótesis: hielo en zona B, a -15°C

a) Cargas verticales

- Peso de conductores: $P_{COND} = n(p_p + p_h) \cdot a_{gH} = n_0(p_p + 0'18\sqrt{d}) \cdot a_{gH}$

$P_{COND} = 6 \cdot 0'739 \cdot 62'58 = 277'5$ daN

- Peso de cadenas de aisladores, herrajes y cruceta, igual que en la primera hipótesis.

TOTAL CARGAS VERTICALES:

$F_V = P_{CONDS} + P_{CAD} + P_{HERR} + P_{ENUC} = 277'5 + 24 + 12 + 181'48 = 495$ daN

b) Cargas transversales, por viento sobre los conductores (Aptdo 3.1.2)

No se consideran cargas transversales por viento.

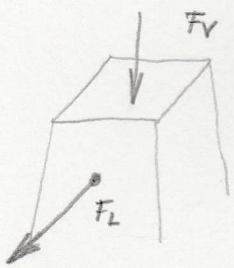
c) Cargas longitudinales por desequilibrio de tracciones (Aptdo 3.1.4.4)

En los apoyos fin de línea se consideran el 100% de las tracciones unilaterales de todos los conductores.

$F_{L1} = T_H = 531$ daN $\rightarrow$ $F_{L\,equiv} = F_{L1} \cdot \cos\varphi = 531 \cdot 5'543 \approx 2943$

siendo T_H, la tensión en el primer cantón a $-15°C$ con sobrecarga de hielo.

Los esfuerzos aplicados para esta hipótesis sobre el apoyo son:



$F_V = 495$ daN

$F_L = 2943$ daN

3ª hipótesis: desequilibrio de tracciones.

Esta hipótesis no se aplica al ser un apoyo de fin de línea.

4ª hipótesis: rotura de conductores con hielo en la zona B, a $-15°C$.

a) Cargas verticales:

Idénticos a los calculados en la 2ª hipótesis pero descontando el peso del conductor roto

$P_{CONDS} = (n-1) \cdot (p_p + p_h) \cdot a_{gH} = (n-1) \cdot (p_p + 0'181\sqrt{d}) \cdot a_{gH}$

$P_{COND} = 5 \cdot 0'739 \cdot 6258 = 231'2$ daN

TOTAL CARGAS VERTICALES

$F_V = P_{CONDA} + P_{LAD} + P_{HERR} + P_{CRUC} = 231'2 + 24 + 12 + 181'48 = 448'7$ daN

b) Cargas transversales, por viento sobre conductor (Aptdo 3.1.2)

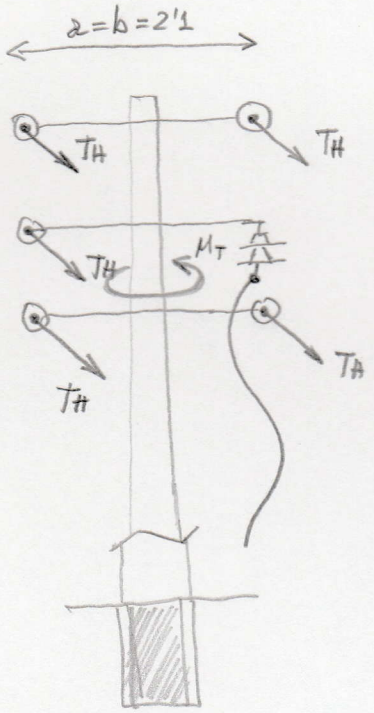
No se consideran cargas transversales

c) Cargas longitudinales por rotura de conductores (Aptdo 3.1.5.4)

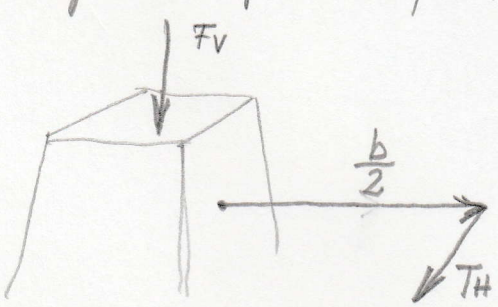
Se considera la rotura de un solo conductor. Esto provoca un momento de torsión sobre el apoyo que viene dado por.

$$M_T = T_H \cdot \frac{b}{2} = 531 \cdot \frac{2'1}{2} = 557'55 \text{ daN} \cdot m$$

siendo T_H, la tracción en el primer cantón a -15°C con sobrecarga de hielo.



Los esfuerzos aplicados para esta hipótesis sobre el apoyo son:



$F_V = 448'7$ daN

$M_T = T_H \cdot \frac{b}{2} = 557'55$ daN

Elección del apoyo de principio de línea:

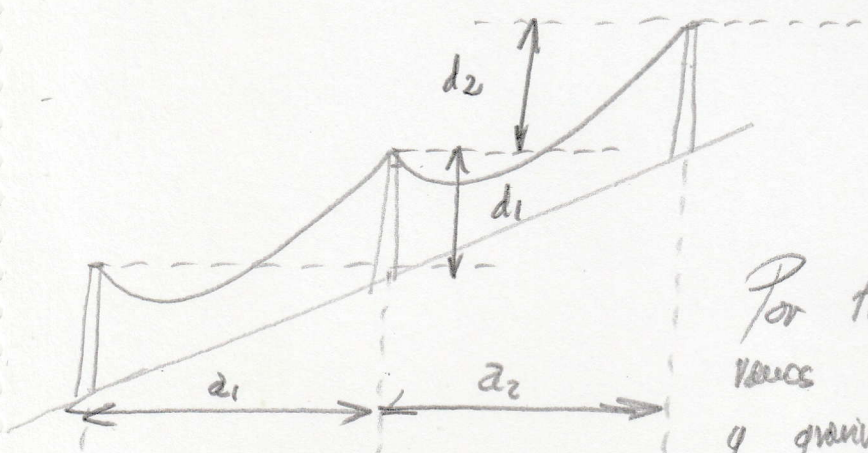
Para elegir el apoyo que soporte los esfuerzos calculados en cada una de las hipótesis, se indican los esfuerzos soportados por cada uno de los apoyos HVH especificados en la NORMA UNE 207016.

Comparando los esfuerzos obtenidos con los presentados en la tabla anterior se elige un apoyo HVH-3000, que soporta esfuerzos superiores a los resultantes de las distintas hipótesis.

El esfuerzo de torsión soportado por el apoyo es mayor que el valor calculado de M_T, ya que el momento de rotura a torsión del apoyo (5130 daN·m) dividido entre el coeficiente de seguridad, es mayor que M_T. El coeficiente de seguridad, según indica el Apartado 3.5.4), será el 80% del coeficiente de seguridad especificado en la Norma UNE 207016 $\quad Coef\ seg = 0'8 \cdot 2'5 = 2$

$$\frac{5130}{2}\ daN\cdot m = 2565\ daN\cdot m > M_T = 557'55\ daN\cdot m$$

APOYO Nº2 APOYO DE SUSPENSION EN ALINEACION



$a_1 = 145m \qquad d_1 = 2m$

$a_2 = 150m \qquad d_2 = 3m$

Por tratarse de un apoyo situado entre vanos a distinto nivel, el colgante y grapas no coinciden, siendo su valor:

Zolorano:

$$a_e = \frac{a_1 + a_2}{2} = \frac{145 + 150}{2} = 147'5 m$$

Gravivano con viento $a_{gV} = \frac{a_1+a_2}{2} + \frac{Tv}{p} \cdot \left(\frac{d_1}{a_1} - \frac{d_2}{a_2}\right) = 147'5 + \frac{442}{0'597} \cdot \left(\frac{2}{145} - \frac{3}{150}\right) = 142'9$ m

siendo p. el peso con sobrecarga de viento.

Gravivano con hielo: $a_{gH} = \frac{a_1+a_2}{2} + \frac{Th}{p} \cdot \left(\frac{d_1}{a_1} - \frac{d_2}{a_2}\right) = 147'5 + \frac{531}{0'739} \cdot \left(\frac{2}{145} - \frac{3}{150}\right)$

$$a_{gH} = 143 m$$

siendo p. el peso con sobrecarga de hielo.

1ª hipótesis: viento de 120 km/h, a -10°C

a) Cargas verticales:

- Peso de conductor $P_{COND} = n \cdot p_p \cdot a_{gV} = 6 \cdot 0'1856 \cdot 142'9 = 159'13$ daN
- Peso de cadenas de aisladores $P_{CAD} = n_{CAD} \cdot p_{CAD} = 6 \cdot 2'5 = 15$ daN
- Peso de herrajes: $P_{HERR} = n_{CAD} \cdot p_{HERR} = 6 \cdot 1'5 = 9$ daN
- Peso de cruceta: $P_{CRUC} = 92'21$ daN (cruceta DC-1)

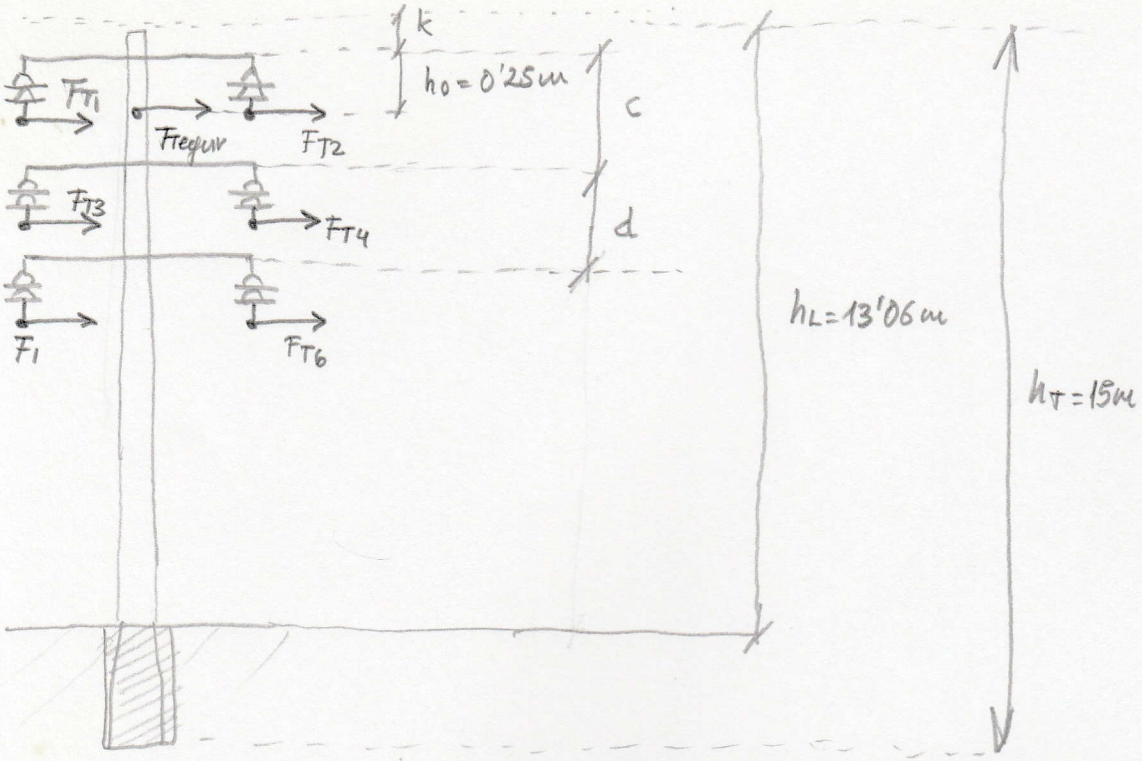
TOTAL CARGAS VERTICALES: $F_V = P_{COND} + P_{CAD} + P_{HERR} + P_{CRUC} =$

$F_V = 159'13 + 15 + 9 + 92'21 \approx 275'3$ daN.

b) Cargas transversales por viento sobre los conductores (Apdo. 3.1.2)

$$F_{T1} = q \cdot d \cdot 10^{-3} \cdot a_e = 60 \cdot \left(\frac{120}{120}\right)^2 \cdot 9'45 \cdot 10^{-3} \cdot 147'5 = 83'63 \text{ daN.}$$

$F_{T1} = F_{T2} = F_{T3} = F_{T4} = F_{T5} = F_{T6} = 83'63$ daN.



$$F_{T\,equiv} = \frac{(F_{T1}+F_{T2})\cdot(h_L-k)+(F_{T3}+F_{T4})\cdot(h_L-k-c)+(F_{T5}+F_{T6})\cdot(h_L-k-c-d)}{h_L-h_0}$$

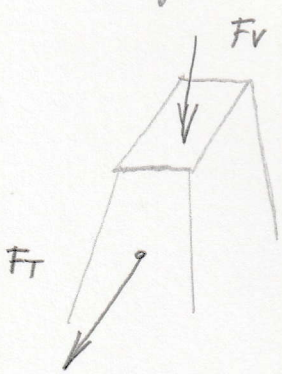
$$F_{T\,equiv} = \frac{2\cdot F_{T1}\cdot[(h_L-k)+(h_L-k-c)+(h_L-k-c-d)]}{h_L-h_0} = F_{T1}\cdot Coef$$

$$Coef = \frac{2\cdot[(13'06-0'085)+(13'06-0'085-1'275)+(13'06-0'085-1'275-1'127)]}{13'06-0'25} = 5'503$$

$$F_{T\,equiv} = F_{T1}\cdot Coef = 83'65\cdot 5'503 = 460\ daN$$

c) No se consideran cargas longitudinales en las hipótesis de viento.

Las cargas aplicadas sobre el apoyo para esta hipótesis son:



$F_V = 275'3\ daN$

$F_T = 460\ daN$

2° hipotesis : hielo en Zona B, a −15°C.

a) Cargas verticales

- Peso de conductores : $P_{COND} = n(p_p + p_h) \cdot a_{gH} = n \cdot (p_p + 0'18\sqrt{d}) \cdot a_{gH}$

$P_{COND} = 6 \cdot 0'734 \cdot 143 = 634$ daN

- Peso de cadenas de aisladores, herrajes y varetas : igual que para la 1ª hipotesis.

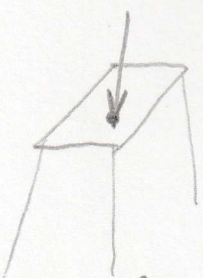
TOTAL CARGAS VERTICALES :

$F_V = P_{COND} + P_{CAD} + P_{HERR} + P_{CRUC} = 634 + 15 + 9 + 92'21 = 750'2$ daN

b) No se consideran cargas transversales en la hipotesis de hielo:

c) No se consideran cargas longitudinales en la hipotesis de hielo:

Los esfuerzos aplicados sobre el apoyo para esta hipotesis son:



$F_V = 750'2$ daN

3ª hipotesis : desequilibrio de tracciones

a) Cargas verticales : Son iguales a los calculados en la 2ª hipotesis

$F_V = 750'2$ daN.

b) No se consideran cargas transversales en esta hipotesis

c) Cargas longitudinales por desequilibrio de tracciones (Aptado 3.1.4.1)

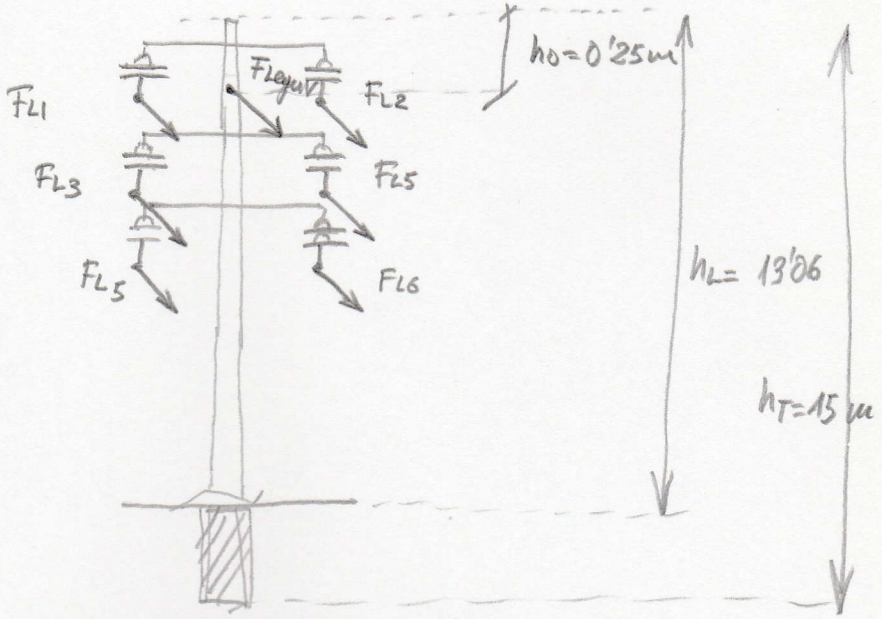
En los apoyos de alineación con aislamiento suspendido se considera el 8% de las tracciones unilaterales de todos los conductores

$F_{L1} = F_{L2} = F_{L3} = F_{L4} = F_{L5} = F_{L6} = 0'08 \cdot T_H = 0'08 \cdot 531 = 42'48$ daN

siendo T_H, la tensión en el primer vano a -15°C con hielo.

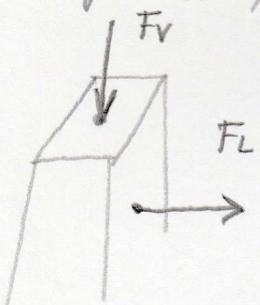
$F_{Lequiv} = F_{L1} \cdot Coef = 42'48 \cdot 5'503$

$F_{Lequiv} = 234$ daN



Nótese que el valor del coeficiente es ya calculado para este apoyo en la 1ª hipótesis. El esfuerzo longitudinal equivalente está aplicado a 0'25m por debajo de cogolla.

Los esfuerzos para esta hipótesis sobre el apoyo son:



$F_V = 750'2$ daN

$F_L = 234$ daN

4º hipótesis: rotura de conductores con hielo en Zona B, a -15°C

El apartado 3.5.3 de la ITC-LAT-07, establece que para líneas de tensión nominal hasta 66kV, en los apoyos de alineación y ángulo con cadenas de aisladores de suspensión y amarre con conductores de carga de rotura inferior a 6600 daN, se puede prescindir de la consideración de la cuarta hipótesis (rotura de conductores), cuando en la línea se verifique simultáneamente las siguientes condiciones:

a) Que los conductores y cables de tierra tengan un coeficiente de seguridad de 3 como mínimo.

b) Que el coeficiente de seguridad de los apoyos y cimentaciones en

la 3º hipotesis sea el correspondiente a las hipotesis normales.

c) Que se instalen apoyos de anclaje cada 3 kilómetros como máximo.

En nuestro ejemplo, se dan todas las condiciones anteriores, por lo tanto, se prescinde del calculo de esta cuarta hipotesis, es decir, a los apoyos de alineación y ángulo no se les exige momento torsor alguno.

Elección del apoyo de alineación:

Para elegir el apoyo que soporte los esfuerzos calculados en cada una de las hipotesis, se indican los esfuerzos soportados por cada uno de los apoyos de hormigón vibrado especificados en la Norma UNE 207016.

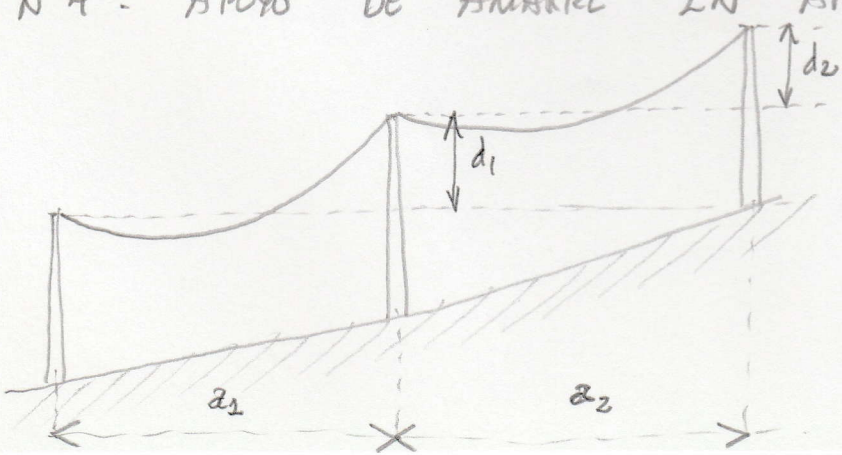
Esfuerzo nominal *T* (daN)	Esfuerzo secundario *L* (daN)
160	100
250	160
400	250
630	360
800	400
1000	500
1600	600

Comparando los esfuerzos obtenidos, para que las tres hipotesis estudiadas en los presentados en la tabla anterior, se elige un apoyo HV-630

APOYO Nº3. APOYO DE SUSPENSION EN ALINEACION:

Se calcula de forma similar el apoyo nº2.

APOYO Nº4. APOYO DE AMARRE EN ANGULO:



$a_1 = 155\,m$

$d_1 = 4\,m$

$a_2 = 160\,m$

$d_2 = 3\,m$

Por hallarse el apoyo situado entre vanos a distinto nivel, el coloreano y gravivano no coinciden, siendo su valor:

Coloreano $\quad a_e = \frac{a_1+a_2}{2} = \frac{155+160}{2} = 157'5\ m$

Gravivano con viento: $\quad a_{gV} = \frac{a_1+a_2}{2} + \left(\frac{T_{V1}}{P}\cdot\frac{d_1}{a_1} - \frac{T_{V2}}{P}\cdot\frac{d_2}{a_2}\right) = 157'5$

$$a_{gV} = 157'5 + \left(\frac{442}{0'597}\cdot\frac{4}{155} - \frac{444}{0'597}\cdot\frac{3}{160}\right) = 162'7\ m$$

siendo p, el peso con sobrecarga de viento.

Gravivano con hielo:

$$a_{gH} = \frac{a_1+a_2}{2} + \left(\frac{T_{H_2}}{P}\cdot\frac{d_1}{a_1} - \frac{T_{H_2}}{P}\cdot\frac{d_2}{a_2}\right) = 157'5 + \left(\frac{531}{0'739}\cdot\frac{4}{155} - \frac{534}{0'739}\cdot\frac{3}{160}\right) = 162'5\ m$$

siendo p_1 el peso con sobrecarga de hielo:

1ª hipótesis: viento de 120 km/h, a -10°C

a) Cargas verticales

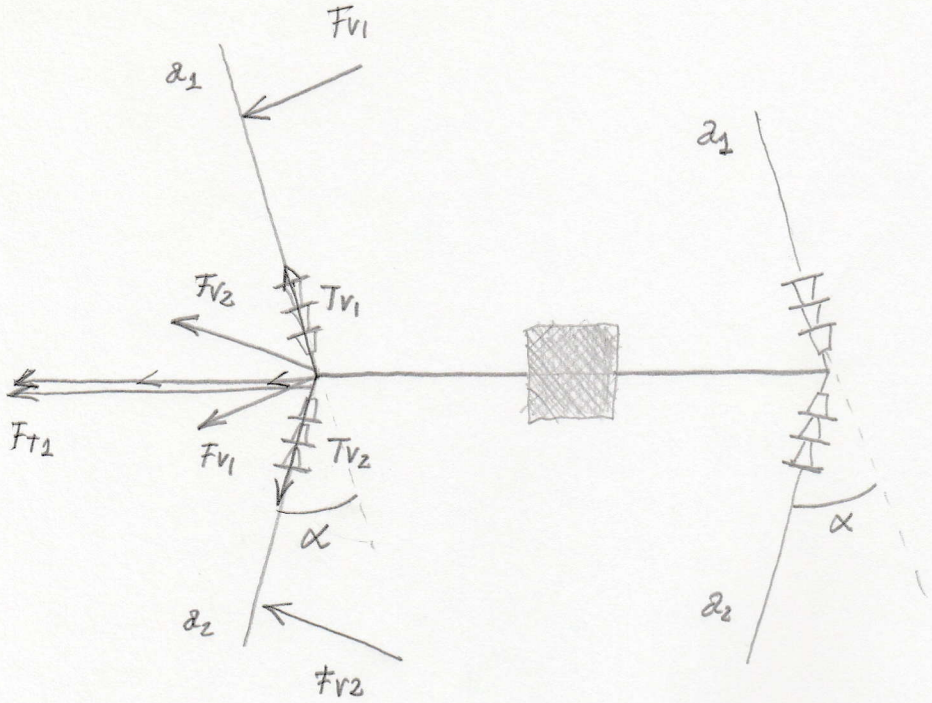
- Peso de conductores: $P_{COND} = n\cdot p_p\cdot a_{gV} = 6\cdot 0'1856\cdot 162'7 \approx 181\ daN$
- Peso de cadenas de aisladores: $P_{CAD} = n_{CAD}\cdot p_{CAD} = 12\cdot 4 = 48\ daN$
- Peso de herraje: $P_{HERR} = n_{CAD}\cdot p_{HERR} = 12\cdot 2 = 24\ daN$
- Peso de cruceta: $P_{CRUC} = 181'48\ daN$ (Cruceta DC-2)

TOTAL CARGAS VERTICALES:

$$F_V = P_{COND} + P_{CAD} + P_{HERR} + P_{CRUC} = 181 + 48 + 24 + 181'48 = 434'5\ daN$$

b) Cargas transversales por la resultante de ángulo y el viento.

Los esfuerzos sobre el apoyo se representan en la figura siguiente:

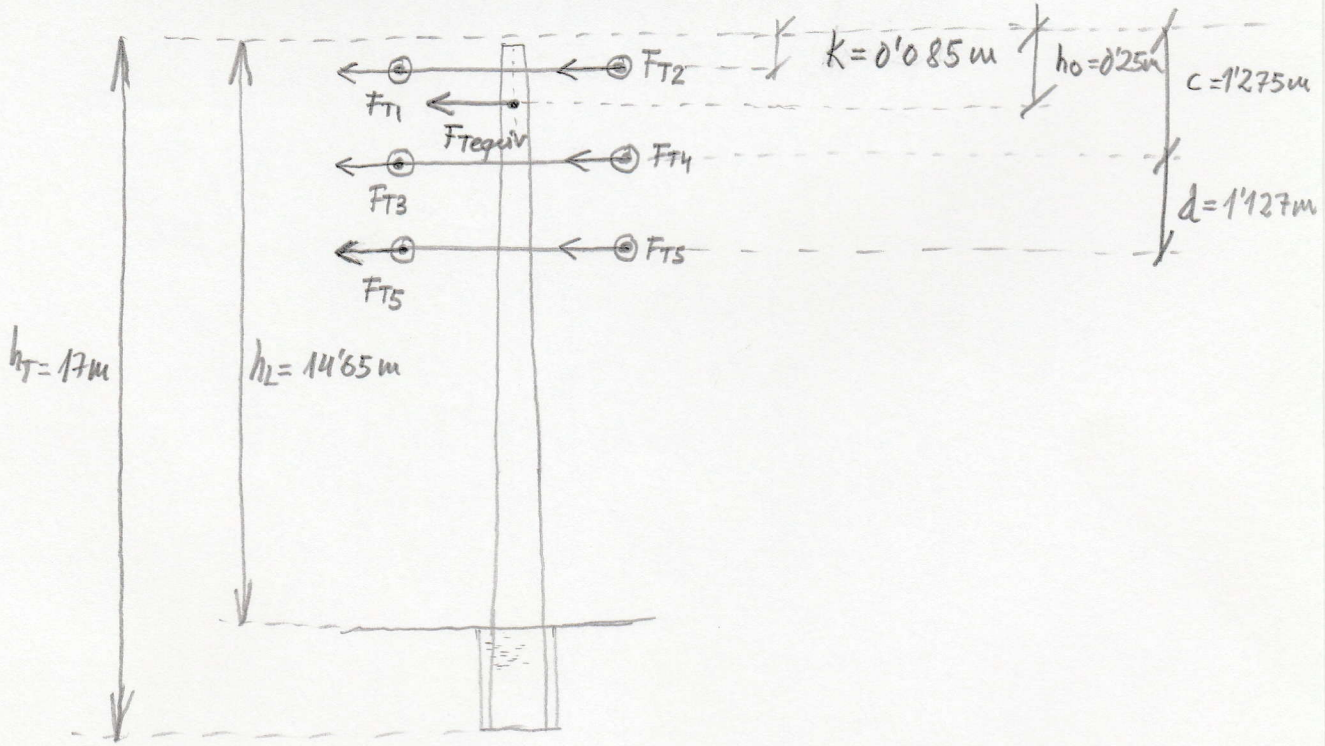


$$F_{T1} = \left[(T_{V1} + T_{V2}) \cdot \operatorname{sen} \frac{\alpha}{2} + \left(\frac{a_1 + a_2}{2} \right) \cdot q \cdot \left(\frac{120}{120} \right)^2 \cdot d \cdot 10^{-3} \cdot \cos \frac{\alpha}{2} \right]$$

$$F_{T1} = \left[(442 + 444) \cdot \operatorname{sen} \frac{15}{2} + \left(\frac{155 + 160}{2} \right) \cdot 60 \cdot \left(\frac{120}{120} \right)^2 \cdot 9'45 \cdot 10^{-3} \cdot \cos \frac{15}{2} \right] = 204'2 \quad daN$$

El esfuerzo transversales calculado es debido a la acción del viento q a la resultante de tiro sobre un solo conductor.

$$F_{T1} = F_{T2} = F_{T3} = F_{T4} = F_{T5} = F_{T6} = F_T = 204'2 \quad daN$$



Por tratarse de una configuración en doble circuito, con cruceta tipo DC-2, el esfuerzo transversal total debido a los seis conductores, reducido al punto de aplicación situado a 0'25m por debajo de la cogolla del apoyo, tal como se ha realizado en apartados anteriores, y teniendo en cuenta que la altura libre del apoyo es $h_L = 14'65m$, se calcula como:

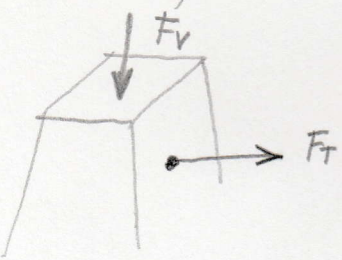
$$coef = \frac{2\cdot[(h_L-k)+(h_L-k-c)+(h_L-k-c-d)]}{h_L-h_0}$$

$$coef = \frac{2\cdot[(14'65-0'085)+(14'65-0'085-1'275)+(14'65-0'085-1'275-1'127)]}{14'65-0'25}$$

$$F_{Trequ} = F_{T1}\cdot coef = 204'2\cdot 5'558 = 1135\ daN$$

c) No se consideran cargas longitudinales en esta hipótesis

Los esfuerzos para esta hipótesis sobre el apoyo son:



$F_V = 434'5\ daN$

$F_T = 1135\ daN$

2ª hipótesis: Hielo zona B, a -15°C

a) Cargas verticales

- Peso de conductores: $P_{COND} = n\cdot(p_p + p_h)\cdot a_g H = n\cdot(p_p + 0'181\sqrt{d})\cdot a_g H$

$P_{COND} = 6\cdot 0'739\cdot 162'5 \approx 720'4\ daN$

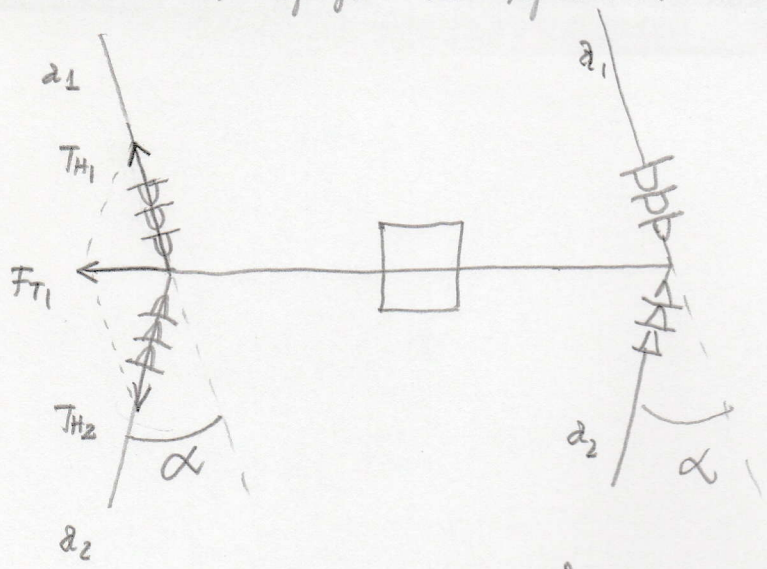
- Peso de cadenas de aisladores, herrajes y cruceta: igual que para la primera hipótesis.

TOTAL CARGAS VERTICALES:

$F_V = P_{COND} + P_{CAD} + P_{HERR} + P_{CRUC} = 720'4 + 48 + 24 + 181'48 = 973'9\ daN.$

b) Cargas transversales por la resultante de angulo (Aptdo 3.1.6)

Los esfuerzos sobre el apoyo se representan en la figura siguiente:



$$F_{T1} = (T_{H1} + T_{H2}) \cdot \operatorname{sen}\frac{\alpha}{2} = (531 + 534) \cdot \operatorname{sen}\frac{15^\circ}{2} = 139 \text{ daN}$$

El esfuerzo transversal calculado es debido a la resultante de angulo sobre un solo conductor:

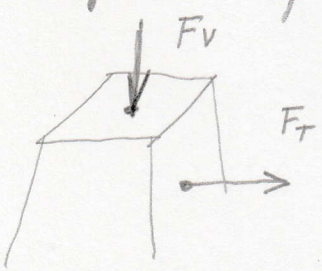
$$F_{T1} + F_{T2} + F_{T3} + F_{T4} + F_{T5} + F_{T6} + F_T = 139 \text{ daN}$$

Por tratarse de una configuración en doble circuito, con cruceta tipo DC-2, el esfuerzo transversal total, debido a los seis conductores, reducido al punto de aplicación situado a 0'25m por debajo de la cogolla del apoyo, tal como se ha realizado para la 1ª hipotesis, será:

$$F_{T\,equiv} = F_{T1} \cdot coef = 139 \cdot 5'558 \approx 773 \text{ daN}$$

c) No se consideran cargas longitudinales en esta hipótesis:

Los esfuerzos, para esta hipotesis, sobre el apoyo son:



$F_V = 973'9$ daN

$F_T = 773$ daN

3ª hipotesis: Desequilibrio de tracciones:

a) Cargas verticales: Son idénticas a las calculadas en la 2ª hipotesis.

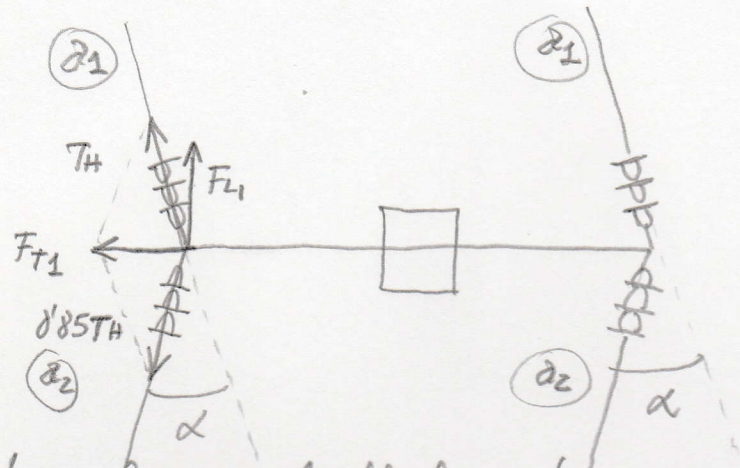
TOTAL CARGAS VERTICALES: $F_V = 973'9$ daN.

b) Cargas transversales y longitudinales por desequilibrio de tracciones (Aptdo 3.1.4.2)

En los apoyos de ángulo con cadenas de amarre se considera el 15% de las tracciones unilaterales de todos los conductores. Este desequilibrio produce los esfuerzos transversales y longitudinales indicados en la figura siguiente, donde T_H es la tracción máxima que se tiene de de uno los dos cantones a -15°C, con sobrecarga de hielo. En nuestro caso, $T_H = 534'2$ daN.

$$F_{T1} = (T_H + 0'85 \cdot T_H) \cdot \operatorname{sen}\frac{\alpha}{2} = 1'85 \cdot T_H \cdot \operatorname{sen}\frac{\alpha}{2} = 1'85 \cdot 534 \cdot \operatorname{sen}\frac{15^\circ}{2} \approx 129 \text{ daN}$$

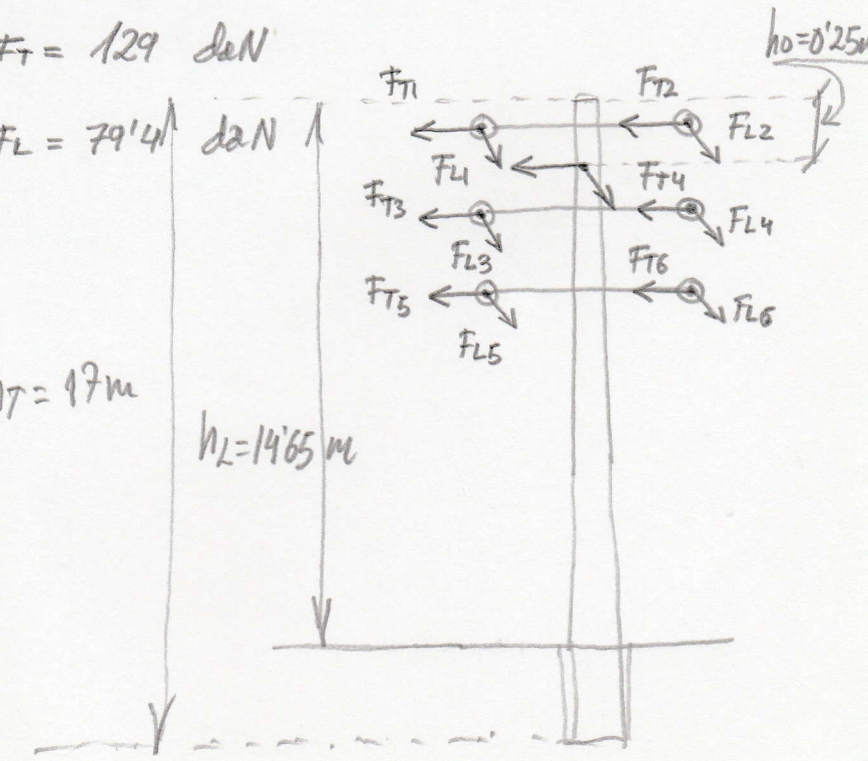
$$F_{L1} = (T_H - 0'85 \cdot T_H) \cdot \cos\frac{\alpha}{2} = 0'15 \cdot T_H \cdot \cos\frac{\alpha}{2} = 0'15 \cdot 534 \cdot \cos\frac{15^\circ}{2} \approx 79'4 \text{ daN}$$



Los esfuerzos transversal y longitudinal anteriores son debidos al desequilibrio de tracciones sobre un solo conductor. Al tratarse de un apoyo con una configuración en doble circuito, se tiene:

$$F_{T1} = F_{T2} = F_{T3} = F_{T4} = F_{T5} = F_{T6} = F_T = 129 \text{ daN}$$

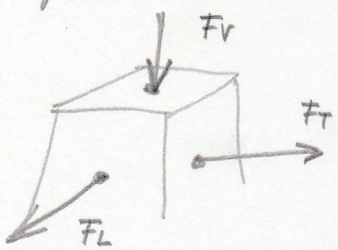
$$F_{L1} = F_{L2} + F_{L3} = F_{L4} = F_{L5} = F_{L6} = F_L = 79'4 \text{ daN}$$



$F_{T\,equiv} = F_{T1} \cdot coef = 129 \cdot 5'558 = 717$ daN

$F_{L\,equiv} = F_{L1} \cdot Coef = 79'4 \cdot 5'558 = 441'4$ daN

Los esfuerzos sobre el apoyo, para esta hipótesis, son:



$F_V = 973'9$ daN

$F_T = 717$ daN

$F_L = 441'4$ daN

4º hipótesis: rotura de conductores con hielo según la zona, a -15ºC

Por las mismas razones expuestas para el apoyo de alineación número 2, se puede prescindir de la aplicación de esta hipótesis:

Elección del apoyo de ángulo elevado:

Para elegir el apoyo que soporte los esfuerzos calculados en cada una de las hipótesis, se indican los esfuerzos soportados por cada uno de los apoyos HVH especificados en la norma UNE 207016.

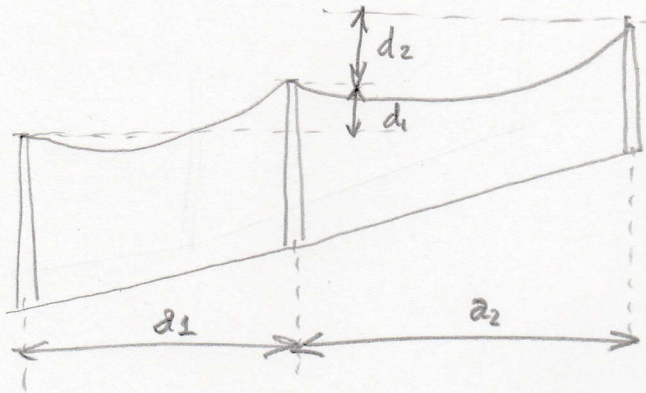
Esfuerzo principal y secundario $T = L$ (daN)	Momento de rotura a torsión (daN·m)
1000	4230
1600	
2000	
2500	5130
3000	
3500	
4500	

Comparando los esfuerzos obtenidos con los presentados en la tabla anterior, se elige un apoyo HVH-1600.

APOYO Nº5 APOYO DE SUSPENSION EN ALINEACIÓN

Se calcula de forma similar al apoyo nº2.

APOYO Nº6 APOYO DE ANCLAJE EN ALINEACION



$a_1 = 155m$ $d_1 = 2m$

$a_2 = 135m$ $d_2 = 2m$

Por tratarse de un apoyo situado entre vanos a distinto nivel, el eolovano y gravivano no coinciden, siendo su valor.

Eolovano: $a_e = \frac{a_1+a_2}{2} = \frac{155+135}{2} = 145\ m$

Gravivano con viento: $a_{gV} = \frac{a_1+a_2}{2} + \left(\frac{T_{V1}}{p}\cdot\frac{d_1}{a_1} - \frac{T_{V2}}{p}\cdot\frac{d_2}{a_2}\right) =$

$a_{gV} = \frac{155+135}{2} + \left(\frac{444}{0'597}\cdot\frac{2}{155} - \frac{440}{0'597}\cdot\frac{2}{135}\right) = 143'7m$

siendo p, el peso con sobrecarga de viento

Gravivano con hielo: $a_{gH} = \frac{a_1+a_2}{2} + \left(\frac{T_{H1}}{p}\cdot\frac{d_1}{a_1} - \frac{T_{H2}}{p}\cdot\frac{d_2}{a_2}\right)$

$a_{gH} = \frac{155+135}{2} + \left(\frac{534}{0'739}\cdot\frac{2}{155} - \frac{528}{0'739}\cdot\frac{2}{135}\right) = 143'7m$

siendo p, el peso con sobrecarga de hielo.

1º hipotesis: viento de 120km/h, a -10ºC

a) Cargas verticales

- Peso de conductores: $P_{COND} = n\cdot p_p\cdot a_{gV} = 6\cdot 0'1856\cdot 143'7 \approx 160\ daN$
- Peso de cadenas: $P_{CAD} = n_{CAD}\cdot p_{CAD} = 12\cdot 4 = 48\ daN$
- Peso de herrajes: $P_{HERR} = n_{CAD}\cdot p_{HERR} = 12\cdot 2 = 24\ daN$
- Peso de cruceta: $P_{CRUC} = 181'48\ daN$

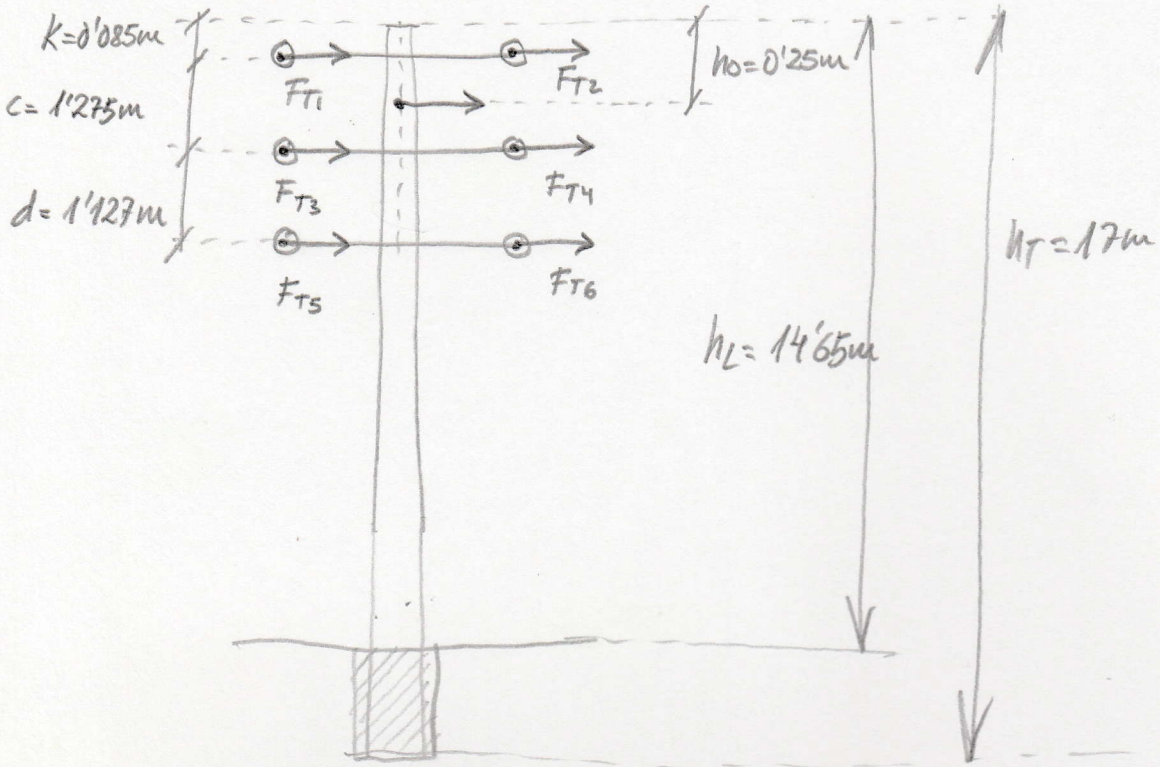
TOTAL CARGAS VERTICALES

$F_V = P_{COND} + P_{CAD} + P_{HERR} + P_{CRUC} = 160+48+24+181'48 = 413'5\ daN.$

b) Cargas transversales debidas al viento sobre los conductores (Apdo 3.1.2)

$$F_{T1} = q \cdot d \cdot 10^{-3} \cdot a_e = 60 \cdot \left(\frac{120}{120}\right)^2 \cdot 9'45 \cdot 10^{-3} \cdot 145 = 82'21$$

$$F_{T1} = F_{T2} = F_{T3} = F_{T4} = F_{T5} = F_{T6} = 82'21 \text{ daN}$$

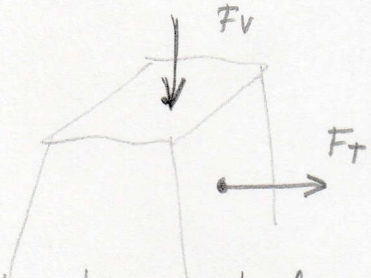


El coeficiente de reducción de esfuerzos ya se ha calculado en el apoyo nº4, ya que tiene las mismas dimensiones.

$$F_{T equiv} = F_{T1} \cdot coef = 82'21 \cdot 5'558 = 456'9 \text{ daN}$$

c) No se consideran las cargas longitudinales en esta hipótesis:

Los esfuerzos, para esta hipótesis, sobre el apoyo son:



$F_V = 413'5$ daN

$F_T = 456'9$ daN

2º hipotesis: hielo en la zona B, a -15°C

a) Cargas verticales:

- Peso de conductores: $P_{COND} = n \cdot (p_p + p_h) \cdot a_g H = n \cdot (p_p + 0'18\sqrt{d}) \cdot a_g H$

$P_{COND} = 6 \cdot 0'739 \cdot 143'7 = 637'2$ daN

• Peso de cadenas de aisladores, herrajes y crucetas, igual que para la 1ª hipótesis

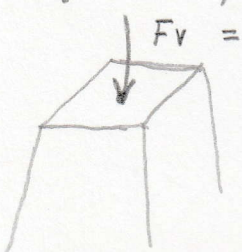
TOTAL CARGAS VERTICALES

$F_V = P_{COND} + P_{CAD} + P_{HERR} + P_{CRUC} = 637'2 + 48 + 24 + 181'48 = 890'7$ daN

b) No se consideran cargas transversales en esta hipótesis:

c) No se consideran cargas longitudinales en esta hipótesis:

Los esfuerzos para esta hipótesis, sobre el apoyo, son:



3ª hipótesis: desequilibrio de tracciones

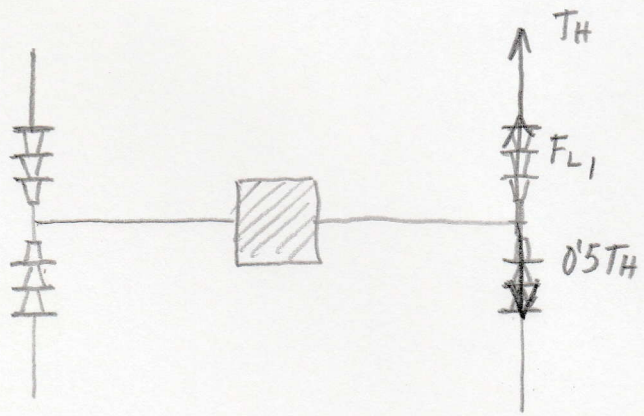
a) Cargas verticales

Son idénticas a las calculadas en la 2ª hipótesis $F_V = 890'7$ daN

b) No se consideran cargas transversales en esta hipótesis.

c) Cargas longitudinales por desequilibrio de tracciones (Apdo 3.1.4.3)

En los apoyos de anclaje se consideran el 50% de las tracciones unilaterales de todos los conductores

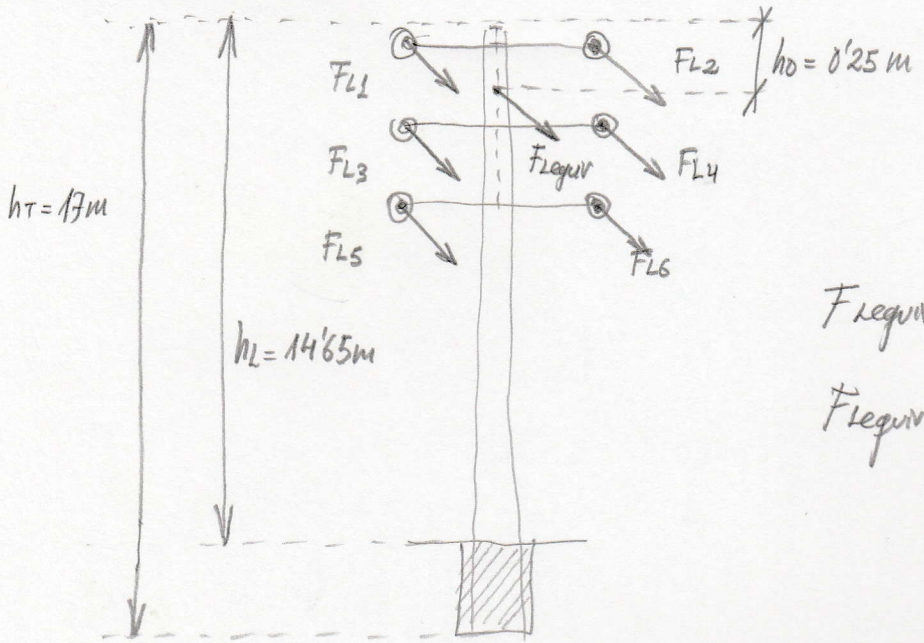


$F_{L1} = 0'5 \cdot T_H = 0'5 \cdot 534 = 267$ daN

siendo T_H, la tracción máxima de los cantones a uno y otro lado del apoyo de anclaje, a -15°C con sobrecarga de hielo.

El esfuerzo longitudinal anterior, sobre el apoyo, es debido al desequilibrio de tracciones sobre un sólo conductor. Al tratarse de un apoyo con una configuración en doble circuito se tiene

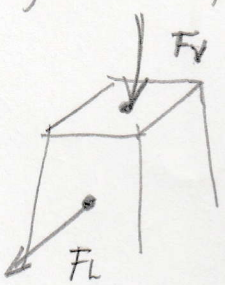
$F_{L1} = F_{L2} = F_{L3} = F_{L4} = F_{L5} = F_{L6} = F_L = 267$ daN



$F_{lequiv} = F_L \cdot coef = 267 \cdot 5'558$

$F_{lequiv} = 1484$ daN

las esfuerzos, para esta hipótesis, sobre el apoyo son:



$F_V = 890'7$ daN $\quad F_L = 1484$ daN

4ª hipótesis: rotura de conductores con hielo en la zona B a $-15°C$.

a) Cargas verticales

Son idénticas a las calculadas en la 2ª hipótesis, para descontando el peso del conductor roto, que corresponderá al de la hoja central, ya que su rotura produce mayor momento de torsión sobre el apoyo. Para que la carga vertical sea mayor se considerará que se rompe el conductor en el vano de mayor gravivano, es decir, el que está a la derecha del apoyo en estudio.

$$P_{COND} = P_{(n-1)\text{, CONDUCTORES NO ROTOS}} + P_{\text{CONDUCTOR ROTO}}$$

$$P_{cond} = (n-1)\cdot(p_p + p_h)\cdot a_{gH} + (p_p + p_h)\cdot\left[\frac{a_1}{2} + \left(\frac{T_{h_1}}{P} - \frac{d_1}{a_1}\right)\right]$$

$$P_{COND} = (p_p + 0'18\sqrt{d}) \cdot \left[(n-1) \cdot a_g H + \frac{a_1}{2} + \left(\frac{T_{H1}}{P} \cdot \frac{d_1}{a_1}\right)\right]$$

$$P_{COND} = 0'739 \cdot \left[5 \cdot 143'7 + \frac{155}{2} + \left(\frac{534}{0'739} \cdot \frac{2}{155}\right)\right] = 595'1 \text{ daN}$$

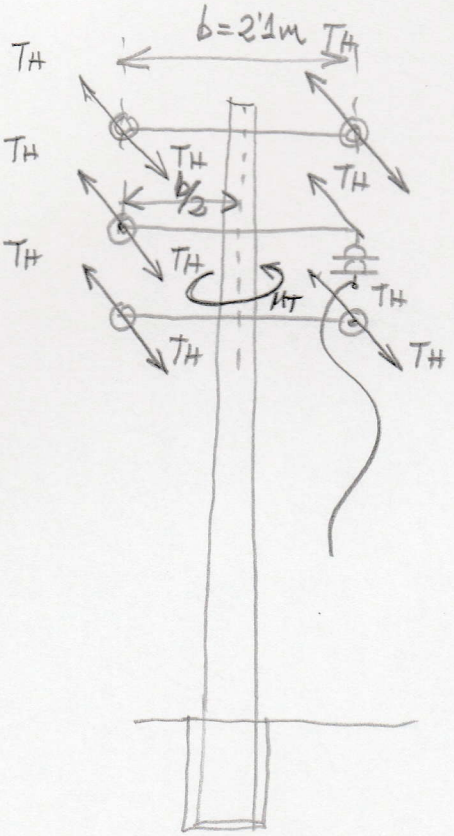
TOTAL CARGAS VERTICALES:

$$F_V = P_{COND} + P_{CAD} + P_{HERR} + P_{CRUC} = 595'1 + 48 + 24 + 181'48 = 848'6 \text{ daN}$$

b) No se consideran cargas transversales en esta hipótesis

c) Cargas transversales por rotura de conductores (Aptdo 3.1.5.3)

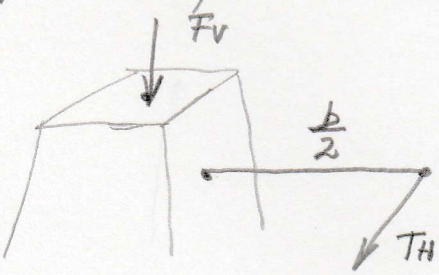
El caso mas desfavorable es considerar la rotura del conductor central, que provoca sobre el apoyo un momento de torsión, M_T.



$$M_T = T_H \cdot \frac{b}{2} = 534 \cdot \frac{2'1}{2}$$

$$M_T = 560'7 \text{ daN.m}$$

Los esfuerzos, para esta hipótesis, sobre el apoyo, son:



$F_V = 848'6$ daN

$M_T = 560'7$ daN.m

Elección del apoyo de anclaje

Para elegir el apoyo que soporte los esfuerzos calculados en cada una de las hipótesis, se indican los esfuerzos soportados por cada uno de los apoyos HVH especificados en la norma UNE 207016

Comparando los esfuerzos obtenidos con los presentados en la tabla anterior, se elige un apoyo HVH-1600, que soporta esfuerzos superiores a los resultantes de las distintas hipótesis. El esfuerzo de torsión soportado por el apoyo es mayor que el valor calculado de M_T, ya que el momento de rotura a torsión del apoyo (4230 daN·m) dividido entre el coeficiente de seguridad, es mayor que M_T. El coeficiente de seguridad, según indica el apartado 3.5.4, será el 80% del coeficiente de seguridad especificado en la norma UNE 207016.

$$Coef\ seg = 0'8 \cdot 2'5 = 2$$

$$\frac{4230}{2}\ daN \cdot m = 2115\ daN \cdot m > M_T = 560'7\ daN \cdot m$$

APOYO Nº7. APOYO DE SUSPENSION EN ALINEACIÓN

Se calcula de forma similar el apoyo nº2.

APOYO Nº8. APOYO FIN DE LINEA

Se calcula de forma similar el apoyo nº1.

EJEMPLO DE CALCULO DE APOYOS EN LINEA AEREA DE 2ª CATEGORIA:

Tensión nominal $U_N = 66\,kV$, de un circuito simple a tresbolillo y emplazada en zona C.

- Características del conductor: fase
  - Denominación: 242-AL1/39-ST1A (LA-280)
  - Sección, $S = 281'1\ mm^2$
  - Diámetro, $d = 21'8\ mm$
  - Peso propio $p_p = 0'957\ daN/m$
  - Módulo de elasticidad, $E = 7500\ daN/mm^2$
  - Carga de rotura, $C_R = 8489\ daN$

- Peso, con sobrecarga de viento de 120 km/h, del conductor de fase

$$P_{Vf} = \sqrt{P_{pf}^2 + (q \cdot d \cdot 10^{-3})^2} = \sqrt{0'957^2 + \left(50 \cdot \left(\frac{120}{120}\right)^2 \cdot 21'8 \cdot 10^{-3}\right)^2} = 1'45\ daN/m$$

- Peso con sobrecarga de hielo del conductor de fase

$$P_{Hf} = P_{pf} + 0'36\sqrt{d} = 0'957 + 0'36 \cdot \sqrt{21'8} = 2'64\ daN/m$$

- Características del conductor de tierra utilizado:
  - Denominación: 50-ST1A (AC-50)
  - Sección, $S = 49'48\ mm^2$
  - Diámetro, $d = 9\ mm$
  - Peso propio $p_p = 0'391\ daN/m$
  - Módulo de elasticidad, $E = 15000\ daN/mm^2$
  - Carga de rotura $C_R = 6174\ daN$

- Peso con sobrecarga de viento del conductor de fibra:

$$p_V = \sqrt{p_p^2 + (q \cdot d \cdot 10^{-3})^2} = \sqrt{0'391^2 + \left(60 \cdot \left(\frac{120}{120}\right)^2 \cdot 9 \cdot 10^{-3}\right)^2} = 0'67 \text{ daN/m}$$

- Peso con sobrecarga de hielo del conductor de fibra:

$$p_H = p_p + 0'36\sqrt{d} = 0'391 + 0'36 \cdot \sqrt{9} = 1'47 \text{ daN/m}$$

- Datos obtenidos del cálculo mecánico de los conductores

Se van a estudiar los apoyos pertenecientes a los cantones de la línea con vanos de regulación de 220 y 240 m. Según las especificaciones se han obtenido las tracciones y flechas siguientes:

- Para el conductor de fibra: - CHS admisible a -10°C del 23%
  - EDS admisible a 15°C del 21%

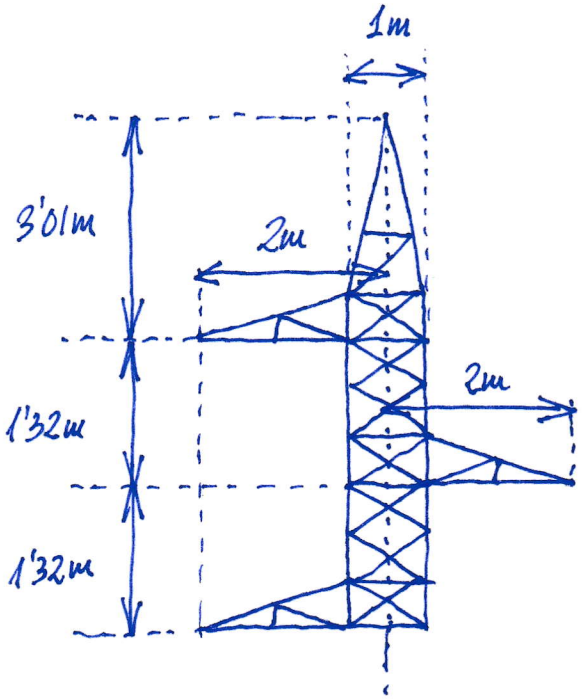
- Para el conductor de fibra: - CHS admisible a -10°C del 18%
  - EDS admisible a 15°C del 17%

- Cadena de aisladores de suspensión utilizada:
  - → Cadena de suspensión: 6 x U-70 BS
  - → Peso: 21 Kg
  - → Longitud = L_{CAD} = 1'05 m
  - → Diámetro d_{CAD} = 0'255 m

- Cadena de aisladores de anclaje utilizada:
  - Cadena de anclaje: 6 x U-100 BS
  - Peso: 27 kg
  - Diámetro, $d_{CAD} = 0'255$ m
  - Longitud, $L_{CAD} = 1'62$ m

Apoyos y anclajes utilizados:

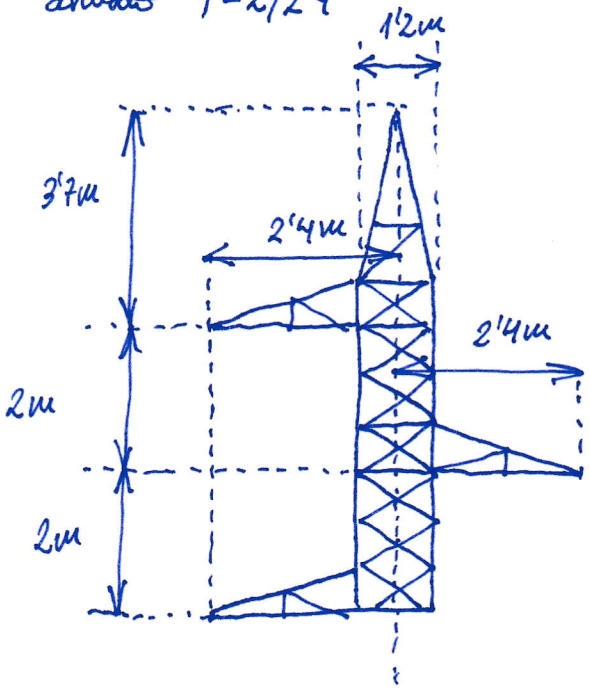
- Apoyo de suspensión en alineación y ángulo pequeño ($\leq 5°$), anclaje en alineación y anclaje de alineación: tipo O con anclaje T-2/1'3.



Serie de alturas libres disponibles (medidas entre la cruceta superior y el terreno)

12'60 - 14'9 - 17'15 - 19'55 - 21'65 - 24'1 - 25'85 m

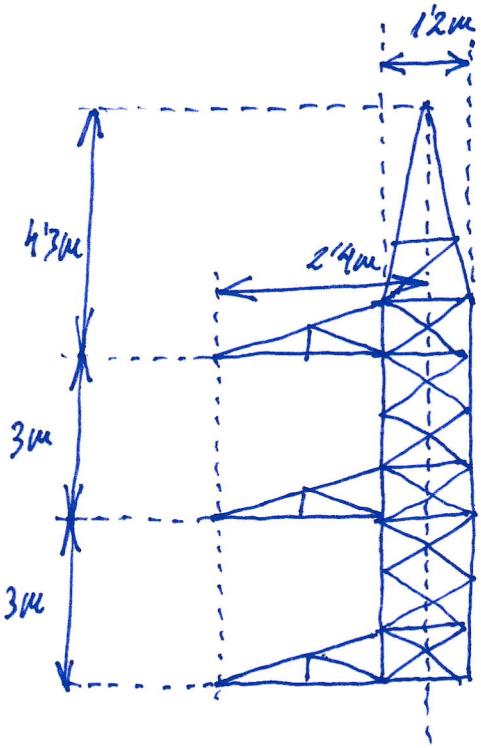
- Apoyo de anclaje en ángulo y anclaje en ángulo: tipo H con anclaje T-2/2'4



Serie de alturas libres disponibles (medidas entre la cruceta inferior y el terreno)

10'25 - 14'6 - 16'8 - 19'05 - 22'65 - 23'45 - 25'7 - 27'95 m

- Apoyo de fin de línea: tipo H. con cruceta B-2.4/3.



Serie de altuas libres disponibles (medidas entre la cruceta inferior y el terreno)

10'25 - 14'6 - 16'8 - 19'05 - 22'65 - 23'45 - 25'70 - 27'93 m

A continuación se especifican los esfuerzos soportados en los puntos de fijación de los conductores, para cada uno de ellos, (tres tipos de apoyos), y para cada una de las hipótesis reglamentarias, de forma similar a como lo hacen los fabricantes en sus catálogos técnicos.

En las tres tablas siguientes, cada esfuerzo nominal caracteriza un tipo de apoyo que se fabrica en diferentes alturas. Para cada esfuerzo nominal se indican varias combinaciones de esfuerzos soportados por el mismo apoyo en función del parámetro R, que se define como:

$R = \frac{Ht}{Hc}$ donde Ht, representa el esfuerzo transversal soportado por el apoyo en el punto de sujeción del cable de tierra y Hc, el esfuerzo transversal soportado por el apoyo en el punto de sujeción del conductor de fase:

- Apoyos tipo O, con anudado T-2/1'3.

COMPROBACIÓN DE LAS DIMENSIONES DE LOS APOYOS A UTILIZAR:

Antes de proceder al calculo mecánico de los apoyos, es necesario conocer las distancias de seguridad reglamentarias por si los apoyos propuestos satisfacen las distancias de seguridad:

- Selección de la altura libre, etc... En este ejemplo no hay ningún vano mas largo que 240 metros.

- DISTANCIA ENTRE CONDUCTORES:

La separación mínima entre los conductores de fase de un mismo circuito se calcula aplicando la fórmula siguiente para las tres condiciones distintas, viento, hielo y temperatura elevada. La distancia obtenida para la condición de viento servirá para comprobar la separación horizontal entre conductores, mientras que la distancia máxima de las condiciones de hielo y temperatura servirá para calcular la separación vertical.

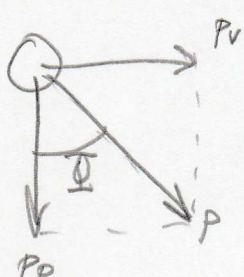
$$D = K \cdot \sqrt{F + L_{CAD}} + K' \cdot D_{PP}$$

Distancia con viento:

$D_{PP} = 0'8m$, $U_n = 66kV$

$L_{CAD} = 1'05m$

$K' = 0'75$



$p_{pf} = 0'957$ daN/m

$p_v = q \cdot d \cdot 10^{-3} = 50 \cdot 21'8 \cdot 10^{-3} = 1'09$ daN/m

$tg\,\Phi = \frac{P_v}{P_{pf}} = \frac{1'09}{0'957} = 1'139$

$\Phi = 48'71°$

En la tabla 16 del apartado 5.4.1 de la ITC-LAT 07 se obtiene un valor de $K = 0'65$ ya que la tensión de la línea es superior a 30kV.

Para este caso la distancia horizontal mínima entre conductores será:

$D_{viento\ VANO\ 240} = 0'65 \cdot \sqrt{8'67 + 1'05} + 0'75 \cdot 0'8 = 2'636\ m$

La distancia entre conductores en posición vertical se obtendrá considerando la flecha máxima de entre las condiciones de hielo y temperatura elevada, sin desviación del conductor por viento, es decir, $\alpha = 0$, y por tanto, según la tabla 16 Apfdo: 5.4.1 $k = 0'6$.

b) Distancia con hielo: $D_{hielo\ VANO\ 240} = 0'6 \cdot \sqrt{8'87 + 1'05} + 0'75 \cdot 0'8 = 2'489\ m$

c) Distancia con temperatura elevada:

$D_{temperatura\ VANO\ 240} = 0'6 \cdot \sqrt{9'21 + 1'05} + 0'75 \cdot 0'8 = 2'522\ m$

El apoyo del tipo T-2/1'3, mantiene una distancia entre conductores en disposición horizontal y vertical mayor de 2'636 y 2'522 m respectivamente, y por lo tanto satisface las condiciones reglamentarias.

Se podría hacer una comprobación similar para los apoyos utilizados en apoyos con cadenas de amarre que tienen una separación entre conductores mayor, teniendo en la fórmula de la distancia, la longitud de la cadena, $L_{CAD} = 0$ por ser cadena de amarre, con lo que resulta una distancia D inferior a la calculada y se cumplen también las distancias reglamentarias

ALTURA LIBRE DE LOS APOYOS

Para asegurar que en todo el trazado de la línea se cumplen las distancias mínimas al terreno, se debe de comprobar la altura de los apoyos mediante la utilización de las curvas de la catenaria para flecha máxima junto con el perfil del terreno. En este ejemplo se considerará que el perfil del terreno es llano, de modo que la altura libre de los apoyos se obtendrá sumando la longitud de la cadena de aisladores de suspensión, la flecha máxima y la altura mínima de los conductores al suelo, incluido un poco más de seguridad. Este margen de seguridad tiene en cuenta las imprecisiones de cálculo y la deformación

plastica de los conductores a lo largo de la vida útil de línea.

$L_{CAD} = 1'05m$; $f_{max\ temperatura} = 9'21m$; $D_{cond-terreno} = 5'3 + Del = 5'3 + 0'7$

$D_{COND-terreno} = 6m$

el valor Del se indica en el apartado 5.2 de la ITC LAT-07, en función de la tensión más elevada de la línea.

$H_{libre} = L_{CAD} + f_{max\ temperatura} + D_{CONDUCTOR-TERRENO} + 1 = 1'05 + 9'21 + 6 + 1 = 18'26m$

Entre la serie de apoyos tipo O se selecciona una altura libre mayor o igual de 19'55m, y para los apoyos tipo H, de 19'05m.

DISTANCIA ENTRE LOS CONDUCTORES DE FASE Y LAS PARTES PUESTA A TIERRA:

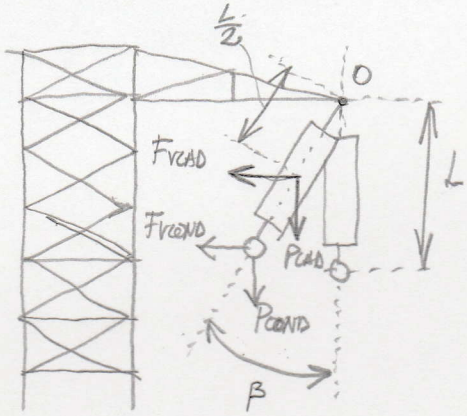
Se calcula la desviación de la cadena de aisladores en un apoyo de alineación entre dos vanos a nivel de 240m

Eolovano: $a_e = \frac{a_1 + a_2}{2} = \frac{240+240}{2}$

$a_e = 240m$

Tracción a -15°C viento mitad

$T_{V/2} = 1018\ daN$



Gravivano con viento mitad: al ser vanos a nivel, coincidirá con el eolovano:

$$a_{gV/2} = \frac{a_1+a_2}{2} + \frac{T_{V/2}}{P_{f/2}} \cdot \left(\frac{d_1}{a_1} - \frac{d_2}{a_2}\right) = \frac{240+240}{2} + \frac{1018}{1'018} \cdot \left(\frac{0}{240} - \frac{0}{240}\right) = 240\,m$$

$$P_{f/2} = \sqrt{P_{pf}^2 + \left(\frac{q}{2} \cdot d \cdot 10^{-3}\right)^2} = \sqrt{0'957^2 + \left(\frac{50}{2} \cdot 21'8 \cdot 10^{-3}\right)^2} = 1'101\ daN/m$$

siendo $P_{f/2}$, el peso del conductor de fase con una sobrecarga debida a una presión de viento mitad a la correspondiente a 120km/h.

• Peso del conductor:

$$P_{COND} = p_{pf} \cdot a_g \cdot V/2 = 0'957 \cdot 240 = 229'68 \text{ daN}$$

• Peso de la cadena de aisladores:

$$P_{CAD} = 20'6 \text{ daN}$$

• Viento sobre la cadena de aisladores:

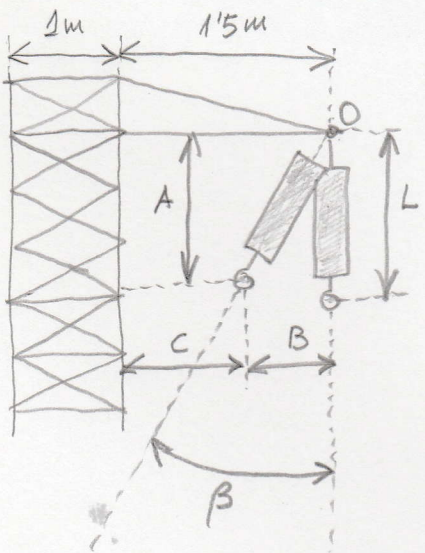
$$F_{VCAD} = q_{V/2} \cdot d_{CAD} \cdot L_{CAD} = \frac{70}{2} \cdot 0'255 \cdot 1'05 = 9'371 \text{ daN}$$

• Viento sobre el conductor:

El ángulo de desviación de la cadena tiene un valor

$$\beta = \operatorname{arctg}\left(\frac{\frac{F_{VCAD}}{2} + F_{VCOND}}{P_{COND} + \frac{P_{CAD}}{2}}\right) = \operatorname{arctg}\left(\frac{\frac{9'371}{2} + 130'8}{229'68 + \frac{20'6}{2}}\right) = 29'4°$$

La separación mínima entre conductores y sus accesorios en tensión y los apoyos no será inferior a Del, con un mínimo de 0'2m. Para líneas de 66kV, el valor de Del es de 0'7m. Según puede observarse en la figura, las distancias del conductor al apoyo, en el caso de desviación de la cadena de aisladores, son superiores a 0'7m; por lo tanto, se cumplen las distancias reglamentarias:



$$A = L_{CAD} \cdot \cos\beta = 0'915 \text{ m}$$

$$B = L_{CAD} \cdot \operatorname{sen}\beta = 0'515 \text{ m}$$

$$C = 1'5 \text{m} - B = 0'985 \text{ m}$$

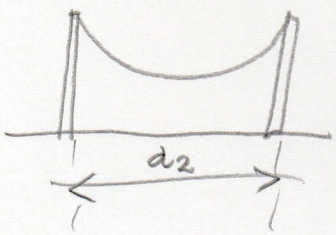
$$A \text{ y } C > 0'7 \text{m}$$

CALCULO MECANICO DE APOYOS

Se van hacer el calculo de diferente apoyos definidos en la tabla siguiente, datos de longitudes de vanos, desniveles, ángulo de desviación de la traza y vanos de regulación, necesarios para el calculo de algunos de los apoyos de la linea.

Con objeto de comparar los esfuerzos reglamentarios a los que van a estar sometidos los apoyos con los especificados por el fabricante, se calcularán los esfuerzos verticales, transversales y longitudinales aplicados en los puntos de sujeción de los conductores.

APOYO DE PRINCIPIO DE LINEA



$a_2 = 240 m$

- Tracciones para el conductor de fase en el vano de regulación de 240 m.

→ Tracción a −20°C + hielo : $T_{Hf} = 2250$ daN

→ Tracción a −15°C + viento : $T_{Vf} = 1309$ daN

- Tracciones para el conductor de tierra en el vano de regulación de 240 m.

  — Tracciones a -20°C + hielo : $T_{H_1} = 1495'5$ daN

  — Tracción a -15°C + viento : $T_{VE} = 813'5$ daN

Por tratarse de un apoyo cuyo único vano a la derecha es un vano a nivel, el alcance y el gravivano sobre el apoyo, para los conductores de fase y de tierra coinciden, siendo su valor:

$$a_{gV} = a_{gH} = a_e = \frac{a_2}{2} = \frac{240}{2} = 120\,m$$

donde a_{gV} es el gravivano con viento a_{gH} el gravivano con hielo y a_e es el alcance.

1° hipótesis: viento de 120 km/h, a -15°C:

a) Cargas verticales:

- Peso de conductores: $P_{COND\ FASE} = n_f \cdot p_{pf} \cdot a_{gV} = 1 \cdot 0'957 \cdot 120 = 114'84$ daN

$$P_{COND\ TIERRA} = n_t \cdot p_{pt} \cdot a_{gV} = 1 \cdot 0'391 \cdot 120 = 46'92\ daN$$

- Peso de cadena de aisladores, incluidos los herrajes:

$$P_{CAD} = 27 \cdot 0'981 = 26'48\ daN$$

TOTAL CARGAS VERTICALES

- Carga vertical por fase: $F_{Vf} = P_{COND\,FASE} + P_{CAD} = 114'84 + 26'48 = 141'32$ daN
- Carga vertical debida al conductor de tierra: $F_{Vt} = P_{COND\,TIERRA} = 46'92$ daN

b) Cargas transversales por viento sobre conductores (Aptdo 3.1.2):

Esfuerzo transversal debido al viento sobre el conductor de fase:

$$F_{Tf} = q \cdot d \cdot 10^{-3} \cdot a_e = 50 \cdot \left(\frac{120}{120}\right)^2 \cdot 218 \cdot 10^{-3} \cdot 120 = 130'8\ daN$$

Esfuerzo transversal debido al viento sobre el conductor de trama:

$$F_{Tt} = q \cdot d \cdot 10^{-3} \cdot a_e = 60\left(\frac{120}{120}\right)^2 \cdot 9 \cdot 10^{-3} \cdot 120 = 64'8 \text{ daN}$$

c) Cargas longitudinales por desequilibrio de tracciones (Aptdo 3.1.4.4)

En los apoyos fin de línea se considera el 100% de las tracciones unilaterales de todos los conductores.

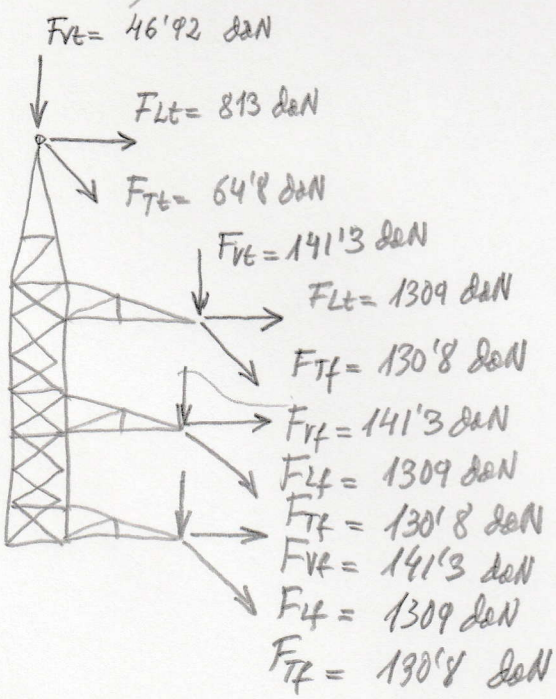
Esfuerzo longitudinal debido a la tracción del conductor de fase:

$F_{Lf} = T_{vf} = 1309$ daN siendo T_{vf}, la tracción del conductor de fase en el primer cantón a −15°C con viento de 120 km/h.

Esfuerzo longitudinal debido a la tracción del conductor de trama:

$F_{Lt} = T_{vt} = 813$ daN siendo T_{vt}, la tracción del conductor de trama en el primer cantón a −15°C con viento de 120 km/h.

Los esfuerzos, para esta hipótesis, sobre el apoyo son:



COPIA.

El apoyo seleccionado para cumplir con esta hipotesis es H-8800-22,65-B-2,4/3,0T, cuyos esfuerzos soportados se indican a continuación

2ª hipotesis: hielo en zona C, a -20ºC

a) Cargas verticales:

• Peso de conductores:

$$P_{COND\ FASE} = n \cdot (p_{pf} + p_{hf}) \cdot a_{gH} = n_f \cdot (p_{pf} + 0'36 \cdot \sqrt{d_f}) \cdot a_{gH}$$

$$P_{COND} = 1 \cdot (0'957 + 0'36 \cdot \sqrt{21'8}) \cdot 120 = 316'54 \text{ daN}$$

$$P_{COND\ TIERRA} = n_t \cdot (p_{pt} + p_{ht}) \cdot a_{gH} = n_t \cdot (p_{pt} + 0'36 \cdot \sqrt{d_t}) \cdot a_{gH}$$

$$P_{COND\ TERRA} = 1 \cdot (0'391 + 0'36 \cdot \sqrt{9}) \cdot 120 = 176'52 \text{ daN}$$

• Peso de cadena de aisladores, incluidos los herrajes

$$P_{CAD} = 27 \cdot 0'981 = 26'48 \text{ daN}$$

TOTAL CARGAS VERTICALES:

• Carga vertical por fase:

$$F_{vf} = P_{COND\ FASE} + P_{CAD} = 316'54 + 26'48 = 343'02 \text{ daN}$$

• Carga vertical debida al conductor de tierra.

$$F_{vt} = P_{COND\ TIERRA} = 176'52 \text{ daN}.$$

b) Cargas transversales por viento sobre los conductores (Aptado 3.1.2)

No se consideran cargas transversales por viento.

c) Cargas longitudinales por desequilibrio de tracciones (Aptado 3.1.4.4)

En los apoyos fin de línea se considera el 100% de las tracciones unilaterales de todos los conductores.