

CALCULO MECANICO DE CONDUCTOR

1.- DESCRIPCION TECNICA

1.1.- Características fundamentales de la obra:

- Ubicación geográfica y zona climática: E. Ríos (Zona C)
- Tipo de línea y disposición de los conductores: 33 kV Line Post Coplanar Vertical.
- Vano de cálculo: 155m.
- Tipo de conductor: Al.
- Tipo de estructuras: hormigón armado, pretensado.
- Tipo de fundación: Romboidal; H°S°.

1.2.- Características técnicas del conductor:

IRAM 2187	Norma
Aleación aluminio/Acero	Material
$s_n := 70$	Sección nominal (mm ²)
$s_c := 68.97$	Sección real (mm ²)
$d_c := 0.0108$	Diámetro exterior (m)
$p_c := 0.1862$	Peso propio unitario (daN/m)
$E_c := 5700$	Módulo de elasticidad (daN/mm ²)
$\alpha_c := 23 \cdot 10^{-6}$	Coefficiente de dilatación (1/°C)
$T_r := 1925.7$	Carga de rotura (daN)

2.- CALCULO MECANICO DEL CONDUCTOR

2.1.- Estados carga: Zona "C" (Buenos Aires, Entre Ríos, sur y centro de Santa Fe):

	Temperaturas (°C)	Vientos (m/s)
Estado I (máxima temperatura)		
Estado II (mínima temperatura)	$t := \begin{bmatrix} 45 \\ -10 \\ 15 \\ -5 \\ 16 \end{bmatrix}$	$v := \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 35 \\ 14 \\ 0 \end{bmatrix}$
Estado III (máximo viento)		
Estado IV (viento moderado)		
Estado V (temperatura media anual)		

2.2.- Tensiones máximas admisibles:

$$\sigma_c := \begin{bmatrix} 0.7 \cdot \frac{T_r}{s_c} \\ 0.7 \cdot \frac{T_r}{s_c} \\ 0.7 \cdot \frac{T_r}{s_c} \\ 0.7 \cdot \frac{T_r}{s_c} \\ 0.2 \cdot \frac{T_r}{s_c} \end{bmatrix} \quad \sigma_c = \begin{bmatrix} 19.545 \\ 19.545 \\ 19.545 \\ 19.545 \\ 5.584 \end{bmatrix} \quad \text{Tensiones admisibles (daN/mm}^2\text{)}$$

2.2.- Vanos de cálculo:

$$a := 155$$

2.3.- Cargas específicas:

- **Acción del peso propio del conductor:**

$$g_c := \frac{p_c}{s_c} \quad \text{Carga específica debido al peso propio (daN/mm}^2\text{)}$$

$$g_c = 0.003$$

- **Acción del viento sobre el conductor:**

Previamente se definirán las variables involucradas en la expresión de cálculo.

C (campo abierto, granjas o sembrados)

Categoría de exposición

$$Q := 0.0613$$

Factor que depende de la densidad del aire (kg/m³)

$$Z_g := 274$$

Factor función de la categoría de exposición

$$\alpha := 7.5$$

Factor función de la categoría de exposición

$$L_s := 67$$

Factor función de la categoría de exposición

$$k := 0.005$$

Factor función de la categoría de exposición

$$C_F := 1$$

Coefficiente de presión dinámica o de forma

$$Z := 13$$

Altura efectiva del conductor (aproximada)

$$Z_p := 1.61 \cdot \left(\frac{Z}{Z_g} \right)^{\frac{1}{\alpha}}$$

Factor del terreno función de la categoría de exposición y la altura

$$Z_p := 1.03$$

Generación, Transmisión y Distribución.

$$E := 4.9 \cdot \sqrt{k} \cdot \left(\frac{10}{Z}\right)^{\frac{1}{\alpha}}$$

Factor para hallar el factor de ráfaga G_w

$$E = 0.335$$

$$B_w := \frac{1}{1 + 0.8 \cdot \frac{a}{L_s}}$$

Factor para hallar el factor de ráfaga G_w

$$B_w = 0.351$$

$$G_w := 1 + 2.7 \cdot E \cdot \sqrt{B_w}$$

Factor de ráfaga

$$G_w := 1$$

$$F_c := 1$$

Factor de carga (De tabla 10.2.b Reglamentación AEA)

$$A_c := a \cdot d_c = 1.674$$

Area proyectada donde actúa el viento sobre el conductor (m²)

$$\Psi := 0$$

Angulo del viento con el eje perpendicular de la línea

Luego, la fuerza ejercida por el viento sobre el conductor será:

$$Fvc_i := Q \cdot (Z_p \cdot v_i)^2 \cdot F_c \cdot G_w \cdot C_F \cdot A_c \cdot (\cos(\Psi))^2$$

$$Fvc_i = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 133.36 \\ 21.34 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Fuerza del viento sobre el conductor (daN)

$$gvc_i := \frac{Fvc_i}{a \cdot s_c}$$

$$gvc_i = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0.0125 \\ 0.002 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Cargas específicas debidas al viento (daN/m.mm²)

• Angulos de inclinación del conductor:

$$\theta_3 := \text{atan} \left(\frac{gvc_3}{g_c} \right) \cdot \left(\frac{180}{\pi} \right)$$

$$\theta_3 = 77.79$$

$$\theta_4 := \text{atan} \left(\frac{gvc_4}{g_c} \right) \cdot \left(\frac{180}{\pi} \right)$$

$$\theta_4 = 36.48$$

• Cargas específicas resultantes:

$$\begin{bmatrix} 0.003 \\ 0.003 \end{bmatrix}$$

Generación, Transmisión y Distribución.

$$Gc_i := \sqrt{g_c^2 + (gvc_i)^2}$$

$$Gc_i = \begin{bmatrix} 0.013 \\ 0.003 \\ 0.003 \end{bmatrix}$$

Cargas específicas resultantes
(daN/m.mm²)

2.4.- Determinación del Estado Básico mediante análisis de los vanos críticos:

$$acr23 := \sqrt{\left(\left(\frac{\sigma_{c_2} - \sigma_{c_3}}{E_c} \right) + a_c \cdot (t_2 - t_3) \right) \cdot \frac{24}{\frac{(Gc_2)^2}{(\sigma_{c_2})^2} - \frac{(Gc_3)^2}{(\sigma_{c_3})^2}}} = 184.048$$

Estado 2

$$acr24 := \sqrt{\left(\left(\frac{\sigma_{c_2} - \sigma_{c_4}}{E_c} \right) + a_c \cdot (t_2 - t_4) \right) \cdot \frac{24}{\frac{(Gc_2)^2}{(\sigma_{c_2})^2} - \frac{(Gc_4)^2}{(\sigma_{c_4})^2}}} = 514.43$$

Estado 2

$$acr25 := \sqrt{\left(\left(\frac{\sigma_{c_2} - \sigma_{c_5}}{E_c} \right) + a_c \cdot (t_2 - t_5) \right) \cdot \frac{24}{\frac{(Gc_2)^2}{(\sigma_{c_2})^2} - \frac{(Gc_5)^2}{(\sigma_{c_5})^2}}} = 454.949i$$

Estado 5

$$acr34 := \sqrt{\left(\left(\frac{\sigma_{c_3} - \sigma_{c_4}}{E_c} \right) + a_c \cdot (t_3 - t_4) \right) \cdot \frac{24}{\frac{(Gc_3)^2}{(\sigma_{c_3})^2} - \frac{(Gc_4)^2}{(\sigma_{c_4})^2}}} = 166.766$$

Estado 4

$$acr35 := \sqrt{\left(\left(\frac{\sigma_{c_3} - \sigma_{c_5}}{E_c} \right) + a_c \cdot (t_3 - t_5) \right) \cdot \frac{24}{\frac{(Gc_3)^2}{(\sigma_{c_3})^2} - \frac{(Gc_5)^2}{(\sigma_{c_5})^2}}} = 549.643$$

Estado 5

$$acr45 := \sqrt{\left(\left(\frac{\sigma_{c_4} - \sigma_{c_5}}{E_c} \right) + a_c \cdot (t_4 - t_5) \right) \cdot \frac{24}{\frac{(Gc_4)^2}{(\sigma_{c_4})^2} - \frac{(Gc_5)^2}{(\sigma_{c_5})^2}}} = 480.69i$$

Estado 5

Generación, Transmisión y Distribución.

Comparación g/σ :

$$\frac{Gc_2}{\sigma_{c_2}} = 1.381 \cdot 10^{-4}$$

$$\frac{Gc_3}{\sigma_{c_3}} = 6.531 \cdot 10^{-4}$$

$$\frac{Gc_4}{\sigma_{c_4}} = 1.718 \cdot 10^{-4}$$

$$\frac{Gc_5}{\sigma_{c_5}} = 4.835 \cdot 10^{-4}$$

Al comparar relaciones de g/σ se determina en cada comparación cual es el estado a considerar, analizando los resultados de todas las comparaciones, se ve que el **estado 5 es el mas preponderante y se lo define como estado basico.**

2.5.- Estado básico: $e_b := 5$

$$\sigma_{c_5} = 5.584$$

$$t_5 = 16$$

$$Gc_5 = 0.003$$

2.6.- Verificación de las tensiones en los restantes estados:

Ecuación de Estado:

$$\sigma c^3 + A \cdot \sigma c^2 - B = 0$$

Sus coeficientes son:

$$A_i := \frac{E_c}{24} \cdot \frac{a^2 \cdot (Gc_5)^2}{(\sigma_{c_5})^2} + E_c \cdot a_c \cdot (t_i - t_5) - \sigma_{c_5}$$

$$B_i := \frac{E_c}{24} \cdot a^2 \cdot (Gc_i)^2$$

Dado que se trata de una ecuación cúbica, la misma posee tres raíces de las cuales solo tiene sentido la raíz Real.

Por esta razón hemos hallado, en forma simbólica, únicamente la solución Real que tiene la siguiente forma:

$$X_i := 108 \cdot B_i - 8 \cdot (A_i)^3 + 12 \cdot \left((81) \cdot (B_i)^2 - 12 \cdot B_i \cdot (A_i)^3 \right)^{\frac{1}{2}}$$

Paso intermedio

Solución Real de la Ecuación de Estado:

$$\sigma c_i := \frac{1}{6} \cdot (X_i)^{\frac{1}{3}} + \frac{2}{3} \cdot \frac{(A_i)^2}{(X_i)^{\frac{1}{3}}} - \frac{1}{3} \cdot A_i$$

$$\sigma c_i = \begin{bmatrix} 3.62 \\ 8.27 \\ 11.46 \\ \dots \end{bmatrix}$$

(daN/mm²)

Comparándolas con las Tensiones máx. admisibles:

$$\sigma_c = \begin{bmatrix} 19.545 \\ 19.545 \\ 19.545 \\ \dots \end{bmatrix}$$

Generación, Transmisión y Distribución.

$$\begin{bmatrix} 8.01 \\ 5.58 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 19.545 \\ 5.584 \end{bmatrix}$$

Verifica

2.7.- Tiros:

$$T_{c_i} := \sigma_{c_i} \cdot s_c \quad T_{c_i} = \begin{bmatrix} 249.73 \\ 570.21 \\ 790.38 \\ 552.23 \\ 385.14 \end{bmatrix} \quad (\text{daN})$$

2.8.- Flechas:

$$f_{c_i} := \frac{a^2 \cdot Gc_i}{8 \cdot \sigma_{c_i}} \quad f_{c_i} = \begin{bmatrix} 2.24 \\ 0.98 \\ 3.34 \\ 1.26 \\ 1.45 \end{bmatrix} \quad (\text{m})$$

• Flechas verticales (Estado 3 y 4):

$$f_{cv_3} := f_{c_3} \cdot \cos\left(\theta_3 \cdot \frac{\pi}{180}\right) \quad f_{cv_3} = 0.71 \quad (\text{m})$$

$$f_{cv_4} := f_{c_4} \cdot \cos\left(\theta_4 \cdot \frac{\pi}{180}\right) \quad f_{cv_4} = 1.01 \quad (\text{m})$$

3.- RESUMEN DE TENSIONES, FLECHAS Y TIROS

Estado	Tensiones [daN/mm ²]	Flechas [m]	Inclinación [°]	Flecha vertical [m]	Tiros [daN]
1	$\sigma_{c_1} = 3.621$	$f_{c_1} = 2.24$	$\theta_1 := 0$	$f_{cv_1} := f_{c_1}$	$T_{c_1} = 249.73$
2	$\sigma_{c_2} = 8.268$	$f_{c_2} = 0.98$	$\theta_2 := 0$	$f_{cv_2} := f_{c_2}$	$T_{c_2} = 570.21$
3	$\sigma_{c_3} = 11.46$	$f_{c_3} = 3.34$	$\theta_3 = 77.79$	$f_{cv_3} = 0.71$	$T_{c_3} = 790.38$
4	$\sigma_{c_4} = 8.007$	$f_{c_4} = 1.26$	$\theta_4 = 36.48$	$f_{cv_4} = 1.01$	$T_{c_4} = 552.23$
5	$\sigma_{c_5} = 5.584$	$f_{c_5} = 1.45$	$\theta_5 := 0$	$f_{cv_5} := f_{c_5}$	$T_{c_5} = 385.14$

Generación, Transmisión y Distribución.

4.- RESUMEN DE LA ACCION DEL CONDUCTOR EN EL VANO CONSIDERADO

- Peso cable sostén:	$P_c := p_c \cdot a$	=>	$P_c = 28.861$	kg
- Carga viento máximo:	$Fvc_3 := gvc_3 \cdot a$	=>	$Fvc_3 = 1.934$	kg
- Tiro máximo:	$T''_m := \mathbf{if}(T_{c_2} < T_{c_3}, T_{c_3}, T_{c_2})$	=>	$T''_m = 790.38$	kg
	$T_m := \mathbf{if}(T''_m < T_{c_4}, T_{c_4}, T''_m)$		$T_m = 790.38$	kg
- Flecha máxima vertical:	$f_{mv} := f_{c_1}$	=>	$f_{mv} = 2.24$	m
- Flecha máxima horizontal:	$f_{mh} := f_{cv_4}$	=>	$f_{mh} = 1.01$	m

5.- TABLA DE TENDIDO

Nota: Se considera que el tendido y posterior tensado definitivo de la línea se realiza sin viento, con lo cual el estado de carga inicial y final es el mismo, y corresponde al peso propio del conductor. La temperatura inicial o de comparación corresponde a la del estado básico. La tensión inicial es la tensión máxima admisible del estado básico. Las temperaturas finales corresponden a las posibles temperaturas que pudieran presentarse en el momento de tendido. Las longitudes de vano son las apropiadas para el tendido.

5.1.- Carga específica de cálculo:

$g_c = 0.003$ (daN/m) Acción peso propio

5.2.- Temperaturas: $i := 1 \dots 24$

$t_{f_i} := (i \cdot 2 - 2)$ Rango de temperaturas probables durante el tendido

5.3.- Ecuación de Estado:

$$\sigma c^3 + A \cdot \sigma c^2 - B = 0$$

Sus coeficientes son:

$$A_i := \frac{E_c}{24} \cdot \frac{a^2 \cdot g_c^2}{(\sigma_{c_5})^2} + E_c \cdot \alpha_c \cdot (t_{f_i} - t_5) - \sigma_{c_5} \qquad B_i := \frac{E_c}{24} \cdot a^2 \cdot g_c^2$$

Dado que se trata de una ecuación cúbica, la misma posee tres raíces de las cuales solo tiene sentido la raíz Real.

Por esta razón hemos hallado, en forma simbólica, únicamente la solución Real que tiene la siguiente forma:

$$X_i := 108 \cdot B_i - 8 \cdot (A_i)^3 + 12 \cdot \left((81) \cdot (B_i)^2 - 12 \cdot B_i \cdot (A_i)^3 \right)^{\frac{1}{2}} \qquad \text{Paso intermedio}$$

Solución Real de la Ecuación de Estado:

$$\sigma c_i := \frac{1}{6} \cdot (X_i)^{\frac{1}{3}} + \frac{2}{3} \cdot \frac{(A_i)^2}{(X_i)^{\frac{1}{3}}} - \frac{1}{3} \cdot A_i$$

5.4.- Tiros:

$$T_{c_i} := \sigma c_i \cdot s_c$$

5.5.- Flechas:

$$F_{c_i} := \frac{a^2 \cdot g_c}{8 \cdot \sigma c_i}$$

5.6.- Tiempo: correspondiente para 10 oscilaciones del conductor tensado

$$Tiempo_i := \sqrt{\frac{F_{c_i}}{0.3064}} \cdot 10 \quad \text{Fórmula empírica}$$

Tabla de tendido: cable 70mm² Al, vano: 155 m, 10 oscilaciones

Temperatura °C	Tiro daN	Tensión daN/mm ²	Flecha m	Tiempo de oscilación s
0	493.79	7.16	1.13	19.22
2	479.17	6.95	1.17	19.52
4	464.81	6.74	1.2	19.81
6	450.74	6.54	1.24	20.12
8	436.95	6.34	1.28	20.44
10	423.49	6.14	1.32	20.76
12	410.35	5.95	1.36	21.09
14	397.56	5.76	1.41	21.43
16	385.14	5.58	1.45	21.77
18	373.09	5.41	1.5	22.12
20	361.43	5.24	1.55	22.47
22	350.17	5.08	1.6	22.83
24	339.32	4.92	1.65	23.19
26	328.88	4.77	1.7	23.56
28	318.86	4.62	1.75	23.92
30	309.24	4.48	1.81	24.29
32	300.04	4.35	1.86	24.66
34	291.25	4.22	1.92	25.03
36	282.85	4.1	1.98	25.4
38	274.85	3.99	2.03	25.77
40	267.22	3.87	2.09	26.13
42	259.96	3.77	2.15	26.5
44	253.05	3.67	2.21	26.86
46	246.48	3.57	2.27	27.21