

Líneas Aéreas de Alta Tensión

1. Formulario.

1.1. Parámetros eléctricos de la línea.

1.1.1. Resistencia.

A la temperatura de 20 °C:

$$R_{cc20^{\circ}C} = \frac{\rho_{20^{\circ}C}}{S} \quad (\Omega/km)$$

- S , sección (mm^2)
- ρ_{Cu} resistividad del cobre, 17,241 ($\Omega \cdot mm^2/km$)
- ρ_{Al} resistividad del aluminio, 28,264 ($\Omega \cdot mm^2/km$)

Para una temperatura θ cualquiera:

$$R_{cc\theta} = R_{cc20^{\circ}C} \cdot [1 + \alpha \cdot (\theta - 20)]$$

$$\alpha_{20^{\circ}Cu} = 0,00393^{\circ}C^{-1} \quad \alpha_{20^{\circ}Al} = 0,00403^{\circ}C^{-1}$$

Resistencia en CA:

$$R_{ca} \approx R_{cc\theta}(1 + Y_s) = R_{ccc} (1 + 7,5 \cdot f^2 \cdot d^4 \cdot 10^{-7}) \quad (\Omega/km)$$

1.1.2. Reactancia inductiva serie.

$$X = \omega \cdot L_k \cdot l \quad (2)$$

Expresión general para la inductancia **por fase** de una línea se expresa:

$$L_k = 2 \cdot 10^{-4} \ln \frac{DMG}{RMG'} \quad (H/km)$$

Siendo:

- DMG , la distancia media geométrica.
- RMG' , el radio medio geométrico.

$$RMG' = \sqrt[n]{e^{-1/4} \cdot r \cdot n \cdot \left(\frac{\Delta}{2 \cdot \sin(\pi/n)} \right)^{n-1}}$$

1. Líneas de simple circuito simplex (un conductor por fase).

$$L_k = 2 \cdot 10^{-4} \cdot \ln \frac{DMG}{r'} \quad (H/km)$$

$$DMG = \sqrt[3]{D_{12} \cdot D_{23} \cdot D_{31}}$$

$$r' = e^{-1/4} \cdot r \quad \text{siendo } r, \text{ el radio del conductor}$$

$$X = \omega \cdot L_k \cdot l \quad (\Omega)$$

2. Líneas de simple circuito dúplex (2 conductores por fase).

$$L_k = 2 \cdot 10^{-4} \ln \frac{DMG}{RMG'} \quad (H/km)$$

$$DMG = \sqrt[3]{D_{12} \cdot D_{23} \cdot D_{31}}$$

$$RMG = \sqrt{r' \cdot \Delta}$$

$$r' = e^{-1/4} \cdot r \quad \text{siendo } r, \text{ el radio del conductor}$$

$$X = \omega \cdot L_k \cdot l \quad (\Omega)$$

3. Líneas de doble circuito simplex (un conductor por fase).

$$L_k = 2 \cdot 10^{-4} \cdot \ln \left(\frac{DMG_{ff}}{DMG'_f} \right) \quad (H/km)$$

La inductancia por circuito sería: $2 \cdot L_k$

$$DMG_{ff} = \sqrt[3]{(D_{12} \cdot D_{12'} \cdot D_{1'2} \cdot D_{1'2'})^{\frac{1}{4}} \cdot (D_{23} \cdot D_{23'} \cdot D_{2'3} \cdot D_{2'3'})^{\frac{1}{4}} \cdot (D_{31} \cdot D_{31'} \cdot D_{3'1} \cdot D_{3'1'})^{\frac{1}{4}}}$$

$$DMG_f = \sqrt[6]{(r' \cdot D_{11'}) \cdot (r' \cdot D_{22'}) \cdot (r' \cdot D_{33'})}$$

$$r' = e^{-1/4} \cdot r \quad \text{siendo } r, \text{ el radio del conductor.}$$

$$X = \omega \cdot L_k \cdot l \quad (\Omega)$$

4. Líneas de doble circuito duplex (dos conductores por fase).

$$L_k = 2 \cdot 10^{-4} \cdot \ln \left(\frac{DMG_{ff}}{DMG'_f} \right) \quad (H/km)$$

La inductancia por circuito sería: $2 \cdot L_k$

$$DMG_{ff} = \sqrt[3]{(D_{12} \cdot D_{12'} \cdot D_{1'2} \cdot D_{1'2'})^{\frac{1}{4}} \cdot (D_{23} \cdot D_{23'} \cdot D_{2'3})^{\frac{1}{4}} \cdot (D_{31} \cdot D_{31'} \cdot D_{3'1} \cdot D_{3'1'})^{\frac{1}{4}}}$$

$$DMG'_f = (RMG')^{1/2} \cdot (D_{11'} \cdot D_{22'} \cdot D_{33'})^{1/6}$$

$$RMG' = \sqrt{r' \cdot \Delta} \quad \text{con } r' = e^{-1/4} \cdot r \quad \text{siendo } r, \text{ el radio del conductor.}$$

$$X = \omega \cdot L_k \cdot l \quad (\Omega)$$

1.1.3. Susceptancia capacitiva paralelo (S/km).

$$B = \frac{1}{X_c} \cdot 1 = \frac{1}{\frac{1}{\omega \cdot C_k}} \cdot 1 = \omega \cdot C_k \cdot 1 \quad (S)$$

Expresión general para la inductancia **por fase** de una línea se expresa:

$$C_k = \frac{0,0556 \cdot 10^{-6}}{\ln \left(\frac{DMG}{RMG} \right)} \left(\frac{F}{km} \right)$$

Siendo:

- DMG, la distancia media geométrica entre ejes de fases (m).
- RMG', el radio medio geométrico del conductor (m).

$$RMG = \sqrt[n]{r \cdot n \left(\frac{\Delta}{2 \cdot \sin(\pi/n)} \right)^{n-1}}$$

1. Líneas de simple circuito simplex (un conductor por fase).

$$C_k = \frac{0,0556 \cdot 10^{-6}}{\ln \frac{DMG}{r}} \left(\frac{F}{km} \right)$$

$$DMG = \sqrt[3]{D_{12} \cdot D_{23} \cdot D_{31}} \quad \text{siendo } r, \text{ el radio del conductor}$$

$$B = \omega \cdot C_k \cdot l \quad (S)$$

2. Líneas de simple circuito duplex (dos conductores por fase).

$$C_k = \frac{0,0556 \cdot 10^{-6}}{\ln \frac{DMG}{RMG}} \left(\frac{F}{km} \right)$$

$$DMG = \sqrt[3]{D_{12} \cdot D_{23} \cdot D_{31}}$$

$$RMG = \sqrt{r \cdot \Delta} \quad \text{siendo } r, \text{ el radio del conductor}$$

$$B = \omega \cdot C_k \cdot l \quad (S)$$

3. Líneas de doble circuito simplex (un conductor por fase).

$$C_k = \frac{0,0556 \cdot 10^{-6}}{\ln \frac{DMG_{ff}}{DMG_f}} \left(\frac{F}{km} \right)$$

La capacidad de un solo circuito sería: $\frac{C_k}{2}$

$$DMG_{ff} = \sqrt[3]{(D_{12} \cdot D_{12'} \cdot D_{1'2} \cdot D_{1'2'})^{\frac{1}{4}} \cdot (D_{23} \cdot D_{23'} \cdot D_{2'3} \cdot D_{2'3'})^{\frac{1}{4}} \cdot (D_{31} \cdot D_{31'} \cdot D_{3'1} \cdot D_{3'1'})^{\frac{1}{4}}}$$

$$DMG_f = [(r \cdot D_{11'}) (r \cdot D_{22'}) \cdot (r \cdot D_{33'})]^{1/6} \quad \text{siendo } r, \text{ el radio del conductor}$$

$$B = \omega \cdot C_k \cdot l \quad (S)$$

4. Líneas de doble circuito duplex (dos conductores por fase).

$$C_k = \frac{0,0556 \cdot 10^{-6}}{\ln \frac{DMG_{ff}}{DMG_f}} \left(\frac{F}{km} \right)$$

La capacidad de un solo circuito sería: $\frac{C_k}{2}$

$$DMG_{ff} = \sqrt[3]{(D_{12} \cdot D_{12'} \cdot D_{1'2} \cdot D_{1'2'})^{\frac{1}{4}} \cdot (D_{23} \cdot D_{23'} \cdot D_{2'3'})^{\frac{1}{4}} \cdot (D_{31} \cdot D_{31'} \cdot D_{3'1} \cdot D_{3'1'})^{\frac{1}{4}}}$$

$$DMG_f = (RMG)^{1/2} \cdot (D_{11'} \cdot D_{22'} \cdot D_{33'})^{1/6}$$

$$RMG = \sqrt{r \cdot \Delta} \quad \text{siendo } r, \text{ el radio del conductor.}$$

$$B = \omega \cdot C_k \cdot 1 \quad (S)$$

1.1.4. Conductancia (S/km).

Se define la conductancia por unidad de longitud como la inversa de la resistencia de aislamiento.

$$G_k = \frac{1}{R_{\text{ais}}} \left(\frac{S}{\text{km}} \right)$$

Para líneas de tensión superior a 132 kV, el valor de la conductancia es del orden:

- Tiempo seco:

$$G = 1 \times 10^8 - 10 \times 10^8 \text{ S/km}$$

- Tiempo húmedo:

$$G' = 10 \times 10^8 - 30 \times 10^8 \text{ S/km}$$

La pérdida de potencia, por fase, originada por el paso de la corriente de fuga, a través de la resistencia del aislamiento es:

$$P_{\text{ais}} = R_{\text{ais}} \cdot I_{\text{fuga}}^2 = R_{\text{ais}} \cdot \left(\frac{U/\sqrt{3}}{R_{\text{ais}}} \right)^2 = \frac{U^2}{3} \cdot G_k \cdot 10^6 \left(\frac{W}{\text{km}} \right) \quad \text{siendo } U \text{ kV, y } G_k \text{ (S/km)}$$