

PROBLEMAS RESUELTOS

DE

SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA

SIN PARAMETROS DISTRIBUIDOS



ELOY BELTRAN BELTRAN

FEB 2015

Desde una subestación de 66/20 kV parte una línea aérea de 6 km de longitud que alimenta a un receptor de 6 MW con factor de potencia $\cos \varphi = 0.9$ inductivo, sabiendo que se han empleado tres conductores que definen una distancia media ~~geográfica~~ geométrica de 2.29 m. Determinar:

- 1) El tipo de conductor de aluminio-aceró mínimo necesario a emplear por intensidad máxima admisible.
- 2) Admitiendo una cdt en la línea de un 5%, el tipo de conductor a emplear.
- 3) Si se dispone en paralelo con el receptor una batería de condensadores de 2 MVAR, calcular la nueva intensidad y la tensión necesaria en el origen de la línea si se admite que la tensión a final de línea es de 20 kV.

Para determinar el tipo de conductor necesario por intensidad máxima admisible, es necesario determinar la corriente demandada por el receptor y comparar esta corriente con la que admite cada tipo de conductor de aluminio-aceró, por tanto:

$$I_2 = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_N \cdot \cos \varphi_2} = \frac{6 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0.9} = 192.45 \text{ A}$$

Determinamos el tipo de conductor necesario de aluminio-aceró de la tabla 11 de la ITC-LAT 07 apartado 4.2.1 que reproducimos

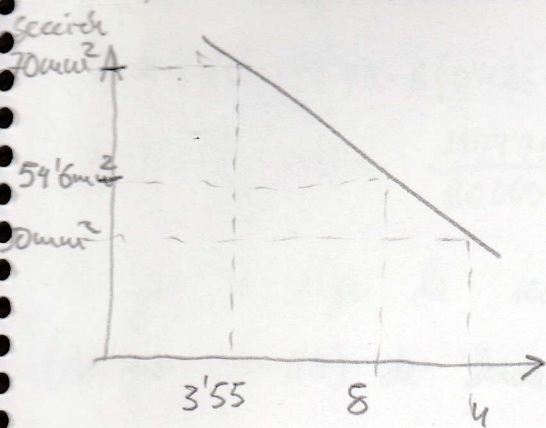
$50 \text{ mm}^2 \rightarrow S = 4 \text{ A/mm}^2$ por tanto una intensidad de $50 \cdot 4$

$$I_{\text{max}} = 200 \text{ A}$$

La sección inmediata superior normalizada es de 54.6 mm^2 correspondiente a un cable 47-ALVB-ST1A (antiguo LA-56) siendo su composición 6+1, con un factor de corrección de 0.937; por lo tanto su máxima intensidad admisible es de:

$$I_z = S \cdot S \cdot K$$

De donde resulta que interpolación



$$\frac{70-50}{3.55-4} = \frac{54.6-50}{8-4}$$

$$-44.44 = \frac{4.6}{8-4} \rightarrow -\frac{4.6}{44.44} + 4 = 8 = 3.8965 \text{ A/mm}^2$$

$$I_z = 3.8965 \text{ A/mm}^2 \cdot 54.6 \text{ mm}^2 \cdot 0.937 = 199.3457 \text{ A} > 192.45 \text{ A} \quad \text{I ADN}^{\circ} 20$$

LA-56

2) Además del criterio de la intensidad máxima admisible, los líneas de transporte deben cumplir con cdt máxima del 5%.

$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I \cdot l (R_k \cdot \cos \varphi + X_{LK} \cdot \sin \varphi)$ determinemos previamente el coeficiente de autoinducción aparente kilométrica:

$$L_{ak} = \left(0.5 + 2 \ln \frac{d}{r} \right) \cdot 10^{-4} = \left(0.5 + 2 \ln \left(\frac{2290}{\frac{9.45}{2}} \right) \right) \cdot 10^{-4} = 12.867 \cdot 10^{-4} \text{ H/Km}$$

Por lo que la reactancia inductiva kilométrica es de:

$$X_{LK} = 2\pi f \cdot L_{ak} = 2\pi \cdot 50 \cdot 12.867 \cdot 10^{-4} = 0.404 \Omega/\text{Km}$$

De donde la cdt en valor absoluto es de:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot 192.45 \cdot 6 (0.613 \cdot 0.9 + 0.404 \cdot 0.436) = 1455.68 \text{ V} \quad \text{y el valor porcentual}$$

la cdt es del $\Delta U\% = \frac{\Delta U}{U_N} \cdot 100 = \frac{1455.68}{20000} \cdot 100 = 7.27\% > 5\%$

NO CUMPLE

Como el conductor no cumple con la cdt se elige el conductor de sección inmediata superior es decir el 67-AL1/115T1-A LA-78

$$L_{ak} = \left(0.5 + 2 \ln \frac{d}{r} \right) \cdot 10^{-4} \Rightarrow L_{ak} = \left(0.5 + 2 \ln \left(\frac{2290}{\frac{11.3}{2}} \right) \right) \cdot 10^{-4} = 12.527 \cdot 10^{-4} \text{ H/Km}$$

$$X_{LK} = 2\pi f L_{ak} = 2\pi \cdot 50 \cdot 12'527 \cdot 10^{-4} = 0'3935 \Omega/\text{km}$$

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot 192'45 \cdot 6 (0'426 \cdot 0'9 + 0'3935 \cdot 0'436) = 1109'75$$

$$\Delta U \% = \frac{\Delta U}{U_N} \cdot 100 = \frac{1109'75}{20000} \cdot 100 = 5'54 \% > 5 \% \text{ NO IDONEO}$$

Por fin se elige la sección inmediata superior 94-AL4/22-ST1A (Antiguo LA-110) de doble.

$$L_{ak} = (0'5 + 2 \ln \frac{d}{r}) \cdot 10^{-4} = 0'5 + 2 \ln \left(\frac{2290}{\frac{14}{2}} \right) 10^{-4}$$

$$L_{ak} = 12'08 \cdot 10^{-4} \text{ H/km} \quad X_{LK} = 2\pi f L_{ak} = 2\pi \cdot 50 \cdot 12'08 \cdot 10^{-4} = 0'3795 \Omega/\text{km}$$

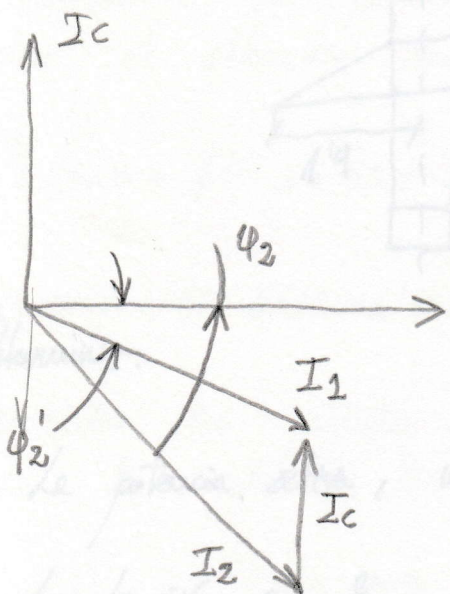
$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot 192'45 \cdot 6 (0'3067 \cdot 0'9 + 0'3795 \cdot 0'436) = 882'98 \text{ V}$$

$$\Delta U \% = \frac{\Delta U}{U_N} \cdot 100 \rightarrow \Delta U \% = \frac{882'98}{20000} \cdot 100 = 4'41 \% < 5 \% \text{ IDONEO}$$

3) Si disponemos en paralelo con el receptor una batería de condensadores de 2MVAR la intensidad de la misma es de:

$$I_Q = \frac{Q}{\sqrt{3} \cdot U_N} = \frac{2 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 20 \cdot 10^3} = 57'7 \text{ A}$$

El diagrama vectorial de corriente en la línea es ahora.



Por lo que la corriente total de línea es ahora la suma vectorial de ambas corrientes, es decir

$$I_{TOTAL} = \sqrt{(192'45 \cdot 0'9)^2 + (192'45 \cdot 0'436 - 57'7)^2} = 175'17 \text{ A}$$

El nuevo factor de potencia es

$$\cos \phi_1' = \frac{I \cdot \cos \phi_2}{I_{TOT}} = \frac{192'45 \cdot 0'9}{175'17} = 0'9889$$

Por tanto la nueva cdt es de: $\Delta U = \sqrt{3} \cdot 175'17 \cdot 6 (0'3067 \cdot 0'9889 + 0'3795 \cdot 0'148)$

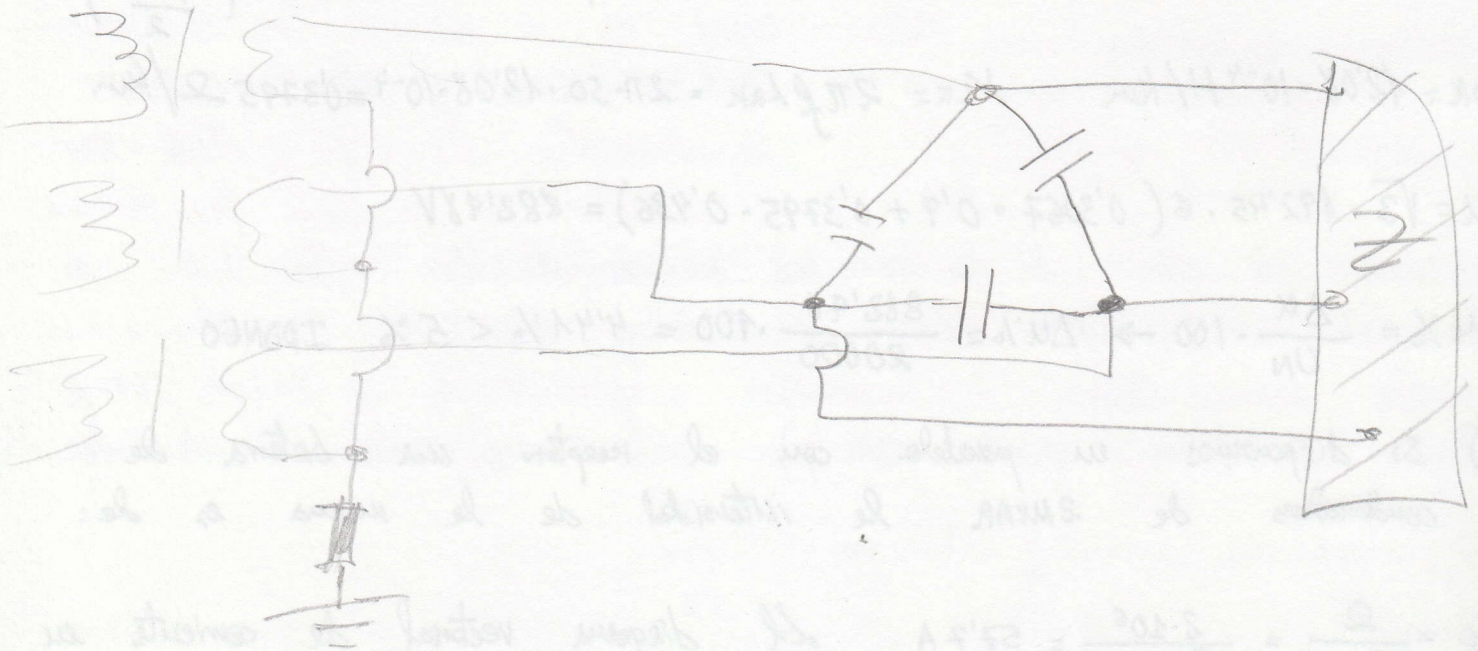
$\Delta U = 654'37 \text{ V} \rightarrow$ De donde la tensión necesaria en inicio de la línea

$$\text{es de: } U_1 = 20000 + 654'37 = 20654'37 \text{ V} //$$

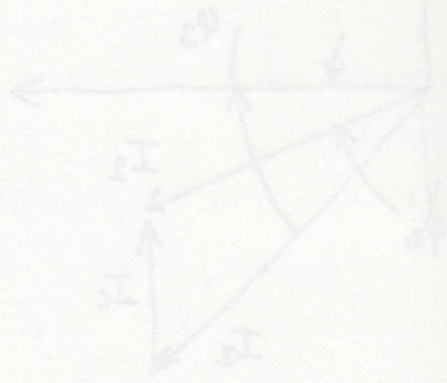
La capacidad de las baterías conectadas en triángulo =

$$X_C = \frac{U}{I_C'} = \quad I_C' = \frac{I_C}{\sqrt{3}} \rightarrow \frac{57.7}{\sqrt{3}} = 33.31311 \text{ A}$$

$$X_C = \frac{20000}{33.31311} = 600.36424 \Omega \rightarrow C = \frac{1}{600.36424 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50} = 5.3019 \mu\text{F en cada fase}$$



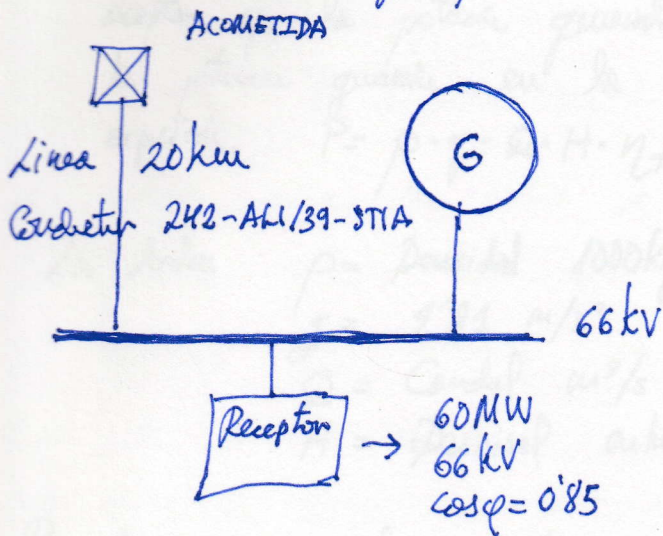
for the part of the circuit that is...
 the current in the circuit is...
 the power in the circuit is...



$$I_{total} = \frac{I_1 \cdot \cos(\theta)}{I_{total}} = \frac{195.45 \cdot 0.9}{152.14} = 1.15$$

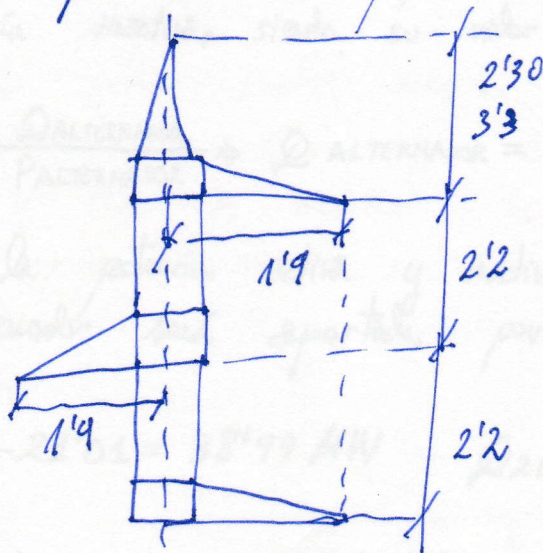
the power in the circuit is...
 $P = 20000 + 824.34 = 20824.34 \text{ W}$

Un receptor de 60 MW a 66 kV con factor de potencia de 0.85 inductivo es alimentado simultáneamente por medio de una central hidroeléctrica y por una acometida, según la siguiente disposición:



Se sabe que la central hidroeléctrica que mueve al alternador presenta un caudal de $40 \text{ m}^3/\text{s}$ y el desnivel de aguas es de 60 m. Los rendimientos de la turbina y alternador son respectivamente de 0.92 y 0.97 trabajando el alternador con un factor de potencia de 0.95 inductivo.

Por otro lado la línea simple circuito que une la acometida con el receptor tiene 20 km, el conductor empleado es el 242-AL1/39-ST1A (antiguo LA-280) y la línea presenta una disposición de conductores de la forma:



Determinar:

- 1) La potencia activa, reactiva y tensión en el inicio de la línea
- 2) La tensión en la línea
- 3) La idoneidad de utilizar el conductor indicado en la línea aérea

Podemos determinar la potencia activa, reactiva y tensión en inicio de la línea. Para ello previamente se deberá calcular la potencia entregada por la línea, que sea la diferencia entre la potencia del receptor y la potencia generada por la central hidráulica. Sabemos que la potencia generada en la central hidroeléctrica está definida por la expresión:

$$P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \cdot \eta_{\text{turbina}} \cdot \eta_{\text{alternador}} \quad (W)$$

En donde

- $\rho =$ Densidad 1000 kg/m^3
- $g = 9.81 \text{ m/s}^2$
- $Q =$ Caudal m^3/s
- $H =$ Diferencia entre cotas de embalse superior e inferior m

Por lo que la potencia activa generada en el alternador es de:

$$P = 1000 \cdot 9.81 \cdot 40 \cdot 60 \cdot 0.92 \cdot 0.97 = 21010665 \text{ W} = 21.01 \text{ (MW)}$$

Como se conoce el factor de potencia del alternador podemos determinar su potencia reactiva, siendo su valor:

$$\text{tg } \varphi_{\text{ALTERNADOR}} = \frac{Q_{\text{ALTERNADOR}}}{P_{\text{ALTERNADOR}}} \Rightarrow Q_{\text{ALTERNADOR}} = 21.01 \cdot 0.328 = 6.905 \text{ MVAR}$$

Evidentemente la potencia activa y reactiva que no es capaz de suministrar el alternador será exportada por la línea, de donde:

$$P_{2 \text{ LINEA}} = 60 - 21.01 = 38.99 \text{ MW} \quad Q_{2 \text{ LINEA}} = P \cdot \text{tg } \varphi - Q_{\text{ALTERNADOR}}$$

$$Q_{2 \text{ LINEA}} = 60 \cdot 0.619 - 6.905 = 30.28 \text{ MVAR}$$

Conociendo las potencias activas y reactivas entregadas por la línea el factor de potencia en el extremo de esta es:

$$\text{tg } \varphi_2 = \frac{Q_{2 \text{ LINEA}}}{P_{2 \text{ LINEA}}} = \frac{30.28}{38.99} = 0.7766 \quad \cos \varphi_{2 \text{ línea}} = 0.7898$$

Además la potencia en inicio de la línea será la potencia entregada por la misma una la potencia activa y reactiva que necesita esta para su funcionamiento, para poder calcularla es necesario determinar la intensidad que recorre la línea, siendo su valor:

$$P_{2\text{LINEA}} = \sqrt{3} \cdot U_{2\text{LINEA}} \cdot I_{\text{LINEA}} \cdot \cos \phi_{2\text{ LINEA}}$$

$$38'99 \cdot 10^6 = \sqrt{3} \cdot 66000 \cdot I_{\text{LINEA}} \cdot 0'7898$$

$$I = \frac{P_{2\text{LINEA}}}{\sqrt{3} \cdot U_{2\text{LINEA}} \cdot \cos \phi_{2\text{ LINEA}}} = \frac{38'99 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 66000 \cdot 0'7898} = 431'84 \text{ A}$$

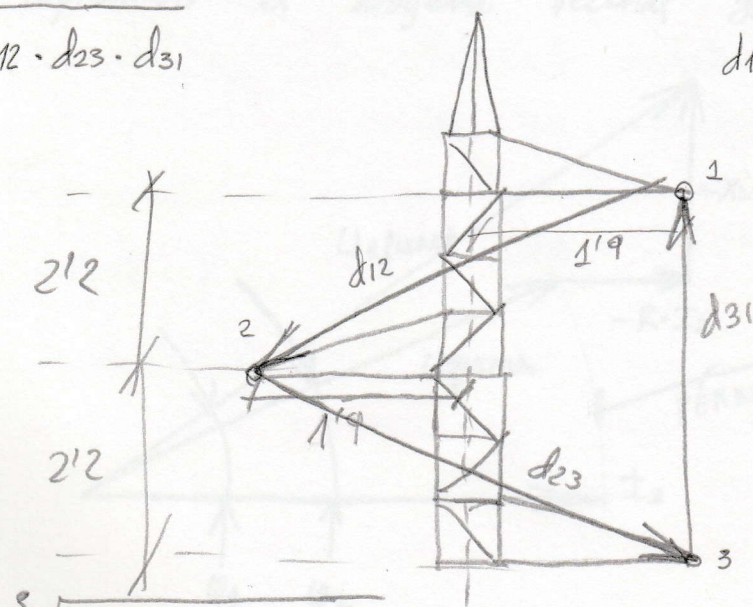
La potencia activa en inicio de la línea será la entregada por esta más la potencia perdida por efectos Joule en esta, siendo función de la resistencia que introduce el conductor, su valor a 20°C. para este tipo de conductores es de $R_{242-AL139AL} = 0'1195 \Omega/\text{km}$ según la NORMA UNE-EN 50182:2002. Por tanto

$$P_{\text{LINEA}} = P_{\text{COMETIDA}} = P_{2\text{LINEA}} + 3R_{\text{LINEA}} \cdot I_{\text{LINEA}}^2$$

$$P_{\text{LINEA}} = P_{\text{COMETIDA}} = 38'99 + 3 \cdot 0'1195 \cdot 20 \cdot 431'84^2 \cdot 10^{-6} = 40'327 \text{ MW}$$

Por otro lado la potencia reactiva necesaria en la línea, es función de la reactancia inductiva de esta, que a su vez depende de la distancia entre conductores y tipo de conductor. la distancia media geométrica según el modelo de espiga agrupada es de:

$$d = \sqrt[3]{d_{12} \cdot d_{23} \cdot d_{31}}$$



$$d_{12} = \sqrt{(1'9 \cdot 2)^2 + 2'2^2} = 4'39 \text{ m}$$

$$d_{23} = \sqrt{(1'9 \cdot 2)^2 + 2'2^2} = 4'39 \text{ m}$$

$$d_{31} = \sqrt{(2'2 \cdot 2)^2} = 4'4$$

$$D = \sqrt[3]{4'39 \cdot 4'39 \cdot 4'4} = 4'3933 \text{ m}$$

El Coeficiente de autoinducción $\mu_{ek} = \left(0'5 + 2 \ln \frac{d}{r}\right) \cdot 10^{-4}$

$$\mu_{ek} = 0'5 + 2 \ln \left(\frac{4'3933}{\frac{21'8 \cdot 10^{-3}}{2}} \right) \cdot 10^{-4} = 12'4983 \cdot 10^{-4} \text{ H/km}$$

Por lo que la reactancia inductiva por kilómetro es de: $X_{lk} = 0.3926 \Omega/km$

$$X_{lk} = 2\pi f L_{lk} = 2\pi \cdot 50 \cdot 12'4923 \cdot 10^{-4} = 0'3926 (\Omega/km)$$

La potencia reactiva en origen de línea es:

$$Q_{1LINEA} = Q_{ACOMETIDA} = Q_{2LINEA} + 3 X_{Lk} \cdot I_{LINEA}^2$$

$$Q_{1LINEA} = Q_{ACOMETIDA} = 30'28 + 3 \cdot 0'3926 \cdot 20 \cdot 431'84^2 \cdot 10^{-6} = 34'672 \text{ MVAR}$$

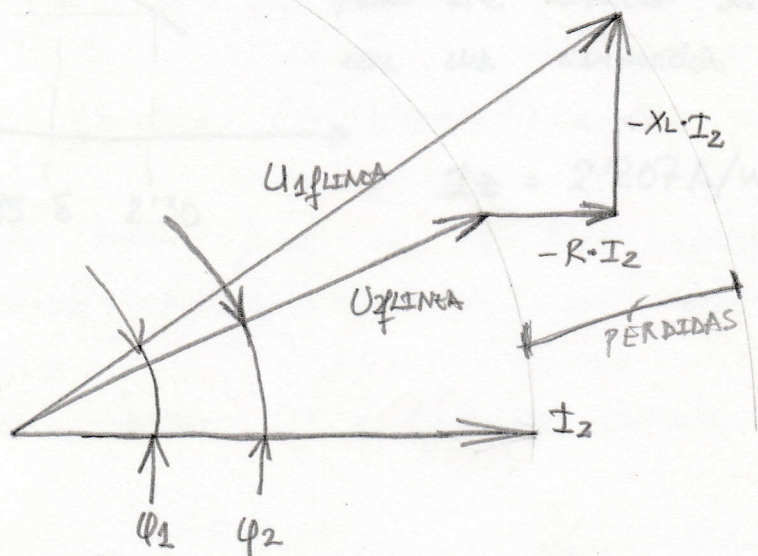
2) Determinar la tensión en origen de línea, por tanto en la actualidad esta se puede determinar por medio de la 2ª ecuación de Kirchhoff y el diagrama vectorial asociado, de donde:

$$U_{1LINEA} - U_{2LINEA} = \sqrt{3} \cdot I_{LINEA} \cdot (R_k \cdot \cos \varphi_{2LINEA} + X_{lk} \cdot \sin \varphi_{2LINEA})$$

$$U_{1LINEA} - 66000 = \sqrt{3} \cdot 431'84 \cdot 20 (0'1195 \cdot 0'7898 + 0'3926 \cdot 0'6133)$$

$$U_{1LINEA} = 71013 \text{ V}$$

Se ha representado el diagrama vectorial asociado a una fase de la línea.



Como comprobación de los valores obtenidos, tenemos

$$\cos \varphi_{1 \text{ LINEA}} = \frac{U_{2 \text{ LINEA}} \cdot \cos \varphi_{2 \text{ LINEA}} + R_{\text{LINEA}} \cdot I}{U_{1 \text{ LINEA}}} = \frac{\frac{66000}{\sqrt{3}} \cdot 0'7898 + 0'1195 \cdot 20 \cdot 431'84}{\frac{71013}{\sqrt{3}}}$$

$$\cos \varphi_{1 \text{ LINEA}} = 0'7592$$

Conocido el factor de potencia en inicio de línea la potencia activa será de

$$P_{1 \text{ LINEA}} = P_{\text{ACOMETIDA}} = \sqrt{3} \cdot 71013 \cdot 431'84 \cdot 0'7592 \cdot 10^{-6} = 40'325 \text{ (MW)}$$

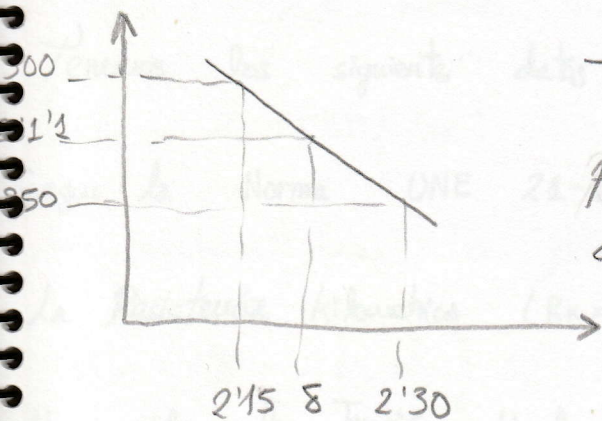
mientras que la potencia reactiva es de:

$$Q_{1 \text{ LINEA}} = Q_{\text{ACOMETIDA}} = \sqrt{3} \cdot 71013 \cdot 431'84 \cdot 0'6508 \cdot 10^{-6} = 34'570 \text{ (MVAR)}$$

Valores suficientemente aproximados a los calculados anteriormente.

3°) Para comprobar la idoneidad del conductor empleado, la intensidad que circula por este debe ser inferior a la nominal, y esta se determina a partir de la ITC LAT 07 4.2.1 en la que 11.

242-AL1/39-ST1A presenta 281 mm^2 26+7

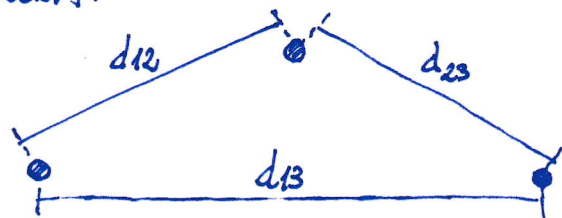


$$\frac{300 - 250}{2'15 - 2'3} = \frac{281 - 250}{2'3 - 8} \Rightarrow s = 2'207 \text{ A/mm}^2$$

Para este conductor el ser de aluminio-oxido, con una composición 26+7 $k = 0'937$

$$I_z = 2'207 \text{ A/mm}^2 \cdot 281'1 \cdot 0'937 = 431'84$$

Desde una estación transformadora, parte una línea de Media Tensión con el conductor 94-AL1/22 ST1-A (antiguo LA-110) se han utilizado tres conductos que definen la siguiente disposición de conductores:



Siendo: $d_{12} = d_{23} = 1.75 \text{ m}$; $d_{13} = 3.456 \text{ m}$. Se conoce que la línea es de 8 km y que, en la subestación se ha medido en un instante determinados, una tensión de 21 kV y una potencia de 8.5 MVA con un factor de potencia de 0.92 .

Determinar:

- 1- La tensión final de la línea
- 2- La potencia activa y reactiva del receptor instantánea
- 3- La caída de tensión porcentual, el rendimiento de la línea y el ángulo de desfase entre tensiones en inicio y fin de línea.

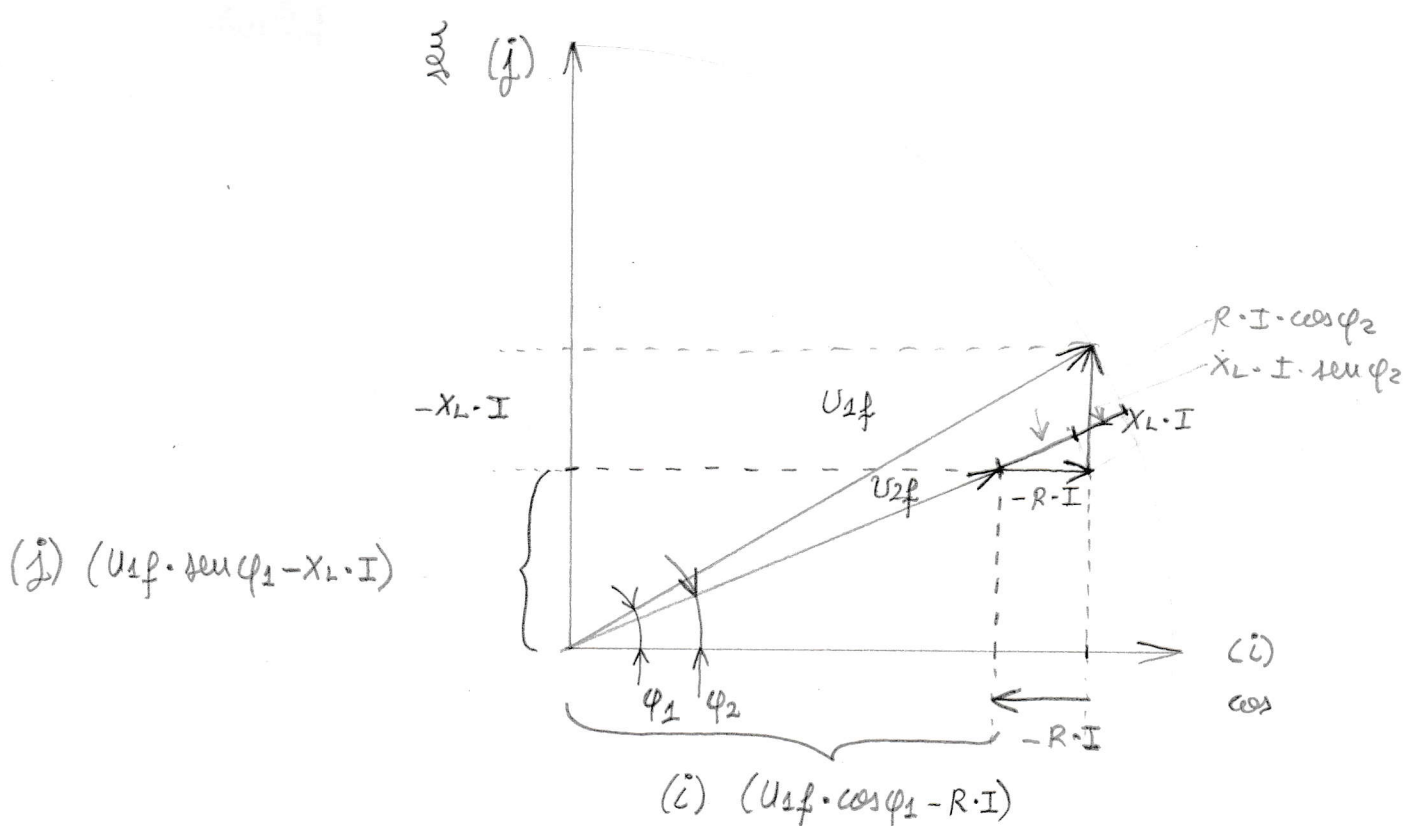
Tenemos los siguientes datos: $\vec{U}_1 = 21 \text{ kV}$; $\varphi_1 = 0.92$; $S_1 = 8.5 \text{ MVA}$

Según la Norma UNE 21-018-80 LA-110 tiene $0.3066 \Omega/\text{km}$,

La Resistencia kilométrica ($R_k = 0.3066 \Omega/\text{km}$) y su diámetro 14 mm .

Nos piden la Tensión final de la línea siendo ésta deducida de un diagrama fasorial Resistivo-Inductivo por medio de pitágoras.

En dos ejes cartesianos (i) y (j) se demuestra con el siguiente diagrama:



Siendo el módulo U_{2f} una suma pitagórica

$$\vec{U}_{2f} = \sqrt{(U_{1f} \cdot \text{cos } \varphi_1 - R \cdot I)^2 + (U_{1f} \cdot \text{sen } \varphi_1 - X_L \cdot I)^2}$$

Siendo (X_L) la reactancia inductiva función de la inductancia kilométrica

$$(L_{ak}) \cdot X_L = (2\pi f L_{ak}) \cdot L \quad \text{siendo } L \text{ la longitud.}$$

La inductancia (L_{ak}) es función de la disposición geométrica de los cables

$$L_{ak} = \left(0.5 + 2 \ln \frac{D}{r}\right) \cdot 10^{-4} \quad \text{siendo } (D) \text{ la distancia media geométrica}$$

(m). El radio del conductor (r) expresado en metros (m)

$$D = \sqrt[3]{d_{12} \cdot d_{13} \cdot d_{23}} \rightarrow D = \sqrt[3]{1.75 \cdot 3.456 \cdot 1.75} = 2.195583 \text{ m}$$

$$L_{ak} = \left(0.5 + 2 \ln \left(\frac{2.195583}{\frac{14 \cdot 10^{-3}}{2}}\right) \cdot 10^{-4}\right) = 1.199658549 \cdot 10^{-3} \text{ H/km}$$

$$X_L = (2\pi \cdot 50 \cdot 1.199658549 \cdot 10^{-3}) \cdot 8 \text{ km} = 3.015070787 \Omega$$

$$R = R_k \cdot L \rightarrow R = 0.3066 \cdot 8 \text{ km} = 2.4528 \Omega$$

La intensidad es constante a lo largo de la línea, $I_1 = I_2$ por ello

$$I_1 = \frac{S_1}{\sqrt{3} \cdot U_1} = \frac{8500 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 21 \text{ kV}} = 233'689394672 \text{ A}$$

Resolvamos la tensión final de línea: $U_2 = U_{2f} \cdot \sqrt{3}$

$$U_{2f} = \sqrt{\left(\frac{21000}{\sqrt{3}} \cdot 0'92 - 2'4528 \cdot 233'689394672\right)^2 + \left(\frac{21000}{\sqrt{3}} \cdot 0'3919183588 - 3'015070787 \cdot 233'689394672\right)^2}$$

$$U_{2f} = \sqrt{(10581'2138535)^2 + (4047'16750192)^2} = 11328'7974385 \text{ V}$$

$$U_2 = \sqrt{3} \cdot 11328'7974385 = 19622'0527522 \text{ V} \rightarrow 19'622 \text{ kV} //$$

2) Hacemos referencia nuevamente al anterior diagrama para hallar el $\cos \varphi_2$

$$\vec{U}_{2f} = 10581'2138535 i + 4047'16750192 j$$

$$\varphi_2 = \arctg \frac{4047'16750192}{10581'2138535} = 20'9311591058^\circ \rightarrow \arccos 0'93401033172 \quad \theta$$

$$\text{También} \quad \cos \varphi_2 = \frac{U_{1f} \cdot \cos \varphi_1 - R \cdot I}{U_{2f}}$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{\frac{21000}{\sqrt{3}} \cdot 0'92 - 2'4528 \cdot 233'689394672}{11328'7974385} = 0'934010331718$$

Por tanto la potencia reactiva y activa serán

Como el receptor esté conectado al final de la línea y la intensidad es constante a lo largo de la línea.

$$P_2 = \sqrt{3} \cdot U_2 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2 = \sqrt{3} \cdot 19622'052 \cdot 233'6893946 \cdot 0'934010331718 = 7418152'37 \text{ W}$$

$$Q_2 = \sqrt{3} \cdot U_2 \cdot I_2 \cdot \sin \varphi_2 = \sqrt{3} \cdot 19622'052 \cdot 233'6893946 \cdot \sin(20'9311591058^\circ) = 2837340'26 \text{ VAR}$$

$$P_2 = 7'418 \text{ MW} // \quad Q_2 = 2'837 \text{ MVAR} // \quad S_2 = 7'942 \text{ MVA} //$$

3) La caída porcentual de tensión:

$$\Delta u\% = \frac{u_1 - u_2}{u_1} \cdot 100\% \rightarrow \Delta u\% = \frac{21000 - 19622'0527}{21000} \cdot 100\% = 6'56165\%$$

La caída porcentual no está dentro de los valores admisibles

El Rendimiento de la línea es $\eta\% = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\%$

$$\eta\% = \frac{\sqrt{3} \cdot u_2 \cdot I_2 \cdot \cos\phi_2}{\sqrt{3} \cdot u_1 \cdot I_1 \cdot \cos\phi_1} = \frac{\sqrt{3} \cdot 19622'05275 \cdot 233'689394672 \cdot 0'934010331718}{\sqrt{3} \cdot 21000 \cdot 233'689394672 \cdot 0'93} = \frac{7418152'38}{7820000,00}$$

$$\eta\% = 94'86128\%$$

El ángulo de desfase entre la tensión final e inicial es:

$$\alpha_{21} = \alpha_1 - \alpha_2 \Rightarrow 23'0739180656 - 20'9311591058^\circ = 2'142759^\circ$$

La Máxima potencia que puede distribuir atendiendo al criterio de máxima caída de tensión del 6% por ejemplo sería:

$$P = \frac{\Delta u\% \cdot U_{2L}^2}{l \cdot (R + X \cdot \tan\phi_2) \cdot 100} = \frac{6 \cdot 21^2}{8 \cdot (0'3066 + (2\pi \cdot 50 \cdot 1'199658549 \cdot 10^{-3}) \cdot \tan(20'9311591058^\circ)) \cdot 100}$$

$$P = 7'9377 \text{ MW}$$

Longitud máxima de la línea para distribuir la potencia inicial de la línea atendiendo al criterio de máxima caída de tensión.

$$l = \frac{\Delta u\% \cdot U_{2L}^2}{P (R + X \cdot \tan\phi_2) \cdot 100} = \frac{6\% \cdot 21^2}{7'418 \cdot (0'3066 + (2\pi \cdot 50 \cdot 1'199658549 \cdot 10^{-3}) \cdot \tan(20'9311591058^\circ)) \cdot 100}$$

$$l = 7'9134 \text{ km} \quad 7913 \text{ metros}$$

• Si la línea es de 8 km, calcula el factor de potencia para que la línea solo tenga una caída de tensión del 6%, y calcula la potencia de los bancos de condensadores para la corrección de dicho factor de potencia.

Para un 6% $\rightarrow U_2 = 21000 - (0.06 \cdot 21000) = 19740 \text{ V}$ Tensión final querida

estado $\Delta U_2 = 21000 - 19740 = 1260 \text{ V}$

También conocemos $\Delta U_1 = \sqrt{3} \cdot I_{TOT} \cdot l (R \cdot \cos \varphi' + X \cdot \sin \varphi') = 1260 \text{ V}$

como sabemos que $\cos \varphi' = \frac{I \cdot \cos \varphi_2}{I_{TOT}} \Rightarrow \frac{233'689394672 \cdot 0'93401033172}{I_{TOT}}$

Expresamos en una sola incógnita

$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_{TOT} \cdot l \left(R \cdot \frac{I \cdot \cos \varphi_2}{I_{TOT}} + X \cdot \arcsin \frac{I \cdot \cos \varphi_2}{I_{TOT}} \right)$ sustituyendo ...

$1260 = \sqrt{3} \cdot I_{TOT} \cdot 8 \left[0'3066 \cdot \frac{233'689394 \cdot 0'93401033172}{I_{TOT}} + 2\pi \cdot 50 \cdot 1'199658549 \cdot 10^{-3} \cdot \sin \left(\cos^{-1} \left(\frac{233'689394 \cdot 0'93401033172}{I_{TOT}} \right) \right) \right]$

$X_C = (2\pi \cdot 50 \cdot 1'199658549 \cdot 10^{-3}) - \frac{\left(\frac{1}{\sin \varphi} \left(1260 \cdot \sqrt{3} \cdot 233'689394 \cdot 8 \cdot 0'3066 \cdot 0'93401033172 \right) \right)}{1260 \cdot \sqrt{3} \cdot 233'689394 \cdot 8}$
 $\frac{1}{\sin} 1168376'673$
 $4029999'91$

Lo metemos en el wolfram mathematica, y la intensidad total

$1260 = (\text{sqrt}(3)) * X * 8 * ((0'3066 * ((233'689394 * 0'93401033172) / X)) + ((2\pi * 50 * 1'199658549 * 10^{-3}) * (\sin(\arcsin((233'689394 * 0'93401033172) / X))))))$

$I_{TOT} = 227'377 \text{ A}$ esta intensidad será la total, es decir, después de haberle restado la intensidad capacitiva de la batería de condensadores.

$I_{TOTAL} = \sqrt{(I \cdot \cos \varphi_2)^2 + (I \cdot \sin \varphi_2 - I_C)^2}$ Resolvemos I_C

$227'377 = \sqrt{(233'689394 \cdot 0'93401033172)^2 + (233'689394 \cdot 0'357245994016 - I_C)^2}$

$I_Q = 19'7724 A$ por lo tanto la batería necesaria de condensadores es 19622?

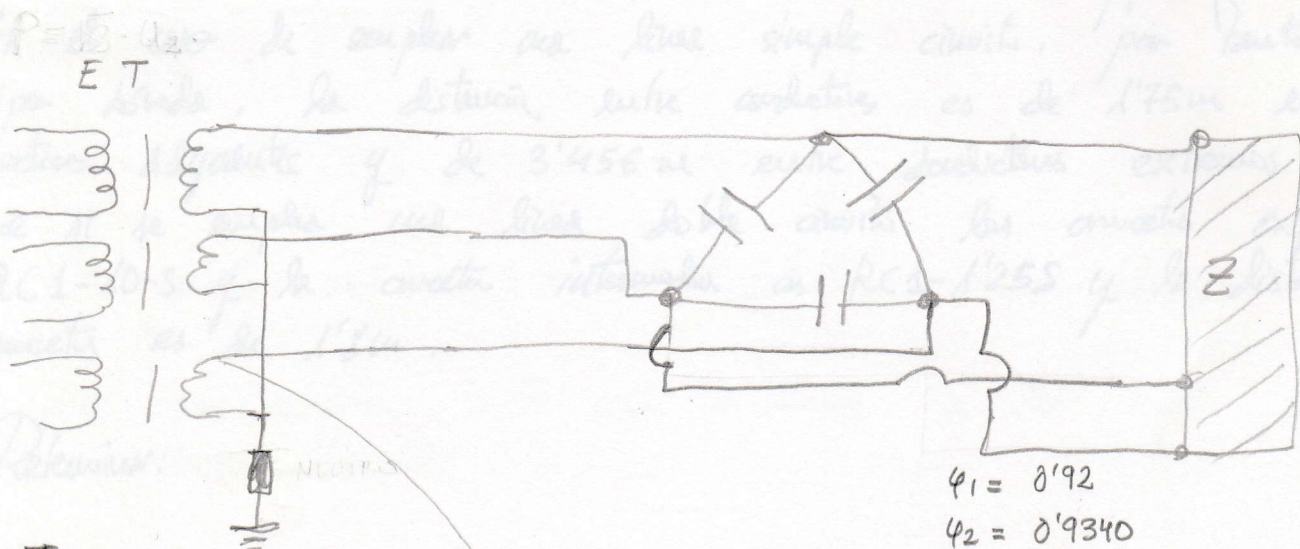
$$Q = I_Q \cdot \sqrt{3} \cdot U_N \Rightarrow Q = 19'7724 \cdot \sqrt{3} \cdot 19740 = 676031'859391 \text{ VAR}$$

$$X_C = \frac{U}{I_C'} \Rightarrow I_C' = \frac{I_C}{\sqrt{3}} \Rightarrow I_C' = \frac{19'7724}{\sqrt{3}} = 11'4156 A$$

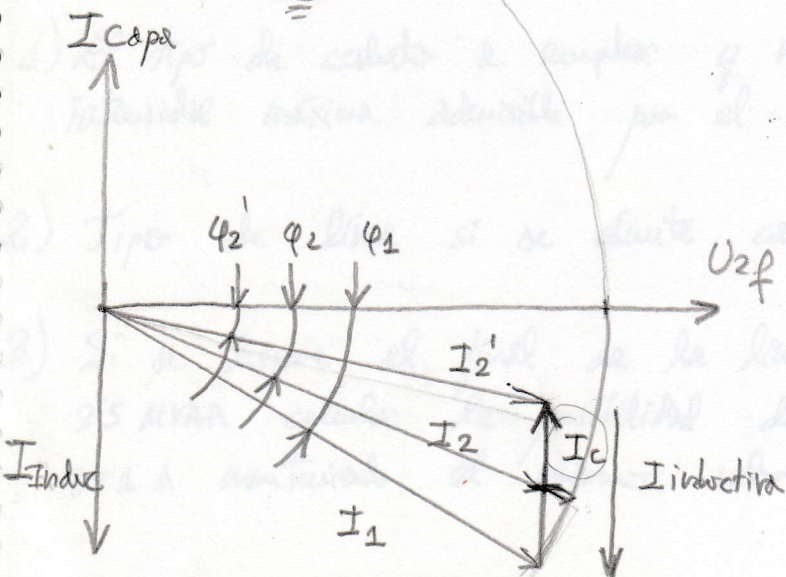
$$X_C = \frac{21000}{11'4156} = 1839'5879323 \Omega$$

$$C = \frac{1}{X_C \cdot 2\pi f} = \frac{1}{1839'5879323 \cdot 2\pi \cdot 50} = 1'73033 \mu F \text{ cada fase}$$

$$\text{el } \cos \varphi' = \frac{233'689394 \cdot 0'93401033173}{227'377} = 0'959940136$$



$$\begin{aligned} \varphi_1 &= 0'92 \\ \varphi_2 &= 0'9340 \\ \varphi_2' &= 0'9599 \end{aligned}$$

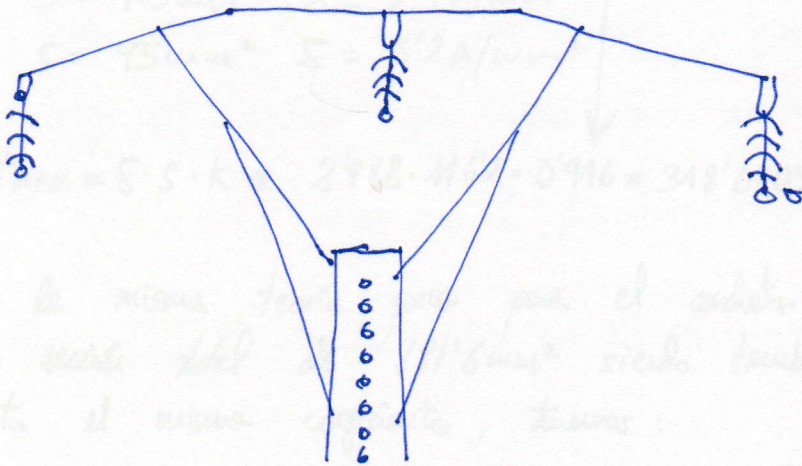


$$I_C' = 11'456 A \quad I_C = 19'7724 A$$

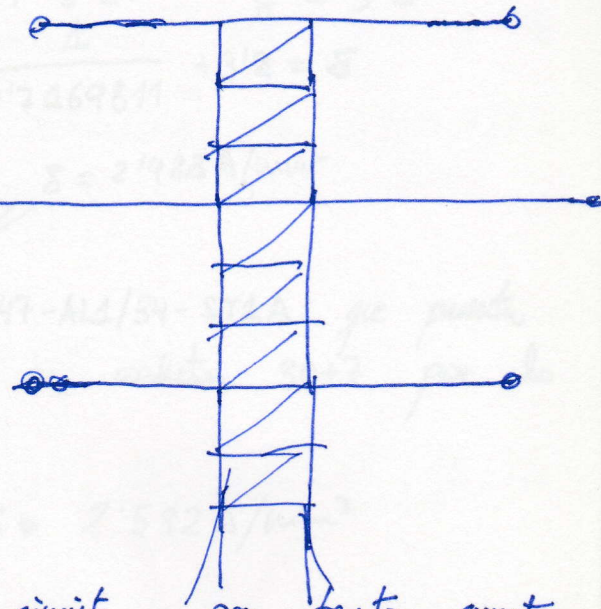
$$\begin{aligned} I_1 &= 233'68 \quad I_1 = I_2 \text{ ?} \\ I_2 &= \text{?} \\ I_2' &= \text{?} \end{aligned}$$

Se desea transportar por medio de una línea aérea una potencia de 14 MW a 20 kV con factor de potencia 0.9 inductivos a una distancia de 7 km. Se pueden emplear los siguientes conductores: 94-AL1/22-ST1A (antigo LA-110) y 147-AL1/34-ST1A (antigo LA-180) y la línea aérea puede ser simple o doble circuito siendo los croquis empleados según el tipo de línea los siguientes:

Simple circuito



Doble circuito



En el caso de emplear una línea simple circuito, por tanto circuito tipo bóveda, la distancia entre conductores es de 1.75 m entre conductores adyacentes y de 3.456 m entre conductores extremos, mientras que si se emplea una línea doble circuito los circuitos extremos son RC1-10-S y el circuito intermedio es RC1-125S y la distancia entre circuitos es de 1.8 m.

Requisitos:

- 1) El tipo de conductor a emplear y número de circuitos en función de la intensidad máxima admisible por el conductor.
- 2) Tipo de línea si se admite como máximo un cdt del 5%.
- 3) Si se dispone al final de la línea una batería de condensadores de 3.5 MVAR calcular la posibilidad de utilizar el conductor 94-AL1/22-ST1A manteniendo el mismo valor de la máxima cdt.

$$D = \sqrt{1.9 \cdot 2811 - 2.92 \cdot 4111} = 2.721 \text{ m}$$

$$I_{RECTOR} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} = \frac{14 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 20000 \cdot 0.9} = 449'05A$$

Para comprobar la idoneidad del conductor empleado, la intensidad que circula por este debe ser inferior a la nominal, y esta se determina por ITC-07 4.2.1, entonces

$$S = LA110 \rightarrow 116'2 \text{ mm}^2 = 30+7$$

$$S = 125 \text{ mm}^2 \quad \delta = 2'9 \text{ A/mm}^2$$

$$S = 95 \text{ mm}^2 \quad \delta = 3'2 \text{ A/mm}^2$$

$$\frac{125 - 95}{2'9 - 3'2} = \frac{116'2 - 95}{\delta - 3'2}$$

$$\frac{1}{-4'7469811} + 3'2 = \delta$$

$$I_{MAX} = \delta \cdot S \cdot K \rightarrow 2'988 \cdot 116'2 \cdot 0'916 = 318'04032A \quad \delta = 2'988 \text{ A/mm}^2$$

Con la misma teoría pero para el conductor 147-AL1/34-ST1A que presenta una sección total de 181'6 mm² siendo también un conductor 30+7 por lo tanto el mismo coeficiente, tenemos:

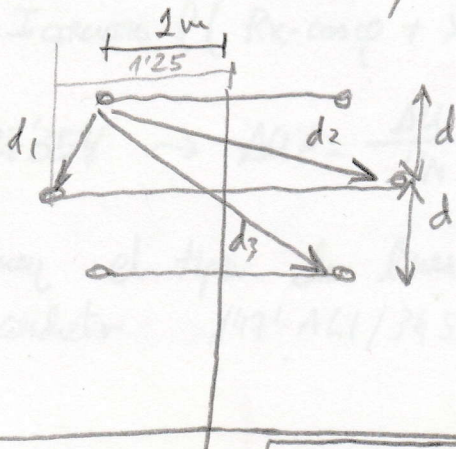
$$\frac{200 - 160}{2'5 - 2'7} = \frac{181'6 - 160}{\delta - 2'7} \Rightarrow \frac{1}{9'259259} + 2'7 = \delta \Rightarrow 2'592 \text{ A/mm}^2$$

$$I_{MAX} = 2'592 \cdot 181'6 \cdot 0'916 = 431'1677A //$$

Por lo tanto cualquiera de los conductos serían válidos

2) Falta por comprobar si la caída de tensión, es decir inferior al 5% de la tensión nominal.

Para un doble circuito, la expresión del coeficiente de introducción aparente kilómetro está determinada por:



$$D = \sqrt[3]{d_1 \cdot d_2 \cdot \sqrt{2} \cdot d \cdot d_3}$$

$$d_1 = \sqrt{(1'25 - 1)^2 + 1'8^2} = 1'817m$$

$$d_2 = \sqrt{(1'25 - 1)^2 + 1'8^2} = 2'881m$$

$$d_3 = \sqrt{(1 + 1)^2 + 3'6^2} = 4'118m$$

$$D = \sqrt[3]{1'817 \cdot 2'881 \cdot \sqrt{2} \cdot 1'8 \cdot 4'118} = 2'721m$$

Y el coeficiente de autoinducción aparente kilométrico es de:

$$L_{AK}(LA110) = \left(0.5 + 2 \ln \frac{D}{r}\right) \cdot 10^{-4} = \left(0.5 + 2 \ln \frac{2.721}{\frac{14 \cdot 10^{-3}}{2}}\right) \cdot 10^{-4} = 12.426 \cdot 10^{-4}$$

Por lo que la reactancia inductiva por kilometros es de:

$$X_{LAK}(LA-110) = 2\pi f \cdot L_{AK} = 2\pi \cdot 50 \cdot 12.426 \cdot 10^{-4} = 0.3904 \Omega/\text{km}$$

En consecuencia la cdt por circuito, que evidentemente será igual a la línea, para este conductor que tiene una resistencia kilométrica de $0.3067 \Omega/\text{km}$

$$\text{es de: } \Delta U = \sqrt{3} \cdot I_{\text{CIRCUITO}} \cdot l \cdot (R_K \cdot \cos \varphi + X_{LAK} \cdot \sin \varphi) =$$

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot \frac{449.05}{2} \cdot 7 \cdot (0.3067 \cdot 0.9 + 0.3904 \cdot 0.4358) = 1214.56 \text{ V}$$

Que expresado en tanto por cien es de: $\Delta U\% = \frac{\Delta U}{U_N} \cdot 100 = \frac{1214.56}{20000} \cdot 100$

$$\Delta U\% = 6.07\% \quad \text{NO CUMPLE}$$

Por tanto esta línea no se puede realizar con el conductor 94-AL1/22 ST1A por que excede la caída de tensión, probamos con el conductor

147-AL1/34-ST1A que tiene un diametro de 17.5mm con $R_K = 0.1963 \Omega/\text{km}$.

$$\text{Por tanto: } L_{AK}(LA-100) = \left(0.5 + 2 \ln \frac{2.721}{\frac{17.5 \cdot 10^{-3}}{2}}\right) \cdot 10^{-4} = 11.979 \cdot 10^{-4} \text{ H/km.}$$

$$X_{LAK} = 2\pi f \cdot L_{AK} = 2\pi \cdot 50 \cdot 11.979 \cdot 10^{-4} = 0.3763 \Omega/\text{km}$$

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_{\text{CIRCUITO}} \cdot l \cdot (R_K \cdot \cos \varphi + X_{LAK} \cdot \sin \varphi) = \sqrt{3} \cdot \frac{449.05}{2} \cdot 7 \cdot (0.1963 \cdot 0.9 + 0.3763 \cdot 0.4358)$$

$$\Delta U = 927.35 \text{ V} \rightarrow \Delta U\% = \frac{\Delta U}{U_N} \cdot 100 \Rightarrow \frac{927.35}{20000} \cdot 100 = 4.63\% \quad \text{CUMPLE}$$

En resumen el tipo de línea a utilizar a un doble circuito con el conductor 147-AL1/34-ST1A.

3) Se ha comprobado que el conductor 94-AL1/22-ST1A no se puede emplear por cdt ahora bien al disponer una batería de condensadores, se disminuye la intensidad de la línea y por tanto se reduce la cdt tanto por disminución de la intensidad como por mejora del FP y por tanto cabe la posibilidad de poder emplear este conductor, estudiemos esta situación

Inicialmente tenemos una potencia de 14 MW con factor de potencia de 0'9 de donde la potencia aparente del receptor es de:

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{14}{0'9} = 15'55 \text{ MVA} \quad Q = S \cdot \sin \varphi = 15'55 \cdot 0'4358 = 6'78 \text{ MVAR}$$

Al disponer la batería de condensadores de 3'5 MVAR la nueva potencia reactiva demandada a la línea es de:

$$Q' = 6'78 - 3'5 = 3'28 \text{ MVAR}$$

Y el nuevo factor de potencia es de: $\tan \varphi' = \frac{Q'}{P} = \frac{3'28}{14} = 0'234 \Rightarrow$

$\cos \varphi' = 0'973$. La intensidad nueva es ahora de:

$$I_{\text{RECEPTOR}} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} = \frac{14 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 20000 \cdot 0'973} = 415'35 \text{ A}$$

Por lo que la cdt por circuito para el conductor 94-AL1/22-ST1A resultará ser de:

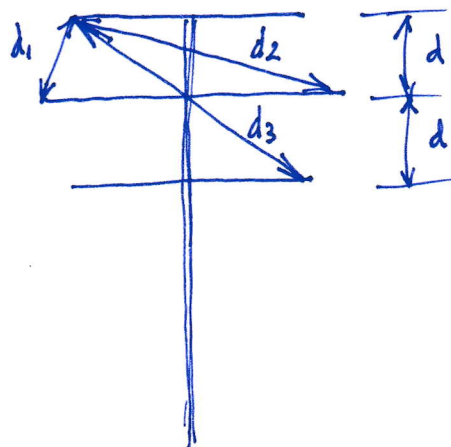
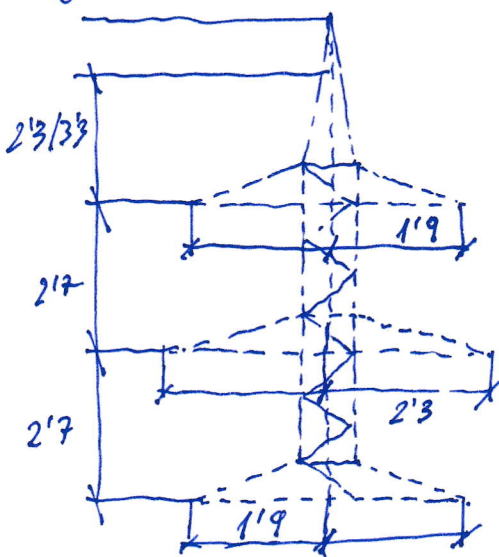
$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot \frac{415'35}{2} \cdot 7 (0'3067 \cdot 0'973 + 0'3904 \cdot 0'2308) = 978'27 \text{ V}$$

$$\Delta U \% = \frac{\Delta U}{U_N} \cdot 100 = \frac{978'27}{20000} \cdot 100 = 4'89 \%$$

Finalmente si se hubiera instalado la batería de condensadores de 3'5 MVAR si se habría podido emplear la línea doble circuito con conductor 94 AL1/22 ST1 A, tanto por intensidad máxima como cdt

El apoyo de la figura se va a emplear para transportar por medio de un línea aérea doble circuito de 20 km una potencia de 140 MW a 132 kV con factor de potencia 0.9 inductivos para alimentar una subestación. En funcionamiento normal la potencia de la subestación se alimentará por medio de los dos circuitos, pero para asegurar el suministro eléctrico cabe la posibilidad de alimentar la subestación por medio de un único circuito. Determinar:

- 1) la sección mínima de conductor de aluminio-aceo a emplear
- 2) Admitiendo en funcionamiento normal una cdt del 3% la inductancia del conductor elegido en el apartado anterior.
- 3) la cdt resultante en caso de funcionar un único circuito.
- 4) si se dispone en la subestación una batería de condensadores de 40 MVAR, para el funcionamiento normal y admitiendo constante la tensión final de línea, la nueva variación porcentual de tensión.



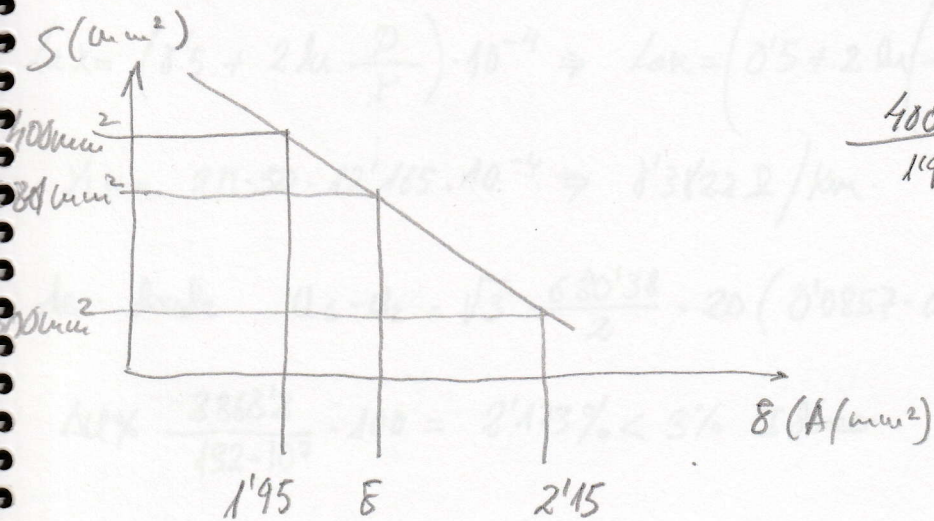
- 1) Es necesario determinar el conductor a emplear para alimentar la ET de 140 MW a 132 kV y cabe la posibilidad de alimentar este ET con un único circuito, por tanto la corriente de este único circuito será de:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\phi} = \frac{140 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 132 \cdot 10^3 \cdot 0.9} = 680.38 \text{ A}$$

Por lo tanto debemos determinar que conductor es capaz de soportar esta corriente. Esto se determina a partir de la tabla 11 de la ITC-LAT 07 que define las densidades máximas de corriente según el tipo de conductor.

Para una corriente de 680'38A necesitamos un sección compridida entre 300mm² cuya densidad es de 2'15A/mm² y 400mm² con una densidad de corriente de 1'95A/mm² (se ha tenido en cuenta el factor de reducción de la densidad en función de la composición del conductor, (nº de alambres de aluminio -zoo)).

$$400 \quad 381 \text{ mm}^2 \quad 54+7$$



$$\frac{400-300}{1'95-2'15} = \frac{381-300}{\delta-2'15}$$

$$-6'1728395 = \frac{1}{\delta-2'15}$$

$$\delta = \frac{1}{-6'1728395} + 2'15$$

$$\delta = 1'988 \text{ A/mm}^2$$

Para este conductor el ser Al-Ac le corresponde un factor de corrección

$$I_{MAX} = \delta \cdot S \cdot K \rightarrow I_{MAX} = 1'988 \cdot 381 \cdot 0'95 = 719'55 \text{ A} > 680'38 \text{ A}$$

2) Para determinar la caída de tensión aplicaremos la 2ª ley de Kirchhoff al circuito y resulta:

$$U_1 - U_2 = \sqrt{3} I \cdot l (R_k \cdot \cos \varphi + X_{lk} \cdot \sin \varphi)$$

por lo que es preciso determinar la reactancia inductiva kilométrica y previamente el coeficiente de autoinducción aparente kilométrica, expresión que es un dato del inicio del problema.

$$Tenemos: d_1 = \sqrt{2'70^2 + 0'4^2} = 2'729 \text{ m}$$

$$d_2 = \sqrt{2'70^2 + (1'9+2'3)^2} = 4'993 \text{ m}$$

$$d_3 = \sqrt{(2'70 \cdot 2)^2 + (1'9 + 1'9)^2} = 6'603 \text{ m}$$

$$D = \sqrt[3]{2'729 \cdot 4'993 \sqrt{2 \cdot 2'7 \cdot 6'603}} = 4'333 \text{ m}$$

$$D = \sqrt[3]{d_1 \cdot d_2 \sqrt{2 \cdot d \cdot d_3}}$$

$$d_1 = \sqrt{(2'3 - 1'9)^2 + (2'7)^2} = 2'729 \text{ m} \quad / \quad d_2 = \sqrt{((1'9 \cdot 2) + (2'3 - 1'9))^2 + 2'7^2} = 4'993 \text{ m}$$

$$d_3 = \sqrt{(2 \cdot 1'9)^2 + (2'7 \cdot 2)^2} = 6'603 \text{ m}$$

$$L_{\text{ek}} = \left(0'5 + 2 \ln \frac{D}{r} \right) \cdot 10^{-4} \Rightarrow L_{\text{ek}} = \left(0'5 + 2 \ln \left(\frac{4333}{\frac{2514}{2}} \right) \right) \cdot 10^{-4} = 12'165 \cdot 10^{-4} \text{ H/km.}$$

$$X_{Lk} = 2\pi \cdot 50 \cdot 12'165 \cdot 10^{-4} \Rightarrow 0'38222 \text{ } \Omega / \text{km.}$$

$$\text{de donde } U_1 - U_2 = \sqrt{3} \frac{680'38}{2} \cdot 20 (0'0857 \cdot 0'9 + 0'3822 \cdot 0'435) = 2868'2 \text{ V}$$

$$\Delta U \% = \frac{2868'2}{132 \cdot 10^3} \cdot 100 = 2'173 \% < 3 \% \text{ I bueno}$$

3) En el caso de funcionar en único circuito la expresión del coeficiente de autoinducción aparente kilométrica varía respecto a la anterior y en este caso es:

$$L_{\text{ek}} = \left(0'5 + 2 \ln \frac{D}{r} \right) \cdot 10^{-4} \quad D = \sqrt[3]{2'729 \cdot 2'729 \cdot 2 \cdot 2'7} = 3'426 \text{ m}$$

$$L_{\text{ek}} = \left(0'5 + 2 \ln \frac{3426}{\frac{2514}{2}} \right) \cdot 10^{-4} = 11'6951 \cdot 10^{-4} \text{ H/km}$$

$$X_{Lk} = 2\pi \cdot 50 \cdot 11'6951 \cdot 10^{-4} = 0'3674 \text{ } \Omega / \text{km}$$

A resaltar que la variación de la reactancia inductiva kilométrica varía muy poco de doble circuito a simple circuito

$$U_1 - U_2 = \sqrt{3} \cdot 680'38 \cdot 20 (0'0857 \cdot 0'9 + 0'3674 \cdot 0'435) = 5584'66 \text{ V}$$

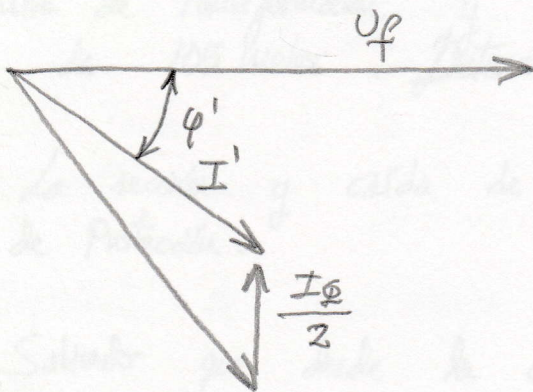
$$\Delta U \% = \frac{5584'66}{132 \cdot 10^3} \cdot 100 = 4'23 \%$$

4) Se ha dispuesto un banco de condensadores para mejorar el factor de potencia de la instalación, en consecuencia disminuimos la corriente que circula por la línea y por tanto la cdt.

La corriente de la batería de condensadores es de:

$$I_Q = \frac{Q}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{40 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 132 \cdot 10^3} = 174'95 \text{ amperios}$$

Como disponemos de los circuitos el tener la corriente por circuito le corresponden la mitad de la corriente de la batería de condensadores, puesto que se ha supuesto conectada a barras 132kV, Dado n circuitos se calcula así.



De donde la nueva corriente por circuito I' es de:

$$I' \phi' = \frac{680'38}{2} \angle -25'842^\circ + \frac{174'95}{2} \angle 190^\circ = 312'15 \angle -11'233^\circ \text{ A}$$

Por lo que la nueva cdt será de:

$$U_1 - U_2 = \sqrt{3} \cdot 312'15 \cdot 20 (0'0857 \cdot 0'9808 + 0'3222 \cdot 0'1947) = 1713'55 \text{ V}$$

$$\Delta U \% = \frac{1713'55}{132 \cdot 10^3} \cdot 100 = 1'298 \%$$

P5) Desde su centro de transformación de compañía ~~de~~ ~~Iberrola~~ debe ser alimentado un edificio destinado a viviendas con grado de electrificación básica, siendo el número de viviendas ~~de~~ 30. Se estima que la carga correspondiente a servicios generales del edificio, locales comerciales y garajes del edificio son del 20% de la potencia correspondiente al conjunto de las viviendas. La distancia entre el Centro de Transformación y la Caja General de Protección del edificio es de 105 metros. Determinar:

1) La sección y caída de tensión de la acometida a la Caja General de Protección.

2) Sabiendo que desde la caja general de protección hasta la centralización de contadores existe una distancia de 19 metros y se van a emplear cables unipolares de cobre del tipo RE 0'6/1kV instalados bajo tubo y esta al aire. Calcular la sección de la Línea General de Alimentación por intensidad máxima admisible y por caída de tensión teniendo en cuenta además la exigencia que impone los fusibles de la CGP admitiendo un factor de potencia inductivo de 0'9.

3) Para una Derivación Individual de 17 metros y sabiendo que se van a emplear cables unipolares ES07Z1 bajo tubo y al aire, determinar la sección por intensidad y por caída de tensión admitiendo un factor de potencia cosφ:

$$\Delta U\% = \frac{P \cdot L}{20 \cdot U^2} \cdot (R + X \cdot \tan \phi) = \frac{136620 \text{ kW} \cdot 105}{20 \cdot 0.4^2} \cdot (2206 + 0.075 \cdot \tan \phi)$$

$$\Delta U\% = 2.1726\%$$

Según página 5/26 la caída de tensión no supera el 3% ejemplo, para 10 en subestaciones 16 In x 19020

Según el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT), según la Instrucción Técnica Complementaria (ITC) número 10. (ITC-10).

Debemos hacer un cálculo previo de la carga total, pues para un grado de electrificación básica, 5750 W, sobre 30 viviendas, se le aplicará el correspondiente Coeficiente de Simultaneidad y, como norma el empuje un 20% de la potencia correspondiente al conjunto de viviendas se le agregará a servicios generales.

Según la Tabla 1 de la ITC-10, para mas de 21 viviendas emplazadas la siguiente expresión: $15'3 + (n-21) \cdot 0'5$ siendo n , el número de viviendas.

$$\text{El Coeficiente de simultaneidad } g_{red} = 15'3 + (30-21) \cdot 0'5 = \frac{99}{5} = 19'8 //$$

$$\text{La potencia es de } = 5750 \cdot 19'8 = 113850 \text{ W} + 20\%$$

$$\text{La potencia total} = 113850 + 22770 = 136620 \text{ W}$$

$$\text{Podemos al calcular de la intensidad: } I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} = \frac{136620 \text{ W}}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0'9}$$

$$I = 219'104 \text{ A} \quad \checkmark$$

Con dicha intensidad nos vamos a la tabla 2 del Manual Técnico de Iberrola MT 2.51.01 y en la página [13-09] 5/28.

3x150 + 1x95 Al soporta hasta 230 Amperios en tubular soterrado

Por caída de tensión según página 6/28 del MT 2.51.01.

$$\Delta U \% = \frac{P \cdot L}{10 \cdot U^2} \cdot (R + X \cdot \tan \varphi) = \frac{136'620 \text{ kW} \cdot 105}{10 \cdot 0'4^2} \left(0'206 + 0'075 \cdot \tan 0'9 \right)$$

0'4843

$$\Delta U \% = 2'1726 \%$$

Según página 5/28 la caída de tensión no superará el 5%

cumple, pero no en sobrecorriente $1'6 \cdot I_n < 1'45 I_z$

$$I_n < 0'91 I_z$$

(3x150 + 1x95) Aluminio de XLPE pero no cumple por sobrecargas

$$1'6 \cdot I_n < 1'45 \cdot I_z$$

$$1'6 \cdot 250 \text{ A} < 1'45 \cdot 230$$

$$400 < 333'5 \text{ NO CUMPLE}$$

$$I_n \leq 0'91 \cdot I_z$$

$$250 \text{ A} \leq 209'3$$

NO CUMPLE

Por que cumple por sobrecargas deberiamos probar 3x240 + 1x150

$$[3x240 + 1x150] \rightarrow 1'6 \cdot 250 \text{ A} < 1'45 \cdot 305$$

$$400 < 442'25 \checkmark$$

$$I_n \leq 0'91 \cdot I_z$$

$$250 \text{ A} \leq 277'55 \checkmark$$

1) (3x150 + 1x95) Al // Cumple por Intersidad y por cdt. pero no sobrecargas en posibles de 250A.

2) Nos vamos a la ITC 19 y en tabla 1 Identificamos directamente cables cupulados bajo tubo el cual, corresponde la letra B. según 3x de XLPE, como vemos, la inmediata superior es de 245A siendo cables 3x95 Cu. Al tubo de la LGA será de 140 mm ϕ según ITC 14 tabla 1.

Por cdt será 0'5% máximo, con tubos acetalizados según ITC 14

por tanto 0'5% de 400V es 2V. por tanto

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot \rho \cdot \frac{l}{S} \cdot I \cdot \cos \varphi \Rightarrow \Delta U = \sqrt{3} \cdot 0'022 \cdot \frac{19}{95} \cdot 219'4 \cdot 0'9 = 1'5 \text{ V}$$

2V > 1'5V cumple por cdt

(3x95 + 1x50) Cu R 0'6/1KV. //

La exigencia que supone los fusibles de la CGP son
según IBERDROLA = UNE 20460-4-43:2003

$$1^{\circ} I_B \leq I_N \leq I_z$$

$$2^{\circ} I_z \leq 1.45 \cdot I_B$$

Opciones por un fusible de 250A

$$1.6 \cdot 250 < 1.45 \cdot 245 \quad \text{NO CUMPLE. } 3 \times 95 + 1 \times 50 \text{ NO}$$

$$\text{Me voy a } 3 \times 120 \rightarrow 1.6 \cdot 250 < 1.45 \cdot 284 \quad \text{SI CUMPLE.}$$

$(3 \times 120 + 1 \times 70)$ Cu // el tubo de la LGA ahora es de 160mm \varnothing
según ITC-14

3) No sean de PVC, porque no sean propágulos de incendios, emisión de humos y opacidad reducida.

Elegimos un cable tipo ESO721-K con $S_{min} = 6 \text{ mm}^2$

$$\text{Admitimos } cdt = 1\% \rightarrow \Delta U = \frac{1 \cdot 230}{100} = 2.3 \text{ V.}$$

El Receptor monofásico es la vivienda con una intensidad

$$I = \frac{5750}{230 \cdot 1} = 25 \text{ A}, \text{ y por tanto según el ITC-15}$$

para condiciones fijas en superficie el aire

$$S_{min} = \frac{2 \cdot P}{\Delta U} \cdot L \cdot I \cdot \text{coef} \Rightarrow S_{min} = \frac{2 \cdot 0.02}{2.3} \cdot 17 \cdot 25 \cdot 1 = 7.76 \text{ mm}^2$$

siendo $\rho = 70^{\circ}\text{C}$.

Para secciones de 10 mm^2 , la cdt $\Delta U = \frac{2 \cdot 0.02}{10} \cdot 17 \cdot 25 \cdot 1$
 $\Delta U = 1.785 \text{ V}$

$$\Delta u \% = \frac{1'785}{230} \cdot 100 = 0'776\% < 1\% \text{ cumple } \checkmark$$

Cogemos una sección de 10 mm^2 con $\text{cdt} = 0'776\%$

$$B1 \rightarrow 2 \times 10 \text{ mm}^2 \quad I_7 = 57 \text{ A} > 25 \text{ A} \text{ cumple } \checkmark$$

Resumen

tubular soterrada

1) Seguir Iberdrola, la sección $3 \times 150 + 1 \times 95 //$

y para que cumpla por sobrecargas $3 \times 240 + 1 \times 150$ en fusibles de 250A, Por otro lado, en los tablas de la pregunta 7/28 del MT 2.51.01 para, que para tubular soterrada la longitud máxima de 161m por fusible de 250A en $3 \times 150 + 1 \times 95$ Aguenta un ICC máxima de 1650 A

2) $(3 \times 120 + 1 \times 70) //$ pero por intensidad y por cdt en $[3 \times 95 + 1 \times 80]$

3) $2 \times 10 \text{ mm}^2 //$ Península Individual Monofásica.

Irón en tubo de $20 \text{ mm } \phi$ según ITC 21 Tabla 2, pero siempre es mejor poner más diámetro, yo personalmente pondría uno de $25 \text{ mm } \phi$ por si acaso, el día de mañana.

ELECCION DEL CONDUCTOR (Rede el punto eléctrico)

Una línea trifásica de 6km de longitud, con tensión de servicio de 20kV, ha de transportar una potencia de 6MW con factor de potencia de 0'9 y pérdida de potencia máxima de 3% de la potencia anterior. Elegir un conductor adecuado para realizar el transporte y establecer las condiciones generales que permitan obtener, de forma rápida, conclusiones sobre la conveniencia de usar u otro conductor:

$$I_L = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \varphi} = \frac{6 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 20000 \cdot 0'9} = 192'45 \text{ A}$$

Para superar el peso de la corriente anterior, será necesario un conductor que tenga una densidad de corriente δ_c mínima de:

$$\delta_c = \frac{I_L}{S} =$$

Donde la sección será peyorativa en la elección del conductor, pues proponemos un conductor de 35mm² de sección

$$\delta_c = \frac{192'45}{35} = 5'5 \text{ A/mm}^2 \quad \text{solo se admitiría la elección en cobre, ya que el conductor en aluminio, solo admite una densidad de corriente de hasta 4'55 A/mm}^2$$

$$\text{Y con una de } 50 \text{ mm}^2 \rightarrow \delta_c = \frac{192'45}{50} = 3'849 \text{ A/mm}^2$$

podríamos emplear conductores de cobre o aluminio para esta sección, pero no de aleación de aluminio, para la que deberíamos utilizar, como mínimo, un conductor, un conductor de 70mm² de sección, el nr.

$$\delta_c = \frac{192'45}{70} = 2'75 \text{ A/mm}^2 < 3'3 \text{ A/mm}^2.$$

Si el cable elegido fuese del tipo LA-56 (Aluminio - Acero), habría que conseguir tal y como establece el RLAT en su artículo 22, el valor de densidad obtenido de la tabla A 4.1 por los coeficientes de reducción, Cr.

Coefficientes de reducción:

Composición	Cr
6+1	0'926
26+7	
30+7	0'902
54+7	0'941

puesto que la sección anterior LA56 no figura, interpolamos

$$S_{c54'6} = \frac{4 - S_{54'6}}{54'6 - 50} = \frac{4 - 3'55}{70 - 50} \rightarrow S_{c54'6} = 3'9 \text{ A/mm}^2$$

Este valor (4 y 3'55) son los densidades de corriente correspondientes a las secciones 50 y 70 mm².

El valor $S_{c54'6} = 3'9 \text{ A/mm}^2$ ha de ser corregido con el coeficiente Cr de la tabla 4.1 para un cable de composición (6+1) $\Rightarrow Cr = 0'926$

$$S_{cLA-56} = S_{c54'6} \cdot Cr \rightarrow S_{cLA-56} = 3'9 \cdot 0'926 = 3'6114 \text{ A/mm}^2$$

Iberdrola en los proyectos tipo LA-56 establece como máximo $S_c = 3'7 \text{ A/mm}^2$

$$\text{Con lo cual } S_c = \frac{192'45}{54'6} = 3'525 \text{ A/mm}^2 < 3'7 \text{ A/mm}^2$$

A continuación vamos a ver si la sección del LA-56 permite que la pérdida de potencia en la línea sea inferior al 3% de la deseada.

Considerando únicamente la pérdida de potencia activa, esta viene dada por la expresión siguiente:

$$P_p = 3 \cdot I^2 \cdot R \cdot l$$

P_p : Pérdida de potencia por efectos Joule, (W)

I : Intensidad, (A)

R : Resistencia al conductor a 20°C, Ω/km

l : Longitud de la línea, km

Sustituyendo en (4.1) los valores obtenidos y la resistencia del LA56

$$R_{20^\circ\text{C}} = 0'6136 \Omega/\text{km} \rightarrow P_p = 3 \cdot 192'45^2 \cdot 0'6136 \cdot 6 = 0'4091 \text{ MW}$$

que, expresada en tanto por ciento de la potencia transportada, es:

$$P_p (\%) = \frac{0'4091}{6} \cdot 100 = 6'82\% > 3\% \quad \text{por lo que LA-56 no es válido}$$

• Potencia máxima a transportar por densidad de corriente:

Desde la relación entre la intensidad, la sección y la densidad de corriente vista en párrafos anteriores, despreciando el ligero incremento de 36 A/mm^2 establecido para el caso de corrientes alternas:

$$P_{\max} = \sqrt{3} \cdot V \cdot S \cdot \delta_c \cdot \cos \varphi$$

Si en la expresión anterior, definimos como constante para cada tipo de conductor α :

$$C_2 = \sqrt{3} \cdot S \cdot \delta_c$$

$P_{\max} = C_2 \cdot V \cdot \cos \varphi$ expresión que podemos tabular para distintos conductores

donde (V) viene en KV y (P_{\max}) en KW.

Expresión que podemos tabular para distintos conductores, en función de la tensión de transporte elegida y el fdp previsto.

• Potencia máxima a transportar por pérdida de potencia

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \varphi}; \quad P_R(\%) = \frac{3 \cdot I^2 \cdot R \cdot l}{P} \cdot 100 \Rightarrow P = \frac{P_R(\%) \cdot V^2 \cdot \cos^2 \varphi}{l \cdot R \cdot 100}$$

que expresado por Km de línea y por % de potencia perdida, se convierte:

$$P_{\max} / P_R = \frac{V^2 \cdot \cos^2 \varphi \cdot 10^{-6}}{R \cdot 100} =$$

P_{\max} : potencia máxima a transportar por pérdida de potencia, MW · Km

V: Tensión de la línea en KV

R: Resistencia del conductor a 20°C

$$P_{\max} \left(\frac{\text{MW} \cdot \text{Km}}{\% P_R} \right) > \frac{5 \cdot 6}{3} = 10 \text{ MW} \cdot \text{Km} / \% P_R$$

- Pérdida de potencia máxima permitida en un conductor por la potencia máxima por densidad de corriente:

Si expresamos la pérdida de potencia en función de la máxima potencia a transportar por densidad de corriente, y definimos la constante C_1 para un conductor como:

$$C_1 = \sqrt{3} \cdot S_c \cdot S \cdot R \quad \text{la emisión de corriente, al}$$

sustituir $P_{max} = C_1 \cdot V \cdot \cos \varphi$

$$\rightarrow P_p(\%) = \frac{3 \cdot I^2 \cdot R \cdot l}{P_{max}} \cdot 100 = \frac{\frac{P_{max}^2}{V^2 \cdot \cos^2 \varphi} \cdot R \cdot l}{P_{max}} \cdot 100 =$$

$$\frac{P_{max} \cdot R \cdot l}{V^2 \cdot \cos^2 \varphi} \cdot 100 \Rightarrow P_{pmax} = \frac{C_1 \cdot 100}{V \cdot \cos \varphi}$$

Desde P_{max} = es la pérdida de potencia máxima cuando se transporta la potencia máxima por densidad de corriente, % km

V : Tensión de la línea kV.

- Pérdida de potencia:

$$P_p(\%) = \frac{3 \cdot I^2 \cdot R \cdot l}{P} \cdot 100 = \frac{\frac{P^2}{V^2 \cdot \cos^2 \varphi} \cdot R \cdot l}{P} \cdot 100 = \frac{P \cdot R \cdot l}{V^2 \cdot \cos^2 \varphi} \cdot 100$$

$$P_p = \frac{R \cdot 100}{V^2 \cdot \cos^2 \varphi}$$

desde

P_p = pérdida de potencia en la línea, %/MW.km

V = Tensión de la línea kV

R = Resistencia del conductor, Ω /km.

Con los datos de la línea estudiada, para encontrar el conductor adecuada, encontramos en la última columna para obtener la potencia máxima para la pérdida del 3% y para los 6 km de línea

$$P_{max} \left(\frac{\text{MW} \cdot \text{km}}{\% P_p} \right) > \frac{6 \cdot 6}{3} = 12 \text{ MW} \cdot \text{km} / \% P_p$$

En la sexta columna de la tabla Anexo 4.3 de la página 840 del volumen II de Diego Carrasco tenemos:

en contamos que para 20kV, para $\cos\phi = 0.8 \rightarrow 4'1720991 //$.

Puesto que en la línea estudiada el fdp era de 0.9, debemos corregir el valor de la tabla

Para corregirlo, y de acuerdo con la obtención (2) de dicha tabla A4.3, debemos dividir por el coseno del fdp de la tabla 0.64 y multiplicar por el coseno del nuevo factor de potencia (0.81) con lo que:

$$P_{max} \left(\frac{MW \cdot km}{\% P_p} \right) = 4'1720991 \cdot \frac{0.81}{0.64} = 5'28031368 \frac{MW \cdot km}{\% P_p} < 12$$

por lo que LA-56 no es válido. Puesto que

$$\frac{12}{5'280313} = 2'27259255$$

necesitamos un conductor cuya resistencia sea, al menos, 2'27259255 veces menor que la del conductor de referencia LA-56 (0.6136), tal y como se indica...

Según buscaremos un conductor con una resistencia menor o igual =

$$\frac{0.6136}{2'27259255} = 0.27 \Omega/km. \text{ buscando en la tabla que el conductor}$$

LA-145 lo cumple, el tener una resistencia de 0.24222 Ω/km .

$$0.27 \Omega/km > 0.24222 \Omega/km \text{ CUMPLE. LA-145.}$$

Otra vez hecho

$$P_p = 0.074753086 \cdot 6 \cdot 6 = 2.691\% \quad \checkmark \text{ no llega al}$$

$$P_p(\%) = C \cdot P \cdot l \quad \checkmark$$

$$P_p = \frac{\%}{100} \cdot P \Rightarrow P_p = \frac{3}{100} \cdot 6MW = 0'18 MW$$

$$R_{max} = \frac{P_p}{3 \cdot I^2 \cdot l} \Rightarrow R_{max} = \frac{0'18 \cdot 10^6}{3 \cdot 192'45^2 \cdot 6} = 0'27 \Omega/km$$

Siendo el LA-145 el primer conductor que tiene una resistencia inferior a la anterior, concretamente 0'2422 Ω/km .

La pérdida de potencia real con el LA-145 es:

$$P_p(\%) = \frac{3 \cdot I^2 \cdot R_{max} \cdot l}{P} \cdot 100 \Rightarrow P_p(\%) = \frac{3 \cdot 192'45^2 \cdot 0'2422 \cdot 6}{6 \cdot 10^6} \cdot 100 = 2'691\% < 3\%$$

Ante esta situación tal vez habría que formularse la siguiente pregunta:

¿Cuál sería la potencia máxima que se podría transportar para la pérdida de potencia anterior si se emplease el conductor LA-56?

En este caso $I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos\phi} \rightarrow I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot 20000 \cdot 0'9}$ y como

$$P_p(\%) = \frac{\%}{100} \cdot P \rightarrow P_p(\%) = 0'03 \cdot P = 3 \cdot I^2 \cdot R_{max} \cdot l = 3 \cdot I^2 \cdot 0'6136 \cdot 6$$

$$P = \frac{3 \left(\frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos\phi} \right)^2 \cdot R_{max} \cdot l}{\frac{\%}{100}} \rightarrow P = \frac{3 \left(\frac{P}{\sqrt{3} \cdot 20000 \cdot 0'9} \right)^2 \cdot 0'6136 \cdot 6}{0'03} = 2'640 MW$$

que sería la máxima potencia a transportar para un factor de potencia de 0'9 con un conductor LA-56 a una distancia de 6km, cuando la tensión de la línea es de 20kV, y para tener, como máximo, una pérdida de potencia del 3%.

66kV	15251004
132kV	38129'01
230kV	12558'167
400kV	4'52'249

Superficie a 597'3mm²

Superficie a 597'3mm²

459'5 LA 955 0'2 super

481'6 LA 111 0'2 super

ELECCION DE LA TENSION DE TRANSPORTE

Determinar cual será la tensión de transporte mas razonable y el conductor a emplear de entre los LA existentes, para una línea que transporte la energía eléctrica producida en una central hasta una ciudad situada a unos 200km de la misma, si la pérdida de potencia máxima permitida es del 5%, el factor de potencia es de 0.85 y la potencia a transportar es de 120MW.

En este momento no contemplaremos coste inicial ni capacidad de transporte en el futuro:

Desde la ecuación $R = R' \cdot \frac{PP(\%)}{P \cdot l}$ (R/km) si en P (MW) y l (km).

con R' igual a: $R' = \frac{V^2 \cdot \cos^2 \phi}{100}$

Si tenemos en cuenta la relación existente entre la sección de un conductor, su conductividad y resistencia:

$$S = \frac{1000}{K \cdot R} = \frac{P \cdot l \cdot 10^5}{K \cdot V^2 \cdot \cos^2 \phi \cdot PP(\%)}$$

K = Conductividad del conductor a 20°C

$K = (^\circ\text{Cm}/\Omega\text{mm}^2)$.

Desde los datos del enunciado tenemos probando con distintas tensiones hasta encontrar una sección razonable

Sustituyendo: $S = \frac{120 \cdot 200 \cdot 10^5}{K \cdot V^2 \cdot 0.85^2 \cdot 5} \Rightarrow K' = \frac{P \cdot l \cdot 10^5 \cdot \cos^2 \phi \cdot PP(\%)}{V^2} = \frac{664'3598616 \cdot 10^6}{V^2}$

donde se ha definido K' como: $K' = K \cdot S$

Esto nos permite calcular tabla siguiente donde se obtienen en primer lugar los valores de K' que corresponden a distintas tensiones de transporte y, en segundo lugar, las secciones mínimas necesarias.

66 KV	152516'04	Superior a 547'3 mm ²
132 KV	38129'01	Superior a 547'3 mm ² .
230 KV	12558'787	454'5 LA 455 \varnothing superior,
400 KV	4152'249	181'6 LA 180 \varnothing superior.

Los valores más razonables de tensión son para los conductores LA 180 & superior y LA 455 & superior.

Los valores K' y de K se muestran tabla 4.3. Selecciona la función de tensión de transporte.

V	R'
66	31'47
132	125'884
200	289
230	382'2
400	1156

Existen otras expresiones para el cálculo de la tensión de transporte, pero no tienen en cuenta el fdp u otras cuestiones relevantes, ya que están elaboradas desde un % de Pp establecidos:

$$V = 5.5 \sqrt{\frac{L}{1.61} + \frac{P}{100}} \quad L(\text{km}) \quad P(\text{KW}). \quad \text{Segun muestra caso}$$

$$V = 5.5 \sqrt{\frac{200}{1.61} + \frac{120000}{100}} \approx 200 \text{ kV} \quad \text{Obliga elegir LA 545}$$

$$P_{\text{per}} = \frac{270'5419 \cdot 0'0115 \cdot 230 \cdot 100}{230^2 \cdot 0'85} = 10'465\% > 5\% \Rightarrow \text{No valido}$$

por lo que en este caso, el límite de transporte lo impone la pérdida de potencia del 5% y no el criterio de densidad de corriente. Igualdad en la expresión anterior de potencia de potencia del 5% correspondiente a una potencia máxima de

$$P_{\text{max}} = \frac{P_{\text{per}}(K) \cdot V^2 \cdot 100}{K \cdot \lambda \cdot 100} = \frac{5 \cdot 230^2 \cdot 0'85}{0'0115 \cdot 230 \cdot 100} = 133'079 \text{ MW}$$

Si superamos los valores de la tabla 4.3, comenzamos por la potencia máxima por densidad de corriente (columna 2), no empieza por

$$P_{\text{max}} = \frac{202344823}{0'9 \cdot 54753004} \cdot 230 \cdot 0'85 = 1383'945754 \cdot 270'5419 \text{ MW}$$

ELECCION DE LA TENSION DE TRANSPORTE:

Si en la línea del supuesto anterior se acepta finalmente como tensión de transporte la de 230kV, comprobamos cual sería la máxima potencia que podría transportarse de forma analítica y mediante los tablos anexos a tal efecto en el supuesto una vez comprobado, calcular la longitud máxima que debería tener la línea para que la potencia perdida no exceda de 120 kW. Por último, comprobamos si el conductor LA 140 podría ser empleado en la línea del supuesto 4.7.

En el supuesto anterior demostramos que las tensiones más razonables (bajo los criterios indicados) eran las de 230 y 400kV.

Si aceptamos la de 230kV emplearemos un conductor LA455 para que se cumplan las exigencias de pérdida de potencia y de potencia a transportar establecidas en el supuesto anterior.

El LA455 tiene una resistencia de $0'0718 \Omega/\text{km}$, por lo que al sustituir comprobaremos que la línea podría transportar una potencia máxima por densidad de corriente.

$$P_{\max} = \sqrt{3} \cdot 230 \cdot 454'5 \cdot 1'75802325 \cdot 0'85 = 270'5614 \text{ MW}$$

con una pérdida de potencia.

$$P_p = \frac{270'5614 \cdot 0'0718 \cdot 200 \cdot 100}{230^2 \cdot 0'85^2} = 10'165\% > 5\% \Rightarrow \text{No válido}$$

por lo que en este caso, el límite de transporte lo impone la pérdida de potencia del 5% y no el criterio de densidad de corriente. Igualado en la expresión anterior la pérdida de potencia del 5% correspondería a una potencia máxima de

$$P_{\max} = \frac{P_p(\%) \cdot V^2 \cdot \cos^2 \phi}{R \cdot V_n \cdot 100} = \frac{5 \cdot 230^2 \cdot 0'85^2}{0'0718 \cdot 200 \cdot 100} = 133'079 \text{ MW}$$

Si empleamos los coeficientes de la tabla A 4.3, comenzando por la potencia máxima por densidad de corriente (columna 2ª), se comprueba que:

$$P_{\max} = \frac{20'2868823}{66 \cdot 0'9 \cdot 341'530004} \cdot 230 \cdot 0'85 \cdot 1383'945951 = 270'5614 \text{ MW}$$

$$P_{max} = 1383'945951 \cdot 230 \cdot 0'85 = 270'5614 \text{ MW}$$

En la columna quinta de la tabla A.4.3 podemos comprobar cual es la pérdida de potencia para la potencia máxima por densidad de corriente:

$$P_p(\%) = \left(\frac{0'3968993}{209'56381072 \cdot 230 \cdot 0'85} \cdot 99'367319 \cdot 66 \cdot 0'8 \right) \cdot 200 = 10'165\% > 5\% \Rightarrow \text{No válido.}$$

Y de igual forma, desde la última columna de la tabla A.4.3

$$P_{max} = \left(\frac{45'4341591}{0'0718 \cdot 66^2 \cdot 0'8^2} \cdot 0'6136 \cdot 230^2 \cdot 0'85^2 \right) \cdot \frac{5}{200} = 133'079 \text{ MW} < 270'5614 \text{ MW}$$

También se puede obtener la pérdida de potencia que hay en la línea para la potencia transportada (120 MW). En la columna cuarta vemos que para 66 kV, el coeficiente es de 0'02200987 (%/MW·km). Corrigiendo este valor por el nuevo fdp, por la tensión de transporte y por el conductor empleado, multiplicando por los MW transportados y por los kilómetros de línea:

$$P_p(\%) = \left(\frac{0'02200987}{0'6136 \cdot 230^2 \cdot 0'85^2} \cdot 0'0718 \cdot 66^2 \cdot 0'8^2 \right) 120 \cdot 200 = 4'5086\% < 5\%$$

$$P_{pmax}(\%) = \left(\frac{0'02200987}{0'6136 \cdot 200^2 \cdot 0'85^2} \cdot 0'0718 \cdot 66^2 \cdot 0'8^2 \right) \cdot 133'079 \cdot 200 = 5\%$$

Si ahora se desea conocer la longitud máxima que podría tener la línea para que la potencia perdida no excediere de 120 kW, esto es el 0'1% de la potencia transportada (120 MW), habría que despejar la longitud de la ecuación

$$l = \frac{0'1 \cdot 230^2 \cdot 0'85^2}{120 \cdot 0'0718 \cdot 100} = 4'436 \text{ km}$$

lo que nos indica que pretender tener un 0'1% de potencia perdida con esta potencia transportada es algo imposible. Y es que las líneas de 230 kV no se dan con longitudes de 4 km

Desde las tablas se obtendrá, en la columna cuarta, el coeficiente para 68 kV y $fdp = 0.8$ de valor 0.02200987. Comigiado como antes este valor:

$$\frac{0.02200987}{0.6136 \cdot 230^2 \cdot 0.85^2} \cdot 0.0718 \cdot 66^2 \cdot 0.8^2 = 0.000187858 \% / \text{MW} \cdot \text{km}$$

Desde, despejando los km de línea, sustituyendo la pérdida de potencia por el 0.1% y la potencia transportada por 120 MW.

$$l = \frac{0.1}{120 \cdot 0.000187858} = 4.436 \text{ km.}$$

Por último queda por comprobar si el conductor LA 140 resulta para la línea del supuesto 4.1

En el supuesto 4.1 se comprobó que el criterio predominantemente en la línea era el de la pérdida de potencia requerida. Por este motivo, buscaremos el coeficiente del LA 140 desde el de la LA 56

El coeficiente del LA 56, bajo fdp 0.8 y tensión 20 kV, es 0.23968750. Comigiado este valor por el fdp de la línea (0.9) y por el conductor LA-140 (por su resistencia) se llega a:

$$0.23968750 \cdot \frac{0.8^2}{0.9^2} \cdot \frac{0.245}{0.6136} = 0.075617283 \% / \text{MW} \cdot \text{km}$$

Para la línea del supuesto 4.1, se requiere un coeficiente máximo.

$$\% / \text{MW} \cdot \text{km} = \frac{3}{6.6} = 0.08333 > 0.075617283 \% / \text{MW} \cdot \text{km} \Rightarrow \text{válido.}$$

• lo que es lo mismo, el LA 145 también, con los datos anteriores una pérdida de potencia del:

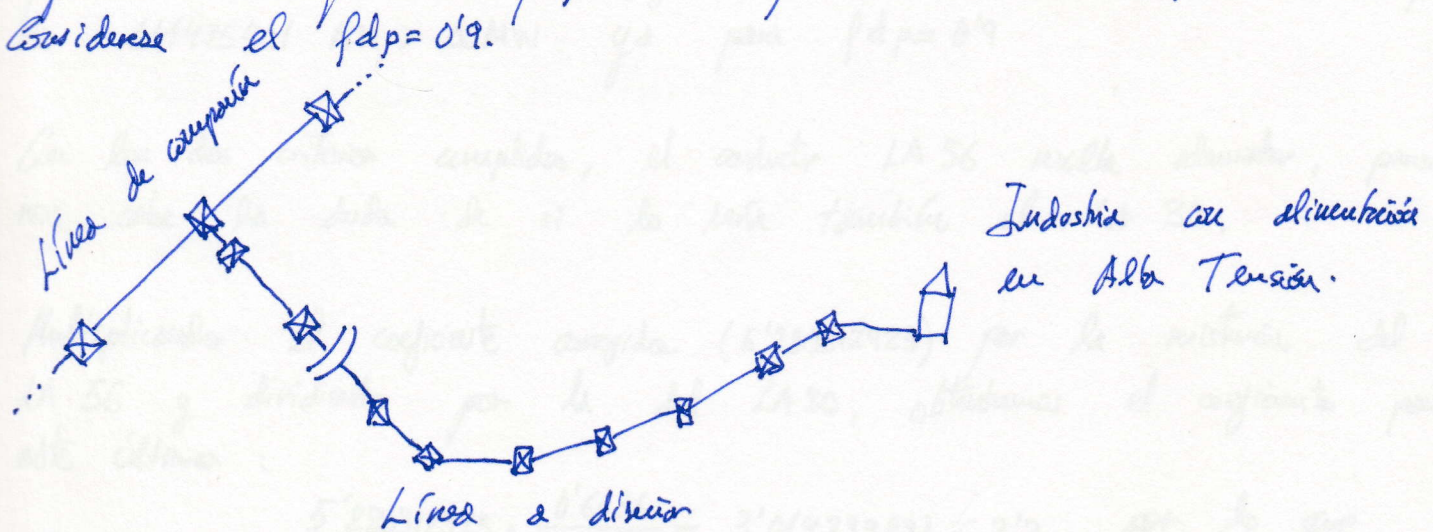
$$0.075617283 \cdot 6.6 = 2.722 \% < 3 \%$$

Los gráficos siguientes nos muestran los coeficientes representados en la tabla A 4.3 para los conductores LA más usuales.

A partir de los 45 kV, el coeficiente (P_p) \rightarrow (P_{max}) \rightarrow son parecidos.

SELECCIÓN DEL CONDUCTOR: (DESDE EL PUNTO ELÉCTRICO)

Elegir un conductor para la línea de Media Tensión (MT) de la figura, que pretendemos diseñar para alimentar a una industria en Alta Tensión (AT). La línea se conecta a una línea también de 20kV de la compañía eléctrica distribuidora que opera en la zona. La industria se encuentra a 3.2 km del punto de entronque. La potencia a transportar será de 1 MW, y se desea que la pérdida de potencia no sea superior al 1%. Considérese el $\text{fdp} = 0.9$.



- Criterio eléctrico a considerar \Rightarrow
- Potencia máxima que puede transportar el conductor por densidad de corriente (Intensidad máxima admisible)
 - Pérdida de potencia máxima (para minimizar los costes debidos a pérdidas)
 - Caída de tensión máxima menor que un valor determinado (para poder calcular la forma exacta tenemos que conocer la reactancia de la línea)

Para líneas cortas

$$\frac{PP(\%)}{CC(\%)} = \frac{R}{R \cdot \cos^2 \varphi + X \cdot \sin \varphi \cdot \cos \varphi}$$

Hemos de utilizar un conductor que tenga un coeficiente para P_{max} por densidad de corriente (columna 2 tabla A4.3) mayor que 1 MW, y para P_{max} (Columna 6 tabla A4.3) mayor que:

$$P_{max} = \frac{1.32}{1} \left(\frac{\text{MW} \cdot \text{km}}{\% P_p} \right) = 3.2$$

Recurriendo a la tabla A 4.3 obtenemos, para la condición de máxima potencia por densidad de corriente, el coeficiente 4'1720991, que es la corregida por fdp:

$$4'1720991 \cdot \frac{0'81}{0'64} = 5'280312923 > 3'2$$

que es superior a 3'2. En cuanto a la potencia máxima que puede transportar el LA 56, en la segunda columna citada tabla comprobamos que es 6'1475401 MW > 1 MW ya para fdp = 0'9

Con los dos criterios cumplidos, el conductor LA 56 resulta adecuado, pero nos cabe la duda de si lo sería también el LA 30.

Multiplicando el coeficiente corregido (5'280312923) por la resistencia del LA 56 y dividido por la del LA 30, obtenemos el coeficiente para este último:

$$5'280312923 \cdot \frac{0'6136}{1'0749} = 3'014233891 < 3'2 \quad \text{por lo que}$$

debemos escoger finalmente el LA 56.

La pérdida de potencia con este conductor es, tomando el coeficiente correspondiente de la columna 4ª de la tabla A 4.3, y corrigiéndolo al mismo fdp

$$P_p = \left(0'23968750 \cdot \frac{0'64}{0'81} \right) 1 \cdot 3'2 = 0'606\% \approx 1\%$$

Para finalizar con el cálculo eléctrico debemos estudiar la caída de tensión y compararla con la máxima caída de tensión que se pueda tener en la línea.

$$\epsilon(\%) = \frac{\sqrt{3} \cdot I \cdot l \cdot (R \cdot \cos \varphi + X \cdot \sin \varphi)}{V} \cdot 100$$

Para la línea que nos ocupa, tomaremos $X = 0'4 \Omega/\text{km}$, tal y como recomienda IBERDROLA en su Proyecto tipo.

Sustituyendo los valores conocidos.

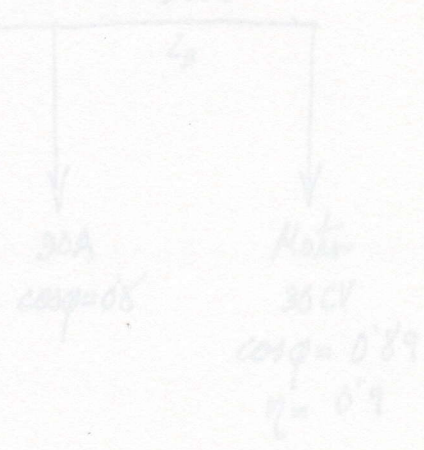
$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos\phi} = \frac{1 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0.9} = 32.075 \text{ A}$$

$$e(\%) = \frac{\sqrt{3} \cdot 32.075 \cdot 3.2 \cdot (0.6136 \cdot 0.9 + 0.4 \cdot 0.4358899)}{20000} \cdot 100 \approx 0.6459\%$$

También podría haberse calculado el valor anterior desde 4.14

$$\frac{P_p(\%)}{e(\%)} = \frac{0.6136}{0.6136 \cdot 0.81 + 0.4 \cdot 0.4358899 \cdot 0.9} = 0.9383176$$

$$e(\%) = \frac{0.606}{0.9383176} = 0.6459\% \rightarrow LA56 \checkmark$$



$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\phi} = \frac{15.736}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.837} = 24.29 \text{ A}$$

$$\frac{100 \cdot 60}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 1} = 8.66 \text{ A}$$

$$\frac{30 \cdot 736}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.9 \cdot 0.89} = 34.26 \text{ A}$$

La caída de tensión se produce de la siguiente manera:

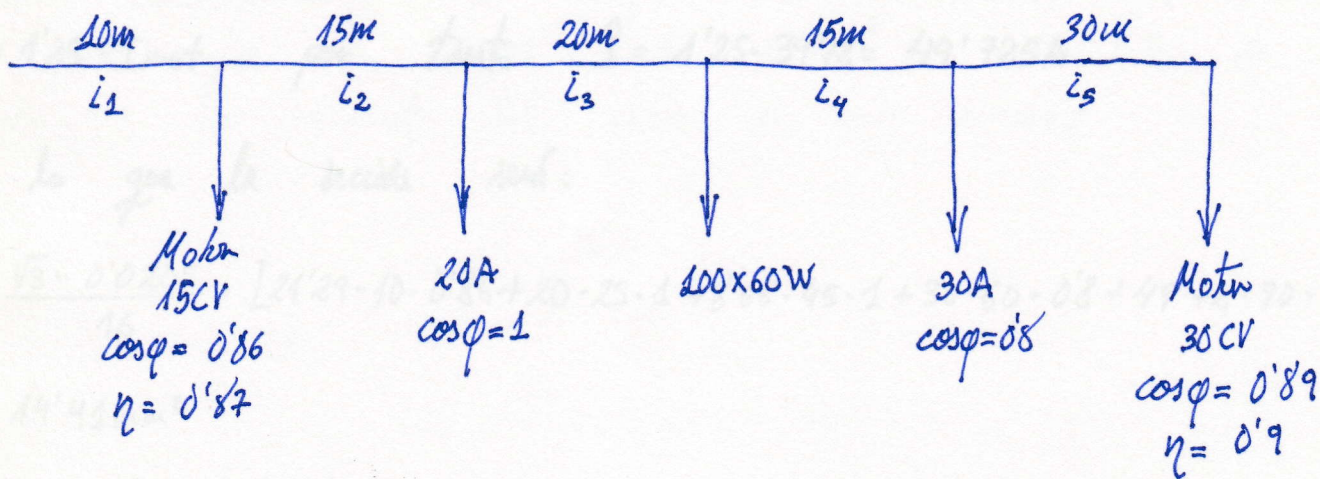
$$u\% = \frac{U_1 - U_2}{U_1} \cdot 100 \rightarrow \Delta U = U_1 - U_2 \rightarrow \Delta U = \frac{U_1 \cdot u\%}{100} = \frac{400 \cdot 4}{100} = 1.6 \text{ V}$$

Por otro lado la caída de tensión de un distribuidor trifásico está dada por:

$$S = \frac{\sqrt{3} \cdot l}{\Delta U} \cdot \sum I_j \cdot l_j \cdot \cos\phi_j$$

Por ser PVC, la temperatura máxima de servicio para la conductividad nominal es:

3.1 Dado el distribuidor de la figura, que represento una instalacion interior en el que se admite una cdt del 4% siendo la tension de servicio de 400V. Determinar la seccion del distribuidor cilindrico, teniendo en cuenta todas las exigencias reglamentarias y sabiendo que los conductores empleados son multipares de cobre, que estan dispuestos bajo tubo y el tipo de aislamiento utilizado es PVC.



• Las intensidades de los receptores serán:

$$i_1 = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\phi} = \frac{15 \cdot 736}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.86 \cdot 0.87} = 21.29 \text{ A}$$

$$i_3 = \frac{100 \cdot 60}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 1} = 8.66 \text{ A}$$

$$i_5 = \frac{30 \cdot 736}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.9 \cdot 0.89} = 39.78 \text{ A}$$

• La caída de tensión se resuelve de la siguiente manera:

$$u\% = \frac{u_1 - u_2}{U_N} \cdot 100 \rightarrow \Delta U = u_1 - u_2 \rightarrow \Delta U = \frac{U_N \cdot u\%}{100} = \frac{400 \cdot 4}{100} = 16 \text{ V}$$

• Por otro lado la seccion de un distribuidor cilindrico está definida por:

$$S = \frac{\sqrt{3} \cdot P}{\Delta U} \cdot \sum L_j \cdot I_j \cdot \cos\phi_j$$

• Por ser PVC, la temperatura máxima de servicio para la corriente nominal será:

$$\theta = 70^\circ\text{C} \quad \rho_{70} = \rho_{20} \cdot [1 + \alpha \cdot (\theta - 20)] = 0'0172 \cdot [1 + 0'0039 \cdot (70 - 20)] = 0'0205$$

$$\rho_{70} = 0'0205 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$$

Por alimentar a varios motores, según la ITC-BT 47 apartado 3.2 (varios motores):

$$\hat{I} = 1'25 \cdot I_{\text{mot}} \quad \text{por tanto} \quad \hat{I} = 1'25 \cdot 39'78 = 49'725 \text{ A}$$

Por lo que la sección será:

$$S = \frac{\sqrt{3} \cdot 0'0205}{16} \cdot [21'29 \cdot 10 \cdot 0'86 + 20 \cdot 25 \cdot 1 + 8'66 \cdot 45 \cdot 1 + 30 \cdot 60 \cdot 0'8 + 49'72 \cdot 90 \cdot 0'89]$$

$$S = 14'41 \text{ mm}^2$$

Esta sección será la mínima necesaria por cdt en la instalación es necesario comprobar la idoneidad por intensidad máxima admisible, en la parte más conflictiva que será en el primer tramo de la línea puesto que la idoneidad es la suma vectorial de los distintos demandados por todos los receptores, por lo que la intensidad total del sistema será la siguiente:

$$I_T = \vec{I}_1 + \vec{I}_2 + \vec{I}_3 + \vec{I}_4 + \vec{I}_5$$

$$I_T = \sqrt{(21'29 \cdot 0'86 + 20 \cdot 1 + 8'66 \cdot 1 + 30 \cdot 0'8 + 49'72 \cdot 0'89)^2 + (21'29 \cdot 0'51 + 30 \cdot 0'6 + 49'72 \cdot 0'455)^2} =$$

$$I_T = 126'19 \text{ A.}$$

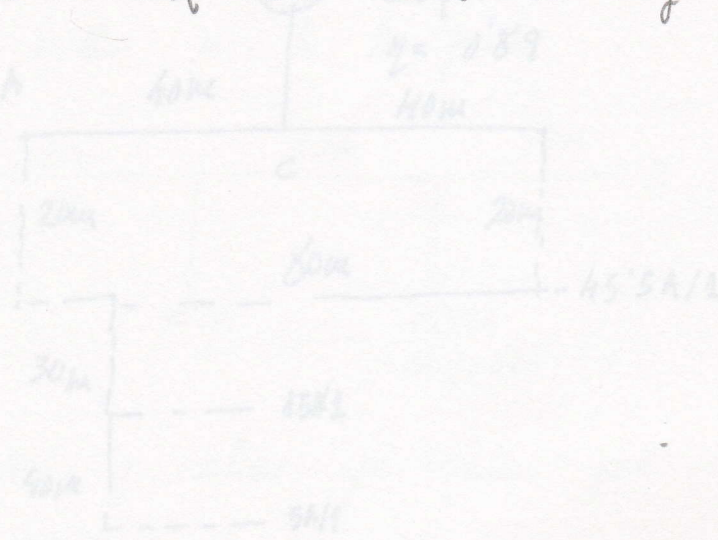
Según la ITC-BT-19 que nos permite a la Norma ONE 20460-5-523: 2004, por ser instalada al aire, interior y bajo techo nos encontramos que es una instalación fija B1, que corresponde a la columna 4. En conclusión, la intensidad admisible es:

Para $I_z = 134 \text{ A} > 126'19 \text{ A}$ corresponde a la sección $S_{CF} = 50 \text{ mm}^2$
 $S_{CN} = 50 \text{ mm}^2$

La sección mínima del conductor de protección según la ITC-BT 19 apartado 2.3 (conductores de protección).

$$S > 35 \rightarrow S/2 \Rightarrow 50/2 = 25 \text{ mm}^2 \quad S_{\text{cable}} = 25 \text{ mm}^2$$

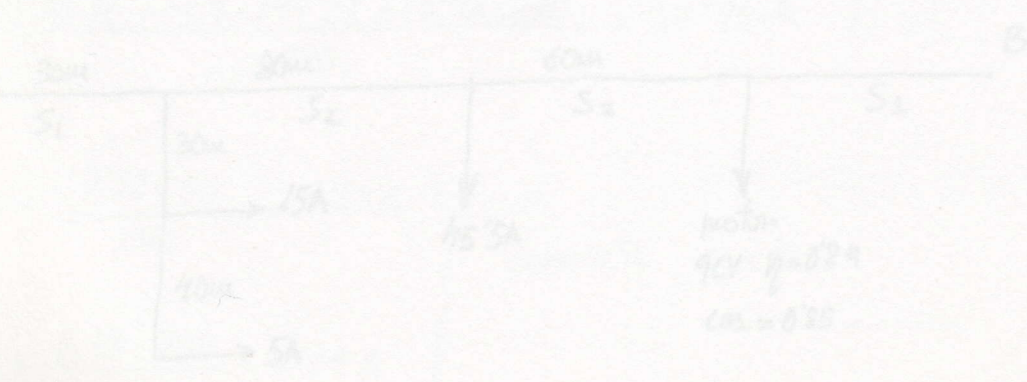
Probablemente será necesario una sección mayor que imponda el interruptor automático de protección, el cumplirá los requerimientos que se le exigen, puesto que el margen existe entre la intensidad de los receptores y la nominal del cable es muy estrecho.



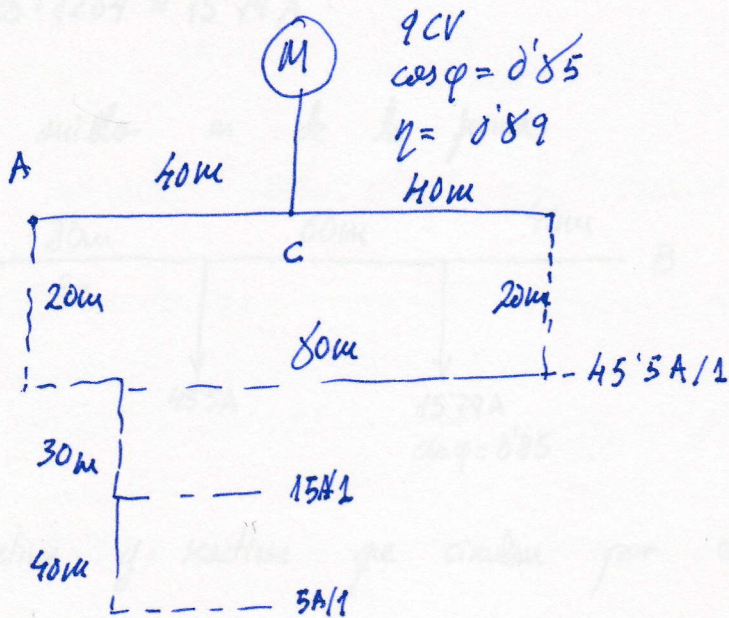
1- La sección del distribuidor en su totalidad, como distribuidor de circuitos de protección, las curvas de protección, se debe que la sección debe estar a un nivel de 0.7, considerando la superficie referencial.

2- La sección del cable derivado como línea de protección, considerando la superficie referencial si la está hecha al abrigo del canal derivado mínimo del 3%.

La primera parte de los detalles del cable, se debe por el punto de fijación la siguiente superficie.



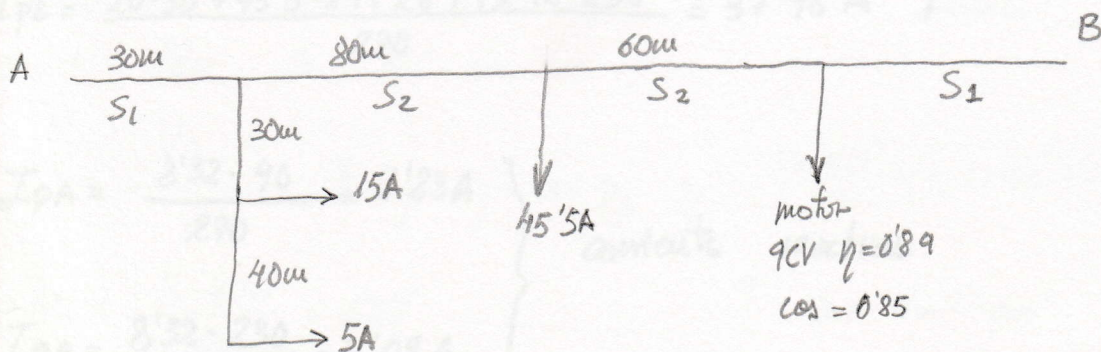
Dado el distribuidor de la figura que representa una instalación interior trifásica, alimentada por el punto A y sustentada por los conductores de cobre unipolares instalados bajo techo en montaje superficial con aislamiento de PVC, sabiendo que la cdt al punto de máxima tensión en el anillo no debe ser superior al 3% en tensión de servicio de 400. Determinar teniendo en cuenta todas las exigencias reglamentarias:



1 - Las secciones del distribuidor en anillo, como distribuidor cónico adoptando dos únicas secciones sabiendo que la relación entre ellas es igual a 0.7, comprobando la suficiencia reglamentaria.

2 - las secciones del ramal derivado como línea cilíndrica, comprobando la suficiencia reglamentaria si la cdt hasta el extremo del ramal derivado es máximo del 3%.

1- En primer primer lugar desarrollando el anillo, cortado por el punto A tenemos la siguiente configuración.



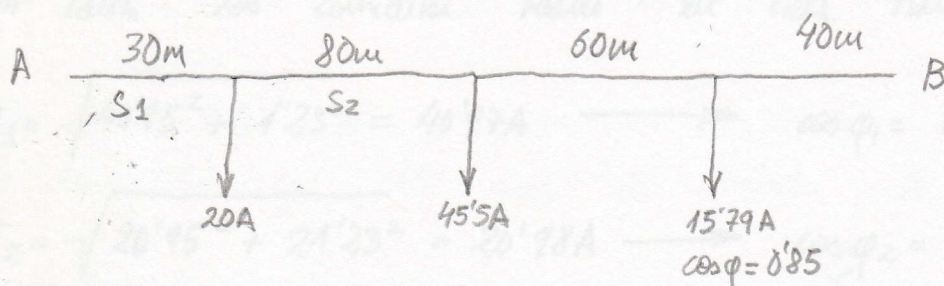
La corriente demandada por el motor es de:

$$I_m = \frac{9.736}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.89 \cdot 0.85} = 12.64 \text{ A}$$

Según la ITC-BT-47 apartado 3.1 (cuando solo motor) es necesario multiplicar la corriente del motor por el factor 1.25 de donde:

$$\hat{I} = 1.25 \cdot I_m = 1.25 \cdot 12.64 = 15.79 \text{ A}$$

Finalmente el anillo es de la forma:



Las corrientes activas y reactivas que circulan por el anillo son:

Componentes activas

Componentes reactivas

$$I_{1p} = 20 \text{ A}$$

$$I_{1q} = 0 \text{ A}$$

$$I_{2p} = 45.5 \text{ A}$$

$$I_{2q} = 0 \text{ A}$$

$$I_{3p} = 15.79 \cdot 0.85$$

$$I_{3q} = 15.79 \cdot 0.526 = 8.32 \text{ A}$$

Las corrientes activas y reactivas demandadas en cada extremo son

$$I_{pA} = \frac{20 \cdot 240 + 45.5 \cdot 125.71 + 13.42 \cdot 40}{270} = 40.95 \text{ A}$$

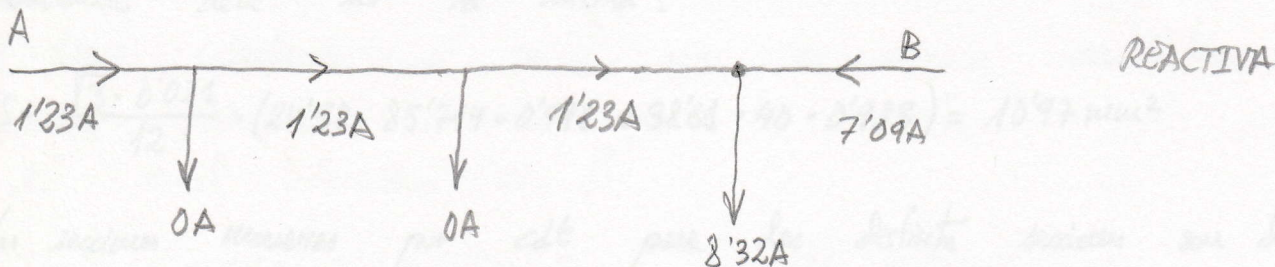
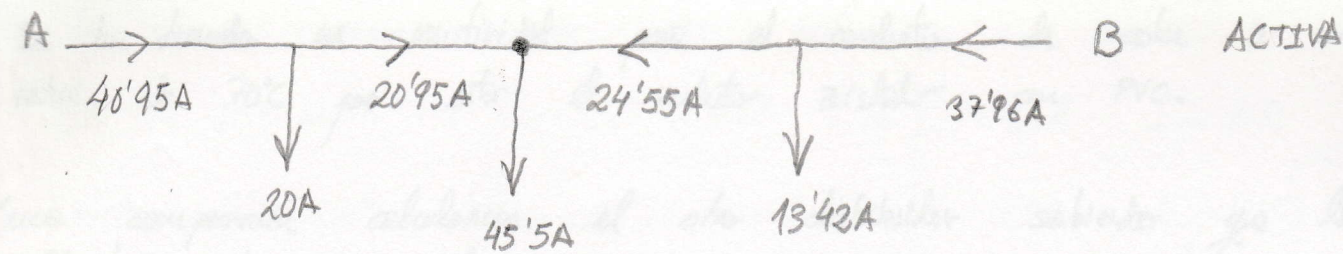
corrientes activas

$$I_{pB} = \frac{20 \cdot 30 + 45.5 \cdot 144.28 + 13.42 \cdot 230}{270} = 37.96 \text{ A}$$

$$I_{qA} = \frac{8.32 \cdot 40}{270} = 1.23 \text{ A}$$

corrientes reactivas.

$$I_{qB} = \frac{8.32 \cdot 230}{270} = 7.09 \text{ A}$$



Por tanto las corrientes reales en cada tramo son de:

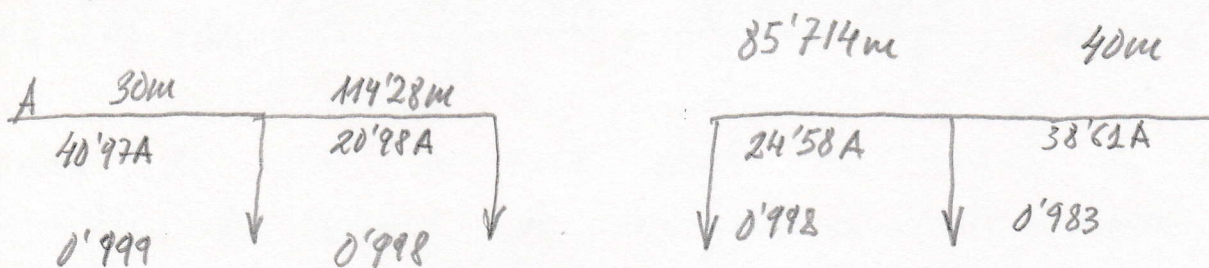
$$I_1 = \sqrt{40'95^2 + 1'23^2} = 40'97A \longrightarrow \cos \varphi_1 = 0'999$$

$$I_2 = \sqrt{20'95^2 + 1'23^2} = 20'98A \longrightarrow \cos \varphi_2 = 0'998$$

$$I_3 = \sqrt{24'55^2 + 1'23^2} = 24'58A \longrightarrow \cos \varphi_3 = 0'998$$

$$I_4 = \sqrt{37'96^2 + 7'09^2} = 38'61A \longrightarrow \cos \varphi_4 = 0'983$$

Evidentemente el punto de mínima del cable lo impone la corriente activa, por tanto cortados el cable por este punto tenemos las líneas



Calculándolos como distribuidor cilíndrico abierto, la sección por cdt debe de ser de

$$S = \frac{\sqrt{3} \cdot P}{\Delta U} \cdot \sum L_j \cdot I_j \cdot \cos \varphi_j \rightarrow S = \frac{\sqrt{3} \cdot 0'021}{12} \cdot (40'97 \cdot 30 \cdot 0'999 + 20'98 \cdot 114'25 \cdot 0'998)$$

$$\Delta U = \frac{3 \cdot 400}{100} = 12V \quad \uparrow \quad S = 10'97 \text{ mm}^2$$

Se ha tomado una resistividad para el conductor de cobre a esta temperatura de 70°C por estar el conductor aislado con PVC.

Como compromiso calculamos el otro distribuidor sabiendo que la sección resultante debe ser la misma:

$$S = \frac{\sqrt{3} \cdot 0'021}{12} \cdot (24'58 \cdot 85'714 \cdot 0'948 + 38'61 \cdot 40 \cdot 0'983) = 10'97 \text{ mm}^2$$

Las secciones necesarias por cdt para las distintas secciones son de

$$S_1 = S_4 = 10'97 \text{ mm}^2 \quad S_2 = S_3 = 10'97 \cdot 0'7 = 7'68 \text{ mm}^2$$

Por otro lado las secciones por intensidad máxima admisible a partir de la ITC - BT 019 para el método de instalación B1 es de:

En la tabla 4 de : UNE 20460-5-523 : 2004

$$U_L = \sqrt{3} \cdot 0'021 \cdot \left(\frac{30 \cdot 10'97 \cdot 0'948}{12} + \frac{20 \cdot 30}{4} + \frac{10 \cdot 5}{4} \right) = 10'66 \text{ V} < 12 \text{ V} = \text{SUFICIENTE}$$

Las secciones necesarias por cdt serán:

$$S_2 = S_4 = 10'97 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{C1} = S_{C4} = 16 \text{ mm}^2 \rightarrow IZ = 68 \text{ A} \text{ Suficiente}$$

$$S_2 = S_3 = 7'68 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{C2} = S_{C3} = 10 \text{ mm}^2 \rightarrow IZ = 50 \text{ A} \text{ Suficiente}$$

2) Ahora calculamos el canal con las mismas características que el canal principal, tenemos que la corriente en el principio del canal derivado es de:

$$I = 15 + 5 = 20 \text{ A} \Rightarrow S = 2'5 \text{ mm}^2 \quad IZ = 21 \text{ Suficiente}$$

En principio la sección de $2'5 \text{ mm}^2$ es idonea pero muy justa por intensidad, para compensar por cdt el conjunto de la instalación.

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot 0'021 \cdot \left(\frac{30 \cdot 40'97 \cdot 0'999}{16} + \frac{20 \cdot 30}{2'5} + \frac{40 \cdot 5}{2'5} \right) = 14'43 \text{ V} > 12 \text{ V} \text{ Insuficiente}$$

Se ha calculado desde el extremo A de alimentación sumando las cdt en cada tramo del sistema.

Por lo que aumentamos la sección a la inmediata superior $S = 4 \text{ mm}^2$

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot 0'021 \cdot \left(\frac{30 \cdot 40'97 \cdot 0'999}{16} + \frac{20 \cdot 30}{4} + \frac{40 \cdot 5}{4} \right) = 10'86 \text{ V} < 12 \text{ V} = \underline{\text{SUFICIENTE}}$$

Además la sección de 4 mm^2 admite una corriente de 28 A lo que posibilita la instalación de las protecciones. En resumen el canal derivado se debe instalar con una sección mínima de 4 mm^2 .

$$I_2 = 2 \cdot 2_3 = 128'3 \text{ A}$$

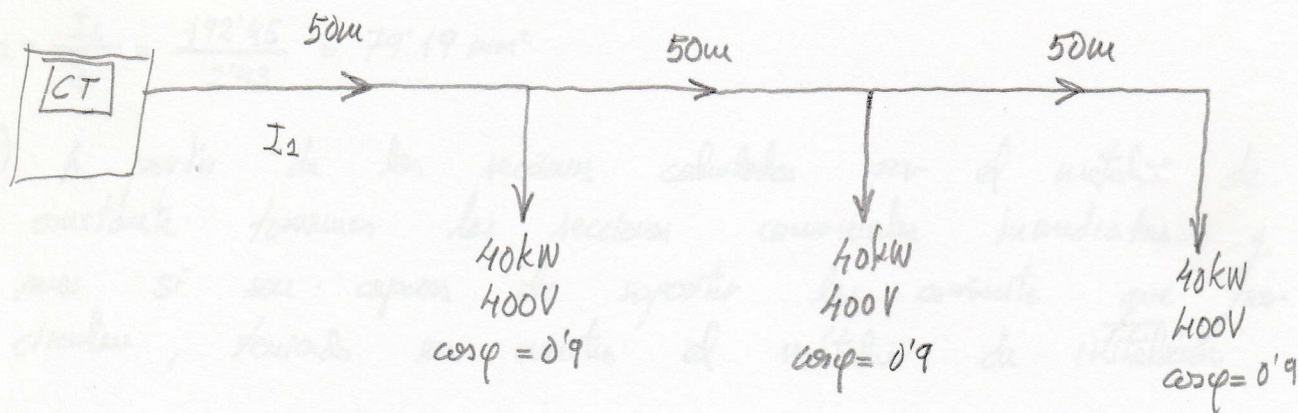
$$I_2 = 3 \cdot 2_3 = 192'45 \text{ A}$$

$$\Delta U = \frac{25\% \cdot 0 \text{ A}}{100} = \frac{2 \cdot 400}{100} = 12 \text{ V}$$

Desde un CT de propiedad particular parte un distribuidor óhmico
 óhmico que alimenta a tres cargas trifásicas de 40kW a 400V
 y factor de potencia 0,9 inductivo, siendo la distancia entre cargas
 y entre estas y el CT de 50m. Dicho distribuidor dispone bajo
 tierra y el primer tramo está además entubado, sabiendo que se va
 a efectuar, la instalación en cables unipolares de cobre, aislados con
 PVC y aislamiento de 1000V, que el suelo presenta una tempera-
 tura de 40°C. Determinar para que la cdt sea como máximo
 del 3% con una tensión de servicio de 400V por el método de
 densidad constante:

- 1) Los secciones necesarios en cada tramo por cdt
- 2) Los secciones comerciales a emplear comprobando la idoneidad de
 los mismos y la cdt porcentual resultante.

1) El esquema de la instalación es de la forma:



Por lo que la corriente en el tramo 3º es de:

$$I_3 = \frac{P_3}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\phi} = \frac{40 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,9} = 64,15 \text{ A}$$

mientras que la corriente en el
segundo tramo y primer tramo
serán de:

$$I_2 = 2 \cdot I_3 = 128,3 \text{ A}$$

$$I_1 = 3 \cdot I_3 = 192,45 \text{ A}$$

la cdt máxima admisible en el conjunto de la instalación será
 de:

$$\Delta U = \frac{\Delta U\% \cdot U_N}{100} = \frac{3 \cdot 400}{100} = 12 \text{ V}$$

Por otro lado la resistividad del material conductor, en este caso cobre a la temperatura de 70°C que impone el tipo de aislamiento PVC es de:

$$\rho_{70^{\circ}\text{C}} = 0.0176 \cdot [1 + 0.004(70 - 20)] = 0.0211 \text{ } (\Omega \text{mm}^2/\text{m}).$$

Aplicando el método de la densidad constante a este distribuidor, la expresión de esta es:

$$\delta = \frac{\Delta U}{\sqrt{3} \cdot \rho \cdot \Sigma \cdot L_j \cdot \cos \varphi_j} = \frac{12}{\sqrt{3} \cdot 0.0211 \cdot (50 \cdot 0.9) \cdot 3} = 2.43 \text{ A/mm}^2 \text{ por lo que}$$

las secciones que cumplen el criterio de la cdt serán:

$$S_3 = \frac{I_3}{\delta} = \frac{64.15}{2.43} = 26.39 \text{ mm}^2$$

$$S_2 = \frac{I_2}{\delta} = \frac{128.3}{2.43} = 52.79 \text{ mm}^2$$

$$S_1 = \frac{I_1}{\delta} = \frac{192.45}{2.43} = 79.19 \text{ mm}^2$$

2) A partir de las secciones calculadas por el método de la densidad constante tomamos las secciones comerciales inmediatas y comprobamos si son capaces de soportar las corrientes que por ellas circulan, teniendo en cuenta el método de instalación, estas son:

$$S_{c3} = 35 \text{ mm}^2 \quad S_{c2} = 70 \text{ mm}^2 \quad S_{c1} = 95 \text{ mm}^2$$

Por ser una instalación de propiedad particular, resulta ser una instalación interior o receptora y le es de aplicación la ITC-BT-19 en consecuencia la norma UNE 20460-5-523:2004. En la tabla 52-B2 de esta norma se establece que para cables enterrados bien directamente o en conductos del método de instalación D, (página 34 de la mencionada norma). Por otro lado como la temperatura del terreno se ha considerado de 40°C según la tabla 52-D2 de la norma UNE 20460-5-523:2004 el coeficiente corrector que se debe aplicar a cables aislados con PVC es de 0.77

Las intensidades admisibles según la tabla 52-C3 (página 37 de la norma UNE 20460-5-523: 2004) es de:

Sección 3°: Cable de 35 mm^2 : $I_2 = 103 \text{ A} > I_3 = 64,15 \text{ A}$. Pero en realidad aplicar el coeficiente corrector de 0,77 la intensidad de este cable entendiéndose a 40°C es de:

$$I = 103 \cdot 0,77 = 79,31 \text{ A} \quad \text{Suficiente} \quad S_{\text{COMERCIAL}} = 35 \text{ mm}^2$$