



Anexo-12

Cálculo de Conductor



Tabla de Contenidos

1. Cálculo de Conductores	5
1.1. Listado de postes.....	7
1.2. Cálculo mecánico de conductores de 70 mm ²	8
1.2.1. Estados atmosféricos	8
1.2.2. Tensiones admisibles.....	10
1.2.3. Tensión admisible para los estados de máxima solicitación	11
1.2.4. Tensión admisible con relación a procesos de fatiga	11
1.2.5. Determinación de la fuerza del viento sobre conductores.....	13
1.3. Cargas específicas	16
1.3.1. Peso propio del conductor	16
1.3.2. Carga aerodinámica máxima	16
1.3.3. Carga aerodinámica media	17
1.4. Ecuación de cambio de estado	18
1.5. Vano crítico.....	18
1.6. Cálculo de vano crítico para exposición B	21
1.7. Cálculo de vano crítico para exposición C	22
1.8. Análisis de vanos críticos.....	23
1.8.1. Análisis de vanos críticos para exposición B	24
1.8.2. Análisis de vanos críticos para exposición C	26
1.9. Aplicación de la Ecuación del cambio de estado.....	28
1.9.1. Resolución de la ecuación de cambio de estado para exposición B	29
1.9.2. Resolución de la ecuación de cambio de estado para exposición C.....	32
1.10. Cálculo de la flecha para postes a igual nivel	35
1.10.1. Cálculo de flechas.....	36
1.11. Cálculo de tablas de tendido.....	38
1.12. Medición de la flecha por el método de la onda de retorno	40
1.13. Cálculo de la tabla de tendido	41
1.14. Tramos de estudio	43
1.15. Tablas de tendido para los tramos 1,2 y 3	44



Lista de Tablas

Tabla 1. Listado de postes y Tipo.....	7
Tabla 2. Características de conductores de fase	8
Tabla 3. Estados Atmosféricos	8
Tabla 4. Valores para diferentes estados Atmosféricos.....	9
Tabla 5. Carga específica para Estados Atmosféricos.....	16
Tabla 6. Condiciones para Estado Básico	24
Tabla 7. Tramo 1	37
Tabla 8. Tramo 2	38
Tabla 9. Tramos de Estudio.....	43
Tabla 10. Tabla de tendido, Vano 92,63m	44
Tabla 11. Tabla de tendido, Vano 100m	44
Tabla 12. Tabla de tendido, Vano 70m	45
Tabla 13. Tabla de tendido, Vano 80m	45
Tabla 14. Tabla de tendido, Vano 87m	46
Tabla 15. Tabla de tendido, Vano 60m	46
Tabla 16. Tabla de tendido, Vano 93,77m	47
Tabla 17. Tabla de tendido, Vano 100m	47
Tabla 18. Tabla de tendido, Vano 94m	48
Tabla 19. Tabla de tendido, Vano 80m	48
Tabla 20. Tabla de tendido, Vano 90m	49
Tabla 21. Tabla de tendido, Vano 41m	49
Tabla 22. Tabla de tendido, Vano 155m	50



Lista de Figuras

Ilustración 1. Catalogo conductor.....	6
Ilustración 2. Catalogo conductor.....	6
Ilustración 3. Mapa zonas climaticas República Argentina	9
Ilustración 4. Mapa de Isocletas de la República Argentina	10
Ilustración 5. Comparación de Estados climáticos	26
Ilustración 6. Comparación de Estados climáticos	28
Ilustración 7. Flecha con columnas a diferente nivel.....	37



1. Cálculo de Conductores

Se realizará un recambio de conductores aéreos de la línea de 33 kV existente por Av. Monseñor Rosch. Desde calle Mario R. Bordagaray, hasta la ruta nacional 015.

La línea existente posee conductores de 70mm² desde Bv. Ayui Hasta el autódromo, donde hay un transformador. Luego de esto sigue su recorrido con conductores de 50mm² hasta la ruta Nacional 015.

Se cambiarán los conductores del último tramo, por conductores de 70mm². Esto se hará para disminuir las pérdidas por transporte de energía en el tramo existente de la zona de incumbencia. Ya que en el punto de intersección con la ruta nacional 015, habrá 1 MW de generación solar inyectada a la red.

Se escogen conductores de Aluminio PRYSAL ALUMINIO de PRYSMIAN de 70mm²



Media Tensión

Distribución y Subtransmisión

Cuerda desnuda de Aleación de Aluminio



NORMAS DE REFERENCIA ▶

DESCRIPCIÓN ▶

CARACTERÍSTICAS ▶





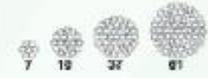
Norma de Cables rígidos Apto para intemperie

Líneas Aéreas de Energía

PRYSAL

IRAM 2212

CONDUCTOR
Metal: Alambres de aleación de aluminio (otros temple bajo pedido).
Forma: cuerdas redondas.
Formación: según IRAM 2212 (u otras bajo pedido)



7 19 37 61

Normativas
IRAM 2212 u otras bajo pedido.

Certificaciones
Todos los cables de Prysmian están elaborados con Sistema de Garan-

Características
Cuerda de aleación de aluminio para distribución de energía en líneas aéreas de media tensión.

Ilustración 1. Catalogo conductor

Características Técnicas

Cables según norma IRAM 2212

Sección nominal	Formación	Diámetro aproximado	Masa aprox.	Carga de rotura calculada	Resist. eléctrica máxima a 20°C y c. c. ohm/km	Resist. eléctrica máxima a 80°C y c. a. ohm/km	Intensidad de corriente admisible (1)
mm ²	Nº x mm	mm	kg/km	kg	ohm/km	ohm/km	A
16	7 x 1,70	5,1	43	452,6	2,09	2,54	100
25	7 x 2,15	6,5	70	723,9	1,31	1,59	125
35	7 x 2,52	7,6	95	994,5	0,952	1,16	160
50	7 x 3,02	9,1	135	1428	0,663	0,806	195
50	19 x 1,85	9,3	140	1455	0,654	0,795	195
70	19 x 2,15	10,8	190	1965	0,484	0,588	235
95	19 x 2,52	12,6	260	2699	0,352	0,428	300

Ilustración 2. Catalogo conductor



1.1. Listado de postes

Tabla de postes

Numero Poste	Tipo	Vano	Cota
1	Terminal	0	41
2	suspensión	100	39,9
3	suspensión	100	38,2
4	suspensión	100	35,9
5	suspensión	70	33,5
6	suspensión	80	34,11
7	suspensión	100	36,04
8	suspensión	87	39
9	suspensión	100	39,5
10	suspensión	100	39,8
11	suspensión	100	41
12	suspensión	60	41
13	Retención	80	39,8
14	suspensión	100	35,5
15	suspensión	100	31,7
16	suspensión	100	32,8
17	suspensión	100	36
18	suspensión	100	34,31
19	suspensión	94	32,5
20	suspensión	80	30,65
21	suspensión	90	29,1
22	suspensión	90	29
23	Retención	41	29,2
24	Terminal	155	31,5

Tabla 1. Listado de postes y Tipo

Para la verificación mecánica de los conductores se seguirá la reglamentación de líneas aéreas exteriores de media tensión y alta tensión AEA 95301.

El cálculo mecánico de conductores es el primer eslabón de la parte mecánica del diseño de las líneas. Para esto deben determinarse la sección de conductores, las condiciones atmosféricas, sus consecuentes sobrecargas y las tensiones admisibles del material para cada estado atmosférico. Esto implica la aplicación del criterio determinístico el que no responde a la concepción mas moderna del cálculo pero es el que hasta la actualidad se ha venido empleando en el cálculo mecánico.



1.2. Cálculo mecánico de conductores de 70 mm²

Características de conductores de fase

Marca	PRYSMIAN
Modelo	PRYSAL
Material	Aleación de aluminio
Sección nominal	70 mm ²
Formación	19 x 2,15 mm
Diámetro aproximado	10,8 mm
Masa aproximada	190 kg/km
Carga de rotura calculada	1965 kg
Resistencia eléctrica máxima a 20°C y c.c	0,484 ohm/km
Resistencia eléctrica máxima a 80°C y c.a	0,588 ohm/km
Intensidad de corriente admisible	235 A
Sección total	68,97 mm ²
Módulo de elasticidad	5700 daN/mm ²
Coefficiente de dilatación térmica	23 x 10 ⁻⁶ 1/°C
Norma	IRAM 2212

Tabla 2. Características de conductores de fase

1.2.1. Estados atmosféricos

Para el cálculo de la línea, es necesario conocer los estados de carga a que estarán sometidos los conductores, debidos a la presencia de viento (en las regiones que corresponda, también hielo), como así también las diversas temperaturas, que influirán sobre la tensión al producir contracción o dilatación en los cables. Para el cálculo de la tensión, se tienen en cuenta estados atmosféricos típicos desde el punto de vista de generar condiciones extremas o más representativas. En general, se especifican los siguientes estados:

ESTADO	CARACTERÍSTICA	COMENTARIO
I	Máxima temperatura	Flecha máxima en el cable (mínima tensión)
II	Mínima temperatura	Elevada tensión (contracción térmica)
III	Máximo viento	Elevada tensión (máxima carga específica)
IV	Viento moderado, hielo	Elevada tensión (combinación de temperatura relativamente baja, con sobrecarga por hielo y viento).
V	Temperatura media anual	Tensión moderada, pero comprometida por fenómeno de fatiga.

Tabla 3. Estados Atmosféricos

Este proyecto se realiza dentro de la zona C según el mapa de zonas climáticas de la República Argentina (Anexo B de la norma).

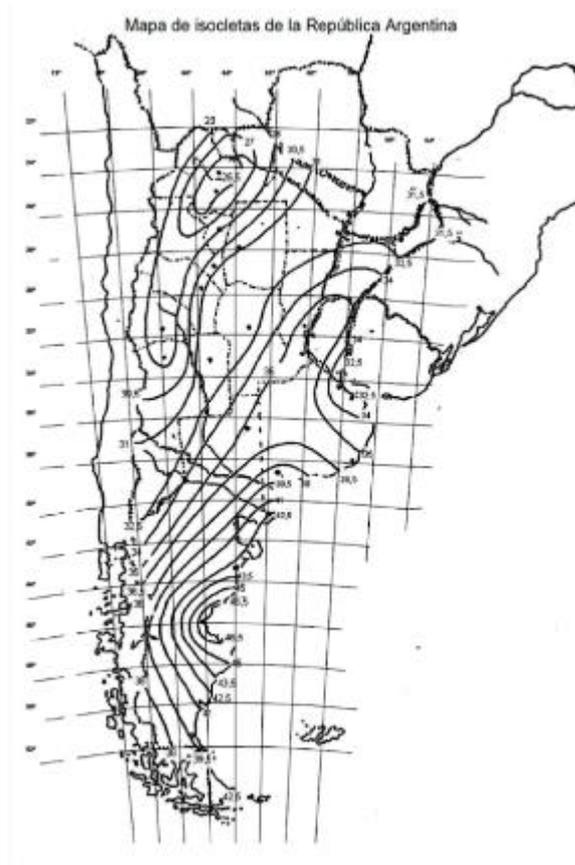


Ilustración 4. Mapa de Isoclietas de la República Argentina

Los cinco estados atmosféricos son representativos desde determinado punto de vista. El estado I, produce el máximo descenso del conductor en el centro del vano, por lo que es condicionante de la altura de las estructuras. En el estado II, III o IV se producirá la máxima tensión dependiendo del valor del vano. En el estado V la situación también puede ser crítica por tensiones de fatiga.

1.2.2. Tensiones admisibles

Deben establecerse distintas tensiones admisibles según los tipos de sollicitación, asociados a los respectivos estados atmosféricos. El Estado I, de máxima temperatura, no genera esfuerzos significativos en los conductores. No se especifica normalmente una tensión máxima para este estado, ya que siempre el conductor va a trabajar a menor tensión que en cualquier otro.



1.2.3. Tensión admisible para los estados de máxima solicitación

Para los estados que provocan máximo esfuerzo (II, III y IV), la norma establece (sección 6.5.3) el límite del 70 % de la tensión de rotura.

$$daN := 10 \cdot N$$

$$\sigma_{rot} := \frac{1965 \text{ kgf} \cdot 9.81 \frac{N}{\text{kgf}}}{68.97 \text{ mm}^2} = 27.949 \frac{daN}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{admII} := 0.7 \cdot \sigma_{rot} = 19.565 \frac{daN}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{admIII} := 0.7 \cdot \sigma_{rot} = 19.565 \frac{daN}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{admIV} := 0.7 \cdot \sigma_{rot} = 19.565 \frac{daN}{\text{mm}^2}$$

1.2.4. Tensión admisible con relación a procesos de fatiga

Se producen solicitaciones alternativas de flexión, en las proximidades de los puntos de suspensión del conductor, producto de la vibración originada por vientos suaves y persistentes. Estos esfuerzos son repetitivos y originan fenómenos de fatiga; por lo tanto la tensión de trabajo en estas circunstancias debe ser reducida. Se establece por esta causa un valor límite de tensión (tensión media anual) para el estado atmosférico de temperatura media anual.

Muchos estudios se han realizado con el objeto de conocer mejor el comportamiento de los conductores en los distintos estados característicos.

Consecuencia de ello se han seleccionado tensiones admisibles relativamente elevadas para los estados que representan condiciones extremas entendiéndose que en pocas ocasiones durante la vida útil de la línea los conductores se verán sometidos a tales tensiones.



Simultáneamente se seleccionan reducidos valores para la tensión media anual, ya que el conductor se ve sometido una buena parte de su vida útil a tensiones de ese orden, en condiciones propicias (vientos suaves) para entrar en vibración. Esta vibración se produce cuando en las proximidades de las frecuencias naturales de oscilación se verifica la perturbación aerodinámica.

Como la excitación aerodinámica requiere un flujo laminar, la velocidad del viento debe ser inferior a un valor aproximado de los 30 km/h.

Se ha determinado que son menos propicios a entrar en vibración los conductores que disipan internamente la energía de la vibración y la amortiguan, es decir que tienen un mayor coeficiente de fricción. En ese sentido, es mejor el conductor de aluminio que sus aleaciones, y que el conductor de aluminio - acero.

Se ha determinado que la vibración en la línea es muy dependiente del medio en que está tendida. Una línea instalada en un terreno llano, sin obstáculos, al estar sometida a vientos más constantes y sin torbellinos, está más expuesta a sufrir los fenómenos de vibración y la consecuente fatiga.

Las medidas mas eficaces para evitar la producción de vibraciones son: limitar la tensión mecánica, reducir el vano y utilizar dispositivos antivibratorios. En nuestro caso utilizaremos los dos primeros.

La norma indica para el estado V un valor de tensión mecánica máxima del 25 % de la rotura del conductor. No existe un valor universalmente adoptado para la tensión admisible. Se toma en diversos países entre 15 % a 20 % de la tensión de rotura y aún valores mayores.

$$\sigma_{admV} := 0.2 \cdot \sigma_{rot} = 5.59 \frac{daN}{mm^2}$$

Para conductores de fase de 70 mm², Martínez Fayó ("Diseño de líneas aéreas") recomienda un vano promedio de 110 m y un vano máximo de 120 m.



1.2.5. Determinación de la fuerza del viento sobre conductors

1.2.5.1. Velocidad de viento de cálculo

La reglamentación de la AEA establece utilizar el viento indicado en el mapa de isocletas de la República Argentina (Anexo C). Este mapa indica la velocidad de referencia, en m/s, correspondiente al promedio de velocidades máximas con un período de retorno de 50 años, sobre intervalos de 10 minutos en exposición abierta y altura de 10 m.

$$V = 35 \frac{m}{s}$$

1.2.5.2. Factor de carga

Se modificará la velocidad del viento definida en el mapa de isocletas, multiplicandola por el factor de carga de la tabla 10.2-b teniendo en cuenta un período de retorno de 50 años.

$$F_c = 1$$

1.2.5.3. Densidad del aire

El factor de densidad del aire Q convierte la energia cinética del aire en presión.

$$Q = 0.0613$$

1.2.5.4. Factor del terreno

El factor del terreno modifica la velocidad del viento máximo teniendo en cuenta los efectos de la exposición al perfil del terreno y la altura de los objetos sobre el mismo según tres categorías de exposición:



Exposición B: zonas onduladas o forestadas con numerosas obstrucciones de espacios cerrados con altura de las casas domésticas de promedio no superior a 10 m (zonas industriales o suburbios de grandes ciudades).

Exposición C: zonas llanas, poco onduladas con obstrucciones dispersas como cercas, arboles o construcciones muy aisladas (campo abierto, granjas o sembrados) .

Exposición D: Llanuras planas con poca o ninguna obstrucción (fajas costeras, llanuras sin árboles, mesetas desérticas o pantanos).

Este proyecto abarca zonas de exposición B y C. De tabla 10.2-f de la norma se obtienen los factores:

$Z_{pB} := 0.79$ para exposicion B y altura de la línea de 15 m

$Z_{pC} := 1.03$ para exposicion C y altura de la línea de 10 m

1.2.5.5. Factor de ráfaga

El factor de ráfaga se aplica a líneas aéreas de clase "C", "D" y "E". En las de clase "B" se aplica solo en los casos de vanos de longitud similar a los típicos de las de clase "C" o mayores, o cuando por servicios se las considere como de transmisión o subtransmisión.

$$G_W := 1$$

1.2.5.6. Viento medio

De no contar con datos directos para la determinación de los vientos medios se tomará el 40 % de la velocidad del viento determinada con el mapa de isocletas.

$$V_m := 0.4 \cdot V = 14 \frac{m}{s}$$



1.2.5.7. Coeficiente de forma

$$C_F := 1 \quad (\text{Vale 1 para todos los diámetros})$$

1.2.5.8. Ángulo del viento con el eje perpendicular de la línea

$$\psi := 0^\circ$$

1.2.5.9. Área proyectada

Es el área longitudinal del conductor donde incide el viento perpendicularmente.

Esta área es igual al producto del diámetro del conductor por la longitud del vano.

$$a := 100 \text{ m} \quad \text{vano típico de este Proyecto}$$

$$d_c := 10.8 \text{ mm} \quad \text{diámetro del conducto}$$

$$A := a \cdot d_c = 1.08 \text{ m}^2$$

1.2.5.10. Fuerza del viento sobre conductores

Para un vano típico de 100 m se tiene:

$$F_{cB} := \left(Q \cdot 10 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \cdot (Z_{pB} \cdot V)^2 \cdot F_c \cdot G_W \cdot C_F \cdot A \cdot \cos(\psi)^2 = 50.614 \text{ daN} \quad \text{Exposición B}$$

$$F_{cC} := \left(Q \cdot 10 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \cdot (Z_{pC} \cdot V)^2 \cdot F_c \cdot G_W \cdot C_F \cdot A \cdot \cos(\psi)^2 = 86.039 \text{ daN} \quad \text{Exposición C}$$



1.3. Cargas específicas

El peso propio y las sobrecargas constituyen las componentes de las cargas específicas que se emplean en el cálculo del conductor. Para los distintos estados atmosféricos, definiremos las cargas específicas según la siguiente tabla:

Estado	Característica	Carga específica
I	Máxima temperatura	$g_I = g$
II	Mínima temperatura	$g_{II} = g$
III	Máximo viento	$g_{III} = \sqrt{g^2 + g_v^2}$
IV	Viento moderado, hielo	$g_{IV} = \sqrt{(g + g_h)^2 + g_v'^2}$
V	Temperatura media anual	$g_V = g$

Tabla 5. Carga específica para Estados Atmosféricos

Donde:

g = peso propio del conducto

g_h = peso del hielo

g_v = carga aerodinámica

g_v' = carga aerodinámica con manguito de hielo

1.3.1. Peso propio del conductor

$\gamma := 190 \frac{kg}{km}$ masa por unidad de longitud del conductor

$S_c := 68.97 \text{ mm}^2$ sección real del conductor

$$g := \frac{\gamma}{S_c} \cdot 9.81 \frac{m}{s^2} = 0.003 \frac{daN}{m \cdot mm^2}$$

1.3.2. Carga aerodinámica máxima

$$g_{vB} := \frac{F_{cB}}{a \cdot S_c} = 0.007 \frac{daN}{m \cdot mm^2} \text{ exposición B}$$



$$g_{vC} := \frac{F_{cC}}{a \cdot S_c} = 0.012 \frac{daN}{m \cdot mm^2} \quad \text{exposición C}$$

1.3.3. Carga aerodinámica media

La misma se calcula con la fuerza del viento sobre el conductor dado por el viento medio, el cual es igual al 40% del viento máximo.

$$F_{cB} := \left(Q \cdot 10 \frac{kg}{m^3} \right) \cdot (Z_{pB} \cdot V_m)^2 \cdot F_c \cdot G_W \cdot C_F \cdot A \cdot \cos(\psi)^2 = 8.098 \text{ daN}$$

$$F_{cC} := \left(Q \cdot 10 \frac{kg}{m^3} \right) \cdot (Z_{pC} \cdot V_m)^2 \cdot F_c \cdot G_W \cdot C_F \cdot A \cdot \cos(\psi)^2 = 13.766 \text{ daN}$$

$$g_{vB'} := \frac{F_{cB}}{a \cdot S_c} = 0.0012 \frac{daN}{m \cdot mm^2} \quad \text{exposición B}$$

$$g_{vC'} := \frac{F_{cC}}{a \cdot S_c} = 0.002 \frac{daN}{m \cdot mm^2} \quad \text{exposición C}$$

Carga específica para Estado I

$$g_I := g$$

Carga específica para Estado II

$$g_{II} := g$$

Carga específica para Estado III

$$g_{III B} := \sqrt{g^2 + g_{vB}^2}$$

$$g_{III C} := \sqrt{g^2 + g_{vC}^2}$$

Carga específica para Estado IV

$$g_{IV B} := \sqrt{g^2 + g_{vB'}^2}$$

$$g_{IV C} := \sqrt{g^2 + g_{vC'}^2}$$

Carga específica para Estado V



$$g_v := g$$

1.4. Ecuación de cambio de estado

Interesa determinar una expresión que permita hallar la tensión de un estado partiendo de la tensión a que está sometido el conductor en otro estado y las condiciones de carga y temperatura de ambos estados. La llamada ecuación de cambio de estado es la que vincula los parámetros y variables mencionados.

Las expresiones de la longitud del conductor en un vano “a” para dos estados genéricos 1 y 2 son:

$$L_1 := a \cdot \left(1 + \left(\frac{g_1}{\sigma_1} \right)^2 \cdot \left(\frac{a^2}{24} \right) \right) \quad L_2 := a \cdot \left(1 + \left(\frac{g_2}{\sigma_2} \right)^2 \cdot \left(\frac{a^2}{24} \right) \right)$$

La diferencia de longitud del conductor en un vano, entre dos estados genéricos, puede deberse a la temperatura o sobrecarga externa (viento, hielo), es decir a una dilatación térmica y elástica, de modo que:

$$L_1 - L_2 = L \cdot \alpha \cdot (t_1 - t_2) + L \cdot \frac{(\sigma_1 - \sigma_2)}{E}$$

Tomando $L = a$ y reemplazando, se obtiene la ecuación de cambio de estado:

$$\sigma_1 - \left(\frac{g_1}{\sigma_1} \right)^2 \cdot \frac{a^2 \cdot E}{24} = \sigma_2 - \left(\frac{g_2}{\sigma_2} \right)^2 \cdot \frac{a^2 \cdot E}{24} + \alpha \cdot E \cdot (t_1 - t_2)$$

1.5. Vano crítico

Al realizarse el cálculo, habrá un estado atmosférico (temperaturas y cargas) que sea para el conductor el más desfavorable en el sentido de someterlo a la tensión más elevada. Tomando ese estado como punto de partida puede, mediante la ecuación de



estado, calcularse las tensiones en cualquier otro estado, con la seguridad de obtener menores valores al máximo establecido.

No puede afirmarse sin análisis previo, si es más desfavorable una hipótesis de carga de máximo viento o una de mínima temperatura sin sobrecarga aerodinámica.

El análisis que indica cuál es la condición más desfavorable se efectúa mediante la determinación del vano crítico. Si el vano es muy reducido, el conductor tomará su máxima tensión mecánica cuando la temperatura sea mínima, mientras que si el vano es elevado, la máxima tensión se tendrá cuando el viento sea máximo. Para vanos intermedios la situación no se ve a priori tan clara y podemos decir que habrá un vano determinado, ni muy elevado ni muy chico, en que tanto a la baja temperatura como bajo el viento elevado, en ambos casos el conductor alcanzará la correspondiente tensión máxima. Dicho vano es el vano crítico.

Si para el estado 1 la tensión máxima es σ_{1max} y lo es para el estado 2, σ_{2max} podemos averiguar en qué valor de vano se verifica que el conductor alcanza tales tensiones límites, cuando se ve sometido respectivamente a las condiciones de los estados 1 (t_1, g_1) y 2 (t_2, g_2). Reemplazando en la ecuación de cambio de estado por y por resolviendo respecto σ al 1 σ_{1max} σ_2 σ_{2max} vano, se obtiene el vano crítico:

$$a_{cr} = \sqrt{24 \cdot \frac{\sigma_{2max} - \sigma_{1max} + \alpha \cdot (t_1 - t_2)}{E \left[\left(\frac{g_2}{\sigma_{2max}} \right)^2 - \left(\frac{g_1}{\sigma_{1max}} \right)^2 \right]}}$$

Dadas las condiciones climáticas (cinco estados de carga) y utilizando la fórmula anterior, debemos encontrar los vanos críticos realizando de a dos estados, todas las combinaciones posibles entre los mismos. No se compara con el estado de máxima



temperatura, pues no puede ser un estado básico, ya que a la máxima temperatura tendremos la mínima tensión mecánica. Entonces, el estado I no puede ser básico.

Datos:

$$\sigma_{rot} = 27.949 \frac{daN}{mm^2} \quad \text{tensión de rotura del conductor}$$

$$\sigma_{admII} = 19.565 \frac{daN}{mm^2} \quad \text{tensión admisible para el estado II}$$

$$\sigma_{admIII} = 19.565 \frac{daN}{mm^2} \quad \text{tensión admisible para el estado III}$$

$$\sigma_{admIV} = 19.565 \frac{daN}{mm^2} \quad \text{tensión admisible para el estado IV}$$

$$\sigma_{admV} = 5.59 \frac{daN}{mm^2} \quad \text{tensión admisible para el estado V}$$

$$E := 5700 \cdot \frac{daN}{mm^2} \quad \text{módulo de elasticidad}$$

$$\alpha := \frac{23}{1000000} \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{coeficiente de dilatación térmica}$$

$$t_I := 45 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{temperatura estado I}$$

$$t_{II} := -10 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{temperatura estado II}$$

$$t_{III} := 15 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{temperatura estado III}$$

$$t_{IV} := -5 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{temperatura estado IV}$$

$$t_V := 16 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{temperatura estado V}$$



1.6. Cálculo de vano crítico para exposición B

Vano crítico II-III

$$a_{crII_III} := \sqrt{24 \cdot \frac{\frac{\sigma_{admIII} - \sigma_{admII}}{E} + \alpha \cdot (t_{III} - t_{II})}{\frac{g_{III}^2}{\sigma_{admIII}^2} - \frac{g_{II}^2}{\sigma_{admII}^2}}} = 313.138 \text{ m}$$

Vano crítico II-IV

$$a_{crII_IV} := \sqrt{24 \cdot \frac{\frac{\sigma_{admIV} - \sigma_{admII}}{E} + \alpha \cdot (t_{IV} - t_{II})}{\left(\frac{g_{IV}}{\sigma_{admIV}}\right)^2 - \left(\frac{g_{II}}{\sigma_{admII}}\right)^2}} = 875.246 \text{ m}$$

Vano crítico II-V

$$a_{crII_VB} := \sqrt{24 \cdot \frac{\frac{\sigma_{admV} - \sigma_{admII}}{E} + \alpha \cdot (t_V - t_{II})}{\left(\frac{g_V}{\sigma_{admV}}\right)^2 - \left(\frac{g_{II}}{\sigma_{admII}}\right)^2}} = 455.276 \text{ m}$$

Vano crítico III-IV

$$a_{crIII_IV} := \sqrt{24 \cdot \frac{\frac{\sigma_{admIV} - \sigma_{admIII}}{E} + \alpha \cdot (t_{IV} - t_{III})}{\left(\frac{g_{IV}}{\sigma_{admIV}}\right)^2 - \left(\frac{g_{III}}{\sigma_{admIII}}\right)^2}} = 283.734 \text{ m}$$

Vano crítico III-V

$$a_{crIII_VB} := \sqrt{24 \cdot \frac{\frac{\sigma_{admV} - \sigma_{admIII}}{E} + \alpha \cdot (t_V - t_{III})}{\left(\frac{g_V}{\sigma_{admV}}\right)^2 - \left(\frac{g_{III}}{\sigma_{admIII}}\right)^2}} = 887.786 \text{ m}$$



Vano crítico IV-V

$$a_{crIV_VB} := \sqrt{24 \cdot \frac{\frac{\sigma_{admV} - \sigma_{admIV}}{E} + \alpha \cdot (t_V - t_{IV})}{\left(\frac{g_V}{\sigma_{admV}}\right)^2 - \left(\frac{g_{IVB}}{\sigma_{admIV}}\right)^2}} = 473.167i \text{ m}$$

1.7. Cálculo de vano crítico para exposición C

Vano crítico II-III

$$a_{crII_IIC} := \sqrt{24 \cdot \frac{\frac{\sigma_{admIII} - \sigma_{admII}}{E} + \alpha \cdot (t_{III} - t_{II})}{\left(\frac{g_{IIC}}{\sigma_{admIII}}\right)^2 - \left(\frac{g_{II}}{\sigma_{admII}}\right)^2}} = 184.211 \text{ m}$$

Vano crítico II-IV

$$a_{crII_IVC} := \sqrt{24 \cdot \frac{\frac{\sigma_{admIV} - \sigma_{admII}}{E} + \alpha \cdot (t_{IV} - t_{II})}{\left(\frac{g_{IVC}}{\sigma_{admIV}}\right)^2 - \left(\frac{g_{II}}{\sigma_{admII}}\right)^2}} = 514.885 \text{ m}$$

Vano crítico II-V

$$a_{crII_VC} := \sqrt{24 \cdot \frac{\frac{\sigma_{admV} - \sigma_{admII}}{E} + \alpha \cdot (t_V - t_{II})}{\left(\frac{g_V}{\sigma_{admV}}\right)^2 - \left(\frac{g_{II}}{\sigma_{admII}}\right)^2}} = 455.276i \text{ m}$$

Vano crítico III-IV

$$a_{crIII_IVC} := \sqrt{24 \cdot \frac{\frac{\sigma_{admIV} - \sigma_{admIII}}{E} + \alpha \cdot (t_{IV} - t_{III})}{\left(\frac{g_{IVC}}{\sigma_{admIV}}\right)^2 - \left(\frac{g_{IIC}}{\sigma_{admIII}}\right)^2}} = 166.913 \text{ m}$$



Vano crítico III-V

$$a_{crIII_VC} = \sqrt{24 \cdot \frac{\frac{\sigma_{admV} - \sigma_{admIII} + \alpha \cdot (t_V - t_{III})}{E}}{\left(\frac{g_V}{\sigma_{admV}}\right)^2 - \left(\frac{g_{III}}{\sigma_{admIII}}\right)^2}} = 551.115 \text{ m}$$

Vano crítico IV-V

$$a_{crIV_VC} = \sqrt{24 \cdot \frac{\frac{\sigma_{admV} - \sigma_{admIV} + \alpha \cdot (t_V - t_{IV})}{E}}{\left(\frac{g_V}{\sigma_{admV}}\right)^2 - \left(\frac{g_{IV}}{\sigma_{admIV}}\right)^2}} = 480.987i \text{ m}$$

1.8. Análisis de vanos críticos

Entre las condiciones climáticas (estados de carga), existe un vano crítico que nos delimita el entorno de vanos en el que prevalece una de las condiciones climáticas que produce la condición más desfavorable en el conductor, es decir que provoca la máxima tensión mecánica; a esa condición climática la denominamos estado básico. Luego para vanos menores al vano crítico, una de las condiciones será el estado básico y para vanos mayores al crítico, la otra condición climática será el estado básico.

Las condiciones para un estado ser básico se resumen en la siguiente tabla dependiendo si el vano crítico resulta un valor real, imaginario o infinito.



Vano crítico	Vano considerado	Condición para ser estado básico
Número real	$a < a_{cr}$	El estado de menor $\frac{E}{\sigma}$
	$a > a_{cr}$	El estado de mayor $\frac{E}{\sigma}$
Número imaginario	Cualquier valor de vano	El estado de mayor $\frac{E}{\sigma}$
Infinito, condición: $\frac{g_1}{\sigma_1} = \frac{g_2}{\sigma_2}$	Cualquier valor de vano	El estado básico es el de menor temperatura si $\sigma_1 = \sigma_2$ y $g_1 = g_2$
		El estado básico es el 1 si $\alpha E (t_1 - t_2) + \sigma_1 - \sigma_2 < 0$
		El estado básico es el 2 si $\alpha E (t_1 - t_2) + \sigma_1 - \sigma_2 > 0$
		Ambos estados pueden ser tomados como básicos si $\alpha E (t_1 - t_2) + \sigma_1 - \sigma_2 = 0$

Tabla 6. Condiciones para Estado Básico

1.8.1. Análisis de vanos críticos para exposición B

Vano crítico II-III

$$a_{crII_IIB} = 313.138 \text{ m}$$

$$a = 100 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} &\text{if } \left(\frac{g_{IIB}}{\sigma_{admIII}} \right)^2 < \left(\frac{g_{II}}{\sigma_{admII}} \right)^2 &&= \text{"El estado básico es el II"} \\ &\quad \parallel && \\ &\quad \text{"El estado básico es el III"} && \\ &\text{else} && \\ &\quad \parallel && \\ &\quad \text{"El estado básico es el II"} && \end{aligned}$$

Vano crítico II-IV

$$a_{crII_IVB} = 875.246 \text{ m}$$

$$a = 100 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} &\text{if } \left(\frac{g_{IVB}}{\sigma_{admIV}} \right)^2 < \left(\frac{g_{II}}{\sigma_{admII}} \right)^2 &&= \text{"El estado básico es el II"} \\ &\quad \parallel && \\ &\quad \text{"El estado básico es el IV"} && \\ &\text{else} && \\ &\quad \parallel && \\ &\quad \text{"El estado básico es el II"} && \end{aligned}$$



Vano crítico II-V

$$a_{crII_VB} = 455.276i \text{ m}$$

$$a = 100 \text{ m}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{if } \left(\frac{g_V}{\sigma_{admV}} \right)^2 > \left(\frac{g_{II}}{\sigma_{admII}} \right)^2 \\ \quad \parallel \text{ "El estado básico es el V"} \\ \text{else} \\ \quad \parallel \text{ "El estado básico es el II"} \end{array} \right| = \text{"El estado básico es el V"}$$

Vano crítico III-IV

$$a_{crIII_IVB} = 283.734 \text{ m}$$

$$a = 100 \text{ m}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{if } \left(\frac{g_{IVB}}{\sigma_{admIV}} \right)^2 < \left(\frac{g_{III}}{\sigma_{admIII}} \right)^2 \\ \quad \parallel \text{ "El estado básico es el IV"} \\ \text{else} \\ \quad \parallel \text{ "El estado básico es el III"} \end{array} \right| = \text{"El estado básico es el IV"}$$

Vano crítico III-V

$$a_{crIII_VB} = 887.786i \text{ m}$$

$$a = 100 \text{ m}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{if } \left(\frac{g_V}{\sigma_{admV}} \right)^2 > \left(\frac{g_{III}}{\sigma_{admIII}} \right)^2 \\ \quad \parallel \text{ "El estado básico es el V"} \\ \text{else} \\ \quad \parallel \text{ "El estado básico es el III"} \end{array} \right| = \text{"El estado básico es el V"}$$

Vano crítico IV-V

$$a_{crIV_VB} = 473.167i \text{ m}$$

$$a = 100 \text{ m}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{if } \left(\frac{g_V}{\sigma_{admV}} \right)^2 > \left(\frac{g_{IVB}}{\sigma_{admIV}} \right)^2 \\ \quad \parallel \text{ "El estado básico es el V"} \\ \text{else} \\ \quad \parallel \text{ "El estado básico es el IV"} \end{array} \right| = \text{"El estado básico es el V"}$$

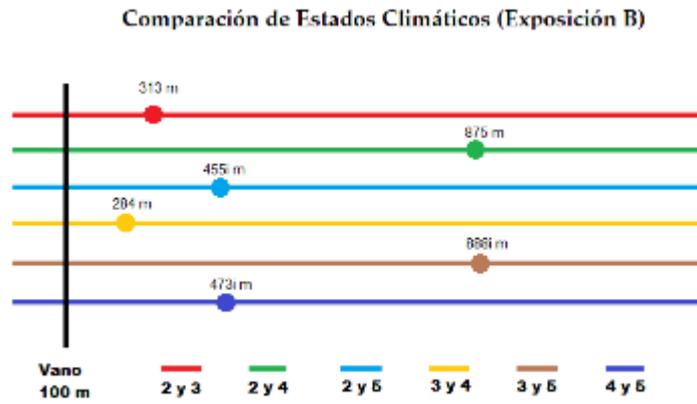


Ilustración 5. Comparación de Estados climáticos

Realizando todas las comparaciones posibles entre estados, resulta que para vanos menores a 110 m, el estado básico es el de temperatura media anual (estado V).

1.8.2. Análisis de vanos críticos para exposición C

Vano crítico II-III

$$a_{crII_III} = 184.211 \text{ m} \qquad a = 100 \text{ m}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{if } \left(\frac{g_{III}}{\sigma_{admIII}} \right)^2 < \left(\frac{g_{II}}{\sigma_{admII}} \right)^2 \\ \quad \parallel \text{ "El estado básico es el III"} \\ \text{else} \\ \quad \parallel \text{ "El estado básico es el II"} \end{array} \right\} = \text{"El estado básico es el II"}$$

Vano crítico II-IV

$$a_{crII_IV} = 514.885 \text{ m} \qquad a = 100 \text{ m}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{if } \left(\frac{g_{IV}}{\sigma_{admIV}} \right)^2 < \left(\frac{g_{II}}{\sigma_{admII}} \right)^2 \\ \quad \parallel \text{ "El estado básico es el IV"} \\ \text{else} \\ \quad \parallel \text{ "El estado básico es el II"} \end{array} \right\} = \text{"El estado básico es el II"}$$



Vano crítico II-V

$$a_{crII_VC} = 455.276i \text{ m}$$

$$a = 100 \text{ m}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{if } \left(\frac{g_V}{\sigma_{admV}} \right)^2 > \left(\frac{g_{II}}{\sigma_{admII}} \right)^2 \\ \quad \parallel \text{ "El estado básico es el V"} \\ \text{else} \\ \quad \parallel \text{ "El estado básico es el II"} \end{array} \right| = \text{"El estado básico es el V"}$$

Vano crítico III-IV

$$a_{crIII_IVC} = 166.913 \text{ m}$$

$$a = 100 \text{ m}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{if } \left(\frac{g_{IVC}}{\sigma_{admIV}} \right)^2 < \left(\frac{g_{III}}{\sigma_{admIII}} \right)^2 \\ \quad \parallel \text{ "El estado básico es el IV"} \\ \text{else} \\ \quad \parallel \text{ "El estado básico es el III"} \end{array} \right| = \text{"El estado básico es el IV"}$$

Vano crítico III-V

$$a_{crIII_VC} = 551.115 \text{ m}$$

$$a = 100 \text{ m}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{if } \left(\frac{g_V}{\sigma_{admV}} \right)^2 > \left(\frac{g_{III}}{\sigma_{admIII}} \right)^2 \\ \quad \parallel \text{ "El estado básico es el V"} \\ \text{else} \\ \quad \parallel \text{ "El estado básico es el III"} \end{array} \right| = \text{"El estado básico es el III"}$$

Vano crítico IV-V

$$a_{crIV_VC} = 480.987i \text{ m}$$

$$a = 100 \text{ m}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{if } \left(\frac{g_V}{\sigma_{admV}} \right)^2 > \left(\frac{g_{IVC}}{\sigma_{admIV}} \right)^2 \\ \quad \parallel \text{ "El estado básico es el V"} \\ \text{else} \\ \quad \parallel \text{ "El estado básico es el IV"} \end{array} \right| = \text{"El estado básico es el V"}$$



Comparación de Estados Climáticos (exposición C)

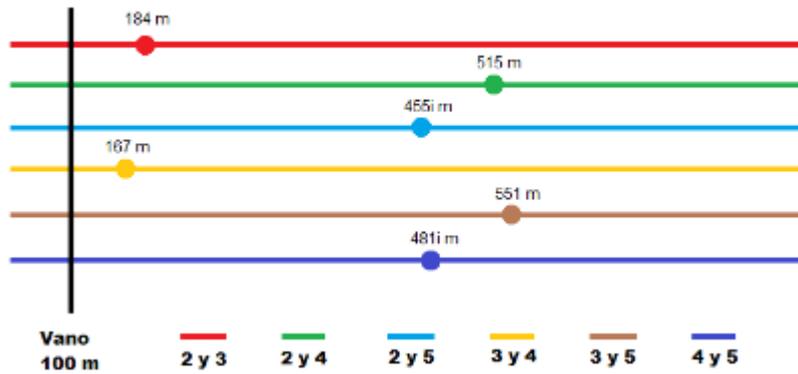


Ilustración 6. Comparación de Estados climáticos

Realizando todas las comparaciones posibles entre estados, resulta que para vanos menores a 110 m, el estado básico es el de temperatura media anual (estado V).

1.9. Aplicación de la Ecuación del cambio de estado

Si bien en el cálculo mecánico del conductor es importante conocer la tensión máxima a la cuál estará sometido, la cuál corresponderá a uno de los cinco estados mencionados, también nos interesa conocer las demás tensiones, ya que son de utilidad para determinar otros factores que intervienen en el dimensionamiento de la línea, además de la carga máxima del conductor.

Para determinar las tensiones en los estados restantes, luego de obtener el estado básico, se utiliza la denominada "ecuación de cambio de estado", la cuál vincula los parámetros de dos estados. Mediante la tensión del estado básico y la temperatura y cargas específicas de ambos estados se logra la tensión del estado incógnita.



Para el estado básico V se tiene:

$$\sigma_V := \sigma_{admV} \quad \sigma_{admV} = 5.59 \frac{daN}{mm^2}$$

La ecuación de cambio de estado, considerando el estado I como estado incógnita, es:

$$\sigma_I - \left(\frac{g_I}{\sigma_I} \right)^2 \cdot \frac{a^2 \cdot E}{24} = \sigma_V - \left(\frac{g_V}{\sigma_V} \right)^2 \cdot \frac{a^2 \cdot E}{24} + \alpha \cdot E \cdot (t_V - t_I)$$

Operando:

$$\sigma_I^3 - \sigma_I^2 \cdot \left(\sigma_V - \frac{a^2 \cdot E \cdot g_V^2}{24 \cdot \sigma_V^2} + \alpha \cdot E \cdot (t_V - t_I) \right) - \frac{a^2 \cdot E \cdot g_I^2}{24} = 0$$

$$\sigma_I^3 + A \cdot \sigma_I^2 + B = 0$$

1.9.1. Resolución de la ecuación de cambio de estado para exposición B

Estado I

$$A := - \left(\sigma_V - \frac{a^2 \cdot E \cdot g_V^2}{24 \cdot \sigma_V^2} + \alpha \cdot E \cdot (t_V - t_I) \right) \cdot \frac{1}{\frac{daN}{mm^2}} = -1.234$$

$$B := - \frac{a^2 \cdot E \cdot g_I^2}{24} \cdot \frac{1}{\left(\frac{daN}{mm^2} \right)^3} = -17.346$$

El vector de coeficientes del polinomio cúbico es:

$$v = \begin{bmatrix} B \\ 0 \\ A \\ 1 \end{bmatrix}$$



Las raíces del polinomio cúbico son las tensiones admisibles del estado I:

$$\text{polyroots}(v) = \begin{bmatrix} -0.919 + 2.191i \\ -0.919 - 2.191i \\ 3.072 \end{bmatrix}$$

$$\text{real} := \text{submatrix}(\text{polyroots}(v), 2, 2, 0, 0) = [3.072]$$

$$\sigma_I := \text{real}(0, 0) \cdot \frac{daN}{mm^2} = 3.072 \frac{daN}{mm^2}$$

Estado II

$$A := - \left(\sigma_V - \frac{a^2 \cdot E \cdot g_V^2}{24 \cdot \sigma_V^2} + \alpha \cdot E \cdot (t_V - t_{II}) \right) \cdot \frac{1}{\frac{daN}{mm^2}} = -8.442$$

$$B := - \frac{a^2 \cdot E \cdot g_{II}^2}{24} \cdot \frac{1}{\left(\frac{daN}{mm^2} \right)^3} = -17.346$$

El vector de coeficientes del polinomio cúbico es:

$$v = \begin{bmatrix} B \\ 0 \\ A \\ 1 \end{bmatrix}$$

Las raíces del polinomio cúbico son las tensiones admisibles del estado I:

$$\text{polyroots}(v) = \begin{bmatrix} -0.115 - 1.409i \\ -0.115 + 1.409i \\ 8.673 \end{bmatrix}$$

$$\text{real} := \text{submatrix}(\text{polyroots}(v), 2, 2, 0, 0) = [8.673]$$

$$\sigma_{II} := \text{real}(0, 0) \cdot \frac{daN}{mm^2} = 8.673 \frac{daN}{mm^2}$$



Estado III

$$A := -\left(\sigma_V - \frac{a^2 \cdot E \cdot g_V^2}{24 \cdot \sigma_V^2} + \alpha \cdot E \cdot (t_V - t_{III})\right) \cdot \frac{1}{\frac{daN}{mm^2}} = -5.166$$

$$B := -\frac{a^2 \cdot E \cdot g_{III}^2}{24} \cdot \frac{1}{\left(\frac{daN}{mm^2}\right)^3} = -145.252$$

El vector de coeficientes del polinomio cúbico es:

$$v = \begin{bmatrix} B \\ 0 \\ A \\ 1 \end{bmatrix}$$

Las raíces del polinomio cúbico son las tensiones admisibles del estado I:

$$\text{polyroots}(v) = \begin{bmatrix} -1.241 + 4.177i \\ -1.241 - 4.177i \\ 7.649 \end{bmatrix}$$

$$\text{real} := \text{submatrix}(\text{polyroots}(v), 2, 2, 0, 0) = [7.649]$$

$$\sigma_{III} := \text{real}(0, 0) \cdot \frac{daN}{mm^2} = 7.649 \frac{daN}{mm^2}$$

Estado IV

$$A := -\left(\sigma_V - \frac{a^2 \cdot E \cdot g_V^2}{24 \cdot \sigma_V^2} + \alpha \cdot E \cdot (t_V - t_{IV})\right) \cdot \frac{1}{\frac{daN}{mm^2}} = -7.787$$

$$B := -\frac{a^2 \cdot E \cdot g_{IV}^2}{24} \cdot \frac{1}{\left(\frac{daN}{mm^2}\right)^3} = -20.62$$



El vector de coeficientes del polinomio cúbico es:

$$v = \begin{bmatrix} B \\ 0 \\ A \\ 1 \end{bmatrix}$$

Las raíces del polinomio cúbico son las tensiones admisibles del estado I:

$$\text{polyroots}(v) = \begin{bmatrix} -0.157 + 1.588i \\ -0.157 - 1.588i \\ 8.101 \end{bmatrix}$$

$$\text{real} := \text{submatrix}(\text{polyroots}(v), 2, 2, 0, 0) = [8.101]$$

$$\sigma_{IVB} := \text{real}(0, 0) \cdot \frac{daN}{mm^2} = 8.101 \frac{daN}{mm^2}$$

1.9.2. Resolución de la ecuación de cambio de estado para exposición C

Estado I

$$A := - \left(\sigma_V - \frac{a^2 \cdot E \cdot g_V^2}{24 \cdot \sigma_V^2} + \alpha \cdot E \cdot (t_V - t_I) \right) \cdot \frac{1}{\frac{daN}{mm^2}} = -1.234$$

$$B := - \frac{a^2 \cdot E \cdot g_I^2}{24} \cdot \frac{1}{\left(\frac{daN}{mm^2} \right)^3} = -17.346$$

El vector de coeficientes del polinomio cúbico es:

$$v = \begin{bmatrix} B \\ 0 \\ A \\ 1 \end{bmatrix}$$



Las raíces del polinomio cúbico son las tensiones admisibles del estado I:

$$\text{polyroots}(v) = \begin{bmatrix} -0.919 + 2.191i \\ -0.919 - 2.191i \\ 3.072 \end{bmatrix}$$

$$\text{real} := \text{submatrix}(\text{polyroots}(v), 2, 2, 0, 0) = [3.072]$$

$$\sigma_I := \text{real}(0, 0) \cdot \frac{daN}{mm^2} = 3.072 \frac{daN}{mm^2}$$

Estado II

$$A := - \left(\sigma_V - \frac{a^2 \cdot E \cdot g_V^2}{24 \cdot \sigma_V^2} + \alpha \cdot E \cdot (t_V - t_{II}) \right) \cdot \frac{1}{\frac{daN}{mm^2}} = -8.442$$

$$B := - \frac{a^2 \cdot E \cdot g_{II}^2}{24} \cdot \frac{1}{\left(\frac{daN}{mm^2} \right)^3} = -17.346$$

El vector de coeficientes del polinomio cúbico es:

$$v := \begin{bmatrix} B \\ 0 \\ A \\ 1 \end{bmatrix}$$

Las raíces del polinomio cúbico son las tensiones admisibles del estado II:

$$\text{polyroots}(v) = \begin{bmatrix} -0.115 - 1.409i \\ -0.115 + 1.409i \\ 8.673 \end{bmatrix}$$

$$\text{real} := \text{submatrix}(\text{polyroots}(v), 2, 2, 0, 0) = [8.673]$$

$$\sigma_{II} := \text{real}(0, 0) \cdot \frac{daN}{mm^2} = 8.673 \frac{daN}{mm^2}$$



Estado III

$$A := -\left(\sigma_V - \frac{a^2 \cdot E \cdot g_V^2}{24 \cdot \sigma_V^2} + \alpha \cdot E \cdot (t_V - t_{III})\right) \cdot \frac{1}{\frac{daN}{mm^2}} = -5.166$$

$$B := -\frac{a^2 \cdot E \cdot g_{III}^2}{24} \cdot \frac{1}{\left(\frac{daN}{mm^2}\right)^3} = -386.946$$

El vector de coeficientes del polinomio cúbico es:

$$v = \begin{bmatrix} B \\ 0 \\ A \\ 1 \end{bmatrix}$$

Las raíces del polinomio cúbico son las tensiones admisibles del estado III:

$$\text{polyroots}(v) = \begin{bmatrix} -2.155 - 6.016i \\ -2.155 + 6.016i \\ 9.476 \end{bmatrix}$$

$$\text{real} := \text{submatrix}(\text{polyroots}(v), 2, 2, 0, 0) = [9.476]$$

$$\sigma_{III} := \text{real}(0, 0) \cdot \frac{daN}{mm^2} = 9.476 \frac{daN}{mm^2}$$

Estado IV

$$A := -\left(\sigma_V - \frac{a^2 \cdot E \cdot g_V^2}{24 \cdot \sigma_V^2} + \alpha \cdot E \cdot (t_V - t_{IV})\right) \cdot \frac{1}{\frac{daN}{mm^2}} = -7.787$$

$$B := -\frac{a^2 \cdot E \cdot g_{IV}^2}{24} \cdot \frac{1}{\left(\frac{daN}{mm^2}\right)^3} = -20.62$$



El vector de coeficientes del polinomio cúbico es:

$$v := \begin{bmatrix} B \\ 0 \\ A \\ 1 \end{bmatrix}$$

Las raíces del polinomio cúbico son las tensiones admisibles del estado I:

$$\text{polyroots}(v) = \begin{bmatrix} -0.157 + 1.588i \\ -0.157 - 1.588i \\ 8.101 \end{bmatrix}$$

$$\text{real} := \text{submatrix}(\text{polyroots}(v), 2, 2, 0, 0) = [8.101]$$

$$\sigma_{IVC} := \text{real}(0, 0) \cdot \frac{daN}{mm^2} = 8.101 \frac{daN}{mm^2}$$

1.10. Cálculo de la flecha para postes a igual nivel

Para el cálculo de la flecha debe considerarse la tensión del estado I que es el de máxima temperatura. La tensión es la correspondiente al centro σ del 0 vano. Hacia los puntos de suspensión, la tensión se va incrementando, llegando a un máximo en dichos puntos pero, difiere muy poco de la del centro del vano.

Entonces:

$$\sigma_0 := \sigma_I = 3.072 \frac{daN}{mm^2}$$

Para un vano típico de 100 m la flecha resulta:

$$f := \frac{a^2 \cdot g}{8 \cdot \sigma_0} = 1.1 \text{ m}$$



1.10.1. Cálculo de flechas

En los apoyos a igual nivel el punto más bajo del conductor corresponde al centro del vano donde se halla la flecha máxima.

En apoyos a distinta altura la flecha máxima se calcula mediante la misma expresión, pero el punto más bajo ya no corresponde al de ésta y no se encuentra en el centro del vano. Para calcular las coordenadas de dicho punto utilizamos:

$$x_1 := \frac{a}{2} \cdot \left(1 - \frac{\Delta h}{4 \cdot f} \right) \quad f_1 := \frac{x_1^2 \cdot g_I}{2 \cdot \sigma_I}$$

Donde:

- x y f son las coordenadas horizontal y vertical del punto más bajo, f_1 respectivamente. Las coordenadas del punto más bajo se miden respecto al punto de sujeción correspondiente a la altura más baja.
- Δh es la diferencia de altura entre los puntos de sujeción del conductor.
- h es la altura libre.
- f es la flecha para el estado de máxima temperatura.
- g es la carga específica para el estado I. I
- σ es la tensión mecánica para el estado I. I
- a es el vano entre postes.

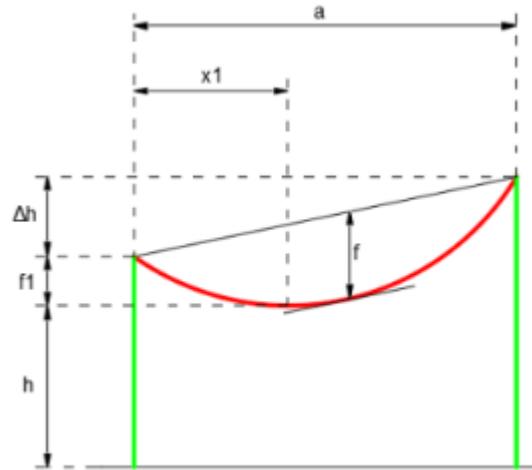


Ilustración 7. Flecha con columnas a diferente nivel

Salida 5

Tramo 1 (Por calle Monseñor Rösch desde “Javier Bordagaray” hasta “Aeropuerto”)

Vano N°	Piquete Inicial	Piquete Final	Longitud del Vano (m)	X ₁ (m)	f ₁ (m)
1	1	2	100	23,93	0,25
2	2	3	100	30,61	0,41
3	3	4	100	23,77	0,25
4	4	5	70	15,84	0,11
5	5	6	80	34,43	0,52
6	6	7	100	27,99	0,34
7	7	8	87	5,2	0,01
8	8	9	100	44,3	0,86
9	9	10	100	43,16	0,82
10	10	11	100	36,31	0,58
11	11	12	60	30	0,39
12	12	13	80	9,14	0,04

Tabla 7. Tramo 1



Tramo 2 (Por calle Monseñor Rösch desde “Aeropuerto” hasta “Rotonda 015”)

Vano N°	Piquete Inicial	Piquete Final	Longitud del Vano (m)	X ₁ (m)	f ₁ (m)
13	13	14	100	25,84	0,29
14	14	15	100	6,66	0,02
15	15	16	100	37,45	0,62
16	16	17	100	3,24	0
17	17	18	100	40,99	0,74
18	18	19	94	8,3	0,03
19	19	20	80	23,49	0,24
20	20	21	90	28,68	0,36
21	21	22	90	43,97	0,85
22	22	23	41	13,49	0,08

Tabla 8. Tramo 2

1.11. Cálculo de tablas de tendido

La tabla de tendido se realiza para cada tramo entre dos retenciones de una línea. El mismo está constituido por una serie de soportes de suspensión y limitado por dos soportes de retención.

Los aisladores no deben absorber las diferencias de tensiones debidas a las distintas longitudes de los vanos del tramo, o a las variaciones de las condiciones meteorológicas, por lo tanto, es necesario que la tensión de los cables sea la misma en todos los vanos del tramo.

La tensión variará si lo hace la temperatura, las condiciones atmosféricas y las sobrecargas pero en todo momento deberá tener un valor uniforme a lo largo del tramo de línea entre retenciones. Las variaciones de tensión al presentarse los efectos mencionados son, dentro de ciertos límites, las mismas que se producirían en un vano teórico o hipotético denominado vano regulación.

Para cada tramo entre dos retenciones de soportes dispuestos a igual nivel, la ecuación del vano de regulación es la siguiente:



$$a_r = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n a_i^2}{\sum_{i=1}^n a_i}}$$

donde n es el número de vanos.

El flechado de los conductores no se realiza en circunstancias de las condiciones climáticas más desfavorables, por lo tanto es necesario calcular el valor de la tensión para otras condiciones atmosféricas. La tarea de flechado se ejecuta cuando son despreciables los efectos del viento e inexistentes las cargas de manguito de hielo, es decir, cuando la carga específica solo depende del peso propio y por lo tanto se cuenta con una flecha vertical. Entonces, la tarea de flechado se lleva a cabo a partir de los resultados obtenidos de la denominada Tabla de tendido, que se obtiene por la aplicación de la Ecuación General de Cambio de Estado donde las variaciones son debidas exclusivamente a las temperaturas y que para los distintos grados de la misma fija los respectivos valores de tensión y flecha a que están sometidos los cables.

La tensión del conductor a la temperatura se obtiene a partir de la σ_x t_x Ecuación General de Cambio de Estado, a partir de un estado básico, el mismo no debe considerar el peso de manguito de hielo ni viento, por lo que es recomendable utilizar el estado I o V como básico a fin que tengan efecto solo los cambios de temperatura.

La flecha del conductor para el vano de regulación se obtiene mediante:

$$f_r = \frac{a_r^2 \cdot g}{8 \cdot \sigma_x}$$

Como la tensión en los distintos vanos del tramo debe ser la misma y además igual a la del vano de regulación, para cada grado de temperatura se debe cumplir la siguiente condición:



$$\sigma_x := \frac{a_r^2 \cdot g}{8 \cdot f_r} = \frac{a_1^2 \cdot g}{8 \cdot f_1} \dots \dots \frac{a_n^2 \cdot g}{8 \cdot f_n}$$

De modo que efectuando la tabla de tendido para el vano de regulación, pueden obtenerse los valores de la flecha, para cada grado de temperatura, en cada uno de los vanos del tramo por la ecuación:

$$f_i := f_r \cdot \left(\frac{a_i}{a_r} \right)^2$$

1.12. Medición de la flecha por el método de la onda de retorno

El método consiste en que un individuo golpee secamente el conductor con la mano o desde tierra con una soga, con el fin de producir un impulso mecánico que viajará en forma de onda y se reflejará en la estructura alejada un vano del individuo. Las sucesivas reflexiones continuarán hasta que la energía de la onda se disipe totalmente. En el momento de producirse el golpe se cuenta cero y en ese instante se acciona un cronómetro, se cuenta cada retorno hasta el décimo y en ese momento se lo detiene, por lo tanto se mide el tiempo empleado por la onda en recorrer diez veces ida y vuelta el vano seleccionado para efectuar la medición. La ejecución de esta tarea no debe efectuarse con viento, tampoco en vanos donde la línea pueda tocar objetos extraños (por ejemplo ramas).

La fórmula a emplear para determinar el tiempo (en segundos) de la décima onda de retorno, en función de la flecha (en metros) es la siguiente:

$$t = \sqrt{\frac{f}{0.003064}}$$



1.13. Cálculo de la tabla de tendido

A modo de ejemplo estudiamos el tramo 1 de Salida 5 entre los piquetes 15 y 24 con conductores de 70 mm² de sección.

Datos:

$$S_c := 68.97 \text{ mm}^2 \text{ sección real del conductor}$$

$$E := 5700 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \text{ módulo de elasticidad del cable}$$

$$\alpha := \frac{23}{1000000} \text{ } ^\circ\text{C} \text{ coeficiente de dilatación térmica del cable}$$

$$g_V := 0.002692 \frac{\text{daN}}{\text{m} \cdot \text{mm}^2} \text{ carga específica para estado V (estado básico)}$$

$$t_x := 0 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ temperatura de estado x (variable)}$$

$$t_V := 16 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ temperatura estado V (estado básico)}$$

$$\sigma_V := 5.588 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \text{ tensión admisible de estado V (estado básico)}$$

$$g_x := g_V = 0.003 \frac{\text{daN}}{\text{m} \cdot \text{mm}^2} \text{ carga específica para estado x (invariable)}$$

El vano de regulación es

$$a_r := \sqrt{\frac{(80)^2 + (70)^2 + (87)^2 + (60)^2 + (80)^2 + 7 \cdot (100)^2}{100 \cdot 7 + 70 + 80 + 87 + 60 + 80}} \cdot 1 \text{ m} = 92.633 \text{ m}$$



Resolvemos la ecuación de cambio de estado:

$$A := - \left(\sigma_V - \frac{a_r^2 \cdot E \cdot g_V^2}{24 \cdot \sigma_V^2} + \alpha \cdot E \cdot (t_V - t_x) \right) \cdot \frac{1}{\frac{daN}{mm^2}} = -7.212$$

$$B := - \frac{a_r^2 \cdot E \cdot g_x^2}{24} \cdot \frac{1}{\left(\frac{daN}{mm^2} \right)^3} = -14.769$$

El vector de coeficientes del polinomio cúbico es:

$$v = \begin{bmatrix} B \\ 0 \\ A \\ 1 \end{bmatrix}$$

Las raíces del polinomio cúbico son las tensiones admisibles del estado x:

$$\text{polyroots}(v) = \begin{bmatrix} -0.132 - 1.399i \\ -0.132 + 1.399i \\ 7.476 \end{bmatrix}$$

$$\text{real} := \text{submatrix}(\text{polyroots}(v), 2, 2, 0, 0) = [7.476]$$

$$\sigma_x := \text{real}(0, 0) \cdot \frac{daN}{mm^2} = 7.476 \frac{daN}{mm^2}$$

El tiro del conductor es:

$$T_c := \sigma_x \cdot S_c = 515.639 \text{ daN}$$

La flecha del conductor para el vano de regulación es:

$$f_r := \frac{a_r^2 \cdot g_x}{8 \cdot \sigma_x} = 0.386 \text{ m}$$



El tiempo de la décima onda de retorno, en función de la flecha correspondiente al vano de regulación es:

$$t := \sqrt{\frac{f_r \cdot 1}{0.3064 \cdot \text{cm}}} \cdot 1 \quad S = 11.227 \frac{\text{s}^3 \cdot \text{A}^2}{\text{kg} \cdot \text{m}^2}$$

Para armar la tabla de tendido se deben repetir estos cálculos para distintas temperaturas, desde 0 °C hasta 45 °C.

1.14. Tramos de estudio

Salida 5

Tramo	Piquete Inicial	Piquete Final	Tipo	Vano de Regulación (m)	Sección de conductores (mm ²)
1	1	12	urbano	92,63	70
2	12	23	urbano	93,77	70
3	23	24	urbano	155	70

Tabla 9. Tramos de Estudio



1.15. Tablas de tendido para los tramos 1,2 y 3

A continuación, se realizará el cálculo de las tablas de tendido para los tramos 1,2 y 3

Tabla de tendido: cable 70mm² Al, vano: 92.63 m, 10 oscilaciones

Temperatura °C	Tiro daN	Tensión daN/mm ²	Flecha m	Tiempo de oscilación s
0	515.31	7.47	0.39	11.25
2	498.49	7.23	0.4	11.44
4	481.79	6.99	0.41	11.63
6	465.22	6.75	0.43	11.84
8	448.82	6.51	0.44	12.05
10	432.58	6.27	0.46	12.28
12	416.54	6.04	0.48	12.51
14	400.72	5.81	0.5	12.75
16	385.14	5.58	0.52	13.01
18	369.83	5.36	0.54	13.28
20	354.83	5.14	0.56	13.55
22	340.15	4.93	0.59	13.84
24	325.85	4.72	0.61	14.14
26	311.95	4.52	0.64	14.46
28	298.48	4.33	0.67	14.78
30	285.49	4.14	0.7	15.11
32	273	3.96	0.73	15.45
34	261.04	3.78	0.77	15.8
36	249.64	3.62	0.8	16.16
38	238.81	3.46	0.84	16.52
40	228.56	3.31	0.87	16.89
42	218.9	3.17	0.91	17.26
44	209.81	3.04	0.95	17.63
46	201.29	2.92	0.99	17.99

Tabla 10. Tabla de tendido, Vano 92,63m

Tramo 1: Cálculo completo en anexo 1

Tabla de tendido: cable 70mm² Al, vano: 100m, 10 oscilaciones

Temperatura °C	Tiro daN	Tensión daN/mm ²	Flecha m	Tiempo de oscilación s
0	515.31	7.47	0.452	11.25
2	498.49	7.23	0.467	11.44
4	481.79	6.99	0.483	11.63
6	465.22	6.75	0.5	11.84
8	448.82	6.51	0.519	12.05
10	432.58	6.27	0.538	12.28
12	416.54	6.04	0.559	12.51
14	400.72	5.81	0.581	12.75
16	385.14	5.58	0.604	13.01
18	369.83	5.36	0.629	13.28
20	354.83	5.14	0.656	13.55
22	340.15	4.93	0.684	13.84
24	325.85	4.72	0.714	14.14
26	311.95	4.52	0.746	14.46
28	298.48	4.33	0.78	14.78
30	285.49	4.14	0.815	15.11
32	273	3.96	0.853	15.45
34	261.04	3.78	0.892	15.8
36	249.64	3.62	0.932	16.16
38	238.81	3.46	0.975	16.52
40	228.56	3.31	1.018	16.89
42	218.9	3.17	1.063	17.26
44	209.81	3.04	1.109	17.63
46	201.29	2.92	1.156	17.99

Tabla 11. Tabla de tendido, Vano 100m

Tramo 1: Cálculo completo en anexo 1



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

Temperatura °C	Tiro daN	Tensión daN/mm ²	Flecha m	Tiempo de oscilación s
0	515.31	7.47	0.221	11.25
2	498.49	7.23	0.229	11.44
4	481.79	6.99	0.237	11.63
6	465.22	6.75	0.245	11.84
8	448.82	6.51	0.254	12.05
10	432.58	6.27	0.264	12.28
12	416.54	6.04	0.274	12.51
14	400.72	5.81	0.285	12.75
16	385.14	5.58	0.296	13.01
18	369.83	5.36	0.308	13.28
20	354.83	5.14	0.321	13.55
22	340.15	4.93	0.335	13.84
24	325.85	4.72	0.35	14.14
26	311.95	4.52	0.366	14.46
28	298.48	4.33	0.382	14.78
30	285.49	4.14	0.399	15.11
32	273	3.96	0.418	15.45
34	261.04	3.78	0.437	15.8
36	249.64	3.62	0.457	16.16
38	238.81	3.46	0.478	16.52
40	228.56	3.31	0.499	16.89
42	218.9	3.17	0.521	17.26
44	209.81	3.04	0.544	17.63
46	201.29	2.92	0.567	17.99

Tabla 12. Tabla de tendido, Vano 70m

Tramo 1: Cálculo completo en anexo 1

Tabla de tendido: cable 70mm² Al, vano: 80m, 10 oscilaciones

Temperatura °C	Tiro daN	Tensión daN/mm ²	Flecha m	Tiempo de oscilación s
0	515.31	7.47	0.289	11.25
2	498.49	7.23	0.299	11.44
4	481.79	6.99	0.309	11.63
6	465.22	6.75	0.32	11.84
8	448.82	6.51	0.332	12.05
10	432.58	6.27	0.344	12.28
12	416.54	6.04	0.358	12.51
14	400.72	5.81	0.372	12.75
16	385.14	5.58	0.387	13.01
18	369.83	5.36	0.403	13.28
20	354.83	5.14	0.42	13.55
22	340.15	4.93	0.438	13.84
24	325.85	4.72	0.457	14.14
26	311.95	4.52	0.478	14.46
28	298.48	4.33	0.499	14.78
30	285.49	4.14	0.522	15.11
32	273	3.96	0.546	15.45
34	261.04	3.78	0.571	15.8
36	249.64	3.62	0.597	16.16
38	238.81	3.46	0.624	16.52
40	228.56	3.31	0.652	16.89
42	218.9	3.17	0.681	17.26
44	209.81	3.04	0.71	17.63
46	201.29	2.92	0.74	17.99

Tabla 13. Tabla de tendido, Vano 80m

Tramo 1: Cálculo completo en anexo 1



Tabla de tendido: cable 70mm² Al, vano: 87m, 10 oscilaciones

Temperatura °C	Tiro daN	Tensión daN/mm ²	Flecha m	Tiempo de oscilación s
0	515.31	7.47	0.342	11.25
2	498.49	7.23	0.353	11.44
4	481.79	6.99	0.366	11.63
6	465.22	6.75	0.379	11.84
8	448.82	6.51	0.393	12.05
10	432.58	6.27	0.407	12.28
12	416.54	6.04	0.423	12.51
14	400.72	5.81	0.44	12.75
16	385.14	5.58	0.457	13.01
18	369.83	5.36	0.476	13.28
20	354.83	5.14	0.496	13.55
22	340.15	4.93	0.518	13.84
24	325.85	4.72	0.541	14.14
26	311.95	4.52	0.565	14.46
28	298.48	4.33	0.59	14.78
30	285.49	4.14	0.617	15.11
32	273	3.96	0.645	15.45
34	261.04	3.78	0.675	15.8
36	249.64	3.62	0.706	16.16
38	238.81	3.46	0.738	16.52
40	228.56	3.31	0.771	16.89
42	218.9	3.17	0.805	17.26
44	209.81	3.04	0.84	17.63
46	201.29	2.92	0.875	17.99

Tabla 14. Tabla de tendido, Vano 87m

Tramo 1: Cálculo completo en anexo 1

Tabla de tendido: cable 70mm² Al, vano: 60m, 10 oscilaciones

Temperatura °C	Tiro daN	Tensión daN/mm ²	Flecha m	Tiempo de oscilación s
0	515.31	7.47	0.163	11.25
2	498.49	7.23	0.168	11.44
4	481.79	6.99	0.174	11.63
6	465.22	6.75	0.18	11.84
8	448.82	6.51	0.187	12.05
10	432.58	6.27	0.194	12.28
12	416.54	6.04	0.201	12.51
14	400.72	5.81	0.209	12.75
16	385.14	5.58	0.218	13.01
18	369.83	5.36	0.227	13.28
20	354.83	5.14	0.236	13.55
22	340.15	4.93	0.246	13.84
24	325.85	4.72	0.257	14.14
26	311.95	4.52	0.269	14.46
28	298.48	4.33	0.281	14.78
30	285.49	4.14	0.293	15.11
32	273	3.96	0.307	15.45
34	261.04	3.78	0.321	15.8
36	249.64	3.62	0.336	16.16
38	238.81	3.46	0.351	16.52
40	228.56	3.31	0.367	16.89
42	218.9	3.17	0.383	17.26
44	209.81	3.04	0.399	17.63
46	201.29	2.92	0.416	17.99

Tabla 15. Tabla de tendido, Vano 60m

Tramo 1: Cálculo completo en anexo 1



Tabla de tendido: cable 70mm² Al, vano: 93.77 m, 10 oscilaciones

Temperatura °C	Tiro daN	Tensión daN/mm ²	Flecha m	Tiempo de oscilación s
0	514.98	7.47	0.4	11.39
2	498.18	7.22	0.41	11.58
4	481.52	6.98	0.43	11.78
6	464.99	6.74	0.44	11.99
8	448.62	6.5	0.46	12.2
10	432.43	6.27	0.47	12.43
12	416.44	6.04	0.49	12.66
14	400.67	5.81	0.51	12.91
16	385.14	5.58	0.53	13.17
18	369.89	5.36	0.55	13.44
20	354.94	5.15	0.58	13.72
22	340.34	4.93	0.6	14.01
24	326.1	4.73	0.63	14.31
26	312.27	4.53	0.66	14.63
28	298.87	4.33	0.68	14.95
30	285.96	4.15	0.72	15.28
32	273.54	3.97	0.75	15.63
34	261.66	3.79	0.78	15.98
36	250.33	3.63	0.82	16.33
38	239.56	3.47	0.85	16.7
40	229.38	3.33	0.89	17.06
42	219.77	3.19	0.93	17.43
44	210.74	3.06	0.97	17.8
46	202.27	2.93	1.01	18.17

Tabla 16. Tabla de tendido, Vano 93,77m

Tramo 2: Cálculo completo en anexo 2

Tabla de tendido: cable 70mm² Al, vano: 100m, 10 oscilaciones

Temperatura °C	Tiro daN	Tensión daN/mm ²	Flecha m	Tiempo de oscilación s
0	514.98	7.47	0.432	11.39
2	498.18	7.22	0.467	11.58
4	481.52	6.98	0.483	11.78
6	464.99	6.74	0.501	11.99
8	448.62	6.5	0.519	12.2
10	432.43	6.27	0.538	12.43
12	416.44	6.04	0.559	12.66
14	400.67	5.81	0.581	12.91
16	385.14	5.58	0.604	13.17
18	369.89	5.36	0.629	13.44
20	354.94	5.15	0.656	13.72
22	340.34	4.93	0.684	14.01
24	326.1	4.73	0.714	14.31
26	312.27	4.53	0.745	14.63
28	298.87	4.33	0.779	14.95
30	285.96	4.15	0.814	15.28
32	273.54	3.97	0.851	15.63
34	261.66	3.79	0.89	15.98
36	250.33	3.63	0.93	16.33
38	239.56	3.47	0.972	16.7
40	229.38	3.33	1.015	17.06
42	219.77	3.19	1.059	17.43
44	210.74	3.06	1.104	17.8
46	202.27	2.93	1.151	18.17

Tabla 17. Tabla de tendido, Vano 100m

Tramo 2: Cálculo completo en anexo 2



Tabla de tendido: cable 70mm² Al, vano: 94m, 10 oscilaciones

Temperatura °C	Tiro daN	Tensión daN/mm ²	Flecha m	Tiempo de oscilación s
0	514.98	7.47	0.399	11.39
2	498.18	7.22	0.413	11.58
4	481.52	6.98	0.427	11.78
6	464.99	6.74	0.442	11.99
8	448.62	6.5	0.458	12.2
10	432.43	6.27	0.476	12.43
12	416.44	6.04	0.494	12.66
14	400.67	5.81	0.513	12.91
16	385.14	5.58	0.534	13.17
18	369.89	5.36	0.556	13.44
20	354.94	5.15	0.579	13.72
22	340.34	4.93	0.604	14.01
24	326.1	4.73	0.631	14.31
26	312.27	4.53	0.659	14.63
28	298.87	4.33	0.688	14.95
30	285.96	4.15	0.719	15.28
32	273.54	3.97	0.752	15.63
34	261.66	3.79	0.786	15.98
36	250.33	3.63	0.822	16.33
38	239.56	3.47	0.858	16.7
40	229.38	3.33	0.897	17.06
42	219.77	3.19	0.936	17.43
44	210.74	3.06	0.976	17.8
46	202.27	2.93	1.017	18.17

Tabla 18. Tabla de tendido, Vano 94m

Tramo 2: Cálculo completo en anexo 2

Tabla de tendido: cable 70mm² Al, vano: 80m, 10 oscilaciones

Temperatura °C	Tiro daN	Tensión daN/mm ²	Flecha m	Tiempo de oscilación s
0	514.98	7.47	0.289	11.39
2	498.18	7.22	0.299	11.58
4	481.52	6.98	0.309	11.78
6	464.99	6.74	0.32	11.99
8	448.62	6.5	0.332	12.2
10	432.43	6.27	0.344	12.43
12	416.44	6.04	0.358	12.66
14	400.67	5.81	0.372	12.91
16	385.14	5.58	0.387	13.17
18	369.89	5.36	0.403	13.44
20	354.94	5.15	0.42	13.72
22	340.34	4.93	0.438	14.01
24	326.1	4.73	0.457	14.31
26	312.27	4.53	0.477	14.63
28	298.87	4.33	0.498	14.95
30	285.96	4.15	0.521	15.28
32	273.54	3.97	0.545	15.63
34	261.66	3.79	0.569	15.98
36	250.33	3.63	0.595	16.33
38	239.56	3.47	0.622	16.7
40	229.38	3.33	0.649	17.06
42	219.77	3.19	0.678	17.43
44	210.74	3.06	0.707	17.8
46	202.27	2.93	0.736	18.17

Tabla 19. Tabla de tendido, Vano 80m

Tramo 2: Cálculo completo en anexo 2



Tabla de tendido: cable 70mm² Al, vano: 90m, 10 oscilaciones

Temperatura °C	Tiro daN	Tensión daN/mm ²	Flecha m	Tiempo de oscilación s
0	514.98	7.47	0.366	11.39
2	498.18	7.22	0.378	11.58
4	481.52	6.98	0.392	11.78
6	464.99	6.74	0.405	11.99
8	448.62	6.5	0.42	12.2
10	432.43	6.27	0.436	12.43
12	416.44	6.04	0.453	12.66
14	400.67	5.81	0.471	12.91
16	385.14	5.58	0.49	13.17
18	369.89	5.36	0.51	13.44
20	354.94	5.15	0.531	13.72
22	340.34	4.93	0.554	14.01
24	326.1	4.73	0.578	14.31
26	312.27	4.53	0.604	14.63
28	298.87	4.33	0.631	14.95
30	285.96	4.15	0.659	15.28
32	273.54	3.97	0.689	15.63
34	261.66	3.79	0.721	15.98
36	250.33	3.63	0.753	16.33
38	239.56	3.47	0.787	16.7
40	229.38	3.33	0.822	17.06
42	219.77	3.19	0.858	17.43
44	210.74	3.06	0.895	17.8
46	202.27	2.93	0.932	18.17

Tabla 20. Tabla de tendido, Vano 90m

Tramo 2: Cálculo completo en anexo 2

Tabla de tendido: cable 70mm² Al, vano: 41m, 10 oscilaciones

Temperatura °C	Tiro daN	Tensión daN/mm ²	Flecha m	Tiempo de oscilación s
0	514.98	7.47	0.076	11.39
2	498.18	7.22	0.079	11.58
4	481.52	6.98	0.081	11.78
6	464.99	6.74	0.084	11.99
8	448.62	6.5	0.087	12.2
10	432.43	6.27	0.09	12.43
12	416.44	6.04	0.094	12.66
14	400.67	5.81	0.098	12.91
16	385.14	5.58	0.102	13.17
18	369.89	5.36	0.106	13.44
20	354.94	5.15	0.11	13.72
22	340.34	4.93	0.115	14.01
24	326.1	4.73	0.12	14.31
26	312.27	4.53	0.125	14.63
28	298.87	4.33	0.131	14.95
30	285.96	4.15	0.137	15.28
32	273.54	3.97	0.143	15.63
34	261.66	3.79	0.15	15.98
36	250.33	3.63	0.156	16.33
38	239.56	3.47	0.163	16.7
40	229.38	3.33	0.171	17.06
42	219.77	3.19	0.178	17.43
44	210.74	3.06	0.186	17.8
46	202.27	2.93	0.193	18.17

Tabla 21. Tabla de tendido, Vano 41m

Tramo 2: Cálculo completo en anexo 2



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

Tabla 22. Tabla de tendido, Vano 155m

Tramo 3: Cálculo completo en anexo 3