

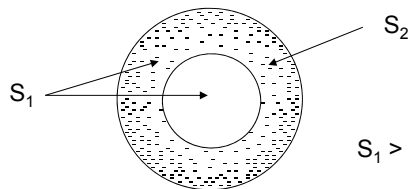
LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

CÁLCULO ELÉCTRICO

Ing. Carlos Huayllasco Montalva

CONSTANTES FÍSICAS RESISTENCIA

- Los Fabricantes la especifican para corriente continua o frecuencia de 60 Hz
- En conductores no magnéticos varía con la temperatura y frecuencia
- Efecto pelicular: corriente fluye cercana a la superficie



$$S_1 > S_2$$

$$R_1 = \rho l / S_1 < R_2 = \rho l / S_2$$

CONSTANTES FÍSICAS
RESISTENCIA – Variación con la frecuencia

$$R_{ca} = K R_{cc} \text{ (ohm/km)}$$

$$X = 0,050138 \sqrt{\mu f / R_{cc}}$$

X	K	X	K
0,1	1,00000	1,0	1,00519
0,2	1,00001	1,5	1,02582
0,3	1,00004	2,0	1,07816
0,4	1,00013	2,5	1,17538
0,5	1,00032	3,0	1,31809

CONSTANTES FÍSICAS
RESISTENCIA – Variación con la temperatura

$$R_t = R_{20^\circ\text{C}} (1 + \alpha \Delta t)$$

α = Coeficiente de variación de R con t

$$\alpha_{\text{Cu}} = 0,00393 \text{ (}^\circ\text{C}^{-1}\text{)}$$

$$\alpha_{\text{ACSR}} = 0,00403 \text{ (}^\circ\text{C}^{-1}\text{)}$$

$$\alpha_{\text{AAAC}} = 0,0036 \text{ (}^\circ\text{C}^{-1}\text{)}$$

$$\alpha_{\text{Bronce}} = 0,004 \text{ (}^\circ\text{C}^{-1}\text{)}$$

$$\alpha_{\text{Acero}} = 0,004 \text{ (}^\circ\text{C}^{-1}\text{)}$$

$$\alpha_{\text{Fe}} = 0,005 \text{ (}^\circ\text{C}^{-1}\text{)}$$

CONSTANTES FÍSICAS

Efecto Pelicular y Temperatura Combinados

- Calcular R_{cc} a la nueva temperatura
- Emplear este valor de R_{cc} para determinar valor de X
- Determinar K de tabla
- Determinar R_{ca} usando el nuevo valor de R_{cc}

CONSTANTES FÍSICAS

REACTANCIA INDUCTIVA

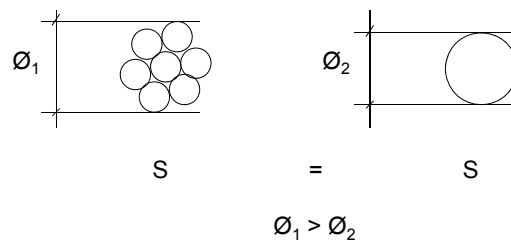
- Existen distintas fórmulas para calcular la reactancia inductiva, algunas están basadas en la distancia media geométrica y el radio medio geométrico
- El radio medio geométrico considera la circunferencia que pasa por los centros de los hilos externos del conductor:

Radio medio
geométrico



CONSTANTES FÍSICAS REACTANCIA INDUCTIVA

- En el cálculo de la reactancia inductiva se considerará el radio equivalente, radio de un conductor de un solo hilo que tiene la misma sección transversal que el conductor de varios hilos



CONSTANTES FÍSICAS REACTANCIA INDUCTIVA

- Coeficiente de autoinducción (L_k)

$$L_k \text{ (H/km)} = \left[\frac{\mu}{2n} + 4,606 \log \frac{D_m}{r'} \right] \times 10^{-4}$$

μ = permeabilidad magnética

n = Nro. De conductores

D_m = distancia media geométrica

$$r' = \sqrt[n]{r n R^{n-1}}$$

CONSTANTES FÍSICAS REACTANCIA INDUCTIVA

- Coeficiente de autoinducción (L_k) para conductores simples

$$L_k \text{ (H/km)} = \left[0,5 + 4,606 \log \frac{D_m}{r} \right] \times 10^{-4}$$

$$\mu = 1$$

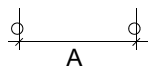
$$n = 1$$

$$r' = r$$

CONSTANTES FÍSICAS REACTANCIA INDUCTIVA

- Coeficiente de autoinducción (L_k) para 2.conductores/fase

$$L_k \text{ (H/km)} = \left[0,25 + 4,606 \log \frac{D_m}{\sqrt{rA}} \right] \times 10^{-4}$$



$$r' = \sqrt{r \times 2 \times A/2} = \sqrt{rA}$$

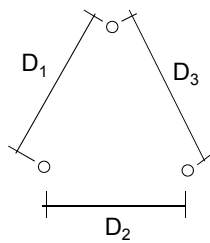
CONSTANTES FÍSICAS REACTANCIA INDUCTIVA

- Reactancia Inductiva por km de Línea

$$X_l = L_k \times \omega = L_k \times 2\pi f$$

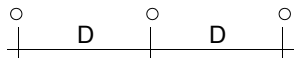
f = frecuencia en Hz

CONSTANTES FÍSICAS Distancia Media Geométrica

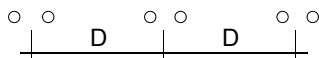


Una sola terna

$$D_m = \sqrt[3]{D_1 \times D_2 \times D_3}$$

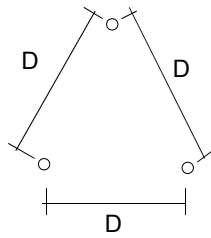


Un mismo plano



$$D_m = 1,26 \times D$$

CONSTANTES FÍSICAS
Distancia Media Geométrica

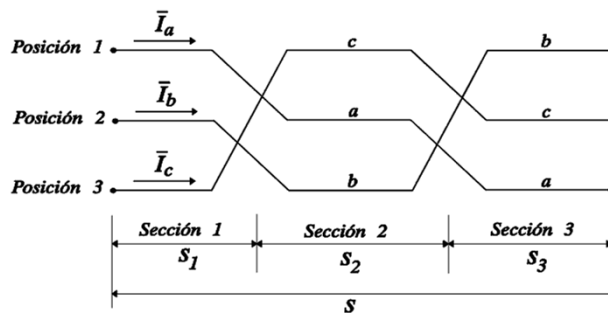


Disposición equilátera

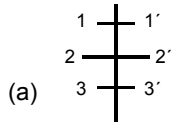
$$D_m = \sqrt[3]{D \times D \times D}$$

$$D_m = D$$

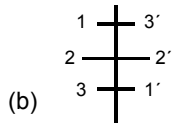
CONSTANTES FÍSICAS
Transposición de Líneas de Transmisión



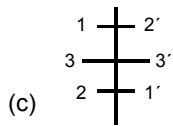
CONSTANTES FÍSICAS Doble Terna



$$D_m = \sqrt[3]{D_1 \times D_2 \times D_3}$$



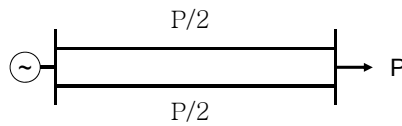
$$D_1 = \frac{\sqrt{D_{1-2} \times D_{1-2'} \times D_{1-3} \times D_{1-3'}}}{D_{1-1'}}$$



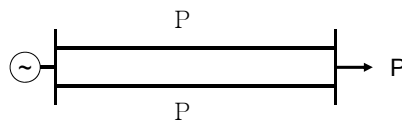
$$D_2 = \frac{\sqrt{D_{2-1} \times D_{2-1'} \times D_{2-3} \times D_{2-3'}}}{D_{2-2'}}$$

$$D_3 = \frac{\sqrt{D_{3-1} \times D_{3-1'} \times D_{3-2} \times D_{3-2'}}}{D_{3-3'}}$$

CÁLCULO EN DOBLE TERNA



ó



CONSTANTES FÍSICAS SUSCEPTANCIA

- Capacidad (C_k)

$$C_k \text{ (F/km)} = \frac{24,2}{\text{Log} \frac{D_m}{r'}} \times 10^{-9}$$

Conductores simples $r' = r$
Conductores dobles $r' = \sqrt{rA}$

CONSTANTES FÍSICAS SUSCEPTANCIA

- Susceptancia por kilómetro

$$B_c \text{ (Siemens/km)} = \frac{1}{X_c} = C_k \times \omega = C_k \times 2\pi f$$

CONSTANTES FÍSICAS CONDUCTANCIA

- Conductancia por kilómetro

$$G_l \text{ (Siemens/km)} = \frac{1}{R} = (1/1000 \times kV_2) \times [\text{(pérdidas por corona) + (pérdidas en cadena aisladores)}]$$

5 a 7 W por
cadena

CONSTANTES ELÉCTRICAS CARACTERÍSTICAS por km de LÍNEA

- Resistencia.- Varía con la temperatura
- Reactancia de autoinducción.-

$$X_l = L_k \times \omega \text{ (}\Omega/\text{km)}$$

$$\omega = 2\pi f$$

- Susceptancia capacitiva.-

$$B_c = C_k \times \omega \text{ (S/km)}$$

- Impedancia.-

$$Z_l = R_l + jX_l \text{ (}\Omega/\text{km)}$$

- Admitancia.-

$$Y_l = G_l + jB_c$$

CONSTANTES FÍSICAS IMPEDANCIA INDUCTIVA

- La fórmula más exacta para calcular la impedancia inductiva es la obtenida por Carson
- Considera que la tierra modifica la intensidad de campo magnético de un conductor
- En cargas trifásicas desbalanceadas parte de la corriente retorna por tierra
- La ecuación que considera Carson es la siguiente:

CONSTANTES FÍSICAS IMPEDANCIA INDUCTIVA

$$Z_{i,k} = R_{i,k} + \Delta R_{i,k} + j \left(\omega \mu_0 \ln \left(\frac{D_{i,k}}{d_{i,k}} \right) + \Delta X_{i,k} \right) \frac{ohm}{m}$$

$R_{i,k}$ es la resistencia en corriente alterna del conductor cuando $i = k$, es 0 si $i \neq k$

$\Delta R_{i,k}$ y $\Delta X_{i,k}$ son llamadas correcciones de Carson por la corriente que retorna por tierra se obtienen por series infinitas

CONSTANTES FÍSICAS IMPEDANCIA INDUCTIVA

Truncadas a dos términos las fórmulas son :

$$\Delta R_{i,k} = \mu_0 \omega \left(\frac{1}{8} - \frac{\sqrt{2}}{6\pi} a \cos \phi_{i,k} \right)$$

$$\Delta X_{i,k} = \frac{\mu_0 \omega}{\pi} \left[0,5 \left(\ln \left(\frac{1,851382}{a} \right) \right) + \frac{\sqrt{2}}{6\pi} a \cos \phi_{i,k} \right]$$

$$a = \sqrt{5} \times 1000 \mu_0 \left(D_{i,k} \sqrt{\frac{f}{\rho}} \right)$$

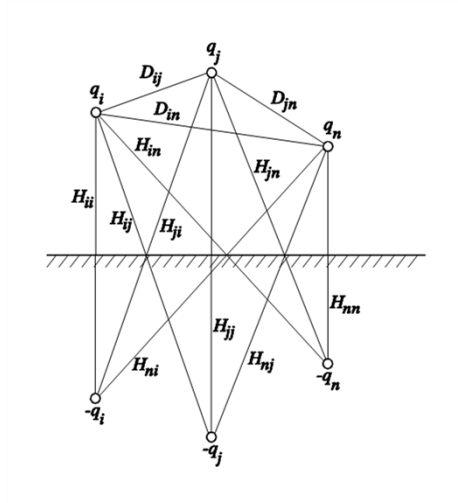
*f es la frecuencia en Hz, $\omega = 2\pi f$ y ρ es la resistividad de la tierra
Las distancias están en metros*

CONSTANTES FÍSICAS IMPEDANCIA INDUCTIVA

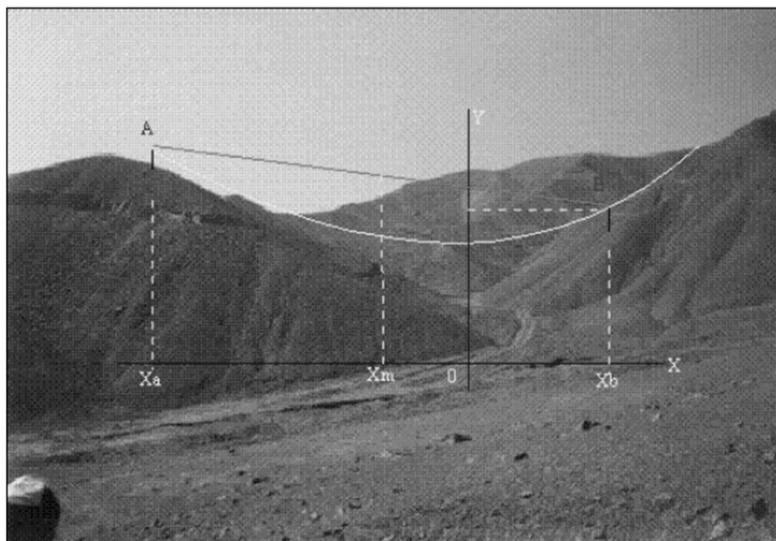
*Una fórmula de uso común utiliza sólo el primer término,
la fórmula es :*

$$Z_{i,k} = R_{i,k} + \mu_0 \frac{\omega}{8} + j \left(\mu_0 \frac{\omega}{2\pi} \right) \left[\ln \left[\left(\frac{1}{d_{i,k}} \right) \cdot \left(\frac{1,85138}{1000 \sqrt{5} \cdot \mu_0 \sqrt{\frac{f}{\rho}}} \right) \right] \right] \frac{ohm}{m}$$

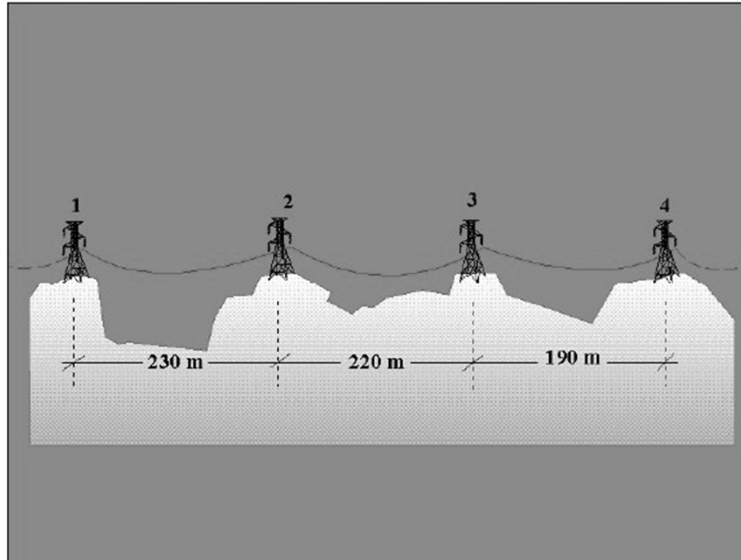
CONSTANTES FÍSICAS IMPEDANCIA INDUCTIVA



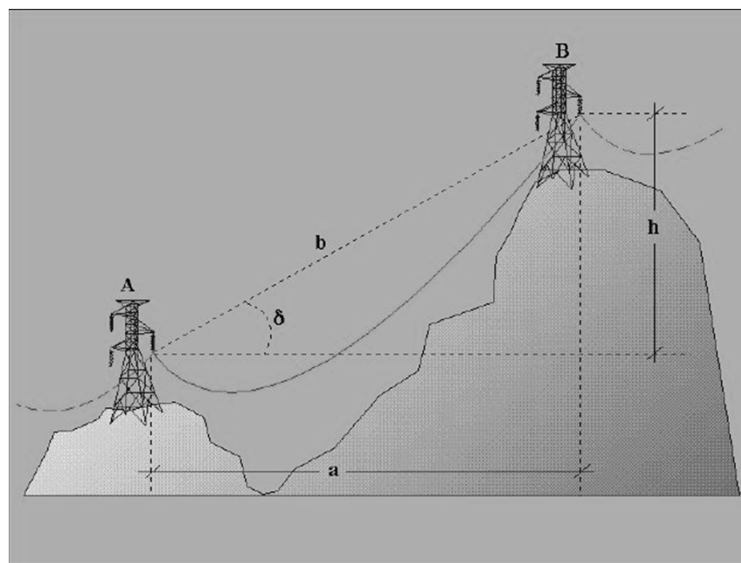
CONSTANTES FÍSICAS IMPEDANCIA INDUCTIVA



CONSTANTES FÍSICAS IMPEDANCIA INDUCTIVA



CONSTANTES FÍSICAS IMPEDANCIA INDUCTIVA



EFECTO CORONA

Diámetro Mínimo del Conductor

(Pérdidas < 0,8 kW/km-terna)

Conductores por fase	1 c/f	2 c/f	3 c/f	4 c/f
\varnothing mín. (cm)	$\frac{1,10 \times kV_2}{t \times 100 \times \sqrt{\delta}}$	$\frac{0,85 \times kV_2}{t \times 100 \times \sqrt{\delta}}$	$\frac{0,64 \times kV_2}{t \times 100 \times \sqrt{\delta}}$	$\frac{k \times kV_2}{t \times 100 \times \sqrt{\delta}}$

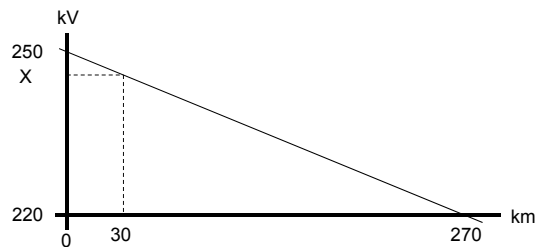
$$t \begin{cases} 1,00 \text{ aire limpio} \\ 0,90 \text{ suciedad mediana} \\ 0,80 \text{ muy sucio} \end{cases} \quad k \begin{cases} 0,54 \text{ (kV} < 600) \\ 0,50 \text{ (kV} = 600\text{-}700) \\ 0,47 \text{ (kV} = 750\text{-}765) \end{cases}$$

EFECTO CORONA

Diámetro Mínimo del Conductor

Valor de kV_2 en lugar donde se calcula el \varnothing mínimo

Ej.: una línea a 200 kV, 270 km de long., a 30 km de la salida se tiene una altitud de 5 000 m.s.n.m. y temperatura de 20°C, aire limpio

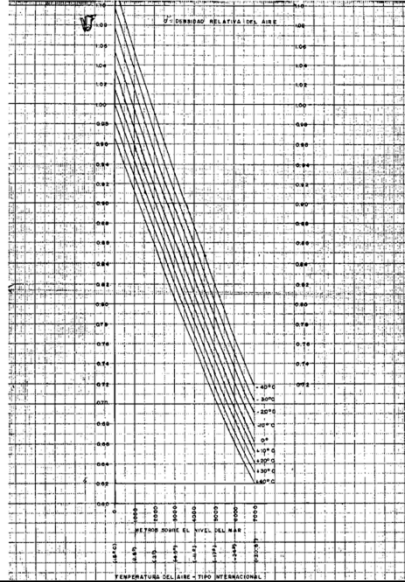


$X = 247 \text{ kV}$

Para 5 000 m.s.n.m y temperatura 20°C

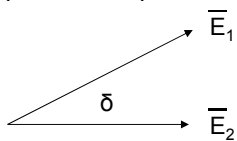
$\sqrt{\delta} = 0,732$ (de curva); \varnothing mín. = 3,71 cm

EFECTO CORONA Densidad del Aire



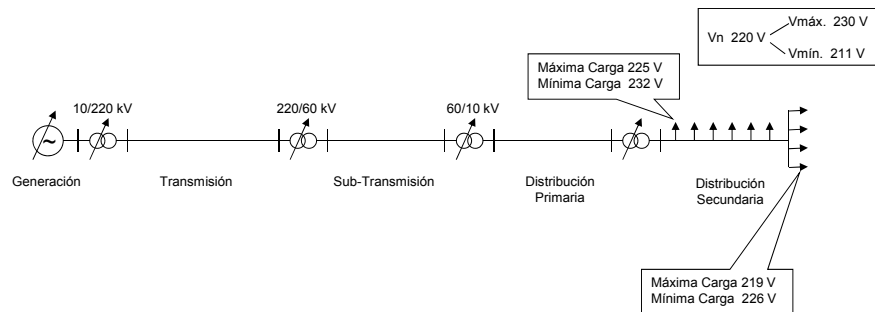
CÁLCULO ELÉCTRICO DE LAS LÍNEAS

- Se dan Datos:
 - Hz, kV_2 , kW_2 , $\cos \phi_2$, km
- Se halla al inicio de la Línea:
 - kV_1 , kW_1 , $\cos \phi_1$, $\delta =$ desfasaje



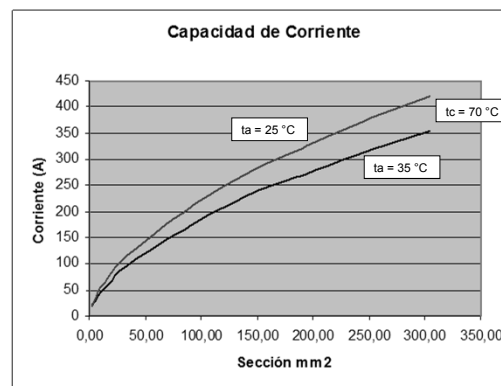
CÁLCULO ELÉCTRICO DE LAS LÍNEAS Seis condiciones a comprobar

1. Diámetro mínimo por efecto Corona
2. Caída de Tensión $\leq 5\%$



CÁLCULO ELÉCTRICO DE LAS LÍNEAS Seis condiciones a comprobar

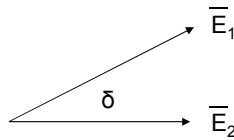
3. Corriente admisible (según temperatura ambiente y en el conductor)



CÁLCULO ELÉCTRICO DE LAS LÍNEAS

Seis condiciones a comprobar

4. Factor de potencia a la salida de la línea
 $\text{Cos}\varphi_1$
5. Pérdida de Potencia < 10 %
6. Estabilidad en la Operación – ángulo δ



CÁLCULO ELÉCTRICO DE LAS LÍNEAS

Tensión Nominal de las Líneas

kWxkm	0-20	100 a 4000	1000 a 30000	10000 a 30000	100000 a 2000000	(1 a 10) x10e6	(5 a 30) x10e6
kV	0,22	2,3	10	30	60	132	220
COND/FASE	1	1	1	1	1	1	1
kWxkm	(20a40) x10e6	(40a150) x10e6	(50a170) x10e6	(100a650) x10e6	(400a1650) x10e6	(800a3300) x10e6	
kV	220	380	380	345	500	700 a 765	
COND/FASE	2	2	3	1	1	1	

CÁLCULO ELÉCTRICO DE LAS LÍNEAS Tensión Nominal de las Líneas

Fórmula de Still

$$V = 5,5 * \sqrt{\left(0,62 \times L + \frac{P}{100}\right)}$$

Donde :

V = Tensión de Línea en kV .

L = Longitud de la línea en km

P = Potencia media a transmitir en kW

CÁLCULO ELÉCTRICO DE LAS LÍNEAS Tensión Nominal de las Líneas

Impedancia Característica

$$V = \sqrt{P \times Z_c}$$

Donde :

V = Tensión entre fases en kV .

L = Longitud de la línea en km

P = Potencia media a transmitir en kW .

CÁLCULO ELÉCTRICO DE LAS LÍNEAS

Tensión Nominal de las Líneas

Según el Código Nacional de Electricidad Suministros

Sección 1 - Introducción

017.A. Niveles de tensión

Podrá continuar utilizándose los niveles de tensión existentes y las tensiones recomendadas siguientes (véase la definición Nivel de Tensión):

<p>Baja Tensión:</p> <p>380 / 220 V 440 / 220 V</p>	<p>Alta Tensión:</p> <p>60 kV 138 kV 220 kV</p>
<p>Media Tensión:</p> <p>20,0 kV (*) 22,9 kV 33 kV 22,9 / 13,2 kV 33 / 19 kV</p>	<p>Muy Alta Tensión:</p> <p>500 kV</p>

(*) Tensión nominal en media tensión considerada en la NTP-IEC 60038: "Tensiones normalizadas IEC".

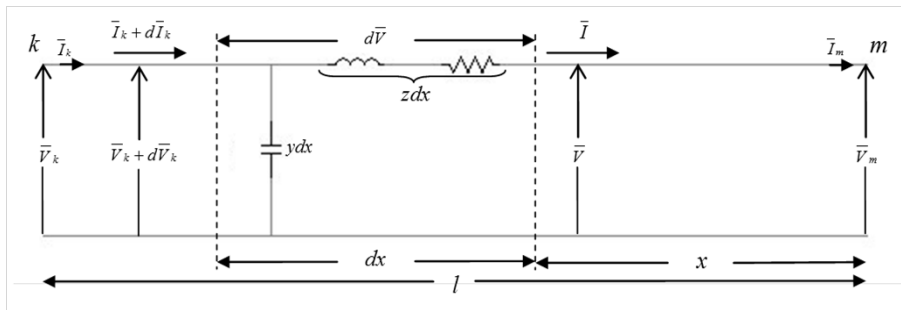
RECOMENDACIÓN: Para reducir situaciones de riesgo, en el radio de influencia de subestaciones contiguas, no deberá mantenerse sistemas eléctricos de diferentes características para el mismo nivel de tensión, por ejemplo, que subsistan sistemas de 380/220 V con neutro con puesta a tierra múltiple y 220 V sin neutro, esta situación sólo se mantendrá durante el tiempo requerido para su reemplazo dentro del cronograma comprometido con OSINERGMIN.

NOTA: El sistema monofásico con retorno total por tierra de la configuración en media tensión 22,9/ 13,2 kV, es una alternativa de aplicación en los proyectos de Electrificación Rural.

CÁLCULO ELÉCTRICO DE LAS LÍNEAS

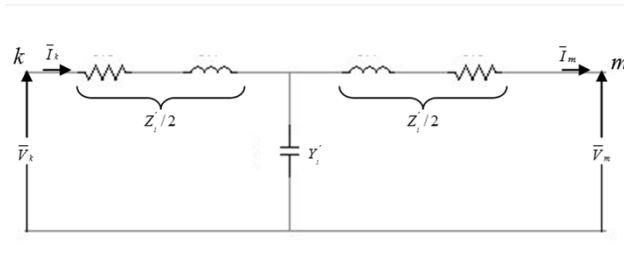
Modelamiento de Líneas de Transmisión

Línea de Longitud Larga



CÁLCULO ELÉCTRICO DE LAS LÍNEAS Modelamiento de Líneas de Transmisión

Línea de Longitud Media (80 a 240 km) Circuito T exacto

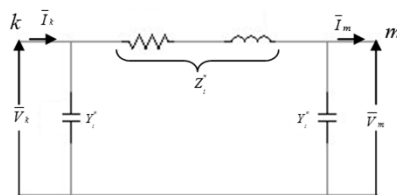


$$\frac{Z_l'}{2} = Z_l \frac{\operatorname{tgh}\left(\frac{1}{2}\sqrt{ZY}\right)}{\sqrt{ZY}}$$

$$Y_l' = Y_l \frac{\operatorname{senh}(\sqrt{ZY})}{\sqrt{ZY}}$$

CÁLCULO ELÉCTRICO DE LAS LÍNEAS Modelamiento de Líneas de Transmisión

Línea de Longitud Media (320 km) Circuito π exacto

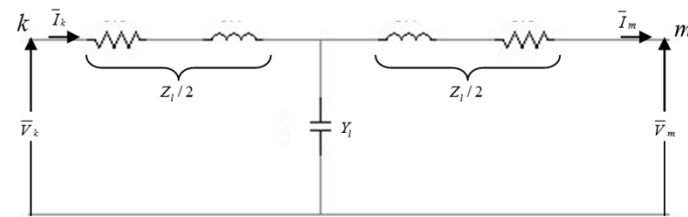


$$Z_l'' = Z_l \frac{\operatorname{senh}(\sqrt{ZY})}{\sqrt{ZY}}$$

$$Y_l'' = \frac{1}{2} Y_l \frac{\operatorname{tgh}\left(\frac{1}{2}\sqrt{ZY}\right)}{\frac{1}{2}\sqrt{ZY}}$$

CÁLCULO ELÉCTRICO DE LAS LÍNEAS Modelamiento de Líneas de Transmisión

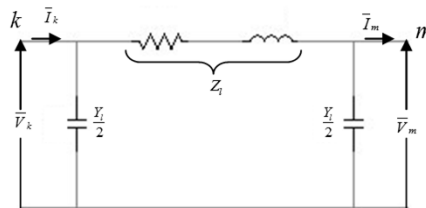
Línea de Longitud Media (80 a 240 km) Circuito T simplificado



$$\sinh(\sqrt{ZY}) \approx \operatorname{tgh}(\sqrt{ZY}) \approx \sqrt{ZY}$$

CÁLCULO ELÉCTRICO DE LAS LÍNEAS Modelamiento de Líneas de Transmisión

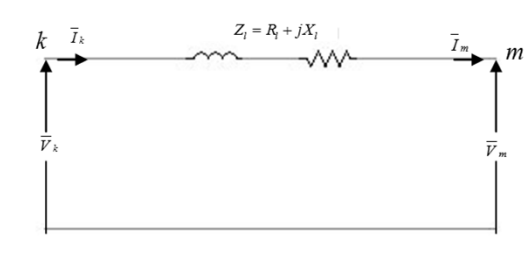
Línea de Longitud Media (320 km) Circuito π simplificado



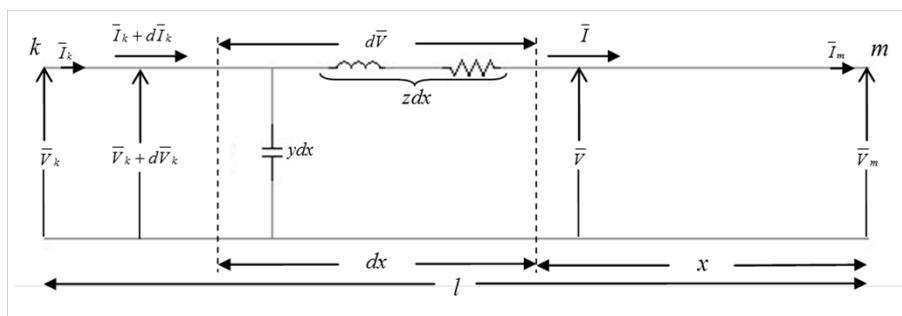
$$\sinh(\sqrt{ZY}) \approx \operatorname{tgh}(\sqrt{ZY}) \approx \sqrt{ZY}$$

CÁLCULO ELÉCTRICO DE LAS LÍNEAS Modelamiento de Líneas de Transmisión

Línea de Longitud Corta



CÁLCULO ELÉCTRICO DE LAS LÍNEAS Modelamiento de Líneas de Transmisión



$$d\bar{V} = \bar{I}(zdx) \quad \rightarrow \quad \frac{d\bar{V}}{dx} = \bar{I}z$$

$$d\bar{I} = \bar{V}(ydx) \quad \rightarrow \quad \frac{d\bar{I}}{dx} = \bar{V}y$$

CÁLCULO ELÉCTRICO DE LAS LÍNEAS Modelamiento de Líneas de Transmisión

Para la tensión \bar{V} y la corriente \bar{I}

$$\bar{V} = \frac{\bar{V}_m + Z_C \bar{I}_m}{2} e^{\gamma x} + \frac{\bar{V}_m - Z_C \bar{I}_m}{2} e^{-\gamma x}$$

$$\bar{I} = \frac{\bar{V}_m / Z_C + \bar{I}_m}{2} e^{\gamma x} - \frac{\bar{V}_m / Z_C - \bar{I}_m}{2} e^{-\gamma x}$$

CÁLCULO ELÉCTRICO DE LAS LÍNEAS Modelamiento de Líneas de Transmisión

Z_C = Impedancia Característica

$$Z_C = \sqrt{\bar{Z} / \bar{Y}} = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega B}}$$

$$\gamma = \sqrt{yz} = \alpha + j\beta$$

γ = constante de propagación
 α = constante de atenuación
 β = constante de fase

CÁLCULO ELÉCTRICO DE LAS LÍNEAS Modelamiento de Líneas de Transmisión

Considerando $x = l$ longitud total de la línea

$$\bar{V}_k = \bar{V}_m \frac{e^{\gamma l} + e^{-\gamma l}}{2} + Z_C \bar{I}_m \frac{e^{\gamma l} - e^{-\gamma l}}{2}$$

$$\bar{V}_k = \bar{V}_m \cosh(\gamma l) + Z_C \bar{I}_m \sinh(\gamma l)$$

$$\bar{I}_k = \bar{I}_m \cosh(\gamma l) + \frac{\bar{V}_m}{Z_C} \sinh(\gamma l)$$

CÁLCULO ELÉCTRICO DE LAS LÍNEAS Teoría de Propagación de Ondas Electromagnéticas

Considerando $k = 1$ y $m = 2$

$$\bar{V}_1 = \underbrace{\bar{V}_2 \cosh \sqrt{\bar{Z} \bar{Y}}}_{\bar{A}} + \underbrace{\bar{I}_2 \sqrt{\bar{Z} / \bar{Y}} \sinh \sqrt{\bar{Z} \bar{Y}}}_{\bar{B}}$$

$$\bar{I}_1 = \underbrace{\bar{V}_2 / \sqrt{\bar{Z} / \bar{Y}} \sinh \sqrt{\bar{Z} \bar{Y}}}_{\bar{C}} + \underbrace{\bar{I}_2 \cosh \sqrt{\bar{Z} \bar{Y}}}_{\bar{D}}$$

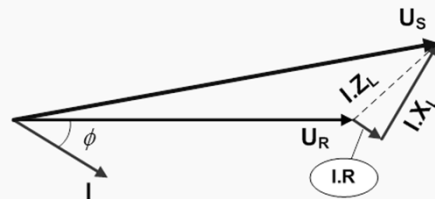
CÁLCULO ELÉCTRICO DE LAS LÍNEAS
Teoría de Propagación de Ondas Electromagnéticas

$$\bar{V}_2 = \bar{V}_1 \underbrace{\text{Cosh} \sqrt{\bar{Z} \bar{Y}}}_{\bar{A}} - \bar{T}_1 \underbrace{\sqrt{\bar{Z}/\bar{Y}} \text{ Senh} \sqrt{\bar{Z} \bar{Y}}}_{\bar{B}}$$

$$\bar{T}_2 = \bar{T}_1 \underbrace{\text{Cosh} \sqrt{\bar{Z} \bar{Y}}}_{\bar{D}} - \bar{V}_1 / \underbrace{\sqrt{\bar{Z}/\bar{Y}} \text{ Senh} \sqrt{\bar{Z} \bar{Y}}}_{\bar{C}}$$

CÁLCULO ELÉCTRICO DE LAS LÍNEAS
Teoría de Propagación de Ondas Electromagnéticas

- Posibilidades de solución:
 - Determinando parámetros A, B, C y D y resolver por matrices
 - Cálculo analítico
 - Cálculo gráfico



CÁLCULO ELÉCTRICO DE LAS LÍNEAS
Teoría de Propagación de Ondas Electromagnéticas

Impedancia característica o natural:

$$\bar{Z}_c = \sqrt{\bar{Z}/\bar{Y}}$$

Cuando la línea trabaja sobre su impedancia característica o natural la relación entre la tensión y la corriente es igual a \bar{Z}_c en todos los puntos de la línea

CÁLCULO ELÉCTRICO DE LAS LÍNEAS
Teoría de Propagación de Ondas Electromagnéticas

Potencia característica o natural:

$$P_c = kV^2 / Z_c$$

Supone las condiciones óptimas de trabajo en el transporte, el factor de potencia es constante en todos los puntos de la línea

CÁLCULO ELÉCTRICO DE LAS LÍNEAS

TEMPERATURA (°C)	20
RESISTIVIDAD (Ohm-mm ² /km)	
COBRE	18,1
ALUMINIO	28,76
Al-ALUMINIO	32,32
COEFICIENTE VARIACIÓN DE RESISTENCIA CON LA TEMPERATURA (αC-1)	
COBRE	0,00383
ALUMINIO	0,00403
Al-ALUMINIO	0,0036
BRONCE	0,004
ACERO	0,004
FIERRO	0,005
CÁLCULO ANALÍTICO DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN	
SELECCIÓN DE MATERIAL CONDUCTOR	
(1)	COBRE
(2)	ALUMINIO
(3)	Al-ALUMINIO
(4)	ACSR
DATOS:	
- LONGITUD (km)	220
- POTENCIA (kVA)	27500
- FACTOR DE POTENCIA	0,8
- FRECUENCIA (Hz)	60
- MATERIAL CONDUCTOR	1
- SECCIÓN (mm ²)	241
- TEMPERATURA (°C)	70
- PÉRDIDAS POR CORONA/km	0
- PÉRDIDAS POR UNIDAD AISL x No AISL	0
- DISPOSICIÓN CONDUCTORES (m)	
D ₁₋₂	11,3357
D ₁₋₃	15,0748
D ₂₋₃	12,5

HOJA DE
CÁLCULO

CÁLCULO DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN Secuencia del Cálculo

- Determinación de la Tensión Nominal
- Seleccionar el material del conductor Cu, ACSR, AAC, AAAC
- Determinar el Factor de Potencia en la carga $\text{Cos } \theta_2$
- Escoger el conductor según corriente y temperatura ambiente
- Obtener el diámetro del conductor
- Verificar cumplimiento de las seis condiciones básicas a observar

CÁLCULO DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN Selección Técnico Económica de la Sección

- Minimizar Pérdidas por Transporte (efecto Joule)

$$P_j = 3 I_m^2 R \times 10^{-3}$$

donde :

P_j : pérdidas Joule en (kW / km)

I_m : corriente máxima por la línea (A)

R : resistencia de la línea por fase (ohm / km)

CÁLCULO DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN Selección Técnico Económica de la Sección

- Minimizar Pérdidas por Transporte (efecto Joule)

$$I_m = \frac{P_m}{\sqrt{3} \times V \times \cos \phi} \times 10^3$$

donde :

P_m = potencia máxima a transmitir por la línea en cada año (MW)

V = tensión nominal de la línea (kV)

ϕ = ángulo del factor de potencia

CÁLCULO DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN Selección Técnico Económica de la Sección

- Minimizar Pérdidas por Transporte (efecto Joule)

1) Pérdidas por efecto Joule en Potencia (kW / km)

$$P_j = \frac{P_m^2 \times R \times 1000}{V^2 \times \cos^2 \phi}$$

2) Pérdidas por efecto Joule en Energía (kW.h / km)

$$E_j = P_j \times F_p \times 8760$$

donde :

$$\text{Factor de pérdidas: } F_p = c \times F_c + (1 - c) \times F_c^2$$

$c = 0.3$ para Líneas de Transmisión

$c = 0.15$ para Líneas de Distribución

CÁLCULO DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN Selección Técnico Económica de la Sección

- Minimizar Pérdidas por Transporte (efecto Joule)

3) Costo por pérdidas del efecto Joule (US\$/ año)

$$C_j = C_{jp} \times P_j + C_{je} \times E_j \quad (\text{US\$ / año})$$

4) Costo acumulado al primer año (US\$)

$$C_{j\text{Total}} = C_j \times FA$$

donde :

FA = factor de actualización

$$FA = \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i \times (1+i)^n} \right]$$

i = tasa de descuento

n = vida útil de la línea

CÁLCULO DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN Selección Técnico Económica de la Sección

- Minimizar Pérdidas por Transporte (efecto Corona)

1) Tensión crítica disruptiva (kV):

$$U_c = 21,1 \cdot \sqrt{3} \cdot m_c \cdot m_t \cdot r \cdot \delta \cdot \ln\left(\frac{D}{r}\right)$$

Donde:

m_c : coeficiente de rugosidad

m_t : coeficiente de lluvia;

tiempo seco (1,0), tiempo húmedo (0,8)

δ : densidad relativa del aire

r : radio del conductor

D : distancia media geométrica

CÁLCULO DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN Selección Técnico Económica de la Sección

- Minimizar Pérdidas por Transporte (efecto Corona)

2) Pérdidas por efecto Corona (kW / km)

$$P_c = \frac{723}{\delta} \cdot (f + 25) \cdot \sqrt{\frac{r}{D}} \cdot \left(\frac{U_{\max} - U_c}{\sqrt{3}}\right)^2 \cdot 10^{-5}$$

Donde:

f : frecuencia industrial (60 Hz)

U_{\max} : tensión máxima de la línea

3) Pérdidas por efecto Corona (kW.h / km)

$$E_c = P_c \times N_d, \quad N_d = \text{Número de días de pérdida}$$

CÁLCULO DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN Selección Técnico Económica de la Sección

- Minimizar Pérdidas por Transporte (efecto Corona)

4) Costo de pérdidas por efecto Corona (US\$/ año)

$$C_c = C_{cp} \times P_c + C_{ce} \times E_c \text{ (US$/ año)}$$

5) Costo acumulado al primer año (US\$)

$$C_{cTotal} = C_c \times FA$$

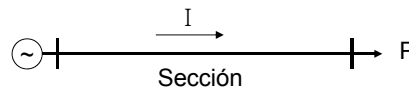
donde:

FA = factor de actualización

CÁLCULO DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN Selección Técnico Económica de la Sección del Conductor

- Minimizar costos de las instalaciones de transporte de energía (costo del conductor, soportes, montaje y otros)

HOJA DE
CÁLCULO



CÁLCULO DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

Selección Técnico Económica de la Sección del Conductor

- El incremento del diámetro del conductor reduce las pérdidas. Sin embargo el aumento de la sección incrementa los costos de las instalaciones
- Tener en consideración los porcentajes de regulación y eficiencia permisibles