

# **Proyecto Transmisión Y Distribución De Energía**

**Líneas de 132 kV a ET Federación**

**Estación Transformadora Federación**

## Objetivos generales de la obra

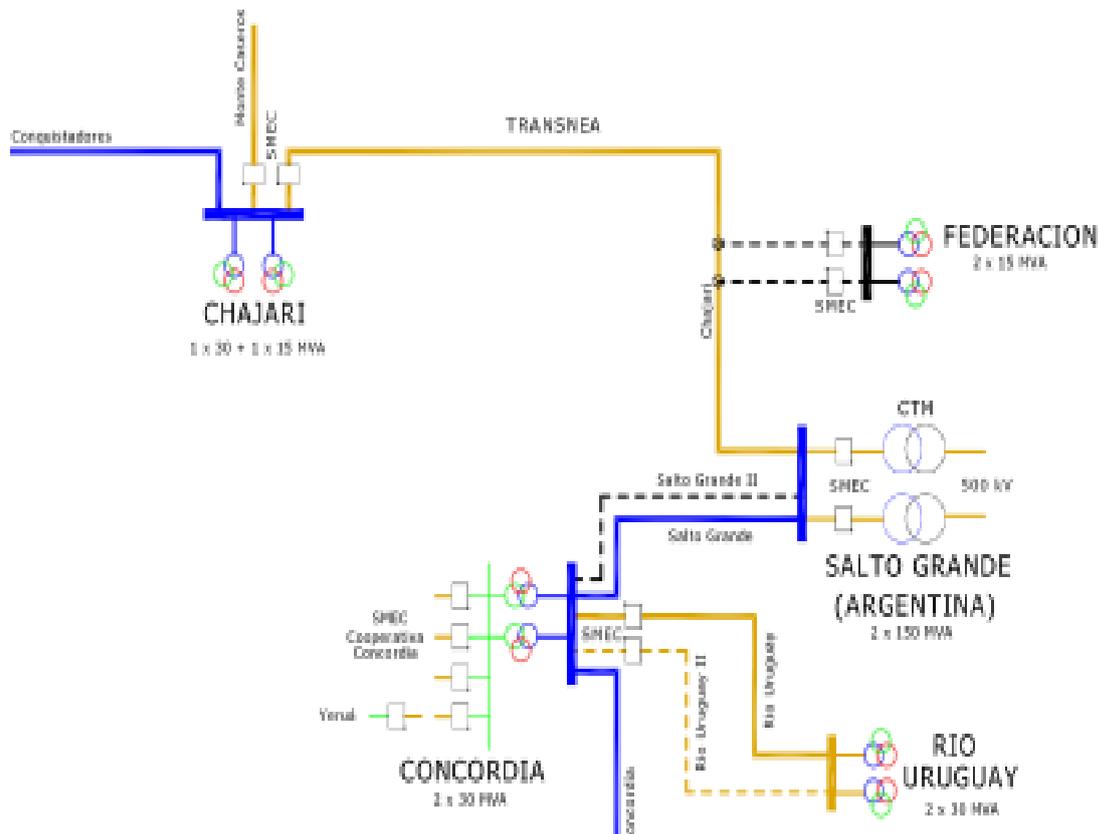
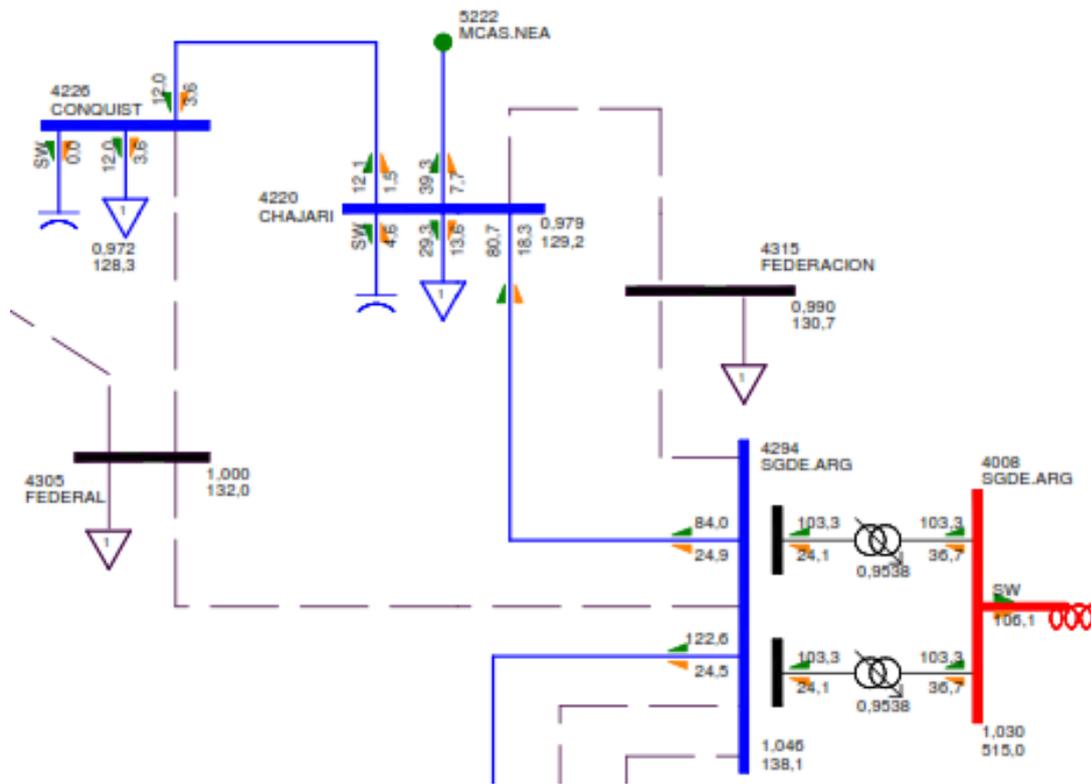
Actualmente, la ciudad de Federación es alimentada principalmente desde la estación transformadora Chajarí mediante una línea radial de 33kV compuesta por un tramo de 30 km (120-20) mas 17 km (95-15). Con una Subestación transformadora de 33/13,2 kV de 10 MVA, compuesta por dos transformadores de 5MVA con RBC y un banco de Capacitores de 3 x 750 kVA, para la compensación de Inductivo.



El consumo máximo actual de la ciudad es de 8,5 MVA, con una tasa de crecimiento del 4,5 % por el aumento de la demanda debido al crecimiento turístico e industrial de la ciudad, se determina la necesidad de construir una nueva Estación Transformadora en 132 kV, vinculándola a la línea existente S. G. Argentina – Chajarí.

Para esto, el presente proyecto consta de una línea en doble terna de 19 km que se interconectaran con la línea antes mencionada y una Estación transformadora en 132/33/13,2 kV que sustituirá la alimentación existente en 33 kV.

La configuración del sistema antes de la obra y luego de la misma, se muestra en los siguientes gráficos unifilares.



## Características de la obra

### Línea 132kV en doble terna

Reglamentaciones:

Se utilizará para este proyecto la norma AEA 95301 “Reglamentación de líneas aéreas exteriores de media y alta tensión”

**Zona climática:**

La obra se llevará a cabo en la zona climática “C” de acuerdo a la denominación de AEA 95301.

**Características constructivas:**

**Longitud:**

Las líneas tienen una traza de 18930 m según plano adjunto.

**Conductores:**

Se utiliza un conductor Al/Ac de 300/50 mm<sup>2</sup>, por ser el existente en la línea S G Argentina – Chajarí.

Para el hilo de guardia se utilizará un conductor de acero de 50 mm<sup>2</sup>.

**Configuración de la línea:**

Estarán conformadas en doble terna con diferentes estructuras.

**Zona rural:**

Suspensión y retención de H. A. convencionales con vanos de 150m.

**Zona urbana:**

Estructuras line post y retenciones con estructuras metálicas tubulares, vanos de 100m.

**Aislación:**

Se utilizaran aisladores poliméricos marca AVATOR según documentación adjunta.

## **Estación Transformadora**

### **Ubicación**

La ET se ubicara en el predio de la ET actual.

### **Configuración**

**AT** Doble barra.

#### **Entradas**

132 kV Desde Chajarí  
Desde Salto Grande

**MT** Simple barra seccionada en 33kV  
Simple barra seccionada en 13.2 kV

#### **Salidas**

33 kV 4 salidas  
13.2 kV 8 Salidas

### **Denominación de Campos**

Campo 1 Entrada de línea de 132 kV desde Chajarí.  
Campo 2 Entrada de línea de 132 kV desde Salto Grande.  
Campo 3 De Acoplamiento.  
Campo 4 De transformación 132/33/13.2 kV 15/10/15 MVA  
Campo 5 De transformación 132/33/13.2 kV15/10/15 MVA

# *Cálculo de línea de 132 kV*

*Confalonieri German*

*Díaz Miguel*

## **Calculo de línea de 132kV**

Calculo de cargas específicas  
Determinación del estado básico  
Calculo de tensiones, tiros y flechas  
Tabla de tendido  
Calculo de hilo de guardia  
Resumen

## **Estructura de suspensión**

Diseño del Cabezal  
Alturas de la columna  
Verificación de Hipótesis

## **Estructura de suspensión angular**

Diseño del Cabezal  
Alturas de la columna  
Verificación de Hipótesis

## **Estructura de retención en recta**

Diseño del Cabezal  
Alturas de la columna  
Verificación de Hipótesis

## **Estructura de retención angular**

Diseño del Cabezal  
Alturas de la columna  
Verificación de Hipótesis

## **Fundación estructura de suspensión**

Dimensiones de la fundación  
Cargas verticales  
Momentos  
Verificación del diseño

## **Fundación estructura de retención en línea**

Dimensiones de la fundación  
Cargas verticales  
Momentos  
Verificación del diseño

## **Fundación estructura de retención en línea**

Dimensiones de la fundación  
Cargas verticales  
Momentos  
Verificación del diseño

# Cálculo de línea de 132 kV.

## Datos necesarios

|                    |                       |
|--------------------|-----------------------|
| Tensión nominal    | $U := 132 \text{ kV}$ |
| Vano de Cálculo    | $a := 150 \text{ m}$  |
| Zona de cálculo: C |                       |

## Datos Básicos del conductor

Conductor de aluminio/acero 300/50 mm<sup>2</sup>

|                                    |  |
|------------------------------------|--|
| Diámetro exterior:                 | $d := 24.5 \text{ mm}$                     |
| Sección del conductor:             | $S := 300 \text{ mm}^2$                    |
| Sección real del conductor         | $S_r := 353.5 \text{ mm}^2$                |
| Peso del conductor                 | $G := 1230 \frac{\text{kgf}}{\text{km}}$   |
| Módulo de elasticidad              | $E := 7700 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$ |
| Carga de rotura                    | $\sigma_R := 10700 \text{ kgf}$            |
| Coefficiente de dilatación lineal: | $\alpha := 18.910^{-6}$                    |
| Coefficiente de seguridad:         | $\text{coef} := 3$                         |

## Cálculo de la tensión mecánica específica de rotura:

$$\sigma_{adm_1} := \frac{\sigma_R}{\text{coef} \cdot S} \quad \sigma_{adm_2} := \frac{\sigma_R}{\text{coef} \cdot S} \quad \sigma_{adm_3} := \frac{\sigma_R}{\text{coef} \cdot S} \quad \sigma_{adm_4} := \frac{\sigma_R}{\text{coef} \cdot S} \quad \sigma_{adm_5} := \frac{\sigma_{adm_1}}{2}$$

| Estado | Temperatura  | Viento   | Carga de rotura específica                               |
|--------|--------------|--|--|
| 1      | $T_1 := 45$  | —  | $\sigma_{adm_1} = 11.889 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$ |
| 2      | $T_2 := -10$ | —  | $\sigma_{adm_2} = 11.889 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$ |
| 3      | $T_3 := 15$  | $V_3 := 35 \frac{\text{m}}{\text{s}}$                          | $\sigma_{adm_3} = 11.889 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$ |
| 4      | $T_4 := -5$  | $V_4 := 0.4 \cdot V_3$<br>$V_4 = 14 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ | $\sigma_{adm_4} = 11.889 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$ |
| 5      | $T_5 := 10$  | —  | $\sigma_{adm_5} = 5.944 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$  |

## Cálculo de cargas específicas:

### Peso propio

$$g_{\text{prop}} := \frac{G}{S} \quad g = 0.0041 \frac{\text{kgf}}{\text{m}\cdot\text{mm}^2}$$

### Carga debida al viento

Datos necesarios para este calculo:

$$h_e := (16.6\text{m} - 0.8\text{m}) - \frac{1}{3} \cdot 1.5\text{m} \quad h_e = 15.3\text{m} \quad \text{Altura efectiva}$$

Este resultado se obtiene de aplicar el enunciado del punto 10.2.2.5 del "Reglamento de líneas aéreas exteriores de media y alta tensión". Los valores de altura de cruceta media y flecha del estado 5 se estimaron para este calculo

$$Z_p := 1.09 + \frac{(1.13 - 1.09) \cdot (h_e - 15\text{m})}{(20 - 15) \cdot \text{m}} \quad Z_p = 1.092 \quad \text{Factor del terreno, por altura y exposición}$$

$$Q := 0.061 \quad \text{Factor proporcional a la densidad del aire}$$

$$F_c := 1.1 \quad \text{Factor de carga}$$

### Factor de ráfaga

$$k := 0.001$$

$$L_s := 67\text{m}$$

$$\zeta := 7.1$$

Parámetros obtenidos de tabla 10.2-h , pago 54 del "Reglamento de líneas aéreas exteriores de media y alta tensión"

$$E_w := 4.9 \sqrt{k} \cdot \left( \frac{10\text{m}}{h_e} \right)^{\frac{1}{\zeta}} \quad B_w := \frac{1}{\left( 1 + 0.8 \frac{a}{L_s} \right)}$$

$$G_w := 1 + (2.7 E_w \cdot \sqrt{B_w}) \quad G_w = 1.529 \quad \text{Factor de ráfaga}$$

$$C_f := 1 \cdot \frac{\text{kgf} \cdot \text{sec}^2}{\text{m}^4} \quad \text{Coeficiente de presión dinámica}$$

$$\psi := 0 \text{ deg}$$

Ángulo del viento con el eje perpendicular a la línea

$$A_c := 0.9 d \cdot a$$

Área proyectada

$$g_{v_3} := \frac{Q \cdot (Z_p \cdot V_3)^2 \cdot F_c \cdot G_w \cdot C_f \cdot A_c \cdot (\cos(\psi))^2}{S_r \cdot a} \quad g_{v_3} = 0.00983 \frac{\text{kgf}}{\text{m}\cdot\text{mm}^2} \quad \text{Carga de viento en estado 3}$$

$$g_{v_4} := \frac{Q \cdot (Z_p \cdot V_4)^2 \cdot F_c \cdot G_w \cdot C_f \cdot A_c \cdot (\cos(\psi))^2}{S_r \cdot a} \quad g_{v_4} = 0.002 \frac{\text{kgf}}{\text{m}\cdot\text{mm}^2} \quad \text{Carga de viento en estado 4}$$

## Cargas específicas para los distintos estados:

$$ge_1 := g$$

$$ge_2 := g$$

$$ge_5 := g$$

$$ge_3 := \sqrt{g^2 + (gv_3)^2}$$

$$ge_3 = 0.011 \frac{\text{kgf}}{\text{m}\cdot\text{mm}^2}$$

$$ge_4 := \sqrt{g^2 + (gv_4)^2}$$

$$ge_4 = 0.0044 \frac{\text{kgf}}{\text{m}\cdot\text{mm}^2}$$

## Determinación del estado básico.

El estado 1 por ser el de máxima temperatura no puede ser el básico.

$$acr_{23} := \sqrt{24 \frac{\frac{\sigma_{adm3} - \sigma_{adm2}}{E} + \alpha \cdot (T_3 - T_2)}{\left[ \frac{(ge_3)^2}{(\sigma_{adm3})^2} - \frac{(ge_2)^2}{(\sigma_{adm2})^2} \right]}}$$

$$acr_{23} = 128.806\text{m}$$

=>  $acr_{23}$  es real

$$acr_{24} := \sqrt{24 \frac{\frac{\sigma_{adm4} - \sigma_{adm2}}{E} + \alpha \cdot (T_4 - T_2)}{\left[ \frac{(ge_4)^2}{(\sigma_{adm4})^2} - \frac{(ge_2)^2}{(\sigma_{adm2})^2} \right]}}$$

$$acr_{24} = 360.023\text{m}$$

=>  $acr_{24}$  es real

$$acr_{25} := \sqrt{24 \frac{\frac{\sigma_{adm5} - \sigma_{adm2}}{E} + \alpha \cdot (T_5 - T_2)}{\left[ \frac{(ge_5)^2}{(\sigma_{adm5})^2} - \frac{(ge_2)^2}{(\sigma_{adm2})^2} \right]}}$$

$$acr_{25} = 137.389\text{im}$$

=>  $acr_{25}$  es imaginario

$$acr_{34} := \sqrt{24 \frac{\frac{\sigma_{adm4} - \sigma_{adm3}}{E} + \alpha \cdot (T_4 - T_3)}{\left[ \frac{(ge_4)^2}{(\sigma_{adm4})^2} - \frac{(ge_3)^2}{(\sigma_{adm3})^2} \right]}}$$

$$acr_{34} = 116.71\text{lm}$$

=>  $acr_{34}$  es real



## Cálculo de tensiones, flechas y tiros

### Estado 1

Máxima temperatura

$$A_1 := \frac{E \cdot a^2 \cdot (ge_1)^2}{24}$$

$$A_1 = 1.144 \times 10^{23} \text{ Pa}^3$$

$$B_1 := \frac{E \cdot a^2 \cdot (ge_5)^2}{24 \cdot (\sigma_{adm_5})^2} + \alpha \cdot E \cdot (T_1 - T_5) - \sigma_{adm_5}$$

$$B_1 = 1.71 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_1 := 5 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

$$F(\sigma_1) := \sigma_1^3 + \sigma_1^2 \cdot B_1 - A_1$$

$$\sigma_1 := \text{root}(F(\sigma_1), \sigma_1)$$

$$\sigma_1 = 4.441 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

Es menor que

$$\sigma_{adm_1} = 11.889 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

$$f_1 := \frac{a^2 \cdot ge_1}{8 \cdot \sigma_1}$$

$$f_1 = 2.596 \text{ m}$$

Flecha en el estado 1

$$\text{Tir}_1 := \sigma_1 \cdot Sr$$

$$\text{Tir}_1 = 1570.1 \text{ kgf}$$

Tiro en el estado 1

### Estado 2

Mínima temperatura

$$A_2 := \frac{E \cdot a^2 \cdot (ge_2)^2}{24}$$

$$A_2 = 1.144 \times 10^{23} \text{ Pa}^3$$

$$B_2 := \frac{E \cdot a^2 \cdot (ge_5)^2}{24 \cdot (\sigma_{adm_5})^2} + \alpha \cdot E \cdot (T_2 - T_5) - \sigma_{adm_5}$$

$$B_2 = -6.294 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_2 := 5 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

$$F(\sigma_2) := \sigma_2^3 + \sigma_2^2 \cdot B_2 - A_2$$

$$\sigma_2 := \text{root}(F(\sigma_2), \sigma_2)$$

$$\sigma_2 = 8.13 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

Es menor que

$$\sigma_{adm_2} = 11.889 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

$$f_2 := \frac{a^2 \cdot ge_2}{8 \cdot \sigma_2}$$

$$f_2 = 1.418 \text{ m}$$

Flecha en el estado 2

$$\text{Tir}_2 := \sigma_2 \cdot Sr$$

$$\text{Tir}_2 = 2874 \text{ kgf}$$

Tiro en el estado 2

### Estado 3

#### Máximo Viento

$$A_3 := \frac{E \cdot a^2 \cdot (ge_3)^2}{24}$$

$$A_3 = 7.722 \times 10^{23} \text{ Pa}^3$$

$$B_3 := \frac{E \cdot a^2 \cdot (ge_5)^2}{24(\sigma_{adm_5})^2} + \alpha \cdot E \cdot (T_3 - T_5) - \sigma_{adm_5}$$

$$B_3 = -2.656 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_3 := 5 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

$$F(\sigma_3) := \sigma_3^3 + \sigma_3^2 \cdot B_3 - A_3$$

$$\sigma_3 := \text{root}(F(\sigma_3), \sigma_3)$$

$$\sigma_3 = 10.329 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

Es menor que  $\sigma_{adm_3} = 11.889 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$

$$f_3 := \frac{a^2 \cdot ge_3}{8 \cdot \sigma_3}$$

$$f_3 = 2.9 \text{ m}$$

Flecha en el estado 3

$$Tir_3 := \sigma_3 \cdot Sr$$

$$Tir_3 = 3651.5 \text{ kgf}$$

Tiro en el estado 3

### Estado 4

#### Temperatura y viento medio

$$A_4 := \frac{E \cdot a^2 \cdot (ge_4)^2}{24}$$

$$A_4 = 1.313 \times 10^{23} \text{ Pa}^3$$

$$B_4 := \frac{E \cdot a^2 \cdot (ge_5)^2}{24(\sigma_{adm_5})^2} + \alpha \cdot E \cdot (T_4 - T_5) - \sigma_{adm_5}$$

$$B_4 = -5.567 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_4 := 5 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

$$F(\sigma_4) := \sigma_4^3 + \sigma_4^2 \cdot B_4 - A_4$$

$$\sigma_4 := \text{root}(F(\sigma_4), \sigma_4)$$

$$\sigma_4 = 7.834 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

Es menor que  $\sigma_{adm_4} = 11.889 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$

$$f_4 := \frac{a^2 \cdot ge_4}{8 \cdot \sigma_4}$$

$$f_4 = 1.576 \text{ m}$$

Flecha en el estado 4

$$Tir_4 := \sigma_4 \cdot Sr$$

$$Tir_4 = 2769.5 \text{ kgf}$$

Tiro en el estado 4

## Estado 5

## Temperatura media anual

$$\sigma_5 := \sigma_{adm5}$$

$$\sigma_5 = 5.944 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

$$f_5 := \frac{a^2 \cdot g e_5}{8 \cdot \sigma_5}$$

$$f_5 = 1.94\text{m}$$

Flecha en el estado 5

$$\text{Tir}_5 := \sigma_5 \cdot S_r$$

$$\text{Tir}_5 = 2101.4\text{kgf}$$

Tiro en el estado 5

## Tabla de tendido

$$t := 0..45$$

$$A := \frac{E \cdot a^2 \cdot (g)^2}{24}$$

$$A = 1.144 \times 10^{23} \text{Pa}^3$$

$$B(t) := \frac{E \cdot a^2 \cdot (g)^2}{24 (\sigma_5)^2} + \alpha \cdot E \cdot (t - T_5) - \sigma_5$$

$$\sigma := 5 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

$$F(\sigma, t) := \sigma^3 + \sigma^2 \cdot B(t) - A$$

$$p(t) := \text{root}[\sigma^2 \cdot (\sigma + B(t)) - A, \sigma]$$

$$\text{Tir}(t) := p(t) \cdot S_r$$

$$f(t) := \frac{a^2 \cdot g}{8 \cdot p(t)}$$

$$\text{Tiempo}(t) := \sqrt{\frac{f(t) \cdot 100}{0.306 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}}$$

## Tabla de tendido

### Temperatura

t =

|     |
|-----|
| 0   |
| 1   |
| 2   |
| 3   |
| 4   |
| 5   |
| 6   |
| 7   |
| 8   |
| 9   |
| 10  |
| 11  |
| 12  |
| 13  |
| 14  |
| 15  |
| 16  |
| 17  |
| 18  |
| 19  |
| 20  |
| 21  |
| 22  |
| 23  |
| 24  |
| 25  |
| 26  |
| 27  |
| 28  |
| 29  |
| 30  |
| 31  |
| 32  |
| 33  |
| 34  |
| 35  |
| 36  |
| 37  |
| 38  |
| 39  |
| 40  |
| 41  |
| 42  |
| ... |

### Tensión

p(t) =

|      |                                    |
|------|------------------------------------|
| 7.19 | · $\frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$ |
| 7.1  |                                    |
| 7.01 |                                    |
| 6.93 |                                    |
| 6.85 |                                    |
| 6.76 |                                    |
| 6.68 |                                    |
| 6.6  |                                    |
| 6.52 |                                    |
| 6.45 |                                    |
| 6.37 |                                    |
| 6.3  |                                    |
| 6.22 |                                    |
| 6.15 |                                    |
| 6.08 |                                    |
| 6.01 |                                    |
| 5.94 |                                    |
| 5.88 |                                    |
| 5.81 |                                    |
| 5.75 |                                    |
| 5.68 |                                    |
| 5.62 |                                    |
| 5.56 |                                    |
| 5.5  |                                    |
| 5.44 |                                    |
| 5.39 |                                    |
| 5.33 |                                    |
| 5.27 |                                    |
| 5.22 |                                    |
| 5.17 |                                    |
| 5.11 |                                    |
| 5.06 |                                    |
| 5.01 |                                    |
| 4.96 |                                    |
| 4.91 |                                    |
| 4.87 |                                    |
| 4.82 |                                    |
| 4.78 |                                    |
| 4.73 |                                    |
| 4.69 |                                    |
| 4.64 |                                    |
| 4.6  |                                    |
| ...  |                                    |

### Tiro

Tir(t) =

|      |      |
|------|------|
| 2541 | ·kgf |
| 2510 |      |
| 2480 |      |
| 2450 |      |
| 2420 |      |
| 2391 |      |
| 2362 |      |
| 2334 |      |
| 2307 |      |
| 2279 |      |
| 2253 |      |
| 2226 |      |
| 2200 |      |
| 2175 |      |
| 2150 |      |
| 2125 |      |
| 2101 |      |
| 2078 |      |
| 2054 |      |
| 2032 |      |
| 2009 |      |
| 1987 |      |
| 1966 |      |
| 1945 |      |
| 1924 |      |
| 1904 |      |
| 1884 |      |
| 1864 |      |
| 1845 |      |
| 1826 |      |
| 1808 |      |
| 1790 |      |
| 1772 |      |
| 1754 |      |
| 1737 |      |
| 1721 |      |
| 1704 |      |
| 1688 |      |
| 1672 |      |
| 1657 |      |
| 1642 |      |
| 1627 |      |
| 1612 |      |
| ...  |      |

### Flecha

f(t) =

|      |   |
|------|---|
| 1.6  | m |
| 1.62 |   |
| 1.64 |   |
| 1.66 |   |
| 1.68 |   |
| 1.7  |   |
| 1.73 |   |
| 1.75 |   |
| 1.77 |   |
| 1.79 |   |
| 1.81 |   |
| 1.83 |   |
| 1.85 |   |
| 1.87 |   |
| 1.9  |   |
| 1.92 |   |
| 1.94 |   |
| 1.96 |   |
| 1.98 |   |
| 2.01 |   |
| 2.03 |   |
| 2.05 |   |
| 2.07 |   |
| 2.1  |   |
| 2.12 |   |
| 2.14 |   |
| 2.16 |   |
| 2.19 |   |
| 2.21 |   |
| 2.23 |   |
| 2.26 |   |
| 2.28 |   |
| 2.3  |   |
| 2.32 |   |
| 2.35 |   |
| 2.37 |   |
| 2.39 |   |
| 2.41 |   |
| 2.44 |   |
| 2.46 |   |
| 2.48 |   |
| 2.51 |   |
| 2.53 |   |
| ...  |   |

### Tiempo

Tiemp(t) =

|       |   |
|-------|---|
| 22.9  | s |
| 23.04 |   |
| 23.18 |   |
| 23.32 |   |
| 23.46 |   |
| 23.6  |   |
| 23.75 |   |
| 23.89 |   |
| 24.03 |   |
| 24.18 |   |
| 24.32 |   |
| 24.46 |   |
| 24.61 |   |
| 24.75 |   |
| 24.89 |   |
| 25.03 |   |
| 25.18 |   |
| 25.32 |   |
| 25.46 |   |
| 25.61 |   |
| 25.75 |   |
| 25.89 |   |
| 26.03 |   |
| 26.17 |   |
| 26.31 |   |
| 26.45 |   |
| 26.59 |   |
| 26.73 |   |
| 26.87 |   |
| 27.01 |   |
| 27.15 |   |
| 27.28 |   |
| 27.42 |   |
| 27.56 |   |
| 27.69 |   |
| 27.82 |   |
| 27.96 |   |
| 28.09 |   |
| 28.22 |   |
| 28.36 |   |
| 28.49 |   |
| 28.62 |   |
| 28.75 |   |
| ...   |   |

## Cálculo del hilo de guardia

### Datos Básicos del hilo de guardia

|                                    |  |
|------------------------------------|--|
| Material                           | Acero Zincado de 50 mm <sup>2</sup>                    |
| Diámetro exterior:                 | $d_{hg} := 9 \cdot \text{mm}$                          |
| Sección del conductor:             | $S_{hg} := 50 \cdot \text{mm}^2$                       |
| Peso del conductor                 | $G_{hg} := 365 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{km}}$     |
| Módulo de elasticidad              | $E_{hg} := 20000 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$ |
| Coefficiente de dilatación lineal: | $\alpha_{hg} := 11 \cdot 10^{-6}$                      |
| Coefficiente de seguridad:         | $\text{coef} := 2$                                     |
| Vano de Cálculo                    | $a = 150 \text{m}$                                     |

### Cálculo de cargas específicas del hilo de guardia:

#### Peso propio

$$g_{hg} := \frac{G_{hg}}{S_{hg}} \quad g_{hg} = 0.0073 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{m} \cdot \text{mm}^2}$$

#### Carga debida al viento

Datos necesarios para este calculo:

$$h_{ehg} := (20 \text{m}) - \frac{1}{3} \cdot 1.43 \text{m} \quad h_{ehg} = 19.5 \text{m} \quad \text{Altura efectiva}$$

Este resultado se obtiene de aplicar el enunciado del punto 10.2.2.5 del "Reglamento de líneas aéreas exteriores de media y alta tensión". Los valores de altura de cruceta inferior y flecha del estado 5 se estimaron para este calculo

$$Z_p := 1.09 + \frac{(1.13 - 1.09) \cdot (h_{ehg} - 15 \text{m})}{(20 - 15) \cdot \text{m}} \quad Z_p = 1.13 \quad \text{Factor del terreno, por altura y exposición}$$

$$Q := 0.061 \quad \text{Factor proporcional a la densidad del aire}$$

$$F_c := 1.1 \quad \text{Factor de carga}$$

## Factor de ráfaga

$$k_{aa} := 0.001$$

$$L_s := 67 \text{ m}$$

$$\zeta_{aa} := 7.1$$

Parámetros obtenidos de tabla 10.2-h , pag 54 del "Reglamento de líneas aéreas exteriores de media y alta tensión"

$$E_w := 4.9 \sqrt{k_{aa}} \cdot \left( \frac{10 \text{ m}}{h_e} \right)^{\frac{1}{\zeta_{aa}}} \quad B_w := \frac{1}{\left( 1 + 0.8 \frac{a}{L_s} \right)}$$

$$G_w := 1 + (2.7 E_w \cdot \sqrt{B_w})$$

$$G_w = 1.529$$

**Factor de ráfaga**

$$C_f := 1 \cdot \frac{\text{kgf} \cdot \text{sec}^2}{\text{m}^4}$$

**Coefficiente de presión dinámica**

$$\psi_{aa} := 0 \text{ deg}$$

**Ángulo del viento** con el eje perpendicular a la línea

$$A_{chg} := 0.9 d_{hg} \cdot a$$

**Área proyectada**

$$ghgv_3 := \frac{Q \cdot (Z_p \cdot V_3)^2 \cdot F_c \cdot G_w \cdot C_f \cdot A_{chg} \cdot (\cos(\psi))^2}{S_{hg} \cdot a}$$

$$ghgv_3 = 0.027 \frac{\text{kgf}}{\text{m} \cdot \text{mm}^2}$$

**Carga de viento en estado 3**

$$ghgv_4 := \frac{Q \cdot (Z_p \cdot V_4)^2 \cdot F_c \cdot G_w \cdot C_f \cdot A_{chg} \cdot (\cos(\psi))^2}{S_{hg} \cdot a}$$

$$ghgv_4 = 0.0043 \frac{\text{kgf}}{\text{m} \cdot \text{mm}^2}$$

**Carga de viento en estado 4**

**Cargas específicas para los distintos estados:**

$$ghg_1 := ghg$$

$$ghg_2 := ghg$$

$$ghg_5 := ghg$$

$$ghg_3 := \sqrt{ghg^2 + (ghgv_3)^2}$$

$$ghg_3 = 0.028 \frac{\text{kgf}}{\text{m} \cdot \text{mm}^2}$$

$$ghg_4 := \sqrt{ghg^2 + (ghgv_4)^2}$$

$$ghg_4 = 0.0085 \frac{\text{kgf}}{\text{m} \cdot \text{mm}^2}$$

## Determinación de tensiones y flechas

Se establece que la flecha del hilo de guardia será del 90% de la del conductor de fase y se lo calcula tomando el estado 5 (temperatura media anual) como base. Se verifica que no sea mayor que en los otros estados.

$$fhg_5 := 90\% \cdot f_5$$

$$fhg_5 = 1.7 \text{ m}$$

$$\sigma_{hg_5} := \frac{a^2 \cdot ghg_5}{8 \cdot fhg_5}$$

$$\sigma_{hg_5} = 11.76 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

$$Tirhg_5 := \sigma_{hg_5} \cdot Shg$$

$$Tirhg_5 = 588 \text{ kgf}$$

### Estado 3

$$Ahg_3 := \frac{Ehg \cdot a^2 \cdot (ghg_3)^2}{24}$$

$$Ahg_3 = 1.396 \times 10^{25} \text{ Pa}^3$$

$$Bhg_3 := \frac{Ehg \cdot a^2 \cdot (ghg_3)^2}{24 (\sigma_{hg_3})^2} + \alpha_{hg} \cdot Ehg \cdot (T_3 - T_5) - \sigma_{hg_5}$$

$$Bhg_3 = -4.755 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{hg_3} := 20 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

$$F(\sigma_{hg_3}) := \sigma_{hg_3}^3 + \sigma_{hg_3}^2 \cdot Bhg_3 - Ahg_3$$

$$\sigma_{hg_3} := \text{root}(F(\sigma_{hg_3}), \sigma_{hg_3})$$

$$\sigma_{hg_3} = 26.244 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

$$Tirhg_3 := \sigma_{hg_3} \cdot Shg$$

$$Tirhg_3 = 1312.2 \text{ kgf}$$

Tiro en el estado 3

$$fhg_3 := \frac{a^2 \cdot ghg_3}{8 \cdot \sigma_{hg_3}}$$

$$fhg_3 = 3 \text{ m}$$

Flecha en el estado 3

$$90\% \cdot f_3 = 2.61 \text{ m}$$

$$fhg_3 > 90\% f_3$$

**Esta condición no es válida**

Calculada la flecha para todos los estados, la del estado de 3 resulto mayor al 90% de la del conductor de fase. Por lo tanto se toma el 3 como estado básico para el hilo de guardia.

$$fhg_3 := 90\% \cdot f_3$$

$$fhg_3 = 2.6 \text{ m}$$

$$\sigma_{hg3} := \frac{a^2 \cdot g_{hg3}}{8 \cdot f_{hg3}}$$

$$\sigma_{hg3} = 30.278 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

$$T_{irhg3} := \sigma_{hg3} \cdot S_{hg}$$

$$T_{irhg3} = 1513.9 \text{ kgf}$$

## Estado 1

$$A_{hg1} := \frac{E_{hg} \cdot a^2 \cdot (g_{hg1})^2}{24}$$

$$A_{hg1} = 9.423 \times 10^{23} \text{ Pa}^3$$

$$B_{hg1} := \frac{E_{hg} \cdot a^2 \cdot (g_{hg3})^2}{24 \cdot (\sigma_{hg3})^2} + \alpha_{hg} \cdot E_{hg} \cdot (T_1 - T_3) - \sigma_{hg3}$$

$$B_{hg1} = -7.534 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{hg1} := 20 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

$$F(\sigma_{hg1}) := \sigma_{hg1}^3 + \sigma_{hg1}^2 \cdot B_{hg1} - A_{hg1}$$

$$\sigma_{hg1} := \text{root}(F(\sigma_{hg1}), \sigma_{hg1})$$

$$\sigma_{hg1} = 13.237 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

$$T_{irhg1} := \sigma_{hg1} \cdot S_{hg}$$

$$T_{irhg1} = 661.8 \text{ kgf}$$

Tiro en el estado 1

$$f_{hg1} := \frac{a^2 \cdot g_{hg1}}{8 \cdot \sigma_{hg1}}$$

$$f_{hg1} = 1.6 \text{ m}$$

Flecha en el estado 1

$$90\% \cdot f_1 = 2.3 \text{ m}$$

$$f_{hg1} < 90\% f_1$$

## Estado 2

$$A_{hg2} := \frac{E_{hg} \cdot a^2 \cdot (g_{hg2})^2}{24}$$

$$A_{hg2} = 9.423 \times 10^{23} \text{ Pa}^3$$

$$B_{hg2} := \frac{E_{hg} \cdot a^2 \cdot (g_{hg3})^2}{24 \cdot (\sigma_{hg3})^2} + \alpha_{hg} \cdot E_{hg} \cdot (T_2 - T_3) - \sigma_{hg3}$$

$$B_{hg2} = -19.634 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{hg2} := 20 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

$$F(\sigma_{hg2}) := \sigma_{hg2}^3 + \sigma_{hg2}^2 \cdot B_{hg2} - A_{hg2}$$

$$\sigma_{hg2} := \text{root}(F(\sigma_{hg2}), \sigma_{hg2}) \quad \sigma_{hg2} = 21.747 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{Tir}_{hg2} := \sigma_{hg2} \cdot \text{Shg} \quad \text{Tir}_{hg2} = 1087.3 \text{ kgf} \quad \text{Tiro en el estado 2}$$

$$f_{hg2} := \frac{a^2 \cdot g_{hg2}}{8 \cdot \sigma_{hg2}} \quad f_{hg2} = 0.9 \text{ m} \quad \text{Flecha en el estado 2}$$

$$90\% \cdot f_2 = 1.3 \text{ m} \quad f_{hg2} < 90\% f_2$$

#### Estado 4

$$A_{hg4} := \frac{E_{hg} \cdot a^2 \cdot (g_{hg4})^2}{24} \quad A_{hg4} = 1.276 \times 10^{24} \text{ Pa}^3$$

$$B_{hg4} := \frac{E_{hg} \cdot a^2 \cdot (g_{hg3})^2}{24 \cdot (\sigma_{hg3})^2} + \alpha_{hg} \cdot E_{hg} \cdot (T_4 - T_3) - \sigma_{hg3} \quad B_{hg4} = -18.534 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{hg4} := 20 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2} \quad F(\sigma_{hg4}) := \sigma_{hg4}^3 + \sigma_{hg4}^2 \cdot B_{hg4} - A_{hg4}$$

$$\sigma_{hg4} := \text{root}(F(\sigma_{hg4}), \sigma_{hg4}) \quad \sigma_{hg4} = 21.469 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{Tir}_{hg4} := \sigma_{hg4} \cdot \text{Shg} \quad \text{Tir}_{hg4} = 1073.4 \text{ kgf} \quad \text{Tiro en el estado 4}$$

$$f_{hg4} := \frac{a^2 \cdot g_{hg4}}{8 \cdot \sigma_{hg4}} \quad f_{hg4} = 1.1 \text{ m} \quad \text{Flecha en el estado 4}$$

$$90\% \cdot f_4 = 1.4 \text{ m} \quad f_{hg4} < 90\% f_4$$

#### Estado 5

$$A_{hg5} := \frac{E_{hg} \cdot a^2 \cdot (g_{hg5})^2}{24} \quad A_{hg5} = 9.423 \times 10^{23} \text{ Pa}^3$$

$$B_{hg5} := \frac{E_{hg} \cdot a^2 \cdot (g_{hg3})^2}{24 \cdot (\sigma_{hg3})^2} + \alpha_{hg} \cdot E_{hg} \cdot (T_5 - T_3) - \sigma_{hg3} \quad B_{hg5} = -13.914 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{hg5} := 20 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

$$F(\sigma_{hg5}) := \sigma_{hg5}^3 + \sigma_{hg5}^2 \cdot B_{hg5} - A_{hg5}$$

$$\sigma_{hg5} := \text{root}(F(\sigma_{hg5}), \sigma_{hg5})$$

$$\sigma_{hg5} = 17.266 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

$$T_{irhg5} := \sigma_{hg5} \cdot S_{hg}$$

$$T_{irhg5} = 863.3 \text{ kgf}$$

Tiro en el estado 5

$$f_{hg5} := \frac{a^2 \cdot g_{hg5}}{8 \cdot \sigma_{hg5}}$$

$$f_{hg5} = 1.2 \text{ m}$$

Flecha en el estado 5

$$90\% \cdot f_5 = 1.7 \text{ m}$$

$$f_{hg5} < 90\% f_5$$

## Resumen del cálculo mecánico. Conductor de fase:

| Estado | Tensión específica                                 | Tiro                              | Flecha                  |
|--------|--|-----------------------------------|-------------------------|
| 1      | $\sigma_1 = 4.441 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$  | $\text{Tir}_1 = 1570 \text{ kgf}$ | $f_1 = 2.596 \text{ m}$ |
| 2      | $\sigma_2 = 8.13 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$   | $\text{Tir}_2 = 2874 \text{ kgf}$ | $f_2 = 1.418 \text{ m}$ |
| 3      | $\sigma_3 = 10.329 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$ | $\text{Tir}_3 = 3651 \text{ kgf}$ | $f_3 = 2.9 \text{ m}$   |
| 4      | $\sigma_4 = 7.834 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$  | $\text{Tir}_4 = 2769 \text{ kgf}$ | $f_4 = 1.576 \text{ m}$ |
| 5      | $\sigma_5 = 5.944 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$  | $\text{Tir}_5 = 2101 \text{ kgf}$ | $f_5 = 1.94 \text{ m}$  |

### Datos importantes

|                             |                               |                                    |
|-----------------------------|-------------------------------|------------------------------------|
| Peso del conductor (p/vano) | $\text{Pcv} := G_a$           | $\text{Pcv} = 184.5 \text{ kgf}$   |
| Tiro máximo                 | $\text{TirM} := \text{Tir}_3$ | $\text{TirM} = 3651.5 \text{ kgf}$ |
| Flecha máxima               | $fM := f_1$                   | $fM = 2.6 \text{ m}$               |
| Carga de viento máxima      | $gvM := gv_3 \cdot Sr_a$      | $gvM = 521 \cdot \text{kgf}$       |

## Resumen del cálculo mecánico. Hilo de Guardia:

| Estado | Tensión específica                                      | Tiro                                   | Flecha                       |
|--------|---|--|------------------------------|
| 1      | $\sigma_{hg_1} = 13.237 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$ | $\text{Tir}_{hg_1} = 662 \text{ kgf}$  | $f_{hg_1} = 1.551 \text{ m}$ |
| 2      | $\sigma_{hg_2} = 21.747 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$ | $\text{Tir}_{hg_2} = 1087 \text{ kgf}$ | $f_{hg_2} = 0.944 \text{ m}$ |
| 3      | $\sigma_{hg_3} = 30.278 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$ | $\text{Tir}_{hg_3} = 1514 \text{ kgf}$ | $f_{hg_3} = 2.61 \text{ m}$  |
| 4      | $\sigma_{hg_4} = 21.469 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$ | $\text{Tir}_{hg_4} = 1073 \text{ kgf}$ | $f_{hg_4} = 1.113 \text{ m}$ |
| 5      | $\sigma_{hg_5} = 17.266 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$ | $\text{Tir}_{hg_5} = 863 \text{ kgf}$  | $f_{hg_5} = 1.189 \text{ m}$ |

# Estructura de Suspensión

## Datos necesarios

|                             |                     |                      |
|-----------------------------|---------------------|----------------------|
| Tensión nominal             | $U := 132\text{kV}$ |                      |
| Tensión máxima de servicio: | $UM := U \cdot 1.1$ | $UM := 145\text{kV}$ |
| Vano                        | $a := 150\text{m}$  |                      |

## Datos del conductor de fase

|  |   |   |
|--|---|---|
| Sección del conductor de fase  | $Sr := 353.5\text{mm}^2$  |   |
| Peso del conductor   | $G := 1230 \frac{\text{kgf}}{\text{km}}$                        |   |
| Peso del conductor (x vano)  | $Pcv := G \cdot a$  | $Pcv = 184.5\text{kgf}$                           |
| Carga de rotura del conductor  | $\sigma R := 10700\text{kgf}$                                   |   |
| Tensión mecánica máxima  | $TMM := \sigma R \cdot 70\%$                                    | $TMM = 7490\text{kgf}$                            |
| Tiro máximo del conductor de fase                                    | $Tir_3 := 3651.5\text{kgf}$                                     | Es el correspondiente al estado 3 (Máximo viento) |
|  | $TirM := Tir_3$   |   |
| Flecha máxima  | $f_1 := 2.6\text{m}$  | Corresponde al estado 1 (Máxima temperatura)      |
|  | $fM := f_1$   |   |
| Carga específica por viento en el conductor de fase para el estado 3 | $gv_3 := 0.00983 \frac{\text{kgf}}{\text{m} \cdot \text{mm}^2}$ |   |
| Carga de viento máxima   | $GvM := gv_3 \cdot Sr \cdot a$                                  | $GvM = 521\text{kgf}$                             |
| Tiro del conductor de fase a la temperatura media anual              | $Tir_5 := 2101\text{kgf}$                                       |   |
| Tiro del conductor de fase en el estado 2 (mínima temperatura)       | $Tir_2 := 2874\text{kgf}$                                       |   |
| Velocidad del viento para el estado 3                                | $V_3 := 35 \frac{\text{m}}{\text{s}}$                           |   |

## Datos del conductor hilo de guardia

|  |   |  |
|--|---|--|
| Sección del conductor HG   | $Shg := 50\text{mm}^2$  |  |
| Peso del conductor hilo de guardia                                 | $Ghg := 365 \frac{\text{kgf}}{\text{km}}$                       |  |
| Peso del conductor HG (x vano)                                     | $Pchg := Ghg \cdot a$   | $Pchg = 54.8\text{kgf}$                      |
| Tiro máximo HG   | $Tirhg_3 := 1514\text{kgf}$                                     | Corresponde al estado 3 (máximo viento)      |
|  | $TirhgM := Tirhg_3$   | $TirhgM = 1514\text{kgf}$                    |
| Flecha máxima HG   | $fhg_1 := 1.5\text{m}$  | Corresponde al estado 1 (máximo temperatura) |
|  | $fhgM := fhg_1$   | $fhgM = 1.5\text{m}$                         |
| Carga específica por viento en el hilo de guardia para el estado 3 | $ghgv_3 := 0.027 \frac{\text{kgf}}{\text{m} \cdot \text{mm}^2}$ |  |
| Carga de viento máxima sobre HG                                    | $GvhgM := ghgv_3 \cdot Shg \cdot a$                             | $GvhgM = 203\text{kgf}$                      |
| Tiro del hilo de guardia en el estado de temperatura mínima        | $Tirhg_2 := 1087\text{kgf}$                                     |  |
| Tiro del hilo de guardia a la temperatura media anual              | $Tirhg_5 := 863\text{kgf}$                                      |  |

## Diseño del cabezal de una estructura de suspensión

### Dimensionamiento de los aisladores

Se considera como tiro de cálculo el producido en el estado 3 por ser el máximo.

Adoptamos, para la suspensión, el aislador polimerico marca AVATOR mod. RQ46s. Cuya carga de rotura es de 120 kN.

$$Lca := 1800\text{mm}$$

Longitud del aislador

$$Trotais := 120\text{kN}$$

$$Trotais = 12237\text{kgf}$$

Carga de rotura del aislador

### Cálculo de cargas sobre aisladores

$$G_{ais} := 6\text{kgf}$$

Peso del aislador

$$Gvais := 100\text{N}$$

$$Gvais = 10.2\text{kgf}$$

Esfuerzo del viento sobre cada aislador. Del apunte "Diseño de líneas aéreas" de Martínez Fayo, hoja 96 tabla IV-4

## Cálculo de las distancias de aislamiento

Distancia fase - tierra:

$$L_{ft} := 0.28\text{mm} + 0.005 \frac{\text{mm}}{\text{V}} \cdot ((UM - 50\text{V})) \quad L_{ft} = 0.73\text{m} \quad \text{Distancia mínima fase - tierra}$$

Distancia entre fases:

$$k := 0.95 \text{m}^2 \frac{1}{2} \quad \text{Obtenido de tabla 2-13, página 37 del apunte "Diseño de líneas aéreas" de Martínez Fayo.}$$

$$L_f := (\sqrt{L_{ca} + fM}) \cdot k + \frac{U}{150 \frac{\text{kV}}{\text{m}}} \quad L_f = 2.9\text{m} \quad \text{Distancia mínima entre fases}$$

## Dimensionamiento de la ménsula

Ángulo de inclinación del conductor

$$\beta := \text{atan} \left( \frac{g v_3 \cdot a \cdot S_r + \frac{1}{2} \cdot G_{\text{vais}}}{G \cdot a + \frac{1}{2} \cdot G_{\text{ais}}} \right) \quad \beta = 70.4\text{deg}$$

Longitud de la ménsula de un conductor

Adoptaremos un diámetro del poste estimativo de:  $dp := 0.38\text{m}$

$$L_m := L_{ft} + L_{ca} \cdot \sin(\beta) + \frac{dp}{2} \quad L_m = 2.6\text{m}$$

Adoptamos  $L_m := 2.6\text{m}$

Dado que se trata de una doble terna la cruceta tendrá una longitud:

$$L_{cru} := 2 \cdot L_m \quad L_{cru} = 5.2\text{m}$$

## Cálculo de la altura de la columna

Altura de la cruceta inferior:

|                                       |  |
|---------------------------------------|--|
| $h_{\text{min}} := 9\text{m}$         | Altura mínima desde el suelo al conductor inferior |
| $fM = 2.6\text{m}$                    | Flecha máxima del conductor de fase                |
| $L_{ca} = 1.8\text{m}$                | Longitud de la cadena de aisladores                |
| $ec := 0.15\text{m}$                  | Espesor de la cruceta                              |
| $h_1 := h_{\text{min}} + fM + L_{ca}$ | $h_1 = 13.4\text{m}$ Altura de la cruceta inferior |

### Altura de la cruceta media:

$$dec := Lft + Lca + ec$$

$$dec = 2.7m$$

**Distancia entre crucetas**

$$h2 := h1 + dec$$

$$h2 = 16.1m$$

Altura de la cruceta media

### Altura de la cruceta superior:

$$h3 := h2 + dec$$

$$h3 = 18.8m$$

Altura de la cruceta superior

### Distancia entre cruceta superior e hilo de guardia:

Utilizando un solo conductor para el hilo de guardia, la distancia entre la ménsula superior y el mismo será:

$$dchg := \frac{Lm}{\tan(30deg)} - (Lca)$$

$$dchg = 2.7m$$

Distancia entre cruceta superior e hilo de guardia

Para reducir la longitud de las columnas de suspensión, **optamos por adoptar la configuración de 2 hilos de guardia** que cumplan con la condición de formar un ángulo de 30° con el conductor de fase. Cada hilo de guardia se colocará directamente sobre la ménsula con un herraje que lo soporte de aproximadamente 0,1 m.

### Ubicación del hilo de guardia

$$dvhg := Lca + ec + 0.1m$$

$$dvhg = 2.1m$$

Distancia vertical entre conductor superior e hilo de guardia

$$dhhg := dvhg \cdot \tan(30deg)$$

$$dhhg = 1.2m$$

Distancia horizontal entre conductor superior e hilo de guardia

$$dehg := Lcru - (2 \cdot dhhg)$$

$$dehg = 2.8m$$

Distancia (mínima) entre hilos de guardia

### Altura total de la columna:

$$Hu := h3 + 0.25m$$

$$Hu = 19m$$

Altura útil de la columna (libre)

$$H := Hu + 1.1 \quad H = 20.9m$$

Se adopta:

$$H := 21m$$

Altura total de la columna (empotrado + h libre)

## Cálculo mecánico

Se utilizará una columna de hormigón de 21 metros de longitud, diámetro en la base de 71 cm y en la cima de 42 cm

$$dp := 0.42m$$

Diámetro en la cima

$$Dp := 0.71m$$

Diámetro en el empotramiento

$$H = 21m$$

Altura de la columna

$$Pcol := 9350kgf$$

Peso de la columna

$$Trot := 66000N$$

$$Trot = 6730kgf$$

Carga de rotura de la columna

Denominación

21 / R 6600/ 42-71

## Carga del viento sobre la columna:

Datos necesarios para este calculo:

$$hep := \frac{2}{3} \cdot Hu$$

$$hep = 12.7m$$

Altura efectiva de la columna

Este resultado se obtiene de aplicar el enunciado del punto 10.2.2.5 del "Reglamento de líneas aéreas exteriores de media y alta tensión".

$$Zp := 1.03 + \frac{(1.09 - 1.03) \cdot (hep - 10m)}{(15 - 10) \cdot m}$$

$$Zp = 1.06$$

**Factor del terreno**, por altura y exposición

$$Q := 0.061$$

**Factor proporcional a la densidad del aire**

$$Fc := 1.1$$

**Factor de carga**

### Factor de ráfaga

$$k_{aa} := 0.00$$

$$Ls := 67m$$

$$\zeta := 7$$

Parámetros obtenidos de tabla 10.2-h , pag 54 del "Reglamento de líneas aéreas exteriores de media y alta tensión"

$$Et := 4.9 \sqrt{k} \cdot \left( \frac{10m}{hep} \right)^{\frac{1}{\zeta}}$$

$$Bt := \frac{1}{\left( 1 + 0.375 \frac{hep}{Ls} \right)}$$

$$Gt := 1 + (2.7Et \cdot \sqrt{Bt})$$

$$Gt = 1.11$$

**Factor de ráfaga**

$$Cf := 0.9 \frac{kgf \cdot sec^2}{m^4}$$

**Coefficiente de presión dinámica**

$$\psi := 0 \text{ deg}$$

**Ángulo del viento** con el eje perpendicular a la línea

$$Acp := \frac{(2 \cdot dp + Dp) \cdot Hu}{6}$$

$$Acp = 4.9m^2$$

**Área proyectada**

$$Gvcol := Q \cdot (Zp \cdot V_3)^2 \cdot Fc \cdot Gt \cdot Cf \cdot Acp \cdot (\cos(\psi))^2$$

$$Gvcol = 476.2kgf$$

**Esfuerzo del viento sobre la columna.**

Coefficientes de reducción a la cima:

$$Cc := \frac{2(h1 + h2 + h3)}{Hu}$$

$$Cc = 5.08$$

Coefficiente de reducción a la cima del conductor

$$Cchg := \frac{2 \cdot (h3 + 0.15m + 0.1m)}{Hu}$$

$$Cchg = 2$$

Coefficiente de reducción a la cima del hilo de guardia

## Verificación de las hipótesis

Las hipótesis de cargas se extraen de la "Reglamentación de líneas aéreas exteriores de media y alta tensión". AEA 95301-2007. Y para su verificación se aplica el "Método de factorización de cargas y resistencias (LRFD)" descrito en la misma.

$$K_e \cdot K_c \cdot G \leq \phi \cdot T_{rot}$$

- $K_e := 1$  Factor de carga estructural. Para nuestro caso lo consideramos igual a la unidad.
- $K_c := 1$  Factor de carga que depende del tipo de estructura. Para columna de suspensión es uno.
- $G$  Carga real presente en la estructura dependiendo de la hipótesis planteada.
- $\phi := 0.8$  Factor global de resistencia estructural.
- $T_{rot}$  Carga de rotura de la columna a emplear.

### Cargas de servicio

#### Hipótesis a)

Peso propio y cargas verticales permanentes. Viento máximo normal a la línea.

$$P_{mens} := 2 \cdot 240 \text{ kgf}$$

$$P_{mens} = 480 \text{ kgf}$$

Peso de la ménsula Martínez Fayó Tabla IV - 4  
Pág.97.

$$G_v := 6 \cdot P_{cv} + 6 \cdot G_{ais} + 2 \cdot P_{chg} + 3 \cdot P_{mens} + P_{col}$$

$$G_v = 12043 \text{ kgf}$$

**Peso propio y cargas verticales permanentes**

$$G_{ha} := C_c \cdot (G_v M + G_{vais}) + C_{chg} \cdot G_{vhgM} + G_{vcol}$$

$$G_{ha} = 3579 \text{ kgf}$$

**Carga permanente horizontal normal a la línea.**

$$K_e \cdot K_c \cdot G_{ha} = 3579 \text{ kgf}$$

. < .

$$\phi \cdot T_{rot} = 5384.1 \text{ kgf}$$

**Se cumple la condición**

#### Hipótesis b)

Carga de viento máximo en dirección de la línea

$$G_{hb} := C_c \cdot G_{vais} + G_{vcol}$$

$$G_{hb} = 528 \text{ kgf}$$

**Carga permanente horizontal en la dirección de la línea.**

$$K_e \cdot K_c \cdot G_{hb} = 528 \text{ kgf}$$

. < .

$$\phi \cdot T_{rot} = 5384.1 \text{ kgf}$$

**Se cumple la condición**

#### Hipótesis c)

Carga del viento máxima en dirección oblicua a la línea, sobre estructura, aisladores, accesorios y sobre el conductor en la longitud del vano.

Adoptamos  $\theta := 60 \text{ deg}$  Ángulo entre la dirección del viento y la línea

$$G_{hc} := C_c \cdot G_{vais} + G_{vcol} + (C_{chg} \cdot G_{vhgM} + C_c \cdot G_v M) \cdot \sin(\theta)$$

$$G_{hc} = 3170.2 \text{ kgf}$$

**Carga permanente oblicua a la línea.**

$$K_e \cdot K_c \cdot G_{hc} = 3170.2 \text{ kgf}$$

. < .

$$\phi \cdot T_{rot} = 5384.1 \text{ kgf}$$

**Se cumple la condición**

## Hipótesis e)

Para zona C no se considera carga adicional por hielo, se considera el tiro de todos los conductores reducidos unilateralmente en un 20% y un 40% para el hilo de guardia.

$$G_{he} := (C_{chg} \cdot T_{irhgM40\%}) + (C_c \cdot T_{irM20\%}) \quad G_{he} = 4918.4 \text{ kgf}$$

**Esfuerzo resultante por la reducción pedida por la hipótesis**

$$K_e \cdot K_c \cdot G_{he} = 4918.4 \text{ kgf}$$

. < .

$$\phi \cdot T_{rot} = 5384.1 \text{ kgf}$$

Se cumple la condición

## Cargas de construcción y mantenimiento

Peso propio de la estructura, cargas verticales permanentes con un factor de carga de 2,5 en todos los puntos de suspensión o en algunos y sobrecargas de montaje.

Consideraremos las cargas permanente ubicadas a un lado de las 3 ménsulas de la estructura, así calcularemos la carga desequilibrada.

$$S_{am} := 320 \text{ kgf}$$

Sobrecarga adicional de montaje

$$C_{cr} := \frac{(h_1 + h_2 + h_3)}{H_u}$$

Coficiente de reducción a la cima reducido a tres conductores

$$G_{vm} := \frac{[2.5 C_{cr} (P_{cv} + G_{ais}) + S_{am}] \cdot L_m}{h_2}$$

$$G_{vm} = 247 \text{ kgf}$$

**Esfuerzo producido por las cargas de construcción y mantenimiento**

$$K_e \cdot K_c \cdot G_{vm} = 247.3 \text{ kgf}$$

. < .

$$\phi \cdot T_{rot} = 5384.1 \text{ kgf}$$

**Se cumple la condición**

## Cargas de contención de fallas

Carga longitudinal en cualquiera de los puntos de suspensión para el conductor de fase e hilo de guardia.

$$T_{MM50\%} = 3745 \text{ kgf}$$

$$T_{ir570\%} = 1470.7 \text{ kgf}$$

En ambos casos se toman los tiros máximos.

$$T_{irhgM65\%} = 984.1 \text{ kgf}$$

$$T_{irhg5} = 863 \text{ kgf}$$

Consideramos estos esfuerzos de contención de falla ubicados en un extremo de la ménsula superior.

$$T_{cf} := T_{MM50\%} + T_{irhgM65\%}$$

$$T_{cf} = 4729.1 \text{ kgf}$$

$$M_f := T_{cf} \cdot H_u$$

$$M_t := T_{cf} \cdot L_n$$

$$M_c := 0.5 \left( M_f + \sqrt{M_f^2 + M_t^2} \right)$$

$$M_c = 90271.9 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

$$K_e \cdot K_c \cdot \left( \frac{M_c}{H_u} \right) = 4751.1 \text{ kgf}$$

. < .

$$\phi \cdot T_{rot} = 5384.1 \text{ kgf}$$

**Se cumple la condición**

# Cálculo de una estructura de suspensión angular

## Verificación de las distancias de aislación

Se considera un ángulo de la línea de  $5^\circ$  y vanos de 150m a ambos lados.

Inclinación de la cadena, para el estado de viento máximo en dirección de la bisectriz del ángulo de la línea:

$$\beta := \text{atan} \left( \frac{2T_{ir}M \sin(2.5 \text{ deg}) + g v_3 \cdot a \cdot S_r + \frac{1}{2} \cdot G_{vais}}{G a + \frac{1}{2} \cdot G_{ais}} \right) \quad \beta = 77.5 \text{ deg}$$

Con esta inclinación y la ménsula adoptada previamente, verificamos la distancia horizontal del conductor a la columna

$$L_{hc} := L_m - L_{ca} \cdot \sin(\beta) - \frac{dp}{2} \quad L_{hc} = 0.633 \text{ m}$$

Esta distancia no es suficiente dado que la distancia mínima Fase-tierra es:  $L_{ft} = 0.73 \text{ m}$

Por tal motivo en suspensiones angulares se adoptará el uso de dos aisladores, del lado exterior al ángulo, para evitar la inclinación por acción del viento. En consecuencia la longitud de las ménsulas no será modificada.

## Verificación de las hipótesis para una suspensión angular

Las hipótesis de cargas se extraen de la "Reglamentación de líneas aéreas exteriores de media y alta tensión". AEA 95301-2007. Y para su verificación se aplica el "Método de factorización de cargas y resistencias (LRFD)" descrito en la misma.

$$K_e \cdot K_c \cdot G \leq \phi \cdot T_{rot}$$

$K_e := 1$  Factor de carga estructural. Para nuestro caso lo consideramos igual a la unidad.

$K_c := 1$  Factor de carga que depende del tipo de estructura. Para columna de suspensión es uno.

$G$  Carga real presente en la estructura dependiendo de la hipótesis planteada.

$\phi := 0.8$  Factor global de resistencia estructural.

$T_{rot} = 6730 \text{ kgf}$  Carga de rotura de la columna a emplear.

## Cargas de servicio para una suspensión angular

**Hipótesis a)** Carga permanente horizontal en dirección a la bisectriz del ángulo de la línea.

Se calcula el esfuerzo resultante del viento sobre el conductor y se adopta el mismo razonamiento para el hilo de guardia.

$\alpha := 5 \text{ deg}$  Ángulo de la línea

$$G_{hav} := 2 \cdot G_{vais} \cdot C_c + G_{vcol}$$

$$G_{hav} = 579.8 \text{ kgf}$$

$$G_{hat} := 2 \cdot (T_{irM} \cdot C_c + T_{irhgM} \cdot C_{chg}) \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)$$

$$G_{hat} = 1881.2 \text{ kgf}$$

$$K_e \cdot K_c \cdot (G_{hav} + G_{hat}) = 2461 \text{ kgf}$$

. < .

$$\phi \cdot T_{rot} = 5384.1 \text{ kgf}$$

Se cumple la condición

### Hipótesis b)

Carga permanente horizontal en dirección normal a la bisectriz del ángulo de la línea.

$$G_{hbv} := G_{vais} \cdot C_c + G_{vcol}$$

$$G_{hbv} = 528 \text{ kgf}$$

$$G_{hbt} := 2 \cdot (T_{irM} \cdot C_c + T_{irhgM} \cdot C_{chg}) \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)$$

$$G_{hbt} = 1881.2 \text{ kgf}$$

$$K_e \cdot K_c \cdot \sqrt{G_{hbv}^2 + G_{hbt}^2} = 1953.9 \text{ kgf}$$

. < .

$$\phi \cdot T_{rot} = 5384.102 \text{ kgf}$$

Se cumple la condición

### Hipótesis c)

Carga del viento máxima en dirección oblicua a la línea, sobre estructura, aisladores, accesorios y sobre el conductor en la longitud del vano.

Consideramos:

$$\theta := 60 \text{ deg}$$

El ángulo del viento con respecto al eje normal a la bisectriz del ángulo de la línea

Viento sobre poste y aisladores

$$V_x := (G_{vcol} + G_{vais}) \cdot \cos(\theta)$$

$$V_x = 243.2 \text{ kgf}$$

$$V_y := (G_{vcol} + G_{vais}) \cdot \sin(\theta)$$

$$V_y = 421.3 \text{ kgf}$$

Tiro de los conductores

$$T_{irx} := 2 \cdot (T_{irM} \cdot C_c + T_{irhgM} \cdot C_{chg}) \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)$$

$$T_{irx} = 1881.2 \text{ kgf}$$

La resultante:

$$G_{hxc} := V_x + T_{irx}$$

$$G_{hxc} = 2124.5 \text{ kgf}$$

$$G_{hyc} := V_y$$

$$G_{hyc} = 421.3 \text{ kgf}$$

$$G_{hcc} := \sqrt{G_{hxc}^2 + G_{hyc}^2}$$

$$G_{hcc} = 2165.8 \text{ kgf}$$

**Esfuerzo resultante para la hipótesis C**

$$K_e \cdot K_c \cdot G_{hcc} = 2165.8 \text{ kgf}$$

. < .

$$\phi \cdot T_{rot} = 5384.102 \text{ kgf}$$

**Se cumple la condición**

### Hipótesis e)

Para zona C no se considera carga adicional por hielo, se considera el tiro de todos los conductores reducidos unilateralmente en un 20% y un 40% para el hilo de guardia.

Lado de reducción

$$G_{herx} := \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot [(C_{chg} \cdot T_{irhgM} 60\%) + (C_c \cdot T_{irM} 80\%)] \quad G_{herx} = 726 \text{ kgf}$$

$$G_{hery} := \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot [(C_{chg} \cdot T_{irhgM} 60\%) + (C_c \cdot T_{irM} 80\%)] \quad G_{hery} = 16629.9 \text{ kgf}$$

Lado sin reducción

$$G_{hetx} := \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot [(C_{chg} \cdot T_{irhgM}) + (C_c \cdot T_{irM})] \quad G_{hetx} = 941 \text{ kgf}$$

$$G_{hety} := \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot [(C_{chg} \cdot T_{irhgM}) + (C_c \cdot T_{irM})] \quad G_{hety} = 21544 \text{ kgf}$$

La resultante:

$$G_{hex} := G_{hetx} + G_{herx}$$

$$G_{hey} := G_{hety} - G_{hery}$$

$$G_{he} := \sqrt{G_{hex}^2 + G_{hey}^2} \quad G_{he} = 5188.7 \text{ kgf}$$

**Esfuerzo resultante para la hipótesis e**

$$K_e \cdot K_c \cdot G_{he} = 5188.7 \text{ kgf}$$

$\cdot < \cdot$

$$\phi \cdot T_{rot} = 5384.1 \text{ kgf}$$

**Se cumple la condición**

## Cargas de construcción y mantenimiento para una suspensión angular

Paso propio y cargas verticales permanentes con un factor de 2.5 aplicadas en cualquier punto de sujeción, en varios o en todos simultáneamente. Sobrecarga adicional de montaje. Fuerzas resultantes de las tracciones de los conductores, consideradas a la temperatura mínima.

Consideraremos las cargas permanente ubicadas a un lado de las 3 ménsulas de la estructura, así calcularemos la carga desequilibrada.

$$S_{am} := 320 \text{ kgf}$$

Sobrecarga adicional de montaje

$$C_{cr} := \frac{(h_1 + h_2 + h_3)}{H_u}$$

Coficiente de reducción a la cima reducido a tres conductores

$$G_{vm} := \frac{[2.5 C_{cr} \cdot (P_{cv} + 2 \cdot G_{ais}) + S_{am}] \cdot L_m}{h_2}$$

$$G_{vm} = 253 \text{ kgf}$$

**Esfuerzo desequilibrante producido por las cargas de construcción y mantenimiento**

$$G_{tm} := T_{ir_2} \cdot C_{cr} \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)$$

$$G_{tm} = 318.2 \text{ kgf}$$

**Esfuerzo producido por el tiro de tres conductores a un lado de la estructura**

$$K_e \cdot K_c \cdot (G_{vm} + G_{tm}) = 571.6 \text{ kgf}$$

$\cdot < \cdot$

$$\phi \cdot T_{rot} = 5384.102 \text{ kgf}$$

**Se cumple la condición**

## Cargas de contención de fallas

Carga longitudinal en cualquiera de los puntos de suspensión para el conductor de fase e hilo de guardia equivalente al 50% del tiro máximo de fase o al 70% del tiro a temperatura media anual.

$$TMM_{50\%} = 3745 \text{ kgf}$$

$$Tir_{5\cdot 70\%} = 1470.7 \text{ kgf}$$

En ambos casos se toman los tiros máximos.

$$TirhgM_{65\%} = 984.1 \text{ kgf}$$

$$Tirhg_5 = 863 \text{ kgf}$$

Consideramos estos esfuerzos de contención de falla ubicados en un extremo de la ménsula superior.

$$Tcf := TMM_{50\%} + TirhgM_{65\%}$$

$$Tcf = 4729.1 \text{ kgf}$$

$$Mf := Tcf \cdot Hu$$

$$Mt := Tcf \cdot Ln$$

$$Mc := 0.5 \left( Mf + \sqrt{Mf^2 + Mt^2} \right)$$

$$Mc = 90271.9 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

$$Ke \cdot Kc \cdot \left( \frac{Mc}{Hu} \right) = 4751.1 \text{ kgf}$$

. < .

$$\phi \cdot Trot = 5384.102 \text{ kgf}$$

**Se cumple la condición**

# Estructura de retención

## Datos necesarios

|                             |                     |                      |
|-----------------------------|---------------------|----------------------|
| Tensión nominal             | $U := 132\text{kV}$ |                      |
| Tensión máxima de servicio: | $UM := U \cdot 1.1$ | $UM := 145\text{kV}$ |
| Vano                        | $a := 150\text{m}$  |                      |

## Datos del conductor de fase

|  |   |   |
|--|---|---|
| Sección del conductor de fase  | $Sr := 353.5\text{mm}^2$  |   |
| Peso del conductor   | $G := 1230 \frac{\text{kgf}}{\text{km}}$                        |   |
| Peso del conductor (x vano)  | $Pcv := G \cdot a$  | $Pcv = 184.5\text{kgf}$                           |
| Carga de rotura del conductor  | $\sigma R := 10700\text{kgf}$                                   |   |
| Tensión mecánica máxima  | $TMM := \sigma R \cdot 70\%$                                    | $TMM = 7490\text{kgf}$                            |
| Tiro máximo del conductor de fase                                    | $Tir_3 := 3651\text{kgf}$                                       | Es el correspondiente al estado 3 (Máximo viento) |
|  | $TirM := Tir_3$   |   |
| Flecha máxima  | $f_1 := 2.6\text{m}$  | Corresponde al estado 1 (Máxima temperatura)      |
|  | $fM := f_1$   |   |
| Carga específica por viento en el conductor de fase para el estado 3 | $gv_3 := 0.00983 \frac{\text{kgf}}{\text{m} \cdot \text{mm}^2}$ |   |
| Carga de viento máxima   | $GvM := gv_3 \cdot Sr \cdot a$                                  | $GvM = 521\text{kgf}$                             |
| Tiro del conductor de fase a la temperatura media anual              | $Tir_5 := 2101\text{kgf}$                                       |   |
| Tiro del conductor de fase a la temperatura media anual              | $Tir_2 := 2874\text{kgf}$                                       |   |
| Velocidad del viento para el estado 3                                | $V_3 := 35 \frac{\text{m}}{\text{s}}$                           |   |

## Datos del conductor hilo de guardia

|  |  |  |
|--|--|--|
| Sección del conductor HG   | $S_{hg} := 50 \text{ mm}^2$  |  |
| Peso del conductor hilo de guardia                                 | $G_{hg} := 365 \frac{\text{kgf}}{\text{km}}$                           |  |
| Peso del conductor HG (x vano)                                     | $P_{chg} := G_{hg} \cdot a$  | $P_{chg} = 54.8 \text{ kgf}$                 |
| Tiro máximo HG   | $T_{irhg_3} := 1514 \text{ kgf}$                                       | Corresponde al estado 3 (máximo viento)      |
|  | $T_{irhgM} := T_{irhg_3}$  | $T_{irhgM} = 1514 \text{ kgf}$               |
| Flecha máxima HG   | $f_{hg_1} := 1.5 \cdot r$  | Corresponde al estado 1 (máxima temperatura) |
|  | $f_{hgM} := f_{hg_1}$  | $f_{hgM} = 1.5 \text{ m}$                    |
| Carga específica por viento en el hilo de guardia para el estado 3 | $g_{hgv_3} := 0.02713 \frac{\text{kgf}}{\text{m} \cdot \text{mm}^2} *$ |  |
| Carga de viento máxima sobre HG                                    | $G_{vhgM} := g_{hgv_3} \cdot S_{hg} \cdot a$                           | $G_{vhgM} = 203 \text{ kgf}$                 |
| Tiro del hilo de guardia en el estado de temperatura mínima        | $T_{irhg_2} := 1087 \text{ kgf}$                                       |  |
| Tiro del hilo de guardia a la temperatura media anual              | $T_{irhg_5} := 863 \text{ kgf}$  |  |

## Diseño del cabezal de una estructura de retención

### Dimensionamiento de la cadena de aisladores

Se considera como tiro de cálculo el producido en el estado 3 por ser el máximo.

Adoptamos, para la suspensión, el aislador polimérico marca AVATOR mod. RQ46s. Cuya carga de rotura es de 120 kN.

$$L_{ca} := 1800 \text{ mm}$$

Longitud del aislador

$$T_{rotais} := 120 \text{ kN}$$

$$T_{rotais} = 12237 \text{ kgf}$$

Carga de rotura del aislador

### Cálculo de cargas sobre aisladores

$$G_{ais} := 6 \text{ kgf}$$

Peso del aislador

$$G_{vais} := 100 \text{ N}$$

$$G_{vais} = 10.2 \text{ kgf}$$

Esfuerzo del viento sobre cada aislador. Del apunte "Diseño de líneas aéreas" de Martínez Fayo, hoja 96 tabla IV-4

## Cálculo de las distancias de aislamiento

Distancia fase - tierra:

$$L_{ft} := 0.28\text{mm} + 0.005 \frac{\text{mm}}{\text{V}} \cdot ((UM - 50\text{V})) \quad L_{ft} = 0.73\text{m} \quad \text{Distancia mínima fase - tierra}$$

## Cálculo de la distancia de aislamiento

Distancia fase - tierra:

$$L_{ft} := 0.28\text{mm} + 0.005 \frac{\text{mm}}{\text{V}} \cdot ((UM - 50\text{V})) \quad L_{ft} = 0.73\text{m} \quad \text{Distancia mínima fase - tierra}$$

Distancia entre fases:

$$k := 0.95\text{m}^{\frac{1}{2}} \quad \text{Obtenido de tabla 2-13, página 37 del apunte "Diseño de líneas aéreas" de Martínez Fayo.}$$

$$L_f := (\sqrt{L_{ca} + fM}) \cdot k + \frac{U}{150 \frac{\text{kV}}{\text{m}}} \quad L_f = 2.9\text{m} \quad \text{Distancia mínima entre fases}$$

## Dimensionamiento de la ménsula

Distancia ecualizador  $ec := 0.28\text{m}$

Flecha del puente de conexión:  $f_{pc} := ec + L_{ft} \quad f_{pc} = 1\text{m}$

Distancia entre ménsula inferior y superior:  $dec := 2 \cdot f_{pc} \quad dec = 2\text{m}$

Verificación de la ménsula:

$dp := 0.4\text{m}$  Diámetro del poste

$\beta := 20\text{deg}$  Inclinación máxima del puente

$$L_m := L_{ft} + f_{pc} \cdot \sin(\beta) + \frac{dp}{2} \quad L_m = 1.3\text{m} \quad \text{Longitud de la ménsula}$$

Adoptamos  $L_m := 2.6\text{m}$  Que es la ménsula de suspensión

Dado que se trata de una doble terna la cruceta tendrá una longitud:

$$L_{cru} := 2 \cdot L_m \quad L_{cru} = 5.2\text{m}$$

## Cálculo de la altura de la columna

### Altura de la cruceta inferior:

|                        |              |  |
|------------------------|--------------|--|
| $h_{min} := 9 \cdot r$ |              | Altura mínima desde el suelo al conductor inferior |
| $fM = 2.6m$            |              | Flecha máxima del conductor de fase                |
| $Lca = 1.8m$           |              | Longitud de la cadena de aisladores                |
| $ec := 0.15m$          |              | Espesor de la cruceta                              |
| $h1 := h_{min} + fM$   | $h1 = 11.6m$ | Altura de la cruceta inferior                      |

### Altura de la cruceta media:

|                      |              |                            |
|----------------------|--------------|----------------------------|
| $dec := 2 \cdot fpc$ | $dec = 2m$   | Distancia entre ménsulas   |
| $h2 := h1 + dec$     | $h2 = 13.6m$ | Altura de la cruceta media |

### Altura de la cruceta superior:

|                  |              |                               |
|------------------|--------------|-------------------------------|
| $h3 := h2 + dec$ | $h3 = 15.6m$ | Altura de la cruceta superior |
|------------------|--------------|-------------------------------|

### Ubicación del hilo de guardia:

Para mantener el ángulo de protección, respetamos las distancias verticales y horizontales entre conductor superior e hilo de guardia presentes en la suspensión.  
Por este motivo, definimos la altura de la ménsula de los hilos de guardia sobre la ménsula superior.

|                                  |               |   |
|----------------------------------|---------------|---|
| $dvhg := 2 \cdot r$              |               | Distancia vertical entre conductor superior e hilo de guardia   |
| $dhhg := dvhg \cdot \tan(30deg)$ | $dhhg = 1.2m$ | Distancia horizontal entre conductor superior e hilo de guardia |
| $dehg := Lcru - (2 \cdot dhhg)$  | $dehg = 2.9m$ | Distancia (mínima) entre hilos de guardia                       |
| $lmhg := 3 \cdot r$              |               | Longitud de la ménsula del hilo de guardia adoptada             |

### Altura total de la columna:

|                          |              |                                   |
|--------------------------|--------------|-----------------------------------|
| $Hu := h3 + dvhg + 0.1r$ | $Hu = 17.7m$ | Altura útil de la columna (libre) |
|--------------------------|--------------|-----------------------------------|

|                     |             |            |              |  |
|---------------------|-------------|------------|--------------|--|
| $H := Hu \cdot 1.1$ | $H = 19.5m$ | Se adopta: | $H := 19.5m$ | Altura total de la columna (empotrado + h libre) |
|---------------------|-------------|------------|--------------|--|

## Cálculo mecánico

Se utilizarán dos columnas de hormigón de 20 metros de longitud, diámetro estimado en la base de 71 cm y en la cima de 38 cm cada uno.

$$d_p := 0.31 \text{ m}$$

Diámetro en la cima

$$D_p := 0.61 \text{ m}$$

Diámetro en el empotramiento

$$H = 19.5 \text{ m}$$

Altura de la columna

$$P_{col} := 5726 \text{ kgf}$$

Peso de la columna

$$T_{rot} := 3300 \text{ kgf}$$

$$T_{rot} = 3300 \text{ kgf}$$

Carga de rotura de la columna

Denominación

19,5 / R 3300/ 31-61

Carga del viento sobre la columna:

Datos necesarios para este calculo:

$$h_{ep} := \frac{2}{3} \cdot H_u$$

$$h_{ep} = 11.8 \text{ m}$$

Altura efectiva de la columna

Este resultado se obtiene de aplicar el enunciado del punto 10.2.2.5 del "Reglamento de líneas aéreas exteriores de media y alta tensión".

$$Z_p := 1.03 + \frac{(1.09 - 1.03) \cdot (h_{ep} - 10 \text{ m})}{(15 - 10) \cdot \text{m}}$$

$$Z_p = 1.05$$

**Factor del terreno**, por altura y exposición

$$Q := 0.061$$

**Factor proporcional a la densidad del aire**

$$F_c := 1.1$$

**Factor de carga**

**Factor de ráfaga**

$$k_{aa} := 0.00$$

$$L_s := 67 \text{ m}$$

$$\zeta := 7$$

Parámetros obtenidos de tabla 10.2-h , pag 54 del "Reglamento de líneas aéreas exteriores de media y alta tensión"

$$E_t := 4.9 \sqrt{k_{aa}} \cdot \left( \frac{10 \text{ m}}{h_{ep}} \right)^{\frac{1}{\zeta}}$$

$$B_t := \frac{1}{\left( 1 + 0.375 \frac{h_{ep}}{L_s} \right)}$$

$$G_t := 1 + (2.7 E_t \sqrt{B_t})$$

$$G_t = 1.11$$

**Factor de ráfaga**

$$C_f := 0.9 \frac{\text{kgf} \cdot \text{sec}^2}{\text{m}^4}$$

**Coefficiente de presión dinámica**

$$\psi := 0 \text{ deg}$$

**Angulo del viento** con el eje perpendicular a la línea

$$A_{cp} := \frac{(2 \cdot d_p + D_p) \cdot H_u}{3}$$

$$A_{cp} = 7.3 \text{ m}^2$$

**Area proyectada transversal**

$$G_{vv} := 200\text{N}$$

Esfuerzo sobre conjunto de vínculos para 132 kV

$$G_{vcolt} := G_{vv} + Q \cdot (Z_p \cdot V_3)^2 \cdot F_c \cdot G_t \cdot C_f \cdot A_{cp} \cdot (\cos(\psi))^2$$

$$G_{vcolt} = 714.8\text{kgf}$$

**Esfuerzo del viento sobre la columna en dirección transversal.**

$$A_{cp} := \frac{(2 \cdot d_p + D_p) \cdot H_u}{4}$$

$$A_{cp} = 5.4\text{m}^2$$

**Area proyectada longitudinal**

$$G_{vcoll} := Q \cdot (Z_p \cdot V_3)^2 \cdot F_c \cdot G_t \cdot C_f \cdot A_{cp} \cdot (\cos(\psi))^2$$

$$G_{vcoll} = 520.8\text{kgf}$$

**Esfuerzo del viento sobre la columna en dirección longitudinal.**

Coeficiente de reducción a la cima:

$$C_c := \frac{2(h_1 + h_2 + h_3)}{H_u}$$

$$C_c = 4.61$$

Coeficiente de reducción a la cima del conductor

$$C_{chg} := \frac{2 \cdot (h_3 + d_{vhg})}{H_u}$$

$$C_{chg} = 1.99$$

Coeficiente de reducción a la cima del hilo de guardia

## Verificación de las hipótesis

Las hipótesis de cargas se extraen de la "Reglamentación de líneas aéreas exteriores de media y alta tensión". AEA 95301-2007. Y para su verificación se aplica el "Método de factorización de cargas y resistencias (LRFD)" descrito en la misma.

$$K_e \cdot K_c \cdot G \leq \phi \cdot T_{rot}$$

$K_e := 1$  Factor de carga estructural. Para nuestro caso lo consideramos igual a la unidad.

$K_c := 1$  Factor de carga que depende del tipo de estructura. Para estructuras de retención es uno.

$G$  Carga real presente en la estructura dependiendo de la hipótesis planteada.

$\phi := 0.7$  Factor global de resistencia estructural. Tabla 12.6-c "AEA 95301-2007"

$T_{rot}$  Carga de rotura de la columna a emplear.

## Cargas de servicio

### Hipótesis a)

$$P_{mens} := 2 \cdot 300\text{kgf}$$

$$P_{mens} = 600\text{kgf}$$

Peso de la ménsula Martínez Fayó Tabla IV - 4 Pag 65.

$$G_v := 6 \cdot P_{cv} + 6 \cdot 2G_{ais} + 2 \cdot P_{chg} + 3P_{mens} + 2 \cdot P_{colt}$$

$$G_v = 14541\text{kgf}$$

Peso propio y cargas verticales permanentes

$$G_{ha} := C_c \cdot (G_v M + 2 \cdot G_{vais}) + C_{chg} \cdot G_{vhg} M + G_{vcolt}$$

$$G_{ha} = 3615.4\text{kgf}$$

Carga permanente horizontal normal a la línea.

$$K_e \cdot K_c \cdot \frac{G_{ha}}{2} = 1807.7\text{kgf}$$

. < .

$$\phi \cdot T_{rot} = 2310\text{kgf}$$

Se cumple la condición

### Hipótesis b)

$$G_{hb} := G_{vcol1}$$

$$G_{hb} = 520.8 \text{kgf}$$

Carga permanente horizontal en la dirección de la línea.

$$K_e \cdot K_c \cdot \frac{G_{hb}}{8} = 65.1 \text{kgf}$$

. < .

$$\phi \cdot T_{rot} = 2310 \text{kgf}$$

Se cumple la condición

### Hipótesis c)

Carga del viento máxima en dirección oblicua a la línea, sobre estructura, aisladores, accesorios y sobre el conductor en la longitud del vano.

Adoptamos

$$\theta := 60 \text{deg}$$

$$G_{hcl} := (G_{vcol1} + C_{chg} \cdot G_{vhgM} + C_c \cdot G_{vM} + C_c \cdot 2 \cdot G_{vais}) \cdot \cos(\theta)$$

$$G_{hcl} = 1808 \text{kgf}$$

$$G_{hct} := (G_{vcol1} + C_{chg} \cdot G_{vhgM} + C_c \cdot G_{vM} + C_c \cdot 2 \cdot G_{vais}) \cdot \sin(\theta)$$

$$G_{hct} = 3131.1 \text{kgf}$$

$$K_e \cdot K_c \cdot \left( \frac{G_{hcl}}{8} + \frac{G_{hct}}{2} \right) = 1791.5 \text{kgf}$$

. < .

$$\phi \cdot T_{rot} = 2310 \text{kgf}$$

Se cumple la condición

### Hipótesis e)

En una retención en recta los tiros están equilibrados.

## Cargas de construcción y mantenimiento

### Hipótesis a)

Peso propio de la estructura, cargas verticales permanentes con un factor de carga de 2,5 en uno, varios o todos los puntos de sujeción de fase o hilo de guardia Sobrecargas de montaje.

Consideraremos la carga permanente ubicadas aun lado de las 3 ménsulas de la estructura, así calcularemos la carga desequilibrada.

$$S_{am} := 320 \text{kgf}$$

Sobrecarga adicional de montaje

$$G_{hma} := \frac{[2.5 [3 \cdot (P_{cv} + 2G_{ais})] + S_{am}] \cdot L_m}{h_1}$$

$$G_{hma} = 402 \text{kgf}$$

$$K_e \cdot K_c \cdot \frac{G_{hma}}{2} = 201 \text{kgf}$$

. < .

$$\phi \cdot T_{rot} = 2310 \text{kgf}$$

Se cumple la condición

### Hipótesis b)

Cargas verticales permanentes con un factor de carga de 2,5 .Carga unilateral de todos los conductores correspondientes a la tracción considerada a temperatura media anual, con un factor de carga de 1.5.

$$G_{hmb} := 1.5 \cdot (C_c \cdot T_{ir5} + C_{chg} \cdot T_{irhg5})$$

$$G_{hmb} = 17098 \text{kgf}$$

$$K_e \cdot K_c \cdot \frac{G_{hmb}}{8} = 2137.2 \text{kgf}$$

. < .

$$\phi \cdot T_{rot} = 2310 \text{kgf}$$

Se cumple la condición

## Cargas de contención de fallas

### Hipótesis a)

Tiro máximo unilateral aplicado en cualquiera de los puntos de sujeción de fase o cable de guardia. Fuerza resultante de las tracciones de los restantes conductores.

Suponemos el corte de un conductor de la ménsula superior.

$$M_f := TMM \cdot h_3$$

$$M_t := TMM \cdot L_{tr}$$

$$M_c := 0.5 \left( M_f + \sqrt{M_f^2 + M_t^2} \right)$$

$$M_c = 117799.5 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

$$G_{hcfa} := \frac{M_c}{H_u}$$

$$G_{hcfa} = 6647.8 \text{ kgf}$$

$$K_e \cdot K_c \cdot \frac{G_{hcfa}}{8} = 831 \text{ kgf}$$

. < .

$$\phi \cdot T_{rot} = 2310 \text{ kgf}$$

Se cumple la condición

## Cálculo de una estructura de retención angular

### Verificación de las distancias de aislación

Vanos de 150m a ambos lados.

$$\alpha := 90 \text{ deg}$$

Ángulo de la línea

Adoptamos el uso de cadenas de paso para la sujeción del puente de conexión ubicadas en las ménsulas que quedan en el lado exterior del ángulo de la línea.

Se adoptara para este caso una **estructura triple**.

### Dimensionamiento de la ménsula

Longitud de la cadena de paso

$$L_{cp} := 1.8 \text{ m}$$

Distancia del eje de la estructura al borde exterior del poste a la altura de la ménsula inferior.

$$d := 0.85 \text{ m}$$

Verificación de la ménsula:

$$\beta := 20 \text{ deg}$$

Inclinación máxima del puente de conexión

$$L_m := d + L_{ft} + L_{cp} \cdot \sin(20 \text{ deg})$$

$$L_m = 2.2 \text{ m}$$

Longitud mínima de la ménsula

Para mantener la distancia entre conductores (estructura de suspensión) definimos otro largo de la ménsula.

$$L_m := \frac{L_{ms}}{\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)}$$

$$L_{ms} := 2.6 \text{ m}$$

Ménsula de suspensión

$$L_m = 3.7 \text{ m}$$

Ménsula adoptada para retención angular

Dado que se trata de una doble terna la cruceta tendrá una longitud:

$$L_{cru} := 2 \cdot L_n$$

$$L_{cru} = 7.4m$$

## Cálculo de la altura de la columna

### Altura de la cruceta inferior:

$$h_{min} := 9 \cdot r$$

Altura mínima desde el suelo al conductor inferior

$$fM = 2.6m$$

Flecha máxima del conductor de fase

$$ec := 0.15m$$

Espesor de la cruceta

$$h1 := h_{min} + fM$$

$$h1 = 11.6m$$

Altura de la cruceta inferior

### Altura de la cruceta media:

$$dec := L_{cp} + L_{ft} + ec$$

$$dec = 2.7m$$

Distancia entre ménsula inferior y superior:

$$h2 := h1 + dec$$

$$h2 = 14.3m$$

Altura de la cruceta media

### Altura de la cruceta superior:

$$h3 := h2 + dec$$

$$h3 = 17m$$

Altura de la cruceta superior

### Ubicación del hilo de guardia:

Como las distancias entre conductores no se modifican, la ubicación de los hilos de guardia en la estructura es igual a la de la retención en recta.

Por este motivo, recordamos la altura de la ménsula de los hilos de guardia sobre la ménsula superior.

$$dvhg := 2.1 \cdot r$$

Distancia vertical entre conductor superior e hilo de guardia

$$dhhg := dvhg \cdot \tan(30deg)$$

$$dhhg = 1.2m$$

Distancia horizontal entre conductor superior e hilo de guardia

$$dehg := L_{cru} - (2 \cdot dhhg)$$

$$dehg = 4.9m$$

Distancia (mínima) entre hilos de guardia

$$l_{mhg} := 5 \cdot r$$

Longitud de la ménsula adoptada

### Altura total de la columna:

$$H_u := h3 + dvhg + 0.1 \cdot r$$

$$H_u = 19.2m$$

Altura útil de la columna (libre)

$$H := H_u \cdot 1.1 \quad H = 21.1m$$

Se adopta:

$$H := 21.5m$$

Altura total de la columna (empotrado + h libre)

## Cálculo mecánico

Se utilizarán tres columnas de hormigón de 22 metros de longitud, diámetro estimado en la base de 71 cm y en la cima de 38 cm cada uno.

$d_p := 0.34\text{m}$  Diámetro en la cima

$D_p := 0.66\text{m}$  Diámetro en el empotramiento

$H = 21.5\text{m}$  Altura de la columna

$P_{col} := 7111\text{kgf}$  Peso de la columna

$T_{rot} := 4200\text{kgf}$   $T_{rot} = 4200\text{kgf}$  Carga de rotura de la columna

Denominación 21,5 / R 4200/ 31-66

Carga del viento sobre la columna triple:

Datos necesarios para este calculo:

$hep := \frac{2}{3} \cdot Hu$   $hep = 12.8\text{m}$  Altura efectiva de la columna

Este resultado se obtiene de aplicar el enunciado del punto 10.2.2.5 del "Reglamento de líneas aéreas exteriores de media y alta tensión".

$Z_p := 1.03 + \frac{(1.09 - 1.03) \cdot (hep - 10\text{m})}{(15 - 10) \cdot \text{m}}$   $Z_p = 1.06$  Factor del terreno, por altura y exposición

$Q := 0.061$  Factor proporcional a la densidad del aire

$F_c := 1.1$  Factor de carga

### Factor de ráfaga

$k := 0.00$

$L_s := 67\text{m}$

$\zeta := 7$

Parámetros obtenidos de tabla 10.2-h , pag 54 del "Reglamento de líneas aéreas exteriores de media y alta tensión"

$$E_t := 4.9 \sqrt{k} \cdot \left( \frac{10\text{m}}{hep} \right)^{\frac{1}{\zeta}}$$

$$B_t := \frac{1}{\left( 1 + 0.375 \frac{hep}{L_s} \right)}$$

$$G_t := 1 + (2.7 E_t \cdot \sqrt{B_t})$$

$G_t = 1.11$

Factor de ráfaga

$$C_f := 0.9 \frac{\text{kgf} \cdot \text{sec}^2}{\text{m}^4}$$

Coefficiente de presión dinámica

$\psi := 0\text{-deg}$

Angulo del viento con el eje perpendicular a la línea

$$A_{cp} := \frac{(2 \cdot d_p + D_p) \cdot Hu}{2}$$

$A_{cp} = 12.8\text{m}^2$

Area proyectada

$$G_{vcol} := Q \cdot (Z_p \cdot V_3)^2 \cdot F_c \cdot G_t \cdot C_f \cdot A_{cp} \cdot (\cos(\psi))^2$$

$G_{vcol} = 1247.1\text{kgf}$

Esfuerzo del viento sobre la columna.

## Verificación de las hipótesis para una retención angular

Las hipótesis de cargas se extraen de la "Reglamentación de líneas aéreas exteriores de media y alta tensión". AEA 95301-2007. Y para su verificación se aplica el "Método de factorización de cargas y resistencias (LRFD)" descrito en la misma.

$$K_e \cdot K_c \cdot G \leq \phi \cdot T_{rot}$$

|                             |  |
|-----------------------------|--|
| $K_e := 1$                  | Factor de carga estructural. Para nuestro caso lo consideramos igual a la unidad.      |
| $K_c := 1$                  | Factor de carga que depende del tipo de estructura. Para columna de suspensión es uno. |
| $G$                         | Carga real presente en la estructura dependiendo de la hipótesis planteada.            |
| $\phi := 0.7$               | Factor global de resistencia estructural.  |
| $T_{rot} = 4200 \text{kgf}$ | Carga de rotura de la columna a emplear.   |

### Cargas de servicio para una retención angular

#### Hipótesis a)

Peso propio y cargas verticales permanentes. Viento máximo en dirección de la bisectriz del ángulo de la línea. Fuerza resultante de las tracciones de los conductores.

$$P_{mens} := 2 \cdot 300 \text{kgf} \quad P_{mens} = 600 \text{kgf} \quad \text{Peso de la ménsula Martínez Fayó Tabla IV - 4 Pag 65.}$$

$$G_v := 6 \cdot P_{cvt} + 12 \cdot 2G_{ais} + 3 \cdot G_{ais} + 2 \cdot P_{chg} + 3P_{mens} + 3P_{col} \quad G_v = 24512 \text{kgf} \quad \text{Peso propio y cargas verticales permanentes}$$

Se calcula el esfuerzo resultante del viento sobre el conductor y se adopta el mismo razonamiento para el hilo de guardia.

$$G_{hav} := G_{vais} \cdot C_c + G_{vcol} \quad G_{hav} = 1294.1 \text{kgf}$$

$$G_{hat} := 2(T_{irM}C_c + T_{irhgM}C_{chg}) \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \quad G_{hat} = 28052.3 \text{kgf}$$

$$K_e \cdot K_c \cdot \frac{(G_{hav} + G_{hat})}{10} = 2934.6 \text{kgf} \quad . < \quad \phi \cdot T_{rot} = 2940 \text{kgf} \quad \text{Se cumple la condición}$$

#### Hipótesis b)

Viento máximo en dirección normal a la bisectriz del ángulo de la línea. Esfuerzos resultantes de las tracciones de los conductores.

$$G_{hvb} := G_{vais} \cdot C_c + G_{vcol} \quad G_{hvb} = 1294.1 \text{kgf}$$

$$G_{hbt} := 2(T_{irM}C_c + T_{irhgM}C_{chg}) \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \quad G_{hbt} = 28052.3 \text{kgf}$$

$$K_e \cdot K_c \cdot \frac{\sqrt{G_{hvb}^2 + G_{hbt}^2}}{10} = 2808.2 \text{kgf} \quad . < . \quad \phi \cdot T_{rot} = 2940 \text{kgf} \quad \text{Se cumple la condición}$$

### Hipótesis C)

Carga del viento máxima en dirección oblicua a la línea, sobre estructura, aisladores, accesorios y sobre el conductor en la longitud de los semivanos adyacentes.

Consideramos:  $\theta := 60 \text{ deg}$  El ángulo del viento con respecto al eje normal a la bisectriz del ángulo de la línea

Viento sobre poste y aisladores

$$V_x := (G_{vcol} + G_{vais}) \cdot \cos(\theta) \quad V_x = 628.7 \text{ kgf} \quad V_y := (G_{vcol} + G_{vais}) \cdot \sin(\theta) \quad V_y = 1088.9 \text{ kgf}$$

Tiro de los conductores

$$T_{irx} := 2 \cdot (T_{irM} \cdot C_c + T_{irhgM} \cdot C_{chg}) \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \quad T_{irx} = 28052.3 \text{ kgf}$$

La resultante:

$$G_{hxc} := V_x + T_{irx} \quad G_{hxc} = 28681 \text{ kgf} \quad G_{hyc} := V_y \quad G_{hyc} = 1088.9 \text{ kgf}$$

$$G_{hc} := \sqrt{G_{hxc}^2 + G_{hyc}^2} \quad G_{hc} = 28701.6 \text{ kgf} \quad \text{Esfuerzo resultante para la hipótesis C}$$

$$K_e \cdot K_c \cdot \frac{G_{hc}}{10} = 2870.2 \text{ kgf} \quad . < \quad \phi \cdot T_{rot} = 2940 \text{ kgf} \quad \text{Se cumple la condición}$$

### Hipótesis e)

Tracciones de todos los conductores en el estado de mínima temperatura.

$$G_{he} := \left[ 2 \cdot (T_{ir2} \cdot C_c + T_{irhg2} \cdot C_{chg}) \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \right] \quad G_{he} = 21787.5 \text{ kgf} \quad \text{Tiros a la temperatura mínima}$$

$$K_e \cdot K_c \cdot \frac{G_{he}}{10} = 2178.8 \text{ kgf} \quad . < \quad \phi \cdot T_{rot} = 2940 \text{ kgf} \quad \text{Se cumple la condición}$$

## Cargas de construcción y mantenimiento

### Hipótesis a)

Peso propio de la estructura, cargas verticales permanentes con un factor de carga de 2,5 en uno, varios o todos los puntos de sujeción de fase o hilo de guardia. Sobrecargas de montaje.

Consideraremos la carga permanente ubicadas aun lado de las 3 ménsulas de la estructura, así calcularemos la carga desequilibrada.

$S_{am} := 320 \text{ kgf}$  Sobrecarga adicional de montaje

$$C_{cr} := \frac{(h_1 + h_2 + h_3)}{H_u} \quad \text{Coeficiente de reducción a la cima reducido a tres conductores}$$

$$G_{vm} := \frac{[2.5 C_{cr} (P_{cv} + 2 \cdot G_{ais}) + S_{am}] \cdot L_m}{h^2}$$

$$G_{vm} = 365 \text{ kgf}$$

**Esfuerzo desequilibrante producido por las cargas de construcción y mantenimiento**

$$G_{tm} := T_{ir2} \cdot C_{cr} \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)$$

$$G_{tm} = 4544.6 \text{ kgf}$$

**Esfuerzo producido por el tiro de tres conductores a un lado de la estructura**

$$K_e \cdot K_c \cdot \frac{(G_{vm} + G_{tm})}{10} = 491 \text{ kgf}$$

. < .

$$\phi \cdot T_{rot} = 2940 \text{ kgf}$$

**Se cumple la condición**

### Hipótesis b)

Cargas verticales permanentes con un factor de carga de 2,5. Carga unilateral de todos los conductores correspondientes a la tracción considerada a temperatura media anual, con un factor de carga de 1.5.

$$G_{hmb} := 1.5 \cdot (C_c \cdot T_{ir5} + C_{ch} \cdot T_{irhg5})$$

$$G_{hmb} = 17097.6 \text{ kgf}$$

$$K_e \cdot K_c \cdot \left(\frac{G_{hmb}}{10}\right) = 1709.8 \text{ kgf}$$

. <

$$\phi \cdot T_{rot} = 2940 \text{ kgf}$$

**Se cumple la condición**

## Cargas de contención de fallas

### Hipótesis a)

Tiro máximo unilateral aplicado en cualquiera de los puntos de sujeción de fase o cable de guardia. Fuerza resultante de las tracciones de los restantes conductores.

Suponemos el corte de un conductor de la ménsula superior, ubicado del lado de afuera del ángulo de la línea

$$C_{c\grave{a}lla} := \left[ \frac{2(h_1 + h_2) + h_3}{H_u} \right]$$

$$C_{c\grave{a}lla} := 3.5$$

$$M_f := \left[ \left[ 2 \cdot (T_{irM} \cdot C_{c\grave{a}lla} + T_{irhgM} \cdot C_{ch}) \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \right] \cdot H_u \right] + T_{MM} \cdot h_3$$

$$M_t := T_{MM} \cdot L_n$$

$$M_c := 0.5 \cdot \left( M_f + \sqrt{M_f^2 + M_t^2} \right)$$

$$M_c = 562816.2 \text{ kgf} \cdot m$$

$$G_{hcf} := \frac{M_c}{H_u}$$

$$G_{hcf} = 29389.8 \text{ kgf}$$

$$K_e \cdot K_c \cdot \frac{G_{hcf}}{10} = 2939 \text{ kgf}$$

. <

$$\phi \cdot T_{rot} = 2940 \text{ kgf}$$

**Se cumple la condición**

## Cálculo de una estructura de retención angular

### Verificación de las distancias de aislación

Vanos de 150m a ambos lados.

$$\alpha := 40 \text{ deg}$$

Ángulo de la línea

Adoptamos el uso de cadenas de paso para la sujeción del puente de conexión ubicadas en las ménsulas que quedan en el lado exterior del ángulo de la línea.

Se adoptara para este caso una **estructura triple**.

### Dimensionamiento de la ménsula

Longitud de la cadena de paso

$$L_{cp} := 1.8r$$

Distancia del eje de la estructura al borde exterior del poste a la altura de la ménsula inferior.

$$d := 0.85r$$

Verificación de la ménsula:

$$\beta := 20 \text{ deg}$$

Inclinación máxima del puente de conexión

$$L_m := d + L_f + L_{cp} \cdot \sin(20 \text{ deg})$$

$$L_m = 2.2m$$

Longitud mínima de la ménsula

Para mantener la distancia entre conductores (estructura de suspensión) definimos otro largo de la ménsula.

$$L_m := \frac{L_{ms}}{\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)}$$

$$L_{ms} := 2.6r$$

Ménsula de suspensión

$$L_m = 2.8m$$

Ménsula adoptada para retención angular

Dado que se trata de una doble terna la cruceta tendrá una longitud:

$$L_{cru} := 2 \cdot L_r$$

$$L_{cru} = 5.5m$$

## Cálculo de la altura de la columna

### Altura de la cruceta inferior:

$$h_{min} := 9 \cdot r$$

Altura mínima desde el suelo al conductor inferior

$$f_M = 2.6m$$

Flecha máxima del conductor de fase

$$e_c := 0.15m$$

Espesor de la cruceta

$$h_1 := h_{min} + f_M$$

$$h_1 = 11.6m$$

Altura de la cruceta inferior

### Altura de la cruceta media:

$$dec := L_{cp} + L_f + e_c$$

$$dec = 2.7m$$

Distancia entre ménsula inferior y superior:

$$h_2 := h_1 + dec$$

$$h_2 = 14.3m$$

Altura de la cruceta media

### Altura de la cruceta superior:

$$h_3 := h_2 + dec$$

$$h_3 = 17m$$

Altura de la cruceta superior

### Ubicación del hilo de guardia:

Como las distancias entre conductores no se modifican, la ubicación de los hilos de guardia en la estructura es igual a la de la retención en recta.

Por este motivo, recordamos la altura de la ménsula de los hilos de guardia sobre la ménsula superior.

$$d_{vhg} := 2 \cdot 1 \cdot r$$

Distancia vertical entre conductor superior e hilo de guardia

$$d_{hhg} := d_{vhg} \cdot \tan(30 \text{deg})$$

$$d_{hhg} = 1.2 \text{m}$$

Distancia horizontal entre conductor superior e hilo de guardia

$$d_{ehg} := L_{cru} - (2 \cdot d_{hhg})$$

$$d_{ehg} = 3.1 \text{m}$$

Distancia (mínima) entre hilos de guardia

$$l_{mhg} := 5 \cdot r$$

Longitud de la ménsula adoptada

**Altura total de la columna:**

$$H_u := h_3 + d_{vhg} + 0.1 \cdot r$$

$$H_u = 19.2 \text{m}$$

Altura útil de la columna (libre)

$$H := H_u \cdot 1.1 \quad H = 21.1 \text{m}$$

Se adopta:

$$H := 21.5 \text{m}$$

Altura total de la columna (empotrado + h libre)

## Cálculo mecánico

Se utilizarán tres columnas de hormigón de 22 metros de longitud, diámetro estimado en la base de 71 cm y en la cima de 38 cm cada uno.

$$d_p := 0.31 \cdot r$$

Diámetro en la cima

$$D_p := 0.64 \cdot r$$

Diámetro en el empotramiento

$$H = 21.5 \text{m}$$

Altura de la columna

$$P_{col} := 6579 \text{kgf}$$

Peso de la columna

$$T_{rot} := 2650 \text{kgf}$$

$$T_{rot} = 2650 \text{kgf}$$

Carga de rotura de la columna

Denominación

21,5 / R 2650/ 31-64

Carga del viento sobre la columna triple:

Datos necesarios para este calculo:

$$h_{ep} := \frac{2}{3} \cdot H_u$$

$$h_{ep} = 12.8 \text{m}$$

Altura efectiva de la columna

Este resultado se obtiene de aplicar el enunciado del punto 10.2.2.5 del "Reglamento de líneas aéreas exteriores de media y alta tensión".

$$Z_p := 1.03 + \frac{(1.09 - 1.03) \cdot (h_{ep} - 10 \text{m})}{(15 - 10) \cdot \text{m}}$$

$$Z_p = 1.06$$

**Factor del terreno**, por altura y exposición

$$Q := 0.061$$

**Factor proporcional a la densidad del aire**

$$F_c := 1.1$$

**Factor de carga**

**Factor de ráfaga**

$$k := 0.00$$

$$L_s := 67 \cdot r$$

$$\zeta := 7$$

Parámetros obtenidos de tabla 10.2-h , pag 54 del "Reglamento de líneas aéreas exteriores de media y alta tensión"

$$Et := 4.9 \sqrt{k} \cdot \left( \frac{10 \text{ m}}{\text{hep}} \right)^{\frac{1}{\zeta}}$$

$$Bt := \frac{1}{\left( 1 + 0.375 \frac{\text{hep}}{L_s} \right)}$$

$$Gt := 1 + (2.7 Et \cdot \sqrt{Bt})$$

$$Gt = 1.11$$

**Factor de ráfaga**

$$Cf := 0.9 \frac{\text{kgf} \cdot \text{sec}^2}{\text{m}^4}$$

**Coefficiente de presión dinámica**

$$\psi := 0 \text{ deg}$$

**Angulo del viento** con el eje perpendicular a la línea

$$Acp := \frac{(2 \cdot dp + Dp) \cdot Hu}{2}$$

$$Acp = 12.1 \text{ m}^2$$

**Area proyectada**

$$Gvcol := Q \cdot (Zp \cdot V_3)^2 \cdot Fc \cdot Gt \cdot Cf \cdot Acp \cdot (\cos(\psi))^2$$

$$Gvcol = 1172.7 \text{ kgf}$$

**Esfuerzo del viento sobre la columna.**

## Verificación de las hipótesis para una retención angular

Las hipótesis de cargas se extraen de la "Reglamentación de líneas aéreas exteriores de media y alta tensión". AEA 95301-2007. Y para su verificación se aplica el "Método de factorización de cargas y resistencias (LRFD)" descrito en la misma.

$$Ke \cdot Kc \cdot G \leq \phi \cdot Trot$$

$$Ke := 1$$

Factor de carga estructural. Para nuestro caso lo consideramos igual a la unidad.

$$Kc := 1$$

Factor de carga que depende del tipo de estructura. Para columna de suspensión es uno.

G

Carga real presente en la estructura dependiendo de la hipótesis planteada.

$$\phi := 0.7$$

Factor global de resistencia estructural. Lo consideramos uno

$$Trot = 2650 \text{ kgf}$$

Carga de rotura de la columna a emplear.

## **Cargas de servicio para una retención angular**

### **Hipótesis a)**

Peso propio y cargas verticales permanentes. Viento máximo en dirección de la bisectriz del ángulo de la línea. Fuerza resultante de las tracciones de los conductores.

$$Pmens := 2 \cdot 300 \text{ kgf}$$

$$Pmens = 600 \text{ kgf}$$

Peso de la ménsula Martínez Fayó Tabla IV - 4 Pag 65.

$$Gv := 6 \cdot Pcv + 12 \cdot 2G_{ais} + 3 \cdot G_{ais} + 2 \cdot Pchg + 3Pmens + 3Pcol$$

$$Gv = 22916 \text{ kgf}$$

**Peso propio y cargas verticales permanentes**

Se calcula el esfuerzo resultante del viento sobre el conductor y se adopta el mismo razonamiento para el hilo de guardia.

$$\underline{G_{hav}} := G_{vais} \cdot C_c + G_{vcol} \qquad G_{hav} = 1219.7 \text{kgf}$$

$$\underline{G_{hat}} := 2(TirM C_c + TirhgM C_{chg}) \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \qquad G_{hat} = 13568.6 \text{kgf}$$

$$K_e \cdot K_c \cdot \frac{(G_{hav} + G_{hat})}{10} = 1478.8 \text{kgf} \quad . < \quad \phi \cdot Trot = 1855 \text{kgf} \qquad \text{Se cumple la condición}$$

### Hipótesis b)

Viento máximo en dirección normal a la bisectriz del ángulo de la línea. Esfuerzos resultantes de las tracciones de los conductores.

$$\underline{G_{hbv}} := G_{vais} \cdot C_c + G_{vcol} \qquad G_{hbv} = 1219.7 \text{kgf}$$

$$\underline{G_{hbt}} := 2(TirM C_c + TirhgM C_{chg}) \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \qquad G_{hbt} = 13568.6 \text{kgf}$$

$$K_e \cdot K_c \cdot \frac{\sqrt{G_{hbv}^2 + G_{hbt}^2}}{10} = 1362.3 \text{kgf} \quad . < \quad \phi \cdot Trot = 1855 \text{kgf} \qquad \text{Se cumple la condición}$$

### Hipótesis C)

Carga del viento máxima en dirección oblicua a la línea, sobre estructura, aisladores, accesorios y sobre el conductor en la longitud de los semivanos adyacentes.

Consideramos:  $\underline{\theta} := 60 \text{deg}$  El ángulo del viento con respecto al eje normal a la bisectriz del ángulo de la línea

Viento sobre poste y aisladores

$$\underline{V_x} := (G_{vcol} + G_{vais}) \cdot \cos(\theta) \qquad V_x = 591.4 \text{kgf} \qquad \underline{V_y} := (G_{vcol} + G_{vais}) \cdot \sin(\theta) \qquad V_y = 1024.4 \text{kgf}$$

Tiro de los conductores

$$\underline{Tir_x} := 2(TirM C_c + TirhgM C_{chg}) \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \qquad Tir_x = 13568.6 \text{kgf}$$

La resultante:

$$\underline{G_{hxc}} := V_x + Tir \qquad G_{hxc} = 14160 \text{kgf} \qquad \underline{G_{hyc}} := V_y \qquad G_{hyc} = 1024.4 \text{kgf}$$

$$\underline{G_{hc}} := \sqrt{G_{hxc}^2 + G_{hyc}^2} \qquad G_{hc} = 14197 \text{kgf} \qquad \text{Esfuerzo resultante para la hipótesis C}$$

$$K_e \cdot K_c \cdot \frac{G_{hc}}{10} = 1419.7 \text{kgf} \quad . < \quad \phi \cdot T_{rot} = 1855 \text{kgf} \quad \text{Se cumple la condición}$$

### Hipótesis e)

Tracciones de todos los conductores en el estado de mínima temperatura.

$$G_{he} := \left[ 2 \cdot (T_{ir2} \cdot C_c + T_{irhg2} \cdot C_{chg}) \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \right] \quad G_{he} = 10538.4 \text{kgf} \quad \text{Tiros a la temperatura mínima}$$

$$K_e \cdot K_c \cdot \frac{G_{he}}{10} = 1053.8 \text{kgf} \quad . < \quad \phi \cdot T_{rot} = 1855 \text{kgf} \quad \text{Se cumple la condición}$$

## Cargas de construcción y mantenimiento

### Hipótesis a)

Peso propio de la estructura, cargas verticales permanentes con un factor de carga de 2,5 en uno, varios o todos los puntos de sujeción de fase o hilo de guardia. Sobrecargas de montaje.

Consideraremos la carga permanente ubicadas aun lado de las 3 ménsulas de la estructura, así calcularemos la carga desequilibrada.

$$S_{am} := 320 \text{kgf} \quad \text{Sobrecarga adicional de montaje}$$

$$C_{cr} := \frac{(h1 + h2 + h3)}{H_u} \quad \text{Coeficiente de reducción a la cima reducido a tres conductores}$$

$$G_{vm} := \frac{[2.5 \cdot C_{cr} \cdot (P_{cv} + 2 \cdot G_{ais}) + S_{am}] \cdot L_m}{h2} \quad G_{vm} = 275 \text{kgf} \quad \text{Esfuerzo desequilibrante producido por las cargas de construcción y mantenimiento}$$

$$G_{tm} := T_{ir2} \cdot C_{cr} \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \quad G_{tm} = 2198.2 \text{kgf} \quad \text{Esfuerzo producido por el tiro de tres conductores a un lado de la estructura}$$

$$K_e \cdot K_c \cdot \frac{(G_{vm} + G_{tm})}{10} = 247.3 \text{kgf} \quad . < . \quad \phi \cdot T_{rot} = 1855 \text{kgf} \quad \text{Se cumple la condición}$$

### Hipótesis b)

Cargas verticales permanentes con un factor de carga de 2,5 .Carga unilateral de todos los conductores correspondientes a la tracción considerada a temperatura media anual, con un factor de carga de 1.5.

$$G_{hmb} := 1.5 \cdot (C_c \cdot T_{ir5} + C_{chg} \cdot T_{irhg5}) \quad G_{hmb} = 17097.6 \text{kgf}$$

$$K_e \cdot K_c \cdot \left( \frac{G_{hmb}}{10} \right) = 1709.8 \text{kgf} \quad . < \quad \phi \cdot T_{rot} = 1855 \text{kgf} \quad \text{Se cumple la condición}$$

## Cargas de contención de fallas

### Hipótesis a)

Tiro máximo unilateral aplicado en cualquiera de los puntos de sujeción de fase o cable de guardia. Fuerza resultante de las tracciones de los restantes conductores.

Suponemos el corte de un conductor de la ménsula superior, ubicado del lado de afuera del ángulo de la línea

$$C_{\text{falla}} := \left[ \frac{2(h_1 + h_2) + h_3}{H_u} \right] \quad C_{\text{falla}} = 3.6$$

$$M_f := \left[ 2 \cdot (T_{irM} \cdot C_{\text{falla}} + T_{irhgM} \cdot C_{\text{chg}}) \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot H_u \right] + TMM \cdot h_3 \quad M_t := TMM \cdot L_n$$

$$M_c := 0.5 \left( M_f + \sqrt{M_f^2 + M_t^2} \right) \quad M_c = 338288.3 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

$$G_{\text{hcf}} := \frac{M_c}{H_u} \quad G_{\text{hcf}} = 17665.4 \text{ kgf}$$

$$K_e \cdot K_c \cdot \frac{G_{\text{hcf}}}{10} = 1766.5 \text{ kgf} \quad . < \quad \phi \cdot T_{\text{rot}} = 1855 \text{ kgf} \quad \text{Se cumple la condición}$$

# Columna metálica de retención

En la zona urbana para reducir el ancho de la estructura se utilizan columnas metálicas, además el vano en esta zona es de 100 metros.

## Datos necesarios

|                             |                     |                      |
|-----------------------------|---------------------|----------------------|
| Tensión nominal             | $U := 132\text{kV}$ |                      |
| Tensión máxima de servicio: | $UM := U \cdot 1.1$ | $UM := 145\text{kV}$ |
| Vano                        | $a := 100\text{m}$  |                      |

## Datos del conductor de fase

|  |  |   |
|--|--|---|
| Sección del conductor de fase  | $Sr := 353.5\text{mm}^2$   |   |
| Peso del conductor   | $G := 1230 \frac{\text{kgf}}{\text{km}}$                         |   |
| Peso del conductor (x vano)  | $Pcv := G \cdot a$   | $Pcv = 123\text{kgf}$                             |
| Carga de rotura del conductor  | $\sigma R := 10700\text{kgf}$                                    |   |
| Tensión mecánica máxima  | $TMM := \sigma R \cdot 70\%$                                     | $TMM = 7490\text{kgf}$                            |
| Tiro máximo del conductor de fase                                    | $Tir_3 := 3251.5\text{kgf}$                                      | Es el correspondiente al estado 3 (Máximo viento) |
|  | $TirM := Tir_3$  |   |
| Flecha máxima  | $f_1 := 1.33\text{m}$  | Corresponde al estado 1 (Máxima temperatura)      |
|  | $fM := f_1$  |   |
| Carga específica por viento en el conductor de fase para el estado 3 | $gv_3 := 0.010264 \frac{\text{kgf}}{\text{m} \cdot \text{mm}^2}$ |   |
| Carga de viento máxima   | $GvM := gv_3 \cdot Sr \cdot a$                                   | $GvM = 363\text{kgf}$                             |
| Tiro del conductor de fase a la temperatura media anual              | $Tir_5 := 2101\text{kgf}$  |   |
| Tiro del conductor de fase en el estado 2 (minima temperatura)       | $Tir_2 := 3141\text{kgf}$  |   |
| Velocidad del viento para el estado 3                                | $V_3 := 35 \frac{\text{m}}{\text{s}}$                            |   |

## Datos del conductor hilo de guardia

|  |   |  |
|--|---|--|
| Sección del conductor HG   | $Shg := 50\text{mm}^2$  |  |
| Peso del conductor hilo de guardia                                 | $Ghg := 365 \frac{\text{kgf}}{\text{km}}$                           |  |
| Peso del conductor HG (x vano)                                     | $Pchg := Ghg \cdot a$   | $Pchg = 36.5\text{kgf}$                      |
| Tiro máximo HG   | $Tirhg_3 := 1353\text{kgf}$   | Corresponde al estado 3 (máximo viento)      |
|  | $TirhgM := Tirhg_3$   | $TirhgM = 1353\text{kgf}$                    |
| Flecha máxima HG   | $fhg_1 := 0.7 \cdot a$  | Corresponde al estado 1 (máxima temperatura) |
|  | $fhgM := fhg_1$   | $fhgM = 0.7\text{m}$                         |
| Carga específica por viento en el hilo de guardia para el estado 3 | $ghgv_3 := 0.02833 \frac{\text{kgf}}{\text{m} \cdot \text{mm}^2} *$ |  |
| Carga de viento máxima sobre HG                                    | $GvhgM := ghgv_3 \cdot Shg \cdot a$                                 | $GvhgM = 142\text{kgf}$                      |
| Tiro del hilo de guardia en el estado de temperatura mínima        | $Tirhg_2 := 1180\text{kgf}$   |  |
| Tiro del hilo de guardia a la temperatura media anual              | $Tirhg_5 := 920\text{kgf}$  |  |

## Diseño del cabezal de una estructura de retención metálica con vano de 100 m

Vanos de 100m a ambos lados.

$$\alpha := 90\text{deg} \quad \text{Ángulo de la línea}$$

Adoptamos el uso de cadenas de paso para la sujeción del puente de conexión ubicadas en las ménsulas que quedan en el lado exterior del ángulo de la línea.

Se adoptara para este caso una **columna metálica tubular**.

### Dimensionamiento de los aisladores

Se considera como tiro de cálculo el producido en el estado 3 por ser el máximo.

Adoptamos, para la suspensión, el aislador polimérico marca AVATOR mod. RQ46s. Cuya carga de rotura es de 120 kN.

$Lca := 1800\text{mm}$  Longitud del aislador

$Trotais := 120\text{kN}$   $Trotais = 12237\text{kgf}$  Carga de rotura del aislador

### Cálculo de cargas sobre aisladores

$G_{ais} := 6\text{kgf}$  Peso del aislador

$Gvais := 100\text{N}$   $Gvais = 10.2\text{kgf}$  Esfuerzo del viento sobre cada aislador. Del apunte "Diseño de líneas aéreas" de Martínez Fayó, hoja 96 tabla IV-4

### Verificación de las distancias de aislación

Distancia fase - tierra:

$Lft := 0.28\text{mm} + 0.005 \frac{\text{mm}}{\text{V}} \cdot ((UM - 50\text{V}))$   $Lft = 0.73\text{m}$  Distancia mínima fase - tierra

Distancia entre fases:

$k := 0.95\text{m}^{\frac{1}{2}}$  Obtenido de tabla 2-13, página 37 del apunte "Diseño de líneas aéreas" de Martínez Fayó.

$Lf := (\sqrt{Lca + fM}) \cdot k + \frac{U}{150 \frac{\text{kV}}{\text{m}}}$   $Lf = 2.6\text{m}$  Distancia mínima entre fases

### Dimensionamiento de la ménsula

Longitud de la cadena de paso

$Lcp := 1.8\pi$

Verificación de la ménsula:

$\beta := 20\text{deg}$  Inclinación máxima del puente de conexión

$Lm := Lft + Lcp \cdot \sin(20\text{deg})$   $Lm = 1.34\text{m}$  Longitud mínima de la ménsula

Para mantener la distancia entre conductores de la estructura line post, definimos otro largo de la ménsula.

$Lm := \frac{Lha}{\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)}$   $Lha := 1.2\pi$  Ménsula line post  
 $Lm = 1.7\text{m}$  Ménsula adoptada para retención angular

Dado que se trata de una doble terna la cruceta tendrá una longitud:

$Lcru := 2 \cdot Lm$   $Lcru = 3.4\text{m}$

## Cálculo de la altura de la columna

### Altura de la cruceta inferior:

$$h_{min} := 9 \cdot r$$

Altura mínima desde el suelo al conductor inferior

$$fM = 1.33m$$

Flecha máxima del conductor de fase

$$ec := 0.15m$$

Espesor de la cruceta

$$h1 := h_{min} + fM$$

$$h1 = 10.33m$$

Altura de la cruceta inferior

### Altura de la cruceta media:

$$dec := L_{cp} + L_{ft} + ec$$

$$dec = 2.68m$$

Distancia entre ménsula inferior y superior:

$$h2 := h1 + dec$$

$$h2 = 13.01m$$

Altura de la cruceta media

### Altura de la cruceta superior:

$$h3 := h2 + dec$$

$$h3 = 15.68m$$

Altura de la cruceta superior

### Ubicación del hilo de guardia:

Utilizando un solo conductor para el hilo de guardia, la distancia entre el conductor superior y el mismo será:

$$dv_{hg} := \frac{L_m}{\tan(30deg)}$$

$$dv_{hg} = 2.94m$$

Distancia vertical entre conductor superior e hilo de guardia

### Altura total de la columna:

$$H_u := h3 + dv_{hg} + 0.1m$$

$$H_u = 18.72m$$

Altura útil de la columna (libre)

$$H_{\text{total}} := H_u \cdot 1.1 \quad H = 20.59m$$

Se adopta:  $H := 20.5m$

Altura total de la columna (empotrado + h libre)

## Cálculo mecánico

Se utilizarán una columna tubular de hierro de 20,5 metros de longitud, diámetro estimado en la base de 70 cm y en la cima de 40 cm cada uno.

La carga de rotura de la columna es definido en este calculo de acuerdo a las distintas hipótesis de cargas. Esto se debe a que se solicita la columna a medida en la fabrica.

$$dp := 0.4m$$

Diámetro en la cima

$$Dp := 0.7m$$

Diámetro en el empotramiento

$$H := 20.5m$$

Altura de la columna

$$P_{col} := 5000 \text{ kgf}$$

Peso de la columna

$$T_{rot} := 25000 \text{ kgf}$$

Carga de rotura de la columna

Denominación

20,5 / R 25000/ 40-70

Carga del viento sobre la columna metálica:

Datos necesarios para este calculo:

$$h_{ep} := \frac{2}{3} \cdot H_u$$

$$h_{ep} = 12.48 \text{ m}$$

Altura efectiva de la columna

Este resultado se obtiene de aplicar el enunciado del punto 10.2.2.5 del "Reglamento de líneas aéreas exteriores de media y alta tensión".

$$Z_p := 1.03 + \frac{(1.09 - 1.03) \cdot (h_{ep} - 10 \text{ m})}{(15 - 10) \cdot \text{m}}$$

$$Z_p = 1.06$$

**Factor del terreno**, por altura y exposición

$$Q := 0.061$$

**Factor proporcional a la densidad del aire**

$$F_c := 1.1$$

**Factor de carga**

**Factor de ráfaga**

$$k_{aa} := 0.00$$

$$L_s := 67 \cdot \text{m}$$

$$\zeta := 7$$

Parámetros obtenidos de tabla 10.2-h , pag 54 del "Reglamento de líneas aéreas exteriores de media y alta tensión"

$$E_t := 4.9 \sqrt{k} \cdot \left( \frac{10 \text{ m}}{h_{ep}} \right)^{\frac{1}{\zeta}}$$

$$B_t := \frac{1}{\left( 1 + 0.375 \frac{h_{ep}}{L_s} \right)}$$

$$G_t := 1 + (2.7 \cdot E_t \cdot \sqrt{B_t})$$

$$G_t = 1.11$$

**Factor de ráfaga**

$$C_f := 0.9 \frac{\text{kgf} \cdot \text{sec}^2}{\text{m}^4}$$

**Coefficiente de presión dinámica**

$$\psi := 0 \text{ deg}$$

**Angulo del viento** con el eje perpendicular a la línea

$$A_{cp} := \frac{(2 \cdot d_p + D_p) \cdot H_u}{6}$$

$$A_{cp} = 4.68 \text{ m}^2$$

**Area proyectada**

$$G_{vcol} := Q \cdot (Z_p \cdot V_3)^2 \cdot F_c \cdot G_t \cdot C_f \cdot A_{cp} \cdot (\cos(\psi))^2$$

$$G_{vcol} = 452.6 \text{ kgf}$$

**Esfuerzo del viento sobre la columna.**

Coefficiente de reducción a la cima:

$$C_c := \frac{2(h_1 + h_2 + h_3)}{H_u}$$

$$C_c = 4.17$$

Coefficiente de reducción a la cima del conductor

$$C_{chg} := \frac{(h_3 + d_{vhg})}{H_u}$$

$$C_{chg} = 0.99$$

Coefficiente de reducción a la cima del hilo de guardia

## Verificación de las hipótesis para una retención angular

Las hipótesis de cargas se extraen de la "Reglamentación de líneas aéreas exteriores de media y alta tensión". AEA 95301-2007. Y para su verificación se aplica el "Método de factorización de cargas y resistencias (LRFD)" descrito en la misma.

$$K_e \cdot K_c \cdot G \leq \phi \cdot T_{rot}$$

|             |  |
|-------------|--|
| $K_e := 1$  | Factor de carga estructural. Para nuestro caso lo consideramos igual a la unidad.      |
| $K_c := 1$  | Factor de carga que depende del tipo de estructura. Para columna de suspensión es uno. |
| $G$         | Carga real presente en la estructura dependiendo de la hipótesis planteada.            |
| $\phi := 1$ | Factor global de resistencia estructural. Lo consideramos uno                          |
| $T_{rot}$   | Carga de rotura de la columna a emplear.   |

### Cargas de servicio para una retención angular

#### Hipótesis a)

Peso propio y cargas verticales permanentes. Viento máximo en dirección de la bisectriz del ángulo de la línea. Fuerza resultante de las tracciones de los conductores.

$$P_{mens} := 2 \cdot 300 \text{ kgf} \quad P_{mens} = 600 \text{ kgf} \quad \text{Peso de la ménsula Martínez Fayó Tabla IV - 4 Pag 65.}$$

$$G_v := 6 \cdot P_{cv} + 12 \cdot 2G_{ais} + 3 \cdot G_{ais} + P_{chg} + 3P_{mens} + P_{col} \quad G_v = 7737 \text{ kgf} \quad \text{Peso propio y cargas verticales permanentes}$$

Se calcula el esfuerzo resultante del viento sobre el conductor y se adopta el mismo razonamiento para el hilo de guardia.

$$G_{hav} := G_{vais} \cdot C_c + G_{vcol} \quad G_{hav} = 495.1 \text{ kgf}$$

$$G_{hat} := 2(T_{ir}M \cdot C_c + T_{irhg}M \cdot C_{chg}) \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \quad G_{hat} = 21070.8 \text{ kgf}$$

$$K_e \cdot K_c \cdot (G_{hav} + G_{hat}) = 21566 \text{ kgf} \quad . < \quad \phi \cdot T_{rot} = 25000 \text{ kgf} \quad \text{Se cumple la condición}$$

#### Hipótesis b)

Viento máximo en dirección normal a la bisectriz del ángulo de la línea. Esfuerzos resultantes de las tracciones de los conductores.

$$G_{hbv} := G_{vais} \cdot C_c + G_{vcol} \quad G_{hbv} = 495.1 \text{ kgf}$$

$$G_{hbt} := 2(T_{ir}M \cdot C_c + T_{irhg}M \cdot C_{chg}) \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \quad G_{hbt} = 21070.8 \text{ kgf}$$

$$K_e \cdot K_c \cdot \sqrt{G_{hbv}^2 + G_{hbt}^2} = 21076.7 \text{ kgf} \quad . < . \quad \phi \cdot T_{rot} = 25000 \text{ kgf} \quad \text{Se cumple la condición}$$

### Hipótesis C)

Carga del viento máxima en dirección oblicua a la línea, sobre estructura, aisladores, accesorios y sobre el conductor en la longitud de los semivanos adyacentes.

Consideramos:  $\theta := 60 \text{ deg}$  El ángulo del viento con respecto al eje normal a la bisectriz del ángulo de la línea

Viento sobre poste y aisladores

$$V_x := (G_{vcol} + G_{vais}) \cdot \cos(\theta) \quad V_x = 231.38 \text{ kgf} \quad V_y := (G_{vcol} + G_{vais}) \cdot \sin(\theta) \quad V_y = 400.77 \text{ kgf}$$

Tiro de los conductores

$$T_{irx} := 2 \cdot (T_{irM} C_c + T_{irhg} M C_{chg}) \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \quad T_{irx} = 21070.8 \text{ kgf}$$

La resultante:

$$G_{hxc} := V_x + T_{irx} \quad G_{hxc} = 21302.2 \text{ kgf} \quad G_{hyc} := V_y \quad G_{hyc} = 400.8 \text{ kgf}$$

$$G_{hc} := \sqrt{G_{hxc}^2 + G_{hyc}^2} \quad G_{hc} = 21306 \text{ kgf} \quad \text{Esfuerzo resultante para la hipótesis C}$$

$$K_e \cdot K_c \cdot G_{hc} = 21306 \text{ kgf} \quad . < \quad \phi \cdot T_{rot} = 25000 \text{ kgf} \quad \text{Se cumple la condición}$$

### Hipótesis e)

Tracciones de todos los conductores en el estado de mínima temperatura.

$$G_{he} := \left[ 2 \cdot (T_{ir2} C_c + T_{irhg2} C_{chg}) \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \right] \quad G_{he} = 20176.1 \text{ kgf} \quad \text{Tiros a la temperatura mínima}$$

$$K_e \cdot K_c \cdot G_{he} = 20176.1 \text{ kgf} \quad . < . \quad \phi \cdot T_{rot} = 25000 \text{ kgf} \quad \text{Se cumple la condición}$$

## Cargas de construcción y mantenimiento

### Hipótesis a)

Peso propio de la estructura, cargas verticales permanentes con un factor de carga de 2,5 en uno, varios o todos los puntos de sujeción de fase o hilo de guardia. Sobrecargas de montaje.

Consideraremos la carga permanente ubicadas aun lado de las 3 ménsulas de la estructura, así calcularemos la carga desequilibrada.

$S_{am} := 320 \text{ kgf}$  Sobrecarga adicional de montaje

$$C_{cr} := \frac{(h_1 + h_2 + h_3)}{H_u}$$

Coficiente de reducción a la cima reducido a tres conductores

$$G_{vm} := \frac{[2.5 C_{cr} \cdot (P_{cv} + 2 \cdot G_{ais}) + S_{am}] \cdot L_m}{h_2}$$

$$G_{vm} = 134 \text{ kgf}$$

**Esfuerzo desequilibrante producido por las cargas de construcción y mantenimiento**

$$G_{tm} := T_{ir2} \cdot C_{cr} \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)$$

$$G_{tm} = 4.63 \times 10^3 \cdot \text{kgf}$$

**Esfuerzo producido por el tiro de tres conductores a un lado de la estructura**

$$K_e \cdot K_c \cdot (G_{vm} + G_{tm}) = 4763 \text{ kgf}$$

. <

$$\phi \cdot T_{rot} = 25000 \text{ kgf}$$

**Se cumple la condición**

### Hipótesis b)

Cargas verticales permanentes con un factor de carga de 2,5 .Carga unilateral de todos los conductores correspondientes a la tracción considerada a temperatura media anual, con un factor de carga de 1.5.

$$G_{hmb} := 1.5 \cdot (C_c \cdot T_{ir5} + C_{chg} \cdot T_{irhg5})$$

$$G_{hmb} = 14509.3 \text{ kgf}$$

$$K_e \cdot K_c \cdot (G_{hmb}) = 14509 \text{ kgf}$$

. <

$$\phi \cdot T_{rot} = 25000 \text{ kgf}$$

**Se cumple la condición**

## Cargas de contención de fallas

### Hipótesis a)

Tiro máximo unilateral aplicado en cualquiera de los puntos de sujeción de fase o cable de guardia. Fuerza resultante de las tracciones de los restantes conductores.

Suponemos el corte de un conductor de la ménsula superior, ubicado del lado de afuera del ángulo de la línea

$$C_{c\text{falla}} := \left[ \frac{2(h_1 + h_2) + h_3}{H_u} \right]$$

$$C_{c\text{falla}} = 3.33$$

$$M_f := \left[ \left[ 2 \cdot (T_{irM} \cdot C_{c\text{falla}} + T_{irhgM} \cdot C_{chg}) \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \right] \cdot H_u \right] + T_{MM} \cdot h_3$$

$$M_t := T_{MM} \cdot L_n$$

$$M_c := 0.5 \cdot (M_f + \sqrt{M_f^2 + M_t^2})$$

$$M_c = 439868 \text{ kgf} \cdot m$$

$$G_{hcf} := \frac{M_c}{H_u}$$

$$G_{hcf} = 23497.9 \text{ kgf}$$

$$K_e \cdot K_c \cdot G_{hcf} = 23498 \text{ kgf}$$

. <

$$\phi \cdot T_{rot} = 25000 \text{ kgf}$$

**Se cumple la condición**

# Estructura Line Post

Para reducir la franja de servidumbre, en zona urbana se aplicará un vano de 100 m con estructuras tipo line post.

## Datos necesarios

|                             |                     |                      |
|-----------------------------|---------------------|----------------------|
| Tensión nominal             | $U := 132\text{kV}$ |                      |
| Tensión máxima de servicio: | $UM := U \cdot 1.1$ | $UM := 145\text{kV}$ |
| Vano                        | $a := 100\text{m}$  |                      |

## Datos del conductor de fase

|  |  |   |
|--|--|---|
| Sección del conductor de fase  | $Sr := 353.5\text{mm}^2$   |   |
| Peso del conductor   | $G := 1230 \frac{\text{kgf}}{\text{km}}$                         |   |
| Peso del conductor (x vano)  | $Pcv := G \cdot a$   | $Pcv = 123\text{kgf}$                             |
| Carga de rotura del conductor  | $\sigma R := 10700\text{kgf}$                                    |   |
| Tensión mecánica máxima  | $TMM := \sigma R \cdot 70\%$                                     | $TMM = 7490\text{kgf}$                            |
| Tiro máximo del conductor de fase                                    | $Tir_3 := 3251.5\text{kgf}$                                      | Es el correspondiente al estado 3 (Máximo viento) |
|  | $TirM := Tir_3$  |   |
| Flecha máxima  | $f_1 := 1.33\text{m}$  | Corresponde al estado 1 (Máxima temperatura)      |
|  | $fM := f_1$  |   |
| Carga específica por viento en el conductor de fase para el estado 3 | $gv_3 := 0.010264 \frac{\text{kgf}}{\text{m} \cdot \text{mm}^2}$ |   |
| Carga de viento máxima   | $GvM := gv_3 \cdot Sr \cdot a$                                   | $GvM = 363\text{kgf}$                             |
| Tiro del conductor de fase a la temperatura media anual              | $Tir_5 := 2101\text{kgf}$  |   |
| Tiro del conductor de fase en el estado 2 (mínima temperatura)       | $Tir_2 := 3141\text{kgf}$  |   |
| Velocidad del viento para el estado 3                                | $V_3 := 35 \frac{\text{m}}{\text{s}}$                            |   |

## Datos del conductor hilo de guardia

|  |   |  |
|--|---|--|
| Sección del conductor HG   | $Shg := 50\text{mm}^2$  |  |
| Peso del conductor hilo de guardia                                 | $Ghg := 365 \frac{\text{kgf}}{\text{km}}$                           |  |
| Peso del conductor HG (x vano)                                     | $Pchg := Ghg \cdot a$   | $Pchg = 36.5\text{kgf}$                      |
| Tiro máximo HG   | $Tirhg_3 := 1353\text{kgf}$   | Corresponde al estado 3 (máximo viento)      |
|  | $TirhgM := Tirhg_3$   | $TirhgM = 1353\text{kgf}$                    |
| Flecha máxima HG   | $fhg_1 := 0.7 \cdot r$  | Corresponde al estado 1 (máxima temperatura) |
|  | $fhgM := fhg_1$   | $fhgM = 0.7\text{m}$                         |
| Carga específica por viento en el hilo de guardia para el estado 3 | $ghgv_3 := 0.02833 \frac{\text{kgf}}{\text{m} \cdot \text{mm}^2} *$ |  |
| Carga de viento máxima sobre HG                                    | $GvhgM := ghgv_3 \cdot Shg \cdot a$                                 | $GvhgM = 142\text{kgf}$                      |
| Tiro del hilo de guardia en el estado de temperatura mínima        | $Tirhg_2 := 1180\text{kgf}$   |  |
| Tiro del hilo de guardia a la temperatura media anual              | $Tirhg_5 := 920\text{kgf}$  |  |

## Diseño de la estructura

### Dimensionamiento de los aisladores

Se considera como tiro de cálculo el producido en el estado 3 por ser el máximo.

Adoptamos, para la suspensión, el aislador polimerico marca AVATOR mod. 21LP63O124 . Cuya carga de rotura es de 6 kN. los mismos se instalan con un ángulo de 12° con la horizontal.

$$La := 1240\text{mm}$$

Longitud del aislador

$$Trotais := 7.1\text{kN}$$

$$Trotais = 724\text{kgf}$$

Carga de rotura del aislador

### Cálculo de cargas sobre aisladores

$$G_{\text{ais}} := 17\text{kgf}$$

Peso del aislador

$$G_{\text{vais}} := 100\text{N}$$

$$G_{\text{vais}} = 10.2\text{kgf}$$

Esfuerzo del viento sobre cada aislador. Del apunte "Diseño de líneas aéreas" de Martínez Fayó, hoja 96 tabla IV-4

## Cálculo de las distancias de aislamiento

Distancia fase - tierra:

$$L_{ft} := 0.28\text{mm} + 0.005 \frac{\text{mm}}{\text{V}} \cdot ((UM - 50\text{V})) \quad L_{ft} = 0.73\text{m} \quad \text{Distancia mínima fase - tierra}$$

Distancia entre fases:

$$k := 0.95\text{m}^{\frac{1}{2}} \quad \text{Obtenido de tabla 2-13, página 37 del apunte "Diseño de líneas aéreas" de Martínez Fayó.}$$

$$L_f := (\sqrt{0 + fM}) \cdot k + \frac{U}{150 \frac{\text{kV}}{\text{m}}} \quad L_f = 2\text{m} \quad \text{Distancia mínima entre fases}$$

## Cálculo de la altura de la columna

**Ubicación del aislador inferior :**

$$h_{min} := 9 \cdot r \quad \text{Altura mínima desde el suelo al conductor inferior}$$

$$fM = 1.3\text{m} \quad \text{Flecha máxima del conductor de fase}$$

$$L_{va} := L_a \sin(12\text{-deg}) \quad L_{va} = 0.3\text{m} \quad \text{Distancia vertical (cable - columna) debida al ángulo de inclinación del aislador.}$$

$$h_1 := h_{min} + fM - L_{va} \quad h_1 = 10.1\text{m} \quad \text{Altura de empotramiento del aislador inferior}$$

**Altura del aislador medio:**

$$de_a := L_f \quad de_a = 2\text{m} \quad \text{Distancia entre aisladores}$$

$$h_2 := h_1 + de_a \quad h_2 = 12\text{m} \quad \text{Altura del aislador medio}$$

**Altura del aislador superior:**

$$h_3 := h_2 + de_a \quad h_3 = 14\text{m} \quad \text{Altura del aislador superior}$$

**Distancia entre aislador superior e hilo de guardia:**

Utilizando un solo conductor para el hilo de guardia, la distancia entre el conductor superior y el mismo será:

$$L_{ha} := L_a \cos(12\text{-deg}) \quad L_{ha} = 1.2\text{m} \quad \text{Distancia horizontal (cable - columna) debida al ángulo de inclinación del aislador.}$$

$$d_{ahg} := \frac{L_{ha}}{\tan(30\text{deg})} + L_{va} \quad d_{ahg} = 2.4\text{m} \quad \text{Distancia entre empotramiento del aislador superior y el hilo de guardia}$$

**Altura total de la columna:**

$$H_u := h_3 + d_{ahg} + 0.1r$$

$$H_u = 16.5\text{m}$$

Altura útil de la columna (libre)

$$H_{\text{AAA}} := H_u \cdot 1.1 \quad H = 18.1\text{m}$$

Se adopta:

$$H_{\text{AAA}} := 18.5\text{m}$$

Altura total de la columna (empotrado + h libre)

## Cálculo mecánico

Se utilizará una columna de hormigón de 19 metros de longitud, diámetro en la base de 71 cm y en la cima de 38 cm.

$$d_p := 0.40\text{m}$$

Diámetro en la cima

$$D_p := 0.68\text{m}$$

Diámetro en el empotramiento

$$H = 18.5\text{m}$$

Altura de la columna

$$P_{\text{col}} := 6690\text{kgf}$$

Peso de la columna

$$T_{\text{rot}} := 4950\text{kgf}$$

$$T_{\text{rot}} = 4950\text{kgf}$$

Carga de rotura de la columna

Denominación

18,5 / R 4950/ 40-68

Carga del viento sobre la columna:

Datos necesarios para este calculo:

$$h_{\text{ep}} := \frac{2}{3} \cdot H_u$$

$$h_{\text{ep}} = 11\text{m}$$

Altura efectiva de la columna

Este resultado se obtiene de aplicar el enunciado del punto 10.2.2.5 del "Reglamento de líneas aéreas exteriores de media y alta tensión".

$$Z_p := 1.03 + \frac{(1.09 - 1.03) \cdot (h_{\text{ep}} - 10\text{m})}{(15 - 10) \cdot \text{m}}$$

$$Z_p = 1.04$$

**Factor del terreno**, por altura y exposición

$$Q := 0.061$$

**Factor proporcional a la densidad del aire**

$$F_c := 1.1$$

**Factor de carga**

**Factor de ráfaga**

$$k_{\text{AAA}} := 0.00$$

$$L_s := 67\text{m}$$

$$\zeta := 7$$

Parámetros obtenidos de tabla 10.2-h , pag 54 del "Reglamento de líneas aéreas exteriores de media y alta tensión"

$$E_t := 4.9 \sqrt{k} \cdot \left( \frac{10\text{m}}{h_{\text{ep}}} \right)^{\frac{1}{\zeta}}$$

$$B_t := \frac{1}{\left( 1 + 0.375 \frac{h_{\text{ep}}}{L_s} \right)}$$

$$G_t := 1 + (2.7 E_t \sqrt{B_t})$$

$$G_t = 1.12$$

**Factor de ráfaga**

$$C_f := 0.9 \frac{\text{kgf} \cdot \text{sec}^2}{\text{m}^4}$$

**Coefficiente de presión dinámica**

$$\psi := 0 \text{ deg}$$

**Angulo del viento** con el eje perpendicular a la línea

$$A_{cp} := \frac{(2 \cdot d_p + D_p) \cdot H_u}{6}$$

$$A_{cp} = 4.1 \text{ m}^2$$

**Area proyectada**

$$G_{vcol} := Q \cdot (Z_p \cdot V_3)^2 \cdot F_c \cdot G_t \cdot C_f \cdot A_{cp} \cdot (\cos(\psi))^2$$

$$G_{vcol} = 383.1 \text{ kgf}$$

**Esfuerzo del viento sobre la columna.**

Coeficientes de reducción a la cima:

$$C_c := \frac{2 \cdot (h_1 + h_2 + h_3 + 3 \cdot L_{va})}{H_u}$$

$$C_c = 4.48$$

Coeficiente de reducción a la cima del conductor

$$C_{chg} := \frac{(H_u)}{H_u}$$

$$C_{chg} = 1$$

Coeficiente de reducción a la cima del hilo de guardia

## Verificación de las hipótesis

Las hipótesis de cargas se extraen de la "Reglamentación de líneas aéreas exteriores de media y alta tensión". AEA 95301-2007. Y para su verificación se aplica el "Método de factorización de cargas y resistencias (LRFD)" descrito en la misma.

$$K_e \cdot K_c \cdot G \leq \phi \cdot T_{rot}$$

$K_e := 1$  Factor de carga estructural. Para nuestro caso lo consideramos igual a la unidad.

$K_c := 1$  Factor de carga que depende del tipo de estructura. Para columna de suspensión es uno.

$G$  Carga real presente en la estructura dependiendo de la hipótesis planteada.

$\phi := 0.8$  Factor global de resistencia estructural.

$T_{rot}$  Carga de rotura de la columna a emplear.

## Cargas de servicio

### Hipótesis a)

Peso propio y cargas verticales permanentes. Viento máximo normal a la línea.

$$G_v := 6 \cdot P_{cv} + 6 \cdot G_{ais} + P_{chg} + P_{col}$$

$$G_v = 7566 \text{ kgf} \quad \text{Peso propio y cargas verticales permanentes}$$

$$G_{ha} := C_c \cdot (G_{vM} + G_{vais}) + C_{chg} \cdot G_{vhgM} + G_{vcol}$$

$$G_{ha} = 2195.8 \text{ kgf}$$

**Carga permanente horizontal normal a la línea.**

$$K_e \cdot K_c \cdot G_{ha} = 2195.8 \text{ kgf}$$

$<$

$$\phi \cdot T_{rot} = 3960 \text{ kgf}$$

**Se cumple la condición**

### Hipótesis b)

Carga de viento máximo en dirección de la línea

$$G_{hb} := C_c \cdot G_{vais} + G_{vcol}$$

$$G_{hb} = 428.7 \text{kgf}$$

**Carga permanente horizontal en la dirección de la línea.**

$$K_e \cdot K_c \cdot G_{hb} = 428.7 \text{kgf}$$

. < .

$$\phi \cdot T_{rot} = 3960 \text{kgf}$$

**Se cumple la condición**

### Hipótesis c)

Carga del viento máxima en dirección oblicua a la línea, sobre estructura, aisladores, accesorios y sobre el conductor en la longitud del vano.

Adoptamos

$$\theta := 60 \text{deg}$$

Ángulo entre la dirección del viento y la línea

$$G_{hc} := C_c \cdot G_{vais} + G_{vcol} + (C_{chg} \cdot G_{vhgM} + C_c \cdot G_{vM}) \cdot \sin(\theta)$$

$$G_{hc} = 1959 \text{kgf}$$

**Carga permanente oblicua a la línea.**

$$K_e \cdot K_c \cdot G_{hc} = 1959 \text{kgf}$$

. < .

$$\phi \cdot T_{rot} = 3960 \text{kgf}$$

**Se cumple la condición**

### Hipótesis e)

Para zona C no se considera carga adicional por hielo, se considera el tiro de todos los conductores reducidos unilateralmente en un 20% y un 40% para el hilo de guardia.

$$G_{he} := (C_{chg} \cdot T_{irhgM40\%}) + (C_c \cdot T_{irM20\%})$$

$$G_{he} = 3454.3 \text{kgf}$$

**Esfuerzo resultante por la reducción pedida por la hipótesis**

$$K_e \cdot K_c \cdot G_{he} = 3454.3 \text{kgf}$$

. < .

$$\phi \cdot T_{rot} = 3960 \text{kgf}$$

**Se cumple la condición**

## Cargas de construcción y mantenimiento

Peso propio de la estructura, cargas verticales permanentes con un factor de carga de 2,5 en todos los puntos de suspensión o en algunos y sobrecargas de montaje.

Consideraremos las cargas permanente ubicadas a un lado de las 3 ménsulas de la estructura, así calcularemos la carga desequilibrada.

$$S_{am} := 320 \text{kgf}$$

Sobrecarga adicional de montaje

$$C_{cr} := \frac{(h_1 + h_2 + h_3)}{H_u}$$

Coeficiente de reducción a la cima reducido a tres conductores

$$G_{vm} := \frac{[2.5 C_{cr} \cdot (P_{cv} + G_{ais}) + S_{am}] \cdot L_{ha}}{h_2}$$

$$G_{vm} = 109 \text{kgf}$$

**Esfuerzo producido por las cargas de construcción y mantenimiento**

$$K_e \cdot K_c \cdot G_{vm} = 109.5 \text{kgf}$$

. < .

$$\phi \cdot T_{rot} = 3960 \text{kgf}$$

**Se cumple la condición**

## Cargas de contención de fallas

Según nota 2 del punto 12.2.1.3 (Cargas de contención de fallas) "Reglamentación de líneas aéreas exteriores de media y alta tensión". AEA 95301-200 no se aplica para líneas compactas (tipo Line Post).

# Cálculo de fundaciones

## Fundación de estructura de suspensión:

### Datos necesarios:

|   |                    |  |
|---|--------------------|--|
| $H := 21\text{m}$                               |                    | Altura total de la columna   |
| $e := 0.1H$                                     | $e = 2.1\text{m}$  | Empotramiento  |
| $h := H - e$                                    | $h = 18.9\text{m}$ | Altura libre de la columna   |
| $D_p := 0.71\text{m}$                           |                    | Diámetro de la columna en el empotramiento   |
| $P_{col} := 9350\text{kgf}$                     |                    | Peso de la columna   |
| $P_{mens} := 480\text{kgf}$                     |                    | Peso de la ménsula   |
| $G_{ais} := 17\text{kgf}$                       |                    | Peso del aislador  |
| $P_c := 184.5\text{kgf}$                        |                    | Peso del conductor por vano  |
| $P_{chg} := 54.8\text{kgf}$                     |                    | Peso del hilo de guardia por vano  |
| $T_{cim} := 4919\text{kgf}$                     |                    | Tiro de calculo en la cima (cargas de servicio, hipótesis e - para estructura de suspensión)   |
| $g_{hor} := 2200 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$ |                    | Peso específico del hormigón   |
| $C_b := 6 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^3}$ |                    | Coefficiente de compresibilidad del fondo de la base   |
| $C_t := 6 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^3}$ |                    | Coefficiente de compresibilidad de las paredes   |
| $\mu := 0.4$                                    |                    | Coefficiente de fricción del terreno   |
| $K_e := 1$                                      |                    | Factor de carga (Tiene en cuenta los ensayos a escala natural según sea el tipo de esfuerzo al que se somete la fundación). De pag 87 "Reglamento de líneas aéreas..."   |
| $K_c := 1$                                      |                    | Factor de carga (tiene en cuenta el tipo de estructura y el daño que produciría una falla en la misma) De pag 87 "Reglamento de líneas aéreas..."  |
| $\phi := 1$                                     |                    | Factor de resistencia (es el coeficiente de seguridad aplicado al momento resistente, que depende del tipo de solicitaciones, el tipo de fundación y el montaje) de tabla 14.3-b "Reglamento de líneas aéreas..." pag 95 |
| $K_v := 1$                                      |                    | Factor de vuelco (depende del cociente $M_s/M_b$ y se extrae de tabla 14.3 del "Reglamento de líneas aéreas..." Pag 88)  |

## Calculo por el método de Sulzberger

Tipo de fundación: cuadrada, orientada en diagonal

### Dimensiones de la fundación:

Dado que se trata de una estructura que soporta una doble terna de 132 kV, directamente se adoptan dimensiones mayores que las dimensiones mínimas dictadas por el método de calculo.

$$D := 2 \cdot 0.1m + Dp$$

$$D = 0.91m$$

Diámetro del agujero

$$T := e + 0.4m$$

$$T = 2.5m$$

Profundidad

$$A := D + 2 \cdot 0.6m$$

$$A = 2.11m$$

Ancho mínimo

### Cargas verticales:

$$Pe := Pcol + 3 \cdot Pmens + 6 \cdot (G_{ais} + Pc) + 2Pchg$$

$$Pe = 12109kgf$$

Peso de la estructura armada

$$Pf := \left( A^2 - \frac{\pi D^2}{4} \right) \cdot T \cdot ghor$$

$$Pf = 20909kgf$$

Peso de la fundación

$$Pt := Pe + Pf$$

$$Pt = 33018kgf$$

Peso total

### Momentos resistentes

#### Momento lateral:

Verificación de la inclinación admisible:

$$tg\alpha := \frac{4.5\mu \cdot Pt}{A \cdot T^2 \cdot Ct}$$

$$tg\alpha = 0.00075$$

Es menor a 0,01

$$Ms := \frac{1.414}{36} \cdot A \cdot T^3 \cdot Ct \cdot 0.01$$

$$Ms = 77696kgf \cdot m$$

Momento resistente lateral

#### Momento de fondo:

Verificación de la inclinación admisible:

$$tg\alpha := \frac{1.414Pt}{A^3 \cdot Cb}$$

$$tg\alpha = 0.00083$$

Es menor a 0,01

$$Mb := Pt \left[ (0.707)A - 0.5 \sqrt[3]{\frac{3 \cdot Pt}{Cb \cdot 0.01}} \right]$$

$$Mb = 29744kgf \cdot m$$

Momento resistente de la base

## Momento volcador

$$M_v := T_{cim} \left( h + \frac{2}{3} \cdot T \right) \quad M_v = 101167.4 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

## Verificación del diseño (método de factorización de cargas y resistencias)

De tabla 14.3, pag 88 "Reglamento de líneas aéreas..." se recalcula el valor de  $K_v$  y de

$$\frac{M_s}{M_b} = 2.612 \quad \text{Entonces } K_v \text{ es:} \quad K_v := 1 \quad \phi := \frac{1}{K_v} \quad \phi := 1$$

Aplico  $K_e \cdot K_c \cdot M_v < \phi \cdot (M_b + M_s)$

$$K_e \cdot K_c \cdot M_v = 101167 \text{ kgf} \cdot \text{m} \quad . < \quad \phi \cdot (M_b + M_s) = 107440 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

**La fundación verifica**

# Cálculo de fundaciones

## Fundación de estructura de suspensión angular:

### Datos necesarios:

|   |                    |  |
|---|--------------------|--|
| $H := 21\text{m}$                               |                    | Altura total de la columna   |
| $e := 0.1H$                                     | $e = 2.1\text{m}$  | Empotramiento  |
| $h := H - e$                                    | $h = 18.9\text{m}$ | Altura libre de la columna   |
| $D_p := 0.71\text{m}$                           |                    | Diámetro de la columna en el empotramiento   |
| $P_{col} := 9350\text{kgf}$                     |                    | Peso de la columna   |
| $P_{mens} := 480\text{kgf}$                     |                    | Peso de la ménsula   |
| $G_{ais} := 6\text{kgf}$                        |                    | Peso del aislador  |
| $P_c := 184.5\text{kgf}$                        |                    | Peso del conductor por vano  |
| $P_{chg} := 54.8\text{kgf}$                     |                    | Peso del hilo de guardia por vano  |
| $T_{cim} := 5188\text{kgf}$                     |                    | Tiro de calculo en la cima (cargas de servicio, hipótesis e - para estructura de suspensión angular)   |
| $g_{hor} := 2200 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$ |                    | Peso específico del hormigón   |
| $C_b := 6 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^3}$ |                    | Coefficiente de compresibilidad del fondo de la base   |
| $C_t := 6 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^3}$ |                    | Coefficiente de compresibilidad de las paredes   |
| $\mu := 0.4$                                    |                    | Coefficiente de fricción del terreno   |
| $K_e := 1$                                      |                    | Factor de carga (Tiene en cuenta los ensayos a escala natural según sea el tipo de esfuerzo al que se somete la fundación). De pag 87 "Reglamento de líneas aéreas..."   |
| $K_c := 1$                                      |                    | Factor de carga (tiene en cuenta el tipo de estructura y el daño que produciría una falla en la misma) De pag 87 "Reglamento de líneas aéreas..."  |
| $\phi := 1$                                     |                    | Factor de resistencia (es el coeficiente de seguridad aplicado al momento resistente, que depende del tipo de solicitaciones, el tipo de fundación y el montaje) de tabla 14.3-b "Reglamento de líneas aéreas..." pag 95 |
| $K_v := 1$                                      |                    | Factor de vuelco (depende del cociente $M_s/M_b$ y se extrae de tabla 14.3 del "Reglamento de líneas aéreas..." Pag 88)  |

## Calculo por el método de Sulzberger

Tipo de fundación: cuadrada, orientada en diagonal

### Dimensiones de la fundación:

Dado que se trata de una estructura que soporta una doble terna de 132 kV, directamente se adoptan dimensiones mayores que las dimensiones mínimas dictadas por el método de calculo.

$$D := 2 \cdot 0.1m + Dp \quad D = 0.91m \quad \text{Diámetro del agujero}$$

$$T := e + 0.3m \quad T = 2.4m \quad \text{Profundidad}$$

$$A := D + 2 \cdot 0.7r \quad A = 2.31m \quad \text{Ancho mínimo}$$

### Cargas verticales:

$$Pe := Pcol + 3 \cdot Pmens + 6 \cdot (G_{ais} + Pc) + 2 \cdot Pchg \quad Pe = 12043kgf \quad \text{Peso de la estructura armada}$$

$$Pf := \left( A^2 - \frac{\pi D^2}{4} \right) \cdot T \cdot ghor \quad Pf = 24741kgf \quad \text{Peso de la fundación}$$

$$Pt := Pe + Pf \quad Pt = 36783kgf \quad \text{Peso total}$$

### Momentos resistentes

#### Momento lateral:

Verificación de la inclinación admisible:

$$tg\alpha := \frac{4.5\mu \cdot Pt}{A \cdot T^2 \cdot Ct} \quad tg\alpha = 0.00083 \quad \text{Es menor a 0,01}$$

$$Ms := \frac{1.414}{36} \cdot A \cdot T^3 \cdot Ct \cdot 0.01 \quad Ms = 75256kgf \cdot r \quad \text{Momento resistente lateral}$$

#### Momento de fondo:

Verificación de la inclinación admisible:

$$tg\alpha := \frac{1.414Pt}{A^3 \cdot Cb} \quad tg\alpha = 0.0007 \quad \text{Es menor a 0,01}$$

$$Mb := Pt \left[ (0.707)A - 0.5 \sqrt[3]{\frac{3 \cdot Pt}{Cb \cdot 0.01}} \right] \quad Mb = 37540kgf \cdot r \quad \text{Momento resistente de la base}$$

## Momento volcador

$$M_v := T \cdot c \cdot m \left( h + \frac{2}{3} \cdot T \right) \quad M_v = 106354 \text{kgf} \cdot \text{m}$$

## Verificación del diseño (método de factorización de cargas y resistencias)

De tabla 14.3, pag 88 "Reglamento de líneas aéreas..." se recalcula el valor de  $K_v$  y de

$$\frac{M_s}{M_b} = 2.005 \quad \text{Entonces } K_v \text{ es:} \quad K_v := 1 \quad \phi := \frac{1}{K_v} \quad \phi := 1$$

Aplico  $K_e \cdot K_c \cdot M_v < \phi \cdot (M_b + M_s)$

$$K_e \cdot K_c \cdot M_v = 106354 \text{kgf} \cdot \text{m} \quad . < \quad \phi \cdot (M_b + M_s) = 112796 \text{kgf} \cdot \text{m}$$

**La fundación verifica**

# Cálculo de fundaciones

## Fundación de estructura de retención en línea:

### Datos necesarios:

|   |                     |  |
|---|---------------------|--|
| $H := 19.5\text{m}$                             |                     | Altura total de las columnas   |
| $e := 0.1H$                                     | $e = 1.95\text{m}$  | Empotramiento  |
| $h := H - e$                                    | $h = 17.55\text{m}$ | Altura libre de la columna   |
| $D_p := 0.61\text{m}$                           |                     | Diámetro de la columna en el empotramiento   |
| $P_{col} := 5726\text{kgf}$                     |                     | Peso de cada columna   |
| $P_{mens} := 600\text{kgf}$                     |                     | Peso de cada ménsula   |
| $G_{ais} := 6\text{kgf}$                        |                     | Peso del aislador  |
| $P_c := 184.5\text{kgf}$                        |                     | Peso del conductor por vano  |
| $P_{chg} := 54.8\text{kgf}$                     |                     | Peso del hilo de guardia por vano  |
| $T_{cim} := 17098\text{kgf}$                    |                     | Tiro de cálculo en la cima (hipótesis b (construcción y mant.) - para estructura de retención)   |
| $g_{hor} := 2200 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$ |                     | Peso específico del hormigón   |
| $C_b := 6 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^3}$ |                     | Coefficiente de compresibilidad del fondo de la base   |
| $C_t := 6 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^3}$ |                     | Coefficiente de compresibilidad de las paredes   |
| $\mu := 0.4$                                    |                     | Coefficiente de fricción del terreno   |
| $K_e := 1$                                      |                     | Factor de carga (Tiene en cuenta los ensayos a escala natural según sea el tipo de esfuerzo al que se somete la fundación). De pag 87 "Reglamento de líneas aéreas..."   |
| $K_c := 1$                                      |                     | Factor de carga (tiene en cuenta el tipo de estructura y el daño que produciría una falla en la misma) De pag 87 "Reglamento de líneas aéreas..."  |
| $\phi := 1$                                     |                     | Factor de resistencia (es el coeficiente de seguridad aplicado al momento resistente, que depende del tipo de solicitaciones, el tipo de fundación y el montaje) de tabla 14.3-b "Reglamento de líneas aéreas..." pag 95 |
| $K_v := 1$                                      |                     | Factor de vuelco (depende del cociente $M_s/M_b$ y se extrae de tabla 14.3 del "Reglamento de líneas aéreas..." Pag 88)  |

## Calculo por el método de Sulzberger

Tipo de fundación: rectangular, orientada en sentido de la línea

### Dimensiones de la fundación:

Dado que se trata de una estructura que soporta una doble terna de 132 kV, directamente se adoptan dimensiones mayores que las dimensiones mínimas dictadas por el método de cálculo.

|                              |             |   |
|------------------------------|-------------|---|
| $S := 0.3m + 0.04H$          | $S = 1.08m$ | Separación entre postes en la base, considerando en la cima una separación de 30 cm |
| $D := 2 \cdot 0.1m + D_p$    | $D = 0.81m$ | Diámetro de los agujeros p/colocar las columnas.                                    |
| $L := 2 \cdot 0.7m + S + 2D$ | $L = 4.1m$  | Long mínima de la base  |
| $A := D + 2 \cdot 1.2r$      | $A = 3.21m$ | Ancho mínimo  |
| $T := e + 1.5m$              | $T = 3.45m$ | Profundidad   |

### Cargas verticales:

|   |                                |                              |
|---|--------------------------------|------------------------------|
| $Pe := 2P_{col} + 3 \cdot P_{mens} + 6 \cdot (2 \cdot G_{ais} + P_c) + 2 \cdot P_{chg}$ | $Pe = 14541kgf$                | Peso de la estructura armada |
| $Pf := \left( L \cdot A - \frac{2\pi D^2}{4} \right) \cdot T \cdot g_{hor}$             | $Pf = 92069.7kgf$              | Peso de la fundación         |
| $Pt := Pe + Pf$   | $Pt = 1 \times 10^5 \cdot kgf$ | Peso total                   |

### Momentos resistentes

#### Momento lateral:

Verificación de la inclinación admisible:

|   |                          |                                      |
|---|--------------------------|--------------------------------------|
| $tg\alpha := \frac{6 \cdot \mu \cdot Pt}{A \cdot T^2 \cdot Ct}$ | $tg\alpha = 0.00112$     | Es menor a 0,01                      |
| $Ms := \frac{A \cdot T^3}{36} \cdot Ct \cdot 0.01$              | $Ms = 219690kgf \cdot m$ | Momento resistente de encastramiento |

#### Momento de fondo:

Verificación de la inclinación admisible:

|  |                          |                                      |
|--|--------------------------|--------------------------------------|
| $tg\alpha := \frac{2 \cdot Pt}{L^2 \cdot A \cdot Cb}$                                      | $tg\alpha = 0.00066$     | Es menor a 0,01                      |
| $Mb := Pt \cdot \left( \frac{L}{2} - 0.47 \sqrt{\frac{Pt}{A \cdot Cb \cdot 0.01}} \right)$ | $Mb = 181272kgf \cdot m$ | Momento resistente de encastramiento |

## Momento volcador

$$M_v := T \cdot c \cdot \text{im} \left( h + \frac{2}{3} \cdot T \right) \quad M_v = 339395 \text{kgf} \cdot \text{m}$$

## Verificación del diseño (método de factorización de cargas y resistencias)

De tabla 14.3, pág. 87 "Reglamento de líneas aéreas..." se recalcula el valor de  $K_v$  y de

$$\frac{M_s}{M_b} = 1.212 \quad \text{Entonces } K_v \text{ es:} \quad K_v := 1 \quad \text{Factor de vuelco}$$

$$\phi := \frac{1}{K_v} \quad \phi = 1 \quad \text{Factor global de resistencia}$$

$$\text{Aplico} \quad K_e \cdot K_c \cdot M_v < \phi \cdot (M_b + M_s)$$

$$K_e \cdot K_c \cdot M_v = 339395 \text{kgf} \cdot \text{m} \quad . < \quad \phi \cdot (M_b + M_s) = 400962 \text{kgf} \cdot \text{m}$$

**La fundación verifica**

# Cálculo de fundaciones

## Fundación de estructura de retención angular:

### Datos necesarios:

|   |                     |  |
|---|---------------------|--|
| $H := 21.5\text{m}$                             |                     | Altura total de las columnas   |
| $e_e := 0.1H$                                   | $e = 2.15\text{m}$  | Empotramiento  |
| $h := H - e$                                    | $h = 19.35\text{m}$ | Altura libre de la columna   |
| $D_p := 0.70\text{m}$                           |                     | Diámetro de la columna en el empotramiento   |
| $P_{col} := 7111\text{kgf}$                     |                     | Peso de cada columna   |
| $P_{mens} := 600\text{kgf}$                     |                     | Peso de cada ménsula   |
| $G_{ais} := 6\text{kgf}$                        |                     | Peso del aislador  |
| $P_c := 184.5\text{kgf}$                        |                     | Peso del conductor por vano  |
| $P_{chg} := 54.8\text{kgf}$                     |                     | Peso del hilo de guardia por vano  |
| $T_{cim} := 29390\text{kgf}$                    |                     | Tiro de calculo en la cima (hipótesis a (Contención de fallas.) - para estructura de retención angular)  |
| $g_{hor} := 2200 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$ |                     | Peso específico del hormigón   |
| $C_b := 6 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^3}$ |                     | Coefficiente de compresibilidad del fondo de la base   |
| $C_t := 6 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^3}$ |                     | Coefficiente de compresibilidad de las paredes   |
| $\mu := 0.4$                                    |                     | Coefficiente de fricción del terreno   |
| $K_e := 1$                                      |                     | Factor de carga (Tiene en cuenta los ensayos a escala natural según sea el tipo de esfuerzo al que se somete la fundación). De pag 87 "Reglamento de líneas aéreas..."   |
| $K_c := 1.2$                                    |                     | Factor de carga (tiene en cuenta el tipo de estructura y el daño que produciría una falla en la misma) De pag 87 "Reglamento de líneas aéreas..."  |
| $\phi$  |                     | Factor de resistencia (es el coeficiente de seguridad aplicado al momento resistente, que depende del tipo de solicitaciones, el tipo de fundación y el montaje) de tabla 14.3-b "Reglamento de líneas aéreas..." pag 95 |
| $K_v$   |                     | Factor de vuelco (depende del cociente $M_s/M_b$ y se extrae de tabla 14.3 del "Reglamento de líneas aéreas..." Pag 88)  |

## Calculo por el método de Sulzberger

Tipo de fundación: de base cuadrada, orientada con su diagonal en sentido de la bisectriz del ángulo de la línea.

### Dimensiones de la fundación:

Dado que se trata de una estructura que soporta una doble terna de 132 kV, directamente se adoptan dimensiones mayores que las dimensiones mínimas dictadas por el método de calculo.

|                              |             |   |
|------------------------------|-------------|---|
| $S := 0.3m + 0.04H$          | $S = 1.16m$ | Separación entre postes en la base, considerando en la cima una separación de 30 cm |
| $D := 2 \cdot 0.1m + Dp$     | $D = 0.9m$  | Diámetro de los agujeros p/colocar las columnas.                                    |
| $L := 2 \cdot 0.8m + S + 2D$ | $L = 4.56m$ | Long minima de la base  |
| $A := L$                     | $A = 4.56m$ | Ancho mínimo  |
| $T := e + 1.2m$              | $T = 3.35m$ | Profundidad   |

### Cargas verticales:

|  |                    |                              |
|--|--------------------|------------------------------|
| $Pe := 3P_{col} + 3 \cdot P_{mens} + 6 \cdot (4 \cdot G_{ais} + Pc) + 3 \cdot G_{ais} + 2 \cdot P_{chg}$ | $Pe = 24512kgf$    | Peso de la estructura armada |
| $Pf := \left( L \cdot A - \frac{2\pi D^2}{4} \right) \cdot T \cdot g_{hor}$                              | $Pf = 143871.6kgf$ | Peso de la fundación         |
| $Pt := Pe + Pf$  | $Pt = 168383kgf$   | Peso total                   |

### Momentos resistentes

#### Momento lateral:

Verificación de la inclinación admisible:

|  |                          |                                      |
|--|--------------------------|--------------------------------------|
| $tg\alpha := \frac{4.5\mu \cdot Pt}{A \cdot T^2 \cdot Ct}$ | $tg\alpha = 0.00099$     | Es menor a 0,01                      |
| $Ms := \frac{1.414A \cdot T^3}{36} \cdot Ct \cdot 0.01$    | $Ms = 404015kgf \cdot m$ | Momento resistente de encastramiento |

#### Momento de fondo:

Verificación de la inclinación admisible:

|  |                          |                                      |
|--|--------------------------|--------------------------------------|
| $tg\alpha := \frac{1.414Pt}{A^3 \cdot Cb}$   | $tg\alpha = 0.00042$     | Es menor a 0,01                      |
| $Mb := Pt \cdot \left( A \cdot 0.707 - 0.5 \sqrt[3]{\frac{3 \cdot Pt}{Cb \cdot 0.01}} \right)$ | $Mb = 371580kgf \cdot m$ | Momento resistente de encastramiento |

## Momento volcador

$$M_v := T \cdot \text{cim} \left( h + \frac{2}{3} \cdot T \right) \quad M_v = 634334 \text{kgf} \cdot \text{m}$$

## Verificación del diseño (método de autorización de cargas y resistencias)

De tabla 14.3, pag 87 "Reglamento de líneas aéreas..." se recalcula el valor de  $K_v$  y de

$$\frac{M_s}{M_b} = 1.087 \quad \text{Entonces } K_v \text{ es:} \quad K_v := 1 \quad \text{Factor de vuelco}$$

$$\phi := \frac{1}{K_v} \quad \phi = 1 \quad \text{Factor global de resistencia}$$

Aplico  $K_e \cdot K_c \cdot M_v < \phi \cdot (M_b + M_s)$

$$K_e \cdot K_c \cdot M_v = 761201 \text{kgf} \cdot \text{m} \quad . < \quad \phi \cdot (M_b + M_s) = 775595 \text{kgf} \cdot \text{m}$$

**La fundación verifica**

# Cálculo de fundaciones

## Fundación de estructura de retención angular (columna metálica):

### Datos necesarios:

|   |                     |  |
|---|---------------------|--|
| $H := 20.5\text{m}$                             |                     | Altura total de la columna   |
| $e := 0.1H$                                     | $e = 2.05\text{m}$  | Empotramiento  |
| $h := H - e$                                    | $h = 18.45\text{m}$ | Altura libre de la columna   |
| $D_p := 0.70\text{m}$                           |                     | Diámetro de la columna en el empotramiento   |
| $P_{col} := 5000\text{kgf}$                     |                     | Peso de la columna   |
| $P_{mens} := 600\text{kgf}$                     |                     | Peso de cada ménsula   |
| $G_{ais} := 17\text{kgf}$                       |                     | Peso del aislador  |
| $P_c := 123\text{kgf}$                          |                     | Peso del conductor por vano  |
| $P_{chg} := 36.5\text{kgf}$                     |                     | Peso del hilo de guardia por vano  |
| $T_{cim} := 23498\text{kgf}$                    |                     | Tiro de calculo en la cima (cargas de contención de fallas)  |
| $g_{hor} := 2200 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$ |                     | Peso específico del hormigón   |
| $C_b := 6 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^3}$ |                     | Coefficiente de compresibilidad del fondo de la base   |
| $C_t := 6 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^3}$ |                     | Coefficiente de compresibilidad de las paredes   |
| $\mu := 0.4$                                    |                     | Coefficiente de fricción del terreno   |
| $K_e := 1$                                      |                     | Factor de carga (Tiene en cuenta los ensayos a escala natural según sea el tipo de esfuerzo al que se somete la fundación). De pag 87 "Reglamento de líneas aéreas..."   |
| $K_c := 1$                                      |                     | Factor de carga (tiene en cuenta el tipo de estructura y el daño que produciría una falla en la misma) De pag 87 "Reglamento de líneas aéreas..."  |
| $\phi := 1$                                     |                     | Factor de resistencia (es el coeficiente de seguridad aplicado al momento resistente, que depende del tipo de solicitaciones, el tipo de fundación y el montaje) de tabla 14.3-b "Reglamento de líneas aéreas..." pag 95 |
| $K_v := 1$                                      |                     | Factor de vuelco (depende del cociente $M_s/M_b$ y se extrae de tabla 14.3 del "Reglamento de líneas aéreas..." Pag 88)  |

## Calculo por el método de Sulzberger

Tipo de fundación: cuadrada, orientada en diagonal

### Dimensiones de la fundación:

Dado que se trata de una estructura que soporta una doble terna de 132 kV, directamente se adoptan dimensiones mayores que las dimensiones mínimas dictadas por el método de calculo.

$$D := 2 \cdot 0.1m + D_p \quad D = 0.9m \quad \text{Diámetro del agujero}$$

$$T := e + 1.2m \quad T = 3.25m \quad \text{Profundidad}$$

$$A := D + 2 \cdot 1.5r \quad A = 3.9m \quad \text{Ancho mínimo}$$

### Cargas verticales:

$$P_e := P_{col} + 3 \cdot P_{mens} + 6 \cdot (4 \cdot G_{ais} + P_c) + 3 \cdot G_{ais} + P_{chg} \quad P_e = 8034kgf \quad \text{Peso de la estructura armada}$$

$$P_f := \left( A^2 - \frac{\pi D^2}{4} \right) \cdot T \cdot g_{hor} \quad P_f = 1 \times 10^5 \cdot kgf \quad \text{Peso de la fundación}$$

$$P_t := P_e + P_f \quad P_t = 1 \times 10^5 \cdot kgf \quad \text{Peso total}$$

### Momentos resistentes

#### Momento lateral:

Verificación de la inclinación admisible:

$$tg\alpha := \frac{4.5\mu \cdot P_t}{A \cdot T^2 \cdot C_t} \quad tg\alpha = 0.00082 \quad \text{Es menor a 0,01}$$

$$M_s := \frac{1.414}{36} \cdot A \cdot T^3 \cdot C_t \cdot 0.01 \quad M_s = 315510kgf \cdot r \quad \text{Momento resistente lateral}$$

#### Momento de fondo:

Verificación de la inclinación admisible:

$$tg\alpha := \frac{1.414P_t}{A^3 \cdot C_b} \quad tg\alpha = 0.00045 \quad \text{Es menor a 0,01}$$

$$M_b := P_t \left[ (0.707)A - 0.5 \sqrt[3]{\frac{3 \cdot P_t}{C_b \cdot 0.01}} \right] \quad M_b = 209744kgf \cdot r \quad \text{Momento resistente de la base}$$

## Momento volcador

$$M_v := T \cdot c_{im} \left( h + \frac{2}{3} \cdot T \right) \quad M_v = 484450.4 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

## Verificación del diseño (método de factorización de cargas y resistencias)

De tabla 14.3, pag 88 "Reglamento de líneas aéreas..." se recalcula el valor de  $K_v$  y de

$$\frac{M_s}{M_b} = 1.504 \quad \text{Entonces } K_v \text{ es:} \quad K_v := 1 \quad \phi := \frac{1}{K_v} \quad \phi := 1$$

Aplico  $K_e \cdot K_c \cdot M_v < \phi \cdot (M_b + M_s)$

$$K_e \cdot K_c \cdot M_v = 484450 \text{ kgf} \cdot \text{m} \quad . < \quad \phi \cdot (M_b + M_s) = 525254 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

**La fundación verifica**

# Cálculo de fundaciones

## Fundación de estructura line post:

### Datos necesarios:

|   |                     |  |
|---|---------------------|--|
| $H := 18.5\text{m}$                             |                     | Altura total de la columna   |
| $e := 0.1H$                                     | $e = 1.85\text{m}$  | Empotramiento  |
| $h := H - e$                                    | $h = 16.65\text{m}$ | Altura libre de la columna   |
| $D_p := 0.68\text{m}$                           |                     | Diámetro de la columna en el empotramiento   |
| $P_{col} := 6690\text{kgf}$                     |                     | Peso de la columna   |
| $G_{ais} := 17\text{kgf}$                       |                     | Peso del aislador  |
| $P_c := 123\text{kgf}$                          |                     | Peso del conductor por vano  |
| $P_{chg} := 36.5\text{kgf}$                     |                     | Peso del hilo de guardia por vano  |
| $T_{cim} := 3457\text{kgf}$                     |                     | Tiro de calculo en la cima (cargas de servicio, hipótesis e - para este tipo de estructura)  |
| $g_{hor} := 2200 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$ |                     | Peso especifico del hormigón   |
| $C_b := 6 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^3}$ |                     | Coefficiente de compresibilidad del fondo de la base   |
| $C_t := 6 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^3}$ |                     | Coefficiente de compresibilidad de las paredes   |
| $\mu := 0.4$                                    |                     | Coefficiente de fricción del terreno   |
| $K_e := 1$                                      |                     | Factor de carga (Tiene en cuenta los ensayos a escala natural según sea el tipo de esfuerzo al que se somete la fundación). De pag 87 "Reglamento de líneas aéreas..."   |
| $K_c := 1$                                      |                     | Factor de carga (tiene en cuenta el tipo de estructura y el daño que produciría una falla en la misma) De pag 87 "Reglamento de líneas aéreas..."  |
| $\phi := 1$                                     |                     | Factor de resistencia (es el coeficiente de seguridad aplicado al momento resistente, que depende del tipo de solicitaciones, el tipo de fundación y el montaje) de tabla 14.3-b "Reglamento de líneas aéreas..." pag 95 |
| $K_v := 1$                                      |                     | Factor de vuelco (depende del cociente $M_s/M_b$ y se extrae de tabla 14.3 del "Reglamento de líneas aéreas..." Pag 88)  |

## Calculo por el método de Sulzberger

Tipo de fundación: cuadrada, orientada en diagonal

### Dimensiones de la fundación:

Dado que se trata de una estructura que soporta una doble terna de 132 kV, directamente se adoptan dimensiones mayores que las dimensiones mínimas dictadas por el método de calculo.

$$D := 2 \cdot 0.1m + D_p \quad D = 0.88m \quad \text{Diámetro del agujero}$$

$$T := e + 0.2m \quad T = 2.05m \quad \text{Profundidad}$$

$$A := D + 2 \cdot 0.6m \quad A = 2.08m \quad \text{Ancho mínimo}$$

### Cargas verticales:

$$P_e := P_{col} + 6 \cdot (G_{ais} + P_c) + P_{chg} \quad P_e = 7566kgf \quad \text{Peso de la estructura armada}$$

$$P_f := \left( A^2 - \frac{\pi D^2}{4} \right) \cdot T \cdot g_{hor} \quad P_f = 16769kgf \quad \text{Peso de la fundación}$$

$$P_t := P_e + P_f \quad P_t = 24336kgf \quad \text{Peso total}$$

### Momentos resistentes

#### Momento lateral:

Verificación de la inclinación admisible:

$$tg\alpha := \frac{4.5\mu \cdot P_t}{A \cdot T^2 \cdot C_t} \quad tg\alpha = 0.00084 \quad \text{Es menor a 0,01}$$

$$M_s := \frac{1.414}{36} \cdot A \cdot T^3 \cdot C_t \cdot 0.01 \quad M_s = 42230kgf \cdot m \quad \text{Momento resistente lateral}$$

#### Momento de fondo:

Verificación de la inclinación admisible:

$$tg\alpha := \frac{1.414P_t}{A^3 \cdot C_b} \quad tg\alpha = 0.00064 \quad \text{Es menor a 0,01}$$

$$M_b := P_t \left[ (0.707)A - 0.5 \sqrt[3]{\frac{3 \cdot P_t}{C_b \cdot 0.01}} \right] \quad M_b = 22797kgf \cdot m \quad \text{Momento resistente de la base}$$

## Momento volcador

$$M_v := T_{\text{cim}} \left( h + \frac{2}{3} \cdot T \right) \quad M_v = 62283.6 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

## Verificación del diseño (método de factorización de cargas y resistencias)

De tabla 14.3, pag 88 "Reglamento de líneas aéreas..." se recalcula el valor de  $K_v$  y de

$$\frac{M_s}{M_b} = 1.852 \quad \text{Entonces } K_v \text{ es:} \quad K_v := 1 \quad \phi := \frac{1}{K_v} \quad \phi := 1$$

Aplico  $K_e \cdot K_c \cdot M_v < \phi \cdot (M_b + M_s)$

$$K_e \cdot K_c \cdot M_v = 62284 \text{ kgf} \cdot \text{m} \quad . < \quad \phi \cdot (M_b + M_s) = 65027 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

**La fundación verifica**

# *Cálculo de Estación Transformadora ciudad de Federación*

*Confalonieri German*

*Díaz Miguel*

## **Objetivos de la obra**

Objetivos generales de la obra

Características de la obra

## **Dimensionamiento cálculo de barras y pórticos de barras**

Cálculo mecánico del conductor

Cálculo y dimensionamiento de pórticos

Cálculo de fundaciones

## **Cálculo de Corto circuito**

Esquema unifilar

Aportes

Impedancias

Valores por unidad

Cálculo

## **Malla de Puesta a tierra**

Consideraciones iniciales

Datos

Tensiones de paso y de contacto admisibles

Dimensiones y características

Verificación Térmica del conductor

Verificación de tensiones de malla y de paso

## **Selección y características de equipos**

Características de la red

Niveles de tensión

Coordinación de aislación

Transformador

Transformadores de corriente

Transformadores de tensión

Interruptores

Seccionadores

Selección de descargadores

Distancias de protección

## **Planos**

Esquema unifilar

Esquema unifilar completo

Vista en planta

Disposición de campos

Campo Transformador

Campo de entrada

Protección Atmosférica

## **Catálogos**

Catálogos varios

# Cálculo y dimensionamiento, de barras y pórticos de barras en SET.

## Definición de zona climática para el cálculo:

La zona climática donde se emplazará la obra corresponde a la "C" según clasificación de la AEA 2006, y las características de la misma para los diferentes estados climáticos son:

| Estado | Temperatura                     | Viento  | Denominación del estado  |
|--------|---------------------------------|---|--|
| I      | $t_I := 45^{\circ}\text{C}$     | $v_I := 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  | Máxima temperatura.  |
| II     | $t_{II} := -10^{\circ}\text{C}$ | $v_{II} := 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$   | Mínima temperatura.  |
| III    | $t_{III} := 15^{\circ}\text{C}$ | $v_{III} := 35 \cdot 1.15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$<br>$v_{III} = 40.25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ | Máximo viento<br>$v_{III} = 144.9 \frac{\text{km}}{\text{h}}$  |
| IV     | $t_{IV} := -5^{\circ}\text{C}$  | $v_{IV} := 40\% \cdot 35 \frac{\text{m}}{\text{s}}$<br>$v_{IV} = 14 \frac{\text{m}}{\text{s}}$      | Viento moderado.<br>$v_{IV} = 50.4 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ |
| V      | $t_V := 16^{\circ}\text{C}$     | $v_V := 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  | Temperatura media anual.                                       |

Los pórticos serán de H° A°. según norma IRAM 1603.

## Sección de conductores.

**-Conductores de barras:** serán de aluminio-acero con una sección de 300/50 mm<sup>2</sup> según IRAM 2187, para las barras y conexión entre éstas y los equipos. Para la vinculación de los equipos de los campos se utilizarán caños rígidos circulares de aluminio de 32 mm de diámetro y 4 mm de espesor.

Para la tensión máxima admisible de tracción de los conductores de barra se adoptará **3 daN/mm<sup>2</sup>** a fin de no solicitar demasiado los pórticos, y **11 daN/mm<sup>2</sup>** para cables de guardias.

**-Conductores conexión Trafos de potencia:** se utilizarán conductores tripolares de cobre tipo subterráneo aislados en XLPE con vaina de protección de PVC según IRAM 2178 categoría II para 13,2 kV y categoría I para 33 kV. Para BT los cables serán de PVC con vaina de protección de PVC. Las secciones, a verificar por cortocircuito, serán:

-Para 33 kV: 50 mm<sup>2</sup>.

-Para 13,2 kV alimentación celdas de MT: 2x120 mm<sup>2</sup>.

-Para 13,2 kV alimentación trafo SSAA (servicios auxiliares): 70 mm<sup>2</sup>.

-Para 0,4 kV alimentación edificio ET: 150 mm<sup>2</sup>. (unipolares)

## -Sección del cable de guardia:

Se adopta una sección de 50 mm<sup>2</sup> según IRAM 722.

**-Tipo de aisladores:** (Niveles de aislación).

Los aisladores de pórticos de barras serán de tipo de barra larga poliméricos. Se instalarán dos por cada retención de fase. Se adjunta hoja con características y a continuación se calculan los esfuerzos a que estará sometido.

Los niveles de aislación, considerando una tensión máxima de 145 kV, serán:

-Tensión resistida de corta duración a frecuencia industrial (valor eficaz): **230 kV**

-Tensión resistida de impulso atmosférico nominal (valor de cresta): **550 kV**

-Distancias mínimas en aire ante tensiones resistidas atmosféricas normalizadas (punta-estructura metálica): **1100 mm**

Los niveles de aislación, considerando una tensión máxima de 36 kV, serán:

-Tensión resistida de corta duración a frecuencia industrial (valor eficaz): **70 kV**

-Tensión resistida de impulso atmosférico nominal (valor de cresta): **170 kV**

-Distancias mínimas en aire ante tensiones resistidas atmosféricas normalizadas (punta-estructura metálica): **320 mm**

Los niveles de aislación, considerando una tensión máxima de 14,5 kV, serán:

-Tensión resistida de corta duración a frecuencia industrial (valor eficaz): **38 kV**

-Tensión resistida de impulso atmosférico nominal (valor de cresta): **95 kV**

-Distancias mínimas en aire ante tensiones resistidas atmosféricas normalizadas (punta-estructura metálica): **160 mm**

Luego las distancias de seguridad según la reglamentación de la AEA para 145 kV serán:

$d_h := 2.4m$  Distancia horizontal en todas las zonas de circulación a partes con tensión

$d_v := 3.75m$  Distancia vertical en todas las zonas de circulación a partes con tensión

**Las distancias se adoptarán según las utilizadas por algunas empresas de servicio público de electricidad, las cuales se adjuntan en una tabla, y son sustancialmente mayores a las requeridas por la reglamentación.**

**-Esfuerzos sobre aisladores de barra larga:**

$CMR := 12000kgf$  Carga mecánica de rotura

La reglamentación establece que el aislador debe estar solicitado como máximo un 33% de la carga de rotura del cable:

$$T_{cII} := 3 \cdot \left( \frac{kgf}{mm^2} \right) \cdot 304.5mm^2 \quad T_{cII} = 913.5kgf \quad \text{Tiro máximo conductor, correspondiente al estado II}$$

$$33\% \cdot CMR = 3960kgf > T_{cII} \quad \text{Verifica}$$

**Conductores (tabla con características).**

| <u>Descripción</u>  | <u>Conductor</u>              | <u>Cable de guardia</u> |
|---------------------|-------------------------------|-------------------------|
| -Norma              | IRAM 2187                     | IRAM 722                |
| -Material           | Aluminio-Acero                | Acero cincado           |
| -Formación          | 26x3.86 - 7x3                 | 1x19                    |
| -Sección nominal    | $s_c := 300mm^2$              | $s_{cg} := 50mm^2$      |
| -Sección Aluminio   | $s_{cAl} := 304.25mm^2$       |                         |
| -Sección Acero      | $s_{cAc} := 49.48mm^2$        |                         |
| -Sección total real | $s_{rc} := s_{cAl} + s_{cAc}$ |                         |
|                     | $s_{rc} = 353.73mm^2$         |                         |

|   |  |  |
|---|--|--|
| -Diámetro   | $d_c := 24.44\text{mm}$  | $d_{cg} := 9\text{mm}$   |
| -Peso   | $G_c := 1243 \frac{\text{kgf}}{\text{km}}$   | $G_{cg} := 394 \frac{\text{kgf}}{\text{km}}$   |
| -Relación de Al-Ac  | 26/7   |  |
| -Carga de rotura  | $T_{rot\_c} := 10500\text{kgf}$  | $T_{rot\_cg} := 5405.1\text{kgf}$  |
| -Tensión de rotura  | $\sigma_{rot\_c} := \frac{T_{rot\_c}}{s_{rc}}$<br>$\sigma_{rot\_c} = 29.684 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$  | $\sigma_{rot\_cg} := \frac{T_{rot\_cg}}{s_{cg}}$<br>$\sigma_{rot\_cg} = 108.102 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$  |
| -Tensión máx. admisibles según estados de carga (se adopta <b>3 daN/mm<sup>2</sup></b> para conductores de fase y <b>11 daN/mm<sup>2</sup></b> para cable de guardia; para todos los estados) | $\sigma_{adm\_cI} := 3 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$<br>$\sigma_{adm\_cII} := \sigma_{adm\_cI}$<br>$\sigma_{adm\_cIII} := \sigma_{adm\_cI}$<br>$\sigma_{adm\_cIV} := \sigma_{adm\_cI}$<br>$\sigma_{adm\_cV} := \sigma_{adm\_cI}$ | $\sigma_{adm\_cgI} := 11 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$<br>$\sigma_{adm\_cgII} := \sigma_{adm\_cgI}$<br>$\sigma_{adm\_cgIII} := \sigma_{adm\_cgI}$<br>$\sigma_{adm\_cgIV} := \sigma_{adm\_cgI}$<br>$\sigma_{adm\_cgV} := \sigma_{adm\_cgI}$ |
| -Módulo de elasticidad  | $E_c := 7700 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$   | $E_{cg} := 20000 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$   |
| -Coef. de dilatación térmica  | $\alpha_c := 18.9 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}}$  | $\alpha_{cg} := 11 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}}$   |

### Fuerza del viento: cálculo.

-Fuerza del viento sobre conductores. Definiremos las variables involucradas en la expresión de cálculo:

|   |   |
|---|---|
| $Q := 0.0613 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  | Factor que depende de la densidad del aire            |
| $Z_p := 1.1$                                | Factor del terreno función del tipo de exposición (C) |
| $v_{III} = 40.25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ | Viento máximo de diseño                               |
| $a_c := 60\text{m}$                         | Vano de cálculo (entre pórticos de la playa de AT)    |
| $L_s := 67\text{m}$                         | Factor función del tipo de exposición (C)             |
| $k := 0.00\ddot{c}$                         | Factor función del tipo de exposición (C)             |
| $\alpha := 7.5$                             | Factor función del tipo de exposición (C)             |

$$Z := 10 - \frac{1}{3} \cdot 0.71$$

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

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

$$E = 0.348$$

Factor para hallar el factor de ráfaga  $G_W$

$$B_W := \frac{1}{1 + 0.8 \frac{a_c}{L_s}}$$

$$B_W = 0.583$$

Factor para hallar el factor de ráfaga  $G_W$

$$G_W := 1 + 2.7E \cdot \sqrt{B_W}$$

$$G_W = 1.716$$

Factor de ráfaga

$$C_F := 1$$

Coefficiente de forma

$$p_c := \pi \cdot d_c$$

$$p_c = 0.077m$$

Perímetro del conductor sobre el cual actúa el viento, donde  $d_c$  es el diámetro del conductor

$$A_c := \frac{a_c}{2} \cdot p_c$$

$$A_c = 2.3m^2$$

Área proyectada donde actúa el viento sobre el conductor (la mitad del vano)

$$\Psi := 0deg$$

Ángulo del viento con el eje perpendicular de las barras

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

$$F_c := Q \cdot (Z_p \cdot v_{III})^2 \cdot G_W \cdot C_F \cdot A_c \cdot (\cos(\Psi))^2$$

$$F_c = 48.4kgf$$

#### Fuerza del viento sobre cable de guardia:

$$d_{cg} = 9mm$$

Diámetro del cable de guardia

$$p_{cg} := \pi \cdot d_{cg}$$

$$p_{cg} = 0.028m$$

$$A_{cg} := \frac{a_c}{2} \cdot p_{cg}$$

$$A_{cg} = 0.848m^2$$

(Los factores por tipo de exposición y el de ráfaga, se mantuvieron los mismos que para el conductor, por no apreciarse una diferencia significativa)

$$F_{cg} := Q \cdot (Z_p \cdot v_{III})^2 \cdot G_W \cdot C_F \cdot A_{cg} \cdot (\cos(\Psi))^2$$

$$F_{cg} = 17.8kgf$$

Luego, para viento moderado las expresiones son:

$$v_{IV} = 14 \frac{m}{s}$$

$$F_{cm} := Q \cdot (Z_p \cdot v_{IV})^2 \cdot G_W \cdot C_F \cdot A_c \cdot (\cos(\Psi))^2$$

$$F_{cm} = 5.9kgf$$

$$F_{cgm} := Q \cdot (Z_p \cdot v_{IV})^2 \cdot G_W \cdot C_F \cdot A_{cg} \cdot (\cos(\Psi))^2$$

$$F_{cgm} = 2.2kgf$$

#### -Fuerza del viento sobre aisladores:

-Para aislador barra larga (BL) polimérico de retención: se elige un modelo cuyas medidas son:

$$\phi_a := 180mm$$

Diámetro de aletas

$$l_a := 1460mm$$

Largo del aislador

Superficie de los aisladores expuesta al viento (son dos por fase)

$$A_a := 2 \cdot \pi \cdot \phi_a \cdot l_a \quad A_a = 1.65 \text{ m}^2$$

$$\text{Luego: } F_{a\_BL} := Q \cdot (Z_p \cdot v_{III})^2 \cdot G_w \cdot C_F \cdot A_a \cdot (\cos(\Psi))^2 \quad F_{a\_BL} = 34.73 \text{ kgf}$$

## CÁLCULO MECÁNICO CONDUCTORES

### Cargas específicas

Para los distintos estados de los conductores, serán:

#### Estado I:

$$g_{cI} := \frac{G_c}{s_{rc}} \quad g_{cI} = 3.514 \times 10^{-3} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{m} \cdot \text{mm}^2} \quad \text{Debida al peso propio}$$

#### Estado II:

$$g_{cII} := \frac{G_c}{s_{rc}} \quad g_{cII} = 3.514 \times 10^{-3} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{m} \cdot \text{mm}^2}$$

#### Estado III:

$$g_{vc} := \frac{F_c}{s_{rc} \cdot a_c} \quad g_{vc} = 2.283 \times 10^{-3} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{m} \cdot \text{mm}^2} \quad \text{Debida a la carga del viento máximo.}$$

$$g_{cIII} := \sqrt{g_{cI}^2 + g_{vc}^2} \quad g_{cIII} = 0.004 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{m} \cdot \text{mm}^2}$$

$$\beta_c := \text{atan} \left( \frac{g_{vc}}{g_{cI}} \right) \quad \beta_c = 33\text{-deg} \quad \text{Inclinación máxima del conductor}$$

#### Estado IV:

$$g_{vmc} := g_{vc} \cdot \left( \frac{v_{IV}}{v_{III}} \right)^2 \quad g_{vmc} = 2.761 \times 10^{-4} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{m} \cdot \text{mm}^2} \quad \text{Debida a la carga del viento moderado. No se considera manguito de hielo.}$$

$$g_{cIV} := \sqrt{g_{cI}^2 + g_{vmc}^2} \quad g_{cIV} = 3.525 \times 10^{-3} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{m} \cdot \text{mm}^2}$$

#### Estado V:

$$g_{cV} := \frac{G_c}{s_{rc}} \quad g_{cV} = 3.514 \times 10^{-3} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{m} \cdot \text{mm}^2}$$

## Tensiones y flechas

Dado que se consideró la misma tensión admisible en todos los estados y que la longitud del vano considerado es chica (60 m), se toma como estado básico el II (menor temperatura). Y así se verifica que no se sobrepase la tensión admisible.

### Estado I

Para calcular las raíces de la ecuación de estado, se definirán las funciones sig.:

$$f1(\sigma_{cI}) := \sigma_{cI} - \frac{a_c^2 \cdot E_c \cdot g_{cI}^2}{24 \sigma_{cI}^2} \quad f2(\sigma_{cI}) := \sigma_{adm\_cII} - \frac{a_c^2 \cdot E_c \cdot g_{cII}^2}{24 \sigma_{adm\_cII}^2} + \alpha_c \cdot (-t_{II} - t_I) \cdot E_c$$

$$\sigma_{cI} := 5 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2} \quad \text{Valor supuesto para iniciar el cálculo}$$

$$\sigma_{cI} := \text{root}(f1(\sigma_{cI}) - f2(\sigma_{cI}), \sigma_{cI}) \quad \sigma_{cI} = 1.638 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{adm\_cI} = 3 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2} \quad \sigma_{cI} < \sigma_{adm\_cI} \quad \text{Verifica}$$

Luego la flecha será:

$$f_{cI} := \frac{a_c^2 \cdot g_{cI}}{8 \cdot \sigma_{cI}} \quad f_{cI} = 0.965\text{m} \quad \text{Flecha máxima}$$

### Estado II

$$\sigma_{cII} := \sigma_{adm\_cII} \quad \sigma_{cII} = 3 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{cII} := \frac{a_c^2 \cdot g_{cII}}{8 \cdot \sigma_{cII}} \quad f_{cII} = 0.527\text{m}$$

### Estado III

$$f1(\sigma_{cIII}) := \sigma_{cIII} - \frac{a_c^2 \cdot E_c \cdot g_{cIII}^2}{24 \sigma_{cIII}^2} \quad f2(\sigma_{cIII}) := \sigma_{adm\_cII} - \frac{a_c^2 \cdot E_c \cdot g_{cII}^2}{24 \sigma_{adm\_cII}^2} + \alpha_c \cdot (t_{II} - t_{III}) \cdot E_c$$

$$\sigma_{cIII} := 5 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2} \quad \text{Valor supuesto para iniciar el cálculo}$$

$$\sigma_{cIII} := \text{root}(f1(\sigma_{cIII}) - f2(\sigma_{cIII}), \sigma_{cIII}) \quad \sigma_{cIII} = 2.153 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{adm\_cIII} = 3 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2} \quad \sigma_{cIII} < \sigma_{adm\_cIII} \quad \text{Verifica}$$

$$f_{cIII} := \frac{a_c^2 \cdot g_{cIII}}{8 \cdot \sigma_{cIII}} \quad f_{cIII} = 0.876\text{m}$$

### Estado IV

$$f_1(\sigma_{cIV}) := \sigma_{cIV} - \frac{a_c^2 \cdot E_c \cdot g_{cIV}^2}{24 \sigma_{cIV}^2} \quad f_2(\sigma_{cIV}) := \sigma_{adm\_cII} - \frac{a_c^2 \cdot E_c \cdot g_{cII}^2}{24 \sigma_{adm\_cII}^2} + \alpha_c \cdot (t_{II} - t_{IV}) \cdot E_c$$

$$\sigma_{cIV} := 5 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2} \quad \text{Valor supuesto para iniciar el cálculo}$$

$$\sigma_{cIV} := \text{root}(f_1(\sigma_{cIV}) - f_2(\sigma_{cIV}), \sigma_{cIV}) \quad \sigma_{cIV} = 2.682 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{adm\_cIV} = 3 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2} \quad \sigma_{cIV} < \sigma_{adm\_cIV} \quad \text{Verifica}$$

$$f_{cIV} := \frac{a_c^2 \cdot g_{cIV}}{8 \cdot \sigma_{cIV}} \quad f_{cIV} = 0.591m$$

### Estado V

$$f_1(\sigma_{cV}) := \sigma_{cV} - \frac{a_c^2 \cdot E_c \cdot g_{cV}^2}{24 \sigma_{cV}^2} \quad f_2(\sigma_{cV}) := \sigma_{adm\_cII} - \frac{a_c^2 \cdot E_c \cdot g_{cII}^2}{24 \sigma_{adm\_cII}^2} + \alpha_c \cdot (t_{II} - t_{V}) \cdot E_c$$

$$\sigma_{cV} := 5 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2} \quad \text{Valor supuesto para iniciar el cálculo}$$

$$\sigma_{cV} := \text{root}(f_1(\sigma_{cV}) - f_2(\sigma_{cV}), \sigma_{cV}) \quad \sigma_{cV} = 1.841 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{adm\_cV} = 3 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2} \quad \sigma_{cV} < \sigma_{adm\_cV} \quad \text{Verifica}$$

$$f_{cV} := \frac{a_c^2 \cdot g_{cV}}{8 \cdot \sigma_{cV}} \quad f_{cV} = 0.859m$$

## **CÁLCULO MECÁNICO CABLE DE GUARDIA**

### **Cargas específicas**

#### Estado I:

$$g_{cgI} := \frac{G_{cg}}{s_{cg}} \quad g_{cgI} = 7.88 \times 10^{-3} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{m} \cdot \text{mm}^2} \quad \text{Debida al peso propio}$$

#### Estado II:

$$g_{cgII} := \frac{G_{cg}}{s_{cg}} \quad g_{cgII} = 7.88 \times 10^{-3} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{m} \cdot \text{mm}^2}$$

### Estado III:

$$g_{vcg} := \frac{F_{cg}}{s_{cg} \cdot a_c}$$

$$g_{vcg} = 5.946 \times 10^{-3} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{m} \cdot \text{mm}^2}$$

Debida a la carga del viento máximo.

$$g_{cgIII} := \sqrt{g_{cgI}^2 + g_{vcg}^2}$$

$$g_{cgIII} = 9.872 \times 10^{-3} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{m} \cdot \text{mm}^2}$$

$$\beta_{cg} := \text{atan} \left( \frac{g_{vcg}}{g_{cgI}} \right)$$

$$\beta_{cg} = 37.039 \text{ deg}$$

Inclinación máxima del conductor

### Estado IV:

$$g_{vmcg} := g_{vcg} \cdot \left( \frac{v_{IV}}{v_{III}} \right)^2$$

$$g_{vmcg} = 7.194 \times 10^{-4} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{m} \cdot \text{mm}^2}$$

Debida a la carga del viento moderado. No se considera manguito de hielo.

$$g_{cgIV} := \sqrt{g_{cgI}^2 + g_{vmcg}^2}$$

$$g_{cgIV} = 7.913 \times 10^{-3} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{m} \cdot \text{mm}^2}$$

### Estado V:

$$g_{cgV} := \frac{G_{cg}}{s_{cg}}$$

$$g_{cgV} = 7.88 \times 10^{-3} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{m} \cdot \text{mm}^2}$$

## Tensiones y flechas

### Estado I

Se obtendrá la flecha para el estado II para luego hallar la tensión básica correspondiente:

$$f_{cgII} := 90\% \cdot f_{cII}$$

$$f_{cgII} = 0.474 \text{ m}$$

$$\sigma_{adm\_cgII} = 11 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{cgII} := \frac{a_c^2 \cdot g_{cgII}}{8 \cdot f_{cgII}}$$

$$\sigma_{cgII} = 7.475 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{cgII} < \sigma_{adm\_cgII}$$

**Verifica**

Luego, se definen las sig. funciones:

$$f1(\sigma_{cgI}) := \sigma_{cgI} - \frac{a_c^2 \cdot E_{cg} \cdot g_{cgI}^2}{24 \sigma_{cgI}^2}$$

$$f2(\sigma_{cgI}) := \sigma_{cgI} - \frac{a_c^2 \cdot E_{cg} \cdot g_{cgII}^2}{24 \sigma_{cgI}^2} + \alpha_{cg} \cdot (t_{II} - t_I) \cdot E_{cg}$$

$$\sigma_{cgI} := 5 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

Valor supuesto para iniciar el cálculo

$$\sigma_{cgI} := \text{root}(f1(\sigma_{cgI}) - f2(\sigma_{cgI}), \sigma_{cgI})$$

$$\sigma_{cgI} = 3.954 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{adm\_cgI} = 11 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{cgI} < \sigma_{adm\_cgI}$$

**Verifica**

Luego la flecha será:

$$f_{cgI} := \frac{a_c^2 \cdot g_{cgI}}{8 \cdot \sigma_{cgI}} \quad f_{cgI} = 0.897m \quad \text{Flecha máxima}$$

### Estado III

$$f1(\sigma_{cgIII}) := \sigma_{cgIII} - \frac{a_c^2 \cdot E_{cg} \cdot g_{cgIII}^2}{24 \cdot \sigma_{cgIII}^2} \quad f2(\sigma_{cgIII}) := \sigma_{cgII} - \frac{a_c^2 \cdot E_{cg} \cdot g_{cgII}^2}{24 \cdot \sigma_{cgII}^2} + \alpha_{cg} \cdot (t_{II} - t_{III}) \cdot E_{cg}$$

$$\sigma_{cgIII} := 5 \frac{kgf}{mm^2} \quad \text{Valor supuesto para iniciar el cálculo}$$

$$\sigma_{cgIII} := \text{root}(f1(\sigma_{cgIII}) - f2(\sigma_{cgIII}), \sigma_{cgIII}) \quad \sigma_{cgIII} = 6.214 \frac{kgf}{mm^2}$$

$$\sigma_{adm\_cgIII} = 11 \cdot \frac{kgf}{mm^2} \quad \sigma_{cgIII} < \sigma_{adm\_cgIII} \quad \text{Verifica}$$

$$f_{cgIII} := \frac{a_c^2 \cdot g_{cgIII}}{8 \cdot \sigma_{cgIII}} \quad f_{cgIII} = 0.715m$$

### Estado IV

$$f1(\sigma_{cgIV}) := \sigma_{cgIV} - \frac{a_c^2 \cdot E_{cg} \cdot g_{cgIV}^2}{24 \cdot \sigma_{cgIV}^2} \quad f2(\sigma_{cgIV}) := \sigma_{cgII} - \frac{a_c^2 \cdot E_{cg} \cdot g_{cgII}^2}{24 \cdot \sigma_{cgII}^2} + \alpha_{cg} \cdot (t_{II} - t_{IV}) \cdot E_{cg}$$

$$\sigma_{cgIV} := 5 \frac{kgf}{mm^2} \quad \text{Valor supuesto para iniciar el cálculo}$$

$$\sigma_{cgIV} := \text{root}(f1(\sigma_{cgIV}) - f2(\sigma_{cgIV}), \sigma_{cgIV}) \quad \sigma_{cgIV} = 6.94 \frac{kgf}{mm^2}$$

$$\sigma_{adm\_cgIV} = 11 \cdot \frac{kgf}{mm^2} \quad \sigma_{cgIV} < \sigma_{adm\_cgIV} \quad \text{Verifica}$$

$$f_{cgIV} := \frac{a_c^2 \cdot g_{cgIV}}{8 \cdot \sigma_{cgIV}} \quad f_{cgIV} = 0.513m$$

### Estado V

$$f1(\sigma_{cgV}) := \sigma_{cgV} - \frac{a_c^2 \cdot E_{cg} \cdot g_{cgV}^2}{24 \cdot \sigma_{cgV}^2} \quad f2(\sigma_{cgV}) := \sigma_{cgII} - \frac{a_c^2 \cdot E_{cg} \cdot g_{cgII}^2}{24 \cdot \sigma_{cgII}^2} + \alpha_{cg} \cdot (t_{II} - t_V) \cdot E_{cg}$$

$$\sigma_{cgV} := 5 \frac{kgf}{mm^2} \quad \text{Valor supuesto para iniciar el cálculo}$$

$$\sigma_{cgV} := \text{root}(f1(\sigma_{cgV}) - f2(\sigma_{cgV}), \sigma_{cgV}) \quad \sigma_{cgV} = 5.23 \frac{kgf}{mm^2}$$

$$\sigma_{adm\_cgV} = 11 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{cgV} < \sigma_{adm\_cgV}$$

**Verifica**

$$f_{cgV} := \frac{a_c^2 \cdot g_{cgV}}{8 \cdot \sigma_{cgV}}$$

$$f_{cgV} = 0.678\text{m}$$

## **RESUMEN**

| <u>Estado</u> | <u>Tensión mecánica de tracción</u>                     | <u>Tiro</u>  | <u>Flecha</u>               |
|---------------|---|--|-----------------------------|
| I             | $\sigma_{cI} = 1.638 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$    | $T_{cI} := \sigma_{cI} \cdot s_{rc}$<br>$T_{cI} = 579.38\text{kgf}$          | $f_{cI} = 0.965\text{m}$    |
|               | $\sigma_{cgI} = 3.954 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$   | $T_{cgI} := \sigma_{cgI} \cdot s_{cg}$<br>$T_{cgI} = 197.71\text{kgf}$       | $f_{cgI} = 0.897\text{m}$   |
| II            | $\sigma_{cII} = 3 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$ | $T_{cII} := \sigma_{cII} \cdot s_{rc}$<br>$T_{cII} = 1061.19\text{kgf}$      | $f_{cII} = 0.527\text{m}$   |
|               | $\sigma_{cgII} = 7.475 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$  | $T_{cgII} := \sigma_{cgII} \cdot s_{cg}$<br>$T_{cgII} = 373.75\text{kgf}$    | $f_{cgII} = 0.474\text{m}$  |
| III           | $\sigma_{cIII} = 2.153 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$  | $T_{cIII} := \sigma_{cIII} \cdot s_{rc}$<br>$T_{cIII} = 761.51\text{kgf}$    | $f_{cIII} = 0.876\text{m}$  |
|               | $\sigma_{cgIII} = 6.214 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$ | $T_{cgIII} := \sigma_{cgIII} \cdot s_{cg}$<br>$T_{cgIII} = 310.68\text{kgf}$ | $f_{cgIII} = 0.715\text{m}$ |
| IV            | $\sigma_{cIV} = 2.682 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$   | $T_{cIV} := \sigma_{cIV} \cdot s_{rc}$<br>$T_{cIV} = 948.8\text{kgf}$        | $f_{cIV} = 0.591\text{m}$   |
|               | $\sigma_{cgIV} = 6.94 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$   | $T_{cgIV} := \sigma_{cgIV} \cdot s_{cg}$<br>$T_{cgIV} = 347.02\text{kgf}$    | $f_{cgIV} = 0.513\text{m}$  |
| V             | $\sigma_{cV} = 1.841 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$    | $T_{cV} := \sigma_{cV} \cdot s_{rc}$<br>$T_{cV} = 651.12\text{kgf}$          | $f_{cV} = 0.859\text{m}$    |
|               | $\sigma_{cgV} = 5.23 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$    | $T_{cgV} := \sigma_{cgV} \cdot s_{cg}$<br>$T_{cgV} = 261.52\text{kgf}$       | $f_{cgV} = 0.678\text{m}$   |

## CÁLCULO Y DIMENSIONAMIENTO DE PÓRTICOS

### Distancias eléctricas:

Las distancias se adoptarán según las utilizadas por algunas empresas de servicio público de electricidad, las cuales se adjuntan en tabla.  
De todos modos se realizará el cálculo para comparar los valores teóricos con los reales usados normalmente.

#### **Entre fases.**

Se definirán las variables involucradas para el cálculo:

$\beta_c = 33\text{-deg}$       Ángulo de declinación máximo del conductor

$k_c := 0.6 \frac{\text{m}}{\text{kV} \cdot \sqrt{\text{m}}}$       Coeficiente dependiente del ángulo de declinación  $c$

$f_{cl} = 0.965\text{m}$       Flecha máxima del conductor

$L_k := 0\text{m}$       Longitud oscilante cadena

$V_N := 132\text{kV}$       Tensión nominal de la línea

$D_{f-f} := k_c \cdot \sqrt{f_{cl} + L_k} \cdot \frac{V_N}{150}$        $D_{f-f} = 0.519\text{m}$       Distancia mínima entre fases en el medio del vano

$V_f := \frac{V_N}{\sqrt{3}}$        $V_f = 76.21\text{kV}$       Tensión fase-tierra

$D_{f-cg} := k_c \cdot \sqrt{f_{cl} + L_k} \cdot \frac{V_f}{150}$        $D_{f-cg} = 0.3\text{m}$       Distancia mínima fase-cable de guardia

De todos modos la distancia entre cable de guardia y fases estará en función de la necesaria para permitir la adecuada protección de las fases ante descargas atmosféricas (distancia mínima: 1100 mm.)

#### **A masa.**

$V_M := 1.1 \cdot V_N$        $V_M = 145.2\text{kV}$       Tensión máxima del sistema

$D_{f-m} := 0.28\text{m} + 0.005 \frac{\text{m}}{\text{kV}} \cdot (V_M - 50\text{kV})$        $D_{f-m} = 0.756\text{m}$       Distancia mínima, fase a masa

La distancia mínima para protección contra descargas atmosféricas es de 1100 mm

### Diseño del cabezal:

Distancia entre conductores y cable/s de guardia  
Los detalles se visualizan en Plano adjunto

**Campos electromagnéticos en el borde perimetral de la ET:** se verificará que el campo  $E$  no supere los 3 kV/m y el  $B$  no supere los 25 T, a 1 m de altura.

-Cálculo del campo  $E$ : el mismo será la suma geométrica del producido por las tres fases. Dado que por la disposición de las barras, los vectores son espaciales en planos diferentes, para simplificar el cálculo se considerará el campo producido por los seccionadores, por estar más cerca del borde perimetral y alineados, de modo que los vectores de campo se encuentren en un mismo plano. Las distancias las obtenemos del plano de la playa.

DMG := 3.6r      Distancia media geométrica entre conductores de seccionadores

$\varepsilon_0 := 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{F}{m}$       Capacidad específica de inducción en el vacío

$r_c := \frac{d_c}{2}$        $r_c = 0.012m$       Radio del conductor de conexión

$C_c := \frac{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0}{\ln\left(\frac{DMG}{r_c}\right)}$        $C_c = 9.78 \frac{nF}{km}$       Capacidad de secuencia directa

$\omega := 2 \cdot \pi \cdot 50$       Frecuencia angular

$v_{m\_R} := V_M \cdot \sin(\omega)$        $v_{m\_R} = 2.853 \times 10^{-13} \cdot kV$       Tensión máxima de la fase R (instantánea para t= 0 s)

$r_R := 13.61m$       Distancia fase R al punto de cálculo

$v_{m\_S} := V_M \cdot \sin(\omega - 120)$        $v_{m\_S} = -84.305 kV$       Tensión máxima de la fase S (instantánea para t= 0 s)

$r_S := 10.11 m$       Distancia fase S al punto de cálculo

$v_{m\_T} := V_M \cdot \sin(\omega + 120)$        $v_{m\_T} = 84.305 kV$       Tensión máxima de la fase T (instantánea para t= 0 s)

$r_T := 6.745m$       Distancia fase T al punto de cálculo

Luego:

$E_R := \frac{C_c \cdot v_{m\_R}}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot r_R}$        $E_S := \frac{C_c \cdot v_{m\_S}}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot r_S}$        $E_T := \frac{C_c \cdot v_{m\_T}}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot r_T}$

$E_R = 3.687 \times 10^{-15} \frac{kV}{m}$        $E_S = -1.466 \frac{kV}{m}$        $E_T = 2.198 \frac{kV}{m}$

La suma geométrica de los campos da:

$E_{resultante} := 0.79 \frac{kV}{m}$       < 3 kV/m      **Verifica**

-Cálculo del campo **B**: el mismo será la suma geométrica del producido por las tres fases. Se toman las mismas consideraciones que para el cálculo de **E**. La corriente se considera fluyendo por los cables que conectan los seccionadores, por lo que el campo se encuentre en un plano horizontal perpendicular a la hoja. Las distancias son las mismas que el para el cálculo de **E**. Se considera una intensidad de corriente de 530 A que corresponde al límite de capacidad de la línea (Dato extraído de la guía de referencia de la empresa ENERSA).

$I := 530A$

$I_m := I \cdot \sqrt{2}$        $I_m = 749.533A$       Valor de cresta de la intensidad

$i_R := I_m \cdot \sin(\omega)$        $i_R = 1.473 \times 10^{-12} A$       Valor instantáneo de corriente en la fase R para t= 0 s

$i_S := I_m \cdot \sin(\omega - 120)$        $i_S = -435.187A$       Valor instantáneo de corriente en la fase S para t= 0 s (se considera entrando a la hoja)

$$i_T := I_m \cdot \sin(\omega + 120) \quad i_T = 435.187A$$

Valor instantáneo de corriente en la fase T para  $t = 0$  s  
(se considera saliendo de la hoja)

$$\mu_0 := 12.5610^{-7} \frac{H}{m}$$

Luego:

$$B_R := \frac{\mu_0 \cdot i_R}{2 \cdot \pi \cdot r_R}$$

$$B_S := \frac{\mu_0 \cdot i_S}{2 \cdot \pi \cdot r_S}$$

$$B_T := \frac{\mu_0 \cdot i_T}{2 \cdot \pi \cdot r_T}$$

$$B_R = 2.163 \times 10^{-14} \cdot \mu T$$

$$B_S = -8.604 \mu T$$

$$B_T = 12.897 \mu T$$

La suma geométrica de los campos da:

$$B_{\text{resultante}} := 4.29 \mu T$$

$$< 25 \mu T$$

**Verifica**

-Fuerzas actuantes en pórticos

Se realiza el cálculo para un juego de barras (es decir, dos postes dobles). Para el otro juego es igual. **Se deberá tener en cuenta que los esfuerzos se reparten en los cuatro postes.**

-Conductores, cable de guardia y aisladores:

$$h_c := 10m \quad \text{Altura conductor respecto del suelo}$$

$$h_{lp} := 12m \quad \text{Altura libre del poste}$$

$$F_c = 48.4 \text{ kgf} \quad \text{Fuerza debida al viento sobre el conductor}$$

$$F_{a\_BL} = 34.7 \text{ kgf} \quad \text{Fuerza debida al viento sobre aisladores (por cada par por fase)}$$

$$h_{cg} := 12m \quad \text{Altura cable guardia}$$

$$F_{cg} = 17.8 \text{ kgf} \quad \text{Fuerza debida al viento sobre el cable de guardia}$$

Luego, los esfuerzos reducidos a la cima serán:

$$F'_c := \frac{(F_c + F_{a\_BL}) \cdot 3 \cdot h_c}{h_{lp}}$$

$$F'_c = 207.9 \text{ kgf}$$

Debido a los conductores y aisladores

$$F'_{cg} := \frac{2 \cdot F_{cg} \cdot h_{cg}}{h_{lp}}$$

$$F'_{cg} = 35.7 \text{ kgf}$$

Debido a los cables de guardia (uno en cada par de postes dobles)

-Fuerza del viento sobre los postes:

Se adoptan las dimensiones siguientes:

$$L_p := 13m \quad \text{Longitud total del poste}$$

$$d_{pc} := 0.16m \quad \text{Diámetro del poste en la cima}$$

$$d_{pb} := d_{pc} + 0.015L_p$$

$$d_{pb} = 0.355m$$

Diámetro del poste en la base

$$h_{est} := \frac{2}{3} \cdot L_p$$

Altura efectiva del poste

$$B_t := \frac{1}{1 + 0.375 \frac{h_{est}}{L_s}}$$

$$B_t = 0.954$$

Factor para cálculo factor de ráfaga

$$G_t := 1 + 2.7E \cdot \sqrt{B_t} \quad G_t = 1.917 \quad \text{Factor de ráfaga para poste}$$

$$C_F := 0.9 \quad \text{Coeficiente de forma}$$

$$A_p := 2(d_{pc} + d_{pb}) \cdot h_{Ip} \quad A_p = 16.2m^2 \quad \text{Área proyectada donde actúa el viento sobre los postes (para cada par)}$$

Luego, la fuerza ejercida por el viento sobre los postes del pórtico (los cuatro) será:

$$F_p := 2 \cdot Q \cdot (Z_p \cdot v_{III})^2 \cdot G_t \cdot C_F \cdot \cos(\Psi)^2 \quad F_p = 42.3 \frac{kgf}{m^2}$$

Reducido a la cima:

$$F'_p := \frac{F_p \cdot A_p}{3} \quad F'_p = 228.3kgf$$

Se adopta dos postes dobles con la sig. denominación:  
donde la primer cifra indica la altura y la segunda la carga de rotura.

**2x13 R 600**

$$R_c := 600kgf \quad \text{Resistencia característica de rotura}$$

$$G_p := 1185kgf \quad \text{Peso de cada poste}$$

-Cargas desequilibradas:

Se consideran despreciables ya que involucra solamente el peso de los aisladores poliméricos.

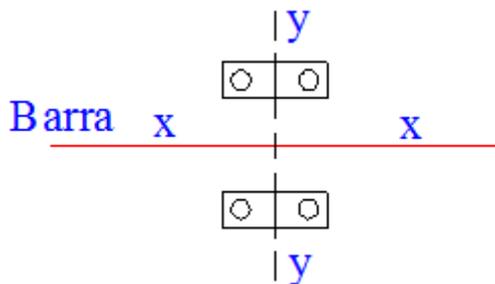
$$F_{des} := 0kgf$$

### **-Hipótesis de cálculo. Pórticos:**

Las hipótesis de cargas se extraen de la "Reglamentación de líneas aéreas exteriores de media y alta tensión". AEA 95301-2007. Y para su verificación se aplica el "Método de factorización de cargas y resistencias (LRFD)" descrito en la misma.

El coeficiente de reducción a la cima para el cable de guardia se considera igual a 1.

a) **Cargas de servicio:** la estructura está orientada en sentido longitudinal a las barras (x-x).



a1)

$$F_{y\_a1} := \frac{F'_c + F'_{cg} + F'_p + F_{des}}{2} \cdot \frac{1}{2}$$

$$F_{y\_a1} = 118kgf$$

(El 1/2 se debe a que los esfuerzos se reparten en dos postes dobles)

$$F_{x\_a1} := \frac{\left( 3 \cdot T_{cIII} \cdot \frac{h_c}{h_{Ip}} + T_{cgIII} \right)}{8} \cdot \frac{1}{2}$$

$$F_{x\_a1} = 138.403kgf$$

$$T_{c\_a1} := F_{x\_a1} + F_{y\_a1}$$

$$T_{c\_a1} = 256.4 \text{ kgf}$$

**Tiro en la cima de cada poste**

a2) No se considera por producir esfuerzos menores que la hipótesis a1.

a3) No se considera por no haber manguito de hielo.

**b) Cargas de construcción y mantenimiento:**

b1)

$$F_{y\_b1} := \frac{(2.5F_{des})}{2} \cdot \frac{1}{2}$$

$$F_{y\_b1} = 0 \text{ kgf}$$

Esfuerzo sobre el eje y-y

$$F_{x\_b1} := \frac{\left(1.53 \cdot T_{cV} \cdot \frac{h_c}{h_{lp}} + 1.5T_{cgV}\right)}{8} \cdot \frac{1}{2}$$

$$F_{x\_b1} = 177.1 \text{ kgf}$$

Esfuerzo sobre el eje x-x

$$T_{c\_b1} := F_{x\_b1} + F_{y\_b1}$$

$$T_{c\_b1} = 177.1 \text{ kgf}$$

**c) Cargas de contención de falla:**

c1) El tiro del conductor se considera a la altura del cable de guardia (coefic. de reducción igual a 1).

$$F_{y\_c1} := \frac{F_{des}}{2} \cdot \frac{1}{2}$$

$$F_{y\_c1} = 0 \text{ kgf}$$

Esfuerzo sobre el eje y-y

$$F_{x\_c1} := \frac{\left(2 \cdot T_{cIII} \cdot \frac{h_c}{h_{lp}} + T_{cgIII}\right)}{8} \cdot \frac{1}{2}$$

$$F_{x\_c1} = 98.741 \text{ kgf}$$

Esfuerzo sobre el eje x-x

$$T_{c\_c1} := F_{x\_c1} + F_{y\_c1}$$

$$T_{c\_c1} = 98.741 \text{ kgf}$$

c2) No se considera sismo de proyecto.

**-Verificación por el método de factorización de cargas y resistencias:**

$$K_E := 1 \quad \text{Factor de carga}$$

$$K_C := 1.3 \quad \text{Factor de carga}$$

$$S := T_{c\_a1} \quad S = 256.4 \text{ kgf} \quad \text{Solicitud última (hipótesis más desfavorable)}$$

$$\phi := 0.7 \quad \text{Factor global de resistencia}$$

$$R_c = 600 \text{ kgf} \quad \text{Resistencia característica del poste}$$

$$\text{Luego: } K_E \cdot K_C \cdot S = 333.3 \text{ kgf} < \phi \cdot R_c = 450 \text{ kgf}$$

**Verifica**

## - Cálculo de fundaciones

### -Pórticos de barras.

El método de cálculo utilizado es el de Sulzberger. Las bases serán de tipo rectangular.

Luego se inicia el cálculo tomando las dimensiones mínimas de la fundación sumándole 0,2 m hacia los costados y fondo contados desde el huelgo que se deja para el poste, el cual será 0,1 m mayor que el diámetro de la base del poste. Posteriormente se deberá ajustar dichas medidas para verificarla:

Datos necesarios:

|  |                               |  |
|--|-------------------------------|--|
| $L_p = 13\text{m}$                                   |                               | Altura total de las columnas   |
| $e_p := L_p - h_{Ip}$                                |                               | Longitud empotramiento poste (aprox. 10% longitud poste)                         |
| $t := e_p + 0.2\text{m}$                             | $t = 1.2\text{m}$             | Empotramiento total de la fundación (altura de la fundación)                     |
| $D_p := 0.71\text{m}$                                |                               | Diámetro de la columna en el empotramiento                                       |
| $G_p = 1185\text{kgf}$                               |                               | Peso de cada columna   |
| $G_m := 150\text{kgf}$                               |                               | Peso de ménsula soporte aisladores entre dos postes dobles (estimado)            |
| $G_v := 3 \cdot 60\text{kgf}$                        | $G_v = 180\text{kgf}$         | Peso de vínculos (incluyendo el superior del cual se sujeta el cable de guardia) |
| $G_{ais} := 6 \cdot \text{kgf}$                      |                               | Peso del aislador  |
| $G_{c\_a} := 3G_c \cdot \frac{a_c}{2}$               | $G_{c\_a} = 111.87\text{kgf}$ | Peso de los conductores en el semivano adyacente                                 |
| $G_{cg\_a} := 2 \cdot G_{cg} \cdot \frac{a_c}{2}$    | $G_{cg\_a} = 23.64\text{kgf}$ | Peso de los cables de guardia en el semivano adyacente                           |
| $G_{Ta\_BL} := 3 \cdot G_{ais}$                      | $G_{Ta\_BL} = 18\text{kgf}$   | Peso de los aisladores   |
| $\delta_{H^o} := 2200 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$ |                               | Densidad del H <sup>o</sup>  |
| $T_{cim} := T_{c\_al}$                               | $T_{cim} = 256.4\text{kgf}$   | Tiro de cálculo en la cima (hipótesis más desfavorable)                          |
| $C_b := 6 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^3}$      |                               | Coefficiente de compresibilidad del fondo de la base                             |
| $C_t := 6 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^3}$      |                               | Coefficiente de compresibilidad de las paredes                                   |
| $\mu := 0.4$   |                               | Coefficiente de fricción del terreno   |

$$K_e := 1$$

Factor de carga (Tiene en cuenta los ensayos a escala natural según sea el tipo de esfuerzo al que se somete la fundación). De pag 87 "Reglamento de líneas aéreas..."

$$K_c := 1$$

Factor de carga (tiene en cuenta el tipo de estructura y el daño que produciría una falla en la misma) De pag 87 "Reglamento de líneas aéreas..."

$$\phi := 1$$

Factor de resistencia (es el coeficiente de seguridad aplicado al momento resistente, que depende del tipo de solicitaciones, el tipo de fundación y el montaje) de tabla 14.3-b "Reglamento de líneas aéreas..." pag 95

$$K_v := 1$$

Factor de vuelco (depende del cociente  $M_s/M_b$  y se extrae de tabla 14.3 del "Reglamento de líneas aéreas..." Pag 88)

### Dimensiones de la fundación:

Se adoptan dimensiones mayores que las dimensiones mínimas dictadas por el método de cálculo.

$$S := 0.3 \cdot m + 0.04 L_p$$

$$S = 0.82m$$

Separación entre postes en la base, considerando en la cima una separación de 30 cm

$$D := 2 \cdot 0.1 \cdot m + d_{pb}$$

$$D = 0.555m$$

Diámetro de los agujeros p/colocar las columnas.

$$L := 2 \cdot 0.2m + S + 2D$$

$$L = 2.33m$$

Long mínima de la base

$$A := D + 2 \cdot 0.2m$$

$$A = 0.955m$$

Ancho mínimo

$$t = 1.2m$$

Profundidad

### Cargas verticales:

$$G_E := 2G_p + \frac{G_m}{2} + G_v + \frac{G_{c\_a}}{2} + \frac{G_{cg\_a}}{2} + \frac{G_{Ta\_Bl}}{2}$$

$$G_E = 3376.8kgf$$

Peso de la estructura

$$G_F := \left( L \cdot A - \frac{2\pi D^2}{4} \right) \cdot t \cdot \delta_{HF}$$

$$G_F = 4597kgf$$

Peso de la fundación

$$G_T := G_E + G_F$$

$$G_T = 7974kgf$$

Peso total

### Momentos resistentes

#### Momento lateral:

Verificación de la inclinación admisible:

$$\operatorname{tg} \alpha := \frac{6 \cdot \mu \cdot G_T}{A \cdot t^2 \cdot C_t}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = 0.00232$$

Es menor a 0,01

$$M_s := \frac{A \cdot t^3}{36} \cdot C_t \cdot 0.01$$

$$M_s = 2750 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

Momento resistente de encastramiento

Momento de fondo:

Verificación de la inclinación admisible:

$$\text{tg} \alpha := \frac{2 \cdot G_T}{L^2 \cdot A \cdot C_b}$$

$$\text{tg} \alpha = 0.00051$$

Es menor a 0,01

$$M_b := G_T \cdot \left( \frac{L}{2} - 0.47 \sqrt{\frac{G_T}{A \cdot C_b \cdot 0.01}} \right)$$

$$M_b = 7891 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

Momento resistente de encastramiento

**Momento volcador**

$$M_v := T_{\text{cim}} \left( h_{\text{Ip}} + \frac{2}{3} \cdot t \right)$$

$$M_v = 3282 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

**Verificación del diseño** (método de factorización de cargas y resistencias)

De tabla 14.3, pág. 87 "Reglamento de líneas aéreas." se recalcula el valor de  $K_v$  y de

$$\frac{M_s}{M_b} = 0.349 \quad \text{Entonces } K_v \text{ es:}$$

$$K_v := 1.45 - 0.9 \left( \frac{M_s}{M_b} \right) + 0.45 \left( \frac{M_s}{M_b} \right)^2$$

$$K_v = 1.191$$

Factor de vuelco

$$\phi := \frac{1}{K_v}$$

$$\phi = 0.84$$

Factor global de resistencia

Aplico

$$K_e \cdot K_c \cdot M_v < \phi \cdot (M_b + M_s)$$

$$K_e \cdot K_c \cdot M_v = 3282 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

<

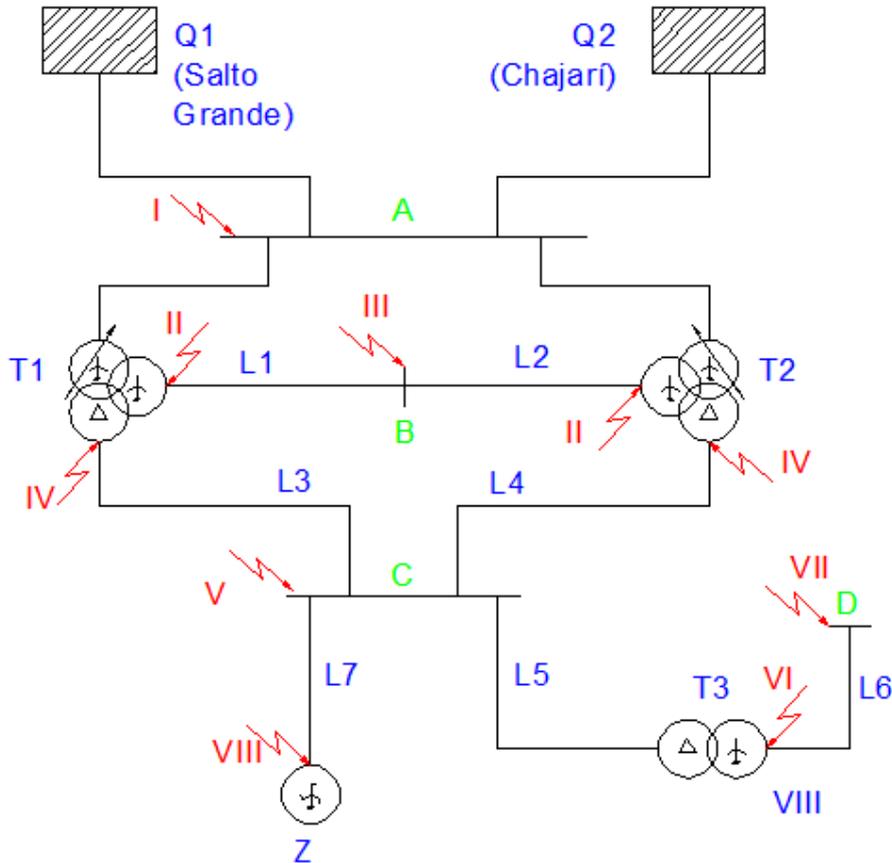
$$\phi \cdot (M_b + M_s) = 8935 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

**La fundación verifica**

# Corrientes de cortocircuito

Se calcularán las corrientes de cortocircuito en los diferentes niveles de tensión y localizaciones, verificando los conductores adoptados. Se calculará sólo el defecto trifásico, dado que será el de mayor magnitud. La alimentación a las celdas de MT 13,2 kV se realiza con dos conductores tripolares en paralelo dada la capacidad de carga.

**Esquema unifilar:**



## REFERENCIAS

- A: Barras 132 kV.
- B: Barras 33 kV. Celdas MT.
- C: Barras 13,2 kV. Celdas MT.
- D: Barras 0,4 kV.
- Q1: Aporte cortocircuito (lado Salto Grande).
- Q2: Aporte cortocircuito (lado Chajarí).
- T1: trafo tres arrollamientos 15/10/15 MVA - 132/33/13,2 kV.
- T2: trafo tres arrollamientos 15/10/15 MVA - 132/33/13,2 kV.
- L1 y L2: Cables 33 kV
- L3 y L4: Cables 13,2 kV.
- L5: Cable 13,2 kV
- L6: Cable 0,4 kV
- L7: Cable 13,2 kV
- Z: Reactor de neutro zig-zag.
- T3: Trafo 250 kVA - 13,2/0,4 kV.
- I, II, III, IV, V, VI, VII y VIII: puntos de calculo de corriente de corto circuito.

**Q:** Representa los aportes de la red

$S_{Q1} := 2000\text{MVA}$       Aporte de la red 1 (Salto Grande Argentina)

$S_{Q2} := 500\text{MVA}$       Aporte de la red 2 (Chajarí)

$V_Q := 132\text{kV}$

$Z_{Q1} := \frac{1 \cdot IV_Q^2}{S_{Q1}}$        $Z_{Q1} = 9.6\Omega$       impedancia de la red 1 (Salto Grande)

$Z_{Q2} := \frac{1 \cdot IV_Q^2}{S_{Q2}}$        $Z_{Q2} = 38.3\Omega$       impedancia de la red 2 (Chajarí)

Normalmente se considera:

$X_{Q1} := 0.995Z_{Q1}$        $X_{Q1} = 9.5\Omega$

$R_{Q1} := 0.1X_{Q1}$        $R_{Q1} = 1\Omega$        $Z_{Q1} := R_{Q1} + X_{Q1} \cdot j$        $Z_{Q1} = (1 + 9.5j)\Omega$

$X_{Q2} := 0.995Z_{Q2}$        $X_{Q2} = 38.1\Omega$

$R_{Q2} := 0.1X_{Q2}$        $R_{Q2} = 3.8\Omega$        $Z_{Q2} := R_{Q2} + X_{Q2} \cdot j$        $Z_{Q2} = (3.8 + 38.1j)\Omega$

**T1 y T2:** Trafos de tres arrollamientos cuyas características según catalogo "Tadeo Czerweny", son:

$S_{T1A} := 15\text{MVA}$        $V_A := 132\text{kV}$        $I_{T1A} := 65.7\text{A}$        $x_{1AB\%} := 11.3$       en %

$S_{T1B} := 10\text{MVA}$        $V_B := 33\text{kV}$        $I_{T1B} := 175\text{A}$        $x_{1AC\%} := 18.45$       en %

$S_{T1C} := 15\text{MVA}$        $V_C := 13.2\text{kV}$        $I_{T1C} := 657\text{A}$        $x_{1BC\%} := 6j$       en %

$S_{T2A} := 15\text{MVA}$        $V_A := 132\text{kV}$        $I_{T2A} := 65.7\text{A}$        $x_{2AB\%} := 11.3$       en %

$S_{T2B} := 10\text{MVA}$        $V_B := 33\text{kV}$        $I_{T2B} := 175\text{A}$        $x_{2AC\%} := 18.45$       en %

$S_{T2C} := 15\text{MVA}$        $V_C := 13.2\text{kV}$        $I_{T2C} := 657\text{A}$        $x_{2BC\%} := 6j$       en %

Las reactancias están referidas a la posición de tap de 5%.

**T3:** trafo de dos arrollamientos servicios auxiliares cuyas características según la barra a que se vincula son:

$S_{T3} := 0.25\text{MVA}$        $V_D := 13.2\text{kV}$        $V_D := 0.4\text{kV}$        $x_{T3\%} := 4j$       en %

**Z:** impedancia zig-zag para neutro artificial 13,2 kV. No se define.

**L1 y L2:** cable tripolar de cobre tipo subterráneo aislado en XLPE con vaina de protección de PVC, sin armadura, según IRAM 2178 categoría I para 33 kV, cuyas características son:

$$s_{L1} := 50\text{mm}^2 \quad I_{L1} := 197\text{A} \quad z_{\text{esp}L1} := (0.387 + 0.128j) \frac{\Omega}{\text{km}} \quad L_{L1} := 56\text{m}$$

$$Z_{L1} := z_{\text{esp}L1} \cdot L_{L1} \quad Z_{L1} = (0.022 + 0.007j) \Omega$$

$$s_{L2} := 50\text{mm}^2 \quad I_{L2} := 197\text{A} \quad z_{\text{esp}L2} := (0.387 + 0.128j) \frac{\Omega}{\text{km}} \quad L_{L2} := 46\text{m}$$

$$Z_{L2} := z_{\text{esp}L2} \cdot L_{L2} \quad Z_{L2} = (0.018 + 0.006j) \Omega$$

**L3 y L4:** cable unipolar de cobre tipo subterráneo aislado en XLPE con vaina de protección de PVC, sin armadura, según IRAM 2178 categoría II para 13,2 kV, cuyas características son (son dos ternas):

$$s_{L3} := 120\text{mm}^2 \quad I_{L3} := 328\text{A} \quad z_{\text{esp}L3} := (0.153 + 0.099j) \frac{\Omega}{\text{km}} \quad L_{L3} := 56\text{m}$$

$$Z_{L3} := z_{\text{esp}L3} \cdot L_{L3} \quad Z_{L3} = (0.009 + 0.006j) \Omega \quad \text{impedancia de una terna}$$

$$s_{L4} := 120\text{mm}^2 \quad I_{L4} := 328\text{A} \quad z_{\text{esp}L4} := (0.153 + 0.099j) \frac{\Omega}{\text{km}} \quad L_{L4} := 48\text{m}$$

$$Z_{L4} := z_{\text{esp}L4} \cdot L_{L4} \quad Z_{L4} = (0.007 + 0.005j) \Omega \quad \text{impedancia de una terna}$$

**L5:** cable tripolar de cobre tipo subterráneo aislado en XLPE con vaina de protección de PVC, sin armadura, según IRAM 2178 categoría II para 13,2 kV, cuyas características son:

$$s_{L5} := 70\text{mm}^2 \quad I_{L5} := 230\text{A} \quad z_{\text{esp}L5} := (0.341 + 0.110j) \frac{\Omega}{\text{km}} \quad L_{L5} := 15\text{m}$$

$$Z_{L5} := z_{\text{esp}L5} \cdot L_{L5} \quad Z_{L5} = (0.005 + 0.002j) \Omega$$

**L6:** cable de cobre tipo subterráneo aislado en PVC con vaina de protección de PVC según IRAM 2178 categoría II para 1,1 kV, cuyas características son:

$$s_{L6} := 150\text{mm}^2 \quad I_{L6} := 397\text{A} \quad z_{\text{esp}L6} := (0.124 + 0.158j) \frac{\Omega}{\text{km}} \quad L_{L6} := 15\text{m}$$

$$Z_{L6} := z_{\text{esp}L6} \cdot L_{L6} \quad Z_{L6} = (0.002 + 0.002j) \Omega$$

**L7:** cable tripolar de cobre tipo subterráneo aislado en XLPE con vaina de protección de PVC, sin armadura, según IRAM 2178 categoría II para 13,2 kV, cuyas características son:

$$s_{L7} := 70\text{mm}^2 \quad I_{L7} := 230\text{A} \quad z_{\text{esp}L7} := (0.341 + 0.110j) \frac{\Omega}{\text{km}} \quad L_{L7} := 15\text{m}$$

$$Z_{L7} := z_{\text{esp}L7} \cdot L_{L7} \quad Z_{L7} = (0.005 + 0.002j) \Omega$$

### Valores base:

$$S_b := 100\text{MVA}$$

$$V_{bI} := V_A$$

$$V_{bI} = 132\text{kV}$$

$$Z_{bI} := \frac{V_{bI}^2}{S_b}$$

$$Z_{bI} = 174.24\Omega$$

$$V_{bII} := V_B$$

$$V_{bII} = 33\text{kV}$$

$$Z_{bII} := \frac{V_{bII}^2}{S_b}$$

$$Z_{bII} = 10.89\Omega$$

$$V_{bIII} := V_B$$

$$V_{bIII} = 33\text{kV}$$

$$V_{bIV} := V_C$$

$$V_{bIV} = 13.2\text{kV}$$

$$Z_{bIV} := \frac{V_{bIV}^2}{S_b}$$

$$Z_{bIV} = 1.742\Omega$$

$$V_{bV} := V_C$$

$$V_{bV} = 13.2\text{kV}$$

$$V_{bVI} := V_D$$

$$V_{bVI} = 0.4\text{kV}$$

$$V_{bVII} := V_D$$

$$V_{bVII} = 0.4\text{kV}$$

$$Z_{bVII} := \frac{V_{bVII}^2}{S_b}$$

$$Z_{bVII} = 0.002\Omega$$

$$V_{bVIII} := V_C$$

$$V_{bVIII} = 13.2\text{kV}$$

### Valores en p.u.:

#### Red Q

$$s_{Q1} := \frac{S_{Q1}}{S_b}$$

$$s_{Q1} = 20$$

$$s_{Q2} := \frac{S_{Q2}}{S_b}$$

$$s_{Q2} = 5$$

$$z_{Q1} := \frac{Z_{Q1}}{Z_{bI}}$$

$$z_{Q1} = 0.005 + 0.055i$$

$$z_{Q2} := \frac{Z_{Q2}}{Z_{bI}}$$

$$z_{Q2} = 0.022 + 0.219i$$

#### Trafo T1 y T2:

$$x_{T1A} := \frac{(x_{1AB\%} + x_{1AC\%} - x_{1BC\%})}{2 \cdot 100} \cdot \frac{S_b}{S_{T1A}}$$

$$x_{T2A} := x_{T1A} = 0.792i$$

$$x_{T1B} := \frac{(x_{1AB\%} + x_{1BC\%} - x_{1AC\%})}{2 \cdot 100} \cdot \frac{S_b}{S_{T1A}}$$

$$x_{T2B} := x_{T1B} = -0.038i$$

$$x_{T1C} := \frac{(x_{1AC\%} + x_{1BC\%} - x_{1AB\%})}{2 \cdot 100} \cdot \frac{S_b}{S_{T1A}}$$

$$x_{T2C} := x_{T1C} = 0.438i$$

#### Trafo T3:

$$x_{T3} := \frac{x_{T3\%}}{100} \cdot \frac{S_b}{S_{T3}}$$

$$x_{T3} = 16i$$

Cable L1 y L2:

$$z_{L1} := \frac{Z_{L1}}{Z_{bII}}$$

$$z_{L1} = 0.002 + 0.0007i$$

$$z_{L2} := \frac{Z_{L2}}{Z_{bII}}$$

$$z_{L2} = 0.0016 + 0.0005i$$

Cable L5:

$$z_{L5} := \frac{Z_{L5}}{Z_{bIV}}$$

$$z_{L5} = 0.0029 + 0.0009i$$

Cable L7:

$$z_{L7} := \frac{Z_{L7}}{Z_{bIV}}$$

$$z_{L7} = 0.0029 + 0.0009i$$

Cable L3 y L4: Impedancia del par de cables

$$z_{L3} := \frac{Z_{L3}}{2 \cdot Z_{bIV}}$$

$$z_{L3} = 0.002 + 0.002i$$

$$z_{L4} := \frac{Z_{L4}}{2 \cdot Z_{bIV}}$$

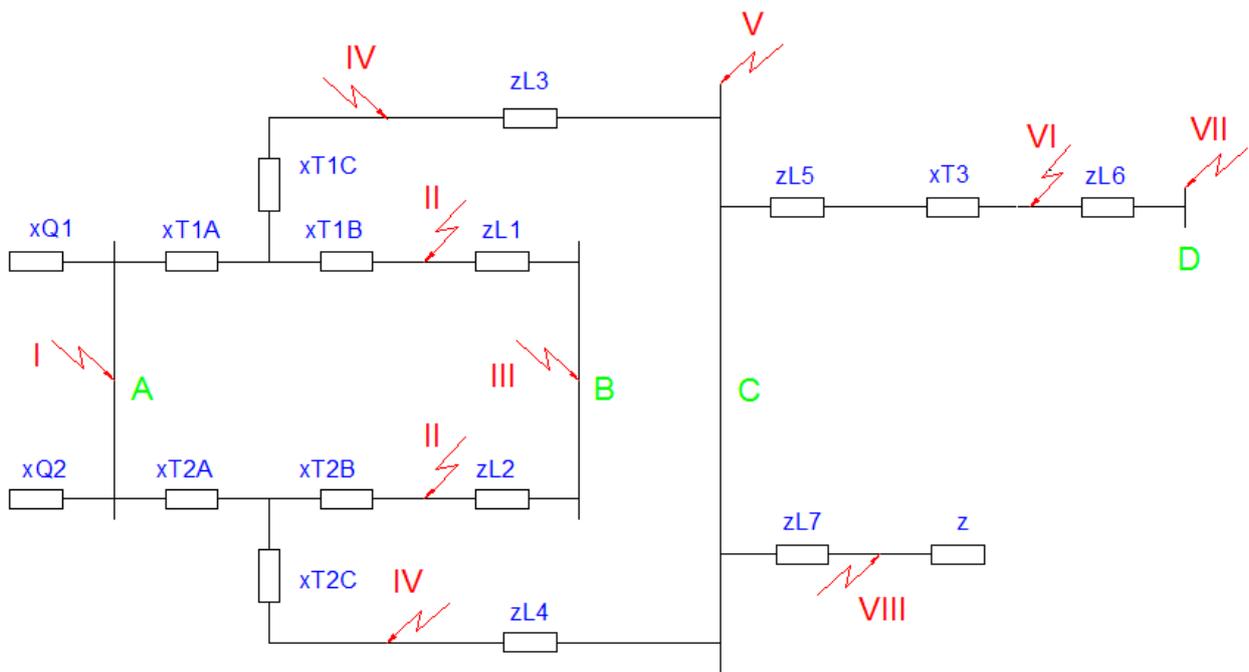
$$z_{L4} = 0.002 + 0.001i$$

Cable L6:

$$z_{L6} := \frac{Z_{L6}}{Z_{bVII}}$$

$$z_{L6} = 1.1625 + 1.4812i$$

El esquema equivalente en p.u. es el sig.:



### -Cortocircuito en punto I:

$$z_{kI} := \frac{z_{Q1} \cdot z_{Q2}}{z_{Q1} + z_{Q2}} \quad \text{impedancia de cortocircuito en el punto I}$$

$$z_{kI} = 0.004 + 0.044i$$

$$c_{xx} := 1.1$$

$$S_{kI} := \frac{c \cdot S_b}{|z_{kI}|} \quad S_{kI} = 2500 \text{ MVA}$$

potencia de cortocircuito en el punto I

$$I_{kI} := \frac{S_{kI}}{\sqrt{3} \cdot V_{bI}} \quad I_{kI} = 10.9 \text{ kA}$$

corriente trifásica permanente de cortocircuito en el punto I

$$I''_{kI} = I_{kI} \quad \text{corriente subtransitoria de cortocircuito}$$

Luego , la corriente de choque ó máxima asimétrica de cortocircuito está dada por la siguiente expresión:

$$\chi_I := 1.02 + 0.98e^{-3 \cdot \frac{\text{Re}(z_{kI})}{\text{Im}(z_{kI})}} \quad \chi_I = 1.746$$

$$I_{sI} := \chi_I \sqrt{2} \cdot I_{kI} \quad I_{sI} = 27 \cdot \text{kA}$$

### -Cortocircuito en punto II:

$$z_{kII} := z_{kI} + \frac{(x_{T2A} + x_{T2B} + z_{L2} + z_{L1}) \cdot (x_{T1A} + x_{T1B})}{x_{T2A} + x_{T2B} + z_{L2} + z_{L1} + x_{T1A} + x_{T1B}} \quad \text{impedancia de cortocircuito en el punto II}$$

$$z_{kII} = 0.005 + 0.421i$$

$$c_{xx} := 1.1$$

$$S_{kII} := \frac{c \cdot S_b}{|z_{kII}|} \quad S_{kII} = 261.4 \text{ MVA}$$

potencia de cortocircuito en el punto II

$$I_{kII} := \frac{S_{kII}}{\sqrt{3} \cdot V_{bII}} \quad I_{kII} = 4.57 \cdot \text{kA}$$

corriente trifásica permanente de cortocircuito en el punto II

$$I''_{kII} = I_{kII} \quad \text{corriente subtransitoria de cortocircuito}$$

Luego , la corriente de choque ó máxima asimétrica de cortocircuito está dada por la siguiente expresión:

$$\chi_{II} := 1.02 + 0.98e^{-3 \cdot \frac{\text{Re}(z_{kII})}{\text{Im}(z_{kII})}} \quad \chi_{II} = 1.964$$

$$I_{sII} := \chi_{II} \sqrt{2} \cdot I_{kII} \quad I_{sII} = 12.7 \cdot \text{kA}$$

-Cortocircuito en punto III:

$$z_{kIII} := z_{kI} + \frac{(x_{T2A} + x_{T2B} + z_{L2}) \cdot (x_{T1A} + x_{T1B} + z_{L1})}{x_{T2A} + x_{T2B} + z_{L2} + z_{L1} + x_{T1A} + x_{T1B}}$$

impedancia de cortocircuito en el punto III

$$z_{kIII} = 0.005 + 0.421i$$

$$S_{kIII} := \frac{c \cdot S_b}{|z_{kIII}|}$$

$$S_{kIII} = 261.4 \text{ MVA}$$

$$c := 1.1$$

potencia de cortocircuito en el punto III

$$I_{kIII} := \frac{S_{kIII}}{\sqrt{3} \cdot V_{bIII}}$$

$$I_{kIII} = 4.57 \text{ kA}$$

corriente trifásica permanente de cortocircuito en el punto I

$$I''_{kIII} = I_{kIII} \quad \text{corriente subtransitoria de cortocircuito}$$

Luego, la corriente de choque ó máxima asimétrica de cortocircuito está dada por la siguiente expresión:

$$\chi_{III} := 1.02 + 0.98e^{-3 \cdot \frac{\text{Re}(z_{kIII})}{\text{Im}(z_{kIII})}} \quad \chi_{III} = 1.964$$

$$I_{sIII} := \chi_{III} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{kIII} \quad I_{sIII} = 12.702 \text{ kA}$$

-Cortocircuito en punto IV:

$$z_{kIV} := z_{kI} + \frac{(x_{T2A} + x_{T2C} + z_{L4} + z_{L3}) \cdot (x_{T1A} + x_{T1C})}{x_{T2A} + x_{T2C} + z_{L4} + z_{L3} + x_{T1A} + x_{T1C}}$$

impedancia de cortocircuito en el punto IV

$$z_{kIV} = 0.006 + 0.66i$$

$$c := 1.1$$

$$S_{kIV} := \frac{c \cdot S_b}{|z_{kIV}|}$$

$$S_{kIV} = 166.8 \text{ MVA}$$

potencia de cortocircuito en el punto IV

$$I_{kIV} := \frac{S_{kIV}}{\sqrt{3} \cdot V_{bIV}}$$

$$I_{kIV} = 7.29 \text{ kA}$$

corriente trifásica permanente de cortocircuito en el punto IV

$$I''_{kIV} = I_{kIV} \quad \text{corriente subtransitoria de cortocircuito}$$

Luego, la corriente de choque ó máxima asimétrica de cortocircuito está dada por la siguiente expresión:

$$\chi_{IV} := 1.02 + 0.98e^{-3 \cdot \frac{\text{Re}(z_{kIV})}{\text{Im}(z_{kIV})}} \quad \chi_{IV} = 1.976$$

$$I_{sIV} := \chi_{IV} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{kIV} \quad I_{sIV} = 20.382 \text{ kA}$$

-Cortocircuito en punto V:

$$z_{kV} := z_{kI} + \frac{(x_{T2A} + x_{T2C} + z_{L4}) \cdot (x_{T1A} + x_{T1C} + z_{L3})}{x_{T2A} + x_{T2C} + z_{L4} + z_{L3} + x_{T1A} + x_{T1C}}$$

impedancia de cortocircuito en el punto V

$$z_{kV} = 0.006 + 0.66i$$

$$S_{kV} := \frac{c \cdot S_b}{|z_{kV}|}$$

$$S_{kV} = 166.8 \text{ MVA}$$

$$c := 1.1$$

potencia de cortocircuito en el punto V

$$I_{kV} := \frac{S_{kV}}{\sqrt{3} \cdot V_{bV}}$$

$$I_{kV} = 7.29 \text{ kA}$$

corriente trifásica permanente de cortocircuito en el punto V

$$I''_{kV} = I_{kV} \quad \text{corriente subtransitoria de cortocircuito}$$

Luego, la corriente de choque ó máxima asimétrica de cortocircuito está dada por la siguiente expresión:

$$\chi_V := 1.02 + 0.98e^{-3 \cdot \frac{\text{Re}(z_{kV})}{\text{Im}(z_{kV})}} \quad \chi_V = 1.976$$

$$I_{sV} := \chi_V \sqrt{2} \cdot I_{kV} \quad I_{sV} = 20.38 \text{ kA}$$

-Cortocircuito en punto VI:

$$z_{kVI} := z_{kV} + z_{L5} + x_{T3}$$

impedancia de cortocircuito en el punto VI

$$z_{kVI} = 8.455 \times 10^{-3} + 16.66i$$

$$S_{kVI} := \frac{c \cdot S_b}{|z_{kVI}|}$$

$$S_{kVI} = 6.6 \text{ MVA}$$

$$c := 1.1$$

potencia de cortocircuito en el punto VI

$$I_{kVI} := \frac{S_{kVI}}{\sqrt{3} \cdot V_{bVI}}$$

$$I_{kVI} = 9.5 \text{ kA}$$

corriente trifásica permanente de cortocircuito en el punto VI

$$I''_{kVI} = I_{kVI} \quad \text{corriente subtransitoria de cortocircuito}$$

Luego, la corriente de choque ó máxima asimétrica de cortocircuito está dada por la siguiente expresión:

$$\chi_{VI} := 1.02 + 0.98e^{-3 \cdot \frac{\text{Re}(z_{kVI})}{\text{Im}(z_{kVI})}} \quad \chi_{VI} = 1.999$$

$$I_{sVI} := \chi_{VI} \sqrt{2} \cdot I_{kVI} \quad I_{sVI} = 26.9 \text{ kA}$$

-Cortocircuito en punto VII:

$$z_{kVII} := z_{kVI} + z_{L\epsilon}$$

impedancia de cortocircuito en el punto VII

$$z_{kVII} = 1.171 + 18.142i$$

$$S_{kVII} := \frac{c \cdot S_b}{|z_{kVII}|}$$

$$S_{kVII} = 6.05 \text{ MVA}$$

$$c := 1.1$$

potencia de cortocircuito en el punto VII

$$I_{kVII} := \frac{S_{kVII}}{\sqrt{3} \cdot V_{bVII}}$$

$$I_{kVII} = 8.73 \text{ kA}$$

corriente trifásica permanente de cortocircuito en el punto VII

$$I''_{kVII} = I_{kVII} \quad \text{corriente subtransitoria de cortocircuito}$$

Luego , la corriente de choque ó máxima asimétrica de cortocircuito está dada por la siguiente expresión:

$$\chi_{VII} := 1.02 + 0.98e^{-3 \cdot \frac{\text{Re}(z_{kVII})}{\text{Im}(z_{kVII})}} \quad \chi_{VII} = 1.827$$

$$I_{sVII} := \chi_{VII} \sqrt{2} \cdot I_{kVII} \quad I_{sVII} = 22.571 \text{ kA}$$

-Cortocircuito en punto VIII:

$$z_{kVIII} := z_{kV} + z_{L7}$$

impedancia de cortocircuito en el punto VIII

$$z_{kVIII} = 8.455 \times 10^{-3} + 0.66i$$

$$S_{kVIII} := \frac{c \cdot S_b}{|z_{kVIII}|}$$

$$S_{kVIII} = 166.5 \text{ MVA}$$

$$c := 1.1$$

potencia de cortocircuito en el punto VIII

$$I_{kVIII} := \frac{S_{kVIII}}{\sqrt{3} \cdot V_{bVIII}}$$

$$I_{kVIII} = 7.28 \text{ kA}$$

corriente trifásica permanente de cortocircuito en el punto VIII

$$I''_{kVIII} = I_{kVIII} \quad \text{corriente subtransitoria de cortocircuito}$$

Luego , la corriente de choque ó máxima asimétrica de cortocircuito está dada por la siguiente expresión:

$$\chi_{VIII} := 1.02 + 0.98e^{-3 \cdot \frac{\text{Re}(z_{kVIII})}{\text{Im}(z_{kVIII})}} \quad \chi_{VIII} = 1.963$$

$$I_{sVIII} := \chi_{VIII} \sqrt{2} \cdot I_{kVIII} \quad I_{sVIII} = 20.2 \text{ kA}$$

## -Verificación de conductores al cortocircuito

$$k_{XLPE} := 143 \frac{A \cdot s^{0.5}}{mm^2} \quad \text{constante característica para XLPE}$$

### -Cable L1 y L2:

$$s_{L1} = 50 \text{ mm}^2$$

$$t_s := 1 \text{ s} \quad \text{tiempo máximo de actuación de las protecciones}$$

Luego:

$$I_{admL1} := \frac{k_{XLPE} s_{L1}}{\sqrt{t_s}} \quad I_{admL1} = 7.15 \text{ kA} \quad > \quad I_{kIII} = 4.57 \text{ kA} \quad \text{El conductor verifica}$$

### -Cable L3 y L4:

$$s_{L3} = 120 \text{ mm}^2$$

$$t_s := 1 \text{ s} \quad \text{tiempo máximo de actuación de las protecciones}$$

Luego:

$$I_{admL3} := \frac{k_{XLPE} s_{L3}}{\sqrt{t_s}} \quad I_{admL3} = 17.16 \text{ kA} \quad > \quad I_{kV} = 7.29 \text{ kA} \quad \text{El conductor verifica}$$

### -Cable L5:

$$s_{L5} = 70 \text{ mm}^2$$

$$t_s := 1 \text{ s} \quad \text{tiempo máximo de actuación de las protecciones}$$

Luego:

$$I_{admL5} := \frac{k_{XLPE} s_{L5}}{\sqrt{t_s}} \quad I_{admL5} = 10.01 \text{ kA} \quad > \quad I_{kVI} = 9.53 \text{ kA} \quad \text{El conductor verifica}$$

### -Cable L6:

$$s_{L6} = 150 \text{ mm}^2$$

$$t_s := 1 \text{ s} \quad \text{tiempo máximo de actuación de las protecciones}$$

Luego:

$$I_{admL6} := \frac{k_{XLPE} s_{L6}}{\sqrt{t_s}} \quad I_{admL6} = 21.45 \text{ kA} \quad > \quad I_{kVI} = 9.53 \text{ kA} \quad \text{El conductor verifica}$$

**-Cable L7:**

$$s_{L7} = 70 \text{ mm}^2$$

$$t_{\text{max}} := 1 \text{ s}$$

tiempo máximo de actuación de las protecciones

Luego:

$$I_{\text{admL7}} := \frac{k_{\text{XLPE}} s_{L7}}{\sqrt{t_s}} \quad I_{\text{admL7}} = 10.01 \text{ kA} \quad > \quad I_{k\text{VIII}} = 7.28 \text{ kA} \quad \text{El conductor verifica}$$

# Cálculo de puesta a tierra

## Estación Transformadora 132 kV

### Normativa empleada

Para la determinación de la malla de P.A.T. se utiliza: Reglamentación AEA 95402  
IEEE std 80 - 2000  
Normas IRAM de materiales correspondientes

### Memoria de cálculo

Se parte de conocer la Potencia de cortocircuito de la red y las características del terreno, así como también las dimensiones de la ET.

Se adopta un conductor y se realiza el diseño preliminar de la malla.

Se calcula la tensión de paso y de contacto admisibles.

Se verifica el conductor, en cuanto a su disipación térmica.

Se determina la resistencia de la malla y se calcula un Máximo potencial de tierra; si es inferior que la tensión de contacto tolerable se da por finalizado el cálculo; en caso contrario se calcula una E de malla, se calcula una E de paso; y si éstas son inferiores a las toleradas por el cuerpo humano se da por finalizado el cálculo, en caso contrario se debe modificar la malla de puesta a tierra para que estos valores sean inferiores a los permitidos.

### Consideraciones

Se realizara un malla de puesta a tierra para asegurar de forma efectiva: La puesta a tierra de los neutros del sistema eléctrico; el drenaje a tierra de las eventuales corrientes de falla producidas durante su operación; el drenaje a tierra de las corrientes debidas a las descargas eléctricas atmosféricas.

Si la malla verifica sin jabalinas, se agregarán: en los vértices, los neutros de los transformadores, los pararrayos de línea y de transformadores.

Los conductores a utilizar serán: Malla de P.A.T. 90 mm<sup>2</sup>

Conexión de Transformadores a la malla 50 mm<sup>2</sup>

Conexión de Pararrayos a la malla 50 mm<sup>2</sup>

Resistividad del terreno fue obtenida a partir del mapa correspondiente en NORMA IRAM 2281.

Se toma una resistividad superficial del terreno de 2500 Ohm m debido a que se utiliza un material en la superficie en busca de disminuir los efectos sobre las personas de una falla a tierra.

La profundidad de la malla es de 0.80 m.

Corriente máxima de falla: no se considera atenuación por estar lejos de generadores

El tiempo de despeje de falla, debido a considerar actuación de protecciones de respaldo se considera 1 segundo.

Para la determinación de las tensiones admisibles de paso y contacto se considera un cuerpo humano de 70 kg

### Datos de la red

La potencia de cortocircuito calculada según la configuración del sistema de la red de 132 kV es de 2390 MVA, se estima a futuro una potencia de 132 kV es de 2500 MVA.

$$t := 1 \cdot \text{sec}$$

$$P_{cc} := 2500 \cdot \text{M} \cdot \text{V} \cdot \text{A}$$

$$I_k := \frac{P_{cc}}{\sqrt{3} \cdot 132 \cdot \text{kV}}$$

$$I_k = 10.935 \cdot \text{kA}$$

Se adopta esta corriente como la máxima por ser la más perjudicial

## Datos del terreno

Resistividad profunda del terreno  $\rho_p := 30 \cdot \Omega \cdot m$

Resistividad superficial del terreno  $\rho_s := 2500 \cdot \Omega \cdot m$

Espesor capa aislante  $h_s := 0.15 \cdot m$

## Características del conductor

Material elegido: Cobre comercial duro

Sección del Conductor:  $S_C := 90 \cdot mm^2$

Constante de disipación térmica por unidad de volumen  $T_{cap} := 3.422 \cdot \frac{J}{cm^3 \cdot ^\circ C}$

Temperatura máxima aceptable en el conductor  $T_m := 200 \cdot ^\circ C$

Temperatura de referencia  $T_r := 20 \cdot ^\circ C$

Temperatura ambiente  $T_a := 20 \cdot ^\circ C$

Coefficiente de resistividad térmica.  $\alpha_r := 0.00381 \cdot \frac{1}{^\circ C}$

Resistividad del conductor de puesta a tierra  $\rho_r := 1.78 \cdot \mu\Omega \cdot cm$

$$K_0 := \left( \frac{1}{\alpha_r} - T_r \right)$$

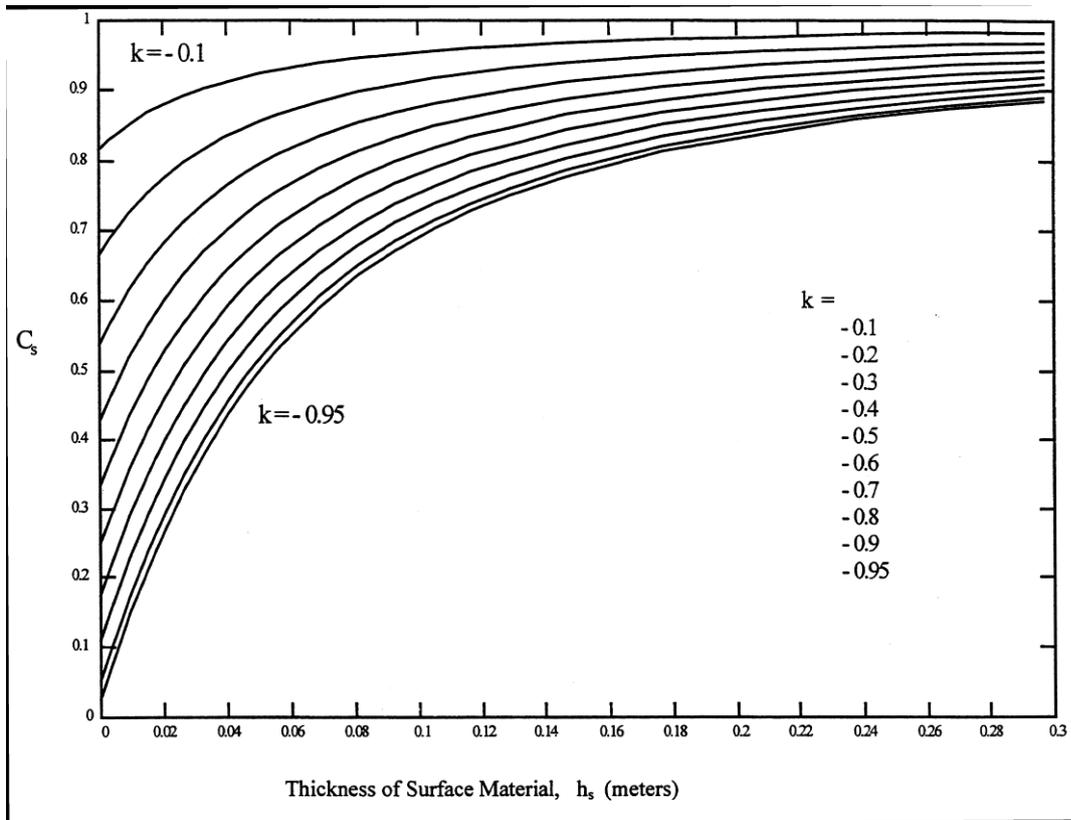
$$K_0 = 242.467 \cdot ^\circ C$$

## Tensiones de paso y de contacto admisibles

Factor de reflexión  $K := \frac{\rho_p - \rho_s}{\rho_p + \rho_s} \quad K = -0.976$

De Norma IEEE 80 se obtiene el factor  $C_s$  que considera la capa superficial (se adjunta gráfico)

Factor de reducción. Función de espesor  $h_s$  y factor de reflexión



IEEE 80

Factor de reducción; función de  $h_s$  y  $K$

$$C_s := 0.73$$

Tensión de contacto admisible: 
$$V_{C.adm70} := \left[ 1000 \cdot (\Omega \cdot m) + 1.5 \cdot C_s \cdot \rho_s \right] \cdot \frac{0.157 \text{ A} \cdot s^{0.5}}{\sqrt{t}} \cdot \frac{1}{m}$$

$$V_{C.adm70} = 586.8 \text{ V}$$

Tensión de paso admisible: 
$$V_{P.adm70} := \left( 1000 \cdot \Omega \cdot m + 6 \cdot C_s \cdot \rho_s \right) \cdot \frac{0.157 \text{ A} \cdot s^{0.5}}{\sqrt{t}} \cdot \frac{1}{m}$$

$$V_{P.adm70} = 1876.15 \text{ V}$$

## Características de la malla y dimensiones

Con un largo de 80 m, un ancho de 50 m y una separación entre conductores de 6 metros se estima el número de conductores en ambos ejes y se escoge un número entero.

|                                    |   |
|------------------------------------|---|
| Profundidad de la malla            | $h := 0.8 \cdot m$                      |
| Ancho de la malla                  | $am := 54 \cdot m$                      |
| Largo de la malla                  | $lm := 84 \cdot m$                      |
| Mallado (medio) según X            | $M_X := 6m$                             |
| Mallado (medio) según Y            | $M_Y := 6 \cdot m$                      |
| Número de barras según dirección X | $N_X := \frac{am}{M_X} + 1 = 10$        |
| Número de barras según dirección Y | $N_Y := \frac{lm}{M_Y} + 1 = 15$        |
| Longitud de conductor según X      | $L_X := N_X \cdot lm = 840m$            |
| Longitud de conductor según Y      | $L_Y := N_Y \cdot am = 810m$            |
| Longitud total del conductor       | $L_{cond} := L_X + L_Y = 1650m$         |
| Perímetro del conductor            | $L_p := lm \cdot 2 + am \cdot 2 = 276m$ |
| Área de la malla                   | $A_m := lm \cdot am = 4536m^2$          |
| Longitud del conductor enterrado   | $\underline{L} := L_{cond}$             |

## Verificación Térmica del conductor

Sección de conductor Mínimo que se necesita.

$$A_C := I_k \cdot \frac{1}{\sqrt{\frac{T_{cap}}{t \cdot \alpha_r \cdot \rho_r} \ln \left( \frac{K_0 + T_m}{K_0 + T_a} \right)}} \quad A_C = 67.36 \cdot mm^2$$

Para prevenir por daños por corrosión u otros dados por su envejecimiento se utilizará la sección antes mencionada.

La corriente que esta sección puede drenar la obtenemos:

$$I_{adm} := S_C \cdot \sqrt{\frac{T_{cap}}{t \cdot \alpha_r \cdot \rho_r} \ln\left(\frac{K_0 + T_m}{K_0 + T_a}\right)} \quad I_{adm} = 14.61 \cdot \text{kA}$$

La cual es menor que:

$$I_k = 10.935 \cdot \text{kA}$$

## Verificación

### Resistencia de puesta a tierra

La resistencia de dispersión a tierra de la red de conductores horizontales enterrados; para las profundidades usuales de instalación de la malla en el sistema interconectado (mínimo 0,8 m), se puede calcular como sigue:

$$\text{Resistencia de la malla} \quad R_G := \rho_p \cdot \left[ \frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20 \cdot A_m}} \cdot \left( 1 + \frac{1}{1 + h \cdot \sqrt{\frac{20}{A_m}}} \right) \right] = 0.212 \Omega$$

Al presentar conductores verticales la resistencia del conjunto es menos que cualquiera de sus componentes, pero mayor que la resistencia de su conexión en paralelo.

### Máximo potencial de tierra

$$I_k \cdot R_G = 2.32 \cdot \text{kV}$$

Cómo el máximo potencial de tierra es mayor que la tensión de contacto admisible, se debe calcular la tensión de malla y la de paso.

### Tensión de malla

Espacio entre conductores paralelos

$$D := M_X$$

Diámetro de los conductores de la malla

$$d := \sqrt{\frac{S_C \cdot 4}{\pi}} \quad d = 10.705 \cdot \text{mm}$$

Profundidad de referencia para la malla

$$h_0 := 1 \text{ m}$$

$$K_h := \sqrt{1 + \frac{h}{h_0}} \quad K_h = 1.342$$

Factor de corrección por profundidad de la malla

Al no considerarse conductores de profundidad, la longitud de conductor efectivamente enterrado será:

$$L_C := L$$

Número efectivo de conductores

$$n_a := 2 \cdot \frac{L_C}{L_P} = 11.957 \quad n_b := 1 \quad n_c := 1 \quad n_d := 1$$

Número efectivo de conductores

$$n := n_a \cdot n_b \cdot n_c \cdot n_d = 11.957$$

Factor de corrección de la los conductores internos

$$K_{ii} := \frac{1}{\frac{2}{(2 \cdot n)^{\frac{2}{n}}}} \quad K_{ii} = 0.588$$

Factor de geometría de la malla

$$K_m := \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \left[ \ln \left[ \frac{D^2}{16 \cdot h \cdot d} + \frac{(D + 2 \cdot h)^2}{8 \cdot D \cdot d} - \frac{h}{4 \cdot d} \right] + \frac{K_{ii}}{K_h} \cdot \ln \left[ \frac{8}{\pi \cdot (2 \cdot n - 1)} \right] \right] = 0.782$$

Factor de irregularidad

$$K_i := 0.656 + 0.172 \cdot n = 2.713$$

Tensión de malla

$$V_m := \frac{\rho_p \cdot K_m \cdot K_i \cdot I_k}{L} \quad V_m = 421.7 \cdot V$$

## Tensión de paso

Factor de espacio para voltaje de paso.

$$K_s := \frac{1}{\pi} \cdot \left[ \left( \frac{1}{2 \cdot h} \right) + \frac{1}{D + h} + \frac{1}{D} \cdot (1 - 0.5^{n-2}) \right] \cdot m = 0.299$$

Profundidad para jabalina:

$$L_R := 3 \cdot m$$

Longitud efectiva de conductor enterrado

$$L_S := 0.75 \cdot L_C + 0.85 \cdot L_R = 1240 \text{ m}$$

Tensión de paso

$$E_S := \frac{\rho_p \cdot I_k \cdot K_s \cdot K_i}{L_S} = 214.374 \text{ V}$$

## Resumen

|   |                                   |
|---|-----------------------------------|
| Sección del conductor de malla                        | $S_C = 90 \cdot \text{mm}^2$      |
| Profundidad de la malla                               | $h = 0.8 \text{ m}$               |
| Área de la malla                                      | $A_m = 4536 \text{ m}^2$          |
| Longitud del conductor                                | $L = 1650 \cdot \text{m}$         |
| Corriente de cortocircuito máxima a drenar            | $I_k = 10.935 \cdot \text{kA}$    |
| Corriente de cortocircuito admisible por el conductor | $I_{adm} = 14.61 \cdot \text{kA}$ |
| Tensión de malla                                      | $V_m = 421.7 \text{ V}$           |
| Tensión de contacto admisible                         | $V_{C.adm70} = 586.788 \text{ V}$ |
| Tensión de paso                                       | $E_S = 214.374 \text{ V}$         |
| Tensión de paso admisible                             | $V_{P.adm70} = 1876.15 \text{ V}$ |

## Características de la red

### Nivel 132 kV

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| Tensión nominal:            | $Un_{132} := 132\text{kV}$                        |
| Tensión máxima:             | $V_{M132} := Un_{132} \cdot 1.1 = 145.2\text{kV}$ |
| Corriente de cortocircuito: | $I_{KA} := 1\text{kA}$                            |

### Nivel 33 kV

|                             |  |
|-----------------------------|--|
| Tensión nominal:            | $Un_{33} := 33\text{kV}$                       |
| Tensión máxima:             | $V_{M33} := Un_{33} \cdot 1.1 = 36.3\text{kV}$ |
| Corriente de cortocircuito: | $I_{KB} := 4.6\text{kA}$                       |

### Nivel 13.2 kV

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| Tensión nominal:            | $Un_{13.2} := 13.2\text{kV}$                        |
| Tensión máxima:             | $V_{M13.2} := Un_{13.2} \cdot 1.1 = 14.52\text{kV}$ |
| Corriente de cortocircuito: | $I_{KC} := 7.3\text{kA}$                            |

## Coordinación de aislación

### Niveles de aislación

|   |                |                              |
|---|----------------|------------------------------|
| <b>Los niveles para 132 kV, serán:</b>                                      | Tensión máxima | $V_{M132} = 145.2\text{kV}$  |
| Tensión resistida de corta duración a frecuencia industrial (valor eficaz): |                | $SIL_{132} := 230\text{kV}$  |
| -Tensión resistida de impulso atmosférico nominal (valor de cresta)         |                | $BIL_{132} := 550\text{kV}$  |
| <b>Los niveles para 33 kV, serán:</b>                                       | Tensión máxima | $V_{M33} = 36.3\text{kV}$    |
| Tensión resistida de corta duración a frecuencia industrial (valor eficaz): |                | $SIL_{33} := 70\text{kV}$    |
| -Tensión resistida de impulso atmosférico nominal (valor de cresta)         |                | $BIL_{33} := 170\text{kV}$   |
| <b>Los niveles para 13.2 kV, serán:</b>                                     | Tensión máxima | $V_{M13.2} = 14.52\text{kV}$ |
| Tensión resistida de corta duración a frecuencia industrial (valor eficaz): |                | $SIL_{13.2} := 38\text{kV}$  |
| -Tensión resistida de impulso atmosférico nominal (valor de cresta)         |                | $BIL_{13.2} := 95\text{kV}$  |

Las distancias **mínimas** en aire serán:

|         |         |
|---------|---------|
| 132 kV  | 1100 mm |
| 33 kV   | 320 mm  |
| 13,2 kV | 160 mm  |

## Selección de Equipos

Para la selección del equipamiento de la E.T. se escogerá los mismos por sus valores nominales de acuerdo al uso, y se verificará que los mismos cumplan con los valores antes mencionados y las normas de aplicación correspondientes.

### Transformador

Deberán responder básicamente a las últimas versiones de las normas IRAM y/o IEC vigentes y que sean de aplicación.

Se utilizará un transformador de la empresa Tadeo ZCerweny de las siguientes características.

#### Características

Se trata de un transformador de potencia trifásico de tres arrollamientos aislados en aceite y libre de PCBs

**Tensión** 132/33/13,2 kV

**Potencia** 15/10/15 MVA

Las demás características se detallan en hojas de catálogo adjunto.

### Refrigeración

Serán aislados en aceite y con refrigeración natural / forzada, ONAN / ONAF.

### Equipamiento

Deberán poseer regulador bajo carga con regulación automática de tensión.

### Muros parallamas

Se realizará un muro parallamas para evitar la propagación de incendios en cada transformador. El mismo posibilitará colocar los equipos a una distancia menor que si dicho muro no estuviera.

### Cuba de recuperación de aceite

Se construye una cuba que almacenará, para su posterior evacuación el aceite del transformador.

### Protecciones

El transformador contará con las siguientes protecciones.

#### Protección Buchholz

Debe ser provisto por el fabricante de la máquina.

Poseerá un primer nivel de alarma y uno segundo de disparo que actuará sobre los interruptores del transformador.

## Imagen Térmica

Tomará la señal de corriente mediante un arrollamiento exclusivo para tal fin.  
Incluirá un primer nivel de alarma y comando del sistema de refrigeración y uno segundo de disparo sobre los interruptores del transformador.

## Termómetro

Medirá la temperatura del fluido refrigerante en el punto de mayor temperatura **Nivel del Fluido Refrigerante**

Incluirá un primer nivel de alarma y uno segundo de disparo sobre los interruptores del transformador.

## Válvula de sobrepresión

Incluirá un nivel de disparo sobre los interruptores del transformador.

## Protección de cuba

La protección realizará la medición de la corriente circulante entre la cuba del transformador y tierra.

## Protección Diferencial

La protección diferencial deberá garantizar la desconexión del transformador,

## Selección de TI

### Características y verificación de los TI

Los transformadores de corriente en, 132 , 33 y 13.2 kV , tendrán tres arrollamientos secundarios:  
Un arrollamiento para proteccion  
Dos arrollamientos para medición uno para medicion interna de la estación transformadora.  
uno para el SMEC de CAMMESA.

### TI de Campo de 132 kV

Se verifica para la potencia máxima a transmitir por la línea.

$$I := 650 \text{ A}$$

De catálogo se obtiene:  $I_{PL} := 800 \text{ A}$  La I primaria nominal del TI de línea.

Calculamos entonces:

Intensidad térmica  $I_{tL} := I_{PL} \cdot 100 = 80 \text{ kA}$

Intensidad dinámica  $I_{dinL} := I_{tL} \cdot 2.5 = 200 \text{ kA}$

Los núcleos serán: De medida: clase 0.2/FS5/30 VA

De protección: clase 5P30/30 VA

Relación de transformación: **800/5/5 A**

### TI de Campo de transformación (132 kV)

La corriente nominal en el transformador para 15 MW es:

$$I_{TA} := 65.7A$$

De catálogo se obtiene:  $I_{PTA} := 100A$  La I primaria nominal del TI de transformación (132 kV).

Calculamos entonces:

Intensidad térmica  $I_{tTA} := I_{PTA} \cdot 100 = 10kA$

Intensidad dinámica  $I_{dinTA} := I_{tTA} \cdot 2.5 = 25kA$

Los núcleos serán: De medida: clase 0.2/FS5/30 VA

De protección: clase 5P30/30 VA

Relación de transformación: **100/5/5 A**

### TI de 33 kV

La corriente nominal en el transformador para 10 MW es:

$$I_{TB} := 175A$$

De catálogo se obtiene:  $I_{PTB} := 300A$  La I primaria nominal del TI de 33kV.

Calculamos entonces:

Intensidad térmica  $I_{tTB} := I_{PTB} \cdot 100 = 30kA$

Intensidad dinámica  $I_{dinTB} := I_{tTB} \cdot 2.5 = 75kA$

Los núcleos serán: De medida: clase 0.2/FS5/15 VA

De protección: clase 10P10/15 VA

Relación de transformación: **300/5/5 A**

### TI de 13,2 kV

La corriente nominal en el transformador para 15 MW es:

$$I_{TC} := 657A$$

De catálogo se obtiene:  $I_{PTC} := 750A$  La I primaria nominal del TI de 13,2kV.

Calculamos entonces:

Intensidad térmica

$$I_{tTC} := I_{PTC} \cdot 100 = 75 \text{ kA}$$

Intensidad dinámica

$$I_{dinTC} := I_{tTC} \cdot 2.5 = 187.5 \text{ kA}$$

Los núcleos serán:

De medida: clase 0.2/FS5/15 VA

De protección: clase 5P5/15 VA

Relación de transformación:

**750/5/5 A**

## Selección de TV

### Características de los TV

#### TV de Campo de 132 kV

Los transformadores de tensión 132 , 33 y 13.2 kV tendrán tres arrollamientos secundarios:  
Un arrollamiento para protección  
Dos arrollamientos para medición uno para medición interna.  
uno para el SMEC de CAMMESA.

Se utiliza transformador tipo inductivo.

Relación de transformación:  $\frac{132 \text{ kV}}{\sqrt{3}} = 76.21 \text{ kV}$   $\frac{0.11 \text{ kV}}{\sqrt{3}} = 63.509 \text{ V}$

Factor de tensión: 1.5 (30 segundos)

Núcleo para medida Clase 0.2 de 30 VA

Núcleo para protección Clase 3P 30 VA

#### TV de 33 kV

Se utiliza transformador tipo inductivo, con aislación seca.

Relación de transformación:  $\frac{33 \text{ kV}}{\sqrt{3}} = 19.053 \text{ kV}$   $\frac{0.11 \text{ kV}}{\sqrt{3}} = 63.509 \text{ V}$

Factor de tensión: 1.5 (30 segundos)

Núcleo para medida Clase 0.2 de 15 VA

Núcleo para protección Clase 3P 15 VA

## TV de 13,2 kV

Se utiliza transformador tipo inductivo, con aislación seca.

Relación de transformación:  $\frac{13.2\text{kV}}{\sqrt{3}} = 7.621\text{kV}$   $\frac{0.11\text{kV}}{\sqrt{3}} = 63.509\text{V}$

Factor de tensión: 1.5 (30 segundos)

Núcleo para medida Clase 0.2 de 15 VA

Núcleo para protección Clase 3P 15 VA

## Interruptores

Las Características nominales de los equipos con especificaciones y datos técnicos se adjuntan en hojas con catalogos.

### Interruptor 132kV

Se utiliza un interruptor Tipo LTB D1 (ABB) marca ABB, Interruptor en SF6 de tanque vivo.

#### Características

| Modelo   | U máx. | V ensayo<br>F industrial | V ensayo<br>impulso | Número de<br>secundarios | Altura | Peso<br>(kgf) |
|----------|--------|--------------------------|---------------------|--------------------------|--------|---------------|
| KA - 145 | 145    | 275                      | 650                 | TI 5 / TT 3              | 2795   | 580           |

### Interruptor 33 kV

Los interruptores utilizados en 33 kV son parte de la Celda de MT 33 kV ZX2.2 de ABB con una corriente nominal de 400 A y una corriente de cortocircuito admisible de 40 kA.

### Interruptor 13,2kV

Los interruptores utilizados en 13.2 kV son parte de la Celda de MT 13.2 kV ZX2.2 de ABB con una corriente nominal de 400 A y una corriente de cortocircuito admisible de 40 kA.

# Seccionadores

## Seccionador 132 kV

Se utilizarán dos seccionadores tipo fila india por campo para unir el mismo con cada barra.

Se utilizara a la entrada de la línea un seccionador de polos paralelos, con puesta a tierra. Seccionador giratorio de doble apertura lateral Tipo SG3CP-145/1250 (Mesa), para trabajar en los equipos.

Los mismos deberán cumplir con los requerimientos de tensión y corriente nominales de la línea. Además soportar durante un tiempo especificado la corrientes de cortocircuito.

### Características de la red

Tensión nominal:  $U_{n132} = 132\text{ kV}$

Tensión máxima:  $V_{M132} = 145.2\text{ kV}$

Corriente nominal:  $I = 650\text{ A}$

Corriente de cortocircuito:  $I_{KA} := 1\text{ kA}$

## Seccionador Lago SLA 3C/145

Seccionador tipo fila india

| Modelo     | U nominal | Corriente nominal | I Cto. Cto. |
|------------|-----------|-------------------|-------------|
| SLA 3C/145 | 132 kV    | 800 A             | 31.5 kA     |

## Seccionador Tipo SG3CP-145/1250 (Mesa)

Seccionador giratorio de doble apertura lateral Tipo SG3CP-145/1250 (Mesa)

| Modelo         | Umáx.  | I nominal | Ik corta duración | I de pico |
|----------------|--------|-----------|-------------------|-----------|
| SG3CP-145/1250 | 145 kV | 1250 A    | 31.5 kA           | 80 kA     |

## Seccionador 33kV

Se utilizará seccionador ABB Serie U.

### Características de la red

Tensión nominal:  $U_{n33} = 33\text{kV}$

Tensión máxima:  $V_{M33} = 36.3\text{kV}$

Corriente nominal:  $I_{n33} := I_{TB} = 175\text{A}$

Corriente de cortocircuito:  $I_{KB} := 4.6\text{kA}$

### seccionador ABB Serie U

$I_{nsecU} := 630\text{A}$

$I_{KsecU} := 20\text{kA}$

## Seccionador 13.2kV

Se utilizará interruptor ABB Serie U.

### Características de la red

Tensión nominal:  $U_{n13_2} = 13.2\text{kV}$

Tensión máxima:  $U_{n13_2} = 13.2\text{kV}$

Corriente nominal:  $I_{n13.2} := I_{TC} = 657\text{A}$

Corriente de cortocircuito:  $I_{KC} := 7.3\text{kA}$

### Seccionador ABB Serie U

$I_{nsecU} = 630\text{A}$

$I_{KsecU} = 20\text{kA}$

## Descargadores

A continuación se seleccionarán los descargadores para los distintos niveles de tensión y se verificarán las distancias de protección de los mismos.

La velocidad del frente de onda considerado es de  $300\text{ m}/\mu\text{s}$  y la pendiente de la misma es de  $1000\text{ kV}/\mu\text{s}$ .

$F_d := 1.2$  Factor de dispersión para impulso atmosférico (margen de protección 20%)

$v := 300 \frac{\text{m}}{\mu\text{s}}$  Velocidad de propagación de la onda progresiva del impulso atmosférico

$s := 1000 \frac{\text{kV}}{\mu\text{s}}$  Pendiente del frente de onda del impulso atmosférico

$gT := \frac{\text{s}}{\text{v}}$   $gT = 3.333 \frac{\text{kV}}{\text{m}}$  Gradiente de tensión

## Selección de descargador

### Nivel de 132 kV

Tensión de operación del descargador  $U_{c132} := 1.05 \frac{V_{M132}}{\sqrt{3}} = 88.023 \text{ kV}$  Se escoge  $U_{c132} := 92 \text{ kV}$

Tensión nominal del descargador  $U_{r132} := 1.25 \cdot U_{c132} = 115 \text{ kV}$  Se escoge  $U_{r132} := 120 \text{ kV}$

De tabla obtenemos la máxima tensión residual para onda de 8/20 s con intensidad de descarga de 10 kA.

$$V_{r132} := 2.59 \cdot U_{r132} = 310.8 \text{ kV}$$

### Distancia de protección

La distancia de protección según el descargador elegido será:

$$L_{132} := \frac{v}{2 \cdot s} \cdot \left( \frac{BIL_{132}}{F_d} - V_{r132} \right) \quad \boxed{L_{132} = 22.13 \text{ m}}$$

### Nivel de 33 kV

Tensión de operación del descargador  $U_{c33} := 1.05 \frac{V_{M33}}{\sqrt{3}} = 22.006 \text{ kV}$  Se escoge  $U_{c33} := 22 \text{ kV}$

Tensión nominal del descargador  $U_{r33} := 1.25 \cdot U_{c33} = 27.5 \text{ kV}$  Se escoge  $U_{r33} = 27.5 \text{ kV}$

De tabla obtenemos la máxima tensión residual para onda de 8/20 s con intensidad de descarga de 10 kA.

$$V_{r33} := 77 \text{ kV}$$

### Distancia de protección

La distancia de protección según el descargador elegido será:

$$L_{33} := \frac{v}{2 \cdot s} \cdot \left( \frac{BIL_{33}}{F_d} - V_{r33} \right) \quad \boxed{L_{33} = 9.7 \text{ m}}$$

## Nivel de 13.2 kV

Tensión de operación del descargador  $U_{c13.2} := 1.05 \frac{V_{M13.2}}{\sqrt{3}} = 8.802 \text{ kV}$  Se escoge  $U_{c13.2} := 10 \text{ kV}$

Tensión nominal del descargador  $U_{r13.2} := 1.25 U_{c13.2} = 12.5 \text{ kV}$  Se escoge  $U_{r13.2} = 12.5 \text{ kV}$

De tabla obtenemos la máxima tensión residual para onda de 8/20 s con intensidad de descarga de 10 kA.

$$V_{r13.2} := 35 \text{ kV}$$

### Distancia de protección

La distancia de protección según el descargador elegido será:

$$L_{13.2} := \frac{v}{2 \cdot s} \cdot \left( \frac{BIL_{13.2}}{F_d} - V_{r13.2} \right) \quad \boxed{L_{13.2} = 6.625 \text{ m}}$$

# Protección contra Descargas Atmosféricas

## Normas

La protección de la ET se verificará mediante procedimientos indicados en la norma 95402 de A.E.A.

## Método

Para la protección se empleará el criterio de langher

La protección se basa en reducir la probabilidad de la incidencia de un descarga mediante la cobertura de hilos de guardia conectados a la puesta a tierra de la estación transformadora.

## Conductor

Se utilizará para el hilo de guardia un conductor de 50 mm<sup>2</sup> de Acero, siendo el mismo que el utilizado en los hilos de guardia de la línea.

## Zona de cobertura

La zona de cobertura se comprobó mediante métodos gráficos, comprobándose que no queden objetos a proteger fuera del área de cobertura.

Analíticamente se hace como sigue:

Se puede decir que en un sistema como en el de ET en cuestión se colocan tres hilos de guardia, recorriendo la estación transformadora en forma paralela a las barras; y ubicadas en las columnas que retienen los conductores a una altura **H**.

Se considera protegido a todo equipo o conductor ubicado bajo un área determinada por: cuatro arcos de circunferencia determinados de la siguiente manera.

En los extremos por dos arcos de circunferencia con su centros ubicado a una altura igual a 2H y alejados de la columna una distancia igual a  $\sqrt{3} \cdot H$  y con un radio igual a 2H.

En el centro (Entre columnas) por dos arcos de circunferencias con su centro a una altura igual a 2H y un radio R igual a la distancia entre dicho centro y el hilo de guardia.

Gráficamente puede verse en el plano hecho para tal motivo.