

2015

Recalculo Salida 6 y Salida 15



Bertolini - Quintero

Contenido

Ubicación geográfica	8
Salida 6.....	8
Salida 15.....	9
Zona climática.....	9
Calculo mecánico del conductor (Vano 90m).....	10
Tensión de rotura	11
Acción del viento sobre el conductor.....	12
Fuerza del viento sobre el conductor.....	13
Cargas específicas debidas al viento	15
Acción del peso del propio conductor.....	15
Angulo de inclinación del conductor.....	15
Carga especifica resultante	16
Calculo vano crítico.....	17
Compensación $\frac{G}{\sigma}$	17
Tensión en los distintos estados.....	18
Calculo de flechas	21
Flechas verticales.....	21
Tiro del conductor	22
Tabla de tendido para el conductor de fase.....	22
Calculo mecánico del hilo de guardia (Vano 90m).....	26
Tensión de rotura	26
Acción del viento sobre el hilo de guardia	27
Fuerza del viento sobre el conductor.....	29
Cargas específicas debidas al viento	29
Acción de propio peso del hilo de guarda.....	30
Angulo de inclinación del hilo de guardia	30
Carga especifica resultante	30
Estado básico.....	31
Tensión en los distintos estados.....	31

Calculo de flechas	35
Flechas verticales.....	35
Tiro del hilo de guardia.....	36
Tabla de tendido para el conductor de fase.....	36
Calculo mecánico del conductor (Vano 70m).....	39
Tensión de rotura	40
Acción del viento sobre el conductor	42
Fuerza del viento sobre el conductor	43
Cargas específicas debidas al viento	44
Acción del peso del propio conductor.....	45
Angulo de inclinación del conductor	45
Carga especifica resultante	45
Calculo vano crítico.....	46
Compensación $\frac{G}{\sigma}$	47
Tensión en los distintos estados.....	47
Datos.....	47
Calculo de flechas	50
Flechas verticales.....	51
Tiro del conductor	51
Tabla de tendido para el conductor de fase.....	52
Calculo mecánico del hilo de guardia (Vano 70m).....	54
Tensión de rotura	54
Acción del viento sobre el hilo de guardia	55
Fuerza del viento sobre el conductor	57
Cargas específicas debidas al viento	57
Acción de propio peso del hilo de guarda	58
Angulo de inclinación del hilo de guardia	58
Carga especifica resultante	59
Estado básico	59
Tensión en los distintos estados.....	60
Calculo de flechas	63

Flechas verticales.....	64
Tiro del hilo de guardia.....	64
Tabla de tendido para el conductor de fase.....	64
Calculo mecánico del conductor (Vano 100m)	67
Tensión de rotura	68
Acción del viento sobre el conductor	69
Fuerza del viento sobre el conductor	71
Cargas específicas debidas al viento	72
Acción del peso del propio conductor.....	72
Angulo de inclinación del conductor	72
Carga especifica resultante	73
Calculo vano crítico.....	74
Compensación $\frac{G}{\sigma}$	74
Tensión en los distintos estados.....	75
Calculo de flechas	77
Flechas verticales.....	78
Tiro del conductor	78
Tabla de tendido para el conductor de fase.....	79
Calculo mecánico del hilo de Guardia (Vano 100m)	81
Tensión de rotura	81
Acción del viento sobre el hilo de guardia	82
Fuerza del viento sobre el conductor	84
Cargas específicas debidas al viento	84
Acción de propio peso del hilo de guarda	85
Angulo de inclinación del hilo de guardia	85
Carga especifica resultante	86
Estado básico	86
Tensión en los distintos estados.....	87
Calculo de flechas	90
Flechas verticales.....	91
Tiro del hilo de guardia.....	91

Tabla de tendido para el conductor de fase.....	92
Estructura de Suspensión (Vano 90m)	95
Datos de la Instalación.....	95
Características del conductor	96
Características del hilo de guardia	96
Aislador	96
Distancias eléctricas mínimas.....	97
Dimensionamiento del cabezal	98
Alturas.....	99
Dimensiones del poste	100
Dimensionamiento mecánico.....	101
Cargas actuantes sobre la estructura	101
Acciones transversales a la línea	101
Verificación de las estructuras a las hipótesis de cargas	105
Verificación por el método de factorización de cargas y resistencias	106
Calculo de fundaciones.....	107
Estructura de Suspensión (Vano 70m)	111
Datos de la Instalación.....	111
Características del conductor	113
Características del hilo de guardia	113
Aislador	113
Distancias eléctricas mínimas.....	114
Dimensionamiento del cabezal	115
Alturas.....	116
Dimensiones del poste	117
Dimensionamiento mecánico.....	118
Cargas actuantes sobre la estructura	118
Acciones transversales a la línea	118
Verificación de las estructuras a las hipótesis de cargas	122
Verificación por el método de factorización de cargas y resistencias	123
Calculo de fundaciones.....	124

Estructura de Suspensión(Vano 100m)	128
Datos de la Instalación.....	128
Características del conductor	129
Características del hilo de guardia	129
Aislador	129
Distancias eléctricas mínimas.....	130
Dimensionamiento del cabezal	131
Alturas.....	132
Dimensiones del poste	133
Dimensionamiento mecánico.....	134
Cargas actuantes sobre la estructura	134
Acciones transversales a la línea	134
Verificación de las estructuras a las hipótesis de cargas	138
Verificación por el método de factorización de cargas y resistencias	139
Calculo de fundaciones.....	140
Estructura de Suspensión	144
Datos de la Instalación.....	144
Características del conductor	145
Características del hilo de guardia	145
Aislador	145
Distancias eléctricas mínimas.....	146
Dimensionamiento del cabezal	147
Alturas.....	148
Dimensiones del poste	149
Dimensionamiento mecánico.....	150
Cargas actuantes sobre la estructura	150
Acciones transversales a la línea	150
Verificación de las estructuras a las hipótesis de cargas	154
Verificación por el método de factorización de cargas y resistencias	155
Calculo de fundaciones.....	156
Estructura de Suspensión en zona inundable (Vano 90m)	160

Datos de la Instalación.....	160
Características del conductor	161
Características del hilo de guardia	161
Aislador.....	161
Distancias eléctricas mínimas.....	162
Dimensionamiento del cabezal	163
Alturas.....	164
Dimensiones del poste	165
Dimensionamiento mecánico.....	166
Cargas actuantes sobre la estructura	166
Acciones transversales a la línea	167
Verificación de las estructuras a las hipótesis de cargas	170
Verificación por el método de factorización de cargas y resistencias	171
Calculo de fundaciones.....	172
Dimensionamiento	172
Estructura de Retención	178
Datos de la Instalación.....	178
Características del conductor	180
Características del hilo de guardia	180
Aislador.....	180
Distancias eléctricas mínimas.....	181
Dimensionamiento del cabezal	182
Dimensiones del poste	184
Dimensionamiento mecánico.....	185
Cargas actuantes sobre la estructura	185
Acciones transversales a la línea	186
Verificación por el método de factorización de cargas y resistencias	196
Dimensiones de los vínculos.....	197
Diseño de fundación – Metodo Sulzberguer.....	201
Estructura Terminal(Vano 60m)	207
Datos de la Instalación.....	207

Características del conductor	208
Características del hilo de guardia	208
Aislador	208
Distancias eléctricas mínimas.....	209
Dimensionamiento del cabezal	210
Dimensiones del poste	212
Dimensionamiento mecánico.....	213
Cargas actuantes sobre la estructura	213
Acciones transversales a la línea	214
Verificación por el método de factorización de cargas y resistencias	221
Dimensiones de los vínculos.....	222
Diseño de fundación – Metodo Sulzberguer.....	226
Estructura Terminal(Vano 100m)	231
Datos de la Instalación.....	231
Características del conductor	232
Características del hilo de guardia	232
Aislador	232
Distancias eléctricas mínimas.....	233
Dimensionamiento del cabezal	234
Dimensiones del poste	236
Dimensionamiento mecánico.....	237
Cargas actuantes sobre la estructura	237
Acciones transversales a la línea	238
Verificación por el método de factorización de cargas y resistencias	246
Dimensiones de los vínculos.....	246
Diseño de fundación– Metodo Sulzberguer.....	250

Ubicación geográfica

Este proyecto tiene como objetivo el recalcado de las líneas de 33kV pertenecientes a la Cooperativa Eléctrica de Concordia que se encuentran emplazadas en la zona sur de la ciudad de Concordia, delimitada aproximadamente entre los arroyos Yuquerí Chico y Yuquerí Grande.

Con esta repotenciación se verá favorecido el servicio eléctrico de la zona.

Dicha repotenciación consiste en la sustitución de los conductores de las líneas troncales y sus estructuras.

Las líneas en cuestión son:

- Salida 6
- Salida 15

Salida 6

Esta línea tiene origen en Central 2 y se desarrolla hacia la zona sur por Avenida Pte Perón, al borde del Puente Alvear. Al llegar a Villa Adela recorre Avenida Unión hasta llegar a calle A. Rucci. Finalmente cruza la ruta nacional 14 y recorre 1km a la vera de la ruta 22 hasta un camino vecinal donde empalma con la salida 15.

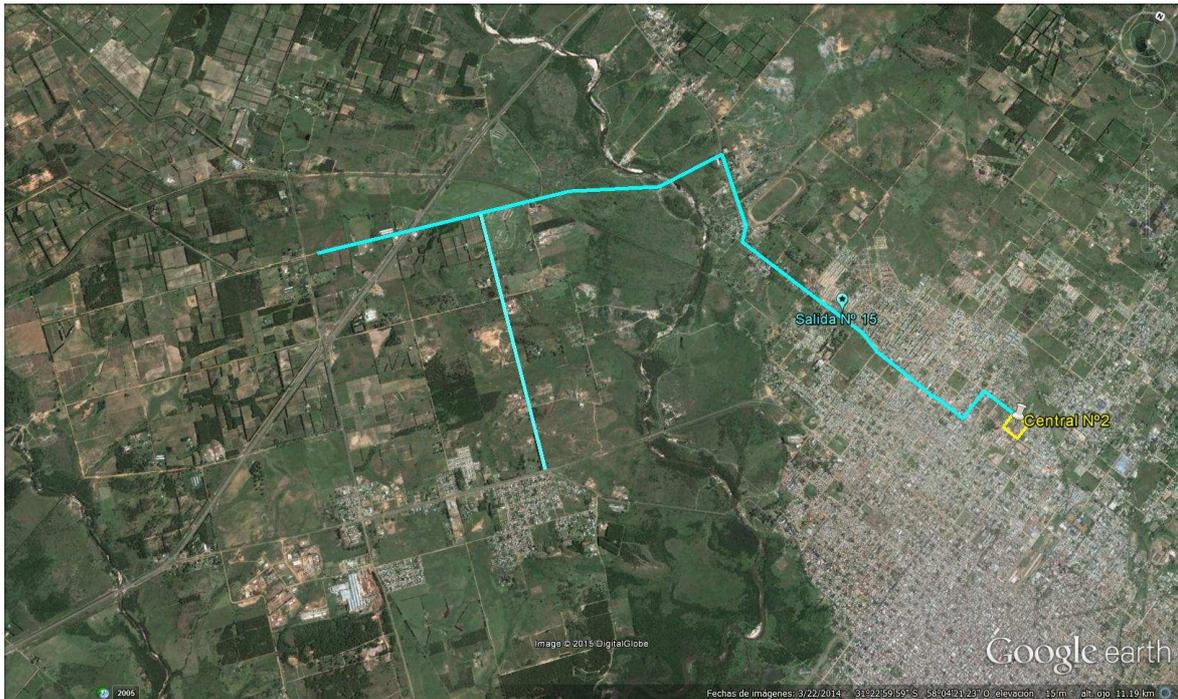
Además posee otro punto de interconexión con la salida 15 en Avenida Pte Peron y calle Capitán Jose A. Rojas.



Salida 15

La línea tiene salida subterránea de Central 2. Esta línea recorre Pte Illia y su continuación, Ruta 4, hasta calle Virgen de Fátima donde se desvía hacia el sur cruzando el arroyo Yuquerí Grande. Se emplaza al costado del camino vecinal y lo recorre hasta su empalme con la línea de la salida 6.

Además tiene su desvío por calle Capitán José A. Rojas, para establecer el otro posible punto de interconexión con la salida 6.



Zona climática

De acuerdo a la reglamentación de la AEA, la zona climática donde se encuentran emplazadas las líneas corresponde a la "Zona C". De la tabla de estados atmosféricos se obtienen los siguientes datos:

Estados Climáticos	Condición	Temperatura [°C]	Viento [m/s]
EI	Temp. Max.	45	-
EII	Temp. Min.	-10	-
EIII	Viento Max.	15	35
EIV	Viento Medio	-5	14
EV	Temp. Media	16	-

Calculo mecánico del conductor (Vano 90m)

El cálculo mecánico consiste en la determinación de las tensiones mecánicas que soportan y las flechas que asumen los conductores de fase y el cable de guardia.

Se calculan las tensiones mecánicas para verificar que en ningún caso, cualquiera sea la carga, se supere el límite de rotura elástica o por fatiga del conductor.

En la práctica y en base a experiencias de líneas existentes, para cada tipo de conductor y región climática, se normalizan las tensiones máximas admisibles en los conductores, para limitar las averías de las líneas eléctricas evitar el sobredimensionamiento del soporte y racionalizar los cálculos.

La flecha se calcula para que ningún caso asuma valores mayores que reduzcan la altura mínima de los conductores sobre el suelo. A igual que las tensiones, las alturas mínimas respecto al suelo se encuentran normalizadas en función de la zona que atraviesa la línea por la **AEA 95301 – Reglamentación de Líneas Aéreas Externas de MT y AT.**

La sección del conductor seleccionado según norma IRAM 2187 es 50/8 mm². En el siguiente cuadro se detallan las características del conductor:

Características del Conductor	
Material	Aluminio - Acero
Sección nominal	50/8
Sc	50mm ²
Src	56,3mm ²
Formación	6 x 3,2mm ² + 1 x 3,2mm ²
Diámetro exterior	9,6mm
Iadm	195A
Carga de rotura (Trc)	1713 daN
Peso aproximado (Pc)	195 kg/km
Módulo de elasticidad (Ec)	8100 daN/mm ²
Coefficiente de dilatación (α_c)	19,1 E-6 1/°C

Tensión de rotura

Deben establecerse distintas tensiones según los tipos de sollicitación, asociados a los respectivos estados atmosféricos.

Para los estados que provocan máximos esfuerzos la reglamentación de la AEA establece un límite del 70% de la rotura.

Se producen sollicitaciones 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 (Estado V) del 25% de acuerdo a la reglamentación de la AEA.

$$\sigma_c = \frac{T_{rc}}{S_{rc}}$$

ESTADO I (Máxima temperatura)

$$I \quad \sigma_{cI} = 70\% \cdot \frac{T_{rc}}{S_{rc}} = \frac{0,7 \cdot 1713 \text{ daN}}{56,3 \text{ mm}^2} = 21,3 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

ESTADO II (Mínima temperatura)

$$II \quad \sigma_{cII} = 70\% \cdot \frac{T_{rc}}{S_{rc}} = \frac{0,7 \cdot 1713 \text{ daN}}{56,3 \text{ mm}^2} = 21,3 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

ESTADO III (Máximo viento)

$$III \quad \sigma_{cIII} = 70\% \cdot \frac{T_{rc}}{S_{rc}} = \frac{0,7 \cdot 1713 \text{ daN}}{56,3 \text{ mm}^2} = 21,3 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

ESTADO IV (Viento moderado)

$$IV \quad \sigma_{CIV} = 70\% \frac{T_{rc}}{S_{rc}} = \frac{0,7.1713 \text{ daN}}{56,3 \text{ mm}^2} = 21,3 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

ESTADO V (Temperatura média anual)

$$V \quad \sigma_{CV} = 25\% \frac{T_{rc}}{S_{rc}} = \frac{0,25.1713 \text{ daN}}{56,3 \text{ mm}^2} = 7,6 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

Acción del viento sobre el conductor

La Reglamentación de la AEA establece utilizar el viento indicado en el mapa de isocletas de la República Argentina.

Este mapa indica la velocidad de referencia, en m/s, correspondiente al promedio corresponde al promedio de velocidades máximas. Periodo de retorno de 50 años, sobre intervalos de 10 min. en exposición abierta y altura de 10 metros.

Factor que depende de la densidad del aire

El factor de densidad del aire convierte la energía cinética del movimiento del aire en presión.

$$Q = 0,0613 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Categoría de exposición: "C"

Factores en función de la exposición

$$Z_G = 274$$

$$\alpha = 7,5$$

$$L_s = 67$$

$$K = 0,005$$

Coeficiente de presión o de forma $C_f = 1$

Altura de la línea: 9m

Altura efectiva del conductor medio (altura – 1/3 flecha estado V)

La altura efectiva del conductor puede ser determinada aproximadamente con la altura del punto de amarre a la estructura respecto del terreno menos un tercio la flecha del conductor para el estado de temperatura media anual.

$$Z_c = 9 - \frac{1}{3.0,47} = 8,84m$$

Vano de diseño: $a = 90m$

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

$$Z_p = 1,61 \left(\frac{Z_c}{Z_G} \right)^{1/\alpha} = 1,61 \left(\frac{8,84m}{274} \right)^{1/7,5} = 1,02$$

Factores para hallar el factor de ráfaga de G_w

$$E = 4,9 \cdot \sqrt{k} \cdot \left(\frac{10}{Z_c} \right)^{1/\alpha} = 4,9 \cdot \sqrt{0,005} \cdot \left(\frac{10}{8,84} \right)^{1/7,5} = 0,35$$

$$B_w = \frac{1}{1 + 0,8 \cdot \frac{a}{L_s}} = \frac{1}{1 + \frac{0,8 \cdot 90m}{67}} = 0,48$$

Factor de ráfaga

$$G_w = 1 + 2,7 \cdot E \cdot \sqrt{B_w} = 1 + 2,7 \cdot 0,35 \cdot \sqrt{0,48} = 1,65$$

Factor de carga (AEA) --> 0,93

Área proyectada

$$A_c = a \cdot d = 90m \cdot 0,0096m = 0,86m^2$$

Angulo del viento con el eje perpendicular de la línea

$$\psi = 0^\circ$$

Fuerza del viento sobre el conductor

$$F_{v_c} = Q(Z_p \cdot V_i)^2 \cdot F_c \cdot G_w \cdot C_f \cdot A_c \cdot \cos^2 \psi$$

ESTADO I (Máxima temperatura)

I $F_{vI}c = 0,0613(1,02,0)^{2,0,93,1,65,10,86,1} = 0 \text{ daN}$

ESTADO II (Mínima temperatura)

II $F_{vII}c = 0,0613(1,02,0)^{2,0,93,1,65,10,86,1} = 0 \text{ daN}$

ESTADO III (Máximo viento)

III $F_{vIII}c = 0,0613(1,02,35)^{2,0,93,1,65,10,86,1} = 103,1 \text{ daN}$

ESTADO IV (Viento moderado)

IV $F_{vIV}c = 0,0613(1,02,14)^{2,0,93,1,65,10,86,1} = 16,5 \text{ daN}$

ESTADO V (Temperatura media anual)

V $F_{vV}c = 0,0613(1,02,0)^{2,0,93,1,65,10,86,1} = 0 \text{ daN}$

Cargas específicas debidas al viento

$$Gv_i = \frac{Fv_i \cdot c}{a \cdot Sc}$$

ESTADO I (Máxima temperatura)

$$I \quad Gv_I = \frac{Fv_I c}{a \cdot Sc} = \frac{0 \text{ daN}}{90m \cdot 56,3mm^2} = 0 \text{ daN/m} \cdot mm^2$$

ESTADO II (Mínima temperatura)

$$II \quad Gv_{II} = \frac{Fv_{II} c}{a \cdot Sc} = \frac{0 \text{ daN}}{90m \cdot 56,3mm^2} = 0 \text{ daN/m} \cdot mm^2$$

ESTADO III (Máximo viento)

$$III \quad Gv_{III} = \frac{Fv_{III} c}{a \cdot Sc} = \frac{103,1 \text{ daN}}{90m \cdot 56,3mm^2} = 0,02 \text{ daN/m} \cdot mm^2$$

ESTADO IV (Viento moderado)

$$IV \quad Gv_{IV} = \frac{Fv_{IV} c}{a \cdot Sc} = \frac{16,5 \text{ daN}}{90m \cdot 56,3mm^2} = 0,0032 \text{ daN/m} \cdot mm^2$$

ESTADO V (Temperatura media anual)

$$V \quad Gv_V = \frac{Fv_V c}{a \cdot Sc} = \frac{0 \text{ daN}}{90m \cdot 56,3mm^2} = 0 \text{ daN/m} \cdot mm^2$$

Acción del peso del propio conductor

$$Gc = \frac{Pc}{Sc} = \frac{0,195 \frac{\text{daN}}{m}}{56,3mm^2} = 0,0035 \text{ daN/m} \cdot mm^2$$

Angulo de inclinación del conductor

Al encontrarse bajo la acción del viento, el conductor no desarrolla su catenaria en un plano vertical, sino en uno inclinado que forma con el vertical un ángulo que depende de la relación existente entre el peso propio y la sobrecarga aerodinámica.

$$\theta_{Ci} = \tan^{-1} \left(\frac{Gvc_i}{Gc} \right) \cdot \left(\frac{180}{\pi} \right)$$

ESTADO III (Máximo viento)

$$\theta_{CIII} = \tan^{-1} \left(\frac{Gvc_{III}}{Gc} \right) \cdot \left(\frac{180}{\pi} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{0,02}{0,0035} \right) \cdot \left(\frac{180}{\pi} \right) = 80,1^\circ$$

ESTADO IV (Viento moderado)

$$\theta_{CIV} = \tan^{-1} \left(\frac{Gvc_{IV}}{Gc} \right) \cdot \left(\frac{180}{\pi} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{0,0032}{0,0035} \right) \cdot \left(\frac{180}{\pi} \right) = 42,4^\circ$$

Carga específica resultante

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.

$$Gc_i = \sqrt{G_c^2 + Gvc_i}$$

ESTADO I (Máxima temperatura)

$$Gc_I = \sqrt{0,0035^2 + 0} = 0,0035 \text{ daN/m.mm}^2$$

ESTADO II (Mínima temperatura)

$$II \quad Gc_{II} = \frac{(\sqrt{0,0035^2 + 0}) \text{ daN}}{m} \cdot \text{mm}^2 = 0,0035 \text{ daN/m.mm}^2$$

ESTADO III (Máximo viento)

$$III \quad Gc_{III} = \frac{(\sqrt{0,0035^2 + 0,02^2}) \text{ daN}}{m} \cdot \text{mm}^2 = 0,02 \text{ daN/m.mm}^2$$

ESTADO IV (Viento moderado)

$$IV \quad Gc_{IV} = \frac{(\sqrt{(0,0035^2 + 0,0032^2)}) \text{ daN}}{m} \cdot \text{mm}^2 = 0,0047 \text{ daN/m.mm}^2$$

ESTADO V (Temperatura media anual)

$$v \quad G_{c_v} = \sqrt{0,0035^2 + 0} = 0,0035 \text{ daN/m.mm}^2$$

Calculo vano crítico

Al realizarse el cálculo, habrá un estado atmosférico (temperaturas y cargas) que para el conductor sea más desfavorable en el sentido de someterlo a la tensión más elevada, tomando ese estado como punto de partida puede calcularse las tensiones en cualquier otro estado, con la seguridad de obtener menores valores al máximo establecido.

$$acr_{II-III} = \sqrt{\left[\alpha_c (t_2 - t_3) + \frac{(\sigma_{c_2} - \sigma_{c_3})}{Ec} \right] \cdot \frac{24}{\left(\frac{G_{c_2}}{\sigma_{c_2}}\right)^2 - \left(\frac{G_{c_3}}{\sigma_{c_3}}\right)^2}}$$

$$acr_{II-III} = \sqrt{\left[19,1E - 6 \cdot (-10 - 15) + \frac{(0)}{Ec} \right] \cdot \frac{24}{\left(\frac{0,0035}{21,3}\right)^2 - \left(\frac{0,02}{21,3}\right)^2}} = 115,8m$$

$$acr_{II-IV} = \sqrt{\left[19,1E - 6 \cdot (-10 + 5) + 0 \right] \cdot \frac{24}{\left(\frac{0,0035}{21,3}\right)^2 - \left(\frac{0,0047}{21,3}\right)^2}} = 325,1m$$

$$acr_{II-V} = \sqrt{\left[19,1E - 6 \cdot (-10 - 16) + \frac{(21,3 - 7,6)}{8100} \right] \cdot \frac{24}{\left(\frac{0,0035}{21,3}\right)^2 - \left(\frac{0,0035}{7,6}\right)^2}} = i \ 395m$$

$$acr_{III-V} = \sqrt{\left[19,1E - 6 \cdot (15 - 16) + \frac{(21,3 - 7,6)}{8100} \right] \cdot \frac{24}{\left(\frac{0,02}{21,3}\right)^2 - \left(\frac{0,0035}{7,6}\right)^2}} = 245,5m$$

$$acr_{IV-V} = \sqrt{\left[19,1E - 6 \cdot (5 - 16) + \frac{(21,3 - 7,6)}{8100} \right] \cdot \frac{24}{\left(\frac{0,0047}{21,3}\right)^2 - \left(\frac{0,0035}{7,6}\right)^2}} = i \ 444,2m$$

Compensación $\frac{G}{\sigma}$

$$\frac{G_{c_2}}{\sigma_{c_2}} = \frac{0,0035}{21,3} = 1,64E - 4$$

$$\frac{G_{c_3}}{\sigma_{c_3}} = \frac{0,02}{21,3} = 9,39E - 4$$

$$\frac{G_{c_4}}{\sigma_{c_4}} = \frac{0,0047}{21,3} = 2,2E - 4$$

$$\frac{G_{c_5}}{\sigma_{c_5}} = \frac{0,0035}{7,3} = 4,79E - 4$$

Se adopta el estado básico "5"

Tensión en los distintos estados

La utilización de la ecuación de cambio de estado es de suma importancia para el cálculo de la línea, pues permite conocer las tensiones del conductor para cualquier estado de temperatura y viento, a partir de los datos de tensión, carga específica y temperatura de un estado tomado como punto de partida y conociendo la temperatura y carga específica del estado cuya tensión quiere determinarse.

Datos

$$E_c = 8100 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

$$a_c = 90m$$

$$\alpha_c = 0,000019 \text{ } ^1/\text{oC}$$

ESTADO I (Máxima temperatura)

$$G_{c_I} = 0,0035 \text{ daN/m} \cdot \text{mm}^2$$

$$t_I = 45^\circ\text{C}$$

$$\sigma_{adm_{cI}} = 21,3 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

$$f_1(\sigma_{cI}) = \sigma_{cI} - \frac{\alpha_c^2 \cdot E_c \cdot G_{cI}^2}{24 \cdot \sigma_{cI}^2}$$

$$f_2(\sigma_{cI}) = \sigma_{adm_{cV}} - \frac{\alpha_c^2 \cdot E_c \cdot G_{cV}^2}{24 \cdot \sigma_{adm_{cV}}^2} + \alpha_c \cdot (t_V - t_I) \cdot E_c$$

Se adopta un valor inicial:

$$\sigma_{cI} = 5 \text{ daN/m} \cdot \text{mm}^2$$

Mediante la utilización de un software matemático (MathCad), se encuentran las raíces:

$$\sigma_{cI} = \text{root}(f_1(\sigma_{cI}) - f_2(\sigma_{cI}), \sigma_{cI}) = 4,32 \text{ daN/m.mm}^2$$

ESTADO II (Mínima temperatura)

$$G_{cII} = 0,0035 \text{ daN/m.mm}^2$$

$$t_{II} = -10^\circ\text{C}$$

$$\sigma_{adm_{cII}} = 21,3 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

$$f_1(\sigma_{cII}) = \sigma_{cII} - \frac{\alpha_c^2 \cdot E_c \cdot G_{cII}^2}{24 \cdot \sigma_{cII}^2}$$

$$f_2(\sigma_{cII}) = \sigma_{adm_{cV}} - \frac{\alpha_c^2 \cdot E_c \cdot G_{cV}^2}{24 \cdot \sigma_{adm_{cV}}^2} + \alpha_c \cdot (t_V - t_{II}) \cdot E_c$$

Se adopta un valor inicial:

$$\sigma_{cII} = 5 \text{ daN/m.mm}^2$$

Mediante la utilización de un software matemático (MathCad), se encuentran las raíces:

$$\sigma_{cII} = \text{root}(f_1(\sigma_{cII}) - f_2(\sigma_{cII}), \sigma_{cII}) = 11,31 \text{ daN/m.mm}^2$$

ESTADO III (Máximo viento)

$$G_{cIII} = 0,02 \text{ daN/m.mm}^2$$

$$t_{III} = 15^\circ\text{C}$$

$$\sigma_{adm_{cIII}} = 21,3 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

$$f_1(\sigma_{cIII}) = \sigma_{cIII} - \frac{\alpha_c^2 \cdot E_c \cdot G_{cIII}^2}{24 \cdot \sigma_{cIII}^2}$$

$$f_2(\sigma_{cIII}) = \sigma_{adm_{cV}} - \frac{\alpha_c^2 \cdot E_c \cdot G_{cV}^2}{24 \cdot \sigma_{adm_{cV}}^2} + \alpha_c \cdot (t_V - t_{III}) \cdot E_c$$

Se adopta un valor inicial:

$$\sigma_{cIII} = 5 \text{ daN/m.mm}^2$$

Mediante la utilización de un software matemático (MathCad), se encuentran las raíces:

$$\sigma_{cIII} = \text{root}(f_1(\sigma_{cIII}) - f_2(\sigma_{cIII}), \sigma_{cIII}) = 13,33 \text{ daN/m.mm}^2$$

ESTADO IV (Viento moderado)

$$G_{cIV} = 0,0047 \text{ daN/m.mm}^2$$

$$t_{IV} = -5^\circ\text{C}$$

$$\sigma_{adm_{cIV}} = 21,3 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

$$f_1(\sigma_{cIV}) = \sigma_{cIV} - \frac{\alpha_c^2 \cdot E_c \cdot G_{cIV}^2}{24 \cdot \sigma_{cIV}^2}$$

$$f_2(\sigma_{cIV}) = \sigma_{adm_{cIV}} - \frac{\alpha_c^2 \cdot E_c \cdot G_{cIV}^2}{24 \cdot \sigma_{adm_{cIV}}^2} + \alpha_c \cdot (t_V - t_{IV}) \cdot E_c$$

Se adopta un valor inicial:

$$\sigma_{cIV} = 5 \text{ daN/m.mm}^2$$

Mediante la utilización de un software matemático (MathCad), se encuentran las raíces:

$$\sigma_{cIV} = \text{root}(f_1(\sigma_{cIV}) - f_2(\sigma_{cIV}), \sigma_{cIV}) = 10,11 \text{ daN/m.mm}^2$$

ESTADO V (Temperatura media anual)

$$G_{cV} = 0,0035 \text{ daN/m.mm}^2$$

$$t_V = 16^\circ\text{C}$$

$$\sigma_{adm_{cV}} = 7,6 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{cV} = \sigma_{adm_{cV}} = 7,6 \text{ daN/m.mm}^2$$

Calculo de flechas

La medición de flecha se debe realizar en condiciones climáticas estables, es decir con poca variación de la temperatura, sin viento y sin cargas adicionales por hielo (en caso de que existiesen en la zona donde se implanta la línea). Por tal motivo vale la siguiente expresión:

$$f_{ci} = \frac{a^2 \cdot G_{ci}}{8 \cdot \sigma_{ci}}$$

ESTADO I (Máxima temperatura)

$$f_{cI} = \frac{a^2 \cdot G_{cI}}{8 \cdot \sigma_{cI}} = \frac{\frac{(90m)^{2.00035daN}}{m} \cdot mm^2}{8.4,32 \frac{daN}{mm^2}} = 0,82m$$

ESTADO II (Mínima temperatura)

$$f_{cII} = \frac{a^2 \cdot G_{cII}}{8 \cdot \sigma_{cII}} = \frac{\frac{(90m)^{2.00035aN}}{m} \cdot mm^2}{8.11,31 \frac{daN}{mm^2}} = 0,32m$$

ESTADO III (Máximo viento)

$$f_{cIII} = \frac{a^2 \cdot G_{cIII}}{8 \cdot \sigma_{cIII}} = \frac{\frac{(90m)^{2.002aN}}{m} \cdot mm^2}{8.13,33 \frac{daN}{mm^2}} = 1,52m$$

ESTADO IV (Viento moderado)

$$f_{cIV} = \frac{a^2 \cdot G_{cIV}}{8 \cdot \sigma_{cIV}} = \frac{\frac{(90m)^{2.00047aN}}{m} \cdot mm^2}{8.10,11 \frac{daN}{mm^2}} = 0,46m$$

ESTADO V (Temperatura media anual)

$$f_{cV} = \frac{a^2 \cdot G_{cV}}{8 \cdot \sigma_{cV}} = \frac{\frac{(90m)^{2.00035aN}}{m} \cdot mm^2}{8.7,6 \frac{daN}{mm^2}} = 0,47m$$

Flechas verticales

$$f_{vIII} = f_{cIII} \cdot \cos\left(\theta_{cIII} \cdot \frac{\pi}{180}\right) = 1.52m \cdot \cos\left(80,1^\circ \cdot \frac{\pi}{180}\right) = 0,26m$$

$$f_{vIV} = f_{cIV} \cdot \cos\left(\theta_{cIV} \cdot \frac{\pi}{180}\right) = 0,46m \cdot \cos\left(42,4^\circ \cdot \frac{\pi}{180}\right) = 0,34m$$

Tiro del conductor

ESTADO I (Máxima temperatura)

$$I \quad T_{cI} = \sigma_{cI} \cdot S_c = \frac{4,32 daN}{mm^{2.56,3mm^2}} = 243,2 daN$$

ESTADO II (Mínima temperatura)

$$II \quad T_{cII} = \sigma_{cII} \cdot S_c = \frac{11,31 daN}{mm^{2.56,3mm^2}} = 636,7 daN$$

ESTADO III (Máximo viento)

$$III \quad T_{cIII} = \sigma_{cIII} \cdot S_c = \frac{13,33 daN}{mm^{2.56,3mm^2}} = 750,5 daN$$

ESTADO IV (Viento moderado)

$$IV \quad T_{cIV} = \sigma_{cIV} \cdot S_c = \frac{10,11 daN}{mm^{2.56,3mm^2}} = 569,2 daN$$

ESTADO V (Temperatura media anual)

$$V \quad T_{cV} = \sigma_{cV} \cdot S_c = \frac{7,6 daN}{mm^{2.56,3mm^2}} = 427,9 daN$$

Tabla de tendido para el conductor de fase

La tabla de tendido se confecciona aplicando la ecuación de estado con solamente los cambios de temperatura (puede ser con saltos de a 2 o 5°C). Esta se realiza para cada tramo entre retenciones de línea.

El cálculo se lleva a cabo mediante la utilización del software **Mathcad**

Temperaturas:

Rango de temperaturas probables durante el tendido

$$i := 1..21$$
$$t_{f_i} := (i \cdot 2 - 2)$$

$$t_f^T = (0 \ 2 \ 4 \ 6 \ 8 \ 10 \ 12 \ 14 \ 16 \ 18 \ 20 \ 22 \ 24 \ 26 \ 28 \ 30 \ 32 \ 34 \ 36 \ 38 \ 40) \text{ (}^\circ\text{C)}$$

Ecuación de Estado para el conductor de fase:

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

Sus coeficientes son:

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

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:

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

Solución Real de la Ecuación de Estado:

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

Tiros

$$T_{\sigma i} = \sigma_{\sigma i} \cdot S_{\sigma}$$

Flechas:

$$F_{ci} = \frac{a^2 \cdot \frac{g_c}{s_c}}{8 \cdot \sigma_{ci}}$$

Tiempo: corresponde para 10 oscilaciones del conductor

$$Tiempo_i = \sqrt{\frac{F_{ci}}{0,308}} \cdot 10 \quad (\text{Formula empirica})$$

Tabla de Tendido para el conductor de Fase

Temperaturas	Tiros	Flecha	Tiempo osc.
°C	daN	m	seg.
0	554	0,36	10,75
2	538	0,37	10,91
4	522	0,38	11,08
6	506	0,39	11,26
8	490	0,40	11,44
10	474	0,42	11,63
12	459	0,43	11,82
14	443	0,45	12,03
16	428	0,46	12,24
18	413	0,48	12,46
20	398	0,50	12,69
22	383	0,51	12,93
24	369	0,53	13,18
26	355	0,56	13,43
28	342	0,58	13,70
30	328	0,60	13,97
32	315	0,63	14,26
34	303	0,65	14,55
36	291	0,68	14,85
38	279	0,71	15,15
40	268	0,74	15,46

Calculo mecánico del hilo de guardia (Vano 90m)

La sección del conductor seleccionado según norma IRAM 722 es 35 mm².

En el siguiente cuadro se detallan las características del conductor:

Características del hilo de guardia	
Material	Acero
Sección nominal	35
Shg	34,37 mm ²
Formación	7x1
Diámetro exterior	6,6mm
Carga de rotura (Thg)	1700 daN
Peso aproximado (P _{hg})	269 kg/km
Módulo de elasticidad (E _{hg})	20000 daN/mm ²
Coefficiente de dilatación (α _c)	11x10E-6 1/°C

Tensión de rotura

Deben establecerse distintas tensiones según los tipos de sollicitación, asociados a los respectivos estados atmosféricos.

Para los estados que provocan máximo esfuerzos la reglamentación de la AEA establece un límite del 70% de la rotura.

Se producen sollicitaciones 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 (Estado V) del 25% de acuerdo a la reglamentación de la AEA.

$$\sigma_{hg} = \frac{T_{hg}}{S_{hg}}$$

ESTADO I (Máxima temperatura)

$$I \quad \sigma_{hgl} = 70\% \frac{T_{rhg}}{S_{cg}} = \frac{0,7 \cdot 1700 \text{ daN}}{34,37 \text{ mm}^2} = 34,62 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

ESTADO II (Mínima temperatura)

$$\text{II} \quad \sigma_{hgII} = 70\% \frac{T_{rhg}}{S_{cG}} = \frac{0,7.1700 \text{ daN}}{34,37 \text{ mm}^2} = 34,62 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

ESTADO III (Máximo viento)

$$\text{III} \quad \sigma_{hgIII} = 70\% \frac{T_{rhg}}{S_{hg}} = \frac{0,7.1700 \text{ daN}}{34,37 \text{ mm}^2} = 34,62 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

ESTADO IV (Viento moderado)

$$\text{IV} \quad \sigma_{hgIV} = 70\% \frac{T_{rhg}}{S_{hg}} = \frac{0,7.1700 \text{ daN}}{34,37 \text{ mm}^2} = 34,62 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

ESTADO V (Temperatura media anual)

$$\text{V} \quad \sigma_{hgV} = 25\% \frac{T_{rhg}}{S_{hg}} = \frac{0,25.1700 \text{ daN}}{34,37 \text{ mm}^2} = 12,37 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

Acción del viento sobre el hilo de guardia

La Reglamentación de la AEA establece utilizar el viento indicado en el mapa de isocletas de la República Argentina.

Este mapa indica la velocidad de referencia, en m/s, correspondiente al promedio corresponde al promedio de velocidades máximas. Periodo de retorno de 50 años, sobre intervalos de 10 min. en exposición abierta y altura de 10 metros.

Factor que depende de la densidad del aire

El factor de densidad del aire convierte la energía cinética del movimiento del aire en presión.

$$Q = 0,0613 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Categoría de exposición: "C"

Factores en función de la exposición

$$Z_G = 274$$

$$\alpha = 7,5$$

$$L_s = 67$$

$$K = 0,005$$

Coefficiente de presión o de forma $C_f = 1$

Altura de la línea: 11,85m

$$\text{Flecha: } 0,04 \cdot 11,85\text{m} = 0,47\text{m}$$

Altura efectiva del hilo de guardia (altura – 1/3 flecha estado V)

La altura efectiva del hilo de guardia puede ser determinada aproximadamente con la altura del punto de amarre a la estructura respecto del terreno menos un tercio la flecha del conductor para el estado de temperatura media anual.

$$Z_c = 11,85\text{m} - \frac{1}{3} \cdot 0,64\text{m} = 11,64\text{m}$$

Vano de diseño: $a = 90\text{m}$

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

$$Z_p = 1,61 \left(\frac{Z_c}{Z_G} \right)^{1/\alpha} = 1,61 \left(\frac{11,64}{274} \right)^{1/7,5} = 1,07$$

Factores para hallar el factor de ráfaga de G_w

$$E = 4,9 \cdot \sqrt{k} \cdot \left(\frac{10}{Z_c} \right)^{1/\alpha} = 4,9 \cdot \sqrt{0,005} \cdot \left(\frac{10}{11,64} \right)^{1/7,5} = 0,34$$

$$B_w = \frac{1}{1 + 0,8 \cdot \frac{\alpha}{L_s}} = \frac{1}{1 + \frac{0,8 \cdot 90}{67}} = 0,48$$

Factor de ráfaga

$$G_w = 1 + 2,7 \cdot E \cdot \sqrt{B_w} = 1 + 2,7 \cdot 0,34 \cdot \sqrt{0,48} = 1,64$$

Factor de carga (AEA) --> 0,93

Área proyectada

$$A_{hg} = a \cdot d = 90\text{m} \cdot 0,0066\text{m} = 0,59\text{m}^2$$

Angulo del viento con el eje perpendicular de la línea

$$\psi = 0^\circ$$

Fuerza del viento sobre el conductor

$$Fv_{hg} = Q(Zp.Vi)^2 . Fc . Gw . Cf . Ahg . \cos^2 \psi$$

ESTADO I (Máxima temperatura)

$$Fv_I hg = 0,0613 \frac{kg}{m^3} . (1,07,0)^{2,0,93} . 1,64 . 1 . 0,59 m^2 . 1 = 0 daN$$

ESTADO II (Mínima temperatura)

$$Fv_{II} hg = 0,0613 \frac{kg}{m^3} . (1,07,0)^{2,0,93} . 1,64 . 1 . 0,59 m^2 . 1 = 0 daN$$

ESTADO III (Máximo viento)

$$Fv_{III} hg = 0,0613 \frac{kg}{m^3} . (1,07,35)^{2,0,93} . 1,64 . 1 . 0,59 m^2 . 1 = 77,4 daN$$

ESTADO IV (Viento moderado)

$$Fv_{IV} hg = 0,0613 \frac{kg}{m^3} . (1,07,14)^{2,0,93} . 1,64 . 1 . 0,59 m^2 . 1 = 12,4 daN$$

ESTADO V (Temperatura media anual)

$$Fv_V hg = 0,0613 \frac{kg}{m^3} . (1,07,0)^{2,0,93} . 1,64 . 1 . 0,59 m^2 . 1 = 0 daN$$

Cargas específicas debidas al viento

$$Gv_i = \frac{Fv_i hg}{a . Shg}$$

ESTADO I (Máxima temperatura)

$$I \quad Gvhg_I = \frac{Fv_I hg}{a . Shg} = \frac{0 daN}{90m . 34,37mm^2} = 0 daN / m . mm^2$$

ESTADO II (Mínima temperatura)

$$II \quad Gvhg_{II} = \frac{Fv_{II} hg}{a . Shg} = \frac{0 daN}{90m . 34,37mm^2} = 0 daN / m . mm^2$$

ESTADO III (Máximo viento)

$$III \quad Gvhg_{III} = \frac{Fv_{III} hg}{a . Shg} = \frac{77,4 daN}{90m . 34,37mm^2} = 0,025 daN / m . mm^2$$

ESTADO IV (Viento moderado)

$$IV \quad Gvhg_{IV} = \frac{Fv_{IV}hg}{a \cdot Shg} = \frac{12,4 \text{ daN}}{90m \cdot 34,37mm^2} = 0,004 \text{ daN/m.mm}^2$$

ESTADO V (Temperatura media anual)

$$V \quad Gvhg_V = \frac{Fv_Vhg}{a \cdot Shg} = \frac{0 \text{ daN}}{90m \cdot 34,37mm^2} = 0 \text{ daN/m.mm}^2$$

Acción de propio peso del hilo de guarda

$$Ghg = \frac{Phg}{Shg}$$

$$Ghg = \frac{0,269 \frac{\text{daN}}{m}}{34,37mm^2} = 0,0078 \text{ daN/m.mm}^2$$

Angulo de inclinación del hilo de guarda

Al encontrarse bajo la acción del viento, el conductor no desarrolla su catenaria en un plano vertical, sino en uno inclinado que forma con el vertical un ángulo que depende de la relación existente entre el peso propio y la sobrecarga aerodinámica.

$$\theta_{hgi} = \tan^{-1} \left(\frac{Gvhgi}{Ghg} \right) \cdot \left(\frac{180}{\pi} \right)$$

ESTADO III (Máximo viento)

$$\theta_{hgiIII} = \tan^{-1} \left(\frac{Gvhg_{III}}{Ghg} \right) \cdot \left(\frac{180}{\pi} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{0,025}{0,0078} \right) \cdot \left(\frac{180}{\pi} \right) = 72,7^\circ$$

ESTADO IV (Viento moderado)

$$\theta_{hgiIV} = \tan^{-1} \left(\frac{Gvhg_{IV}}{Ghg} \right) \cdot \left(\frac{180}{\pi} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{0,004}{0,0078} \right) \cdot \left(\frac{180}{\pi} \right) = 27,1^\circ$$

Carga específica resultante

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.

$$Gkg_i = \sqrt{G_{hg}^2 + Gvkg_i}$$

ESTADO I (Máxima temperatura)

$$Gkg_I = \sqrt{0,0078^2 + 0} = 0,0078 \text{ daN/m.mm}^2$$

ESTADO II (Mínima temperatura)

$$Gkg_{II} = \sqrt{0,0078^2 + 0} = 0,0078 \text{ daN/m.mm}^2$$

ESTADO III (Máximo viento)

$$Gkg_{III} = \sqrt{0,0078^2 + 0,025^2} = 0,026 \text{ daN/m.mm}^2$$

ESTADO IV (Viento moderado)

$$Gkg_{IV} = \sqrt{0,0078^2 + 0,004^2} = 0,0088 \text{ daN/m.mm}^2$$

ESTADO V (Temperatura media anual)

$$Gkg_V = \sqrt{0,0078^2 + 0} = 0,0078 \text{ daN/m.mm}^2$$

Estado básico

Se adopta el estado 5:

$$Gkg_V = 0,0078 \text{ daN/m.mm}^2$$

$$\sigma_{hgV} = 12,37 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

$$t_V = 16^\circ\text{C}$$

Tensión en los distintos estados

La utilización de la ecuación de cambio de estado es de suma importancia para el cálculo de la línea, pues permite conocer las tensiones del conductor para cualquier estado de temperatura y viento, a partir de los datos de tensión, carga específica y temperatura de un estado tomado como punto de partida y conociendo la temperatura y carga específica del estado cuya tensión quiere determinarse.

Datos

$$E_{hg} = 20000 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

$$a_{hg} = 90\text{m}$$

$$\alpha_{hg} = 0,000011 \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$$

ESTADO I (Máxima temperatura)

$$G_{hgI} = 0,0078 \text{ daN} / \text{m} \cdot \text{mm}^2$$

$$t_I = 45^{\circ}\text{C}$$

$$\sigma_{adm_{hgI}} = 34,62 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

$$f_1(\sigma_{hgI}) = \sigma_{hgI} - \frac{\alpha_c^2 \cdot E_{hg} \cdot G_{hgI}^2}{24 \cdot \sigma_{hgI}^2}$$

$$f_2(\sigma_{hgI}) = \sigma_{adm_{hgI}} - \frac{\alpha_c^2 \cdot E_{hg} \cdot G_{hgI}^2}{24 \cdot \sigma_{adm_{hgI}}^2} + \alpha_{hg} \cdot (t_V - t_I) \cdot E_{hg}$$

Se adopta un valor inicial:

$$\sigma_{hgI} = 5 \text{ daN} / \text{m} \cdot \text{mm}^2$$

Mediante la utilización de un software matemático (MathCad), se encuentran las raíces:

$$\sigma_{hgI} = \text{root}(f_1(\sigma_{hgI}) - f_2(\sigma_{hgI}), \sigma_{hgI}) = 8,71 \text{ daN} / \text{m} \cdot \text{mm}^2$$

ESTADO II (Mínima temperatura)

$$G_{hgII} = 0,0078 \text{ daN} / \text{m} \cdot \text{mm}^2$$

$$t_{II} = -10^{\circ}\text{C}$$

$$\sigma_{adm_{hgII}} = 34,62 \frac{daN}{mm^2}$$

$$f_1(\sigma_{hgII}) = \sigma_{hgII} - \frac{a_c^2 \cdot E_{hg} \cdot G_{hgII}^2}{24 \cdot \sigma_{hgII}^2}$$

$$f_2(\sigma_{hgII}) = \sigma_{adm_{hgV}} - \frac{a_c^2 \cdot E_{hg} \cdot G_{hgV}^2}{24 \cdot \sigma_{adm_{hgV}}^2} + a_{hg} \cdot (t_V - t_{II}) \cdot E_{hg}$$

Se adopta un valor inicial:

$$\sigma_{hgII} = 5 \frac{daN}{m \cdot mm^2}$$

Mediante la utilización de un software matemático (MathCad), se encuentran las raíces:

$$\sigma_{hgII} = \text{root}(f_1(\sigma_{hgII}) - f_2(\sigma_{hgII}), \sigma_{hgII}) = 16,85 \frac{daN}{m \cdot mm^2}$$

ESTADO III (Máximo viento)

$$G_{hgIII} = 0,026 \frac{daN}{m \cdot mm^2}$$

$$t_{III} = 15^\circ C$$

$$\sigma_{adm_{hgIII}} = 34,62 \frac{daN}{mm^2}$$

$$f_1(\sigma_{hgIII}) = \sigma_{hgIII} - \frac{a_c^2 \cdot E_{hg} \cdot G_{hgIII}^2}{24 \cdot \sigma_{hgIII}^2}$$

$$f_2(\sigma_{hgIII}) = \sigma_{adm_{hgV}} - \frac{a_c^2 \cdot E_{hg} \cdot G_{hgV}^2}{24 \cdot \sigma_{adm_{hgV}}^2} + a_{hg} \cdot (t_V - t_{III}) \cdot E_{hg}$$

Se adopta un valor inicial:

$$\sigma_{hgIII} = 5 \frac{daN}{m \cdot mm^2}$$

Mediante la utilización de un software matemático (MathCad), se encuentran las raíces:

$$\sigma_{hgIII} = \text{root}(f_1(\sigma_{hgIII}) - f_2(\sigma_{hgIII}), \sigma_{hgIII}) = 20,63 \text{ daN/m.mm}^2$$

ESTADO IV (Viento moderado)

$$G_{hgIV} = 0,0088 \text{ daN/m.mm}^2$$

$$t_{IV} = -5^\circ\text{C}$$

$$\sigma_{adm_{hgIV}} = 34,62 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

$$f_1(\sigma_{hgIV}) = \sigma_{hgIV} - \frac{\alpha_c^2 \cdot E_{hg} \cdot G_{hgIV}^2}{24 \cdot \sigma_{hgIV}^2}$$

$$f_2(\sigma_{hgIV}) = \sigma_{adm_{hgIV}} - \frac{\alpha_c^2 \cdot E_{hg} \cdot G_{hgIV}^2}{24 \cdot \sigma_{adm_{hgIV}}^2} + \alpha_{hg} \cdot (t_V - t_{IV}) \cdot E_{hg}$$

Se adopta un valor inicial:

$$\sigma_{hgI} = 5 \text{ daN/m.mm}^2$$

Mediante la utilización de un software matemático (MathCad), se encuentran las raíces:

$$\sigma_{hgIV} = \text{root}(f_1(\sigma_{hgIV}) - f_2(\sigma_{hgIV}), \sigma_{hgIV}) = 16,28 \text{ daN/m.mm}^2$$

ESTADO V (Temperatura media anual)

$$G_{hgIV} = 0,0078 \text{ daN/m.mm}^2$$

$$t_V = 16^\circ\text{C}$$

$$\sigma_{adm_{hgIV}} = 12,37 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{hgIV} = \sigma_{adm_{hgIV}} = 12,37 \text{ daN/m.mm}^2$$

Calculo de flechas

La medición de flecha se debe realizar en condiciones climáticas estables, es decir con poca variación de la temperatura, sin viento y sin cargas adicionales por hielo (en caso de que existiesen en la zona donde se implanta la línea). Por tal motivo vale la siguiente expresión:

ESTADO I (Máxima temperatura)

$$f_{hgl} = \frac{a^2 \cdot G_{hgl}}{8 \cdot \sigma_{hgl}} = \frac{(90m)^{2,0,0078daN}}{\frac{mm^2}{\frac{8,8,71daN}{m} \cdot mm^2}} = 0,9m$$

ESTADO II (Mínima temperatura)

$$f_{hgII} = \frac{a^2 \cdot G_{hgII}}{8 \cdot \sigma_{hgII}} = \frac{(90m)^{2,0,0078daN}}{\frac{mm^2}{\frac{8,16,85daN}{m} \cdot mm^2}} = 0,47m$$

ESTADO III (Máximo viento)

$$f_{hgIII} = \frac{a^2 \cdot G_{hgIII}}{8 \cdot \sigma_{hgIII}} = \frac{(90m)^{2,0,026daN}}{\frac{mm^2}{\frac{8,20,63daN}{m} \cdot mm^2}} = 1,27m$$

ESTADO IV (Viento moderado)

$$f_{hgIV} = \frac{a^2 \cdot G_{hgIV}}{8 \cdot \sigma_{hgIV}} = \frac{(90m)^{2,0,0088daN}}{\frac{mm^2}{\frac{8,16,28daN}{m} \cdot mm^2}} = 0,54m$$

ESTADO V (Temperatura media anual)

$$f_{hgV} = \frac{a^2 \cdot G_{hgV}}{8 \cdot \sigma_{hgV}} = \frac{(90m)^{2,0,0078daN}}{\frac{mm^2}{\frac{8,12,37daN}{m} \cdot mm^2}} = 0,64m$$

Flechas verticales

$$f_{vhgIII} = f_{hgIII} \cdot \cos\left(\theta_{hgIII} \cdot \frac{\pi}{180}\right) = 1,27m \cdot \cos\left(72,7^\circ \cdot \frac{\pi}{180}\right) = 0,38m$$

$$f_{vhgIV} = f_{hgIV} \cdot \cos\left(\theta_{hgIV} \cdot \frac{\pi}{180}\right) = 0,54m \cdot \cos\left(27,1^\circ \cdot \frac{\pi}{180}\right) = 0,48m$$

Tiro del hilo de guardia

ESTADO I (Máxima temperatura)

$$I \quad T_{hgI} = \sigma_{hgI} \cdot S_{hg} = 8,71 \text{ daN/mm}^2 \cdot 34,37\text{mm}^2 = 299,3\text{daN}$$

ESTADO II (Mínima temperatura)

$$II \quad T_{hgII} = \sigma_{hgII} \cdot S_{hg} = 16,85 \text{ daN/mm}^2 \cdot 34,37\text{mm}^2 = 579,1\text{daN}$$

ESTADO III (Máximo viento)

$$III \quad T_{hgIII} = \sigma_{hgIII} \cdot S_{hg} = 20,63 \text{ daN/mm}^2 \cdot 34,37\text{mm}^2 = 709,1\text{daN}$$

ESTADO IV (Viento moderado)

$$IV \quad T_{hgIV} = \sigma_{hgIV} \cdot S_{hg} = 16,28 \text{ daN/mm}^2 \cdot 34,37\text{mm}^2 = 559,5 \text{ daN}$$

ESTADO V (Temperatura media anual)

$$V \quad T_{hgV} = \sigma_{hgV} \cdot S_{hg} = 12,37 \text{ daN/mm}^2 \cdot 34,37\text{mm}^2 = 425,16\text{daN}$$

Tabla de tendido para el conductor de fase

La tabla de tendido se confecciona aplicando la ecuación de estado con solamente los cambios de temperatura (puede ser con saltos de a 2 o 5 °C). Esta se realiza para cada tramo entre retenciones de línea.

El cálculo se lleva a cabo mediante la utilización del software **Mathcad**

Ecuación de Estado para el hilo de guardia:

$$\sigma_{hg}^3 + A \cdot \sigma_{hg}^2 - B = 0$$

Sus coeficientes son:

$$A_1 := \frac{E_{hg}}{24} \cdot \frac{a^2 \cdot \left(\frac{g_{hg}}{s_{hg}}\right)^2}{(\sigma_{hg5})^2} + E_{hg} \cdot \alpha_{hg} \cdot (t_{f_i} - t_5) - \sigma_{hg5} \quad B_1 := \frac{E_{hg}}{24} \cdot a^2 \cdot \left(\frac{g_{hg}}{s_{hg}}\right)^2$$

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:

$$X_1 := 108 \cdot B_1 - 8 \cdot (A_1)^3 + 12 \cdot \left[(81) \cdot (B_1)^2 - 12 \cdot B_1 \cdot (A_1)^3 \right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{Paso intermedio}$$

Solución Real de la Ecuación de Estado:

$$\sigma_{hg_1} := \frac{1}{6} \cdot (X_1)^{\frac{1}{3}} + \frac{2}{3} \cdot \frac{(A_1)^2}{(X_1)^{\frac{1}{3}}} - \frac{1}{3} \cdot A_1$$

Tiros

$$T_{hgi} = \sigma_{hgi} \cdot S_{hgi}$$

Flechas:

$$F_{ci} = \frac{a^2 \cdot g_{hg}}{8 \cdot \sigma_{hgi}}$$

Tiempo: corresponde para 10 oscilaciones del conductor

$$T_{tempo_i} = \sqrt{\frac{F_{hgi}}{0,308}} \cdot 10 \quad (\text{Formula empírica})$$

Tabla de Tendido para el hilo de guardia

Temperaturas	Tiros	Flechas	Tiempo osc.
--------------	-------	---------	-------------

°C	daN	m	seg.
0	516	0,53	13,09
2	504	0,54	13,24
4	492	0,55	13,40
6	481	0,57	13,56
8	469	0,58	13,73
10	458	0,59	13,90
12	447	0,61	14,07
14	436	0,62	14,24
16	425	0,64	14,42
18	415	0,66	14,60
20	405	0,67	14,78
22	395	0,69	14,97
24	385	0,71	15,15
26	376	0,73	15,34
28	367	0,74	15,53
30	358	0,76	15,72
32	349	0,78	15,92
34	341	0,80	16,11
36	333	0,82	16,30
38	325	0,84	16,50
40	317	0,86	16,69

Calculo mecánico del conductor (Vano 70m)

El cálculo mecánico consiste en la determinación de las tensiones mecánicas que soportan y las flechas que asumen los conductores de fase y el cable de guardia.

Se calculan las tensiones mecánicas para verificar que en ningún caso, cualquiera sea la carga, se supere el límite de rotura elástica o por fatiga del conductor.

En la práctica y en base a experiencias de líneas existentes, para cada tipo de conductor y región climática, se normalizan las tensiones máximas admisibles en los conductores, para limitar las averías de las líneas eléctricas evitar el sobredimensionamiento del soporte y racionalizar los cálculos.

La flecha se calcula para que ningún caso asuma valores mayores que reduzcan la altura mínima de los conductores sobre el suelo. A igual que las tensiones, las alturas mínimas respecto al suelo se encuentran normalizadas en función de la zona que atraviesa la línea por la **AEA 95301 – Reglamentación de Líneas Aéreas Externas de MT y AT.**

La sección del conductor seleccionado según norma IRAM 2187 es 50/8 mm². En el siguiente cuadro se detallan las características del conductor:

Características del Conductor (IRAM 2187)	
Material	Aluminio - Acero
Sección nominal	50/8
Sc	50mm ²
Src	56,3mm ²
Formación	6 x 3,2mm ² + 1 x 3,2mm ²
Diámetro exterior	9,6mm
Iadm	195A
Carga de rotura (Trc)	1713 daN
Peso aproximado (Pc)	195 kg/km
Módulo de elasticidad (Ec)	8100 daN/mm ²
Coefficiente de dilatación (αc)	19,1 E-6 1/°C

Tensión de rotura

Deben establecerse distintas tensiones según los tipos de sollicitación, asociados a los respectivos estados atmosféricos.

Para los estados que provocan máximos esfuerzos la reglamentación de la AEA establece un límite del 70% de la rotura.

Se producen sollicitaciones 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 (Estado V) del 25% de acuerdo a la reglamentación de la AEA.

$$\sigma_c = \frac{T_{rc}}{S_c}$$

ESTADO I (Máxima temperatura)

$$I \quad \sigma_{cI} = 70\% \cdot \frac{T_{rc}}{S_c} = \frac{0,7 \cdot 1713 \text{ daN}}{56,3 \text{ mm}^2} = 21,3 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

ESTADO II (Mínima temperatura)

$$II \quad \sigma_{cII} = 70\% \cdot \frac{T_{rc}}{S_c} = \frac{0,7 \cdot 1713 \text{ daN}}{56,3 \text{ mm}^2} = 21,3 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

ESTADO III (Máximo viento)

$$\text{III} \quad \sigma_{cIII} = 70\% \frac{T_{rc}}{S_{rc}} = \frac{0,7.1713 \text{ daN}}{56,3 \text{ mm}^2} = 21,3 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

ESTADO IV (Viento moderado)

$$\text{IV} \quad \sigma_{cIV} = 70\% \frac{T_{rc}}{S_{rc}} = \frac{0,7.1713 \text{ daN}}{56,3 \text{ mm}^2} = 21,3 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

ESTADO V (Temperatura media anual)

$$\text{V} \quad \sigma_{cV} = 25\% \frac{T_{rc}}{S_{rc}} = \frac{0,25.1713 \text{ daN}}{56,3 \text{ mm}^2} = 7,6 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

Acción del viento sobre el conductor

La Reglamentación de la AEA establece utilizar el viento indicado en el mapa de isocletas de la República Argentina.

Este mapa indica la velocidad de referencia, en m/s, correspondiente al promedio corresponde al promedio de velocidades máximas. Periodo de retorno de 50 años, sobre intervalos de 10 min. en exposición abierta y altura de 10 metros.

Factor que depende de la densidad del aire

El factor de densidad del aire convierte la energía cinética del movimiento del aire en presión.

$$Q = 0,0613 \text{ kg/m}^3$$

Categoría de exposición: "C"

Factores en función de la exposición

$$Z_G = 274$$

$$\alpha = 7,5$$

$$L_s = 67$$

$$K = 0,005$$

Coeficiente de presión o de forma $C_f = 1$

Altura de la línea: 9m

Altura efectiva del conductor medio (altura – 1/3 flecha estado V)

La altura efectiva del conductor puede ser determinada aproximadamente con la altura del punto de amarre a la estructura respecto del terreno menos un tercio la flecha del conductor para el estado de temperatura media anual.

$$Z_c = 9 - \frac{1}{3,0,28} = 9m$$

Vano de diseño: $a = 70m$

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

$$Z_p = 1,61 \left(\frac{Z_c}{Z_c} \right)^{1/\alpha} = 1,61 \left(\frac{9m}{274} \right)^{1/7,5} = 1,02$$

Factores para hallar el factor de ráfaga de Gw

$$E = 4,9 \cdot \sqrt{k} \cdot \left(\frac{10}{Z_c} \right)^{1/\alpha} = 4,9 \cdot \sqrt{0,005} \cdot \left(\frac{10}{9} \right)^{1/7,5} = 0,35$$

$$B_w = \frac{1}{1 + 0,8 \cdot \frac{a}{L_s}} = \frac{1}{1 + \frac{0,8 \cdot 70m}{67}} = 0,54$$

Factor de ráfaga

$$G_w = 1 + 2,7 \cdot E \cdot \sqrt{B_w} = 1 + 2,7 \cdot 0,35 \cdot \sqrt{0,54} = 1,69$$

Factor de carga (AEA) --> 0,93

Área proyectada

$$A_c = a \cdot d = 70m \cdot 0,0096m = 0,67m^2$$

Angulo del viento con el eje perpendicular de la línea

$$\psi = 0^\circ$$

Fuerza del viento sobre el conductor

$$F_{v_c} = Q(Z_p, V_i)^2 \cdot F_c \cdot G_w \cdot C_f \cdot A_c \cdot \cos^2 \psi$$

ESTADO I (Máxima temperatura)

$$I \quad F_{v_{Ic}} = 0,0613(1,02 \cdot 0)^{2 \cdot 0,93 \cdot 1,69 \cdot 1 \cdot 0,67 \cdot 1} = 0 \text{ daN}$$

ESTADO II (Mínima temperatura)

$$II \quad F_{v_{IIc}} = 0,0613(1,02 \cdot 0)^{2 \cdot 0,93 \cdot 1,69 \cdot 1 \cdot 0,67 \cdot 1} = 0 \text{ daN}$$

ESTADO III (Máximo viento)

$$\text{III} \quad F_{v_{III}c} = 0,0613(1,02,35)^{2,0,93,1,69,1,0,67,1} = 82,3 \text{ daN}$$

ESTADO IV (Viento moderado)

$$\text{IV} \quad F_{v_{IV}c} = 0,0613(1,02,14)^{2,0,93,1,69,1,0,67,1} = 13,2 \text{ daN}$$

ESTADO V (Temperatura media anual)

$$\text{V} \quad F_{v_{V}c} = 0,0613(1,02,0)^{2,0,93,1,69,1,0,67,1} = 0 \text{ daN}$$

Cargas específicas debidas al viento

$$Gv_i = \frac{Fv_i \cdot c}{a \cdot Sc}$$

ESTADO I (Máxima temperatura)

$$\text{I} \quad Gv_I = \frac{Fv_I c}{a \cdot Sc} = \frac{0 \text{ daN}}{70 \text{ m} \cdot 56,3 \text{ mm}^2} = 0 \text{ daN/m} \cdot \text{mm}^2$$

ESTADO II (Mínima temperatura)

$$\text{II} \quad Gv_{II} = \frac{Fv_{II}c}{a \cdot Sc} = \frac{0 \text{ daN}}{70 \text{ m} \cdot 56,3 \text{ mm}^2} = 0 \text{ daN/m} \cdot \text{mm}^2$$

ESTADO III (Máximo viento)

$$\text{III} \quad Gv_{III} = \frac{Fv_{III}c}{a \cdot Sc} = \frac{82,3 \text{ daN}}{70 \text{ m} \cdot 56,3 \text{ mm}^2} = 0,021 \text{ daN/m} \cdot \text{mm}^2$$

ESTADO IV (Viento moderado)

$$\text{IV} \quad Gv_{IV} = \frac{Fv_{IV}c}{a \cdot Sc} = \frac{13,2 \text{ daN}}{70 \text{ m} \cdot 56,3 \text{ mm}^2} = 0,0033 \text{ daN/m} \cdot \text{mm}^2$$

ESTADO V (Temperatura media anual)

$$\text{V} \quad Gv_V = \frac{Fv_V c}{a \cdot Sc} = \frac{0 \text{ daN}}{70 \text{ m} \cdot 56,3 \text{ mm}^2} = 0 \text{ daN/m} \cdot \text{mm}^2$$

Acción del peso del propio conductor

$$G_c = \frac{P_c}{S_c} = \frac{0,195 \frac{daN}{m}}{56,3 mm^2} = 0,0035 \frac{daN}{m \cdot mm^2}$$

Angulo de inclinación del conductor

Al encontrarse bajo la acción del viento, el conductor no desarrolla su catenaria en un plano vertical, sino en uno inclinado que forma con el vertical un ángulo que depende de la relación existente entre el peso propio y la sobrecarga aerodinámica.

$$\theta_{ci} = \tan^{-1} \left(\frac{G_{vc_i}}{G_c} \right) \cdot \left(\frac{180}{\pi} \right)$$

ESTADO III (Máximo viento)

$$\theta_{cIII} = \tan^{-1} \left(\frac{G_{vcIII}}{G_c} \right) \cdot \left(\frac{180}{\pi} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{0,021}{0,0035} \right) \cdot \left(\frac{180}{\pi} \right) = 80,5^\circ$$

ESTADO IV (Viento moderado)

$$\theta_{cIV} = \tan^{-1} \left(\frac{G_{vcIV}}{G_c} \right) \cdot \left(\frac{180}{\pi} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{0,0033}{0,0035} \right) \cdot \left(\frac{180}{\pi} \right) = 43,3^\circ$$

Carga específica resultante

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.

$$G_{c_i} = \sqrt{G_c^2 + G_{vc_i}}$$

ESTADO I (Máxima temperatura)

$$G_{c_I} = \sqrt{0,0035^2 + 0} = 0,0035 \frac{daN}{m \cdot mm^2}$$

ESTADO II (Mínima temperatura)

$$\text{II} \quad G_{CII} = \frac{(\sqrt{0,0035^2 + 0}) daN}{m} \cdot mm^2 = 0,0035 daN/m \cdot mm^2$$

ESTADO III (Máximo viento)

$$\text{III} \quad G_{CIII} = \frac{(\sqrt{0,0035^2 + 0,021^2}) daN}{m} \cdot mm^2 = 0,021 daN/m \cdot mm^2$$

ESTADO IV (Viento moderado)

$$\text{IV} \quad G_{CIV} = \frac{(\sqrt{(0,0035^2 + 0,0033^2)}) daN}{m} \cdot mm^2 = 0,0048 daN/m \cdot mm^2$$

ESTADO V (Temperatura media anual)

$$\text{V} \quad G_{CV} = \sqrt{0,0035^2 + 0} = 0,0035 daN/m \cdot mm^2$$

Calculo vano crítico

Al realizarse el cálculo, habrá un estado atmosférico (temperaturas y cargas) que para el conductor sea más desfavorable en el sentido de someterlo a la tensión más elevada, tomando ese estado como punto de partida puede calcularse las tensiones en cualquier otro estado, con la seguridad de obtener menores valores al máximo establecido.

$$acr_{II-III} = \sqrt{\left[\alpha_c (t_2 - t_3) + \frac{(\sigma_{C2} - \sigma_{Ca})}{Ec} \right] \cdot \frac{24}{\left(\frac{G_{C2}}{\sigma_{C2}}\right)^2 - \left(\frac{G_{Ca}}{\sigma_{Ca}}\right)^2}}$$

$$acr_{II-III} = \sqrt{\left[19,1E - 6 \cdot (-10 - 15) + \frac{(0)}{Ec} \right] \cdot \frac{24}{\left(\frac{0,0035}{21,3}\right)^2 - \left(\frac{0,021}{21,3}\right)^2}}$$

$$acr_{II-III} = 110,1m$$

$$acr_{II-IV} = \sqrt{\left[19,1E - 6 \cdot (-10 + 5) + 0 \right] \cdot \frac{24}{\left(\frac{0,0035}{21,3}\right)^2 - \left(\frac{0,0048}{21,3}\right)^2}}$$

$$acr_{II-IV} = 310,4m$$

$$acr_{II-V} = \sqrt{\left[19,1E - 6 \cdot (-10 - 16) + \frac{(21,3 - 7,6)}{8100} \right] \cdot \frac{24}{\left(\frac{0,0035}{21,3}\right)^2 - \left(\frac{0,0035}{7,6}\right)^2}} = i 393m$$

$$acr_{III-V} = \sqrt{\left[19,1E - 6 \cdot (15 - 16) + \frac{(21,3 - 7,6)}{8100}\right] \cdot \frac{24}{\left(\frac{0,021}{21,3}\right)^2 - \left(\frac{0,0035}{7,6}\right)^2}}$$

$$acr_{III-V} = 230m$$

$$acr_{IV-V} = \sqrt{\left[19,1E - 6 \cdot (5 - 16) + \frac{(21,3 - 7,6)}{8100}\right] \cdot \frac{24}{\left(\frac{0,0048}{21,3}\right)^2 - \left(\frac{0,0035}{7,6}\right)^2}}$$

$$acr_{IV-V} = i 468m$$

Compensación $\frac{G}{\sigma}$

$$\frac{Gc_2}{\sigma c_2} = \frac{0,0035}{21,3} = 1,64E - 4$$

$$\frac{Gc_3}{\sigma c_3} = \frac{0,021}{21,3} = 9,86E - 4$$

$$\frac{Gc_4}{\sigma c_4} = \frac{0,0048}{21,3} = 2,25E - 4$$

$$\frac{Gc_5}{\sigma c_5} = \frac{0,0035}{7,6} = 4,6E - 4$$

Se adopta el estado básico "5"

Tensión en los distintos estados

La utilización de la ecuación de cambio de estado es de suma importancia para el cálculo de la línea, pues permite conocer las tensiones del conductor para cualquier estado de temperatura y viento, a partir de los datos de tensión, carga específica y temperatura de un estado tomado como punto de partida y conociendo la temperatura y carga específica del estado cuya tensión quiere determinarse.

Datos

$$E_c = 8100 \frac{daN}{mm^2}$$

$$a_c = 70m$$

$$\alpha_c = 0,000019 \text{ } ^1/^\circ C$$

ESTADO I (Máxima temperatura)

$$G_{cI} = 0,0035 \frac{daN}{m \cdot mm^2}$$

$$t_I = 45^\circ C$$

$$\sigma_{adm_{cI}} = 21,3 \frac{daN}{mm^2}$$

$$f_1(\sigma_{cI}) = \sigma_{cI} - \frac{\alpha_c^2 \cdot E_c \cdot G_{cI}^2}{24 \cdot \sigma_{cI}^2}$$

$$f_2(\sigma_{cI}) = \sigma_{adm_{cV}} - \frac{\alpha_c^2 \cdot E_c \cdot G_{cV}^2}{24 \cdot \sigma_{adm_{cV}}^2} + \alpha_c \cdot (t_V - t_I) \cdot E_c$$

Se adopta un valor inicial:

$$\sigma_{cI} = 5 \frac{daN}{m \cdot mm^2}$$

Mediante la utilización de un software matemático (MathCad), se encuentran las raíces:

$$\sigma_{cI} = \text{root}(f_1(\sigma_{cI}) - f_2(\sigma_{cI}), \sigma_{cI}) = 4,02 \frac{daN}{m \cdot mm^2}$$

ESTADO II (Mínima temperatura)

$$G_{cII} = 0,0035 \frac{daN}{m \cdot mm^2}$$

$$t_{II} = -10^\circ C$$

$$\sigma_{adm_{cII}} = 21,3 \frac{daN}{mm^2}$$

$$f_1(\sigma_{cII}) = \sigma_{cII} - \frac{\alpha_c^2 \cdot E_c \cdot G_{cII}^2}{24 \cdot \sigma_{cII}^2}$$

$$f_2(\sigma_{cII}) = \sigma_{adm_{cV}} - \frac{\alpha_c^2 \cdot E_c \cdot G_{cV}^2}{24 \cdot \sigma_{adm_{cV}}^2} + \alpha_c \cdot (t_V - t_{II}) \cdot E_c$$

Se adopta un valor inicial:

$$\sigma_{cII} = 5 \frac{daN}{m \cdot mm^2}$$

Mediante la utilización de un software matemático (MathCad), se encuentran las raíces:

$$\sigma_{cII} = \text{root}(f_1(\sigma_{cII}) - f_2(\sigma_{cII}), \sigma_{cII}) = 11,43 \text{ daN/m.mm}^2$$

ESTADO III (Máximo viento)

$$G_{cIII} = 0,021 \text{ daN/m.mm}^2$$

$$t_{III} = 15^\circ\text{C}$$

$$\sigma_{adm_{cIII}} = 21,3 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

$$f_1(\sigma_{cIII}) = \sigma_{cIII} - \frac{\alpha_c^2 \cdot E_c \cdot G_{cIII}^2}{24 \cdot \sigma_{cIII}^2}$$

$$f_2(\sigma_{cIII}) = \sigma_{adm_{cIV}} - \frac{\alpha_c^2 \cdot E_c \cdot G_{cIV}^2}{24 \cdot \sigma_{adm_{cIV}}^2} + \alpha_c \cdot (t_V - t_{III}) \cdot E_c$$

Se adopta un valor inicial:

$$\sigma_{cIII} = 5 \text{ daN/m.mm}^2$$

Mediante la utilización de un software matemático (MathCad), se encuentran las raíces:

$$\sigma_{cIII} = \text{root}(f_1(\sigma_{cIII}) - f_2(\sigma_{cIII}), \sigma_{cIII}) = 12,26 \text{ daN/m.mm}^2$$

ESTADO IV (Viento moderado)

$$G_{cIV} = 0,0048 \text{ daN/m.mm}^2$$

$$t_{IV} = -5^\circ\text{C}$$

$$\sigma_{adm_{cIV}} = 21,3 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

$$f_1(\sigma_{cIV}) = \sigma_{cIV} - \frac{\alpha_c^2 \cdot E_c \cdot G_{cIV}^2}{24 \cdot \sigma_{cIV}^2}$$

$$f_2(\sigma_{cIV}) = \sigma_{adm_{cIV}} - \frac{\alpha_c^2 \cdot E_c \cdot G_{cIV}^2}{24 \cdot \sigma_{adm_{cIV}}^2} + \alpha_c \cdot (t_V - t_{IV}) \cdot E_c$$

Se adopta un valor inicial:

$$\sigma_{cIV} = 5 \text{ daN/m.mm}^2$$

Mediante la utilización de un software matemático (MathCad), se encuentran las raíces:

$$\sigma_{cIV} = \text{root}(f_1(\sigma_{cIV}) - f_2(\sigma_{cIV}), \sigma_{cIV}) = 10,83 \text{ daN/m.mm}^2$$

ESTADO V (Temperatura media anual)

$$G_{CV} = 0,0035 \text{ daN/m.mm}^2$$

$$t_V = 16^\circ\text{C}$$

$$\sigma_{adm_{CV}} = 7,6 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{CV} = \sigma_{adm_{CV}} = 7,6 \text{ daN/m.mm}^2$$

Calculo de flechas

La medición de flecha se debe realizar en condiciones climáticas estables, es decir con poca variación de la temperatura, sin viento y sin cargas adicionales por hielo (en caso de que existiesen en la zona donde se implanta la línea). Por tal motivo vale la siguiente expresión:

$$f_{ci} = \frac{a^2 \cdot G_{ci}}{8 \cdot \sigma_{ci}}$$

ESTADO I (Máxima temperatura)

$$f_{cI} = \frac{a^2 \cdot G_{cI}}{8 \cdot \sigma_{cI}} = \frac{(70\text{m})^2 \cdot 0,0035 \text{ daN/m.mm}^2}{8,4,2 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}} = 0,51\text{m}$$

ESTADO II (Mínima temperatura)

$$f_{cII} = \frac{a^2 \cdot G_{cII}}{8 \cdot \sigma_{cII}} = \frac{(70\text{m})^2 \cdot 0,0035 \text{ daN/m.mm}^2}{8,11,43 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}} = 0,19\text{m}$$

ESTADO III (Máximo viento)

$$f_{cIII} = \frac{a^2 \cdot G_{cIII}}{8 \cdot \sigma_{cIII}} = \frac{(70m)^{2,0,021aN}}{m} \cdot mm^2 = \frac{8,12,26 \frac{daN}{mm^2}}{mm^2} = 1,05m$$

ESTADO IV (Viento moderado)

$$f_{cIV} = \frac{a^2 \cdot G_{cIV}}{8 \cdot \sigma_{cIV}} = \frac{(70m)^{2,0,0048aN}}{m} \cdot mm^2 = \frac{8,5 \frac{daN}{mm^2}}{mm^2} = 0,59m$$

ESTADO V (Temperatura media anual)

$$f_{cV} = \frac{a^2 \cdot G_{cV}}{8 \cdot \sigma_{cV}} = \frac{(70m)^{2,0,0035aN}}{m} \cdot mm^2 = \frac{8,7,6 \frac{daN}{mm^2}}{mm^2} = 0,28m$$

Flechas verticales

$$f_{vcIII} = f_{cIII} \cdot \cos\left(\theta_{cIII} \cdot \frac{\pi}{180}\right) = 1,05m \cdot \cos\left(80,5^\circ \cdot \frac{\pi}{180}\right) = 0,17m$$

$$f_{vcIV} = f_{cIV} \cdot \cos\left(\theta_{cIV} \cdot \frac{\pi}{180}\right) = 0,59m \cdot \cos\left(43,3^\circ \cdot \frac{\pi}{180}\right) = 0,43m$$

Tiro del conductor

ESTADO I (Máxima temperatura)

$$I \quad T_{cI} = \sigma_{cI} \cdot S_c = \frac{4,2daN}{mm^{2,56,3mm^2}} = 236,5daN$$

ESTADO II (Mínima temperatura)

$$II \quad T_{cII} = \sigma_{cII} \cdot S_c = \frac{11,43aN}{mm^{2,56,3mm^2}} = 643,5daN$$

ESTADO III (Máximo viento)

$$III \quad T_{cIII} = \sigma_{cIII} \cdot S_c = \frac{12,26daN}{mm^{2,56,3mm^2}} = 690daN$$

ESTADO IV (Viento moderado)

$$IV \quad T_{cIV} = \sigma_{cIV} \cdot S_c = \frac{5daN}{mm^{2,56,3mm^2}} = 281,5 daN$$

ESTADO V (Temperatura media anual)

$$V \quad T_{cV} = \sigma_{cV} \cdot S_c = \frac{7,6daN}{mm^2 \cdot 256,3mm^2} = 427,9daN$$

Tabla de tendido para el conductor de fase

La tabla de tendido se confecciona aplicando la ecuación de estado con solamente los cambios de temperatura (puede ser con saltos de 2 o 5°C). Esta se realiza para cada tramo entre retenciones de línea.

El cálculo se lleva a cabo mediante la utilización del software **Mathcad**

Temperaturas:

Rango de temperaturas probables durante el tendido

$$i := 1..21$$

$$t_{f_i} := (i-2 - 2)$$

$$t_f^T = (0 \ 2 \ 4 \ 6 \ 8 \ 10 \ 12 \ 14 \ 16 \ 18 \ 20 \ 22 \ 24 \ 26 \ 28 \ 30 \ 32 \ 34 \ 36 \ 38 \ 40) \text{ (}^\circ\text{C)}$$

Ecuación de Estado para el conductor de fase:

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

Sus coeficientes son:

$$A_i := \frac{E_c}{24} \cdot \frac{a^2 \cdot \left(\frac{g_c}{s_c}\right)^2}{(\sigma_{c5})^2} + E_c \cdot \alpha_c \cdot (t_{f_i} - t_5) - \sigma_{c5} \quad B_i := \frac{E_c}{24} \cdot a^2 \cdot \left(\frac{g_c}{s_c}\right)^2$$

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:

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

Solución Real de la Ecuación de Estado:

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

Tiros

$$T_{ci} = \sigma_{ci} \cdot S_c$$

Flechas:

$$F_{ci} = \frac{a^2 \cdot \frac{g_c}{S_c}}{8 \cdot \sigma_{ci}}$$

Tiempo: corresponde para 10 oscilaciones del conductor

$$Tiempo_i = \sqrt{\frac{F_{ci}}{0,308}} \cdot 10 \quad (\text{Formula empirica})$$

Tabla de Tendido para el conductor de Fase

Temperaturas °C	Tiros daN	Flecha m	Tiempo osc. seg.
0	559	0,21	8,33
2	543	0,22	8,45
4	526	0,23	8,59
6	509	0,23	8,73
8	493	0,24	8,87
10	476	0,25	9,02
12	460	0,26	9,18
14	444	0,27	9,35
16	428	0,28	9,52
18	412	0,29	9,70
20	396	0,30	9,89
22	381	0,31	10,09
24	365	0,33	10,30
26	350	0,34	10,52
28	335	0,36	10,75
30	321	0,37	10,99
32	307	0,39	11,24
34	293	0,41	11,50
36	280	0,43	11,78
38	267	0,45	12,06
40	254	0,47	12,35

Calculo mecánico del hilo de guardia (Vano 70m)

La sección del conductor seleccionado según norma IRAM 722 es 35 mm².

En el siguiente cuadro se detallan las características del conductor:

Características del hilo de guardia	
Material	Acero
Sección nominal	35
Shg	34,37 mm ²
Formación	7x1
Diámetro exterior	6,6mm
Carga de rotura (Thg)	1700 daN
Peso aproximado (P _{hg})	269 kg/km
Módulo de elasticidad (E _{hg})	20000 daN/mm ²
Coefficiente de dilatación (α _c)	11x10E-6 1/°C

Tensión de rotura

Deben establecerse distintas tensiones según los tipos de sollicitación, asociados a los respectivos estados atmosféricos.

Para los estados que provocan máximo esfuerzos la reglamentación de la AEA establece un límite del 70% de la rotura.

Se producen sollicitaciones 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 (Estado V) del 25% de acuerdo a la reglamentación de la AEA.

$$\sigma_{hg} = \frac{T_{hg}}{S_{hg}}$$

ESTADO I (Máxima temperatura)

$$I \quad \sigma_{hgl} = 70\% \frac{T_{rhg}}{S_{cg}} = \frac{0,7 \cdot 1700 \text{ daN}}{34,37 \text{ mm}^2} = 34,62 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

ESTADO II (Mínima temperatura)

$$\text{II} \quad \sigma_{hgII} = 70\% \frac{T_{rhg}}{S_{cG}} = \frac{0,7.1700 \text{ daN}}{34,37 \text{ mm}^2} = 34,62 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

ESTADO III (Máximo viento)

$$\text{III} \quad \sigma_{hgIII} = 70\% \frac{T_{rhg}}{S_{hg}} = \frac{0,7.1700 \text{ daN}}{34,37 \text{ mm}^2} = 34,62 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

ESTADO IV (Viento moderado)

$$\text{IV} \quad \sigma_{hgIV} = 70\% \frac{T_{rhg}}{S_{hg}} = \frac{0,7.1700 \text{ daN}}{34,37 \text{ mm}^2} = 34,62 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

ESTADO V (Temperatura media anual)

$$\text{V} \quad \sigma_{hgV} = 25\% \frac{T_{rhg}}{S_{hg}} = \frac{0,25.1700 \text{ daN}}{34,37 \text{ mm}^2} = 12,37 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

Acción del viento sobre el hilo de guardia

La Reglamentación de la AEA establece utilizar el viento indicado en el mapa de isocletas de la República Argentina.

Este mapa indica la velocidad de referencia, en m/s, correspondiente al promedio corresponde al promedio de velocidades máximas. Periodo de retorno de 50 años, sobre intervalos de 10 min. en exposición abierta y altura de 10 metros.

Factor que depende de la densidad del aire

El factor de densidad del aire convierte la energía cinética del movimiento del aire en presión.

$$Q = 0,0613 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Categoría de exposición: "C"

Factores en función de la exposición

$$Z_G = 274$$

$$\alpha = 7,5$$

$$L_s = 67$$

$$K = 0,005$$

Coefficiente de presión o de forma $C_f = 1$

Altura de la línea: 11,85m

$$\text{Flecha: } 0,04 \cdot 11,85\text{m} = 0,47\text{m}$$

Altura efectiva del hilo de guardia (altura – 1/3 flecha estado V)

La altura efectiva del hilo de guardia puede ser determinada aproximadamente con la altura del punto de amarre a la estructura respecto del terreno menos un tercio la flecha del conductor para el estado de temperatura media anual.

$$Z_c = 11,85\text{m} - \frac{1}{3} \cdot 0,39\text{m} = 11,72\text{m}$$

Vano de diseño: $a = 90\text{m}$

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

$$Z_p = 1,61 \left(\frac{Z_c}{Z_g} \right)^{1/\alpha} = 1,61 \left(\frac{11,72}{274} \right)^{1/7,5} = 1,07$$

Factores para hallar el factor de ráfaga de G_w

$$E = 4,9 \cdot \sqrt{k} \cdot \left(\frac{10}{Z_c} \right)^{1/\alpha} = 4,9 \cdot \sqrt{0,005} \cdot \left(\frac{10}{11,72} \right)^{1/7,5} = 0,34$$

$$B_w = \frac{1}{1 + 0,8 \cdot \frac{a}{L_s}} = \frac{1}{1 + \frac{0,8 \cdot 90}{67}} = 0,54$$

Factor de ráfaga

$$G_w = 1 + 2,7 \cdot E \cdot \sqrt{B_w} = 1 + 2,7 \cdot 0,34 \cdot \sqrt{0,54} = 1,68$$

Factor de carga (AEA) --> 0,93

Área proyectada

$$A_{hg} = a \cdot d = 70m \cdot 0,0066m = 0,46m^2$$

Angulo del viento con el eje perpendicular de la línea

$$\psi = 0^\circ$$

Fuerza del viento sobre el conductor

$$Fv_{hg} = Q(Zp \cdot Vi)^2 \cdot Fc \cdot Gw \cdot Cf \cdot Ahg \cdot \cos^2 \psi$$

ESTADO I (Máxima temperatura)

$$Fv_I hg = 0,0613 \frac{kg}{m^3} \cdot (1,07 \cdot 0)^{2,093} \cdot 1,68 \cdot 1 \cdot 0,46 m^2 \cdot 1 = 0 daN$$

ESTADO II (Mínima temperatura)

$$Fv_{II} hg = 0,0613 \frac{kg}{m^3} \cdot (1,07 \cdot 0)^{2,093} \cdot 1,68 \cdot 1 \cdot 0,46 m^2 \cdot 1 = 0 daN$$

ESTADO III (Máximo viento)

$$Fv_{III} hg = 0,0613 \frac{kg}{m^3} \cdot (1,07 \cdot 35)^{2,093} \cdot 1,68 \cdot 1 \cdot 0,46 m^2 \cdot 1 = 61,8 daN$$

ESTADO IV (Viento moderado)

$$Fv_{IV} hg = 0,0613 \frac{kg}{m^3} \cdot (1,07 \cdot 14)^{2,093} \cdot 1,68 \cdot 1 \cdot 0,46 m^2 \cdot 1 = 9,9 daN$$

ESTADO V (Temperatura media anual)

$$Fv_V hg = 0,0613 \frac{kg}{m^3} \cdot (1,07 \cdot 0)^{2,093} \cdot 1,68 \cdot 1 \cdot 0,6 m^2 \cdot 1 = 0 daN$$

Cargas específicas debidas al viento

$$Gv_i = \frac{Fv_i hg}{a \cdot Shg}$$

ESTADO I (Máxima temperatura)

$$Gv_{hg_i} = \frac{Fv_i hg}{a \cdot Shg} = \frac{0 daN}{70m \cdot 34,37mm^2} = 0 daN / m \cdot mm^2$$

ESTADO II (Mínima temperatura)

$$\text{II} \quad Gv_{hgII} = \frac{Fv_{II}hg}{a \cdot Shg} = \frac{0 \text{ daN}}{70m \cdot 34,37mm^2} = 0 \text{ daN/m} \cdot mm^2$$

ESTADO III (Máximo viento)

$$\text{III} \quad Gv_{hgIII} = \frac{Fv_{III}hg}{a \cdot Shg} = \frac{61,8 \text{ daN}}{70m \cdot 34,37mm^2} = 0,026 \text{ daN/m} \cdot mm^2$$

ESTADO IV (Viento moderado)

$$\text{IV} \quad Gv_{hgIV} = \frac{Fv_{IV}hg}{a \cdot Shg} = \frac{9,9 \text{ daN}}{70m \cdot 34,37mm^2} = 0,0041 \text{ daN/m} \cdot mm^2$$

ESTADO V (Temperatura media anual)

$$\text{V} \quad Gv_{hgV} = \frac{Fv_Vhg}{a \cdot Shg} = \frac{0 \text{ daN}}{70m \cdot 34,37mm^2} = 0 \text{ daN/m} \cdot mm^2$$

Acción de propio peso del hilo de guarda

$$Ghg = \frac{Phg}{Shg}$$

$$Ghg = \frac{0,269 \frac{\text{daN}}{m}}{34,37mm^2} = 0,0078 \text{ daN/m} \cdot mm^2$$

Angulo de inclinación del hilo de guarda

Al encontrarse bajo la acción del viento, el conductor no desarrolla su catenaria en un plano vertical, sino en uno inclinado que forma con el vertical un ángulo que depende de la relación existente entre el peso propio y la sobrecarga aerodinámica.

$$\theta_{hgI} = \tan^{-1} \left(\frac{Gv_{hgI}}{Ghg} \right) \cdot \left(\frac{180}{\pi} \right)$$

ESTADO III (Máximo viento)

$$\theta_{hgIII} = \tan^{-1} \left(\frac{Gv_{hgIII}}{Ghg} \right) \cdot \left(\frac{180}{\pi} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{0,026}{0,0078} \right) \cdot \left(\frac{180}{\pi} \right) = 73,3^\circ$$

ESTADO IV (Viento moderado)

$$\theta_{hgIV} = \tan^{-1} \left(\frac{Gvkg_{IV}}{Ghg} \right) \cdot \left(\frac{180}{\pi} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{0,0041}{0,0078} \right) \cdot \left(\frac{180}{\pi} \right) = 27,7^\circ$$

Carga específica resultante

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.

$$Ghg_i = \sqrt{G_{hg}^2 + Gvkg_i}$$

ESTADO I (Máxima temperatura)

$$Ghg_I = \sqrt{0,0078^2 + 0} = 0,0078 \text{ daN/m.mm}^2$$

ESTADO II (Mínima temperatura)

$$Ghg_{II} = \sqrt{0,0078^2 + 0} = 0,0078 \text{ daN/m.mm}^2$$

ESTADO III (Máximo viento)

$$Ghg_{III} = \sqrt{0,0078^2 + 0,026^2} = 0,027 \text{ daN/m.mm}^2$$

ESTADO IV (Viento moderado)

$$Ghg_{IV} = \sqrt{0,0078^2 + 0,0041^2} = 0,0088 \text{ daN/m.mm}^2$$

ESTADO V (Temperatura media anual)

$$Ghg_V = \sqrt{0,0078^2 + 0} = 0,0078 \text{ daN/m.mm}^2$$

Estado básico

Se adopta el estado 5:

$$Ghg_V = 0,0078 \text{ daN/m.mm}^2$$

$$\sigma_{hgV} = 12,37 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

$$t_V = 16^\circ\text{C}$$

Tensión en los distintos estados

La utilización de la ecuación de cambio de estado es de suma importancia para el cálculo de la línea, pues permite conocer las tensiones del conductor para cualquier estado de temperatura y viento, a partir de los datos de tensión, carga específica y temperatura de un estado tomado como punto de partida y conociendo la temperatura y carga específica del estado cuya tensión quiere determinarse.

Datos

$$E_{hg} = 20000 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

$$a_{hg} = 70\text{m}$$

$$\alpha_{hg} = 0,000011 \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$$

ESTADO I (Máxima temperatura)

$$G_{hgI} = 0,0078 \frac{\text{daN}}{\text{m} \cdot \text{mm}^2}$$

$$t_I = 45^{\circ}\text{C}$$

$$\sigma_{adm_{hgI}} = 34,62 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

$$f_1(\sigma_{hgI}) = \sigma_{hgI} - \frac{\alpha_c^2 \cdot E_{hg} \cdot G_{hgI}^2}{24 \cdot \sigma_{hgI}^2}$$

$$f_2(\sigma_{hgI}) = \sigma_{adm_{hgV}} - \frac{\alpha_c^2 \cdot E_{hg} \cdot G_{hgV}^2}{24 \cdot \sigma_{adm_{hgV}}^2} + \alpha_{hg} \cdot (t_V - t_I) \cdot E_{hg}$$

Se adopta un valor inicial:

$$\sigma_{hgI} = 5 \frac{\text{daN}}{\text{m} \cdot \text{mm}^2}$$

Mediante la utilización de un software matemático (MathCad), se encuentran las raíces:

$$\sigma_{hgl} = \text{root}(f_1(\sigma_{hgl}) - f_2(\sigma_{hgl}), \sigma_{hgl}) = 8,13 \text{ daN/mm}^2$$

ESTADO II (Mínima temperatura)

$$G_{hgII} = 0,0078 \text{ daN/mm}^2$$

$$t_{II} = -10^\circ\text{C}$$

$$\sigma_{adm_{hgII}} = 34,62 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

$$f_1(\sigma_{hgII}) = \sigma_{hgII} - \frac{a_c^2 \cdot E_{hg} \cdot G_{hgII}^2}{24 \cdot \sigma_{hgII}^2}$$

$$f_2(\sigma_{hgII}) = \sigma_{adm_{hgV}} - \frac{a_c^2 \cdot E_{hg} \cdot G_{hgV}^2}{24 \cdot \sigma_{adm_{hgV}}^2} + a_{hg} \cdot (t_V - t_{II}) \cdot E_{hg}$$

Se adopta un valor inicial:

$$\sigma_{hgII} = 5 \text{ daN/mm}^2$$

Mediante la utilización de un software matemático (MathCad), se encuentran las raíces:

$$\sigma_{hgII} = \text{root}(f_1(\sigma_{hgII}) - f_2(\sigma_{hgII}), \sigma_{hgII}) = 17,29 \text{ daN/mm}^2$$

ESTADO III (Máximo viento)

$$G_{hgIII} = 0,027 \text{ daN/mm}^2$$

$$t_{III} = 15^\circ\text{C}$$

$$\sigma_{adm_{hgIII}} = 34,62 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

$$f_1(\sigma_{hgIII}) = \sigma_{hgIII} - \frac{a_c^2 \cdot E_{hg} \cdot G_{hgIII}^2}{24 \cdot \sigma_{hgIII}^2}$$

$$f_2(\sigma_{hgIII}) = \sigma_{adm_{hgV}} - \frac{\alpha_c^2 \cdot E_{hg} \cdot G_{hgV}^2}{24 \cdot \sigma_{adm_{hgV}}^2} + \alpha_{hg} \cdot (t_V - t_{III}) \cdot E_{hg}$$

Se adopta un valor inicial:

$$\sigma_{hgIII} = 5 \text{ daN/mm}^2$$

Mediante la utilización de un software matemático (MathCad), se encuentran las raíces:

$$\sigma_{hgIII} = \text{root}(f_1(\sigma_{hgIII}) - f_2(\sigma_{hgIII}), \sigma_{hgIII}) = 19,11 \text{ daN/mm}^2$$

ESTADO IV (Viento moderado)

$$G_{hgIV} = 0,0088 \text{ daN/mm}^2$$

$$t_{IV} = -5^\circ\text{C}$$

$$\sigma_{adm_{hgIV}} = 34,62 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

$$f_1(\sigma_{hgIV}) = \sigma_{hgIV} - \frac{\alpha_c^2 \cdot E_{hg} \cdot G_{hgIV}^2}{24 \cdot \sigma_{hgIV}^2}$$

$$f_2(\sigma_{hgIV}) = \sigma_{adm_{hgV}} - \frac{\alpha_c^2 \cdot E_{hg} \cdot G_{hgV}^2}{24 \cdot \sigma_{adm_{hgV}}^2} + \alpha_{hg} \cdot (t_V - t_{IV}) \cdot E_{hg}$$

Se adopta un valor inicial:

$$\sigma_{hgI} = 5 \text{ daN/mm}^2$$

Mediante la utilización de un software matemático (MathCad), se encuentran las raíces:

$$\sigma_{hgIV} = \text{root}(f_1(\sigma_{hgIV}) - f_2(\sigma_{hgIV}), \sigma_{hgIV}) = 16,52 \text{ daN/mm}^2$$

ESTADO V (Temperatura media anual)

$$G_{hgIV} = 0,0078 \frac{daN}{m \cdot mm^2}$$

$$t_V = 16^\circ C$$

$$\sigma_{adm_{hgIV}} = 12,37 \frac{daN}{mm^2}$$

$$\sigma_{hgIV} = \sigma_{adm_{hgIV}} = 12,37 \frac{daN}{m \cdot mm^2}$$

Calculo de flechas

La medición de flecha se debe realizar en condiciones climáticas estables, es decir con poca variación de la temperatura, sin viento y sin cargas adicionales por hielo (en caso de que existiesen en la zona donde se implanta la línea). Por tal motivo vale la siguiente expresión:

ESTADO I (Máxima temperatura)

$$f_{hgt} = \frac{\alpha^2 \cdot G_{hgt}}{8 \cdot \sigma_{hgt}} = \frac{(70m)^{2,00078daN}}{\frac{mm^2}{m} \cdot mm^2} = 0,59m$$

ESTADO II (Mínima temperatura)

$$f_{hgII} = \frac{\alpha^2 \cdot G_{hgII}}{8 \cdot \sigma_{hgII}} = \frac{(70m)^{2,00078daN}}{\frac{mm^2}{m} \cdot mm^2} = 0,28m$$

ESTADO III (Máximo viento)

$$f_{hgIII} = \frac{\alpha^2 \cdot G_{hgIII}}{8 \cdot \sigma_{hgIII}} = \frac{(70m)^{2,0027daN}}{\frac{mm^2}{m} \cdot mm^2} = 0,87m$$

ESTADO IV (Viento moderado)

$$f_{hgIV} = \frac{\alpha^2 \cdot G_{hgIV}}{8 \cdot \sigma_{hgIV}} = \frac{(70m)^{2,0088daN}}{\frac{mm^2}{m} \cdot mm^2} = 0,33m$$

ESTADO V (Temperatura media anual)

$$f_{hgV} = \frac{a^2 \cdot G_{hgV}}{8 \cdot \sigma_{hgV}} = \frac{(70m)^{2,00078daN}}{\frac{mm^2}{8.12,37daN} \cdot m} = 0,39m$$

Flechas verticales

$$f_{vhgIII} = f_{hgIII} \cdot \cos\left(\theta_{hgIII} \cdot \frac{\pi}{180}\right) = 0,87m \cdot \cos\left(73,3^\circ \cdot \frac{\pi}{180}\right) = 0,25m$$

$$f_{vhgIV} = f_{hgIV} \cdot \cos\left(\theta_{hgIV} \cdot \frac{\pi}{180}\right) = 0,33m \cdot \cos\left(27,7^\circ \cdot \frac{\pi}{180}\right) = 0,29m$$

Tiro del hilo de guardia

ESTADO I (Máxima temperatura)

$$I \quad T_{hgtI} = \sigma_{hgtI} \cdot S_{hg} = 8,13 \text{ daN/mm}^2 \cdot 34,37mm^2 = 279,4daN$$

ESTADO II (Mínima temperatura)

$$II \quad T_{hgtII} = \sigma_{hgtII} \cdot S_{hg} = 17,29 \text{ daN/mm}^2 \cdot 34,37mm^2 = 594,3daN$$

ESTADO III (Máximo viento)

$$III \quad T_{hgtIII} = \sigma_{hgtIII} \cdot S_{hg} = 19,11 \text{ daN/mm}^2 \cdot 34,37mm^2 = 657daN$$

ESTADO IV (Viento moderado)

$$IV \quad T_{hgtIV} = \sigma_{hgtIV} \cdot S_{hg} = 16,52 \text{ daN/mm}^2 \cdot 34,37mm^2 = 568 \text{ daN}$$

ESTADO V (Temperatura media anual)

$$V \quad T_{hgtV} = \sigma_{hgtV} \cdot S_{hg} = 12,37 \text{ daN/mm}^2 \cdot 34,37mm^2 = 425,2daN$$

Tabla de tendido para el conductor de fase

La tabla de tendido se confecciona aplicando la ecuación de estado con solamente los cambios de temperatura (puede ser con saltos de a 2 o 5 ° C). Esta se realiza para cada tramo entre retenciones de línea.

El cálculo se lleva a cabo mediante la utilización del software **Mathcad**

Ecuación de Estado para el hilo de guardia:

$$\sigma_{hg}^3 + A \cdot \sigma_{hg}^2 - B = 0$$

Sus coeficientes son:

$$A_i := \frac{E_{hg}}{24} \cdot \frac{a^2 \cdot \left(\frac{g_{hg}}{s_{hg}}\right)^2}{\left(\sigma_{hg5}\right)^2} + E_{hg} \cdot \alpha_{hg} \cdot (t_{fi} - t_5) - \sigma_{hg5} \quad B_i := \frac{E_{hg}}{24} \cdot a^2 \cdot \left(\frac{g_{hg}}{s_{hg}}\right)^2$$

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:

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

Solución Real de la Ecuación de Estado:

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

Tiros

$$T_{hgi} = \sigma_{hgi} \cdot S_{hg}$$

Flechas:

$$F_{ci} = \frac{a^2 \cdot \frac{g_{hg}}{s_{hg}}}{8 \cdot \sigma_{hgi}}$$

Tiempo: corresponde para 10 oscilaciones del conductor

$$Tiempo_i = \sqrt{\frac{F_{hgi}}{0,308}} \cdot 10 \text{ (Formula empirica)}$$

Tabla de Tendido para el hilo de guardia			
Temperaturas	Tiros	Flechas	Tiempo osc.
°C	daN	m	seg.
0	527	0,31	10,08
2	513	0,32	10,21
4	500	0,33	10,34
6	487	0,34	10,48
8	475	0,35	10,62
10	462	0,36	10,76
12	449	0,37	10,91
14	437	0,38	11,06
16	425	0,39	11,22
18	413	0,40	11,38
20	402	0,41	11,54
22	390	0,42	11,71
24	379	0,43	11,88
26	368	0,45	12,05
28	358	0,46	12,23
30	347	0,47	12,41
32	337	0,49	12,59
34	328	0,50	12,78
36	318	0,52	12,97
38	309	0,53	13,16
40	300	0,55	13,35

Calculo mecánico del conductor (Vano 100m)

El cálculo mecánico consiste en la determinación de las tensiones mecánicas que soportan y las flechas que asumen los conductores de fase y el cable de guardia.

Se calculan las tensiones mecánicas para verificar que en ningún caso, cualquiera sea la carga, se supere el límite de rotura elástica o por fatiga del conductor.

En la práctica y en base a experiencias de líneas existentes, para cada tipo de conductor y región climática, se normalizan las tensiones máximas admisibles en los conductores, para limitar las averías de las líneas eléctricas evitar el sobredimensionamiento del soporte y racionalizar los cálculos.

La flecha se calcula para que ningún caso asuma valores mayores que reduzcan la altura mínima de los conductores sobre el suelo. A igual que las tensiones, las alturas mínimas respecto al suelo se encuentran normalizadas en función de la zona que atraviesa la línea por la **AEA 95301 – Reglamentación de Líneas Aéreas Externas de MT y AT.**

La sección del conductor seleccionado según norma IRAM 2187 es 50/8 mm². En el siguiente cuadro se detallan las características del conductor:

Características del Conductor	
Material	Aluminio - Acero
Sección nominal	50/8
Sc	50mm ²
Src	56,3mm ²
Formación	6 x 3,2mm ² + 1 x 3,2mm ²
Diámetro exterior	9,6mm
ladm	195A
Carga de rotura (Trc)	1713 daN
Peso aproximado (Pc)	195 kg/km
Módulo de elasticidad (Ec)	8100 daN/mm ²
Coefficiente de dilatación (α_c)	19,1 E-6 1/°C

Tensión de rotura

Deben establecerse distintas tensiones según los tipos de sollicitación, asociados a los respectivos estados atmosféricos.

Para los estados que provocan máximos esfuerzos la reglamentación de la AEA establece un límite del 70% de la rotura.

Se producen sollicitaciones 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 (Estado V) del 25% de acuerdo a la reglamentación de la AEA.

$$\sigma_c = \frac{T_{rc}}{S_{rc}}$$

ESTADO I (Máxima temperatura)

$$I \quad \sigma_{cI} = 70\% \cdot \frac{T_{rc}}{S_{rc}} = \frac{0,7 \cdot 1713 \text{ daN}}{56,3 \text{ mm}^2} = 21,3 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

ESTADO II (Mínima temperatura)

$$II \quad \sigma_{cII} = 70\% \cdot \frac{T_{rc}}{S_{rc}} = \frac{0,7 \cdot 1713 \text{ daN}}{56,3 \text{ mm}^2} = 21,3 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

ESTADO III (Máximo viento)

$$III \quad \sigma_{cIII} = 70\% \cdot \frac{T_{rc}}{S_{rc}} = \frac{0,7 \cdot 1713 \text{ daN}}{56,3 \text{ mm}^2} = 21,3 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

ESTADO IV (Viento moderado)

$$IV \quad \sigma_{CIV} = 70\% \frac{T_{rc}}{S_{rc}} = \frac{0,7.1713 \text{ daN}}{56,3 \text{ mm}^2} = 21,3 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

ESTADO V (Temperatura media anual)

$$V \quad \sigma_{CV} = 25\% \frac{T_{rc}}{S_{rc}} = \frac{0,25.1713 \text{ daN}}{56,3 \text{ mm}^2} = 8,57 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

Acción del viento sobre el conductor

La Reglamentación de la AEA establece utilizar el viento indicado en el mapa de isocletas de la República Argentina.

Este mapa indica la velocidad de referencia, en m/s, correspondiente al promedio corresponde al promedio de velocidades máximas. Periodo de retorno de 50 años, sobre intervalos de 10 min. en exposición abierta y altura de 10 metros.

Factor que depende de la densidad del aire

El factor de densidad del aire convierte la energía cinética del movimiento del aire en presión.

$$Q = 0,0613 \text{ kg/m}^3$$

Categoría de exposición: "C"

Factores en función de la exposición

$$Z_G = 274$$

$$\alpha = 7,5$$

$$L_s = 67$$

$$K = 0,005$$

Coeficiente de presión o de forma $C_f = 1$

Altura de la línea: 9m

Altura efectiva del conductor medio (altura – 1/3 flecha estado V)

La altura efectiva del conductor puede ser determinada aproximadamente con la altura del punto de amarre a la estructura respecto del terreno menos un tercio la flecha del conductor para el estado de temperatura media anual.

$$Z_c = 9 - \frac{1}{3.0,58} = 8,8m$$

Vano de diseño: a = 100m

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

$$Z_p = 1,61 \left(\frac{Z_c}{Z_G} \right)^{1/\alpha} = 1,61 \left(\frac{8,8m}{274} \right)^{1/7,5} = 1,02$$

Factores para hallar el factor de ráfaga de Gw

$$E = 4,9 \cdot \sqrt{k} \cdot \left(\frac{10}{Z_c}\right)^{1/\alpha} = 4,9 \cdot \sqrt{0,005} \cdot \left(\frac{10}{8,8}\right)^{1/7,5} = 0,35$$

$$B_w = \frac{1}{1 + 0,8 \cdot \frac{\alpha}{L_s}} = \frac{1}{1 + \frac{0,8 \cdot 100m}{67}} = 0,46$$

Factor de ráfaga

$$G_w = 1 + 2,7 \cdot E \cdot \sqrt{B_w} = 1 + 2,7 \cdot 0,35 \cdot \sqrt{0,46} = 1,64$$

Factor de carga (AEA) --> 0,93

Área proyectada

$$A_e = a \cdot d = 100m \cdot 0,0096m = 0,96m^2$$

Angulo del viento con el eje perpendicular de la línea

$$\psi = 0^\circ$$

Fuerza del viento sobre el conductor

$$F_{v_c} = Q(Z_p \cdot V_i)^2 \cdot F_c \cdot G_w \cdot C_f \cdot A_e \cdot \cos^2 \psi$$

ESTADO I (Máxima temperatura)

$$I \quad F_{v_{Ic}} = 0,0613(1,02,0)^{2 \cdot 0,93 \cdot 1,64 \cdot 10,961} = 0 \text{ daN}$$

ESTADO II (Mínima temperatura)

$$II \quad F_{v_{IIc}} = 0,0613(1,02,0)^{2 \cdot 0,93 \cdot 1,64 \cdot 10,961} = 0 \text{ daN}$$

ESTADO III (Máximo viento)

$$III \quad F_{v_{IIIc}} = 0,0613(1,02,35)^{2 \cdot 0,93 \cdot 1,64 \cdot 10,961} = 114,4 \text{ daN}$$

ESTADO IV (Viento moderado)

$$IV \quad F_{v_{IVc}} = 0,0613(1,02,14)^{2 \cdot 0,93 \cdot 1,64 \cdot 10,961} = 18,3 \text{ daN}$$

ESTADO V (Temperatura media anual)

$$V \quad F_{v_{Vc}} = 0,0613(1,02,0)^{2 \cdot 0,93 \cdot 1,64 \cdot 10,961} = 0 \text{ daN}$$

Cargas específicas debidas al viento

$$Gv_i = \frac{Fv_i \cdot c}{a \cdot Sc}$$

ESTADO I (Máxima temperatura)

$$I \quad Gv_I = \frac{Fv_I c}{a \cdot Sc} = \frac{0 \text{ daN}}{100\text{m} \cdot 56,3\text{mm}^2} = 0 \text{ daN/m} \cdot \text{mm}^2$$

ESTADO II (Mínima temperatura)

$$II \quad Gv_{II} = \frac{Fv_{II} c}{a \cdot Sc} = \frac{0 \text{ daN}}{100\text{m} \cdot 56,3\text{mm}^2} = 0 \text{ daN/m} \cdot \text{mm}^2$$

ESTADO III (Máximo viento)

$$III \quad Gv_{III} = \frac{Fv_{III} c}{a \cdot Sc} = \frac{103,1 \text{ daN}}{100\text{m} \cdot 56,3\text{mm}^2} = 0,018 \text{ daN/m} \cdot \text{mm}^2$$

ESTADO IV (Viento moderado)

$$IV \quad Gv_{IV} = \frac{Fv_{IV} c}{a \cdot Sc} = \frac{16,5 \text{ daN}}{100\text{m} \cdot 56,3\text{mm}^2} = 0,0029 \text{ daN/m} \cdot \text{mm}^2$$

ESTADO V (Temperatura media anual)

$$V \quad Gv_V = \frac{Fv_V c}{a \cdot Sc} = \frac{0 \text{ daN}}{100\text{m} \cdot 56,3\text{mm}^2} = 0 \text{ daN/m} \cdot \text{mm}^2$$

Acción del peso del propio conductor

$$Gc = \frac{Pc}{Sc} = \frac{0,195 \frac{\text{daN}}{\text{m}}}{56,3\text{mm}^2} = 0,0035 \text{ daN/m} \cdot \text{mm}^2$$

Angulo de inclinación del conductor

Al encontrarse bajo la acción del viento, el conductor no desarrolla su catenaria en un plano vertical, sino en uno inclinado que forma con el vertical un ángulo que depende de la relación existente entre el peso propio y la sobrecarga aerodinámica.

$$\theta_{Ci} = \tan^{-1} \left(\frac{Gvc_i}{Gc} \right) \cdot \left(\frac{180}{\pi} \right)$$

ESTADO III (Máximo viento)

$$\theta_{CIII} = \tan^{-1} \left(\frac{Gvc_{III}}{Gc} \right) \cdot \left(\frac{180}{\pi} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{0,018}{0,0035} \right) \cdot \left(\frac{180}{\pi} \right) = 79^\circ$$

ESTADO IV (Viento moderado)

$$\theta_{CIV} = \tan^{-1} \left(\frac{Gvc_{IV}}{Gc} \right) \cdot \left(\frac{180}{\pi} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{0,0037}{0,0035} \right) \cdot \left(\frac{180}{\pi} \right) = 46,6^\circ$$

Carga específica resultante

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.

$$Gc_i = \sqrt{G_c^2 + Gvc_i}$$

ESTADO I (Máxima temperatura)

$$Gc_I = \sqrt{0,0035^2 + 0} = 0,0035 \text{ daN/m.mm}^2$$

ESTADO II (Mínima temperatura)

$$II \quad Gc_{II} = \frac{\left(\sqrt{0,0035^2 + 0} \right) daN}{m} . mm^2 = 0,0035 \text{ daN/m.mm}^2$$

ESTADO III (Máximo viento)

$$III \quad Gc_{III} = \frac{\left(\sqrt{0,0035^2 + 0,018^2} \right) daN}{m} . mm^2 = 0,018 \text{ daN/m.mm}^2$$

ESTADO IV (Viento moderado)

$$IV \quad Gc_{IV} = \frac{\left(\sqrt{0,0035^2 + 0,0037^2} \right) daN}{m} . mm^2 = 0,0059 \text{ daN/m.mm}^2$$

ESTADO V (Temperatura media anual)

$$V \quad Gc_V = \sqrt{0,0035^2 + 0} = 0,0035 \text{ daN/m.mm}^2$$

Calculo vano crítico

Al realizarse el cálculo, habrá un estado atmosférico (temperaturas y cargas) que para el conductor sea más desfavorable en el sentido de someterlo a la tensión más elevada, tomando ese estado como punto de partida puede calcularse las tensiones en cualquier otro estado, con la seguridad de obtener menores valores al máximo establecido.

$$acr_{II-III} = \sqrt{\left[\alpha_c (t_2 - t_3) + \frac{(\sigma_{c2} - \sigma_{c3})}{Ec} \right] \cdot \frac{24}{\left(\frac{Gc_2}{\sigma_{c2}}\right)^2 - \left(\frac{Gc_3}{\sigma_{c3}}\right)^2}}$$

$$acr_{II-III} = \sqrt{\left[19,1E - 6 \cdot (-10 - 15) + \frac{(0)}{Ec} \right] \cdot \frac{24}{\left(\frac{0,0035}{21,3}\right)^2 - \left(\frac{0,018}{21,3}\right)^2}} = 129,1m$$

$$acr_{II-IV} = \sqrt{\left[19,1E - 6 \cdot (-10 + 5) + 0 \right] \cdot \frac{24}{\left(\frac{0,0035}{21,3}\right)^2 - \left(\frac{0,0059}{21,3}\right)^2}} = 331,6m$$

$$acr_{II-V} = \sqrt{\left[19,1E - 6 \cdot (-10 - 16) + \frac{(21,3 - 7,6)}{8100} \right] \cdot \frac{24}{\left(\frac{0,0035}{21,3}\right)^2 - \left(\frac{0,0035}{7,6}\right)^2}} = 393,6m$$

$$acr_{III-V} = \sqrt{\left[19,1E - 6 \cdot (15 - 16) + \frac{(21,3 - 7,6)}{8100} \right] \cdot \frac{24}{\left(\frac{0,018}{21,3}\right)^2 - \left(\frac{0,0035}{7,6}\right)^2}} = 282,7m$$

$$acr_{IV-V} = \sqrt{\left[19,1E - 6 \cdot (5 - 16) + \frac{(21,3 - 7,6)}{8100} \right] \cdot \frac{24}{\left(\frac{0,0059}{21,3}\right)^2 - \left(\frac{0,0035}{7,6}\right)^2}} = 455,91m$$

Compensación $\frac{G}{\sigma}$

$$\frac{Gc_2}{\sigma_{c_2}} = \frac{0,0035}{21,3} = 1,64E - 4$$

$$\frac{Gc_3}{\sigma_{c_3}} = \frac{0,018}{21,3} = 8,45E - 4$$

$$\frac{Gc_4}{\sigma_{c_4}} = \frac{0,0059}{21,3} = 2,77E - 4$$

$$\frac{Gc_5}{\sigma_{c_5}} = \frac{0,0035}{7,6} = 4,6E - 4$$

Se adopta el estado básico "5"

Tensión en los distintos estados

La utilización de la ecuación de cambio de estado es de suma importancia para el cálculo de la línea, pues permite conocer las tensiones del conductor para cualquier estado de temperatura y viento, a partir de los datos de tensión, carga específica y temperatura de un estado tomado como punto de partida y conociendo la temperatura y carga específica del estado cuya tensión quiere determinarse.

Datos

$$E_c = 8100 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

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

$$\alpha_c = 0,000019 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

ESTADO I (Máxima temperatura)

$$G_{cI} = 0,0035 \frac{\text{daN}}{\text{m} \cdot \text{mm}^2}$$

$$t_I = 45^\circ\text{C}$$

$$\sigma_{adm_{cI}} = 21,3 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

$$f_1(\sigma_{cI}) = \sigma_{cI} - \frac{\alpha_c^2 \cdot E_c \cdot G_{cI}^2}{24 \cdot \sigma_{cI}^2}$$

$$f_2(\sigma_{cI}) = \sigma_{adm_{cV}} - \frac{\alpha_c^2 \cdot E_c \cdot G_{cV}^2}{24 \cdot \sigma_{adm_{cV}}^2} + \alpha_c \cdot (t_V - t_I) \cdot E_c$$

Se adopta un valor inicial:

$$\sigma_{cI} = 5 \frac{\text{daN}}{\text{m} \cdot \text{mm}^2}$$

Mediante la utilización de un software matemático (MathCad), se encuentran las raíces:

$$\sigma_{cI} = \text{root}(f_1(\sigma_{cI}) - f_2(\sigma_{cI}), \sigma_{cI}) = 4,47 \frac{\text{daN}}{\text{m} \cdot \text{mm}^2}$$

ESTADO II (Mínima temperatura)

$$G_{cII} = 0,0035 \frac{\text{daN}}{\text{m} \cdot \text{mm}^2}$$

$$t_{II} = -10^{\circ}\text{C}$$

$$\sigma_{adm_{cII}} = 21,3 \frac{daN}{mm^2}$$

$$f_1(\sigma_{cII}) = \sigma_{cII} - \frac{\alpha_c^2 \cdot E_c \cdot G_{cII}^2}{24 \cdot \sigma_{cII}^2}$$

$$f_2(\sigma_{cII}) = \sigma_{adm_{cV}} - \frac{\alpha_c^2 \cdot E_c \cdot G_{cV}^2}{24 \cdot \sigma_{adm_{cV}}^2} + \alpha_c \cdot (t_V - t_{II}) \cdot E_c$$

Se adopta un valor inicial:

$$\sigma_{cII} = 5 \frac{daN}{m \cdot mm^2}$$

Mediante la utilización de un software matemático (MathCad), se encuentran las raíces:

$$\sigma_{cII} = \text{root}(f_1(\sigma_{cII}) - f_2(\sigma_{cII}), \sigma_{cII}) = 11,23 \frac{daN}{m \cdot mm^2}$$

ESTADO III (Máximo viento)

$$G_{cIII} = 0,018 \frac{daN}{m \cdot mm^2}$$

$$t_{III} = 15^{\circ}\text{C}$$

$$\sigma_{adm_{cIII}} = 21,3 \frac{daN}{mm^2}$$

$$f_1(\sigma_{cIII}) = \sigma_{cIII} - \frac{\alpha_c^2 \cdot E_c \cdot G_{cIII}^2}{24 \cdot \sigma_{cIII}^2}$$

$$f_2(\sigma_{cIII}) = \sigma_{adm_{cV}} - \frac{\alpha_c^2 \cdot E_c \cdot G_{cV}^2}{24 \cdot \sigma_{adm_{cV}}^2} + \alpha_c \cdot (t_V - t_{III}) \cdot E_c$$

Se adopta un valor inicial:

$$\sigma_{cIII} = 5 \frac{daN}{m \cdot mm^2}$$

Mediante la utilización de un software matemático (MathCad), se encuentran las raíces:

$$\sigma_{cIII} = \text{root}(f_1(\sigma_{cIII}) - f_2(\sigma_{cIII}), \sigma_{cIII}) = 13,26 \frac{daN}{m \cdot mm^2}$$

ESTADO IV (Viento moderado)

$$G_{cIV} = 0,0059 \frac{daN}{m \cdot mm^2}$$

$$t_{IV} = -5^{\circ}\text{C}$$

$$\sigma_{adm_{CIV}} = 21,3 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

$$f_1(\sigma_{cIV}) = \sigma_{cIV} - \frac{\alpha_c^2 \cdot E_c \cdot G_{cIV}^2}{24 \cdot \sigma_{cIV}^2}$$

$$f_2(\sigma_{cIV}) = \sigma_{adm_{CV}} - \frac{\alpha_c^2 \cdot E_c \cdot G_{cV}^2}{24 \cdot \sigma_{adm_{CV}}^2} + \alpha_c \cdot (t_V - t_{IV}) \cdot E_c$$

Se adopta un valor inicial:

$$\sigma_{cIV} = 5 \frac{\text{daN}}{\text{m} \cdot \text{mm}^2}$$

Mediante la utilización de un software matemático (MathCad), se encuentran las raíces:

$$\sigma_{cIV} = \text{root}(f_1(\sigma_{cIV}) - f_2(\sigma_{cIV}), \sigma_{cIV}) = 11,09 \frac{\text{daN}}{\text{m} \cdot \text{mm}^2}$$

ESTADO V (Temperatura media anual)

$$G_{cV} = 0,0035 \frac{\text{daN}}{\text{m} \cdot \text{mm}^2}$$

$$t_V = 16^{\circ}\text{C}$$

$$\sigma_{adm_{CV}} = 7,6 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{cV} = \sigma_{adm_{CV}} = 7,6 \frac{\text{daN}}{\text{m} \cdot \text{mm}^2}$$

Calculo de flechas

La medición de flecha se debe realizar en condiciones climáticas estables, es decir con poca variación de la temperatura, sin viento y sin cargas adicionales por hielo (en caso de que existiesen en la zona donde se implanta la línea). Por tal motivo vale la siguiente expresión:

$$f_{ci} = \frac{\alpha^2 \cdot G_{ci}}{8 \cdot \sigma_{ci}}$$

ESTADO I (Máxima temperatura)

$$f_{cI} = \frac{a^2 \cdot G_{cI}}{8 \cdot \sigma_{cI}} = \frac{(100m)^{2,0,0035daN}}{m} \cdot mm^2}{8,4,47 \frac{daN}{mm^2}} = 0,97m$$

ESTADO II (Mínima temperatura)

$$f_{cII} = \frac{a^2 \cdot G_{cII}}{8 \cdot \sigma_{cII}} = \frac{(100m)^{2,0,0035aN}}{m} \cdot mm^2}{8,11,23 \frac{daN}{mm^2}} = 0,39m$$

ESTADO III (Máximo viento)

$$f_{cIII} = \frac{a^2 \cdot G_{cIII}}{8 \cdot \sigma_{cIII}} = \frac{(100m)^{2,0,02aN}}{m} \cdot mm^2}{8,13,26 \frac{daN}{mm^2}} = 1,89m$$

ESTADO IV (Viento moderado)

$$f_{cIV} = \frac{a^2 \cdot G_{cIV}}{8 \cdot \sigma_{cIV}} = \frac{(100m)^{2,0,0047daN}}{m} \cdot mm^2}{8,11,09 \frac{daN}{mm^2}} = 0,53m$$

ESTADO V (Temperatura media anual)

$$f_{cV} = \frac{a^2 \cdot G_{cV}}{8 \cdot \sigma_{cV}} = \frac{(100m)^{2,0,0035aN}}{m} \cdot mm^2}{8,7,6 \frac{daN}{mm^2}} = 0,58m$$

Flechas verticales

$$f_{vcIII} = f_{cIII} \cdot \cos\left(\theta_{cIII} \cdot \frac{\pi}{180}\right) = 1,89m \cdot \cos\left(79^\circ \cdot \frac{\pi}{180}\right) = 0,36m$$

$$f_{vcIV} = f_{cIV} \cdot \cos\left(\theta_{cIV} \cdot \frac{\pi}{180}\right) = 0,53m \cdot \cos\left(46,6^\circ \cdot \frac{\pi}{180}\right) = 0,34m$$

Tiro del conductor

ESTADO I (Máxima temperatura)

$$T_{cI} = \sigma_{cI} \cdot S_c = \frac{4,47daN}{mm} \cdot 256,3mm^2 = 251,6daN$$

ESTADO II (Mínima temperatura)

$$II \quad T_{cII} = \sigma_{cII} \cdot S_c = \frac{11,23 daN}{mm^2 \cdot 2.56,3 mm^2} = 632,2 daN$$

ESTADO III (Máximo viento)

$$III \quad T_{cIII} = \sigma_{cIII} \cdot S_c = \frac{13,26 daN}{mm^2 \cdot 2.56,3 mm^2} = 746,5 daN$$

ESTADO IV (Viento moderado)

$$IV \quad T_{cIV} = \sigma_{cIV} \cdot S_c = \frac{11,09 daN}{mm^2 \cdot 2.56,3 mm^2} = 624,4 daN$$

ESTADO V (Temperatura media anual)

$$V \quad T_{cV} = \sigma_{cV} \cdot S_c = \frac{7,6 daN}{mm^2 \cdot 2.56,3 mm^2} = 427,9 daN$$

Tabla de tendido para el conductor de fase

La tabla de tendido se confecciona aplicando la ecuación de estado con solamente los cambios de temperatura (puede ser con saltos de a 2 o 5°C). Esta se realiza para cada tramo entre retenciones de línea.

El cálculo se lleva a cabo mediante la utilización del software **Mathcad**

Temperaturas:

Rango de temperaturas probables durante el tendido

$$i := 1..21$$

$$t_f^T := (i-2 - 2)$$

$$t_f^T = (0 \ 2 \ 4 \ 6 \ 8 \ 10 \ 12 \ 14 \ 16 \ 18 \ 20 \ 22 \ 24 \ 26 \ 28 \ 30 \ 32 \ 34 \ 36 \ 38 \ 40) \text{ (}^\circ\text{C)}$$

Ecuación de Estado para el conductor de fase:

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

Sus coeficientes son:

$$A_i := \frac{E_c}{24} \cdot \frac{a^2 \cdot \left(\frac{g_c}{s_c}\right)^2}{(\sigma_{c5})^2} + E_c \cdot \alpha_c \cdot (t_{f_i} - t_5) - \sigma_{c5} \quad B_i := \frac{E_c}{24} \cdot a^2 \cdot \left(\frac{g_c}{s_c}\right)^2$$

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:

$$X_1 := 108 \cdot B_i - 8 \cdot (A_i)^3 + 12 \cdot \left[(81) \cdot (B_i)^2 - 12 \cdot B_i \cdot (A_i)^3 \right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{Paso intermedio}$$

Solución Real de la Ecuación de Estado:

$$\sigma_{c_i} := \frac{1}{6} \cdot (X_1)^{\frac{1}{3}} + \frac{2}{3} \cdot \frac{(A_i)^2}{(X_1)^{\frac{1}{3}}} - \frac{1}{3} \cdot A_i$$

Tiros

$$T_{ci} = \sigma_{ci} \cdot S_c$$

Flechas:

$$F_{ci} = \frac{a^2 \cdot \frac{g_c}{s_c}}{8 \cdot \sigma_{ci}}$$

Tiempo: corresponde para 10 oscilaciones del conductor

$$Tiempo_i = \sqrt{\frac{F_{ci}}{0,308 \cdot 10}} \quad (\text{Formula empirica})$$

Tabla de Tendido para el conductor de Fase

Temperaturas °C	Tiros daN	Flecha m	Tiempo osc. seg.
0	552	0,44	11,98
2	536	0,46	12,16
4	520	0,47	12,34
6	504	0,48	12,53
8	488	0,50	12,73
10	473	0,52	12,94
12	458	0,53	13,15

14	443	0,55	13,37
16	428	0,57	13,60
18	413	0,59	13,84
20	399	0,61	14,08
22	385	0,63	14,34
24	371	0,66	14,60
26	358	0,68	14,87
28	345	0,71	15,15
30	332	0,73	15,44
32	320	0,76	15,73
34	308	0,79	16,03
36	296	0,82	16,34
38	285	0,85	16,65
40	275	0,89	16,97

Calculo mecánico del hilo de Guardia (Vano 100m)

La sección del conductor seleccionado según norma IRAM 722 es 35 mm²

En el siguiente cuadro se detallan las características del conductor:

Características del hilo de guardia	
Material	Acero
Sección nominal	35
Shg	34,37 mm ²
Formación	7x1
Diámetro exterior	6,6mm
Carga de rotura (Thg)	1700 daN
Peso aproximado (P _{hg})	269 kg/km
Módulo de elasticidad (E _{hg})	20000 daN/mm ²
Coefficiente de dilatación (α _c)	11x10E-6 1/°C

Tensión de rotura

Deben establecerse distintas tensiones según los tipos de sollicitación, asociados a los respectivos estados atmosféricos.

Para los estados que provocan máximo esfuerzos la reglamentación de la AEA establece un límite del 70% de la rotura.

Se producen sollicitaciones 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 (Estado V) del 25% de acuerdo a la reglamentación de la AEA.

$$\sigma_{hg} = \frac{T_{hg}}{S_{hg}}$$

ESTADO I (Máxima temperatura)

$$I \quad \sigma_{hgI} = 70\% \frac{T_{rhg}}{S_{cG}} = \frac{0,7.1700 \text{ daN}}{34,37 \text{ mm}^2} = 34,62 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

ESTADO II (Mínima temperatura)

$$II \quad \sigma_{hgII} = 70\% \frac{T_{rhg}}{S_{cG}} = \frac{0,7.1700 \text{ daN}}{34,37 \text{ mm}^2} = 34,62 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

ESTADO III (Máximo viento)

$$III \quad \sigma_{hgIII} = 70\% \frac{T_{rhg}}{S_{hg}} = \frac{0,7.1700 \text{ daN}}{34,37 \text{ mm}^2} = 34,62 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

ESTADO IV (Viento moderado)

$$IV \quad \sigma_{hgIV} = 70\% \frac{T_{rhg}}{S_{hg}} = \frac{0,7.1700 \text{ daN}}{34,37 \text{ mm}^2} = 34,62 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

ESTADO V (Temperatura media anual)

$$V \quad \sigma_{hgV} = 25\% \frac{T_{rhg}}{S_{hg}} = \frac{0,25.1700 \text{ daN}}{34,37 \text{ mm}^2} = 12,37 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

Acción del viento sobre el hilo de guardia

La Reglamentación de la AEA establece utilizar el viento indicado en el mapa de isocletas de la República Argentina.

Este mapa indica la velocidad de referencia, en m/s, correspondiente al promedio corresponde al promedio de velocidades máximas. Periodo de retorno de 50 años, sobre intervalos de 10 min. en exposición abierta y altura de 10 metros.

Factor que depende de la densidad del aire

El factor de densidad del aire convierte la energía cinética del movimiento del aire en presión.

$$Q = 0,0613 \text{ kg/m}^2$$

Categoría de exposición: "C"

Factores en función de la exposición

$$Z_c = 274$$

$$\alpha = 7,5$$

$$L_s = 67$$

$$K = 0,005$$

Coefficiente de presión o de forma $C_f = 1$

Altura de la línea: 11,85m

Flecha: $0,04 \cdot 11,85\text{m} = 0,47\text{m}$

Altura efectiva del hilo de guardia (altura – 1/3 flecha estado V)

La altura efectiva del hilo de guardia puede ser determinada aproximadamente con la altura del punto de amarre a la estructura respecto del terreno menos un tercio la flecha del conductor para el estado de temperatura media anual.

$$Z_c = 11,85\text{m} - \frac{1}{3} \cdot 0,79\text{m} = 11,59\text{m}$$

Vano de diseño: $a = 90\text{m}$

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

$$Z_p = 1,61 \left(\frac{Z_c}{Z_c} \right)^{1/\alpha} = 1,61 \left(\frac{11,59}{274} \right)^{1/7,5} = 1,07$$

Factores para hallar el factor de ráfaga de G_w

$$E = 4,9 \cdot \sqrt{k} \cdot \left(\frac{10}{Z_c} \right)^{1/\alpha} = 4,9 \cdot \sqrt{0,005} \cdot \left(\frac{10}{11,59} \right)^{1/7,5} = 0,34$$

$$B_w = \frac{1}{1 + 0,8 \cdot \frac{\alpha}{L_s}} = \frac{1}{1 + \frac{0,8 \cdot 100}{67}} = 0,46$$

Factor de ráfaga

$$G_w = 1 + 2,7 \cdot E \cdot \sqrt{B_w} = 1 + 2,7 \cdot 0,34 \cdot \sqrt{0,46} = 1,62$$

Factor de carga (AEA) --> 0,93

Área proyectada

$$A_{hg} = a \cdot d = 100m \cdot 0,0066m = 0,69m^2$$

Angulo del viento con el eje perpendicular de la línea

$$\psi = 0^\circ$$

Fuerza del viento sobre el conductor

$$F_{v_{hg}} = Q(Zp \cdot Vi)^2 \cdot Fc \cdot Gw \cdot Cf \cdot Ahg \cdot \cos^2 \psi$$

ESTADO I (Máxima temperatura)

$$F_{v_I hg} = 0,0613 \frac{kg}{m^3} \cdot (1,07 \cdot 0)^{2 \cdot 0,93} \cdot 1,62 \cdot 1 \cdot 0,69 m^2 \cdot 1 = 0 daN$$

ESTADO II (Mínima temperatura)

$$F_{v_{II} hg} = 0,0613 \frac{kg}{m^3} \cdot (1,07 \cdot 0)^{2 \cdot 0,93} \cdot 1,62 \cdot 1 \cdot 0,69 m^2 \cdot 1 = 0 daN$$

ESTADO III (Máximo viento)

$$F_{v_{III} hg} = 0,0613 \frac{kg}{m^3} \cdot (1,07 \cdot 35)^{2 \cdot 0,93} \cdot 1,62 \cdot 1 \cdot 0,69 m^2 \cdot 1 = 89,4 daN$$

ESTADO IV (Viento moderado)

$$F_{v_{IV} hg} = 0,0613 \frac{kg}{m^3} \cdot (1,07 \cdot 14)^{2 \cdot 0,93} \cdot 1,62 \cdot 1 \cdot 0,69 m^2 \cdot 1 = 14,3 daN$$

ESTADO V (Temperatura media anual)

$$F_{v_V hg} = 0,0613 \frac{kg}{m^3} \cdot (1,07 \cdot 0)^{2 \cdot 0,93} \cdot 1,62 \cdot 1 \cdot 0,69 m^2 \cdot 1 = 0 daN$$

Cargas específicas debidas al viento

$$Gv_i = \frac{Fv_i hg}{a \cdot Shg}$$

ESTADO I (Máxima temperatura)

$$I \quad Gv_{hgI} = \frac{Fv_I h_g}{a \cdot S_{hg}} = \frac{0 \text{ daN}}{100m \cdot 34,37mm^2} = 0 \text{ daN/m} \cdot mm^2$$

ESTADO II (Mínima temperatura)

$$II \quad Gv_{hgII} = \frac{Fv_{II} h_g}{a \cdot S_{hg}} = \frac{0 \text{ daN}}{100m \cdot 34,37mm^2} = 0 \text{ daN/m} \cdot mm^2$$

ESTADO III (Máximo viento)

$$III \quad Gv_{hgIII} = \frac{Fv_{III} h_g}{a \cdot S_{hg}} = \frac{89,4 \text{ daN}}{100m \cdot 34,37mm^2} = 0,026 \text{ daN/m} \cdot mm^2$$

ESTADO IV (Viento moderado)

$$IV \quad Gv_{hgIV} = \frac{Fv_{IV} h_g}{a \cdot S_{hg}} = \frac{14,3 \text{ daN}}{100m \cdot 34,37mm^2} = 0,0042 \text{ daN/m} \cdot mm^2$$

ESTADO V (Temperatura media anual)

$$V \quad Gv_{hgV} = \frac{Fv_V h_g}{a \cdot S_{hg}} = \frac{0 \text{ daN}}{100m \cdot 34,37mm^2} = 0 \text{ daN/m} \cdot mm^2$$

Acción de propio peso del hilo de guarda

$$G_{hg} = \frac{P_{hg}}{S_{hg}}$$

$$G_{hg} = \frac{0,269 \frac{\text{daN}}{m}}{34,37mm^2} = 0,0078 \text{ daN/m} \cdot mm^2$$

Angulo de inclinación del hilo de guarda

Al encontrarse bajo la acción del viento, el conductor no desarrolla su catenaria en un plano vertical, sino en uno inclinado que forma con el vertical un ángulo que depende de la relación existente entre el peso propio y la sobrecarga aerodinámica.

$$\theta_{hgi} = \tan^{-1} \left(\frac{Gv_{hgi}}{G_{hg}} \right) \cdot \left(\frac{180}{\pi} \right)$$

ESTADO III (Máximo viento)

$$\theta_{hgIII} = \tan^{-1} \left(\frac{Gvkg_{III}}{Ghg} \right) \cdot \left(\frac{180}{\pi} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{0,026}{0,0078} \right) \cdot \left(\frac{180}{\pi} \right) = 73,3^\circ$$

ESTADO IV (Viento moderado)

$$\theta_{hgIV} = \tan^{-1} \left(\frac{Gvkg_{IV}}{Ghg} \right) \cdot \left(\frac{180}{\pi} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{0,0042}{0,0078} \right) \cdot \left(\frac{180}{\pi} \right) = 28,3^\circ$$

Carga específica resultante

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.

$$Ghg_i = \sqrt{G_{hg}^2 + Gvkg_i}$$

ESTADO I (Máxima temperatura)

$$Ghg_I = \sqrt{0,0078^2 + 0} = 0,0078 \text{ daN/m.mm}^2$$

ESTADO II (Mínima temperatura)

$$Ghg_{II} = \sqrt{0,0078^2 + 0} = 0,0078 \text{ daN/m.mm}^2$$

ESTADO III (Máximo viento)

$$Ghg_{III} = \sqrt{0,0078^2 + 0,026^2} = 0,027 \text{ daN/m.mm}^2$$

ESTADO IV (Viento moderado)

$$Ghg_{IV} = \sqrt{0,0078^2 + 0,0042^2} = 0,0089 \text{ daN/m.mm}^2$$

ESTADO V (Temperatura media anual)

$$Ghg_V = \sqrt{0,0078^2 + 0} = 0,0078 \text{ daN/m.mm}^2$$

Estado básico

Se adopta el estado 5:

$$Ghg_V = 0,0078 \text{ daN/m.mm}^2$$

$$\sigma_{hgV} = 12,37 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

$$t_V = 16^\circ\text{C}$$

Tensión en los distintos estados

La utilización de la ecuación de cambio de estado es de suma importancia para el cálculo de la línea, pues permite conocer las tensiones del conductor para cualquier estado de temperatura y viento, a partir de los datos de tensión, carga específica y temperatura de un estado tomado como punto de partida y conociendo la temperatura y carga específica del estado cuya tensión quiere determinarse.

Datos

$$E_{hg} = 20000 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

$$a_{hg} = 90\text{m}$$

$$\alpha_{hg} = 0,000011 \text{ } 1/^\circ\text{C}$$

ESTADO I (Máxima temperatura)

$$G_{hgI} = 0,0078 \frac{\text{daN}}{\text{m} \cdot \text{mm}^2}$$

$$t_I = 45^\circ\text{C}$$

$$\sigma_{adm_{hgI}} = 34,62 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

$$f_1(\sigma_{hgI}) = \sigma_{hgI} - \frac{\alpha_c^2 \cdot E_{hg} \cdot G_{hgI}^2}{24 \cdot \sigma_{hgI}^2}$$

$$f_2(\sigma_{hgI}) = \sigma_{adm_{hgI}} - \frac{\alpha_c^2 \cdot E_{hg} \cdot G_{hgI}^2}{24 \cdot \sigma_{adm_{hgI}}^2} + \alpha_{hg} \cdot (t_V - t_I) \cdot E_{hg}$$

Se adopta un valor inicial:

$$\sigma_{hgI} = 5 \frac{\text{daN}}{\text{m} \cdot \text{mm}^2}$$

Mediante la utilización de un software matemático (MathCad), se encuentran las raíces:

$$\sigma_{hgI} = \text{root}(f_1(\sigma_{hgI}) - f_2(\sigma_{hgI}), \sigma_{hgI}) = 8,97 \text{ daN/mm}^2$$

ESTADO II (Mínima temperatura)

$$G_{hgII} = 0,0078 \text{ daN/mm}^2$$

$$t_{II} = -10^\circ\text{C}$$

$$\sigma_{adm_{hgII}} = 34,62 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

$$f_1(\sigma_{hgII}) = \sigma_{hgII} - \frac{a_c^2 \cdot E_{hg} \cdot G_{hgII}^2}{24 \cdot \sigma_{hgII}^2}$$

$$f_2(\sigma_{hgII}) = \sigma_{adm_{hgV}} - \frac{a_c^2 \cdot E_{hg} \cdot G_{hgV}^2}{24 \cdot \sigma_{adm_{hgV}}^2} + a_{hg} \cdot (t_V - t_{II}) \cdot E_{hg}$$

Se adopta un valor inicial:

$$\sigma_{hgII} = 5 \text{ daN/mm}^2$$

Mediante la utilización de un software matemático (MathCad), se encuentran las raíces:

$$\sigma_{hgII} = \text{root}(f_1(\sigma_{hgII}) - f_2(\sigma_{hgII}), \sigma_{hgII}) = 16,61 \text{ daN/mm}^2$$

ESTADO III (Máximo viento)

$$G_{hgIII} = 0,027 \text{ daN/mm}^2$$

$$t_{III} = 15^\circ\text{C}$$

$$\sigma_{adm_{hgIII}} = 34,62 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

$$f_1(\sigma_{hgIII}) = \sigma_{hgIII} - \frac{\alpha_c^2 \cdot E_{hg} \cdot G_{hgIII}^2}{24 \cdot \sigma_{hgIII}^2}$$

$$f_2(\sigma_{hgIII}) = \sigma_{adm_{hgV}} - \frac{\alpha_c^2 \cdot E_{hg} \cdot G_{hgV}^2}{24 \cdot \sigma_{adm_{hgV}}^2} + \alpha_{hg} \cdot (t_V - t_{III}) \cdot E_{hg}$$

Se adopta un valor inicial:

$$\sigma_{hgIII} = 5 \text{ daN/mm}^2$$

Mediante la utilización de un software matemático (MathCad), se encuentran las raíces:

$$\sigma_{hgIII} = \text{root}(f_1(\sigma_{hgIII}) - f_2(\sigma_{hgIII}), \sigma_{hgIII}) = 21,92 \text{ daN/mm}^2$$

ESTADO IV (Viento moderado)

$$G_{hgIV} = 0,0089 \text{ daN/mm}^2$$

$$t_{IV} = -5^\circ\text{C}$$

$$\sigma_{adm_{hgIV}} = 34,62 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

$$f_1(\sigma_{hgIV}) = \sigma_{hgIV} - \frac{\alpha_c^2 \cdot E_{hg} \cdot G_{hgIV}^2}{24 \cdot \sigma_{hgIV}^2}$$

$$f_2(\sigma_{hgIV}) = \sigma_{adm_{hgV}} - \frac{\alpha_c^2 \cdot E_{hg} \cdot G_{hgV}^2}{24 \cdot \sigma_{adm_{hgV}}^2} + \alpha_{hg} \cdot (t_V - t_{IV}) \cdot E_{hg}$$

Se adopta un valor inicial:

$$\sigma_{hgI} = 5 \text{ daN/mm}^2$$

Mediante la utilización de un software matemático (MathCad), se encuentran las raíces:

$$\sigma_{hgIV} = \text{root}(f_1(\sigma_{hgIV}) - f_2(\sigma_{hgIV}), \sigma_{hgIV}) = 16,19 \text{ daN/mm}^2$$

ESTADO V (Temperatura media anual)

$$G_{hgIV} = 0,0078 \frac{daN}{m \cdot mm^2}$$

$$t_V = 16^\circ C$$

$$\sigma_{adm_{hgIV}} = 12,37 \frac{daN}{mm^2}$$

$$\sigma_{hgIV} = \sigma_{adm_{hgIV}} = 12,37 \frac{daN}{m \cdot mm^2}$$

Calculo de flechas

La medición de flecha se debe realizar en condiciones climáticas estables, es decir con poca variación de la temperatura, sin viento y sin cargas adicionales por hielo (en caso de que existiesen en la zona donde se implanta la línea). Por tal motivo vale la siguiente expresión:

ESTADO I (Máxima temperatura)

$$f_{hgI} = \frac{a^2 \cdot G_{hgI}}{8 \cdot \sigma_{hgI}} = \frac{(100m)^{2,0,0078daN}}{\frac{mm^2}{8,8,97daN} \cdot m} = 1,08m$$

ESTADO II (Mínima temperatura)

$$f_{hgII} = \frac{a^2 \cdot G_{hgII}}{8 \cdot \sigma_{hgII}} = \frac{(100m)^{2,0,0078daN}}{\frac{mm^2}{8,16,61daN} \cdot m} = 0,58m$$

ESTADO III (Máximo viento)

$$f_{hgIII} = \frac{a^2 \cdot G_{hgIII}}{8 \cdot \sigma_{hgIII}} = \frac{(100m)^{2,0,027daN}}{\frac{mm^2}{8,21,92daN} \cdot m} = 1,53m$$

ESTADO IV (Viento moderado)

$$f_{hgIV} = \frac{a^2 \cdot G_{hgIV}}{8 \cdot \sigma_{hgIV}} = \frac{(100m)^{2,0,0089daN}}{\frac{mm^2}{8,16,19daN} \cdot m} = 0,68m$$

ESTADO V (Temperatura media anual)

$$f_{hgV} = \frac{a^2 \cdot G_{hgV}}{8 \cdot \sigma_{hgV}} = \frac{(100m)^{2,0,0078daN}}{\frac{mm^2}{8,12,37daN} \cdot m} = 0,79m$$

Flechas verticales

$$f_{vhgIII} = f_{hgIII} \cdot \cos\left(\theta_{hgIII} \cdot \frac{\pi}{180}\right) = 1,53m \cdot \cos\left(73,3^\circ \cdot \frac{\pi}{180}\right) = 0,41m$$

$$f_{vhgIV} = f_{hgIV} \cdot \cos\left(\theta_{hgIV} \cdot \frac{\pi}{180}\right) = 0,68m \cdot \cos\left(28,3^\circ \cdot \frac{\pi}{180}\right) = 0,9m$$

Tiro del hilo de guardia

ESTADO I (Máxima temperatura)

$$I \quad T_{hgI} = \sigma_{hgI} \cdot S_{hg} = 8,97 \text{ daN/mm}^2 \cdot 34,37 \text{ mm}^2 = 308,3 \text{ daN}$$

ESTADO II (Mínima temperatura)

$$II \quad T_{hgII} = \sigma_{hgII} \cdot S_{hg} = 16,61 \text{ daN/mm}^2 \cdot 34,37 \text{ mm}^2 = 570,9 \text{ daN}$$

ESTADO III (Máximo viento)

$$III \quad T_{hgIII} = \sigma_{hgIII} \cdot S_{hg} = 21,92 \text{ daN/mm}^2 \cdot 34,37 \text{ mm}^2 = 753,3 \text{ daN}$$

ESTADO IV (Viento moderado)

$$IV \quad T_{hgIV} = \sigma_{hgIV} \cdot S_{hg} = 16,19 \text{ daN/mm}^2 \cdot 34,37 \text{ mm}^2 = 556,4 \text{ daN}$$

ESTADO V (Temperatura media anual)

$$V \quad T_{hgV} = \sigma_{hgV} \cdot S_{hg} = 12,37 \text{ daN/mm}^2 \cdot 34,37 \text{ mm}^2 = 425,2 \text{ daN}$$

Tabla de tendido para el conductor de fase

La tabla de tendido se confecciona aplicando la ecuación de estado con solamente los cambios de temperatura (puede ser con saltos de 2 o 5 °C). Esta se realiza para cada tramo entre retenciones de línea.

El cálculo se lleva a cabo mediante la utilización del software **Mathcad**

Ecuación de Estado para el hilo de guardia:

$$\sigma_{hg}^3 + A \cdot \sigma_{hg}^2 - B = 0$$

Sus coeficientes son:

$$A_1 := \frac{E_{hg}}{24} \cdot \frac{a^2 \cdot \left(\frac{g_{hg}}{s_{hg}}\right)^2}{(\sigma_{hg5})^2} + E_{hg} \cdot \alpha_{hg} \cdot (t_{f_i} - t_5) - \sigma_{hg5} \quad B_1 := \frac{E_{hg}}{24} \cdot a^2 \cdot \left(\frac{g_{hg}}{s_{hg}}\right)^2$$

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:

$$X_1 := 108 \cdot B_1 - 8 \cdot (A_1)^3 + 12 \cdot \left[(81) \cdot (B_1)^2 - 12 \cdot B_1 \cdot (A_1)^3 \right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{Paso intermedio}$$

Solución Real de la Ecuación de Estado:

$$\sigma_{hg_1} := \frac{1}{6} \cdot (X_1)^{\frac{1}{3}} + \frac{2}{3} \cdot \frac{(A_1)^2}{(X_1)^{\frac{1}{3}}} - \frac{1}{3} \cdot A_1$$

Tiros

$$T_{hgi} = \sigma_{hgi} \cdot S_{hgi}$$

Flechas:

$$F_{ci} = \frac{a^2 \cdot g_{hg}}{8 \cdot \sigma_{hgi}}$$

Tiempo: corresponde para 10 oscilaciones del conductor

$$T_{tempo_i} = \sqrt{\frac{F_{hgi}}{0,308}} \cdot 10 \quad (\text{Formula empírica})$$

Tabla de Tendido para el hilo de guardia

Temperaturas	Tiros	Flechas	Tiempo osc.
°C	daN	m	seg.
0	525	0,46	12,27
2	512	0,48	12,43
4	499	0,49	12,59
6	487	0,50	12,75
8	474	0,51	12,92
10	461	0,53	13,10
12	449	0,54	13,27
14	437	0,56	13,46
16	425	0,57	13,64
18	413	0,59	13,83
20	402	0,61	14,03
22	391	0,62	14,23
24	380	0,64	14,43
26	369	0,66	14,64
28	359	0,68	14,85
30	349	0,70	15,07
32	339	0,72	15,28
34	329	0,74	15,50
36	320	0,76	15,73
38	311	0,78	15,95
40	302	0,81	16,18

Estructura de Suspensión (Vano 90m)

Es el apoyo normal de la línea en tramo recto. Su nombre se debe a que en las líneas de alta tensión, el conductor está suspendido por los aisladores. Está previsto para soportar las cargas debidas al peso y al viento. También puede resistir una carga limitada producida por el corte de un conductor.

Datos de la Instalación

El tipo de montaje realizado a lo largo de la línea es del tipo Line post con una disposición triangular de los conductores.

Características de la línea en el poste calculado:

Vano anterior a la estructura

$$a_1 = 90m$$

Vano posterior a la estructura

$$a_2 = 90m$$

Semilongitud de vanos adyacentes

$$S_a = \frac{a_1}{2} + \frac{a_2}{2} = \frac{90m}{2} + \frac{90m}{2} = 90m$$

Índice de compresibilidad

- Arena fina Húmeda

$$C_c = \frac{4daN}{cm^3}$$

Tensión de línea

$$V_L = 33kV$$

Altura mínima del conductor al suelo adoptada de acuerdo a la reglamentación de la AEA.

$$H_L = 7m$$

Características del conductor

Características del Conductor (IRAM2187)	
Material	Aluminio - Acero
Sección nominal	50/8
Sc	50mm ²
Src	56,3mm ²
Formación	6 x 3,2mm ² + 1 x 3,2mm ²
Diámetro exterior	9,6mm
ladm	195A
Carga de rotura (Trc)	1713 daN
Peso aproximado (P _c)	195 kg/km
Módulo de elasticidad (E _c)	8100 daN/mm ²
Coefficiente de dilatación (α _c)	19,1 E-6 1/°C

Características del hilo de guardia

Características del hilo de guardia (IRAM 722)	
Material	Acero
Sección nominal	35
Shg	34,37 mm ²
Formación	7x1
Diámetro exterior	6,6mm
Carga de rotura (Thg)	1700 daN
Peso aproximado (P _{hg})	269 kg/km
Módulo de elasticidad (E _{hg})	20000 daN/mm ²
Coefficiente de dilatación (α _c)	11x10E-6 1/°C

Aislador

Características del Aislador	
Longitud del aislador (L _a)	0,435m
Diámetro del núcleo (D _{na})	0,033m

Diámetro exterior (D_{ea})	0,11m
Angulo sobre la horizontal (Y_a)	15°
Longitud suplemento de amarre (L_{sa})	0m
Peso del aislador más suplementos (G_a)	2,5daN
Peso del soporte (G_{hsa})	2daN

Distancias eléctricas mínimas

Distancia entre conductores en el medio del vano

Angulo máximo de declinación del conductor

$$\theta_{ca} = 80,1^\circ$$

Coficiente dependiente del ángulo de declinación θ_{ca} para disposición triangular de acuerdo a la AEA

$$K_c = 0,95 \frac{m}{kV \cdot \sqrt{m}}$$

Longitud oscilante de la cadena de aislación L_{ca}

$$L_{ca} = 0$$

Tensión nominal V_N

$$V_N = 33kV$$

Distancia entre fases en el medio del vano D_{f-f}

Para las líneas de clases "B y C", la distancia entre conductores, en m, en el centro del vano y en situación de reposo, no será menor que la dada por:

$$D_{f-f} = K_c \cdot \sqrt{f_{cl} + L_{ca}} + \frac{V_N}{150} = 0,95 \frac{m}{kV \cdot \sqrt{m}} \cdot \sqrt{0,82m + 0m} + \frac{33kV}{150} = 1,08m$$

Se adopta $D_{f-f} = 1,10m$

Distancia entre fase y cable de guardia en el medio del vano D_{f-hg}

$$V_F = \frac{V_N}{\sqrt{3}} = \frac{33kV}{\sqrt{3}} = 19,05kV$$

$$D_{f-hg} = K_c \cdot \sqrt{f_{cl} + L_{ca}} + \frac{V_F}{150} = 0,95 \frac{m}{kV \cdot \sqrt{m}} \cdot \sqrt{0,82m + 0m} + \frac{19,05kV}{150} = 0,98m$$

Se adopta $D_{f-hg} = 1m$

Cabe destacar que esta distancia puede modificarse para permitir la adecuada protección de las fases contra descargas atmosféricas.

Distancia mínima entre conductores y accesorios puestos a potencial de línea y tierra

D_{f-m}

Máxima tensión de servicio del sistema, fase a fase V_M

$$V_M = 1,1 \cdot V_N = 1,1 \cdot 33kV = 36,3kV$$

$$D_{f-m} = 0,075 + 0,005(V_M - 8,7) = 0,075 + 0,005(36,3kV - 8,7) = 0,213m$$

Se adopta $D_{f-m} = 0,22m$

Distancias verticales mínimas

Distancia vertical a tierra, a objetos bajo la línea y aplicables en cruces entre líneas de baja tensión y media tensión D de acuerdo a la AEA:

$$D = 1,20m$$

Dimensionamiento del cabezal

Diámetro en la cima del poste D_{cp}

$$D_{cp} = 0,26m$$

Conicidad del poste

$$c = 0,018$$

Diámetro del poste a la altura en que el conductor inferior presenta el máximo acercamiento al poste

$$D_p = D_{cp} + c \cdot 2,85m = 0,26m + 0,018 \cdot 2,85m = 0,31m$$

Distancia desde conductor al centro del poste

$$D_1(c-p) = L_1 a \cdot \cos(\alpha) + L_1 s + Dp/2 = 0,435m \cdot \cos(15^\circ) + 0,26m + 0,31m/2 = 0,84m$$

Distancia vertical entre conductores

Debe ser como mínimo D_{f-f}

$$D_1 = D_{f-f} = 1,10m$$

Distancia entre conductor superior e intermedio

$$D_2 = \frac{D_1}{2} = \frac{1,10m}{2} = 0,55m$$

Distancia entre conductor y el hilo de guardia

$$D_{f-hg} = \frac{D_{c-p}}{\operatorname{tg}(\theta)} = \frac{0,84m}{\operatorname{tg}(30^\circ)} = 1,45m$$

Distancia horizontal entre conductores

$$L_h = 2 \cdot D_{c-p} = 2 \cdot 0,84m = 1,68m$$

Alturas

Altura de la cima del poste al hilo de guardia

$$H_{hg} = 0,1m$$

Altura libre del poste

$$H_2 = H_L + f_{c1} + D_1 + D_{f-hg} - H_{hg} = 7m + 0,82m + 1,10m + 1,45m - 0,1m$$

$$H_2 = 10,27m$$

Altura total del poste

$$H_4 = \frac{H_2}{90\%} = \frac{10,27m}{90\%} = 11,4m$$

Se adopta un poste de $H_4 = 13,5m$

Altura de empotramiento

$$H_{em} = H_{4,10\%} = 13,5m \cdot 0,1 = 1,35m$$

Se adopta: $H_{em} = 1,5m$

Corrección de la altura libre entre suelo y conductor

$$H_L = H_A - (f_{c1} + D_{f-f} + D_{f-hg} + H_{em} - H_{hg})$$

$$H_L = 13,5m - (0,82m + 1,10m + 1,45m + 1,5m - 0,1m) = 8,73m$$

Corrección de la altura libre del poste

$$H_a = H_L + f_{c1} + D_{f-f} + D_{f-hg} - H_{hg}$$

$$H_a = 8,73m + 0,82m + 1,10m + 1,45m - 0,1m = 12m$$

Altura del suelo al conductor inferior

$$H_0 = H_L + f_{c1} = 8,73m + 0,82m = 9,55m$$

Altura del suelo al conductor medio

$$H_1 = H_L + f_{c1} + D_2 = 8,73m + 0,82m + 0,55m = 10,1m$$

Altura del suelo al conductor superior

$$H_2 = H_L + f_{c1} + D_{f-f} = 8,73m + 0,82m + 1,10m = 10,65m$$

Dimensiones del poste

Diámetro en la cima del poste

$$D_{cp} = 0,26m$$

Diámetro en la base del poste

$$D_{bp} = D_{cp} + c \cdot H_A = 0,26m + 0,018 \cdot 13,5m = 0,5m$$

Diámetro en el empotramiento del poste

$$D_{sp} = D_{cp} + c \cdot H_g = 0,26m + 0,018 \cdot 12m = 0,47m$$

Dimensionamiento mecánico

Cargas actuantes sobre la estructura

Acciones verticales

- *Peso del conductor*

$$G_c = P_c \cdot S_a = 195 \text{ daN/km} \cdot 0,09 \text{ km} = 17,55 \text{ daN}$$

- *Peso total de conductores de fase*

$$G_{ct} = 3 \cdot G_c = 3 \cdot 17,55 \text{ daN} = 52,65 \text{ daN}$$

- *Peso del cable de guardia*

$$G_{hg} = P_{hg} \cdot S_a = 269 \text{ daN/km} \cdot 0,09 \text{ km} = 24,2 \text{ daN}$$

- *Peso total de aisladores más suplementos*

$$G_{at} = 3 \cdot (G_a + G_{hsa}) = 3 \cdot (2 \text{ daN} + 2,8 \text{ daN}) = 14,4 \text{ daN}$$

- *Peso del poste*

$$G_p = 2250 \text{ daN}$$

- *Acciones verticales totales*

$$G_{vt} = G_{ct} + G_{hg} + G_{at} + G_p$$

$$G_{vt} = 52,65 \text{ daN} + 17,55 \text{ daN} + 24,2 \text{ daN} + 2250 \text{ daN}$$

$$G_{vt} = 2344 \text{ daN}$$

Acciones transversales a la línea

- *Viento máximo sobre el vano considerado del conductor de fase*

$$G_{vt} = G_{vcIII} \cdot s_a = 1,15 \text{ daN/m} \cdot 90 \text{ m} = 103,5 \text{ daN}$$

- **Viento máximo sobre el vano considerado del hilo de guardia**

$$G_{V_{hg}} = G_{vhgIII} \cdot s_{\alpha} = 0,68 \text{ daN/m} \cdot 90\text{m} = 61,2 \text{ daN}$$

- **Carga del viento sobre aislador y suplementos**

$$G_{V_{\alpha}} = 6 \text{ daN}$$

- **Fuerza del viento sobre el poste**

Viento máximo

$$V_{\max} = 35 \text{ m/seg}$$

Factor que depende de la densidad del aire

$$Q = 0,0613 \text{ kg/m}^3$$

$$Q = 0,0613 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Categoría de exposición: "C"

Factores en función de la exposición

$$Z_G = 274$$

$$\alpha = 7,5$$

$$L_s = 67$$

$$K = 0,005$$

Coefficiente de presión o de forma $C_f = 1$

Altura efectiva

$$h = H_{\#} - H_{\text{adm}} = 13,5\text{m} - 1,5\text{m} = 12\text{m}$$

$$h_e = h - \frac{1}{3}h = 12\text{m} - \frac{1}{3}12\text{m} = 8\text{m}$$

Vano de diseño: $a = 90\text{m}$

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

$$Z_p = 1,61 \left(\frac{h_e}{Z_G} \right)^{1/\alpha} = 1,61 \left(\frac{8m}{274} \right)^{1/7,5} = 1,01$$

Factores para hallar el factor de ráfaga de Gw

$$E = 4,9 \cdot \sqrt{k} \cdot \left(\frac{10}{Z_G} \right)^{1/\alpha} = 4,9 \cdot \sqrt{0,005} \cdot \left(\frac{10}{8m} \right)^{1/7,5} = 0,36$$

$$B_p = \frac{1}{1 + 0,375 \cdot \frac{h_{em}}{L_S}} = \frac{1}{1 + \frac{0,375 \cdot 1,5m}{67}} = 0,96$$

Factor de ráfaga

$$G_p = 1 + 2,7 \cdot E \cdot \sqrt{B_p} = 1 + 2,7 \cdot 0,36 \cdot \sqrt{0,96} = 1,95$$

Factor de carga (AEA) --> 0,93

Angulo del viento con el eje perpendicular de la línea

$$\psi = 0^\circ$$

Fuerza ejercida sobre el poste

$$F_{v_p} = Q(Z_p \cdot V_{III})^2 \cdot F_c \cdot G_p \cdot C_f \cdot \cos^2 \psi$$

$$F_{v_p} = 0,0613 \frac{kg}{m^3} \cdot \left(1,01 \cdot 30 \frac{m}{seg} \right)^{2 \cdot 0,93 \cdot 1,95 \cdot 1} \cdot \cos^2 0$$

$$F_{v_p} = 102,06 daN$$

Acciones transversales a la línea reducidas a la cima

Coeficiente de reducción a la cima

$$C_{re-c} = \frac{H_0 + H_1 + H_2}{H_a} = \frac{9,55m + 10,1m + 10,65m}{12m} = 2,52$$

Coeficiente de reducción a la cima con hilo de guardia

$$C_{rc-hg} = \frac{H_a + 0,1}{H_a} = \frac{12m + 0,1}{12m} = 1,01$$

Carga del viento máximo sobre el vano considerado del conductor de fase reducido a la cima

$$C_C = G_{vc} \cdot C_{rc-c} = 103,5daN \cdot 2,52 = 260,8daN$$

Carga del viento máximo sobre el vano considerado del hilo de guardia reducido a la cima

$$C_{hg} = G_{vhg} \cdot C_{rc-hg} = 61,2daN \cdot 1,01 = 61,2daN$$

Carga del viento sobre el aislador y suplementos reducido a la cima

$$C_{va} = G_{va} \cdot C_{rc-c} = 6daN \cdot 2,52 = 15,12daN$$

Carga del viento sobre el poste

$$C_p = \frac{F_{vp} \cdot (2 \cdot D_{cp} + H_{sm}) \cdot H_a}{6} = \frac{102,06daN \cdot (2 \cdot 0,26m + 1,5m) \cdot 12m}{6}$$

$$C_p = 359,3daN$$

Acciones transversales totales reducidas a la cima

$$A_{t_{total}} = C_C + C_{hg} + C_{va} + C_p = 260,8daN + 61,2daN + 15,12daN + 359,3daN$$

$$A_{t_{total}} = 696,4daN$$

Acciones transversales debido a excentricidades

Momentos del conductor y el aislador junto al soporte

$$M_{t_{c-a+s}} = G_c \cdot D_{c-p} + G_{at} \cdot (L_a + L_s)$$

$$M_{t_{c-a+s}} = (17,55daN \cdot 0,84m) + 14,4daN(0,435m + 0,26m)$$

$$M_{t_{c-a+s}} = 24,75daN \cdot m$$

Desequilibrio vertical reducido a la cima

$$D_{vert} = \frac{M_{t_{c-a+s}}}{H_a} = \frac{24,75daN \cdot m}{12m} = 2,1daN$$

Verificación de las estructuras a las hipótesis de cargas

Hipótesis 1: Cargas de servicio

Peso propio y cargas permanentes. Viento máximo normal a la línea sobre aisladores, accesorios, estructura y sobre la semilongitud de ambos vanos adyacentes.

Tiro en la cima

$$T_{c1a} = A_{t_{total}} + D_{vert} = 696,4daN + 2,1daN = 698,5daN$$

No se considera las demás situaciones de esta hipótesis debidos a que representan esfuerzos menores al calculado anteriormente.

Hipótesis 2: Cargas de construcción y mantenimiento

- Peso propio de la estructura. Cargas permanentes con un factor de carga de 2,50, aplicadas en cualquiera de los puntos de suspensión, en varios de ellos o en todos simultáneamente. Sobrecarga adicional de montaje. No se considera viento.

Sobrecarga adicional por montaje teniendo en cuenta que para suspensión se reduce al 50%

$$G_{adic} = 50\% \cdot 200daN = 100daN$$

$$T_{c2a} = G_{adic} + 2,5 \cdot D_{vert} = 100daN + 2,5 \cdot 2,1daN = 105,3daN$$

Hipótesis 3: Cargas de contención de cargas

- Peso propio y cargas permanentes. Carga longitudinal en cualquiera de los puntos de suspensión, equivalente al 50% del tiro máximo de una fase ó el 70% del tiro medio (EDS), el que provoque solicitaciones más desfavorables para conductores simples o haces de conductores. En el caso del cable de guardia se aplicará el tiro máximo longitudinal reducido al 65% ó al 100% del tiro medio (EDS). No se considera viento.

$$T_{c3a} = 70\% \cdot T_{cv} \cdot \frac{H_2}{H_1} + T_{hgV} \cdot C_{rc-hg}$$

$$T_{c3a} = 70\% \cdot 427,9daN \cdot \frac{10,65m}{13,5m} + 425,2daN \cdot 1,01 = 665,7daN$$

- No se considera la posibilidad de ocurrencia de sismos.

Verificación por el método de factorización de cargas y resistencias

Este método está basado en la aplicación de coeficientes de mayoración para las cargas y de minoración para las resistencias.

Factor de carga estructural

Factor de carga que tiene en cuenta el apartamiento de la estructura real, respecto al modelo ideal de cálculo y los recaudos constructivos (excentricidades no previstas en nudos y empalmes, falta de lineación de los elementos componentes, excentricidades en la aplicación de las cargas, etc.).

$$K_g = 1$$

Factor de carga por colapso para estructura de suspensión.

Factor de carga que tiene en cuenta el tipo de estructura, y el daño que produciría la falla de dicha estructura.

Solicitud última que resulta la solicitud máxima actuante

$$S = \max(T_{c1a}, T_{c2a}, T_{c3a}) = 698,5 \text{ daN}$$

Factor global de resistencia

Depende del tipo de solicitud a que está sometido el elemento estructural, y del material con el que está construido el mismo. Este coeficiente siempre menor que la unidad, tiene en cuenta la dispersión de la resistencia debido a las calidad de fabricación y montaje de la estructura.

$$\varphi = 0,75$$

Resistencia nominal del poste

$$R_c = 1400 \text{ daN}$$

Se debe cumplir:

$$K_g \cdot K_c \cdot S \leq \varphi \cdot R_c$$

$$1 \cdot 1 \cdot 698,5 \text{ daN} \leq 0,75 \cdot 1400 \text{ daN}$$

$698,5 \text{ daN} \leq 1050 \text{ daN} \rightarrow \text{VERIFICA}$

Se adopta un poste 13,5R1000

Calculo de fundaciones

De acuerdo a la capacidad portante del terreno se realiza el cálculo de las fundaciones utilizando el método Sulzberger.

Índice de compresibilidad

Es la capacidad del terreno para reaccionar elásticamente a los esfuerzos que ejerce la fundación.

Índice de compresibilidad en las paredes de la fundación

$$C_z = 3 \text{ daN/cm}^2$$

Índice de Compresibilidad para la base de la fundación

$$C_z = C_b = 3 \text{ daN/cm}^2$$

Longitud del poste

$$H_A = 13,5m$$

Longitud de empotramiento del poste

$$H_{em} = 1,5m$$

Altura libre del poste

$$H_a = 12m$$

Diámetro del orificio de la fundación

Diámetro en la base del poste más 20cm

$$D_{of} = d_{bp} + 20,1m = 0,5m + 20,1m = 0,7m$$

Ancho de la fundación

$$A_f = D_{of} + 20,35m = 0,7m + 20,3m = 1,3m$$

Alto de la fundación

$$A_f = B_f = D_{of} + 2.0,35m = 0,67m + 2.0,3m = 1,3m$$

Altura de la fundación

$$h_{fund} = H_{em} + 0,5m = 1,5m + 0,5m = 2m$$

Densidad del hormigón

$$\gamma_H = 2200 \text{ daN/m}^3$$

Peso de la fundación

$$G_{fund} = \left(A_f^2 \cdot h_{fund} - \frac{\pi \cdot D_{of}^2}{4} \cdot H_{em} \right) \cdot \gamma_H$$

$$G_{fund} = \left((1,3m)^2 \cdot 2m - \frac{\pi \cdot (0,7m)^2}{4} \cdot 1,5m \right) \cdot 2200 \text{ daN/m}^3 = 6166 \text{ daN}$$

Cargas verticales que actúan sobre la fundación

$$G_{vt} = G_{vt} + G_{fund} = 2344 \text{ daN} + 6166 \text{ daN} = 8510 \text{ daN}$$

Corrección de Índice de Compresibilidad para las paredes de la fundación por profundidad real de la fundación

$$\frac{C_{tr} = C_r \cdot \frac{h_{fund}}{2m}}{2m} = \frac{3 \text{ daN/cm}^3 \cdot 2m}{2m} = 3 \text{ daN/cm}^3$$

Corrección de Índice de Compresibilidad para la base de la fundación por profundidad real de la fundación

$$C_{br} = C_b$$

Momentos estabilizantes

La fundación reacciona ante el momento volcador presentando dos momentos estabilizantes.

Momento de encastramiento

Es la reacción en las paredes que incluye la fricción entre el hormigón y la tierra a lo largo de las paredes.

Se calcula primero el valor del ángulo α para el cual el eje de giro comienza a levantarse del fondo de la fundación.

Coefficiente de fricción terreno-fundación

$$\mu = 0,4$$

$$tg_{\alpha s} = \frac{4,5 \cdot \mu \cdot G_{fvt}}{A_f \cdot (h_{fund})^2 \cdot C_{tr}} = \frac{4,5 \cdot 0,4 \cdot 4.8510 daN}{130 cm \cdot (200 cm)^2 \cdot daN/cm^2} = 0,0009 < 0,015$$

$$M_s = \frac{\sqrt{2} \cdot A_f \cdot (h_{fund})^3}{36} \cdot C_{tr} \cdot 0,015 = \frac{\sqrt{2} \cdot 1,3 m \cdot (2 m)^3}{36 \cdot 3} daN/cm^2 \cdot 100^2 \cdot 0,015$$

$$M_s = 18384 daN \cdot m$$

Momento de reacción de fondo

Es el provocado por las cargas verticales.

$$tg_{\alpha b} = \frac{\sqrt{2} \cdot G_{fvt}}{(A_f)^2 \cdot C_{br}} = \frac{\sqrt{2} \cdot 8510 daN}{(130 cm)^2 \cdot daN/cm^2} = 0,0019 < 0,015$$

$$M_b = \left(\frac{\sqrt{2} \cdot A_f}{2} - 0,5 \sqrt{\frac{3 \cdot G_{fvt}}{C_{br} \cdot 0,015}} \right) \cdot G_{fvt}$$

$$M_b = \left(\frac{\sqrt{2} \cdot 1,3 m}{2} - 0,5 \sqrt{\frac{3 \cdot 8510 daN}{3 daN/cm^2 \cdot 100^2 \cdot 0,015}} \right) \cdot 8510 daN$$

$$M_b = 4300 daN \cdot m$$

Momento estabilizante total

$$M_{Tot} = M_s + M_b = 18384 daN \cdot m + 4300 daN \cdot m = 22684 daN \cdot m$$

Momento de vuelco

Los esfuerzos volcadores son las cargas horizontales que actúan sobre la estructura. En los apoyos de hormigón armado lo normal es contar con la carga total reducida a la cima del poste.

Según sea la posición del eje de giro resultara la distancia de aplicación de la fuerza que provoca el momento volcador. Para el caso más común en que la fundación trabaja parcialmente despegada del suelo el momento volcador tiene la expresión:

$$M_v = S \cdot \left(H_a + \frac{2}{3} \cdot h_{fund} \right) = 698,5 daN \cdot \left(12m + \frac{2}{3,2m} \right) = 9313 daN \cdot m$$

Determinación de factor de vuelco K_v

$$\text{Si } \left(\frac{M_s}{M_b} \right) \geq 1 \rightarrow K_v = 1$$

$$\frac{M_s}{M_b} = \frac{18384 daN \cdot m}{4300 daN \cdot m} = 4,2 \rightarrow K_v = 1$$

Factor de carga K_C

Factor de carga que tiene en cuenta el tipo de estructura y el daño que produciría la falla de dicha estructura

$K_C = 1$ para estructuras de suspensión y retención.

Factor de carga K_E

Factor de carga que tiene en cuenta la verificación experimental del comportamiento del cemento.

$K_E = 1$ para solicitaciones de vuelco y compresión

Factor de resistencia al vuelco ϕ_v

$$\phi_v = \frac{1}{K_v} = 1$$

El diseño de las fundaciones se basara en la aplicación del “método de factorización de cargas y resistencias” debiéndose cumplir con la siguiente condición:

$$K_C \cdot K_E \cdot M_v \leq M_{Tot} \cdot \phi_v$$

$1 \cdot 1 \cdot 9313 daN \cdot m \leq 22684 daN \cdot m \cdot 1 \rightarrow \text{VERIFICA}$

Estructura de Suspensión (Vano 70m)

Es el apoyo normal de la línea en tramo recto. Su nombre se debe a que en las líneas de alta tensión, el conductor está suspendido por los aisladores. Está previsto para soportar las cargas debidas al peso y al viento. También puede resistir una carga limitada producida por el corte de un conductor.

Datos de la Instalación

El tipo de montaje realizado a lo largo de la línea es del tipo Line post con una disposición triangular de los conductores.

Características de la línea en el poste calculado:

Vano anterior a la estructura

$$a_1 = 70m$$

Vano posterior a la estructura

$$a_2 = 70m$$

Semilongitud de vanos adyacentes

$$Sa = \frac{a_1}{2} + \frac{a_2}{2} = \frac{70m}{2} + \frac{70m}{2} = 70m$$

Índice de compresibilidad

- Arena fina Húmeda

$$C_t = \frac{3daN}{cm^3}$$

Tensión de línea

$$V_L = 33kV$$

Altura mínima del conductor al suelo adoptada de acuerdo a la reglamentación de la AEA.

$$H_{\underline{e}} = 7m$$

Características del conductor

Características del Conductor 2187	
Material	Aluminio - Acero
Sección nominal	50/8
Sc	50mm ²
Src	56,3mm ²
Formación	6 x 3,2mm ² + 1 x 3,2mm ²
Diámetro exterior	9,6mm
ladm	195A
Carga de rotura (Trc)	1713 daN
Peso aproximado (Pc)	195 kg/km
Módulo de elasticidad (Ec)	8100 daN/mm ²
Coefficiente de dilatación (α_c)	19,1 E-6 1/°C

Características del hilo de guardia

Características del hilo de guardia (IRAM 722)	
Material	Acero
Sección nominal	35
Shg	34,37 mm ²
Formación	7x1
Diámetro exterior	6,6mm
Carga de rotura (Thg)	1700 daN
Peso aproximado (P _{hg})	269 kg/km
Módulo de elasticidad (E _{hg})	20000 daN/mm ²
Coefficiente de dilatación (α_c)	11x10E-6 1/°C

Aislador

Características del Aislador	
Longitud del aislador (L_a)	0,435m
Diámetro del núcleo (D_{na})	0,033m
Diámetro exterior (D_{ea})	0,11m
Angulo sobre la horizontal (γ_a)	15°
Longitud suplemento de amarre (L_{sa})	0m

Peso del aislador más suplementos (G_a)	2,5daN
Peso del soporte (G_{hsa})	2daN

Distancias eléctricas mínimas

Distancia entre conductores en el medio del vano

Angulo máximo de declinación del conductor

$$\theta_{ca} = 80,28^\circ$$

Coefficiente dependiente del ángulo de declinación θ_{ca} para disposición triangular de acuerdo a la AEA

$$K_c = 0,95 \frac{m}{kV \cdot \sqrt{m}}$$

Longitud oscilante de la cadena de aislación L_{ca}

$$L_{ca} = 0$$

Tensión nominal V_N

$$V_N = 33kV$$

Distancia entre fases en el medio del vano D_{f-f}

Para las líneas de clases "B y C", la distancia entre conductores, en m, en el centro del vano y en situación de reposo, no será menor que la dada por:

$$D_{f-f} = K_c \cdot \sqrt{f_{cl} + L_{ca}} + \frac{V_N}{150} = 0,95 \frac{m}{kV \cdot \sqrt{m}} \cdot \sqrt{0,51m + 0m} + \frac{33kV}{150} = 0,9m$$

Se adopta $D_{f-f} = 1m$

Distancia entre fase y cable de guardia en el medio del vano D_{f-hg}

$$V_F = \frac{V_N}{\sqrt{3}} = \frac{33kV}{\sqrt{3}} = 19,05kV$$

$$D_{f-hg} = K_c \cdot \sqrt{f_{cl} + L_{ca}} + \frac{V_F}{150} = 0,95 \frac{m}{kV \cdot \sqrt{m}} \cdot \sqrt{0,51m + 0m} + \frac{19,05kV}{150} = 0,81m$$

Se adopta $D_{f-hg} = 1m$

Cabe destacar que esta distancia puede modificarse para permitir la adecuada protección de las fases contra descargas atmosféricas.

Distancia mínima entre conductores y accesorios puestos a potencial de línea y tierra

D_{f-m}

Máxima tensión de servicio del sistema, fase a fase V_M

$$V_M = 1,1 \cdot V_N = 1,1 \cdot 33kV = 36,3kV$$

$$D_{f-m} = 0,075 + 0,005(V_M - 8,7) = 0,075 + 0,005(36,3kV - 8,7) = 0,213m$$

Se adopta $D_{f-m} = 0,22m$

Distancias verticales mínimas

Distancia vertical a tierra, a objetos bajo la línea y aplicables en cruces entre líneas de baja tensión y media tensión D de acuerdo a la AEA:

$$D = 1,20m$$

Dimensionamiento del cabezal

Diámetro en la cima del poste D_{cp}

$$D_{cp} = 0,26m$$

Conicidad del poste

$$c = 0,018$$

Diámetro del poste a la altura en que el conductor inferior presenta el máximo acercamiento al poste

$$D_p = D_{cp} + c \cdot 2,85m = 0,26m + 0,018 \cdot 2,85m = 0,31m$$

Distancia desde conductor al centro del poste

$$D_1(c-p) = L_1 a \cdot \cos(\alpha) + L_1 s + Dp/2 = 0,435m \cdot \cos(15^\circ) + 0,26m + 0,31m/2 = 0,84m$$

Distancia vertical entre conductores

Debe ser como mínimo D_{f-f}

$$D_1 = D_{f-f} = 1m$$

Distancia entre conductor superior e intermedio

$$D_2 = \frac{D_1}{2} = \frac{1m}{2} = 0,5m$$

Distancia entre conductor y el hilo de guardia

$$D_{f-hg} = \frac{D_{c-p}}{\operatorname{tg}(\theta)} = \frac{0,84m}{\operatorname{tg}(30^\circ)} = 1,45m$$

Distancia horizontal entre conductores

$$L_h = 2 \cdot D_{c-p} = 2 \cdot 0,84m = 1,68m$$

Alturas

Altura de la cima del poste al hilo de guardia

$$H_{hg} = 0,1m$$

Altura libre del poste

$$H_2 = H_L + f_{c1} + D_1 + D_{f-hg} - H_{hg} = 7m + 0,51m + 1m + 1,45m - 0,1m$$

$$H_2 = 9,86m$$

Altura total del poste

$$H_4 = \frac{H_2}{90\%} = \frac{9,86m}{90\%} = 11m$$

Se adopta un poste de $H_4 = 13,5m$

Altura de empotramiento

$$H_{em} = H_4 \cdot 10\% = 13,5m \cdot 0,1 = 1,35m$$

Se adopta: $H_{em} = 1,5m$

Corrección de la altura libre entre suelo y conductor

$$H_L = H_A - (f_{c1} + D_{f-f} + D_{f-hg} + H_{em} - H_{hg})$$

$$H_L = 13,5m - (0,51m + 1m + 1,45m + 1,55m - 0,1m) = 9,14m$$

Corrección de la altura libre del poste

$$H_B = H_L + f_{c1} + D_{f-f} + D_{f-hg} - H_{hg}$$

$$H_B = 9,14m + 0,51m + 1m + 1,45m - 0,1m = 12m$$

Altura del suelo al conductor inferior

$$H_0 = H_L + f_{c1} = 9,14m + 0,51m = 9,65m$$

Altura del suelo al conductor medio

$$H_1 = H_L + f_{c1} + D_2 = 9,14m + 0,51m + 0,5m = 10,15m$$

Altura del suelo al conductor superior

$$H_2 = H_L + f_{c1} + D_{f-f} = 9,14m + 0,51m + 1m = 10,65m$$

Dimensiones del poste

Diámetro en la cima del poste

$$D_{cp} = 0,26m$$

Diámetro en la base del poste

$$D_{bp} = D_{cp} + c \cdot H_A = 0,26m + 0,018 \cdot 13,5m = 0,5m$$

Diámetro en el empotramiento del poste

$$D_{ep} = D_{cp} + c \cdot H_B = 0,26m + 0,018 \cdot 12m = 0,47m$$

Dimensionamiento mecánico

Cargas actuantes sobre la estructura

Acciones verticales

- *Peso del conductor*

$$G_c = P_c \cdot S_a = 195 \text{ daN/km} \cdot 0,07 \text{ km} = 13,65 \text{ daN}$$

- *Peso total de conductores de fase*

$$G_{ct} = 3 \cdot G_c = 3 \cdot 13,65 \text{ daN} = 41 \text{ daN}$$

- *Peso del cable de guardia*

$$G_{hg} = P_{hg} \cdot S_a = 269 \text{ daN/km} \cdot 0,07 \text{ km} = 18,83 \text{ daN}$$

- *Peso total de aisladores más suplementos*

$$G_{at} = 3 \cdot (G_a + G_{hsa}) = 3 \cdot (2 \text{ daN} + 2,8 \text{ daN}) = 14,4 \text{ daN}$$

- *Peso del poste*

$$G_p = 2250 \text{ daN}$$

- *Acciones verticales totales*

$$G_{vt} = G_{ct} + G_{hg} + G_{at} + G_p$$

$$G_{vt} = 41 \text{ daN} + 18,83 \text{ daN} + 14,4 \text{ daN} + 2250 \text{ daN}$$

$$G_{vt} = 2324 \text{ daN}$$

Acciones transversales a la línea

- *Viento máximo sobre el vano considerado del conductor de fase*

$$G_{vc} = G_{veIII} \cdot S_a = 1,15 \text{ daN/m} \cdot 70 \text{ m} = 80,5 \text{ daN}$$

- *Viento máximo sobre el vano considerado del hilo de guardia*

$$G_{vhg} = G_{vhgIII} \cdot S_a = 0,68 \text{ daN/m} \cdot 70 \text{ m} = 47,6 \text{ daN}$$

- Carga del viento sobre aislador y suplementos

$$G_{V\alpha} = 6daN$$

- Fuerza del viento sobre el poste

Viento máximo

$$V_{max} = 35 \text{ m/seg}$$

Factor que depende de la densidad del aire

$$Q = 0,0613 \text{ kg/m}^3$$

$$Q = 0,0613 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Categoría de exposición: "C"

Factores en función de la exposición

$$Z_G = 274$$

$$\alpha = 7,5$$

$$L_s = 67$$

$$K = 0,005$$

Coefficiente de presión o de forma $C_f = 1$

Altura efectiva

$$h = H_A - H_{erm} = 13,5\text{m} - 1,5\text{m} = 12\text{m}$$

$$h_e = h - \frac{1}{3}h = 12\text{m} - \frac{1}{3} \cdot 12\text{m} = 8\text{m}$$

Vano de diseño: $a = 90\text{m}$

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

$$Z_p = 1,61 \left(\frac{h_e}{Z_G} \right)^{1/\alpha} = 1,61 \left(\frac{8\text{m}}{274} \right)^{1/7,5} = 1,01$$

Factores para hallar el factor de ráfaga de Gw

$$E = 4,9 \cdot \sqrt{k} \cdot \left(\frac{10}{Z_c}\right)^{1/4} = 4,9 \cdot \sqrt{0,005} \cdot \left(\frac{10}{8m}\right)^{1/4} = 0,36$$

$$Bp = \frac{1}{1 + 0,375 \cdot \frac{h_{em}}{L_s}} = \frac{1}{1 + \frac{0,375 \cdot 1,5m}{67}} = 0,96$$

Factor de ráfaga

$$Gp = 1 + 2,7 \cdot E \cdot \sqrt{Bp} = 1 + 2,7 \cdot 0,36 \cdot \sqrt{0,96} = 1,95$$

Factor de carga (AEA) --> 0,93

Angulo del viento con el eje perpendicular de la línea

$$\psi = 0^\circ$$

Fuerza ejercida sobre el poste

$$Fv_p = Q(Z_p \cdot V_{III})^2 \cdot Fc \cdot Gp \cdot Cf \cdot \cos^2 \psi$$

$$Fv_p = 0,0613 \frac{kg}{m^2} \cdot \left(1,01 \cdot 30 \frac{m}{seg}\right)^{2 \cdot 0,93 \cdot 1,95 \cdot 1} \cdot \cos^2 0$$

$$Fv_p = 102,06 daN$$

Acciones transversales a la línea reducidas a la cima

Coefficiente de reducción a la cima

$$C_{rc-c} = \frac{H_0 + H_1 + H_2}{H_a} = \frac{9,65m + 10,15m + 10,65m}{12m} = 2,53$$

Coefficiente de reducción a la cima con hilo de guardia

$$C_{rc-hg} = \frac{H_a + 0,1}{H_a} = \frac{12m + 0,1}{12m} = 1,01$$

Carga del viento máximo sobre el vano considerado del conductor de fase reducido a la cima

$$C_C = G_{Vc} \cdot C_{rc-c} = 80,5 daN \cdot 2,53 = 203,7 daN$$

Carga del viento máximo sobre el vano considerado del hilo de guardia reducido a la cima

$$C_{hg} = G_{Vhg} \cdot C_{rc-hg} = 47,6 daN \cdot 1,01 = 48,1 daN$$

Carga del viento sobre el aislador y suplementos reducido a la cima

$$C_{va} = G_{va} \cdot C_{rc-c} = 6 daN \cdot 2,53 = 15,18 daN$$

Carga del viento sobre el poste

$$C_p = \frac{F_{Vp} \cdot (2 \cdot D_{cp} + H_{em}) \cdot H_s}{6} = \frac{102,06 daN \cdot (2 \cdot 0,26 m + 1,5 m) \cdot 12 m}{6}$$

$$C_p = 359,3 daN$$

Acciones transversales totales reducidas a la cima

$$A_{r_{total}} = C_C + C_{hg} + C_{va} + C_p = 203,7 daN + 48,1 daN + 15,18 daN + 359,3 daN$$

$$A_{r_{total}} = 626,3 daN$$

Acciones transversales debido a excentricidades

Momentos del conductor y el aislador junto al soporte

$$M_{rc-a+s} = G_C \cdot D_{C-p} + G_{at} \cdot (L_a + L_s)$$

$$M_{rc-a+s} = (13,65 daN \cdot 0,84 m) + 14,4 daN (0,435 m + 0,26 m)$$

$$M_{rc-a+s} = 21,5 daN \cdot m$$

Desequilibrio vertical reducido a la cima

$$D_{vert} = \frac{M_{rc-a+s}}{H_s} = \frac{21,5 daN \cdot m}{12 m} = 1,8 daN$$

Verificación de las estructuras a las hipótesis de cargas

Hipótesis 1: Cargas de servicio

Peso propio y cargas permanentes. Viento máximo normal a la línea sobre aisladores, accesorios, estructura y sobre la semilongitud de ambos vanos adyacentes.

Tiro en la cima

$$T_{c1a} = A_{r_{total}} + D_{V_{ert}} = 626,3daN + 1,8daN = 628,1daN$$

No se considera las demás situaciones de esta hipótesis debidos a que representan esfuerzos menores al calculado anteriormente.

Hipótesis 2: Cargas de construcción y mantenimiento

- b. Peso propio de la estructura. Cargas permanentes con un factor de carga de 2,50, aplicadas en cualquiera de los puntos de suspensión, en varios de ellos o en todos simultáneamente. Sobrecarga adicional de montaje. No se considera viento.

Sobrecarga adicional por montaje teniendo en cuenta que para suspensión se reduce al 50%

$$G_{adic} = 50\% \cdot 200daN = 100daN$$

$$T_{c2a} = G_{adic} + 2,5 \cdot D_{V_{ert}} = 100daN + 2,5 \cdot 1,8daN = 104,5daN$$

Hipótesis 3: Cargas de contención de cargas

- c. Peso propio y cargas permanentes. Carga longitudinal en cualquiera de los puntos de suspensión, equivalente al 50% del tiro máximo de una fase ó el 70% del tiro medio (EDS), el que provoque sollicitaciones más desfavorables para conductores simples o haces de conductores. En el caso del cable de guardia se aplicará el tiro máximo longitudinal reducido al 65% ó al 100% del tiro medio (EDS). No se considera viento.

$$T_{c3a} = 70\% \cdot T_{cv} \cdot \frac{H_2}{H_4} + T_{hgv} \cdot C_{rc-hg}$$

$$T_{c3a} = 70\% \cdot 427,9daN \cdot \frac{10,65m}{13,5m} + 425,2daN \cdot 1,01 = 665,7daN$$

- d. No se considera la posibilidad de ocurrencia de sismos.

Verificación por el método de factorización de cargas y resistencias

Este método está basado en la aplicación de coeficientes de mayoración para las cargas y de minoración para las resistencias.

Factor de carga estructural

Factor de carga que tiene en cuenta el apartamiento de la estructura real, respecto al modelo ideal de cálculo y los recaudos constructivos (excentricidades no previstas en nudos y empalmes, falta de lineación de los elementos componentes, excentricidades en la aplicación de las cargas, etc.).

$$K_g = 1$$

Factor de carga por colapso para estructura de suspensión.

Factor de carga que tiene en cuenta el tipo de estructura, y el daño que produciría la falla de dicha estructura.

Solicitud última que resulta la solicitud máxima actuante

$$S = \max(T_{c1a}, T_{c2a}, T_{c3a}) = 665,7 \text{ daN}$$

Factor global de resistencia

Depende del tipo de solicitud a que está sometido el elemento estructural, y del material con el que está construido el mismo. Este coeficiente siempre menor que la unidad, tiene en cuenta la dispersión de la resistencia debido a las calidad de fabricación y montaje de la estructura.

$$\varphi = 0,75$$

Se debe cumplir:

$$K_g \cdot K_c \cdot S \leq \varphi \cdot R_c$$

$$1 \cdot 1 \cdot 665,7 \text{ daN} \leq 0,75 \cdot 1000 \text{ daN}$$

$$665,7 \text{ daN} \leq 750 \text{ daN} \rightarrow \text{VERIFICA}$$

Se adopta un poste 13,5R1000

Calculo de fundaciones

De acuerdo a la capacidad portante del terreno se realiza el cálculo de las fundaciones utilizando el método Sulzberger.

Índice de compresibilidad

Es la capacidad del terreno para reaccionar elásticamente a los esfuerzos que ejerce la fundación.

Índice de compresibilidad en las paredes de la fundación

$$C_t = 3 \text{ daN/cm}^2$$

Índice de Compresibilidad para la base de la fundación

$$C_t = C_b = 3 \text{ daN/cm}^2$$

Longitud del poste

$$H_{\bullet} = 13,5m$$

Longitud de empotramiento del poste

$$H_{em} = 1,5m$$

Altura libre del poste

$$H_a = 12m$$

Diámetro del orificio de la fundación

Diámetro en la base del poste más 20cm

$$D_{of} = d_{bp} + 2,0,1m = 0,5m + 2,0,1m = 0,7m$$

Ancho de la fundación

$$A_f = D_{of} + 2,0,3m = 0,7m + 2,0,3m = 1,3m$$

Alto de la fundación

$$A_f = B_f = D_{of} + 2.0,3m = 0,7m + 2.0,3m = 1,3m$$

Altura de la fundación

$$h_{fund} = H_{em} + 0,5m = 1,5m + 0,5m = 2m$$

Densidad del hormigón

$$\gamma_H = 2200 \text{ daN/m}^3$$

Peso de la fundación

$$G_{fund} = \left(A_f^2 \cdot h_{fund} - \frac{\pi \cdot D_{of}^2}{4} \cdot H_{em} \right) \cdot \gamma_H$$

$$G_{fund} = \left((1,3m)^2 \cdot 2m - \frac{\pi \cdot (0,7m)^2}{4} \right) \cdot 2200 \text{ daN/m}^3 = 6166 \text{ daN}$$

Cargas verticales que actúan sobre la fundación

$$G_{vz} = G_{vz} + G_{fund} = 2324 \text{ daN} + 6166 \text{ daN} = 8490 \text{ daN}$$

Corrección de Índice de Compresibilidad para las paredes de la fundación por profundidad real de la fundación

$$\frac{C_{tr} = C_r \cdot \frac{h_{fund}}{2m}}{2m} = \frac{3 \text{ daN/cm}^3 \cdot 2m}{2m} = 3 \text{ daN/cm}^3$$

Corrección de Índice de Compresibilidad para la base de la fundación por profundidad real de la fundación

Momentos estabilizantes

La fundación reacciona ante el momento volcador presentando dos momentos estabilizantes.

Momento de encastramiento

Es la reacción en las paredes que incluye la fricción entre el hormigón y la tierra a lo largo de las paredes.

Se calcula primero el valor del ángulo α para el cual el eje de giro comienza a levantarse del fondo de la fundación.

Coeficiente de fricción terreno-fundación

$$\mu = 0,4$$

$$tg_{\alpha s} = \frac{4,5 \cdot \mu \cdot G_{fvt}}{A_f \cdot (h_{fund})^2 \cdot C_{tr}} = \frac{4,5 \cdot 0,4 \cdot 8490 daN}{130cm \cdot (200cm)^2 \cdot daN/cm^2} = 0,001 < 0,015$$

$$M_s = \frac{\sqrt{2} \cdot A_f \cdot (h_{fund})^3}{36} \cdot C_{tr} \cdot 0,015 = \frac{\sqrt{2} \cdot 1,3m \cdot (2m)^3}{36 \cdot 3} \cdot daN/cm^2 \cdot 100^3 \cdot 0,015$$

$$M_s = 18284 daN \cdot m$$

Momento de reacción de fondo

Es el provocado por las cargas verticales.

$$tg_{\alpha b} = \frac{\sqrt{2} \cdot G_{fvt}}{(A_f)^2 \cdot C_{br}} = \frac{\sqrt{2} \cdot 8490 daN}{(130cm)^2 \cdot daN/cm^2} = 0,0018 < 0,015$$

$$M_b = \left(\frac{\sqrt{2} \cdot A_f}{2} - 0,5 \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot G_{fvt}}{C_{br} \cdot 0,015}} \right) \cdot G_{fvt}$$

$$M_b = \left(\frac{\sqrt{2} \cdot 1,3m}{2} - 0,5 \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot 8490 daN}{3 daN/cm^2 \cdot 100^3 \cdot 0,015}} \right) \cdot 8490 daN$$

$$M_b = 4293 daN \cdot m$$

Momento estabilizante total

$$M_{Tot} = M_s + M_b = 18284 daN \cdot m + 4293 daN \cdot m = 22577 daN \cdot m$$

Momento de vuelco

Los esfuerzos volcadores son las cargas horizontales que actúan sobre la estructura. En los apoyos de hormigón armado lo normal es contar con la carga total reducida a la cima del poste.

Según sea la posición del eje de giro resultara la distancia de aplicación de la fuerza que provoca el momento volcador. Para el caso más común en que la fundación trabaja parcialmente despegada del suelo el momento volcador tiene la expresión:

$$M_v = S \cdot \left(H_a + \frac{2}{3} \cdot h_{fund} \right) = 665,7 daN \cdot \left(12m + \frac{2}{3 \cdot 2m} \right) = 8876 daN \cdot m$$

Determinación de factor de vuelco K_v

$$\text{Si } \left(\frac{M_s}{M_b} \right) \geq 1 \rightarrow K_v = 1$$

$$\frac{M_s}{M_b} = \frac{18284 daN \cdot m}{4293 daN \cdot m} = 4,3 \rightarrow K_v = 1$$

Factor de carga K_C

Factor de carga que tiene en cuenta el tipo de estructura y el daño que produciría la falla de dicha estructura

$K_C = 1$ para estructuras de suspensión y retención.

Factor de carga K_E

Factor de carga que tiene en cuenta la verificación experimental del comportamiento del cemento.

$K_E = 1$ para solicitaciones de vuelco y compresión

Factor de resistencia al vuelco ϕ_v

$$\phi_v = \frac{1}{K_v} = 1$$

El diseño de las fundaciones se basara en la aplicación del “método de factorización de cargas y resistencias” debiéndose cumplir con la siguiente condición:

$$K_C \cdot K_E \cdot M_v \leq M_{Tot} \cdot \phi_v$$

$1 \cdot 1 \cdot 8876 daN \cdot m \leq 22577 daN \cdot m \rightarrow \text{VERIFICA}$

Estructura de Suspensión(Vano 100m)

Es el apoyo normal de la línea en tramo recto. Su nombre se debe a que en las líneas de alta tensión, el conductor está suspendido por los aisladores. Está previsto para soportar las cargas debidas al peso y al viento. También puede resistir una carga limitada producida por el corte de un conductor.

Datos de la Instalación

El tipo de montaje realizado a lo largo de la línea es del tipo Line post con una disposición triangular de los conductores.

Características de la línea en el poste calculado:

Vano anterior a la estructura

$$a_1 = 100m$$

Vano posterior a la estructura

$$a_2 = 100m$$

Semilongitud de vanos adyacentes

$$S_a = \frac{a_1}{2} + \frac{a_2}{2} = \frac{100m}{2} + \frac{100m}{2} = 100m$$

Índice de compresibilidad

- Arena fina Húmeda

$$C_c = \frac{3daN}{cm^3}$$

Tensión de línea

$$V_L = 33kV$$

Altura mínima del conductor al suelo adoptada de acuerdo a la reglamentación de la AEA.

$$H_L = 7m$$

Características del conductor

Características del Conductor (IRAM 2187)	
Material	Aluminio - Acero
Sección nominal	50/8
Sc	50mm ²
Src	56,3mm ²
Formación	6 x 3,2mm ² + 1 x 3,2mm ²
Diámetro exterior	9,6mm
ladm	195A
Carga de rotura (Trc)	1713 daN
Peso aproximado (P _c)	195 kg/km
Módulo de elasticidad (E _c)	8100 daN/mm ²
Coefficiente de dilatación (α _c)	19,1 E-6 1/°C

Características del hilo de guardia

Características del hilo de guardia (IRAM 722)	
Material	Acero
Sección nominal	35
Shg	34,37 mm ²
Formación	7x1
Diámetro exterior	6,6mm
Carga de rotura (Thg)	1700 daN
Peso aproximado (P _{hg})	269 kg/km
Módulo de elasticidad (E _{hg})	20000 daN/mm ²
Coefficiente de dilatación (α _c)	11x10E-6 1/°C

Aislador

Características del Aislador	
Longitud del aislador (L_a)	0,435m
Diámetro del núcleo (D_{na})	0,033m

Diámetro exterior (D_{ea})	0,11m
Angulo sobre la horizontal (Y_a)	15°
Longitud suplemento de amarre (L_{sa})	0m
Peso del aislador más suplementos (G_a)	2,5daN
Peso del soporte (G_{hsa})	2daN

Distancias eléctricas mínimas

Distancia entre conductores en el medio del vano

Angulo máximo de declinación del conductor

$$\theta_{ca} = 79^\circ$$

Coficiente dependiente del ángulo de declinación θ_{ca} para disposición triangular de acuerdo a la AEA

$$K_c = 0,95 \frac{m}{kV \cdot \sqrt{m}}$$

Longitud oscilante de la cadena de aislación L_{ca}

$$L_{ca} = 0$$

Tensión nominal V_N

$$V_N = 33kV$$

Distancia entre fases en el medio del vano D_{f-f}

Para las líneas de clases "B y C", la distancia entre conductores, en m, en el centro del vano y en situación de reposo, no será menor que la dada por:

$$D_{f-f} = K_c \cdot \sqrt{f_{cl} + L_{ca}} + \frac{V_N}{150} = 0,95 \frac{m}{kV \cdot \sqrt{m}} \cdot \sqrt{0,97m + 0m} + \frac{33kV}{150} = 1,16m$$

Se adopta $D_{f-f} = 1,20m$

Distancia entre fase y cable de guardia en el medio del vano D_{f-hg}

$$V_F = \frac{V_N}{\sqrt{3}} = \frac{33kV}{\sqrt{3}} = 19,05kV$$

$$D_{f-hg} = K_c \cdot \sqrt{f_{cl} + L_{ca}} + \frac{V_F}{150} = 0,95 \frac{m}{kV \cdot \sqrt{m}} \cdot \sqrt{0,97m + 0m} + \frac{19,05kV}{150} = 1,06m$$

Se adopta $D_{f-hg} = 1,10m$

Cabe destacar que esta distancia puede modificarse para permitir la adecuada protección de las fases contra descargas atmosféricas.

Distancia mínima entre conductores y accesorios puestos a potencial de línea y tierra D_{f-m}

Máxima tensión de servicio del sistema, fase a fase V_M

$$V_M = 1,1 \cdot V_N = 1,1 \cdot 33kV = 36,3kV$$

$$D_{f-m} = 0,075 + 0,005(V_M - 8,7) = 0,075 + 0,005(36,3kV - 8,7) = 0,213m$$

Se adopta $D_{f-m} = 0,22m$

Distancias verticales mínimas

Distancia vertical a tierra, a objetos bajo la línea y aplicables en cruces entre líneas de baja tensión y media tensión D de acuerdo a la AEA:

$$D = 1,20m$$

Dimensionamiento del cabezal

Diámetro en la cima del poste D_{cp}

$$D_{cp} = 0,26m$$

Conicidad del poste

$$c = 0,018$$

Diámetro del poste a la altura en que el conductor inferior presenta el máximo acercamiento al poste

$$D_p = D_{cp} + c \cdot 2,85m = 0,26m + 0,018 \cdot 2,85m = 0,31m$$

Distancia desde conductor al centro del poste

$$D_1(c-p) = L_1 a \cdot \cos(\alpha) + L_1 s + Dp/2 = 0,435m \cdot \cos(15^\circ) + 0,26m + 0,31m/2 = 0,84m$$

Distancia vertical entre conductores

Debe ser como mínimo D_{f-f}

$$D_1 = D_{f-f} = 1,20m$$

Distancia entre conductor superior e intermedio

$$D_2 = \frac{D_1}{2} = \frac{1,20m}{2} = 0,6m$$

Distancia entre conductor y el hilo de guardia

$$D_{f-hg} = \frac{D_{c-p}}{\operatorname{tg}(\theta)} = \frac{0,84m}{\operatorname{tg}(30^\circ)} = 1,45m$$

Distancia horizontal entre conductores

$$L_h = 2 \cdot D_{c-p} = 2 \cdot 0,84m = 1,68m$$

Alturas

Altura de la cima del poste al hilo de guardia

$$H_{hg} = 0,1m$$

Altura libre del poste

$$H_2 = H_L + f_{c1} + D_1 + D_{f-hg} - H_{hg} = 7m + 0,97m + 1,20m + 1,45m - 0,1m$$

$$H_2 = 10,52m$$

Altura total del poste

$$H_4 = \frac{H_2}{90\%} = \frac{10,52m}{90\%} = 11,7m$$

Se adopta un poste de $H_4 = 13,5m$

Altura de empotramiento

$$H_{em} = H_{4,10\%} = 13,5m \cdot 0,1 = 1,35m$$

Se adopta: $H_{em} = 1,5m$

Corrección de la altura libre entre suelo y conductor

$$H_L = H_A - (f_{c1} + D_{f-f} + D_{f-hg} + H_{em} - H_{hg})$$

$$H_L = 13,5m - (0,97m + 1,20m + 1,45m + 1,5m - 0,1m) = 8,48m$$

Corrección de la altura libre del poste

$$H_2 = H_L + f_{c1} + D_{f-f} + D_{f-hg} - H_{hg}$$

$$H_2 = 8,48m + 0,97m + 1,20m + 1,45m - 0,1m = 12m$$

Altura del suelo al conductor inferior

$$H_0 = H_L + f_{c1} = 8,48m + 0,97m = 9,45m$$

Altura del suelo al conductor medio

$$H_1 = H_L + f_{c1} + D_2 = 8,48m + 0,97m + 0,6m = 10,05m$$

Altura del suelo al conductor superior

$$H_2 = H_L + f_{c1} + D_{f-f} = 8,48m + 0,97m + 1,20m = 10,65m$$

Dimensiones del poste

Diámetro en la cima del poste

$$D_{cp} = 0,26m$$

Diámetro en la base del poste

$$D_{bp} = D_{cp} + c \cdot H_A = 0,26m + 0,018 \cdot 13,5m = 0,5m$$

Diámetro en el empotramiento del poste

$$D_{sp} = D_{cp} + c \cdot H_g = 0,26m + 0,018 \cdot 12m = 0,47m$$

Dimensionamiento mecánico

Cargas actuantes sobre la estructura

Acciones verticales

- *Peso del conductor*

$$G_c = P_c \cdot S_a = 195 \text{ daN/km} \cdot 0,1 \text{ km} = 19,5 \text{ daN}$$

- *Peso total de conductores de fase*

$$G_{ct} = 3 \cdot G_c = 3 \cdot 19,5 \text{ daN} = 58,5 \text{ daN}$$

- *Peso del cable de guardia*

$$G_{hg} = P_{hg} \cdot S_a = 269 \text{ daN/km} \cdot 0,1 \text{ km} = 26,9 \text{ daN}$$

- *Peso total de aisladores más suplementos*

$$G_{at} = 3 \cdot (G_a + G_{hsa}) = 3 \cdot (2 \text{ daN} + 2,8 \text{ daN}) = 14,4 \text{ daN}$$

- *Peso del poste*

$$G_p = 2250 \text{ daN}$$

- *Acciones verticales totales*

$$G_{vt} = G_{ct} + G_{hg} + G_{at} + G_p$$

$$G_{vt} = 58,5 \text{ daN} + 26,9 \text{ daN} + 14,4 \text{ daN} + 2250 \text{ daN}$$

$$G_{vt} = 2350 \text{ daN}$$

Acciones transversales a la línea

- *Viento máximo sobre el vano considerado del conductor de fase*

$$G_{vt} = G_{vciff} \cdot s_a = 1,15 \text{ daN/m} \cdot 100 \text{ m} = 115 \text{ daN}$$

- **Viento máximo sobre el vano considerado del hilo de guardia**

$$G_{Vhg} = G_{vhgIII} \cdot s_{\alpha} = 0,68 \text{ daN/m} \cdot 100\text{m} = 68 \text{ daN}$$

- **Carga del viento sobre aislador y suplementos**

$$G_{Va} = 6 \text{ daN}$$

- **Fuerza del viento sobre el poste**

Viento máximo

$$V_{max} = 35 \text{ m/seg}$$

Factor que depende de la densidad del aire

$$Q = 0,0613 \text{ kg/m}^3$$

$$Q = 0,0613 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Categoría de exposición: "C"

Factores en función de la exposición

$$Z_G = 274$$

$$\alpha = 7,5$$

$$L_s = 67$$

$$K = 0,005$$

Coeficiente de presión o de forma $C_f = 1$

Altura efectiva

$$h = H_A - H_{em} = 13,5\text{m} - 1,5\text{m} = 12\text{m}$$

$$h_e = h - \frac{1}{3}h = 12\text{m} - \frac{1}{3} \cdot 12\text{m} = 8\text{m}$$

Vano de diseño: $a = 90\text{m}$

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

$$Z_p = 1,61 \left(\frac{h_e}{Z_G} \right)^{1/\alpha} = 1,61 \left(\frac{8\text{m}}{274} \right)^{1/7,5} = 1,01$$

Factores para hallar el factor de ráfaga de Gw

$$E = 4,9 \cdot \sqrt{k} \cdot \left(\frac{10}{Z_c}\right)^{1/\alpha} = 4,9 \cdot \sqrt{0,005} \cdot \left(\frac{10}{8m}\right)^{1/7,5} = 0,36$$

$$Bp = \frac{1}{1 + 0,375 \cdot \frac{h_{em}}{L_s}} = \frac{1}{1 + \frac{0,375 \cdot 1,5m}{67}} = 0,96$$

Factor de ráfaga

$$Gp = 1 + 2,7 \cdot E \cdot \sqrt{Bp} = 1 + 2,7 \cdot 0,36 \cdot \sqrt{0,96} = 1,95$$

Factor de carga (AEA) --> 0,93

Angulo del viento con el eje perpendicular de la línea

$$\psi = 0^\circ$$

Fuerza ejercida sobre el poste

$$Fv_p = Q(Zp \cdot V_{III})^2 \cdot Fc \cdot Gp \cdot Cf \cdot \cos^2 \psi$$

$$Fv_p = 0,0613 \frac{kg}{m^2} \cdot \left(1,01 \cdot 30 \frac{m}{seg}\right)^{2 \cdot 0,93 \cdot 1,95 \cdot 1} \cdot \cos^2 0$$

$$Fv_p = 102,06 daN$$

Acciones transversales a la línea reducidas a la cima

Coefficiente de reducción a la cima

$$C_{rc-c} = \frac{H_0 + H_1 + H_2}{H_a} = \frac{9,45m + 10,05m + 10,65m}{12m} = 2,52$$

Coefficiente de reducción a la cima con hilo de guardia

$$C_{rc-hg} = \frac{H_a + 0,1}{H_a} = \frac{12m + 0,1}{12m} = 1,01$$

Carga del viento máximo sobre el vano considerado del conductor de fase reducido a la cima

$$C_C = G_{VC} \cdot C_{rc-c} = 115 \text{ daN} \cdot 2,52 = 289,8 \text{ daN}$$

Carga del viento máximo sobre el vano considerado del hilo de guardia reducido a la cima

$$C_{hg} = G_{Vhg} \cdot C_{rc-hg} = 68 \text{ daN} \cdot 1,01 = 68,7 \text{ daN}$$

Carga del viento sobre el aislador y suplementos reducido a la cima

$$C_{va} = G_{va} \cdot C_{rc-c} = 6 \text{ daN} \cdot 2,52 = 15,12 \text{ daN}$$

Carga del viento sobre el poste

$$C_p = \frac{F_{vp} \cdot (2 \cdot D_{cp} + H_{em}) \cdot H_a}{6} = \frac{102,06 \text{ daN} \cdot (2 \cdot 0,26 \text{ m} + 1,5 \text{ m}) \cdot 12 \text{ m}}{6}$$

$$C_p = 359,3 \text{ daN}$$

Acciones transversales totales reducidas a la cima

$$A_{r_{total}} = C_C + C_{hg} + C_{va} + C_p = 289,8 \text{ daN} + 68,7 \text{ daN} + 15,12 \text{ daN} + 359,3 \text{ daN}$$

$$A_{r_{total}} = 732,9 \text{ daN}$$

Acciones transversales debido a excentricidades

Momentos del conductor y el aislador junto al soporte

$$M_{t_{c-a+s}} = G_C \cdot D_{c-p} + G_{at} \cdot (L_a + L_s)$$

$$M_{t_{c-a+s}} = (19,5 \text{ daN} \cdot 0,84 \text{ m}) + 14,4 \text{ daN} (0,435 \text{ m} + 0,26 \text{ m})$$

$$M_{t_{c-a+s}} = 26,4 \text{ daN} \cdot \text{m}$$

Desequilibrio vertical reducido a la cima

$$D_{vert} = \frac{M_{t_{c-a+s}}}{H_a} = \frac{26,4 \text{ daN} \cdot \text{m}}{12 \text{ m}} = 2,2 \text{ daN}$$

Verificación de las estructuras a las hipótesis de cargas

Hipótesis 1: Cargas de servicio

Peso propio y cargas permanentes. Viento máximo normal a la línea sobre aisladores, accesorios, estructura y sobre la semilongitud de ambos vanos adyacentes.

Tiro en la cima

$$T_{c1a} = A_{t_{total}} + D_{vert} = 732,9daN + 2,2daN = 735,1daN$$

No se considera las demás situaciones de esta hipótesis debidos a que representan esfuerzos menores al calculado anteriormente.

Hipótesis 2: Cargas de construcción y mantenimiento

- c. Peso propio de la estructura. Cargas permanentes con un factor de carga de 2,50, aplicadas en cualquiera de los puntos de suspensión, en varios de ellos o en todos simultáneamente. Sobrecarga adicional de montaje. No se considera viento.

Sobrecarga adicional por montaje teniendo en cuenta que para suspensión se reduce al 50%

$$G_{adic} = 50\% \cdot 200daN = 100daN$$

$$T_{c2a} = G_{adic} + 2,5 \cdot D_{vert} = 100daN + 2,5 \cdot 2,2daN = 105,5daN$$

Hipótesis 3: Cargas de contención de cargas

- e. Peso propio y cargas permanentes. Carga longitudinal en cualquiera de los puntos de suspensión, equivalente al 50% del tiro máximo de una fase ó el 70% del tiro medio (EDS), el que provoque solicitaciones más desfavorables para conductores simples o haces de conductores. En el caso del cable de guardia se aplicará el tiro máximo longitudinal reducido al 65% ó al 100% del tiro medio (EDS). No se considera viento.

$$T_{c3a} = 70\% \cdot T_{cv} \cdot \frac{H_2}{H_A} + T_{hgV} \cdot C_{rc-hg}$$

$$T_{c3a} = 70\% \cdot 427,9daN \cdot \frac{10,65m}{13,5m} + 425,2daN \cdot 1,01 = 665,7daN$$

- f. No se considera la posibilidad de ocurrencia de sismos.

Verificación por el método de factorización de cargas y resistencias

Este método está basado en la aplicación de coeficientes de mayoración para las cargas y de minoración para las resistencias.

Factor de carga estructural

Factor de carga que tiene en cuenta el apartamiento de la estructura real, respecto al modelo ideal de cálculo y los recaudos constructivos (excentricidades no previstas en nudos y empalmes, falta de lineación de los elementos componentes, excentricidades en la aplicación de las cargas, etc.).

$$K_e = 1$$

Factor de carga por colapso para estructura de suspensión.

Factor de carga que tiene en cuenta el tipo de estructura, y el daño que produciría la falla de dicha estructura.

Solicitud última que resulta la solicitud máxima actuante

$$S = \max(T_{c1a}, T_{c2a}, T_{c3a}) = 735,1 \text{ daN}$$

Factor global de resistencia

Depende del tipo de solicitud a que está sometido el elemento estructural, y del material con el que está construido el mismo. Este coeficiente siempre menor que la unidad, tiene en cuenta la dispersión de la resistencia debido a las calidad de fabricación y montaje de la estructura.

$$\varphi = 0,75$$

Resistencia nominal del poste

$$R_c = 1400 \text{ daN}$$

Se debe cumplir:

$$K_e \cdot K_c \cdot S \leq \varphi \cdot R_c$$

$$1 \cdot 1 \cdot 735,1 \text{ daN} \leq 0,75 \cdot 1400 \text{ daN}$$

$735,1 \text{ daN} \leq 825 \text{ daN} \rightarrow \text{VERIFICA}$
--

Se adopta un poste 13,5R1100

Calculo de fundaciones

De acuerdo a la capacidad portante del terreno se realiza el cálculo de las fundaciones utilizando el método Sulzberger.

Índice de compresibilidad

Es la capacidad del terreno para reaccionar elásticamente a los esfuerzos que ejerce la fundación.

Índice de compresibilidad en las paredes de la fundación.

$$C_z = 3 \text{ daN/cm}^2$$

Índice de Compresibilidad para la base de la fundación

$$C_z = C_b = 3 \text{ daN/cm}^2$$

Longitud del poste

$$H_{\bullet} = 13,5m$$

Longitud de empotramiento del poste

$$H_{em} = 1,5m$$

Altura libre del poste

$$H_a = 12m$$

Diámetro del orificio de la fundación

Diámetro en la base del poste más 20cm

$$D_{of} = d_{bp} + 2.0,1m = 0,5m + 2.0,1m = 0,7m$$

Ancho de la fundación

$$A_f = D_{of} + 2.0,35m = 0,7m + 2.0,3m = 1,3m$$

Alto de la fundación

$$A_f = B_f = D_{of} + 2.0,35m = 0,67m + 2.0,3m = 1,3m$$

Altura de la fundación

$$h_{fund} = H_{em} + 0,5m = 1,5m + 0,5m = 2m$$

Densidad del hormigón

$$\gamma_H = 2200 \text{ daN/m}^3$$

Peso de la fundación

$$G_{fund} = \left(A_f^2 \cdot h_{fund} - \frac{\pi \cdot D_{of}^2}{4} \cdot H_{em} \right) \cdot \gamma_H$$

$$G_{fund} = \left((1,3m)^2 \cdot 2m - \frac{\pi \cdot (0,7m)^2}{4} \right) \cdot 2200 \text{ daN/m}^3 = 6166 \text{ daN}$$

Cargas verticales que actúan sobre la fundación

$$G_{vtz} = G_{vt} + G_{fund} = 2350 \text{ daN} + 6166 \text{ daN} = 8516 \text{ daN}$$

Corrección de Índice de Compresibilidad para las paredes de la fundación por profundidad real de la fundación

$$\frac{C_{tr} = C_r \cdot \frac{h_{fund}}{2m}}{2m} = \frac{3 \text{ daN/cm}^3 \cdot 2m}{2m} = 3 \text{ daN/cm}^3$$

Corrección de Índice de Compresibilidad para la base de la fundación por profundidad real de la fundación

$$C_{br} = C_b$$

Momentos estabilizantes

La fundación reacciona ante el momento volcador presentando dos momentos estabilizantes.

Momento de encastramiento

Es la reacción en las paredes que incluye la fricción entre el hormigón y la tierra a lo largo de las paredes.

Se calcula primero el valor del ángulo α para el cual el eje de giro comienza a levantarse del fondo de la fundación.

Coefficiente de fricción terreno-fundación

$$\mu = 0,4$$

$$tg_{\alpha s} = \frac{4,5 \cdot \mu \cdot G_{fvt}}{A_f \cdot (h_{fund})^2 \cdot C_{tr}} = \frac{4,5 \cdot 0,4 \cdot 4.8516 daN}{130 cm \cdot (200 cm)^2 \cdot daN/cm^2} = 0,001 < 0,015$$

$$M_s = \frac{\sqrt{2} \cdot A_f \cdot (h_{fund})^3}{36} \cdot C_{tr} \cdot 0,015 = \frac{\sqrt{2} \cdot 1,3 m \cdot (2 m)^3}{36 \cdot 3} daN/cm^2 \cdot 100^2 \cdot 0,015$$

$$M_s = 18384 daN \cdot m$$

Momento de reacción de fondo

Es el provocado por las cargas verticales.

$$tg_{\alpha b} = \frac{\sqrt{2} \cdot G_{fvt}}{(A_f)^2 \cdot C_{br}} = \frac{\sqrt{2} \cdot 8516 daN}{(130 cm)^2 \cdot daN/cm^2} = 0,0018 < 0,015$$

$$M_b = \left(\frac{\sqrt{2} \cdot A_f}{2} - 0,5 \sqrt{\frac{3 \cdot G_{fund}}{C_{br} \cdot 0,015}} \right) \cdot G_{fvt}$$

$$M_b = \left(\frac{\sqrt{2} \cdot 1,3 m}{2} - 0,5 \sqrt{\frac{3 \cdot 8516 daN}{3 daN/cm^2 \cdot 100^2 \cdot 0,015}} \right) \cdot 8516 daN$$

$$M_b = 4302 daN \cdot m$$

Momento estabilizante total

$$M_{Tot} = M_s + M_b = 18384 daN \cdot m + 4302 daN \cdot m = 22686 daN \cdot m$$

Momento de vuelco

Los esfuerzos volcadores son las cargas horizontales que actúan sobre la estructura. En los apoyos de hormigón armado lo normal es contar con la carga total reducida a la cima del poste.

Según sea la posición del eje de giro resultara la distancia de aplicación de la fuerza que provoca el momento volcador. Para el caso más común en que la fundación trabaja parcialmente despegada del suelo el momento volcador tiene la expresión:

$$M_v = S \cdot \left(H_a + \frac{2}{3} \cdot h_{fund} \right) = 735,1 daN \cdot \left(12m + \frac{2}{3 \cdot 2m} \right) = 9801 daN \cdot m$$

Determinación de factor de vuelco K_v

$$\text{Si } \left(\frac{M_s}{M_b} \right) \geq 1 \rightarrow K_v = 1$$

$$\frac{M_s}{M_b} = \frac{18384 daN \cdot m}{4302 daN \cdot m} = 4,3 \rightarrow K_v = 1$$

Factor de carga K_C

Factor de carga que tiene en cuenta el tipo de estructura y el daño que produciría la falla de dicha estructura

$K_C = 1$ para estructuras de suspensión y retención.

Factor de carga K_E

Factor de carga que tiene en cuenta la verificación experimental del comportamiento del cemento.

$K_E = 1$ para solicitaciones de vuelco y compresión

Factor de resistencia al vuelco ϕ_v

$$\phi_v = \frac{1}{K_v} = 1$$

El diseño de las fundaciones se basara en la aplicación del “método de factorización de cargas y resistencias” debiéndose cumplir con la siguiente condición:

$$K_C \cdot K_E \cdot M_v \leq M_{T_{ot}} \cdot \phi_v$$

$$1 \cdot 1 \cdot 9801 daN \cdot m \leq 22686 daN \cdot m \rightarrow \text{VERIFICA}$$

Estructura de Suspensión

Es el apoyo normal de la línea en tramo recto. Su nombre se debe a que en las líneas de alta tensión, el conductor está suspendido por los aisladores. Está previsto para soportar las cargas debidas al peso y al viento. También puede resistir una carga limitada producida por el corte de un conductor.

Datos de la Instalación

El tipo de montaje realizado a lo largo de la línea es del tipo Line post con una disposición triangular de los conductores.

Características de la línea en el poste calculado:

Vano anterior a la estructura

$$a_1 = 80m$$

Vano posterior a la estructura

$$a_2 = 100m$$

Semilongitud de vanos adyacentes

$$S_a = \frac{a_1}{2} + \frac{a_2}{2} = \frac{80m}{2} + \frac{90m}{100} = 90m$$

Índice de compresibilidad

- Arena fina Húmeda

$$C_c = \frac{3daN}{cm^3}$$

Tensión de línea

$$V_L = 33kV$$

Altura mínima del conductor al suelo adoptada de acuerdo a la reglamentación de la AEA.

$$H_L = 7m$$

Características del conductor

Características del Conductor (IRAM2187)	
Material	Aluminio - Acero
Sección nominal	50/8
Sc	50mm ²
Src	56,3mm ²
Formación	6 x 3,2mm ² + 1 x 3,2mm ²
Diámetro exterior	9,6mm
Iadm	195A
Carga de rotura (Trc)	1713 daN
Peso aproximado (Pc)	195 kg/km
Módulo de elasticidad (Ec)	8100 daN/mm ²
Coefficiente de dilatación (α_c)	19,1 E-6 1/°C

Características del hilo de guardia

Características del hilo de guardia (IRAM 722)	
Material	Acero
Sección nominal	35
Shg	34,37 mm ²
Formación	7x1
Diámetro exterior	6,6mm
Carga de rotura (Thg)	1700 daN
Peso aproximado (P _{hg})	269 kg/km
Módulo de elasticidad (E _{ng})	20000 daN/mm ²
Coefficiente de dilatación (α_c)	11x10E-6 1/°C

Aislador

Características del Aislador	
Longitud del aislador (L_a)	0,435m
Diámetro del núcleo (D_{na})	0,033m

Diámetro exterior (D_{ea})	0,11m
Angulo sobre la horizontal (Y_a)	15°
Longitud suplemento de amarre (L_{sa})	0m
Peso del aislador más suplementos (G_a)	2,5daN
Peso del soporte (G_{hsa})	2daN

Distancias eléctricas mínimas

Distancia entre conductores en el medio del vano

Angulo máximo de declinación del conductor

$$\theta_{ca} = 80,1^\circ$$

Coficiente dependiente del ángulo de declinación θ_{ca} para disposición triangular de acuerdo a la AEA

$$K_c = 0,95 \frac{m}{kV \cdot \sqrt{m}}$$

Longitud oscilante de la cadena de aislación L_{ca}

$$L_{ca} = 0$$

Tensión nominal V_N

$$V_N = 33kV$$

Distancia entre fases en el medio del vano D_{f-f}

Para las líneas de clases "B y C", la distancia entre conductores, en m, en el centro del vano y en situación de reposo, no será menor que la dada por:

$$D_{f-f} = K_c \cdot \sqrt{f_{cl} + L_{ca}} + \frac{V_N}{150} = 0,95 \frac{m}{kV \cdot \sqrt{m}} \cdot \sqrt{0,82m + 0m} + \frac{33kV}{150} = 1,08m$$

Se adopta $D_{f-f} = 1,10m$

Distancia entre fase y cable de guardia en el medio del vano D_{f-hg}

$$V_F = \frac{V_N}{\sqrt{3}} = \frac{33kV}{\sqrt{3}} = 19,05kV$$

$$D_{f-hg} = K_c \cdot \sqrt{f_{cl} + L_{ca}} + \frac{V_F}{150} = 0,95 \frac{m}{kV \cdot \sqrt{m}} \cdot \sqrt{0,82m + 0m} + \frac{19,05kV}{150} = 0,98m$$

Se adopta $D_{f-hg} = 1m$

Cabe destacar que esta distancia puede modificarse para permitir la adecuada protección de las fases contra descargas atmosféricas.

Distancia mínima entre conductores y accesorios puestos a potencial de línea y tierra

D_{f-m}

Máxima tensión de servicio del sistema, fase a fase V_M

$$V_M = 1,1 \cdot V_N = 1,1 \cdot 33kV = 36,3kV$$

$$D_{f-m} = 0,075 + 0,005(V_M - 8,7) = 0,075 + 0,005(36,3kV - 8,7) = 0,213m$$

Se adopta $D_{f-m} = 0,22m$

Distancias verticales mínimas

Distancia vertical a tierra, a objetos bajo la línea y aplicables en cruces entre líneas de baja tensión y media tensión D de acuerdo a la AEA:

$$D = 1,20m$$

Dimensionamiento del cabezal

Diámetro en la cima del poste D_{cp}

$$D_{cp} = 0,26m$$

Conicidad del poste

$$c = 0,018$$

Diámetro del poste a la altura en que el conductor inferior presenta el máximo acercamiento al poste

$$D_p = D_{cp} + c \cdot 2,85m = 0,26m + 0,018 \cdot 2,85m = 0,31m$$

Distancia desde conductor al centro del poste

$$D_1(c-p) = L_1 a \cdot \cos(\alpha) + L_1 s + Dp/2 = 0,435m \cdot \cos(15^\circ) + 0,26m + 0,31m/2 = 0,84m$$

Distancia vertical entre conductores

Debe ser como mínimo D_{f-f}

$$D_1 = D_{f-f} = 1,10m$$

Distancia entre conductor superior e intermedio

$$D_2 = \frac{D_1}{2} = \frac{1,10m}{2} = 0,55m$$

Distancia entre conductor y el hilo de guardia

$$D_{f-hg} = \frac{D_{c-p}}{\operatorname{tg}(\theta)} = \frac{0,84m}{\operatorname{tg}(30^\circ)} = 1,45m$$

Distancia horizontal entre conductores

$$L_h = 2 \cdot D_{c-p} = 2 \cdot 0,84m = 1,68m$$

Alturas

Altura de la cima del poste al hilo de guardia

$$H_{hg} = 0,1m$$

Altura libre del poste

$$H_2 = H_L + f_{c1} + D_1 + D_{f-hg} - H_{hg} = 7m + 0,82m + 1,10m + 1,45m - 0,1m$$

$$H_2 = 10,27m$$

Altura total del poste

$$H_4 = \frac{H_2}{90\%} = \frac{10,27m}{90\%} = 11,4m$$

Se adopta un poste de $H_4 = 13,5m$

Altura de empotramiento

$$H_{em} = H_{4,10\%} = 13,5m \cdot 0,1 = 1,35m$$

Se adopta: $H_{em} = 1,5m$

Corrección de la altura libre entre suelo y conductor

$$H_L = H_A - (f_{c1} + D_{f-f} + D_{f-hg} + H_{em} - H_{hg})$$

$$H_L = 13,5m - (0,82m + 1,10m + 1,45m + 1,5m - 0,1m) = 8,73m$$

Corrección de la altura libre del poste

$$H_a = H_L + f_{c1} + D_{f-f} + D_{f-hg} - H_{hg}$$

$$H_a = 8,73m + 0,82m + 1,10m + 1,45m - 0,1m = 12m$$

Altura del suelo al conductor inferior

$$H_0 = H_L + f_{c1} = 8,73m + 0,82m = 9,55m$$

Altura del suelo al conductor medio

$$H_1 = H_L + f_{c1} + D_2 = 8,73m + 0,82m + 0,55m = 10,1m$$

Altura del suelo al conductor superior

$$H_2 = H_L + f_{c1} + D_{f-f} = 8,73m + 0,82m + 1,10m = 10,65m$$

Dimensiones del poste

Diámetro en la cima del poste

$$D_{cp} = 0,26m$$

Diámetro en la base del poste

$$D_{bp} = D_{cp} + c \cdot H_A = 0,26m + 0,018 \cdot 13,5m = 0,5m$$

Diámetro en el empotramiento del poste

$$D_{ep} = D_{cp} + c \cdot H_g = 0,26m + 0,018 \cdot 12m = 0,47m$$

Dimensionamiento mecánico

Cargas actuantes sobre la estructura

Acciones verticales

- *Peso del conductor*

$$G_c = P_c \cdot S_a = 195 \text{ daN/km} \cdot 0,09 \text{ km} = 17,55 \text{ daN}$$

- *Peso total de conductores de fase*

$$G_{ct} = 3 \cdot G_c = 3 \cdot 17,55 \text{ daN} = 52,65 \text{ daN}$$

- *Peso del cable de guardia*

$$G_{hg} = P_{hg} \cdot S_a = 269 \text{ daN/km} \cdot 0,09 \text{ km} = 24,2 \text{ daN}$$

- *Peso total de aisladores más suplementos*

$$G_{at} = 3 \cdot (G_a + G_{hsa}) = 3 \cdot (2 \text{ daN} + 2,8 \text{ daN}) = 14,4 \text{ daN}$$

- *Peso del poste*

$$G_p = 2250 \text{ daN}$$

- *Acciones verticales totales*

$$G_{vt} = G_{ct} + G_{hg} + G_{at} + G_p$$

$$G_{vt} = 52,65 \text{ daN} + 17,55 \text{ daN} + 24,2 \text{ daN} + 2250 \text{ daN}$$

$$G_{vt} = 2344 \text{ daN}$$

Acciones transversales a la línea

- *Viento máximo sobre el vano considerado del conductor de fase*

$$G_{Vc} = G_{veIII} \cdot S_a = 1,15 \text{ daN/m} \cdot 90 \text{ m} = 103,5 \text{ daN}$$

- *Viento máximo sobre el vano considerado del hilo de guardia*

$$G_{vhg} = G_{vhgIII} \cdot s_a = 0,68 \text{ daN/m} \cdot 90\text{m} = 61,2 \text{ daN}$$

- Carga del viento sobre aislador y suplementos

$$G_{Va} = 6 \text{ daN}$$

- Fuerza del viento sobre el poste

Viento máximo

$$V_{max} = 35 \text{ m/seg}$$

Factor que depende de la densidad del aire

$$Q = 0,0613 \text{ kg/m}^3$$

$$Q = 0,0613 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Categoría de exposición: "C"

Factores en función de la exposición

$$Z_C = 274$$

$$\alpha = 7,5$$

$$L_s = 67$$

$$K = 0,005$$

Coefficiente de presión o de forma $C_f = 1$

Altura efectiva

$$h = H_A - H_{em} = 13,5\text{m} - 1,5\text{m} = 12\text{m}$$

$$h_e = h - \frac{1}{3}h = 12\text{m} - \frac{1}{3} \cdot 12\text{m} = 8\text{m}$$

Vano de diseño: $a = 90\text{m}$

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

$$Z_p = 1,61 \left(\frac{h_e}{Z_C} \right)^{1/\alpha} = 1,61 \left(\frac{8\text{m}}{274} \right)^{1/7,5} = 1,01$$

Factores para hallar el factor de ráfaga de G_w

$$E = 4,9 \cdot \sqrt{k} \cdot \left(\frac{10}{Z_c}\right)^{1/\alpha} = 4,9 \cdot \sqrt{0,005} \cdot \left(\frac{10}{8m}\right)^{1/2,5} = 0,36$$

$$Bp = \frac{1}{1 + 0,375 \cdot \frac{h_{em}}{L_s}} = \frac{1}{1 + \frac{0,375 \cdot 1,5m}{67}} = 0,96$$

Factor de ráfaga

$$Gp = 1 + 2,7 \cdot E \cdot \sqrt{Bp} = 1 + 2,7 \cdot 0,36 \cdot \sqrt{0,96} = 1,95$$

Factor de carga (AEA) --> 0,93

Angulo del viento con el eje perpendicular de la línea

$$\psi = 0^\circ$$

Fuerza ejercida sobre el poste

$$Fv_p = Q(Zp \cdot V_{III})^2 \cdot Fc \cdot Gp \cdot Cf \cdot \cos^2 \psi$$

$$Fv_p = 0,0613 \frac{kg}{m^3} \cdot \left(1,0130 \frac{m}{seg}\right)^{2 \cdot 0,93 \cdot 1,95 \cdot 1} \cdot \cos^2 0$$

$$Fv_p = 102,06 daN$$

Acciones transversales a la línea reducidas a la cima

Coefficiente de reducción a la cima

$$C_{rc-c} = \frac{H_0 + H_1 + H_2}{H_2} = \frac{9,55m + 10,1m + 10,65m}{12m} = 2,52$$

Coefficiente de reducción a la cima con hilo de guardia

$$C_{rc-hg} = \frac{H_2 + 0,1}{H_2} = \frac{12m + 0,1}{12m} = 1,01$$

Carga del viento máximo sobre el vano considerado del conductor de fase reducido a la cima

$$C_c = G_{vc} \cdot C_{rc-c} = 103,5 daN \cdot 2,52 = 260,8 daN$$

Carga del viento máximo sobre el vano considerado del hilo de guardia reducido a la cima

$$C_{hg} = G_{vhg} \cdot C_{rc-hg} = 61,2daN \cdot 1,01 = 61,2daN$$

Carga del viento sobre el aislador y suplementos reducido a la cima

$$C_{va} = G_{va} \cdot C_{rc-c} = 6daN \cdot 2,52 = 15,12daN$$

Carga del viento sobre el poste

$$C_p = \frac{F_{vp} \cdot (2 \cdot D_{cp} + H_{em}) \cdot H_a}{6} = \frac{102,06daN \cdot (2 \cdot 0,26m + 1,5m) \cdot 12m}{6}$$

$$C_p = 359,3daN$$

Acciones transversales totales reducidas a la cima

$$A_{r_{total}} = C_c + C_{hg} + C_{va} + C_p = 260,8daN + 61,2daN + 15,12daN + 359,3daN$$

$$A_{r_{total}} = 696,4daN$$

Acciones transversales debido a excentricidades

Momentos del conductor y el aislador junto al soporte

$$M_{t_{c-a+s}} = G_c \cdot D_{c-p} + G_{at} \cdot (L_a + L_s)$$

$$M_{t_{c-a+s}} = (17,55daN \cdot 0,84m) + 14,4daN(0,435m + 0,26m)$$

$$M_{t_{c-a+s}} = 24,75daN \cdot m$$

Desequilibrio vertical reducido a la cima

$$D_{vert} = \frac{M_{t_{c-a+s}}}{H_a} = \frac{24,75daN \cdot m}{12m} = 2,1daN$$

Verificación de las estructuras a las hipótesis de cargas

Hipótesis 1: Cargas de servicio

Peso propio y cargas permanentes. Viento máximo normal a la línea sobre aisladores, accesorios, estructura y sobre la semilongitud de ambos vanos adyacentes.

Tiro en la cima

$$T_{c1a} = A_{t_{total}} + D_{V_{vert}} = 696,4daN + 2,1daN = 698,5daN$$

No se considera las demás situaciones de esta hipótesis debidos a que representan esfuerzos menores al calculado anteriormente.

Hipótesis 2: Cargas de construcción y mantenimiento

- d. Peso propio de la estructura. Cargas permanentes con un factor de carga de 2,50, aplicadas en cualquiera de los puntos de suspensión, en varios de ellos o en todos simultáneamente. Sobrecarga adicional de montaje. No se considera viento.

Sobrecarga adicional por montaje teniendo en cuenta que para suspensión se reduce al 50%

$$G_{adic} = 50\% \cdot 200daN = 100daN$$

$$T_{c2a} = G_{adic} + 2,5 \cdot D_{V_{vert}} = 100daN + 2,5 \cdot 2,1daN = 105,3daN$$

Hipótesis 3: Cargas de contención de cargas

- g. Peso propio y cargas permanentes. Carga longitudinal en cualquiera de los puntos de suspensión, equivalente al 50% del tiro máximo de una fase ó el 70% del tiro medio (EDS), el que provoque solicitaciones más desfavorables para conductores simples o haces de conductores. En el caso del cable de guardia se aplicará el tiro máximo longitudinal reducido al 65% ó al 100% del tiro medio (EDS). No se considera viento.

$$T_{c3a} = 70\% \cdot T_{cV} \cdot \frac{H_2}{H_1} + T_{hgV} \cdot C_{rc-hg}$$

$$T_{c3a} = 70\% \cdot 427,9daN \cdot \frac{10,65m}{13,5m} + 425,2daN \cdot 1,01 = 665,7daN$$

h. No se considera la posibilidad de ocurrencia de sismos.

Verificación por el método de factorización de cargas y resistencias

Este método está basado en la aplicación de coeficientes de mayoración para las cargas y de minoración para las resistencias.

Factor de carga estructural

Factor de carga que tiene en cuenta el apartamiento de la estructura real, respecto al modelo ideal de cálculo y los recaudos constructivos (excentricidades no previstas en nudos y empalmes, falta de lineación de los elementos componentes, excentricidades en la aplicación de las cargas, etc.).

$$K_e = 1$$

Factor de carga por colapso para estructura de suspensión.

Factor de carga que tiene en cuenta el tipo de estructura, y el daño que produciría la falla de dicha estructura.

Solicitud última que resulta la solicitud máxima actuante

$$S = \max(T_{c1a}, T_{c2a}, T_{c3a}) = 698,5 \text{ daN}$$

Factor global de resistencia

Depende del tipo de solicitud a que está sometido el elemento estructural, y del material con el que está construido el mismo. Este coeficiente siempre menor que la unidad, tiene en cuenta la dispersión de la resistencia debido a las calidad de fabricación y montaje de la estructura.

$$\varphi = 0,75$$

Resistencia nominal del poste

$$R_c = 1400 \text{ daN}$$

Se debe cumplir:

$$K_e \cdot K_c \cdot S \leq \varphi \cdot R_c$$

$$1 \cdot 1 \cdot 698,5 \text{ daN} \leq 0,75 \cdot 1400 \text{ daN}$$

$698,5 \text{ daN} \leq 1050 \text{ daN} \rightarrow \text{VERIFICA}$

Se adopta un poste 13,5R1000

Calculo de fundaciones

De acuerdo a la capacidad portante del terreno se realiza el cálculo de las fundaciones utilizando el método Sulzberger.

Índice de compresibilidad

Es la capacidad del terreno para reaccionar elásticamente a los esfuerzos que ejerce la fundación.

Índice de compresibilidad en las paredes de la fundación

$$C_z = 3 \text{ daN/cm}^2$$

Índice de Compresibilidad para la base de la fundación

$$C_z = C_b = 3 \text{ daN/cm}^2$$

Longitud del poste

$$H_A = 13,5m$$

Longitud de empotramiento del poste

$$H_{em} = 1,5m$$

Altura libre del poste

$$H_a = 12m$$

Diámetro del orificio de la fundación

Diámetro en la base del poste más 20cm

$$D_{of} = d_{bp} + 2,0,1m = 0,5m + 2,0,1m = 0,7m$$

Ancho de la fundación

$$A_f = D_{of} + 2,0,35m = 0,7m + 2,0,3m = 1,,3m$$

Alto de la fundación

$$A_f = B_f = D_{of} + 2.0,35m = 0,67m + 2.0,3m = 1,3m$$

Altura de la fundación

$$h_{fund} = H_{em} + 0,5m = 1,5m + 0,5m = 2m$$

Densidad del hormigón

$$\gamma_H = 2200 \text{ daN/m}^3$$

Peso de la fundación

$$G_{fund} = \left(A_f^2 \cdot h_{fund} - \frac{\pi \cdot D_{of}^2}{4} \cdot H_{em} \right) \cdot \gamma_H$$

$$G_{fund} = \left((1,3m)^2 \cdot 2m - \frac{\pi \cdot (0,7m)^2}{4} \cdot 1,5m \right) \cdot 2200 \text{ daN/m}^3 = 6166 \text{ daN}$$

Cargas verticales que actúan sobre la fundación

$$G_{vt} = G_{vt} + G_{fund} = 2344 \text{ daN} + 6166 \text{ daN} = 8510 \text{ daN}$$

Corrección de Índice de Compresibilidad para las paredes de la fundación por profundidad real de la fundación

$$\frac{C_{tr} = C_r \cdot \frac{h_{fund}}{2m}}{2m} = \frac{3 \text{ daN/cm}^3 \cdot 2m}{2m} = 3 \text{ daN/cm}^3$$

Corrección de Índice de Compresibilidad para la base de la fundación por profundidad real de la fundación

$$C_{br} = C_b$$

Momentos estabilizantes

La fundación reacciona ante el momento volcador presentando dos momentos estabilizantes.

Momento de encastramiento

Es la reacción en las paredes que incluye la fricción entre el hormigón y la tierra a lo largo de las paredes.

Se calcula primero el valor del ángulo α para el cual el eje de giro comienza a levantarse del fondo de la fundación.

Coefficiente de fricción terreno-fundación

$$\mu = 0,4$$

$$tg_{\alpha s} = \frac{4,5 \cdot \mu \cdot G_{fvt}}{A_f \cdot (h_{fund})^2 \cdot C_{tr}} = \frac{4,5 \cdot 0,4 \cdot 4.8510 daN}{130 cm \cdot (200 cm)^2 \cdot daN/cm^2} = 0,0009 < 0,015$$

$$M_s = \frac{\sqrt{2} \cdot A_f \cdot (h_{fund})^3}{36} \cdot C_{tr} \cdot 0,015 = \frac{\sqrt{2} \cdot 1,3 m \cdot (2 m)^3}{36 \cdot 3} daN/cm^2 \cdot 100^2 \cdot 0,015$$

$$M_s = 18384 daN \cdot m$$

Momento de reacción de fondo

Es el provocado por las cargas verticales.

$$tg_{\alpha b} = \frac{\sqrt{2} \cdot G_{fvt}}{(A_f)^2 \cdot C_{br}} = \frac{\sqrt{2} \cdot 8510 daN}{(130 cm)^2 \cdot daN/cm^2} = 0,0018 < 0,015$$

$$M_b = \left(\frac{\sqrt{2} \cdot A_f}{2} - 0,5 \sqrt{\frac{3 \cdot G_{fvt}}{C_{br} \cdot 0,015}} \right) \cdot G_{fvt}$$

$$M_b = \left(\frac{\sqrt{2} \cdot 1,3 m}{2} - 0,5 \sqrt{\frac{3 \cdot 8510 daN}{3 daN/cm^2 \cdot 100^2 \cdot 0,015}} \right) \cdot 8510 daN$$

$$M_b = 3384 daN \cdot m$$

Momento estabilizante total

$$M_{Tot} = M_s + M_b = 18384 daN \cdot m + 4300 daN \cdot m = 22684 daN \cdot m$$

Momento de vuelco

Los esfuerzos volcadores son las cargas horizontales que actúan sobre la estructura. En los apoyos de hormigón armado lo normal es contar con la carga total reducida a la cima del poste.

Según sea la posición del eje de giro resultara la distancia de aplicación de la fuerza que provoca el momento volcador. Para el caso más común en que la fundación trabaja parcialmente despegada del suelo el momento volcador tiene la expresión:

$$M_v = S \cdot \left(H_a + \frac{2}{3} \cdot h_{fund} \right) = 698,5 daN \cdot \left(12m + \frac{2}{3,2m} \right) = 9313 daN \cdot m$$

Determinación de factor de vuelco K_v

$$\text{Si } \left(\frac{M_s}{M_b} \right) \geq 1 \rightarrow K_v = 1$$

$$\frac{M_s}{M_b} = \frac{18384 daN \cdot m}{4300 daN \cdot m} = 4,3 \rightarrow K_v = 1$$

Factor de carga K_C

Factor de carga que tiene en cuenta el tipo de estructura y el daño que produciría la falla de dicha estructura

$K_C = 1$ para estructuras de suspensión y retención.

Factor de carga K_E

Factor de carga que tiene en cuenta la verificación experimental del comportamiento del cemento.

$K_E = 1$ para solicitaciones de vuelco y compresión

Factor de resistencia al vuelco ϕ_v

$$\phi_v = \frac{1}{K_v} = 1$$

El diseño de las fundaciones se basara en la aplicación del “método de factorización de cargas y resistencias” debiéndose cumplir con la siguiente condición:

$$K_C \cdot K_E \cdot M_v \leq M_{Tot} \cdot \phi_v$$

$1 \cdot 1 \cdot 9313 daN \cdot m \leq 22684 daN \cdot m \cdot 1 \rightarrow \text{VERIFICA}$

Estructura de Suspensión en zona inundable (Vano 90m)

Es el apoyo normal de la línea en tramo recto. Su nombre se debe a que en las líneas de alta tensión, el conductor está suspendido por los aisladores. Está previsto para soportar las cargas debidas al peso y al viento. También puede resistir una carga limitada producida por el corte de un conductor.

Cabe destacar la particularidad de estas estructuras, la cuales se encuentran ubicada en una zona inundable.

Datos de la Instalación

El tipo de montaje realizado a lo largo de la línea es del tipo Line post con una disposición triangular de los conductores.

Características de la línea en el poste calculado:

Vano anterior a la estructura

$$a_1 = 90m$$

Vano posterior a la estructura

$$a_2 = 90m$$

Semilongitud de vanos adyacentes

$$Sa = \frac{a_1}{2} + \frac{a_2}{2} = \frac{90m}{2} + \frac{90m}{2} = 90m$$

Índice de compresibilidad

Arena fina Húmeda

$$C_r = \frac{1,5daN}{cm^3}$$

Tensión de línea

$$V_L = 33kV$$

Altura mínima del conductor al suelo adoptada de acuerdo a la reglamentación de la AEA teniendo en cuenta la peor situación de creciente del nivel de agua del Arroyo Yuqueri Grande.

$$H_L = 11m$$

Características del conductor

Características del Conductor (IRAM 2187)	
Material	Aluminio - Acero
Sección nominal	50/8
Sc	50mm ²
Src	56,3mm ²
Formación	6 x 3,2mm ² + 1 x 3,2mm ²
Diámetro exterior	9,6mm
ladm	195A
Carga de rotura (Trc)	1713 daN
Peso aproximado (Pc)	195 kg/km
Módulo de elasticidad (Ec)	8100 daN/mm ²
Coefficiente de dilatación (α_c)	19,1 E-6 1/°C

Características del hilo de guardia

Características del hilo de guardia	
Material	Acero
Sección nominal	35
Shg	34,37 mm ²
Formación	7x1
Diámetro exterior	6,6mm
Carga de rotura (Thg)	1700 daN
Peso aproximado (P _{hg})	269 kg/km
Módulo de elasticidad (E _{hg})	20000 daN/mm ²
Coefficiente de dilatación (α_c)	11x10E-6 1/°C

Aislador

Características del Aislador	
Longitud del aislador (L_a)	0,435m

Diámetro del núcleo (D_{na})	0,033m
Diámetro exterior (D_{ea})	0,11m
Angulo sobre la horizontal (γ_a)	15°
Longitud suplemento de amarre (L_{sa})	0m
Peso del aislador más suplementos (G_a)	2,5daN
Peso del soporte (G_{hsa})	2daN

Distancias eléctricas mínimas

Distancia entre conductores en el medio del vano

Angulo máximo de declinación del conductor

$$\theta_{ca} = 80,1^\circ$$

Coeficiente dependiente del ángulo de declinación θ_{ca} para disposición triangular de acuerdo a la AEA

$$K_c = 0,95 \frac{m}{kV \cdot \sqrt{m}}$$

Longitud oscilante de la cadena de aislación L_{ca}

$$L_{ca} = 0$$

Tensión nominal V_N

$$V_N = 33kV$$

Distancia entre fases en el medio del vano D_{f-f}

$$D_{f-f} = K_c \cdot \sqrt{f_{cf} + L_{ca}} + \frac{V_N}{150} = 0,95 \frac{m}{kV \cdot \sqrt{m}} \cdot \sqrt{0,82m + 0m} + \frac{33kV}{150} = 1,08m$$

Se adopta $D_{f-f} = 1,10m$

Distancia entre fase y cable de guardia en el medio del vano D_{f-hg}

$$V_F = \frac{V_N}{\sqrt{3}} = \frac{33kV}{\sqrt{3}} = 19,05kV$$

$$D_{f-hg} = K_c \cdot \sqrt{f_{cl} + L_{ca}} + \frac{V_F}{150} = 0,95 \frac{m}{kV \cdot \sqrt{m}} \cdot \sqrt{0,82m + 0m} + \frac{19,05kV}{150} = 0,98m$$

Se adopta $D_{f-hg} = 1m$

Cabe destacar que esta distancia puede modificarse para permitir la adecuada protección de las fases contra descargas atmosféricas.

Distancia mínima entre conductores y accesorios puestos a potencial de línea y tierra

D_{f-m}

Máxima tensión de servicio del sistema, fase a fase V_M

$$V_M = 1,1 \cdot V_N = 1,1 \cdot 33kV = 36,3kV$$

$$D_{f-m} = 0,075 + 0,005(V_M - 8,7) = 0,075 + 0,005(36,3kV - 8,7) = 0,213m$$

Se adopta $D_{f-m} = 0,22m$

Distancias verticales mínimas

Distancia vertical a tierra, a objetos bajo la línea y aplicables en cruces entre líneas de baja tensión y media tensión D de acuerdo a la AEA:

$$D = 1,20m$$

Dimensionamiento del cabezal

Diámetro en la cima del poste D_{cp}

$$D_{cp} = 0,26m$$

Conicidad del poste

$$c = 0,018$$

Diámetro del poste a la altura en que el conductor inferior presenta el máximo acercamiento al poste

$$D_p = D_{c-p} + c \cdot 2,85m = 0,26m + 0,018 \cdot 2,85m = 0,31m$$

Distancia desde conductor al centro del poste

$$D_1(c-p) = L_1 a \cdot \cos(\alpha) + L_1 s + D_p/2 = 0,435m \cdot \cos(15^\circ) + 0,26m + 0,31m/2 = 0,84m$$

Distancia vertical entre conductores

Debe ser como mínimo D_{f-f}

$$D_1 = D_{f-f} = 1,10m$$

Distancia entre conductor superior e intermedio

$$D_2 = \frac{D_1}{2} = \frac{1,10m}{2} = 0,55m$$

Distancia entre conductor y el hilo de guardia

$$D_{f-hg} = \frac{D_{c-p}}{\operatorname{tg}(\theta)} = \frac{0,84m}{\operatorname{tg}(30^\circ)} = 1,45m$$

Distancia horizontal entre conductores

$$L_h = 2 \cdot D_{c-p} = 2 \cdot 0,84m = 1,68m$$

Alturas

Altura de la cima del poste al hilo de guardia

$$H_{hg} = 0,1m$$

Altura libre del poste

$$H_2 = H_L + f_{c1} + D_1 + D_{f-hg} - H_{hg} = 11m + 0,82m + 1,10m + 1,45m - 0,1m$$

$$H_2 = 14,27m$$

Altura total del poste

$$H_A = \frac{H_2}{90\%} = \frac{14,27m}{90\%} = 15,86m$$

Se adopta un poste de $H_A = 16m$

Altura de empotramiento

$$H_{em} = H_{A,10\%} = 16m \cdot 10\% = 1,6m$$

Corrección de la altura libre entre suelo y conductor

$$H_L = H_A - (f_{c1} + D_1 + D_{f-hg} + H_{em} - H_{hg})$$

$$H_L = 16m - (0,82m + 1,10m + 1,45m + 1,6m - 0,1m) = 11,13m$$

Corrección de la altura libre del poste

$$H_B = H_L + f_{c1} + D_1 + D_{f-hg} - H_{hg}$$

$$H_B = 11,13m + 0,82m + 1,10m + 1,45m - 0,1m = 14,4m$$

Altura del suelo al conductor inferior

$$H_0 = H_L + f_{c1} = 11,13m + 0,82m = 11,95m$$

Altura del suelo al conductor medio

$$H_1 = H_L + f_{c1} + D_2 = 11,13m + 0,82m + 0,55m = 12,5m$$

Altura del suelo al conductor superior

$$H_2 = H_L + f_{c1} + D_1 = 11,13m + 0,82m + 1,10m = 13,05m$$

Dimensiones del poste

Diámetro en la cima del poste

$$D_{cp} = 0,26m$$

Diámetro en la base del poste

$$D_{op} = D_{cp} + c \cdot H_A = 0,26m + 0,018 \cdot 16m = 0,55m$$

Diámetro en el empotramiento del poste

$$D_{ep} = D_{cp} + c \cdot H_B = 0,26m + 0,018 \cdot 14,4m = 0,52m$$

Dimensionamiento mecánico

Cargas actuantes sobre la estructura

Acciones verticales

- *Peso del conductor*

$$G_c = P_c \cdot S_a = 195 \text{ daN/km} \cdot 0,09 \text{ km} = 17,55 \text{ daN}$$

- *Peso total de conductores de fase*

$$G_{ct} = 3 \cdot G_c = 3 \cdot 17,55 \text{ daN} = 52,65 \text{ daN}$$

- *Peso del cable de guardia*

$$G_{hg} = P_{hg} \cdot S_a = 269 \text{ daN/km} \cdot 0,09 \text{ km} = 24,2 \text{ daN}$$

- *Peso total de aisladores más suplementos*

$$G_{at} = 3 \cdot (G_a + G_{hsc}) = 3 \cdot (2 \text{ daN} + 2,8 \text{ daN}) = 14,4 \text{ daN}$$

- *Peso del poste*

$$G_p = 2900 \text{ daN}$$

- *Acciones verticales totales*

$$G_{vt} = G_{ct} + G_{hg} + G_{at} + G_p$$

$$G_{vt} = 52,65 \text{ daN} + 24,2 \text{ daN} + 14,4 \text{ daN} + 2900 \text{ daN}$$

$$G_{vt} = 2991 \text{ daN}$$

Acciones transversales a la línea

- **Viento máximo sobre el vano considerado del conductor de fase**

$$G_{Vc} = G_{VcIII} \cdot s_{\alpha} = 1,15 \text{ daN/m} \cdot 90\text{m} = 103,5 \text{ daN}$$

- **Viento máximo sobre el vano considerado del hilo de guardia**

$$G_{Vhg} = G_{VhgIII} \cdot s_{\alpha} = 0,68 \text{ daN/m} \cdot 90\text{m} = 61,2 \text{ daN}$$

- **Carga del viento sobre aislador y suplementos**

$$G_{V\alpha} = 6 \text{ daN}$$

- **Fuerza del viento sobre el poste**

Viento máximo

$$V_{max} = 35 \text{ m/seg}$$

Factor que depende de la densidad del aire

$$Q = 0,0613 \text{ kg/m}^3$$

$$Q = 0,0613 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Categoría de exposición: "C"

Factores en función de la exposición

$$Z_G = 274$$

$$\alpha = 7,5$$

$$L_s = 67$$

$$K = 0,005$$

Coeficiente de presión o de forma $C_f = 1$

Altura efectiva

$$h = H_A - H_{adm} = 16\text{m} - 1,6\text{m} = 14,4\text{m}$$

$$h_e = h - \frac{1}{3}h = 14,4m - \frac{1}{3.14,4m} = 9,6m$$

Vano de diseño: $a = 90m$

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

$$Z_p = 1,61 \left(\frac{h_e}{Z_G} \right)^{1/\alpha} = 1,61 \left(\frac{9,6m}{274} \right)^{1/7,5} = 1,03$$

Factores para hallar el factor de ráfaga de G_w

$$E = 4,9 \cdot \sqrt{k} \cdot \left(\frac{10}{Z_G} \right)^{1/\alpha} = 4,9 \cdot \sqrt{0,005} \cdot \left(\frac{10}{9,6m} \right)^{1/7,5} = 0,34$$

$$B_p = \frac{1}{1 + 0,375 \cdot \frac{h_{em}}{L_S}} = \frac{1}{1 + \frac{0,375 \cdot 1,5m}{67}} = 0,94$$

Factor de ráfaga

$$G_p = 1 + 2,7 \cdot E \cdot \sqrt{B_p} = 1 + 2,7 \cdot 0,34 \cdot \sqrt{0,94} = 1,89$$

Factor de carga (AEA) --> 0,93

Angulo del viento con el eje perpendicular de la línea

$$\psi = 0^\circ$$

Fuerza ejercida sobre el poste

$$F_{v_p} = Q(Z_p \cdot V_{III})^2 \cdot F_c \cdot G_p \cdot C_f \cdot \cos^2 \psi = 0,0613 \frac{kg}{m^2} \cdot \left(1,03 \cdot 30 \frac{m}{seg} \right)^{2 \cdot 0,93 \cdot 1,89} \cdot \cos^2 0$$

$$F_{v_p} = 102,8 daN$$

Acciones transversales a la línea reducidas a la cima

Coeficiente de reducción a la cima

$$C_{r-c} = \frac{H_0 + H_1 + H_2}{H_2} = \frac{11,95m + 12,5m + 13,05m}{14,4m} = 2,6$$

Coeficiente de reducción a la cima con hilo de guardia

$$C_{r-c-hg} = \frac{H_2 + 0,1}{H_2} = \frac{14,4m + 0,1}{14,4m} = 1,01$$

Carga del viento máximo sobre el vano considerado del conductor de fase reducido a la cima

$$C_C = G_{Vc} \cdot C_{rc-c} = 103,5 daN \cdot 2,6 = 269,1 daN$$

Carga del viento máximo sobre el vano considerado del hilo de guardia reducido a la cima

$$C_{hg} = G_{Vhg} \cdot C_{rc-hg} = 61,2 daN \cdot 1,01 = 61,2 daN$$

Carga del viento sobre el aislador y suplementos reducido a la cima

$$C_{va} = G_{va} \cdot C_{rc-c} = 6 daN \cdot 2,6 = 15,6 daN$$

Carga del viento sobre el poste

$$C_p = \frac{F_{vp} \cdot (2 \cdot D_{cp} + H_{em}) \cdot H_a}{6} = \frac{102,8 daN \cdot (2 \cdot 0,26 daN + 1,6 daN) \cdot 14,4 daN}{6}$$

$$C_p = 523 daN$$

Acciones transversales totales reducidas a la cima

$$A_{r_{total}} = C_C + C_{hg} + C_{va} + C_p = 269,1 daN + 61,2 daN + 15,6 daN + 523 daN$$

$$A_{r_{total}} = 868,8 daN$$

Acciones transversales debido a excentricidades

Momentos del conductor y el aislador junto al soporte

$$M_{t_{c-a+s}} = G_c \cdot D_{c-p} + G_{at} \cdot (L_a + L_s)$$

$$M_{t_{c-a+s}} = (17,55 daN \cdot 0,84 m) + 14,4 daN (0,435 m + 0,26 m)$$

$$M_{t_{c-a+s}} = 24,75 daN \cdot m$$

Desequilibrio vertical reducido a la cima

$$D_{vert} = \frac{M_{t_{c-a+s}}}{H_a} = \frac{24,75 daN \cdot m}{14,4 m} = 1,7 daN$$

Verificación de las estructuras a las hipótesis de cargas

Hipótesis 1: Cargas de servicio

- a. Peso propio y cargas permanentes. Viento máximo normal a la línea sobre aisladores, accesorios, estructura y sobre la semilongitud de ambos vanos adyacentes.

Tiro en la cima

$$T_{c1a} = A_{r_{total}} + D_{V_{ert}} = 868,8daN + 1,7daN = 870daN$$

No se considera las demás situaciones de esta hipótesis debidos a que representan esfuerzos menores al calculado anteriormente.

Hipótesis 2: Cargas de construcción y mantenimiento

- e. Peso propio de la estructura. Cargas permanentes con un factor de carga de 2,50, aplicadas en cualquiera de los puntos de suspensión, en varios de ellos o en todos simultáneamente. Sobrecarga adicional de montaje. No se considera viento.

Sobrecarga adicional por montaje teniendo en cuenta que para suspensión se reduce al 50%

$$G_{adic} = 50\% \cdot 200daN = 100daN$$

$$T_{c2a} = G_{adic} + 2,5 \cdot D_{V_{ert}} = 100daN + 2,5 \cdot 1,7daN = 104,25daN$$

Hipótesis 3: Cargas de contención de cargas

- a. Peso propio y cargas permanentes. Carga longitudinal en cualquiera de los puntos de suspensión, equivalente al 50% del tiro máximo de una fase ó el 70% del tiro medio (EDS), el que provoque solicitaciones más desfavorables para conductores simples o haces de conductores. En el caso del cable de guardia se aplicará el tiro máximo longitudinal reducido al 65% ó al 100% del tiro medio (EDS). No se considera viento.

$$T_{c3a} = 70\% \cdot T_{cv} \cdot \frac{H_a}{H_s} + T_{hgV} \cdot C_{rc-hg}$$

$$T_{c3a} = 70\% \cdot 427,9daN \cdot \frac{13,05m}{16m} + 425,16daN \cdot 1,01 = 673,7daN$$

- b. No se considera la posibilidad de ocurrencia de sismos.

Verificación por el método de factorización de cargas y resistencias

Este método está basado en la aplicación de coeficientes de mayoración para las cargas y de minoración para las resistencias.

Factor de carga estructural

Factor de carga que tiene en cuenta el apartamiento de la estructura real, respecto al modelo ideal de cálculo y los recaudos constructivos (excentricidades no previstas en nudos y empalmes, falta de lineación de los elementos componentes, excentricidades en la aplicación de las cargas, etc.).

$$K_g = 1$$

Factor de carga por colapso para estructura de suspensión.

Factor de carga que tiene en cuenta el tipo de estructura, y el daño que produciría la falla de dicha estructura.

$$K_c = 1$$

Solicitud última que resulta la solicitud máxima actuante

$$S = \max(T_{c1a}, T_{c2a}, T_{c3a}) = 870 \text{ daN}$$

Factor global de resistencia

Depende del tipo de sollicitación a que está sometido el elemento estructural, y del material con el que está construido el mismo. Este coeficiente siempre menor que la unidad, tiene en cuenta la dispersión de la resistencia debido a las calidad de fabricación y montaje de la estructura.

$$\varphi = 0,75$$

Resistencia nominal del poste

$$R_c = 1400 \text{ daN}$$

Se debe cumplir:

$$K_g \cdot K_c \cdot S \leq \varphi \cdot R_c$$

$$1 \cdot 1 \cdot 870 \text{ daN} \leq 0,75 \cdot 1200 \text{ daN}$$

$$870 \text{ daN} \leq 900 \text{ daN} \rightarrow \text{VERIFICA}$$

Se adopta un poste 16R1200

Calculo de fundaciones

El método Phol es utilizado para calcular la fundación, donde se considera exclusivamente la acción estabilizante que produce el fondo de la fundación, debido a la baja presión admisible del terreno.

El cálculo permite obtener el valor de la presión producida por acción del peso y los momentos volcadores sobre el fondo de la fundación. Dicha presión debe ser menor que la admisible del suelo.

Presión admisible sobre el terreno

$$\sigma_{adm} = 1 \text{ daN/cm}^2$$

Índice de compresibilidad en las paredes de la fundación a 2m de profundidad.

$$C_r = 1,5 \text{ daN/cm}^2$$

Índice de Compresibilidad para la base de la fundación

$$C_r = C_b = 1,5 \text{ daN/cm}^2$$

Dimensionamiento

Platea de la fundación

Ancho de la platea de la fundación

$$A_{pf} = 3m$$

Largo de la platea de la fundación

$$L_{pf} = 3m$$

Altura de la platea de la fundación

$$H_{pf} = 0,25m$$

Altura del tronco de la pirámide de la fundación

$$h_{pf} = 0,25m$$

Fuste de la fundación

Diámetro del orificio de la fundación

$$D_{of} = d_{vp} + 0,2m = 0,55m + 0,2m = 0,75m$$

Ancho del fuste de la fundación

$$A_{ff} = D_{of} + 2,0,3m = 0,75m + 2,0,2m = 1,15m$$

$$A_{ff} = 1,15m$$

Largo del fuste de la fundación

$$L_{ff} = A_{ff} = 1,15m$$

Profundidad de la fundación

$$t_f = H_{em} + 0,3m = 1,6m + 0,3m = 1,9m$$

Altura del fuste de la fundación

$$H_{ff} = t_f - H_{vp} - h_{pf} = 1,9m - 0,25m - 0,25m = 1,4m$$

Densidad del hormigón

$$\gamma_H = 2300 \text{ daN/m}^3$$

Densidad de la tierra gravante

$$\gamma_{tg} = 1600 \text{ daN/m}^3$$

Peso de la fundación

$$V_{fund} = (H_{pf} \cdot A_{pf} \cdot L_{pf}) + (A_{ff} \cdot L_{ff} \cdot H_{ff}) + \frac{h_{pf}}{3} \left(A_{pf} \cdot L_{pf} + A_{ff} \cdot L_{ff} + \sqrt{A_{pf} \cdot L_{pf} \cdot (A_{ff} \cdot L_{ff})} \right) - H_{em} \cdot \frac{\pi \cdot D_{of}^2}{4}$$

$$V_{fund} = (0,25m \cdot 3m \cdot 3m) + (1,15m \cdot 1,15m \cdot 1,4m) + 0, \frac{25m}{3} \left(3m \cdot 3m + 1,15m \cdot 1,15m + \sqrt{3m \cdot 3m \cdot (1,15m \cdot 1,15m)} \right) - 1,6m \cdot \frac{\pi \cdot 0,75m^2}{4}$$

$$V_{fund} = 4,54m^3$$

Volumen de excavación

$$V_{excav} = t_f \cdot A_{pf} \cdot L_{pf} = 1,9m \cdot 3m \cdot 3m = 17,1m^3$$

Volumen de tierra gravante sobre la fundación

$$V_{tg} = (t_f \cdot A_{pf} \cdot L_{pf}) - V_{fund} - H_{em} \cdot \frac{\pi \cdot D_{of}^2}{4}$$

$$V_{tg} = (1,9m \cdot 3m \cdot 3m) - 4,54m^3 - 1,6m \cdot \frac{\pi \cdot 0,75m^2}{4} = 11,65m^3$$

Cargas verticales

Peso de la fundación

$$G_f = V_{fund} \cdot \gamma_H = 4,54m^3 \cdot 2800 \text{ daN/m}^3 = 12742 \text{ daN}$$

Peso de la tierra gravante sobre la fundación

$$G_{tg} = V_{tg} \cdot \gamma_{tg} = 11,65m^3 \cdot 1600 \text{ daN/m}^3 = 18640 \text{ daN}$$

Cargas verticales actuantes sobre la fundación

$$G_{vtotal} = G_{vt} + G_f + G_{tg} = 2991 \text{ daN} + 12742 \text{ daN} + 18640 \text{ daN} = 34373 \text{ daN}$$

Fuerza actuante en la dirección x-x transversal a la línea, igual al tiro en la cima calculado en la hipótesis 1

$$T_{c1a} = 870 \text{ daN}$$

Fuerza actuante en la dirección y-y longitudinal a la línea, igual al tiro en la cima calculado en la hipótesis 2

$$T_{c3a} = 673,7 \text{ daN}$$

Momento volcador longitudinal

$$M_{Vy} = T_{c1a} \cdot (H_3 + t_f) = 870 \text{ daN} \cdot (14,4 \text{ m} + 1,9 \text{ m}) = 14181 \text{ daN}$$

Momento volcador transversal

$$M_{Vx} = T_{c3a} \cdot (H_3 + t_f) = 673,75 \text{ daN} \cdot (14,4 \text{ m} + 1,9 \text{ m}) = 11031 \text{ daN}$$

Excentricidad para fuerzas según x-x

$$e_x = \frac{M_{Vy}}{G_{vtotal}} = \frac{14181 \text{ daN}}{34373 \text{ daN}} = 0,413$$

Excentricidad para fuerzas según y-y

$$e_y = \frac{M_{Vx}}{G_{vtotal}} = \frac{11031 \text{ daN}}{34373 \text{ daN}} = 0,321$$

Coefficiente μ de Pohl

$$\frac{e_x}{A_{pf}} = \frac{0,413}{3} = 0,138$$

$$\frac{e_y}{L_{pf}} = \frac{0,321}{3} = 0,107$$

De las tablas de Pohl se obtiene el coeficiente μ

$$e_{yfmayor} = 0,12$$

$$e_{xm mayor} = 0,14 \quad \rightarrow \quad \mu_{mayor} = 2,629$$

$$e_{xm menor} = 0,12 \quad \rightarrow \quad \mu_{menor} = 2,477$$

$$\mu_{eymayor} = \left[\left(\frac{e_x}{A_{pf}} - e_{xm menor} \right) \cdot \left(\frac{\mu_{mayor} - \mu_{menor}}{e_{xm mayor} - e_{xm menor}} \right) \right] + \mu_{menor}$$

$$\mu_{eymayor} = \left[(0,138 - 0,12) \cdot \left(\frac{2,629 - 2,477}{0,14 - 0,12} \right) \right] + 2,477 = 2,61$$

$$e_{yfmenor} = 0,1$$

$$e_{xmayor} = 0,14 \quad \rightarrow \quad \mu_{mayor} = 2,478$$

$$e_{xmenor} = 0,12 \quad \rightarrow \quad \mu_{menor} = 2,336$$

$$\mu_{eymenor} = \left[\left(\frac{e_x}{A_{pf}} - e_{xmenor} \right) \cdot \left(\frac{\mu_{mayor} - \mu_{menor}}{e_{xmayor} - e_{xmenor}} \right) \right] + \mu_{menor}$$

$$\mu_{eymenor} = \left[(0,138 - 0,12) \cdot \left(\frac{2,478 - 2,336}{0,14 - 0,12} \right) \right] + 2,336 = 2,46$$

$$\mu = \left[\left(\frac{\mu_{eymayor} - \mu_{eymenor}}{e_{yfmayor} - e_{yfmenor}} \right) \cdot \left(\frac{e_y}{L_{pf}} - e_{yfmenor} \right) \right] + \mu_{eymenor}$$

$$\mu = \left[\left(\frac{2,61 - 2,46}{0,12 - 0,1} \right) \cdot (0,107 - 0,1) \right] + 2,46 = 2,51$$

Verificación a la tensión admisible del terreno

Factor de vuelco para momento de encastramiento lateral igual a 0

$$K_V = 1,45$$

La seguridad al vuelco estará garantizada cuando la excentricidad de la resultante de las cargas verticales calculadas a nivel del plano de la fundación, cumplan con la siguiente condición:

$$\left(\frac{e_x}{A_{pf}} \right)^2 + \left(\frac{e_y}{A_{pf}} \right)^2 \leq \frac{1}{(2 \cdot K_V)^2}$$

$$\left(\frac{0,413}{3} \right)^2 + \left(\frac{0,321}{3} \right)^2 \leq \frac{1}{(2 \cdot 1,45)^2}$$

0,03 ≤ 0,12 → Verifiva

La tensión máxima que ejerce la fundación sobre el terreno que deber ser menor a la capacidad portante del mismo

$$\sigma_{max} = \frac{G_{total}}{A_{pf} \cdot L_{pf}} \cdot \mu = \frac{34373 daN}{300cm \cdot 300cm} \cdot 2,51 = \frac{0,96 daN}{cm^2}$$

Por tratarse de un terreno no cohesivo, se debe tener en cuenta un factor 1,3

$$\sigma_{max} \leq 1,3 \cdot \sigma_{adm}$$

$$\frac{0,96 daN}{cm^2} \leq \frac{1,3 \cdot 1 daN}{cm^2}$$

$$0,96 \frac{daN}{cm^2} \leq 1,3 \frac{daN}{cm^2} \rightarrow \text{Verifica}$$

Estructura de Retención

Debido a que las estructuras de los soportes de suspensión en principio no resisten esfuerzos derivados del corte de los conductores, a un accidente de este tipo podría sobrevenir la caída de varios, eventualmente muchos de ellos, en un “efecto dominó”. Por esta razón se intercalan estructuras llamadas de retención, que se calculan para resistir estos esfuerzos.

Datos de la Instalación

El tipo de montaje realizado a lo largo de la línea es del tipo Line post con una disposición triangular de los conductores.

Características de la línea en el poste calculado:

Vano anterior a la estructura

$$a_1 = 90m$$

Vano posterior a la estructura

$$a_2 = 90m$$

Semilongitud de vanos adyacentes

$$S_a = \frac{a_1}{2} + \frac{a_2}{2} = \frac{90m}{2} + \frac{90m}{2} = 90m$$

Índice de compresibilidad

Arena fina Húmeda

$$C_c = \frac{3daN}{cm^3}$$

Tensión de línea

$$V_L = 33kV$$

Altura mínima del conductor al suelo adoptada de acuerdo a la reglamentación de la AEA.

$$H_L = 7m$$

Angulo de desvío de la línea

$$\theta = 0^\circ$$

Características del conductor

Características del Conductor (IRAM 2187)	
Material	Aluminio - Acero
Sección nominal	50/8
Sc	50mm ²
Src	56,3mm ²
Formación	6 x 3,2mm ² + 1 x 3,2mm ²
Diámetro exterior	9,6mm
Iadm	195A
Carga de rotura (Trc)	1713 daN
Peso aproximado (Pc)	195 kg/km
Módulo de elasticidad (Ec)	8100 daN/mm ²
Coefficiente de dilatación (α_c)	19,1 E-6 1/°C

Características del hilo de guardia

Características del hilo de guardia (722)	
Material	Acero
Sección nominal	35
Shg	34,37 mm ²
Formación	7x1
Diámetro exterior	6,6mm
Carga de rotura (Thg)	1700 daN
Peso aproximado (P _{hg})	269 kg/km
Módulo de elasticidad (E _{hg})	20000 daN/mm ²
Coefficiente de dilatación (α_c)	11x10E-6 1/°C

Aislador

Características del Aislador	
Longitud del aislador (L_a)	0,435m
Diámetro del núcleo (D_{na})	0,033m
Diámetro exterior (D_{ea})	0,11m
Angulo sobre la horizontal (γ_a)	15°
Longitud suplemento de amarre (L_{sa})	0m
Peso del aislador más suplementos (G_a)	2,5daN
Peso del soporte (G_{hsa})	2daN
Longitud total con perno (L_{at})	0,6m

Distancias eléctricas mínimas

Distancia entre conductores en el medio del vano

Coefficiente dependiente del ángulo de declinación θ_{ca}

$$K_c = 0,95 \frac{m}{kV \cdot \sqrt{m}}$$

Longitud oscilante de la cadena de aislación L_{ca}

$$L_{ca} = 0$$

Tensión nominal V_N

$$V_N = 33kV$$

Distancia entre fases en el medio del vano D_f

$$D_f = K_c \cdot \sqrt{f_{cl} + L_{ca}} + \frac{V_N}{150} = 0,95 \frac{m}{kV \cdot \sqrt{m}} \cdot \sqrt{0,82m + 0m} + \frac{33kV}{150} = 1,08m$$

Se adopta $D_f = 1,10m$

Distancias a tierra en función de los aisladores

$$L_{ver} = 0,28m$$

$$L_{hor} = 0,19m$$

Distancia entre fase y cable de guardia en el medio del vano D_{f-hg}

$$V_F = \frac{V_N}{\sqrt{3}} = \frac{33kV}{\sqrt{3}} = 19,05kV$$

$$D_{f-ng} = K_c \cdot \sqrt{f_{cl} + L_{ca}} + \frac{V_F}{150} = 0,95 \frac{m}{kV \cdot \sqrt{m}} \cdot \sqrt{0,82m + 0m} + \frac{19,05kV}{150} = 0,98m$$

Cabe destacar que esta distancia puede modificarse para permitir la adecuada protección de las fases contra descargas atmosféricas.

Distancia mínima entre conductores y accesorios puestos a potencial de línea y tierra

$$D_{f-m}$$

Máxima tensión de servicio del sistema, fase a fase V_M

$$V_M = 1,1 \cdot V_N = 1,1 \cdot 33kV = 36,3kV$$

$$D_{f-m} = 0,075 + 0,005(V_M - 8,7) = 0,075 + 0,005(36,3kV - 8,7) = 0,213m$$

Se adopta $D_{f-m} = 0,22m$

Distancias verticales mínimas

Distancia vertical a tierra, a objetos bajo la línea y aplicables en cruces entre líneas de baja tensión y media tensión D de acuerdo a la AEA:

$$D = 1,20m$$

Dimensionamiento del cabezal

Flecha del puente de conexión

$$f_{pc} = 0,5m$$

Distancia mínima entre ménsula superior e inferior

$$L_m = 2 \cdot f_{pc} = 2 \cdot 0,5m = 1m$$

Verificación de la ménsula del conductor

Diámetro en la cima del poste D_{cp} supuesto

$$D_{cp} = 0,26m$$

Conicidad del poste

$$c = 0,018$$

Diámetro del poste a la altura en que el conductor inferior presenta el máximo acercamiento al poste

$$D_p = D_{cp} + c.4m = 0,26m + 0,018.4m = 0,33m$$

Distancia desde conductor al centro del poste

Angulo de inclinación por viento máximo

$$\alpha = 20^\circ$$

$$D_1(c - p) = f_{1pc} \cdot \text{sen}(\alpha) + L_1 \text{hor} + Dp/2 = 0,5m \cdot \text{sen}(20^\circ) + 0,19m + 0,33m/2 = 0,52m$$

Resulta un valor reducido si tenemos en cuenta la longitud promedio de los aisladores Line Post.

Se adopta los siguientes valores:

Longitud de la ménsula

$$L_{m\acute{e}n} = 1m$$

Distancia vertical entre conductores

$$H_1 = 1m$$

Distancia entre conductor superior e intermedio

$$H_2 = 1m$$

Distancia entre conductor superior y cima del poste

$$H_3 = 1,1m$$

Altura del poste

$$H_4 = f_{c1} + H_L + 2 \cdot H_2 + H_3 = 0,82m + 7m + 2,1m + 1,1m = 10,92m$$

Altura total del poste

$$H_{pr} = \frac{H_4}{90\%} = \frac{10,92m}{90\%} = 12,13m$$

Se adopta un poste de $H_{pr} = 13,5m$
--

Altura de empotramiento

$$H_{em} = H_{pr} \cdot 10\% = 13,5 \cdot 10\% = 1,35m$$

Se adopta $H_{em} = 1,5m$

Corrección de la altura libre entre suelo y conductor

$$H_L = H_{pr} - (f_{c1} + 2 \cdot H_2 + H_3 + H_{em})$$

$$H_L = 13,5m - (0,82m + 2 \cdot 1m + 1,1m + 1,5m) = 8,08m$$

Corrección de la altura libre del poste

$$H_A = H_L + f_{c1} + 2 \cdot H_2 + H_3$$

$$H_A = 8,08m + 0,82m + 2 \cdot 1m + 1,1m = 12m$$

Altura del suelo al conductor inferior

$$H_{c0} = H_L + f_{c1} = 8,08m + 0,82m = 8,9m$$

Altura del suelo al conductor medio

$$H_{c1} = H_L + f_{c1} + H_2 = 8,08m + 0,82m + 1m = 9,9m$$

Altura del suelo al conductor superior

$$H_{c2} = H_L + f_{c1} + 2 \cdot H_2 = 8,08m + 0,82m + 2 \cdot 1m = 10,9m$$

Dimensiones del poste

Diámetro en la cima del poste

$$D_{cp} = 0,26m$$

Diámetro en la base del poste

$$D_{bp} = D_{cp} + c \cdot H_{pr} = 0,26m + 0,018 \cdot 13,5m = 0,5m$$

Diámetro en el empotramiento del poste

$$D_{ep} = D_{cp} + c \cdot H_A = 0,26m + 0,018 \cdot 12m = 0,47m$$

Dimensionamiento mecánico

Cargas actuantes sobre la estructura

Acciones verticales

- Peso del conductor

$$G_c = P_c \cdot S_\alpha = 195 \text{ daN/km} \cdot 0,09 \text{ km} = 17,55 \text{ daN}$$

- **Peso total de los conductores de fase**

$$G_{ct} = 3 \cdot G_c = 3 \cdot 17,55 \text{ daN} = 52,65 \text{ daN}$$

- **Peso del cable de guardia**

$$G_{hg} = P_{hg} \cdot S_\alpha = 269 \text{ daN/km} \cdot 0,09 \text{ km} = 24,2 \text{ daN}$$

- **Peso total de aisladores más suplementos**

$$G_{at} = 6 \cdot G_{am} = 6 \cdot 4,5 \text{ daN} = 27 \text{ daN}$$

- **Peso de la ménsula de hormigón**

$$G_{menh} = 276 \text{ daN}$$

- **Peso total de las ménsulas de hormigón**

$$G_{Tmenh} = 3 \cdot G_{menh} = 3 \cdot 276 \text{ daN} = 828 \text{ daN}$$

- **Peso de los vínculos**

$$G_{vinc} = 451 \text{ daN} + 670 \text{ daN} = 1121 \text{ daN}$$

- **Peso del poste**

$$G_p = 2218 \text{ daN}$$

Acciones verticales totales

$$G_{vt} = G_{ct} + G_{hg} + G_{at} + G_{Tmenh} + 2 \cdot G_p + G_{vinc}$$

$$G_{vt} = 52,65 daN + 24,2 daN + 27 daN + 828 daN + 2.2262 daN + 1121 daN$$

$$G_{vt} = 6577 daN$$

Acciones transversales a la línea

- **Viento máximo sobre el vano considerado del conductor de fase**

$$G_{vc} = G_{vcll} \cdot s_a = 1,15 daN/m \cdot 90m = 103,5 daN$$

- **Viento máximo sobre el vano considerado del hilo de guardia**

$$G_{vhg} = F_{vllhg} \cdot s_a = 0,68 daN/m \cdot 90m = 61,2 daN$$

- **Carga del viento sobre aislador y suplementos**

$$G_{va} = 6 daN$$

- **Carga del viento sobre vínculos**

$$G_{vv} = 20 daN$$

- **Calculo de la acción del viento sobre el poste**

Viento máximo

$$V_{max} = 35 m/seg$$

Factor que depende de la densidad del aire

$$Q = 0,0613 \frac{kg}{m^3}$$

Categoría de exposición: "C"

Factores en función de la exposición

$$Z_c = 274$$

$$\alpha = 7,5$$

$$L_s = 67$$

$$k = 0,005$$

Coefficiente de presión o de forma $C_f = 1$

Altura efectiva

$$h = H_{pr} - H_{em} = 13,5m - 1,5m = 12m$$

$$h_e = h - \frac{1}{3}h = 12m - \frac{1}{3} \cdot 12m = 8m$$

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

$$Z_p = 1,61 \left(\frac{h_e}{Z_c} \right)^{1/\alpha} = 1,61 \left(\frac{8m}{274} \right)^{1/7,5} = 1,01$$

Factores para hallar el factor de ráfaga de G_w

$$E = 4,9 \cdot \sqrt{k} \cdot \left(\frac{10}{Z_c} \right)^{1/\alpha} = 4,9 \cdot \sqrt{0,005} \cdot \left(\frac{10}{8m} \right)^{1/7,5} = 0,36$$

$$B_p = \frac{1}{1 + 0,375 \cdot \frac{h_e}{L_s}} = \frac{1}{1 + \frac{0,375 \cdot 8m}{67}} = 0,96$$

Factor de ráfaga

$$G_p = 1 + 2,7 \cdot E \cdot \sqrt{B_p} = 1 + 2,7 \cdot 0,36 \cdot \sqrt{0,96} = 1,95$$

Factor de carga (AEA) --> 0,93

Angulo del viento con el eje perpendicular de la línea

$$\psi = 0^\circ$$

Fuerza ejercida sobre el poste

$$Fv_p = Q(Zp.V_{III})^2 \cdot Fc \cdot Gp \cdot Cf \cdot \cos^2 \psi$$

$$Fv_p = 0,0613 \frac{kg}{m^3} \cdot \left(1,01.30 \frac{m}{seg}\right)^{2.0.93.1.93.1} \cdot \cos^2 0$$

$$Fv_p = \frac{102,06 daN}{m^2}$$

Carga del viento en la dirección del eje longitudinal de la estructura del poste

$$G_{lvp} = \frac{Fv_p \cdot (2 \cdot D_{cp} + D_{ep}) \cdot H_A}{4} = \frac{102,06 daN/m^2 \cdot (2.0,26m + 0,47m) \cdot 12m}{4}$$

$$G_{lvp} = 303,2 daN$$

Carga del viento en la dirección del eje transversal de la estructura del poste

$$G_{tvp} = \frac{Fv_p \cdot (2 \cdot D_{cp} + D_{ep}) \cdot H_A}{3} = \frac{102,06 daN/m^2 \cdot (2.0,26m + 0,47m) \cdot 12m}{3}$$

$$G_{tvp} = 404,2 daN$$

Acciones transversales a la línea reducidas a la cima

Coficiente de reducción a la cima de los conductores

$$C_{rc-c} = \frac{H_{c0} + H_{c1} + H_{c2}}{H_A} = \frac{8,9m + 9,9m + 10,9m}{12m} = 2,48$$

Viento máximo sobre el vano considerado del conductor de fase reducido a la cima

$$C_C = G_{vc} \cdot C_{rc-c} = 103,5 daN \cdot 2,48 = 256,68 daN$$

Viento máximo sobre el vano considerado del hilo de guardia reducido a la cima

Por estar a la misma altura del poste libre colocado el hilo de guardia el coeficiente de reducción a la cima es $C_{rc-hg} = 1$

$$C_{hg} = G_{vhg} \cdot C_{rc-hg} = 61,2daN \cdot 1 = 61,2daN$$

Carga del viento sobre aislador y suplementos reducidos a la cima

$$C_a = G_{va} \cdot C_{rc-a} = 6daN \cdot 2,48 = 14,88daN$$

Acciones transversales totales a la línea reducidas a la cima

$$A_{r_{total}} = G_{vp} + G_{vv} + C_c + C_{hg} + C_a$$

$$A_{r_{total}} = 404,2daN + 20daN + 256,68daN + 61,2daN + 14,88daN$$

$$A_{r_{total}} = 757daN$$

Acciones transversales debidas a excentricidades (desequilibrio vertical)

En las estructuras simple terna, dotadas de cable de guardia, necesariamente la resultante del peso de los conductores, crucetas y/o ménsulas, no coincide con el eje de la estructura, al estar dos fases a un lado y la restante al otro (o las tres de un lado, cuando los conductores se ubican uno encima del otro).

Esta asimetría se traduce en un momento flector cuyo efecto puede ser tenido en cuenta calculando una fuerza equivalente actuando en la cima.

$$D_{vert} = \left(G_c + G_a + \frac{G_{menh}}{3} \right) \cdot L_{men} \cdot \left(\frac{H_{c0} - H_{c1} + H_{c2}}{H_4} \right)$$

$$D_{vert} = \left(17,55daN + 2,5daN + \frac{276daN}{3} \right) \cdot 1m \cdot \left(\frac{8,9m - 9,9m + 10,9m}{12m} \right)$$

$$D_{vert} = 92,4daN$$

1- Cargas de Servicio

Hipótesis 1a) Acciones verticales (peso propio y cargas permanentes) - Carga del viento máximo perpendicular a la dirección de la línea sobre la estructura, elementos de cabecera y conductores en la semilongitud de los vanos adyacentes. -Fuerzas resultantes de las tracciones de los conductores.

Tiro del conductor para el estado de máximo viento

$$T_{cIII} = 750,5daN$$

Tiro del hilo de guardia para el estado de máximo viento

$$T_{hgIII} = 709,1 daN$$

Tracción resultante del hilo de guardia y los conductores

$$T_r = 2 \cdot \text{sen} \left(\frac{\theta}{2} \right) \cdot (T_{cIII} \cdot C_{rc-c} + T_{hgIII} \cdot C_{rc-hg})$$

$$T_r = 2 \cdot \text{sen} \left(\frac{0}{2} \right) \cdot (750,5 daN \cdot 2,48 + 709,1 daN \cdot 1) = 0 daN$$

Carga del viento en la bisectriz

$$C_{vb} = \cos \left(\frac{\theta}{2} \right) \cdot [(C]_C + C_{hg}) + C_a + G_{tvp} + G_{vv}$$

$$C_{vb} = \cos \left(\frac{0}{2} \right) \cdot (256,68 daN + 61,2 daN) + 14,88 daN + 404,2 daN + 20 daN$$

$$C_{vb} = 757 daN$$

Tiro transversal para la estructura

$$T_{ta} = D_{vare} + C_{vb} = 92,4 daN + 757 daN = 849,4 daN$$

Sobre cada poste:

$$T_{1a} = \frac{T_{ta}}{2} = \frac{849,4 daN}{2} = 424,7 daN$$

Hipótesis 1b) Peso propio y cargas permanentes. Carga del viento máximo sobre estructura, aisladores, accesorios y sobre la semilongitud de los conductores de ambos vanos adyacentes en dirección normal a la bisectriz del ángulo de la línea. Fuerzas resultantes de las tracciones de los conductores.

Carga del viento normal a la bisectriz

$$C_{vb} = \cos \left(90 - \frac{\theta}{2} \right) \cdot [(C]_C + C_{hg}) + C_a + G_{lvt} + G_{vv}$$

$$C_{vb} = \cos \left(90 - \frac{0}{2} \right) \cdot (256,68 daN + 61,2 daN) + 14,88 daN + 303,2 daN + 20 daN$$

$$C_{vb} = 338 \text{ daN}$$

Tracción resultante del hilo de guardia y los conductores

$$T_r = 2 \cdot \operatorname{sen}\left(\frac{\theta}{2}\right) \cdot (T_{\text{elIII}} \cdot C_{rc-c} + T_{\text{hgIII}} \cdot C_{rc-hg})$$

$$T_r = 2 \cdot \operatorname{sen}\left(\frac{0}{2}\right) \cdot (750,5 \text{ daN} \cdot 2,48 + 709,1 \text{ daN} \cdot 1) = 0 \text{ daN}$$

Tiro transversal para la estructura

$$T_{c1b} = T_r + D_{\text{vert}} = 0 \text{ daN} + 92,4 \text{ daN} = 92,4 \text{ daN}$$

Tiro longitudinal para la estructura

$$T_{l1b} = C_{vb} = 338 \text{ daN}$$

Tiro sobre cada poste

$$T_{1b} = \frac{T_{c1b}}{2} + \frac{T_{l1b}}{8} = \frac{92,4 \text{ daN}}{2} + \frac{338 \text{ daN}}{8} = 88,5 \text{ daN}$$

Hipótesis 1c) Peso propio y cargas permanentes. Carga del viento máximo en dirección oblicua sobre estructura, aisladores accesorios y sobre la semilongitud de los conductores de ambos vanos adyacentes. Fuerzas resultantes de las tracciones de los conductores.

Carga del viento en dirección oblicua

$$C_{vb} = \cos\left(30 - \frac{\theta}{2}\right) \cdot [(C]_c + C_{hg}) + C_a + G_{\text{tvr}} + G_{\text{vv}}$$

$$C_{vb} = \cos\left(30 - \frac{0}{2}\right) \cdot (256,68 \text{ daN} + 61,2 \text{ daN}) + 14,88 \text{ daN} + 404,2 \text{ daN} + 20 \text{ daN}$$

$$C_{vb} = 714,4 \text{ daN}$$

Tiro transversal para la estructura

$$T_{c1c} = C_{vb} + D_{\text{vert}} = 714,4 + 92,4 \text{ daN} = 806,8 \text{ daN}$$

Tiro longitudinal para la estructura

Carga del viento en dirección oblicua

$$C_{vb} = \text{sen}\left(30 - \frac{\theta}{2}\right) \cdot [(C]_c + C_{hg}) + C_a + G_{lv} + G_{vv}$$

$$C_{vb} = \text{sen}(30) \cdot (256,68 \text{ daN} + 61,2 \text{ daN}) + 14,88 \text{ daN} + 303,2 \text{ daN} + 20 \text{ daN}$$

$$T_{11c} = C_{vb} = 497 \text{ daN}$$

Tiro reducido a cada poste

$$T_{1c} = \frac{T_{11c}}{2} + \frac{T_{11c}}{8} = \frac{806,8 \text{ daN}}{2} + \frac{497 \text{ daN}}{8} = 465,5 \text{ daN}$$

Hipótesis 1d) No se considera la existencia de sobrecarga por maguito de hielo.

Hipótesis 1e) Pero propio y cargas permanentes. Tracciones unilaterales máximas en todos los conductores en el estado de temperatura mínima.

Tiro del conductor para estado de mínima temperatura

$$T_{c11} = 636,7 \text{ daN}$$

Tiro del hilo de guardia para estado de mínima temperatura

$$T_{h11} = 579,1 \text{ daN}$$

Tracción resultante del hilo de guardia y los conductores

$$T_{r11} = (T_{c11} \cdot C_{rc-c} + T_{h11} \cdot C_{rc-hg})$$

$$T_{r11} = (636,7 \text{ daN} \cdot 2,48 + 579,1 \text{ daN} \cdot 1) = 2158 \text{ daN}$$

Tiro longitudinal para la estructura

$$T_{11e} = T_{r11} = 2158 \text{ daN}$$

Tiro transversal para la estructura

$$T_{c1e} = D_{vert} = 92,4daN$$

Tiro reducido a cada poste

$$T_{1e} = \frac{T_{c1e}}{2} + \frac{T_{11e}}{8} = \frac{2158daN}{2} + \frac{92,4daN}{8} = 1090daN$$

2- Cargas de construcción y mantenimiento

Hipótesis 2a) Peso propio de la estructura. Cargas permanentes con un factor de carga de 2,50 en uno cualquiera, varios o todos los puntos de sujeción de fase o cable de guardia. Sobrecarga adicional de montaje. Fuerzas resultantes de las tracciones de los conductores consideradas a temperatura mínima. No se considera viento.

$$G_{adic} = 200daN$$

Tiro transversal para la estructura

Tracción resultante del hilo de guardia y los conductores

$$T_c = 2 \cdot \text{sen}\left(\frac{\theta}{2}\right) \cdot (T_{c11} \cdot C_{rc-c} + T_{hg11} \cdot C_{rc-hg}) + G_{adic} + 2,5 \cdot D_{vert}$$

$$T_c = 2 \cdot \text{sen}\left(\frac{0}{2}\right) \cdot (636,7daN \cdot 2,48 + 579,1daN \cdot 1) + 200daN + 2,5 \cdot 92,4daN$$

$$T_c = 431daN$$

Tiro reducido a cada poste

$$T_{2a} = \frac{T_c}{2} = \frac{431daN}{2} = 215,5daN$$

Hipótesis 2b) Peso propio. Cargas permanentes con un factor de carga de 2,50. Carga unilateral de todos los cables, correspondiente a la tracción considerada a temperatura media anual con un factor de carga de 1,5. No se considera viento.

Tiro transversal para la estructura

$$T_{c2b} = 1,5 \cdot \text{sen}\left(\frac{\theta}{2}\right) \cdot (T_{cV} \cdot C_{rc-c}) + 2,5 \cdot D_{vert}$$

$$T_{c2b} = 1,5 \cdot \text{sen}\left(\frac{0}{2}\right) \cdot (427,9daN \cdot 2,48) + 2,5 \cdot 92,4daN$$

$$T_{czb} = 231 daN$$

Tiro longitudinal para la estructura

$$T_{lzb} = 1,5 \cdot \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \cdot (T_{cV} \cdot C_{ve-c})$$

$$T_{lzb} = 1,5 \cdot \cos\left(\frac{0}{2}\right) \cdot (427,9 daN \cdot 2,48)$$

$$T_{lzb} = 1592 daN$$

Tiro reducido a cada poste

$$T_{zb} = \frac{T_{czb}}{2} + \frac{T_{lzb}}{8} = \frac{231 daN}{2} + \frac{1592 daN}{8} = 307 daN$$

3- Cargas de contención de falla

Hipótesis 3a) Peso propio y cargas permanentes. Tiro máximo unilateral aplicado en cualquiera de los puntos de sujeción de fase o cable de guardia. No se considera viento.

Tiro transversal para la estructura

$$T_{tza} = \text{sen}\left(\frac{\theta}{2}\right) \cdot \left(T_{cIII} \cdot \frac{H_{c2}}{H_A}\right) + D_{verz}$$

$$T_{tza} = \text{sen}\left(\frac{0}{2}\right) \cdot \left(750,5 daN \cdot \frac{10,9m}{12m}\right) + 92,4 daN = 92,4 daN$$

Tiro longitudinal para la estructura

$$T_{lza} = \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \cdot \left(T_{cIII} \cdot \frac{H_{c2}}{H_A}\right)$$

$$T_{lza} = \cos\left(\frac{0}{2}\right) \cdot \left(750,5 daN \cdot \frac{10,9m}{12m}\right) = 681,7 daN$$

Tiro reducido a cada poste

$$T_{za} = \frac{T_{tza}}{2} + \frac{T_{lza}}{8} = \frac{92,4 daN}{2} + \frac{681,7 daN}{8} = 131,4 daN$$

Hipótesis 3b) No se considera la existencia de sismos en la zona donde se emplaza la línea.

Hipótesis 3c) Peso propio y cargas verticales permanentes. Tiro unilateral máximo igual a 2/3 para líneas horizontales o por corte del conductor superior (el que ocasione el mayor esfuerzo). No se considera viento.

Tiro transversal para la estructura

Tracción resultante del hilo de guardia y los conductores

$$T_{tzc} = \frac{2}{3} \cdot \text{sen} \left(\frac{\theta}{2} \right) \cdot (T_{cIII} \cdot C_{rc-c} + T_{hgIII} \cdot C_{rc-hg}) + D_{vert}$$

$$T_{tzc} = \frac{2}{3} \cdot \text{sen} \left(\frac{0}{2} \right) \cdot (750,5 \text{ daN} \cdot 2,48 + 709,1 \text{ daN} \cdot 1) + 92,4 \text{ daN}$$

$$T_{tzc} = 92,4 \text{ daN}$$

Tiro longitudinal para la estructura

Tracción resultante del hilo de guardia y los conductores

$$T_{lzc} = \frac{2}{3} \cdot \text{cos} \left(\frac{\theta}{2} \right) \cdot (T_{cIII} \cdot C_{rc-c} + T_{hgIII} \cdot C_{rc-hg})$$

$$T_{lzc} = \frac{2}{3} \cdot \text{cos} \left(\frac{0}{2} \right) \cdot (750,5 \text{ daN} \cdot 2,48 + 709,1 \text{ daN} \cdot 1)$$

$$T_{lzc} = 1714 \text{ daN}$$

Tiro reducido a cada poste

$$T_{zc} = \frac{T_{tzc}}{2} + \frac{T_{lzc}}{8} = \frac{92,4 \text{ daN}}{2} + \frac{1714 \text{ daN}}{8} = 260 \text{ daN}$$

Verificación por el método de factorización de cargas y resistencias

Este método está basado en la aplicación de coeficientes de mayoración para las cargas y de minoración para las resistencias.

Factor de carga estructural

$$K_s = 1$$

Factor de carga por colapso para estructura de retención

$$K_c = 1$$

Solicitud última que resulta la solicitud máxima actuante

$$S = \max(T_{1a}, T_{1b}, T_{1c}, T_{1e}, T_{2a}, T_{2b}, T_{3a}, T_{3b}) = 1090 \text{ daN}$$

Factor global de resistencia

$$\varphi = 0,75$$

Resistencia nominal del poste

$$R_c = 1500 \text{ daN}$$

Se debe cumplir:

$$K_e \cdot K_c \cdot S \leq \varphi \cdot R_c$$

$$1 \cdot 1 \cdot 1090 \text{ daN} \leq 0,75 \cdot 1500 \text{ daN}$$

$1090 \text{ daN} \leq 1125 \text{ daN} \rightarrow \text{VERIFICA}$
--

<p>Se adopta un poste doble 13,5R1500</p>
--

Dimensiones de los vínculos

Ubicación de los vínculos

Distancia entre vínculo inferior y tierra

$$H_{vinc} = 0,365 \cdot H_{c0} = 0,365 \cdot 8,9 \text{ m} = 3,25 \text{ m}$$

Distancia entre vínculo inferior y superior

$$H_{vinc} = 0,335 \cdot H_{c0} = 0,335 \cdot 8,9 \text{ m} = 2,98 \text{ m}$$

Distancia entre vínculo superior y ménsula

$$H_{vin_a} = 0,300 \cdot H_{c0} = 0,300 \cdot 8,9m = 2,67m$$

Dimensionamiento de los vínculos

Vínculo "a"

Distancia desde la cima al centro del vínculo correspondiente

$$x_a = H_{\#} - H_{c0} + H_{vin_a} = 12m - 8,9m + 2,67m = 5,77m$$

Diámetro del agujero del vínculo

$$\phi_{vin_a} = D_{cp} + 0,018 \cdot x_a + 0,10m = 0,26m + 0,018 \cdot 5,77m + 0,10m = 0,47m$$

Longitud del vínculo entre caras extremas de los agujeros

$$L_{vin_a} = 2 \cdot (D_{cp} + 0,018 \cdot x_a) + (0,30 + x_a \cdot 0,04) + 0,10m$$

$$L_{vin_a} = 2 \cdot (0,26m + 0,018 \cdot 5,77m) + (0,30 + 5,77m \cdot 0,04) + 0,10m = 1,36m$$

Se adopta un vínculo tipo "C4" con las siguientes características:

Altura

$$z_a = 0,4m$$

Ancho

$$y_a = 1,54m$$

Peso

$$P_a = 451kg$$

Vínculo "b"

Distancia desde la cima al centro del vínculo correspondiente

$$x_b = H_{\#} - H_{c0} + H_{vin_a} + H_{vin_b} = 12m - 8,9m + 2,67m + 2,98m = 8,8m$$

Diámetro del agujero del vínculo

$$\phi_{vin_b} = D_{cp} + 0,018 \cdot x_b + 0,10m = 0,26m + 0,018 \cdot 8,8m + 0,10m = 0,52m$$

Longitud del vínculo entre caras extremas de los agujeros

$$L_{vin_b} = 2 \cdot (D_{cp} + 0,018 \cdot x_b) + (0,30 + x_b \cdot 0,04) + 0,10m$$

$$L_{vin_b} = 2 \cdot (0,26m + 0,018 \cdot 8,8m) + (0,30 + 8,8m \cdot 0,04) + 0,10m = 1,6m$$

Se adopta un vínculo tipo "C6" con las siguientes características:

Altura

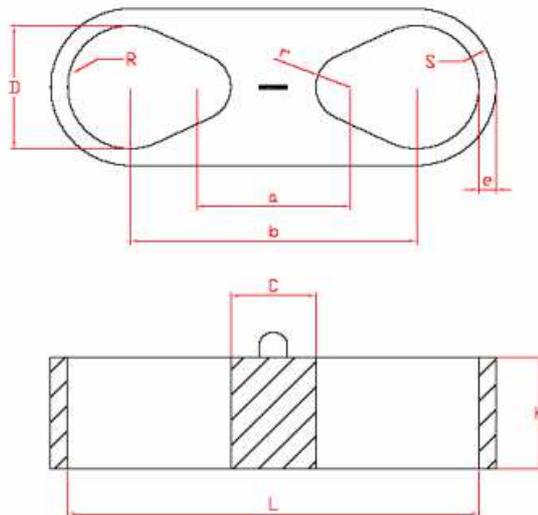
$$z_b = 0,45m$$

Ancho

$$y_b = 1,76m$$

Peso

$$P_b = 670kg$$



Tipo	h	a	b	r	R	s	c	D	e	L	Peso
C4	0,4	0,63	0,92	0,18	0,25	0,31	0,27	0,5	0,06	1,42	451
C6	0,45	0,63	1,08	0,18	0,27	0,34	0,27	0,54	0,07	1,62	670

Separación entre columnas

Se adopta como distancia de separación entre columnas en la cima:

$$L_{cima} = 0,30m$$

Separación entre las columnas al ras del suelo

$$L_{suelo} = L_{cima} + 0,035 \cdot H_4 = 0,30m + 0,035 \cdot 12m = 0,72m$$

Separación de las caras interiores de las columnas en las bases de las mismas

$$L_{base} = L_{cima} + 0,035 \cdot H_{pr} = 0,30m + 0,035 \cdot 13,5m = 0,77m$$

Angulo de inclinación de los postes

$$\beta = \text{atan} \left(\frac{\frac{0,018}{2} + \frac{0,035}{2}}{1} \right) = 1,518^\circ$$

Diseño de fundación – Metodo Sulzberguer

Separación de las caras interiores de las columnas en la base de la misma

$$L_{base} = 0,77m$$

Diámetro en la base de cada poste

$$D_{ep} = 0,47m$$

Distancia entre las caras exteriores de los postes en la base

$$L_{int-base} = L_{base} + 2 \cdot D_{ep} = 0,77m + 2 \cdot 0,47m = 1,71m$$

Distancia entre las caras exteriores de la fundación sumándole 2cm a ambos lados para poder introducir los postes

$$D_{ce} = L_{int-base} + 2 \cdot 0,02m = 1,71 + 0,04 = 1,75m$$

Largo mínimo de la fundación adicionando el espesor mínimo de la base de hormigón

$$L_f = D_{ce} + 2 \cdot 0,20m = 1,75m + 0,20m = 1,95m$$

Adoptamos

$$L_f = 2m$$

Se adopta un ancho igual al largo de la fundación

$$L_f = A_f = 2m$$

Profundidad de la fundación: Empotramiento más unos cm que permitan la verificación más abajo.

$$t_f = H_{em} + 0,5m = 1,5m + 0,5m = 2m$$

Verificación

$$0,20 \leq t_f - H_{em} \leq \frac{1}{3} \cdot t_f$$

$$0,20 \leq 2m - 1,5m \leq \frac{1}{3 \cdot 2m}$$

$0,20 \leq 0,5m \leq 0,67m \rightarrow \text{Verifica}$

Cargas verticales actuantes en la fundación

Diámetro de cada agujero de la fundación

$$D_{bf} = D_{bp} + 0,2m = 0,5m + 0,2m = 0,7m$$

Volumen de la fundación

$$V_f = L_f \cdot A_f \cdot t_f - 2 \cdot \frac{\pi \cdot D_{bf}^2}{4} \cdot H_{em} = 2m \cdot 2m \cdot 2m - \frac{\pi \cdot 0,7m^2}{4} \cdot 1,5m = 7,18m^3$$

Densidad del hormigón

$$\gamma_H = 2200 \text{ daN/m}^3$$

Peso de la fundación

$$G_{fund} = V_f \cdot \gamma_H = 7,18m^3 \cdot 2200 \text{ daN/m}^3 = 15786 \text{ daN}$$

Acciones verticales totales

$$A_{vtotal} = G_{vt} + G_{fund} = 6577 \text{ daN} + 15786 \text{ daN} = 22363 \text{ daN}$$

Índice de compresibilidad en las paredes de la fundación a 2m de profundidad para un terreno arenoso.

$$C_z = 3 \text{ daN/cm}^2$$

Índice de Compresibilidad para la base de la fundación

$$C_t = C_b = 3 \text{ daN/cm}^2$$

Momentos estabilizantes

La fundación reacciona ante el momento volcador presentando dos momentos estabilizantes.

Momento de encastramiento

Es la reacción en las paredes que incluye la fricción entre el hormigón y la tierra a lo largo de las paredes.

Se calcula primero el valor del ángulo α para el cual el eje de giro comienza a levantarse del fondo de la fundación.

Coeficiente de fricción terreno-fundación

$$\mu = 0,4$$

$$\tan \alpha = \frac{4,5 \cdot \mu \cdot A_{vtotal}}{A_f \cdot (t_f)^2 \cdot C_t} = \frac{4,5 \cdot 0,4 \cdot 22363 \text{ daN}}{200 \text{ cm} \cdot (200 \text{ cm})^2 \cdot \text{daN/cm}^2} = 0,0016 < 0,015$$

Momento de encastramiento para las fuerzas que actúan para la fuerza actuante en la dirección x

$$M_{sx} = \frac{\sqrt{2} \cdot A_f \cdot (t_f)^3}{36} \cdot C_t \cdot 0,015 = \frac{\sqrt{2} \cdot 2 \text{ m} \cdot (2 \text{ m})^3}{36 \cdot 3} \text{ daN/cm}^2 \cdot 100^2 \cdot 0,015$$

$$M_{sx} = 28284 \text{ daN} \cdot \text{m}$$

Momento de encastramiento para las fuerzas que actúan para la fuerza actuante en la dirección y

$$M_{sy} = \frac{\sqrt{2} \cdot L_f \cdot (t_f)^3}{36} \cdot C_t \cdot 0,015 = \frac{\sqrt{2} \cdot 2 \text{ m} \cdot (2 \text{ m})^3}{36 \cdot 3} \text{ daN/cm}^2 \cdot 100^2 \cdot 0,015$$

$$M_{sy} = 28284 \text{ daN} \cdot \text{m}$$

Momento de fondo

Es el provocado por las cargas verticales.

$$tg_{\alpha b} = \frac{\sqrt{2} \cdot A_{vtotal}}{(A_f)^2 \cdot C_b} = \frac{\sqrt{2} \cdot 22363 daN}{(200cm)^2 \cdot daN/cm^2} = 0,0013 < 0,015$$

Momento de fondo para la fuerza actuante en la dirección x

$$M_{bx} = \left(\frac{\sqrt{2}}{2} \cdot A_f - 0,5 \sqrt{\frac{3 \cdot A_{vtotal}}{C_b \cdot 0,015}} \right) \cdot A_{vtotal}$$

$$M_{bx} = \left(\frac{\sqrt{2}}{2 \cdot 2,2m} - 0,5 \sqrt{\frac{3 \cdot 22363 daN}{3 daN/cm^2 \cdot 100^2 \cdot 0,015}} \right) \cdot 22363 daN$$

$$M_{bx} = 18852 daN \cdot m$$

Momento de fondo para la fuerza actuante en la dirección y

$$M_{by} = \left(\frac{\sqrt{2}}{2} \cdot A_f - 0,5 \sqrt{\frac{3 \cdot A_{vtotal}}{C_b \cdot 0,015}} \right) \cdot A_{vtotal}$$

$$M_{by} = \left(\frac{\sqrt{2}}{2 \cdot 2,2m} - 0,5 \sqrt{\frac{3 \cdot 22363 daN}{3 daN/cm^2 \cdot 100^2 \cdot 0,015}} \right) \cdot 22363 daN$$

$$M_{by} = 18852 daN \cdot m$$

Momento total

Dirección y-y (en torno al eje x-x)

$$M_{Tx} = M_{sx} + M_{bx} = 28284 daN \cdot m + 18852 daN \cdot m = 47136 daN \cdot m$$

Dirección x-x (en torno al eje y-y)

$$M_{Ty} = M_{sy} + M_{by} = 28284 daN \cdot m + 18852 daN \cdot m = 47136 daN \cdot m$$

Momento volcador

Los esfuerzos volcadores son las cargas horizontales que actúan sobre la estructura. En los apoyos de hormigón armado lo normal es contar con la carga total reducida a la cima del poste.

Según sea la posición del eje de giro resultara la distancia de aplicación de la fuerza que provoca el momento volcador. Para el caso más común en que la fundación trabaja parcialmente despegada del suelo el momento volcador tiene la expresión:

Momento volcador para el tiro en la dirección y

Tiro transversal normal de trabajo para la estructura en la dirección y

$$T_y = \max(\text{tiro transversal}) = 849,4 \text{ daN}$$

$$M_{Vy} = T_y \cdot \left(H_4 + \frac{2}{3} \cdot t_f \right) = 849,4 \text{ daN} \cdot \left(12 \text{ m} + \frac{2}{3} \cdot 3,2 \text{ m} \right) = 11325 \text{ daN} \cdot \text{m}$$

Momento volcador para el tiro en la dirección x

Tiro longitudinal normal de trabajo para la estructura en la dirección x

$$T_x = \max(\text{tiro longitudinal}) = 2158 \text{ daN}$$

$$M_{Vx} = T_x \cdot \left(H_4 + \frac{2}{3} \cdot t_f \right) = 2158 \text{ daN} \cdot \left(12 \text{ m} + \frac{2}{3} \cdot 3,2 \text{ m} \right) = 28773 \text{ daN} \cdot \text{m}$$

Factor de vuelco K_v

$$K_{Vx} = 1,45 - 0,9 \cdot \left(\frac{M_{sx}}{M_{bx}} \right) + 0,45 \cdot \left(\frac{M_{sx}}{M_{bx}} \right)^2$$

$$K_{Vx} = 1,45 - 0,9 \cdot \left(\frac{28284 \text{ daN} \cdot \text{m}}{18852 \text{ daN} \cdot \text{m}} \right) + 0,45 \cdot \left(\frac{28284 \text{ daN} \cdot \text{m}}{18852 \text{ daN} \cdot \text{m}} \right)^2 = 1$$

$$K_{Vy} = 1,45 - 0,9 \cdot \left(\frac{M_{sy}}{M_{by}} \right) + 0,45 \cdot \left(\frac{M_{sy}}{M_{by}} \right)^2$$

$$K_{Vy} = 1,45 - 0,9 \cdot \left(\frac{28284 \text{ daN} \cdot \text{m}}{18852 \text{ daN} \cdot \text{m}} \right) + 0,45 \cdot \left(\frac{28284 \text{ daN} \cdot \text{m}}{18852 \text{ daN} \cdot \text{m}} \right)^2 = 1$$

Factor de carga K_c

Factor de carga que tiene en cuenta el tipo de estructura y el daño que produciría la falla de dicha estructura

$K_C = 1$ para estructuras de suspensión y retención.

Factor de resistencia al vuelco

Factor de carga que tiene en cuenta la verificación experimental del comportamiento del cimientto.

$$\phi_{Vx} = \phi_{Vy} = \frac{1}{K_{Vx}} = \frac{1}{1} = 1$$

El diseño de las fundaciones se basara en la aplicación del “método de factorización de cargas y resistencias” debiéndose cumplir con la siguiente condición:

$$K_C \cdot M_{Vx} \leq M_{Tx} \cdot \phi_{Vx}$$

$$1.28773 \text{ daN} \cdot \text{mdaN} \cdot \text{m} \leq 47136 \text{ daN} \cdot \text{m} \cdot 1 \rightarrow \text{VERIFICA}$$

$$K_C \cdot M_{Vy} \leq M_{Ty} \cdot \phi_{Vy}$$

$$1.11325 \text{ daN} \cdot \text{mdaN} \cdot \text{m} \leq 47136 \text{ daN} \cdot \text{m} \cdot 1 \rightarrow \text{VERIFICA}$$

Estructura Terminal (Vano 60m)

Son estructuras calculadas básicamente para resistir el tiro unilateral de la línea.

Datos de la Instalación

Características de la línea en el poste calculado:

Vano anterior a la estructura

$$a_1 = 0m$$

Vano posterior a la estructura

$$a_2 = 60m$$

Semilongitud de vanos adyacentes

$$Sa = \frac{a_1}{2} + \frac{a_2}{2} = \frac{0m}{2} + \frac{60m}{2} = 30m$$

Índice de compresibilidad

Arena fina Húmeda

$$C_t = \frac{3daN}{cm^3}$$

Tensión de línea

$$V_L = 33kV$$

Altura mínima del conductor al suelo adoptada de acuerdo a la reglamentación de la AEA.

$$H_L = 7m$$

Características del conductor

Características del Conductor (IRAM 2187)	
Material	Aluminio - Acero
Sección nominal	50/8
Sc	50mm ²
Src	56,3mm ²
Formación	6 x 3,2mm ² + 1 x 3,2mm ²
Diámetro exterior	9,6mm
Iadm	195A
Carga de rotura (Trc)	1713 daN
Peso aproximado (Pc)	195 kg/km
Módulo de elasticidad (Ec)	8100 daN/mm ²
Coefficiente de dilatación (α_c)	19,1 E-6 1/°C

Características del hilo de guardia

Características del hilo de guardia (IRAM 722)	
Material	Acero
Sección nominal	35
Shg	34,37 mm ²
Formación	7x1
Diámetro exterior	6,6mm
Carga de rotura (Thg)	1700 daN
Peso aproximado (P _{hg})	269 kg/km
Módulo de elasticidad (E _{hg})	20000 daN/mm ²
Coefficiente de dilatación (α_c)	11x10E-6 1/°C

Aislador

Características del Aislador	
Longitud del aislador (L_a)	0,435m
Diámetro del núcleo (D_{na})	0,033m
Diámetro exterior (D_{ea})	0,11m
Angulo sobre la horizontal (γ_a)	15°
Longitud suplemento de amarre (L_{sa})	0m
Peso del aislador más suplementos (G_a)	2,5daN
Peso del soporte (G_{hsa})	2daN
Longitud total con perno (L_{at})	0,6m

Distancias eléctricas mínimas

Distancia entre conductores en el medio del vano

Coeficiente dependiente del ángulo de declinación θ_{ca}

$$K_c = 0,95 \frac{m}{kV \cdot \sqrt{m}}$$

Longitud oscilante de la cadena de aislación L_{ca}

$$L_{ca} = 0$$

Tensión nominal V_N

$$V_N = 33kV$$

Distancia entre fases en el medio del vano D_f

$$D_f = K_c \cdot \sqrt{f_{cl} + L_{ca}} + \frac{V_N}{150} = 0,95 \frac{m}{kV \cdot \sqrt{m}} \cdot \sqrt{0,51m + 0m} + \frac{33kV}{150} = 0,90m$$

Se adopta $D_f = 1m$

Distancias a tierra en función de los aisladores

$$L_{ver} = 0,28m$$

$$L_{hor} = 0,19m$$

Distancia entre fase y cable de guardia en el medio del vano D_{f-hg}

$$V_F = \frac{V_N}{\sqrt{3}} = \frac{33kV}{\sqrt{3}} = 19,05kV$$

$$D_{f-hg} = K_c \cdot \sqrt{f_{cl} + L_{ca}} + \frac{V_F}{150} = 0,95 \frac{m}{kV \cdot \sqrt{m}} \cdot \sqrt{0,51m + 0m} + \frac{19,05kV}{150} = 0,81m$$

Cabe destacar que esta distancia puede modificarse para permitir la adecuada protección de las fases contra descargas atmosféricas.

Distancia mínima entre conductores y accesorios puestos a potencial de línea y tierra

D_{f-m}

Máxima tensión de servicio del sistema, fase a fase V_M

$$V_M = 1,1 \cdot V_N = 1,1 \cdot 33kV = 36,3kV$$

$$D_{f-m} = 0,075 + 0,005(V_M - 8,7) = 0,075 + 0,005(36,3kV - 8,7) = 0,213m$$

Se adopta $D_{f-m} = 0,22m$

Distancias verticales mínimas

Distancia vertical a tierra, a objetos bajo la línea y aplicables en cruces entre líneas de baja tensión y media tensión D

$$D = 1,20m$$

Dimensionamiento del cabezal

Flecha del puente

$$f_{pc} = 0,5m$$

Distancia mínima entre ménsula superior e inferior

$$L_m = 2 \cdot f_{pc} = 2 \cdot 0,5m = 1m$$

Verificación de la ménsula del conductor

Diámetro en la cima del poste D_{cp} supuesto

$$D_{cp} = 0,26m$$

Conicidad del poste

$$c = 0,018$$

Diámetro del poste a la altura en que el conductor inferior presenta el máximo acercamiento al poste

$$D_p = D_{cp} + c.4m = 0,26m + 0,018.4m = 0,33m$$

Distancia desde conductor al centro del poste

Angulo de inclinación por viento máximo

$$\alpha = 20^\circ$$

$$D_1(c-p) = f_{ipc} \cdot \text{sen}(\alpha) + L_{1hor} + Dp/2 = 0,5m \cdot \text{sen}(20^\circ) + 0,19m + 0,33m/2 = 0,52m$$

Resulta un valor reducido si tenemos en cuenta la longitud promedio de los aisladores Line Post.

Se adopta los siguientes valores:

Longitud de la ménsula

$$L_{men} = 1m$$

Distancia vertical entre conductores

$$H_1 = 1m$$

Distancia entre conductor superior e intermedio

$$H_2 = 1m$$

Distancia entre conductor superior y cima del poste

$$H_3 = 1,1m$$

Altura libre mínima del poste

$$H_4 = f_{c1} + H_L + 2 \cdot H_2 + H_3 = 0,51m + 7m + 2 \cdot 1,1m + 1,1m = 10,61m$$

Altura total del poste

$$H_{pv} = \frac{H_4}{90\%} = \frac{10,61m}{90\%} = 11,79m$$

Se adopta un poste de $H_{pv} = 13,5m$
--

Altura de empotramiento

$$H_{em} = H_{pr} \cdot 10\% = 13,5 \cdot 10\% = 1,35m$$

Se adopta $H_{em} = 1,5m$

Corrección de la altura libre entre suelo y conductor

$$H_L = H_{pr} - (f_{c1} + 2 \cdot H_2 + H_3 + H_{em})$$

$$H_L = 13,5m - (0,51m + 2 \cdot 2,1m + 1,1m + 1,5m) = 8,39m$$

Corrección de la altura libre del poste

$$H_A = H_L + f_{c1} + 2 \cdot H_2 + H_3$$

$$H_A = 8,39m + 0,51m + 2 \cdot 2,1m + 1,1m = 12m$$

Altura del suelo al conductor inferior

$$H_{c0} = H_L + f_{c1} = 8,39m + 0,51m = 8,9m$$

Altura del suelo al conductor medio

$$H_{c1} = H_L + f_{c1} + H_2 = 8,39m + 0,51m + 2,1m = 9,9m$$

Altura del suelo al conductor superior

$$H_{c2} = H_L + f_{c1} + 2 \cdot H_2 = 8,39m + 0,51m + 2 \cdot 2,1m = 10,9m$$

Dimensiones del poste

Diámetro en la cima del poste

$$D_{cp} = 0,26m$$

Diámetro en la base del poste

$$D_{bp} = D_{cp} + c \cdot H_{pr} = 0,26m + 0,018 \cdot 13,5m = 0,5m$$

Diámetro en el empotramiento del poste

$$D_{ep} = D_{cp} + c \cdot H_A = 0,26m + 0,018 \cdot 12m = 0,47m$$

Dimensionamiento mecánico

Cargas actuantes sobre la estructura

Acciones verticales

- Peso de los conductores terminales

$$G_{ct} = P_c \cdot S_a = 195 \text{ daN/km} \cdot 0,03 \text{ km} = 5,85 \text{ daN}$$

- **Peso total de los conductores de fase**

$$G_c = 3 \cdot G_{ct} = 3 \cdot 5,85 \text{ daN} = 17,55 \text{ daN}$$

- **Peso del cable de guardia**

$$G_{hg} = P_{hg} \cdot S_{at}$$

$$G_{hg} = 269 \text{ daN/km} \cdot 0,03 \text{ km} = 8,1 \text{ daN}$$

- **Peso total de aisladores más suplementos**

$$G_{at} = 6 \cdot G_{am} = 6 \cdot 4,5 \text{ daN} = 27 \text{ daN}$$

- **Peso de la ménsula de hormigón**

$$G_{menh} = 276 \text{ daN}$$

- **Peso total de las ménsulas de hormigón**

$$G_{Tmenh} = 3 \cdot G_{menh} = 3 \cdot 276 \text{ daN} = 828 \text{ daN}$$

- **Peso de los vínculos**

$$G_{vinc} = 451 \text{ daN} + 670 \text{ daN} = 1121 \text{ daN}$$

- **Peso del poste**

$$G_p = 2262 \text{ daN}$$

Acciones verticales totales

$$G_{vt} = G_e + G_{hg} + G_{at} + G_{Tmenh} + 2 \cdot G_p + G_{vinc}$$

$$G_{vt} = 17,55daN + 8,1daN + 27daN + 942daN + 2.2262daN + 1121daN$$

$$G_{vt} = 6640daN$$

Acciones transversales a la línea

- **Viento máximo sobre el vano considerado del conductor de fase**

$$G_{Vc} = G_{vcill} \cdot s_a = 1,15 daN/m \cdot 30m = 34,5daN$$

- **Viento máximo sobre el vano considerado del hilo de guardia**

$$G_{Vhg} = F_{villhg} \cdot s_a = 0,68 daN/m \cdot 30m = 20,4daN$$

- **Carga del viento sobre aislador y suplementos**

$$G_{Va} = 6daN$$

- **Carga del viento sobre vínculos**

$$G_{vv} = 20daN$$

- **Calculo de la acción del viento sobre el poste**

Viento máximo

$$V_{max} = 35^m/seg$$

Factor que depende de la densidad del aire

$$Q = 0,0613 \frac{kg}{m^3}$$

Categoría de exposición: "C"

Factores en función de la exposición

$$Z_G = 274$$

$$\alpha = 7,5$$

$$L_s = 67$$

$$k = 0,005$$

Coefficiente de presión o de forma

$$C_f = 1$$

Altura efectiva

$$h = H_{pr} - H_{em} = 13,5m - 1,5m = 12m$$

$$h_e = h - \frac{1}{3}h = 12m - \frac{1}{3} \cdot 12m = 8m$$

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

$$Z_p = 1,61 \left(\frac{h_e}{Z_G} \right)^{1/\alpha} = 1,61 \left(\frac{8m}{274} \right)^{1/7,5} = 1,01$$

Factores para hallar el factor de ráfaga de Gw

$$E = 4,9 \cdot \sqrt{k} \cdot \left(\frac{10}{Z_G} \right)^{1/\alpha} = 4,9 \cdot \sqrt{0,005} \cdot \left(\frac{10}{8m} \right)^{1/7,5} = 0,36$$

$$Bp = \frac{1}{1 + 0,375 \cdot \frac{h_e}{L_s}} = \frac{1}{1 + \frac{0,375 \cdot 8m}{67}} = 0,96$$

Factor de ráfaga

$$G_p = 1 + 2,7 \cdot E \cdot \sqrt{B_p} = 1 + 2,7 \cdot 0,36 \cdot \sqrt{0,96} = 1,95$$

Factor de carga (AEA) --> 0,93

Angulo del viento con el eje perpendicular de la línea

$$\psi = 0^\circ$$

Fuerza ejercida sobre el poste

$$F_{V_p} = Q(Z_p \cdot V_{III})^2 \cdot F_c \cdot G_p \cdot C_f \cdot \cos^2 \psi = 0,0613 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \cdot \left(1,01 \cdot 30 \frac{\text{m}}{\text{seg}}\right)^{2,093 \cdot 1,951} \cdot \cos^2 0$$

$$F_{V_p} = \frac{102,06 \text{ daN}}{\text{m}^2}$$

Carga del viento en la dirección del eje longitudinal de la estructura del poste

$$G_{LVP} = \frac{F_{V_p} \cdot (2 \cdot D_{cp} + D_{ep}) \cdot H_A}{4} = \frac{102,06 \text{ daN/m}^2 \cdot (2 \cdot 0,26 \text{ m} + 0,47 \text{ m}) \cdot 12 \text{ m}}{4}$$

$$G_{LVP} = 303,2 \text{ daN}$$

Carga del viento en la dirección del eje transversal de la estructura del poste

$$G_{TVP} = \frac{F_{V_p} \cdot (2 \cdot D_{cp} + D_{ep}) \cdot H_A}{3} = \frac{102,06 \text{ daN/m}^2 \cdot (2 \cdot 0,26 \text{ m} + 0,47 \text{ m}) \cdot 12 \text{ m}}{3}$$

$$G_{TVP} = 404,8 \text{ daN}$$

Acciones transversales a la línea reducidas a la cima

Coefficiente de reducción a la cima de los conductores

$$C_{rc-c} = \frac{H_{c0} + H_{c1} + H_{c2}}{H_A} = \frac{8,9 \text{ m} + 9,9 \text{ m} + 10,9 \text{ m}}{12 \text{ m}} = 2,48$$

Viento máximo sobre el vano considerado del conductor de fase reducido a la cima

$$C_C = G_{Vc} \cdot C_{rc-c} = 34,5 \text{ daN} \cdot 2,48 = 85,56 \text{ daN}$$

Viento máximo sobre el vano considerado del hilo de guardia reducido a la cima

Por estar a la misma altura del poste libre colocado el hilo de guardia el coeficiente de reducción a la cima es $C_{rc-hg} = 1$

$$C_{hg} = G_{Vhg} \cdot C_{rc-hg} = 20,4daN \cdot 1 = 20,4daN$$

Carga del viento sobre aislador y suplementos reducidos a la cima

$$C_a = G_{Va} \cdot C_{rc-e} = 6daN \cdot 2,48 = 14,88daN$$

Acciones transversales totales a la línea reducidas a la cima

$$A_{t_{total}} = G_{vp} + G_{vv} + C_c + C_{hg} + C_a$$

$$A_{t_{total}} = 404,8daN + 20daN + 85,56daN + 20,4daN + 14,88daN$$

$$A_{t_{total}} = 757,6daN$$

Acciones transversales debidas a excentricidades (desequilibrio vertical)

En las estructuras simple terna, dotadas de cable de guardia, necesariamente la resultante del peso de los conductores, crucetas y/o ménsulas, no coincide con el eje de la estructura, al estar dos fases a un lado y la restante al otro (o las tres de un lado, cuando los conductores se ubican uno encima del otro).

Esta asimetría se traduce en un momento flector cuyo efecto puede ser tenido en cuenta calculando una fuerza equivalente actuando en la cima.

$$D_{vert} = \left(G_c + G_a + \frac{G_{menh}}{3} \right) \cdot L_{men} \cdot \left(\frac{H_{c0} - H_{c1} + H_{c2}}{H_A} \right)$$

$$D_{vert} = \left(5,85daN + 2,5daN + \frac{276daN}{3} \right) \cdot 1m \cdot \left(\frac{8,9m - 9,9m + 10,9m}{12m} \right)$$

$$D_{vert} = 82,8daN$$

4- Cargas de Servicio

Hipótesis 1a) Peso propio y cargas permanentes. Carga del viento máximo perpendicular a la dirección de la línea sobre estructura, aisladores accesorios y sobre la semilongitud de los conductores del vano adyacente. Tracciones unilaterales de todos los conductores.

Tiro del conductor para el estado de máximo viento

$$T_{cliff} = 690 daN$$

Tiro del hilo de guardia para el estado de máximo viento

$$T_{hgIII} = 657 daN$$

Tracción resultante del hilo de guardia y los conductores

$$T_r = (T_{cliff} \cdot C_{rc-c} + T_{hgIII} \cdot C_{rc-hg})$$

$$T_r = (690 daN \cdot 2,48 + 657 daN \cdot 1) = 2368 daN$$

Carga del viento en la bisectriz

$$C_{vb} = [(C)_c + C_{hg}] + C_a + G_{tvp} + G_{vv}$$

$$C_{vb} = (85,56 daN + 20,4 daN) + 14,88 daN + 404,8 daN + 20 daN$$

$$C_{vb} = 545,6 daN$$

Tiro longitudinal para la estructura

$$T_{la} = T_r = 2637 daN$$

Tiro transversal para la estructura

$$T_{ta} = C_{vb} + D_{vert} = 545,6 daN + 82,8 daN = 628,4 daN$$

Sobre cada poste:

$$T_{1a} = \frac{T_{ta}}{2} + \frac{T_{la}}{8} = \frac{628,4 daN}{2} + \frac{2637 daN}{8} = 643,8 daN$$

Hipótesis 1b) Peso propio y cargas permanentes. Tracciones unilaterales de todos los conductores a la temperatura mínima.

Tiro del conductor para el estado de temperatura mínima.

$$T_{clt} = 643,5 daN$$

Tiro del hilo de guardia para el estado de temperatura mínima.

$$T_{hgII} = 601,27daN$$

Tracción resultante del hilo de guardia y los conductores

$$T_r = (T_{cII} \cdot C_{rc-c} + T_{hgII} \cdot C_{rc-hg})$$

$$T_r = (643,5daN \cdot 2,48 + 594,3daN \cdot 1) = 2190daN$$

Tiro longitudinal para la estructura

$$T_{l1a} = T_r = 2190daN$$

Tiro transversal para la estructura

$$T_{t1a} = D_{over2} = 82,8daN$$

Sobre cada poste:

$$T_{1a} = \frac{T_{l1a}}{8} + \frac{T_{t1a}}{2} = \frac{2190daN}{8} + \frac{82,8daN}{2} = 315,2daN$$

Hipótesis 1c) Peso propio y cargas permanentes. Carga del viento máximo en dirección oblicua sobre estructura, aisladores accesorios y sobre la semilongitud de los conductores de ambos vanos adyacentes. Fuerzas resultantes de las tracciones de los conductores.

No se considera la existencia de sobrecarga por maguito de hielo.

5- Cargas de construcción y mantenimiento

Hipótesis 2a) Peso propio. Cargas permanentes con un factor de carga de 2,50 en cualquiera de los puntos de sujeción de fase o cable de guardia. Sobrecarga adicional de montaje. Tiro de todos los conductores correspondientes a la tracción de tensado considerada a temperatura media anual con un factor de carga de 1,5. No se considera viento.

$$G_{adic} = 200daN$$

Tiro longitudinal para la estructura

$$T_{l1b} = 1,5 \cdot (T_{cV} \cdot C_{rc-c} + T_{hgV} \cdot C_{rc-hg})$$

$$T_{11b} = 1,5 \cdot (427,9daN \cdot 2,48 + 425,2daN \cdot 1) = 2230daN$$

Tiro transversal para la estructura

$$T_{t1b} = 2,5 \cdot D_{vert} + G_{adic} = 2,5 \cdot 82,8daN + 200daN = 407daN$$

Tiro reducido a cada poste

$$T_{1b} = \frac{T_{11b}}{8} + \frac{T_{t1b}}{2} = \frac{2230daN}{8} + \frac{407daN}{2} = 482,2daN$$

6- Cargas de contención de falla

Hipótesis 3a) Peso propio de la estructura, cargas permanentes duplicadas. Eliminación de una cualquiera ó varias tracciones máximas. No se considera viento.

Tiro longitudinal para la estructura

$$T_{12a} = (T_{cv} \cdot C_{rc-c})$$

$$T_{12a} = (427,9daN \cdot 2,48) = 1061daN$$

$$T_{1a2} = 1061daN$$

Tiro transversal para la estructura

$$T_{t2a} = 2 \cdot D_{vert} = 2 \cdot 82,8daN = 165,6daN$$

$$T_{t2a} = 165,6daN$$

Tiro reducido a cada poste

$$T_{1a} = \frac{T_{12a}}{8} + \frac{T_{t2a}}{2} = \frac{1061daN}{8} + \frac{165,6daN}{2} = 215,4daN$$

Hipótesis 3b) Peso propio y cargas permanentes. Tiro de todos los conductores e hilo de guardia correspondientes a temperatura mínima. Cargas inerciales y desplazamientos relativos de apoyo producidos por el sismo de proyecto. No se considera viento.

No se considera la existencia de sismos en la zona donde se emplaza la línea.

Verificación por el método de factorización de cargas y resistencias

Este método está basado en la aplicación de coeficientes de mayoración para las cargas y de minoración para las resistencias.

Factor de carga estructural

Factor de carga que tiene en cuenta el apartamiento de la estructura real, respecto al modelo ideal de cálculo y los recaudos constructivos (excentricidades no previstas en nudos y empalmes, falta de lineación de los elementos componentes, excentricidades en la aplicación de las cargas, etc.).

Factor de carga estructural

$$K_e = 1$$

Factor de carga por colapso para estructura

$$K_c = 1,2$$

Solicitud última que resulta la solicitud máxima actuante

$$S = \max(T_{1a}, T_{1b}, T_{1c}, T_{1e}, T_{2a}, T_{2b}, T_{3a}, T_{3b}) = 643,8 daN$$

Factor global de resistencia

Depende del tipo de solicitud a que está sometido el elemento estructural, y del material con el que está construido el mismo. Este coeficiente siempre menor que la unidad, tiene en cuenta la dispersión de la resistencia debido a las calidad de fabricación y montaje de la estructura.

$$\phi = 0,75$$

Resistencia nominal del poste

$$R_c = 1500 daN$$

Se debe cumplir:

$$K_e \cdot K_c \cdot S \leq \phi \cdot R_c$$

$$1.1,2.643,8daN \leq 0,75.1100daN$$

$$773daN \leq 825daN \rightarrow \text{VERIFICA}$$

Se adopta un poste doble 13,5R1100

Dimensiones de los vínculos

Ubicación de los vínculos

Distancia entre vínculo inferior y tierra

$$H_{vin_e} = 0,365.H_{c0} = 0,365.8,9m = 3,25m$$

Distancia entre vínculo inferior y superior

$$H_{vin_b} = 0,335.H_{c0} = 0,335.8,9m = 2,98m$$

Distancia entre vínculo superior y ménsula

$$H_{vin_a} = 0,300.H_{c0} = 0,300.8,9m = 2,67m$$

Dimensionamiento de los vínculos

Vínculo "a"

Distancia desde la cima al centro del vínculo correspondiente

$$x_a = H_{\#} - H_{c0} + H_{vin_a} = 12m - 8,9m + 2,67m = 5,77m$$

Diámetro del agujero del vínculo

$$\phi_{vin_a} = D_{cp} + 0,018.x_a + 0,10m = 0,26m + 0,018.5,77m + 0,10m = 0,47m$$

Longitud del vínculo entre caras extremas de los agujeros

$$L_{vin_a} = 2.(D_{cp} + 0,018.x_a) + (0,30 + x_a.0,04) + 0,10m$$

$$L_{vin_a} = 2 \cdot (0,26m + 0,018 \cdot 5,77m) + (0,30 + 5,77m \cdot 0,04) + 0,10m = 1,36m$$

Se adopta un vínculo tipo "C4" con las siguientes características:

Altura

$$z_a = 0,4m$$

Ancho

$$y_a = 1,54m$$

Peso

$$P_a = 451kg$$

Vínculo "b"

Distancia desde la cima al centro del vínculo correspondiente

$$x_b = H_A - H_{c0} + H_{vin_a} + H_{vin_b} = 12m - 8,9m + 2,67m + 2,98m = 8,8m$$

Diámetro del agujero del vínculo

$$\phi_{vin_b} = D_{cp} + 0,018 \cdot x_b + 0,10m = 0,26m + 0,018 \cdot 8,8m + 0,10m = 0,52m$$

Longitud del vínculo entre caras extremas de los agujeros

$$L_{vin_b} = 2 \cdot (D_{cp} + 0,018 \cdot x_b) + (0,30 + x_b \cdot 0,04) + 0,10m$$

$$L_{vin_b} = 2 \cdot (0,26m + 0,018 \cdot 8,8m) + (0,30 + 8,8m \cdot 0,04) + 0,10m = 1,6m$$

Se adopta un vínculo tipo "C6" con las siguientes características:

Altura

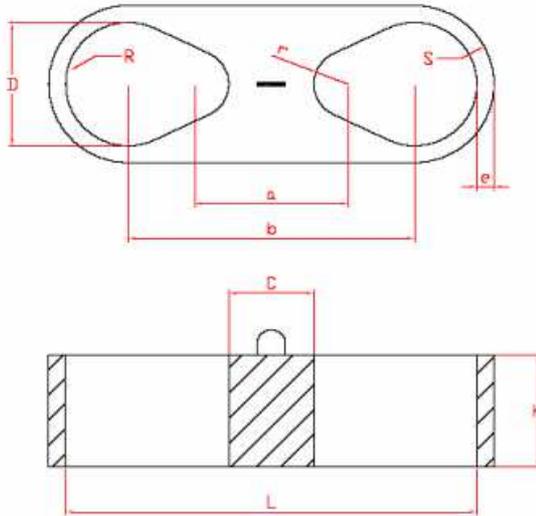
$$z_b = 0,45m$$

Ancho

$$y_b = 1,76m$$

Peso

$$P_b = 670kg$$



Tipo	h	a	b	r	R	s	c	D	e	L	Peso
C4	0,4	0,63	0,92	0,18	0,25	0,31	0,27	0,5	0,06	1,42	451
C6	0,45	0,63	1,08	0,18	0,27	0,34	0,27	0,54	0,07	1,62	670

Separación entre columnas

Se adopta como distancia de separación entre columnas en la cima:

$$L_{cima} = 0,30m$$

Separación entre las columnas al ras del suelo

$$L_{suelo} = L_{cima} + 0,035 \cdot H_4 = 0,30m + 0,035 \cdot 12m = 0,72m$$

Separación de las caras interiores de las columnas en las bases de las mismas

$$L_{base} = L_{cima} + 0,035 \cdot H_{pr} = 0,30m + 0,035 \cdot 13,5m = 0,77m$$

Angulo de inclinación de los postes

$$\beta = \operatorname{atan}\left(\frac{\frac{0,018}{2} + \frac{0,035}{2}}{1}\right) = 1,518^\circ$$

Diseño de fundación – Metodo Sulzberguer

Separación de las caras interiores de las columnas en la base de la misma

$$L_{base} = 0,77m$$

Diámetro en la base de cada poste

$$D_{ep} = 0,47m$$

Distancia entre las caras exteriores de los postes en la base

$$L_{int-base} = L_{base} + 2 \cdot D_{ep} = 0,77m + 2 \cdot 0,47m = 1,71m$$

Distancia entre las caras exteriores de la fundación sumándole 2cm a ambos lados para poder introducir los postes

$$D_{ce} = L_{int-base} + 2 \cdot 0,02m = 1,71 + 0,04 = 1,75m$$

Largo mínimo de la fundación adicionando el espesor mínimo de la base de hormigón

$$L_f = D_{ce} + 2 \cdot 0,20m = 1,75m + 0,20m = 1,95m$$

Adoptamos

$$L_f = 2,5m$$

Se adopta un ancho igual al largo de la fundación

$$L_f = A_f = 2,5m$$

Profundidad de la fundación: Empotramiento más unos cm que permitan la verificación más abajo.

$$t_f = H_{em} + 0,5m = 1,5m + 0,5m = 2m$$

Verificación

$$0,20 \leq t_f - H_{em} \leq \frac{1}{3} \cdot t_f$$

$$0,20 \leq 2m - 1,5m \leq \frac{1}{3 \cdot 2m}$$

$$0.20 \leq 0.5m \leq 0.67m \rightarrow \text{Verifica}$$

Cargas verticales actuantes en la fundación

Diámetro de cada agujero de la fundación

$$D_{bf} = D_{bp} + 0,2m = 0,5m + 0,2m = 0,7m$$

Volumen de la fundación

$$V_f = L_f \cdot A_f \cdot t_f - 2 \cdot \frac{\pi \cdot D_{bf}^2}{4} \cdot H_{am} = 2,5m \cdot 2,5m \cdot 2m - \frac{\pi \cdot 0,7m^2}{4 \cdot 1,5m} = 11,9m^3$$

Densidad del hormigón

$$\gamma_H = 2200 \text{ daN/m}^3$$

Peso de la fundación

$$G_{fund} = V_f \cdot \gamma_H = 11,9m^3 \cdot 2200 \text{ daN/m}^3 = 26180 \text{ daN}$$

Acciones verticales totales

$$A_{vtotal} = G_{ut} + G_{fund} = 6640 \text{ daN} + 26180 \text{ daN} = 32820 \text{ daN}$$

Índice de compresibilidad en las paredes de la fundación a 2m de profundidad para un terreno arenoso.

$$C_t = 3 \text{ daN/cm}^2$$

Índice de Compresibilidad para la base de la fundación

$$C_t = C_b = 3 \text{ daN/cm}^2$$

Momentos estabilizantes

La fundación reacciona ante el momento volcador presentando dos momentos estabilizantes.

Momento de encastramiento

Es la reacción en las paredes que incluye la fricción entre el hormigón y la tierra a lo largo de las paredes.

Se calculará primero el valor del ángulo α para el cual el eje de giro comienza a levantarse del fondo de la fundación.

Coeficiente de fricción terreno-fundación

$$\mu = 0,4$$

$$tg_{\alpha s} = \frac{4,5 \cdot \mu \cdot A_{vtotal}}{A_f \cdot (t_f)^2 \cdot C_c} = \frac{4,5 \cdot 0,4 \cdot 32820 daN}{250 cm \cdot (200 cm)^2 daN / cm^2} = 0,0018 < 0,015$$

Momento de encastramiento para las fuerzas que actúan para la fuerza actuante en la dirección x

$$M_{sx} = \frac{\sqrt{2} \cdot A_f \cdot (t_f)^3}{36} \cdot C_c \cdot 0,015 = \frac{\sqrt{2} \cdot 2,2,5 m \cdot (2 m)^3}{36 \cdot 3} daN / cm^2 \cdot 100^2 \cdot 0,015$$

$$M_{sx} = 35354 daN \cdot m$$

Momento de encastramiento para las fuerzas que actúan para la fuerza actuante en la dirección y

$$M_{sy} = \frac{\sqrt{2} \cdot L_f \cdot (t_f)^3}{36} \cdot C_c \cdot 0,015 = \frac{\sqrt{2} \cdot 2,2,5 m \cdot (2 m)^3}{36 \cdot 3} daN / cm^2 \cdot 100^2 \cdot 0,015$$

$$M_{sy} = 35354 daN \cdot m$$

Momento de fondo

Es el provocado por las cargas verticales.

$$tg_{\alpha b} = \frac{\sqrt{2} \cdot A_{vtotal}}{(A_f)^2 \cdot C_b} = \frac{\sqrt{2} \cdot 32820 daN}{(250 cm)^2 daN / cm^2} = 0,001 < 0,015$$

Momento de fondo para la fuerza actuante en la dirección x

$$M_{bx} = \left(\frac{\sqrt{2}}{2} \cdot A_f - 0,5 \sqrt{\frac{3 \cdot A_{vtotal}}{C_b \cdot 0,015}} \right) \cdot A_{vtotal}$$

$$M_{bx} = \left(\frac{\sqrt{2}}{2 \cdot 2,2,5 m} - 0,5 \sqrt{\frac{3 \cdot 32820 daN}{3 daN / cm^2 \cdot 100^2 \cdot 0,015}} \right) \cdot 32820 daN$$

$$M_{bx} = 36714 \text{ daN.m}$$

Momento de fondo para la fuerza actuante en la dirección y

$$M_{by} = \left(\frac{\sqrt{2}}{2} \cdot A_f - 0,5 \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot A_{vtotal}}{C_b \cdot 0,015}} \right) \cdot A_{vtotal}$$

$$M_{by} = \left(\frac{\sqrt{2}}{2 \cdot 2,25\text{m}} - 0,5 \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot 32820 \text{ daN}}{3 \text{ daN/cm}^2 \cdot 100^2 \cdot 0,015}} \right) \cdot 32820 \text{ daN}$$

$$M_{by} = 36714 \text{ daN.m}$$

Momento total

Dirección y-y (en torno al eje x-x)

$$M_{Tx} = M_{ax} + M_{bx} = 35354 \text{ daN.m} + 36714 \text{ daN.m} = 72068 \text{ daN.m}$$

Dirección x-x (en torno al eje y-y)

$$M_{Ty} = M_{ay} + M_{by} = 35354 \text{ daN.m} + 36714 \text{ daN.m} = 72068 \text{ daN.m}$$

Momento volcador

Los esfuerzos volcadores son las cargas horizontales que actúan sobre la estructura. En los apoyos de hormigón armado lo normal es contar con la carga total reducida a la cima del poste.

Según sea la posición del eje de giro resultara la distancia de aplicación de la fuerza que provoca el momento volcador. Para el caso más común en que la fundación trabaja parcialmente despegada del suelo el momento volcador tiene la expresión:

Momento volcador para el tiro en la dirección y

Tiro transversal normal de trabajo para la estructura en la dirección y

$$T_y = \max(\text{tiro transversal}) = 628,4 \text{ daN}$$

$$M_{Vy} = T_y \cdot \left(H_4 + \frac{2}{3} \cdot t_f \right) = 628,4 \text{ daN} \cdot \left(12\text{m} + \frac{2}{3 \cdot 2\text{m}} \right) = 8379 \text{ daN.m}$$

Momento volcador para el tiro en la dirección x

Tiro longitudinal normal de trabajo para la estructura en la dirección x

$$T_x = \max(\text{tiro longitudinal}) = 2637 \text{ daN}$$

$$M_{Vx} = T_x \cdot \left(H_A + \frac{2}{3} \cdot t_f \right) = 2637 \text{ daN} \cdot \left(12 \text{ m} + \frac{2}{3.2 \text{ m}} \right) = 35160 \text{ daN} \cdot \text{m}$$

Factor de vuelco K_V

$$K_{Vx} = 1,45 - 0,9 \cdot \left(\frac{M_{sx}}{M_{bx}} \right) + 0,45 \cdot \left(\frac{M_{sx}}{M_{bx}} \right)^2$$

$$K_{Vx} = 1,45 - 0,9 \cdot \left(\frac{35354 \text{ daN} \cdot \text{m}}{36714 \text{ daN} \cdot \text{m}} \right) + 0,45 \cdot \left(\frac{35354 \text{ daN} \cdot \text{m}}{36714 \text{ daN} \cdot \text{m}} \right)^2 = 1$$

$$K_{Vy} = 1,45 - 0,9 \cdot \left(\frac{M_{sy}}{M_{by}} \right) + 0,45 \cdot \left(\frac{M_{sy}}{M_{by}} \right)^2$$

$$K_{Vy} = 1,45 - 0,9 \cdot \left(\frac{35354 \text{ daN} \cdot \text{m}}{36714 \text{ daN} \cdot \text{m}} \right) + 0,45 \cdot \left(\frac{35354 \text{ daN} \cdot \text{m}}{36714 \text{ daN} \cdot \text{m}} \right)^2 = 1$$

Factor de carga K_C

Factor de carga que tiene en cuenta el tipo de estructura y el daño que produciría la falla de dicha estructura

$$K_C = 1,2$$

Factor de resistencia al vuelco

Factor de carga que tiene en cuenta la verificación experimental del comportamiento del cemento.

$$\phi_{Vx} = \phi_{Vy} = \frac{1}{K_{Vx}} = \frac{1}{1} = 1$$

El diseño de las fundaciones se basara en la aplicación del “método de factorización de cargas y resistencias” debiéndose cumplir con la siguiente condición:

$$K_C \cdot M_{Vx} \leq M_{Tx} \cdot \phi_{Vx}$$

$1,2 \cdot 35160 \text{ daN} \cdot \text{m} \leq 72068 \text{ daN} \cdot \text{m} \cdot 1 \rightarrow \text{VERIFICA}$
--

$$K_C \cdot M_{Vy} \leq M_{Ty} \cdot \phi_{Vy}$$

$1,2.8379 \text{ daN} \cdot \text{mdaN} \cdot \text{m} \leq 72068 \text{ daN} \cdot \text{m} \cdot 1 \rightarrow \text{VERIFICA}$

Estructura Terminal(Vano 100m)

Son estructuras calculadas básicamente para resistir el tiro unilateral de la línea.

Datos de la Instalación

Características de la línea en el poste calculado:

Vano anterior a la estructura

$$a_1 = 0m$$

Vano posterior a la estructura

$$a_2 = 100m$$

Semilongitud de vanos adyacentes

$$S_a = \frac{a_1}{2} + \frac{a_2}{2} = \frac{0m}{2} + \frac{50m}{2} = 30m$$

Índice de compresibilidad

Arena fina Húmeda

$$C_c = \frac{3 \text{ daN}}{\text{cm}^3}$$

Tensión de línea

$$V_L = 33kV$$

Altura mínima del conductor al suelo adoptada de acuerdo a la reglamentación de la AEA.

$$H_L = 7m$$

Características del conductor

Características del Conductor (IRAM 2187)	
Material	Aluminio - Acero
Sección nominal	50/8
Sc	50mm ²
Src	56,3mm ²
Formación	6 x 3,2mm ² + 1 x 3,2mm ²
Diámetro exterior	9,6mm
Iadm	195A
Carga de rotura (Trc)	1713 daN
Peso aproximado (Pc)	195 kg/km
Módulo de elasticidad (Ec)	8100 daN/mm ²
Coefficiente de dilatación (α_c)	19,1 E-6 1/°C

Características del hilo de guardia

Características del hilo de guardia (IRAM 722)	
Material	Acero
Sección nominal	35
Shg	34,37 mm ²
Formación	7x1
Diámetro exterior	6,6mm
Carga de rotura (Thg)	1700 daN
Peso aproximado (P _{hg})	269 kg/km
Módulo de elasticidad (E _{hg})	20000 daN/mm ²
Coefficiente de dilatación (α_c)	11x10E-6 1/°C

Aislador

Características del Aislador	
Longitud del aislador (L_a)	0,435m
Diámetro del núcleo (D_{na})	0,033m
Diámetro exterior (D_{ea})	0,11m
Angulo sobre la horizontal (γ_a)	15°
Longitud suplemento de amarre (L_{sa})	0m
Peso del aislador más suplementos (G_a)	2,5daN
Peso del soporte (G_{hsa})	2daN
Longitud total con perno (L_{at})	0,6m

Distancias eléctricas mínimas

Distancia entre conductores en el medio del vano

Coeficiente dependiente del ángulo de declinación θ_{ca}

$$K_c = 0,95 \frac{m}{kV \cdot \sqrt{m}}$$

Longitud oscilante de la cadena de aislación L_{ca}

$$L_{ca} = 0$$

Tensión nominal V_N

$$V_N = 33kV$$

Distancia entre fases en el medio del vano D_f

$$D_f = K_c \cdot \sqrt{f_{cl} + L_{ca}} + \frac{V_N}{150} = 0,95 \frac{m}{kV \cdot \sqrt{m}} \cdot \sqrt{0,97m + 0m} + \frac{33kV}{150} = 1,16m$$

Se adopta $D_f = 1,20m$

Distancias a tierra en función de los aisladores

$$L_{var} = 0,28m$$

$$L_{hor} = 0,19m$$

Distancia entre fase y cable de guardia en el medio del vano D_{f-hg}

$$V_F = \frac{V_N}{\sqrt{3}} = \frac{33kV}{\sqrt{3}} = 19,05kV$$

$$D_{f-hg} = K_c \cdot \sqrt{f_{cl} + L_{ca}} + \frac{V_F}{150} = 0,95 \frac{m}{kV \cdot \sqrt{m}} \cdot \sqrt{0,97m + 0m} + \frac{19,05kV}{150} = 1,06m$$

Se adopta $D_f = 1,10m$

Cabe destacar que esta distancia puede modificarse para permitir la adecuada protección de las fases contra descargas atmosféricas.

Distancia mínima entre conductores y accesorios puestos a potencial de línea y tierra

$$D_{f-m}$$

Máxima tensión de servicio del sistema, fase a fase V_M

$$V_M = 1,1 \cdot V_N = 1,1 \cdot 33kV = 36,3kV$$

$$D_{f-m} = 0,075 + 0,005(V_M - 8,7) = 0,075 + 0,005(36,3kV - 8,7) = 0,213m$$

Se adopta $D_{f-m} = 0,22m$

Distancias verticales mínimas

Distancia vertical a tierra, a objetos bajo la línea y aplicables en cruces entre líneas de baja tensión y media tensión D

$$D = 1,20m$$

Dimensionamiento del cabezal

Flecha del puente

$$f_{pc} = 0,5m$$

Distancia mínima entre ménsula superior e inferior

$$L_m = 2 \cdot f_{pc} = 2 \cdot 0,5m = 1m$$

Verificación de la ménsula del conductor

Diámetro en la cima del poste D_{cp} supuesto

$$D_{cp} = 0,26m$$

Conicidad del poste

$$c = 0,018$$

Diámetro del poste a la altura en que el conductor inferior presenta el máximo acercamiento al poste

$$D_p = D_{cp} + c.4m = 0,26m + 0,018.4m = 0,33m$$

Distancia desde conductor al centro del poste

Angulo de inclinación por viento máximo

$$\alpha = 20^\circ$$

$$D_1(c - p) = f_{ipc} \cdot \text{sen}(\alpha) + L_1 \cdot \text{hor} + D_p/2 = 0,5m \cdot \text{sen}(20^\circ) + 0,19m + 0,33m/2 = 0,52m$$

Resulta un valor reducido si tenemos en cuenta la longitud promedio de los aisladores Line Post.

Se adopta los siguientes valores:

Longitud de la ménsula

$$L_{men} = 1m$$

Distancia vertical entre conductores

$$H_1 = 1m$$

Distancia entre conductor superior e intermedio

$$H_2 = 1m$$

Distancia entre conductor superior y cima del poste

$$H_3 = 1,1m$$

Altura libre mínima del poste

$$H_4 = f_{c1} + H_L + 2 \cdot H_2 + H_3 = 0,97m + 7m + 2 \cdot 1m + 1,1m = 11,07m$$

Altura total del poste

$$H_{pr} = \frac{H_4}{90\%} = \frac{11,07m}{90\%} = 11,19m$$

Se adopta un poste de $H_{pr} = 13,5m$

Altura de empotramiento

$$H_{em} = H_{pr} \cdot 10\% = 13,5 \cdot 10\% = 1,35m$$

Se adopta $H_{em} = 1,5m$

Corrección de la altura libre entre suelo y conductor

$$H_L = H_{pr} - (f_{c1} + 2 \cdot H_2 + H_3 + H_{em})$$

$$H_L = 13,5m - (0,97m + 2 \cdot 1,1m + 1,1m + 1,5m) = 7,93m$$

Corrección de la altura libre del poste

$$H_A = H_L + f_{c1} + 2 \cdot H_2 + H_3$$

$$H_A = 7,93m + 0,97m + 2 \cdot 1,1m + 1,1m = 12m$$

Altura del suelo al conductor inferior

$$H_{c0} = H_L + f_{c1} = 7,93m + 0,97m = 8,9m$$

Altura del suelo al conductor medio

$$H_{c1} = H_L + f_{c1} + H_2 = 7,93m + 0,97m + 1m = 9,9m$$

Altura del suelo al conductor superior

$$H_{c2} = H_L + f_{c1} + 2 \cdot H_2 = 7,93m + 0,97m + 2 \cdot 1,1m = 10,9m$$

Dimensiones del poste

Diámetro en la cima del poste

$$D_{cp} = 0,26m$$

Diámetro en la base del poste

$$D_{bp} = D_{cp} + c \cdot H_{pr} = 0,26m + 0,018 \cdot 13,5m = 0,5m$$

Diámetro en el empotramiento del poste

$$D_{ep} = D_{cp} + c \cdot H_A = 0,26m + 0,018 \cdot 12m = 0,47m$$

Dimensionamiento mecánico

Cargas actuantes sobre la estructura

Acciones verticales

- Peso de los conductores terminales

$$G_{ct} = P_c \cdot S_{at} = 195 \text{ daN/km} \cdot 0,05\text{km} = 9,75\text{daN}$$

- **Peso total de los conductores de fase**

$$G_c = 3 \cdot G_{ct} = 3 \cdot 9,75\text{daN} = 29,25\text{daN}$$

- **Peso del cable de guardia**

$$G_{hg} = P_{hg} \cdot S_a$$

$$G_{hg} = 269 \text{ daN/km} \cdot 0,05\text{km} = 13,45\text{daN}$$

- **Peso total de aisladores más suplementos**

$$G_{at} = 6 \cdot G_{am} = 6 \cdot 4,5\text{daN} = 27\text{daN}$$

- **Peso de la ménsula de hormigón**

$$G_{menh} = 276\text{daN}$$

- **Peso total de las ménsulas de hormigón**

$$G_{Tmenh} = 3 \cdot G_{menh} = 3 \cdot 276\text{daN} = 828\text{daN}$$

- **Peso de los vínculos**

$$G_{vinc} = 451\text{daN} + 670\text{daN} = 1121\text{daN}$$

- **Peso del poste**

$$G_p = 2262 \text{ daN}$$

Acciones verticales totales

$$G_{vt} = G_c + G_{hg} + G_{at} + G_{Tmenh} + 2 \cdot G_p + G_{vinc}$$

$$G_{vt} = 29,25 \text{ daN} + 13,45 \text{ daN} + 27 \text{ daN} + 942 \text{ daN} + 2.2262 \text{ daN} + 1121 \text{ daN}$$

$$G_{vt} = 6657 \text{ daN}$$

Acciones transversales a la línea

- **Viento máximo sobre el vano considerado del conductor de fase**

$$G_{vc} = G_{vcm} \cdot s_a = 1,15 \text{ daN/m} \cdot 50 \text{ m} = 57,5 \text{ daN}$$

- **Viento máximo sobre el vano considerado del hilo de guardia**

$$G_{vhg} = F_{vcmg} \cdot s_a = 0,68 \text{ daN/m} \cdot 50 \text{ m} = 34 \text{ daN}$$

- **Carga del viento sobre aislador y suplementos**

$$G_{va} = 6 \text{ daN}$$

- **Carga del viento sobre vínculos**

$$G_{vv} = 20 \text{ daN}$$

- **Calculo de la acción del viento sobre el poste**

Viento máximo

$$V_{max} = 35 \text{ m/seg}$$

Factor que depende de la densidad del aire

$$Q = 0,0613 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Categoría de exposición: "C"

Factores en función de la exposición

$$Z_G = 274$$

$$\alpha = 7,5$$

$$L_s = 67$$

$$k = 0,005$$

Coeficiente de presión o de forma

$$C_f = 1$$

Altura efectiva

$$h = H_{pr} - H_{em} = 13,5m - 1,5m = 12m$$

$$h_e = h - \frac{1}{3}h = 12m - \frac{1}{3} \cdot 12m = 8m$$

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

$$Z_p = 1,61 \left(\frac{h_e}{Z_G} \right)^{1/\alpha} = 1,61 \left(\frac{8m}{274} \right)^{1/7,5} = 1,01$$

Factores para hallar el factor de ráfaga de Gw

$$E = 4,9 \cdot \sqrt{k} \cdot \left(\frac{10}{Z_G} \right)^{1/\alpha} = 4,9 \cdot \sqrt{0,005} \cdot \left(\frac{10}{8m} \right)^{1/7,5} = 0,36$$

$$Bp = \frac{1}{1 + 0,375 \cdot \frac{h_e}{L_s}} = \frac{1}{1 + \frac{0,375 \cdot 8m}{67}} = 0,96$$

Factor de ráfaga

$$G_p = 1 + 2,7 \cdot E \cdot \sqrt{B_p} = 1 + 2,7 \cdot 0,36 \cdot \sqrt{0,96} = 1,95$$

Factor de carga (AEA) --> 0,93

Angulo del viento con el eje perpendicular de la línea

$$\psi = 0^\circ$$

Fuerza ejercida sobre el poste

$$F_{vp} = Q(Z_p \cdot V_{III})^2 \cdot F_c \cdot G_p \cdot C_f \cdot \cos^2 \psi = 0,0613 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \left(1,0130 \frac{\text{m}}{\text{seg}}\right)^{2,093 \cdot 1,951} \cdot \cos^2 0$$

$$F_{vp} = \frac{102,06 \text{ daN}}{\text{m}^2}$$

Carga del viento en la dirección del eje longitudinal de la estructura del poste

$$G_{lvp} = \frac{F_{vp} \cdot (2 \cdot D_{cp} + D_{ep}) \cdot H_A}{4} = \frac{102,06 \text{ daN/m}^2 \cdot (2 \cdot 0,26 \text{ m} + 0,47 \text{ m}) \cdot 12 \text{ m}}{4}$$

$$G_{lvp} = 303,2 \text{ daN}$$

Carga del viento en la dirección del eje transversal de la estructura del poste

$$G_{vtp} = \frac{F_{vp} \cdot (2 \cdot D_{cp} + D_{ep}) \cdot H_A}{3} = \frac{102,06 \text{ daN/m}^2 \cdot (2 \cdot 0,26 \text{ m} + 0,47 \text{ m}) \cdot 12 \text{ m}}{3}$$

$$G_{vtp} = 404,8 \text{ daN}$$

Acciones transversales a la línea reducidas a la cima

Coeficiente de reducción a la cima de los conductores

$$C_{rc-c} = \frac{H_{c0} + H_{c1} + H_{c2}}{H_A} = \frac{8,9 \text{ m} + 9,9 \text{ m} + 10,9 \text{ m}}{12 \text{ m}} = 2,48$$

Viento máximo sobre el vano considerado del conductor de fase reducido a la cima

$$C_C = G_{vc} \cdot C_{rc-c} = 57,5 \text{ daN} \cdot 2,48 = 142,6 \text{ daN}$$

Viento máximo sobre el vano considerado del hilo de guardia reducido a la cima

Por estar a la misma altura del poste libre colocado el hilo de guardia el coeficiente de reducción a la cima es $C_{rc-hg} = 1$

$$C_{hg} = G_{vhg} \cdot C_{rc-hg} = 34daN \cdot 1 = 34daN$$

Carga del viento sobre aislador y suplementos reducidos a la cima

$$C_a = G_{va} \cdot C_{rc-c} = 6daN \cdot 2,48 = 14,88daN$$

Acciones transversales totales a la línea reducidas a la cima

$$A_{t_{total}} = G_{vp} + G_{vv} + C_c + C_{hg} + C_a$$

$$A_{t_{total}} = 404,8daN + 20daN + 142,6daN + 34daN + 14,88daN$$

$$A_{t_{total}} = 616,3daN$$

Acciones transversales debidas a excentricidades (desequilibrio vertical)

En las estructuras simple terna, dotadas de cable de guardia, necesariamente la resultante del peso de los conductores, crucetas y/o ménsulas, no coincide con el eje de la estructura, al estar dos fases a un lado y la restante al otro (o las tres de un lado, cuando los conductores se ubican uno encima del otro).

Esta asimetría se traduce en un momento flector cuyo efecto puede ser tenido en cuenta calculando una fuerza equivalente actuando en la cima.

$$D_{vert} = \left(G_c + G_a + \frac{G_{menh}}{3} \right) \cdot L_{men} \cdot \left(\frac{H_{c0} - H_{c1} + H_{c2}}{H_4} \right)$$

$$D_{vert} = \left(9,75daN + 2,5daN + \frac{276daN}{3} \right) \cdot 1m \cdot \left(\frac{8,9m - 9,9m + 10,9m}{12m} \right)$$

$$D_{vert} = 86daN$$

7- Cargas de Servicio

Hipótesis 1a) Peso propio y cargas permanentes. Carga del viento máximo perpendicular a la dirección de la línea sobre estructura, aisladores accesorios y sobre

la semilongitud de los conductores del vano adyacente. Tracciones unilaterales de todos los conductores.

Tiro del conductor para el estado de máximo viento

$$T_{cIII} = 746,5 daN$$

Tiro del hilo de guardia para el estado de máximo viento

$$T_{hgIII} = 753,3 daN$$

Tracción resultante del hilo de guardia y los conductores

$$T_r = (T_{cIII} \cdot C_{rc-c} + T_{hgIII} \cdot C_{rc-hg})$$

$$T_r = (746,5 daN \cdot 2,48 + 753,3 daN \cdot 1) = 2605 daN$$

Carga del viento en la bisectriz

$$C_{vb} = [(C]_c + C_{hg}) + C_a + G_{vpp} + G_{vv}$$

$$C_{vb} = (142,6 daN + 34 daN) + 14,88 daN + 404,8 daN + 20 daN$$

$$C_{vb} = 616,3 daN$$

Tiro longitudinal para la estructura

$$T_{l1a} = T_r = 2651 daN$$

Tiro transversal para la estructura

$$T_{t1a} = C_{vb} + D_{vert} = 616,3 daN + 86 daN = 702,3 daN$$

Sobre cada poste:

$$T_{1a} = \frac{T_{t1a}}{2} + \frac{T_{l1a}}{8} = \frac{702,3 daN}{2} + \frac{2651 daN}{8} = 682,5 daN$$

Hipótesis 1b) Peso propio y cargas permanentes. Tracciones unilaterales de todos los conductores a la temperatura mínima.

Tiro del conductor para el estado de temperatura mínima.

$$T_{clt} = 632,2daN$$

Tiro del hilo de guardia para el estado de temperatura mínima.

$$T_{hgl} = 570,9daN$$

Tracción resultante del hilo de guardia y los conductores

$$T_r = (T_{clt} \cdot C_{rc-c} + T_{hgl} \cdot C_{rc-hg})$$

$$T_r = (632,2daN \cdot 2,48 + 570,9daN \cdot 1) = 2139daN$$

Tiro longitudinal para la estructura

$$T_{lta} = T_r = 2139daN$$

Tiro transversal para la estructura

$$T_{tta} = D_{vert} = 86daN$$

Sobre cada poste:

$$T_{1a} = \frac{T_{lta}}{8} + \frac{T_{tta}}{2} = \frac{2139daN}{8} + \frac{86daN}{2} = 310daN$$

Hipótesis 1c) Peso propio y cargas permanentes. Carga del viento máximo en dirección oblicua sobre estructura, aisladores accesorios y sobre la semilongitud de los conductores de ambos vanos adyacentes. Fuerzas resultantes de las tracciones de los conductores.

No se considera la existencia de sobrecarga por maguito de hielo.

8- Cargas de construcción y mantenimiento

Hipótesis 2a) Peso propio. Cargas permanentes con un factor de carga de 2,50 en cualquiera de los puntos de sujeción de fase o cable de guardia. Sobrecarga adicional de montaje. Tiro de todos los conductores correspondientes a la tracción de tensado considerada a temperatura media anual con un factor de carga de 1,5. No se considera viento.

$$G_{adic} = 200daN$$

Tiro longitudinal para la estructura

$$T_{11b} = 1,5. (T_{cV} \cdot C_{rc-c} + T_{hgV} \cdot C_{rc-hg})$$

$$T_{11b} = 1,5. (427,9daN \cdot 2,48 + 425,2daN \cdot 1) = 2230daN$$

Tiro transversal para la estructura

$$T_{t1b} = 2,5 \cdot D_{vert} + G_{adic} = 2,5 \cdot 86daN + 200daN = 415daN$$

Tiro reducido a cada poste

$$T_{1b} = \frac{T_{11b}}{8} + \frac{T_{t1b}}{2} = \frac{2230daN}{8} + \frac{415daN}{2} = 486,3daN$$

9- Cargas de contención de falla

Hipótesis 3a) Peso propio de la estructura, cargas permanentes duplicadas. Eliminación de una cualquiera ó varias tracciones máximas. No se considera viento.

Tiro longitudinal para la estructura

$$T_{12a} = (T_{cV} \cdot C_{rc-c})$$

$$T_{12a} = (427,9daN \cdot 2,48) = 1061daN$$

$$T_{12a} = 1061daN$$

Tiro transversal para la estructura

$$T_{t2a} = 2 \cdot D_{vert} = 2 \cdot 86daN = 172daN$$

Tiro reducido a cada poste

$$T_{1a} = \frac{T_{12a}}{8} + \frac{T_{t2a}}{2} = \frac{1061daN}{8} + \frac{172daN}{2} = 218,6daN$$

Hipótesis 3b) Peso propio y cargas permanentes. Tiro de todos los conductores e hilo de guardia correspondientes a temperatura mínima. Cargas inerciales y

desplazamientos relativos de apoyo producidos por el sismo de proyecto. No se considera viento.

No se considera la existencia de sismos en la zona donde se emplaza la línea.

Verificación por el método de factorización de cargas y resistencias

Factor de carga estructural

$$K_e = 1$$

Factor de carga por colapso para estructura

$$K_c = 1,2$$

Solicitud última que resulta la solicitud máxima actuante

$$S = \max(T_{1a}, T_{1b}, T_{1c}, T_{1e}, T_{2a}, T_{2b}, T_{2c}, T_{1b}) = 682,5 daN$$

Factor global de resistencia

$$\varphi = 0,75$$

Resistencia nominal del poste

$$R_c = 1500 daN$$

Se debe cumplir:

$$K_e \cdot K_c \cdot S \leq \varphi \cdot R_c$$

$$1,1 \cdot 2,682,5 daN \leq 0,75 \cdot 1100 daN$$

$$819 daN \leq 825 daN \rightarrow \text{VERIFICA}$$

Se adopta un poste doble 13,5R1100

Dimensiones de los vínculos

Ubicación de los vínculos

Distancia entre vínculo inferior y tierra

$$H_{vinc} = 0,365 \cdot H_{c0} = 0,365 \cdot 8,9m = 3,25m$$

Distancia entre vínculo inferior y superior

$$H_{vin_b} = 0,335 \cdot H_{c0} = 0,335 \cdot 8,9m = 2,98m$$

Distancia entre vínculo superior y ménsula

$$H_{vin_a} = 0,300 \cdot H_{c0} = 0,300 \cdot 8,9m = 2,67m$$

Dimensionamiento de los vínculos

Vínculo "a"

Distancia desde la cima al centro del vínculo correspondiente

$$x_a = H_{\Delta} - H_{c0} + H_{vin_a} = 12m - 8,9m + 2,67m = 5,77m$$

Diámetro del agujero del vínculo

$$\phi_{vin_a} = D_{cp} + 0,018 \cdot x_a + 0,10m = 0,26m + 0,018 \cdot 5,77m + 0,10m = 0,47m$$

Longitud del vínculo entre caras extremas de los agujeros

$$L_{vin_a} = 2 \cdot (D_{cp} + 0,018 \cdot x_a) + (0,30 + x_a \cdot 0,04) + 0,10m$$

$$L_{vin_a} = 2 \cdot (0,26m + 0,018 \cdot 5,77m) + (0,30 + 5,77m \cdot 0,04) + 0,10m = 1,36m$$

Se adopta un vínculo tipo "C4" con las siguientes características:

Altura

$$z_a = 0,4m$$

Ancho

$$y_a = 1,54m$$

Peso

$$P_a = 451kg$$

Vínculo "b"

Distancia desde la cima al centro del vínculo correspondiente

$$x_b = H_4 - H_{c0} + H_{vin_a} + H_{vin_b} = 12m - 8,9m + 2,67m + 2,98m = 8,8m$$

Diámetro del agujero del vínculo

$$\phi_{vin_b} = D_{cp} + 0,018 \cdot x_b + 0,10m = 0,26m + 0,018 \cdot 8,8m + 0,10m = 0,52m$$

Longitud del vínculo entre caras extremas de los agujeros

$$L_{vin_b} = 2 \cdot (D_{cp} + 0,018 \cdot x_b) + (0,30 + x_b \cdot 0,04) + 0,10m$$

$$L_{vin_b} = 2 \cdot (0,26m + 0,018 \cdot 8,8m) + (0,30 + 8,8m \cdot 0,04) + 0,10m = 1,6m$$

Se adopta un vínculo tipo "C6" con las siguientes características:

Altura

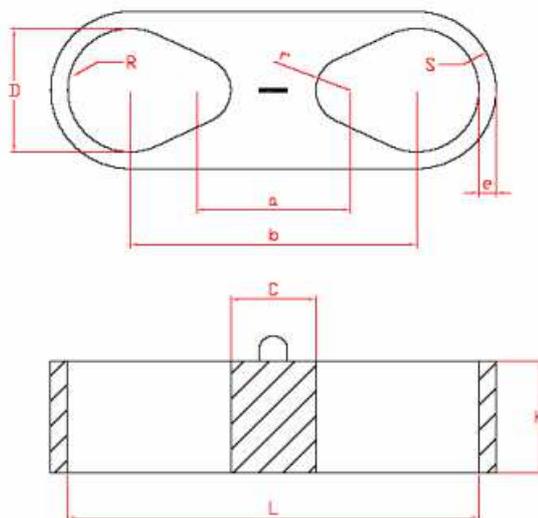
$$z_b = 0,45m$$

Ancho

$$y_b = 1,76m$$

Peso

$$P_b = 670kg$$



Tipo	h	a	b	r	R	s	c	D	e	L	Peso
C4	0,4	0,63	0,92	0,18	0,25	0,31	0,27	0,5	0,06	1,42	451
C6	0,45	0,63	1,08	0,18	0,27	0,34	0,27	0,54	0,07	1,62	670

Separación entre columnas

Se adopta como distancia de separación entre columnas en la cima:

$$L_{cima} = 0,30m$$

Separación entre las columnas al ras del suelo

$$L_{suelo} = L_{cima} + 0,035 \cdot H_{\bullet} = 0,30m + 0,035 \cdot 12m = 0,72m$$

Separación de las caras interiores de las columnas en las bases de las mismas

$$L_{base} = L_{cima} + 0,035 \cdot H_{pr} = 0,30m + 0,035 \cdot 13,5m = 0,77m$$

Angulo de inclinación de los postes

$$\beta = \text{atan} \left(\frac{\frac{0,018}{2} + \frac{0,035}{2}}{1} \right) = 1,518^\circ$$

Diseño de fundación- Metodo Sulzberguer

Separación de las caras interiores de las columnas en la base de la misma

$$L_{base} = 0,77m$$

Diámetro en la base de cada poste

$$D_{ep} = 0,47m$$

Distancia entre las caras exteriores de los postes en la base

$$L_{int-base} = L_{base} + 2 \cdot D_{ep} = 0,77m + 2 \cdot 0,47m = 1,71m$$

Distancia entre las caras exteriores de la fundación sumándole 2cm a ambos lados para poder introducir los postes

$$D_{ce} = L_{int-base} + 2 \cdot 0,02m = 1,71 + 0,04 = 1,75m$$

Largo mínimo de la fundación adicionando el espesor mínimo de la base de hormigón

$$L_f = D_{ce} + 2 \cdot 0,20m = 1,75m + 0,20m = 1,95m$$

Adoptamos

$$L_f = 2,5m$$

Se adopta un ancho igual al largo de la fundación

$$L_f = A_f = 2,5m$$

Profundidad de la fundación: Empotramiento más unos cm que permitan la verificación más abajo.

$$t_f = H_{em} + 0,5m = 1,5m + 0,5m = 2m$$

Verificación

$$0,20 \leq t_f - H_{em} \leq \frac{1}{3} \cdot t_f$$

$$0,20 \leq 2m - 1,5m \leq \frac{1}{3 \cdot 2m}$$

$0,20 \leq 0,5m \leq 0,67m \rightarrow \text{Verifica}$

Cargas verticales actuantes en la fundación

Diámetro de cada agujero de la fundación

$$D_{bf} = D_{bp} + 0,2m = 0,5m + 0,2m = 0,7m$$

Volumen de la fundación

$$V_f = L_f \cdot A_f \cdot t_f - 2 \cdot \frac{\pi \cdot D_{bf}^2}{4} \cdot H_{em} = 2,5m \cdot 2,5m \cdot 2m - \frac{\pi \cdot 0,7m^2}{4 \cdot 1,5m} = 11,9m^3$$

Densidad del hormigón

$$\gamma_H = 2200 \text{ daN/m}^3$$

Peso de la fundación

$$G_{fund} = V_f \cdot \gamma_H = 11,9m^3 \cdot 2200 \text{ daN/m}^3 = 26180 \text{ daN}$$

Acciones verticales totales

$$A_{vtotal} = G_{vt} + G_{fund} = 6357 \text{ daN} + 26180 \text{ daN} = 32537 \text{ daN}$$

Índice de compresibilidad en las paredes de la fundación a 2m de profundidad para un terreno arenoso.

$$C_t = 3 \text{ daN/cm}^2$$

Índice de Compresibilidad para la base de la fundación

$$C_t = C_b = 3 \text{ daN/cm}^2$$

Momentos estabilizantes

La fundación reacciona ante el momento volcador presentando dos momentos estabilizantes.

Momento de encastramiento

Es la reacción en las paredes que incluye la fricción entre el hormigón y la tierra a lo largo de las paredes.

Se calculará primero el valor del ángulo α para el cual el eje de giro comienza a levantarse del fondo de la fundación.

Coefficiente de fricción terreno-fundación

$$\mu = 0,4$$

$$tg_{\alpha} = \frac{4,5 \cdot \mu \cdot A_{vtotal}}{A_f \cdot (t_f)^2 \cdot C_c} = \frac{4,5 \cdot 0,4 \cdot 32537 daN}{250 cm \cdot (200 cm)^2 \cdot daN/cm^2} = 0,0018 < 0,015$$

Momento de encastramiento para las fuerzas que actúan para la fuerza actuante en la dirección x

$$M_{sx} = \frac{\sqrt{2} \cdot A_f \cdot (t_f)^3}{36} \cdot C_c \cdot 0,015 = \frac{\sqrt{2} \cdot 2,5 m \cdot (2 m)^3}{36 \cdot 3} daN/cm^2 \cdot 100^2 \cdot 0,015$$

$$M_{sx} = 35354 daN \cdot m$$

Momento de encastramiento para las fuerzas que actúan para la fuerza actuante en la dirección y

$$M_{sy} = \frac{\sqrt{2} \cdot L_f \cdot (t_f)^3}{36} \cdot C_c \cdot 0,015 = \frac{\sqrt{2} \cdot 2,5 m \cdot (2 m)^3}{36 \cdot 3} daN/cm^2 \cdot 100^2 \cdot 0,015$$

$$M_{sy} = 35354 daN \cdot m$$

Momento de fondo

Es el provocado por las cargas verticales.

$$tg_{ab} = \frac{\sqrt{2} \cdot A_{vtotal}}{(A_f)^2 \cdot C_b} = \frac{\sqrt{2} \cdot 32537 daN}{(250cm)^2 \cdot daN/cm^2} = 0,0009 < 0,015$$

Momento de fondo para la fuerza actuante en la dirección x

$$M_{bx} = \left(\frac{\sqrt{2}}{2} \cdot A_f - 0,5 \sqrt{\frac{3 \cdot A_{vtotal}}{C_b \cdot 0,015}} \right) \cdot A_{vtotal}$$

$$M_{bx} = \left(\frac{\sqrt{2}}{2 \cdot 2,2,5m} - 0,5 \sqrt{\frac{3 \cdot 32537 daN}{3 daN/cm^2 \cdot 100^2 \cdot 0,015}} \right) \cdot 32537 daN$$

$$M_{bx} = 36459 daN \cdot m$$

Momento de fondo para la fuerza actuante en la dirección y

$$M_{by} = \left(\frac{\sqrt{2}}{2} \cdot A_f - 0,5 \sqrt{\frac{3 \cdot A_{vtotal}}{C_b \cdot 0,015}} \right) \cdot A_{vtotal}$$

$$M_{by} = \left(\frac{\sqrt{2}}{2 \cdot 2,2,5m} - 0,5 \sqrt{\frac{3 \cdot 32537 daN}{3 daN/cm^2 \cdot 100^2 \cdot 0,015}} \right) \cdot 32537 daN$$

$$M_{by} = 36459 daN \cdot m$$

Momento total

Dirección y-y (en torno al eje x-x)

$$M_{Tx} = M_{sx} + M_{bx} = 35354 daN \cdot m + 36459 daN \cdot m = 71813 daN \cdot m$$

Dirección x-x (en torno al eje y-y)

$$M_{Ty} = M_{sy} + M_{by} = 35354 daN \cdot m + 36459 daN \cdot m = 71813 daN \cdot m$$

Momento volcador

Los esfuerzos volcadores son las cargas horizontales que actúan sobre la estructura. En los apoyos de hormigón armado lo normal es contar con la carga total reducida a la cima del poste.

Según sea la posición del eje de giro resultara la distancia de aplicación de la fuerza que provoca el momento volcador. Para el caso más común en que la fundación trabaja parcialmente despegada del suelo el momento volcador tiene la expresión:

Momento volcador para el tiro en la dirección y

Tiro transversal normal de trabajo para la estructura en la dirección y

$$T_y = \max(\text{tiro transversal}) = 702,3 \text{ daN}$$

$$M_{Vy} = T_y \cdot \left(H_A + \frac{2}{3} \cdot t_f \right) = 702,3 \text{ daN} \cdot \left(12 \text{ m} + \frac{2}{3 \cdot 2} \text{ m} \right) = 9364 \text{ daN} \cdot \text{m}$$

Momento volcador para el tiro en la dirección x

Tiro longitudinal normal de trabajo para la estructura en la dirección x

$$T_x = \max(\text{tiro longitudinal}) = 2651 \text{ daN}$$

$$M_{Vx} = T_x \cdot \left(H_A + \frac{2}{3} \cdot t_f \right) = 2651 \text{ daN} \cdot \left(12 \text{ m} + \frac{2}{3 \cdot 2} \text{ m} \right) = 35347 \text{ daN} \cdot \text{m}$$

Factor de vuelco K_V

$$K_{Vx} = 1,45 - 0,9 \cdot \left(\frac{M_{sx}}{M_{bx}} \right) + 0,45 \cdot \left(\frac{M_{sx}}{M_{bx}} \right)^2$$

$$K_{Vx} = 1,45 - 0,9 \cdot \left(\frac{35354 \text{ daN} \cdot \text{m}}{36459 \text{ daN} \cdot \text{m}} \right) + 0,45 \cdot \left(\frac{35354 \text{ daN} \cdot \text{m}}{36459 \text{ daN} \cdot \text{m}} \right)^2 = 1$$

$$K_{Vy} = 1,45 - 0,9 \cdot \left(\frac{M_{sy}}{M_{by}} \right) + 0,45 \cdot \left(\frac{M_{sy}}{M_{by}} \right)^2$$

$$K_{Vy} = 1,45 - 0,9 \cdot \left(\frac{35354 \text{ daN} \cdot \text{m}}{36459 \text{ daN} \cdot \text{m}} \right) + 0,45 \cdot \left(\frac{35354 \text{ daN} \cdot \text{m}}{36459 \text{ daN} \cdot \text{m}} \right)^2 = 1$$

Factor de carga K_C

Factor de carga que tiene en cuenta el tipo de estructura y el daño que produciría la falla de dicha estructura

$$K_c = 1$$

Factor de resistencia al vuelco

Factor de carga que tiene en cuenta la verificación experimental del comportamiento del cimientto.

$$\phi_{Vx} = \phi_{Vy} = \frac{1}{K_{Vx}} = \frac{1}{1} = 1$$

El diseño de las fundaciones se basara en la aplicación del “método de factorización de cargas y resistencias” debiéndose cumplir con la siguiente condición:

$$K_C \cdot M_{Vx} \leq M_{Tx} \cdot \phi_{Vx}$$

$$1,2.35347 daN \cdot m \leq 71813 daN \cdot m \cdot 1 \rightarrow \text{VERIFICA}$$

$$K_C \cdot M_{Vy} \leq M_{Ty} \cdot \phi_{Vy}$$

$$1,2.9364 daN \cdot m \leq 71813 daN \cdot m \cdot 1 \rightarrow \text{VERIFICA}$$