

Representación de líneas

1) Una línea de un solo circuito y de 16 km de longitud, cuyos parámetros son:
 $L = 1,137 \cdot 10^{-3} \frac{\text{H}}{\text{km}}$; $C = 10,215 \cdot 10^{-9} \frac{\text{F}}{\text{km}}$ y $r = 0,171 \frac{\Omega}{\text{km}}$. Esta alimentando a una carga de 2500 kW a 13,2 kV.

Hallar la tensión en el extremo transmisor cuando:

- a) $\cos(\varphi_R) = 0,8_i$
- b) $\cos(\varphi_R) = 1$
- c) $\cos(\varphi_R) = 0,8_c$

Reactancia inductiva:

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \cdot \text{lon}$$

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 1,137 \cdot 10^{-3} \cdot 16 \left[\frac{\text{H} \cdot \text{km}}{\text{s} \cdot \text{km}} \right]$$

$$X_L = 5,715 \Omega$$

Reactancia Capacitiva: Como es una línea corta se puede suponer $X_C = \infty$

Resistencia:

$$R = r \cdot \text{lon.}$$

$$R = 0,171 \cdot 16 \left[\frac{\Omega \cdot \text{km}}{\text{km}} \right]$$

$$R = 2,736 \Omega$$

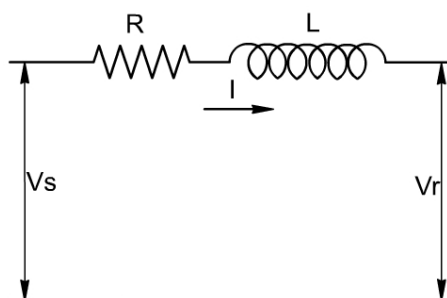
Impedancia:

$$Z = R + jX_L$$

$$Z = (2,736 + j5,715) \Omega$$

$$Z = 6,336 \angle 64,42^\circ \Omega$$

Circuito equivalente:



$$V_S = V_R + Z \cdot I$$

Corriente con $\cos \varphi_R = 0,8_i$

$$I = \frac{P_R}{\sqrt{3} \cdot V_R \cdot \cos \varphi_R}$$

$$I = \frac{2500}{\sqrt{3} \cdot 13,2 \cdot 0,8} \left[\frac{\text{kW}}{\text{kV}} \right] = 136,68 \text{ A}$$

$$(\cos \varphi_R = 0,8_i \Rightarrow \varphi_R = -36,87^\circ)$$

Tensión en el transmisor con $\cos \varphi_R = 0,8_i$

$$V_{Sf} = V_{Rf} + Z \cdot I$$

$$V_{Sf} = \frac{13,2}{\sqrt{3}} + 6,336 \angle 64,42^\circ \cdot (136,68 \cdot 10^{-3}) \angle -36,87^\circ \text{ [kV} + \Omega \cdot \text{kA]}$$

$$V_{Sf} = (8,389 + j0,4) = 8,399 \angle 2,73^\circ \text{ kV}$$

$$V_S = \sqrt{3} \cdot V_{Sf} = \sqrt{3} \cdot 8,399 \angle 2,73^\circ \text{ kV}$$

$$V_S = 14,55 \angle 2,73^\circ \text{ kV}$$

Corriente con $\cos \varphi_R = 1$

$$I = \frac{P_R}{\sqrt{3} \cdot V_R \cdot \cos \varphi_R}$$

$$I = \frac{2500}{\sqrt{3} \cdot 13,2} \left[\frac{\text{kW}}{\text{kV}} \right] = 109,347 \text{ A}$$

Tensión en el transmisor con $\cos \varphi_R = 1$

$$V_{Sf} = V_{Rf} + Z \cdot I$$

$$V_{Sf} = \frac{13,2}{\sqrt{3}} + 6,336 \angle 64,42^\circ \cdot 109,347 \cdot 10^{-3} \text{ [kV} + \Omega \cdot \text{kA]}$$

$$V_{Sf} = (7,92 + j0,625) = 7,945 \angle 4,512^\circ \text{ kV}$$

$$V_S = \sqrt{3} \cdot V_{Sf} = \sqrt{3} \cdot 7,945 \angle 4,512^\circ \text{ kV}$$

$$V_S = 13,76 \angle 4,512^\circ \text{ kV}$$

Corriente con $\cos \varphi_R = 0,8_C$

$$I = \frac{P_R}{\sqrt{3} \cdot V_R \cdot \cos \varphi_R}$$

$$I = \frac{2500}{\sqrt{3} \cdot 13,2 \cdot 0,8} \left[\frac{\text{kW}}{\text{kV}} \right] = 136,68 \text{ A} \quad (\cos \varphi_R = 0,8_C \Rightarrow \varphi_R = 36,87^\circ)$$

Tensión en el transmisor con $\cos \varphi_R = 0,8_C$

$$V_{Sf} = V_{Rf} + Z \cdot I$$

$$V_{Sf} = \frac{13,2}{\sqrt{3}} + 6,336 \angle 64,42^\circ \cdot (136,68 \cdot 10^{-3}) \angle 36,87^\circ \text{ [kV} + \Omega \cdot \text{kA]}$$

$$V_{Sf} = (7,452 + j0,849) = 7,5 \angle 6,5^\circ \text{ kV}$$

$$V_S = \sqrt{3} \cdot V_{Sf} = \sqrt{3} \cdot 7,5 \angle 6,5^\circ \text{ kV}$$

$$V_S = 12,99 \angle 6,5^\circ \text{ kV}$$

2) Una línea tiene 400 km de longitud, su impedancia serie es $Z = (50 + j200) \Omega$ y su admitancia paralelo: $Y = j656 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\Omega}$ alimenta una carga de 40 MW a 220 kV y $\cos \varphi_R = 0,9$. Determinar la tensión en el extremo generador:

- a) Como si fuera una línea corta
- b) Como si fuera una línea media (circuito π)
- c) Con la ecuación de las líneas largas

$$Z = (50 + j200) \Omega = 206 \angle 84,3^\circ \Omega$$

$$I_R = \frac{P_R}{\sqrt{3} \cdot V_R \cdot \cos \varphi_R} = \frac{40}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 0,9} \quad I_R = 0,117 \angle -25,84^\circ \text{ kA}$$

$$Y = j656 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\Omega}$$

a) Línea Corta $\Rightarrow Y = 0; I_S = I_R = I$

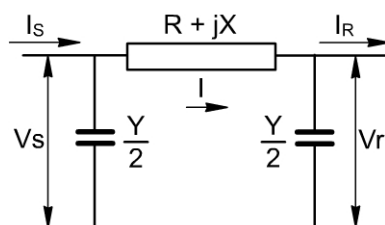
$$V_{Sf} = V_{Rf} + Z \cdot I \quad V_{Sf} = \frac{220}{\sqrt{3}} + 206 \angle 84,3^\circ \cdot 0,117 \angle -25,84^\circ$$

$$V_{Sf} = \frac{220}{\sqrt{3}} + 12,6 + j20,54$$

$$V_{Sf} = 141 \angle 8,37^\circ \text{ kV}$$

$$V_S = 244,2 \angle 8,37^\circ \text{ kV}$$

b) Línea media



$$V_{Sf} = V_{Rf} \cdot \left(1 + \frac{Z \cdot Y}{2}\right) + I_R \cdot Z$$

$$V_{Sf} = \frac{220}{\sqrt{3}} \cdot \left(1 + \frac{206 \angle 84,3^\circ \cdot 656 \cdot 10^{-6} \angle 90^\circ}{2}\right) + 0,117 \angle -25,84^\circ \cdot 206 \angle 84,3^\circ$$

$$V_{Sf} = 127 + 8,57 \angle 174,3^\circ + 24,1 \angle 58,46^\circ$$

$$V_{Sf} = 127 - 8,53 + j0,85 + 12,6 + j20,54 = 131,1 + j21,39$$

$$V_{Sf} = 132,83 \angle 9,3^\circ \text{ kV}$$

$$V_S = 230 \angle 9,3^\circ \text{ kV}$$

c) Línea Larga

$$V_{Sf} = \frac{V_{Rf} + I_R \cdot Z_0}{2} \cdot e^{\gamma \cdot l} + \frac{V_{Rf} - I_R \cdot Z_0}{2} \cdot e^{-\gamma \cdot l}$$

$$Z_0 = \sqrt{\frac{Z}{Y}} = \sqrt{\frac{206 \angle 84,3^\circ}{656 \cdot 10^{-6} \angle 90^\circ}} = 560,4 \angle -2,85^\circ \Omega$$

$$\gamma \cdot l = \sqrt{Z \cdot Y} = \sqrt{206 \angle 84,3^\circ \cdot 656 \cdot 10^{-6} \angle 90^\circ}$$

$$\gamma \cdot l = 0,27 \angle 87,15^\circ = 1,34 \cdot 10^{-2} + j0,269$$

$$e^{\pm \gamma \cdot l} = e^{(\pm 1,34 \cdot 10^{-2})} \cdot e^{(\pm j0,269)}$$

$$e^{1,34 \cdot 10^{-2}} = 1,0135 \quad e^{-1,34 \cdot 10^{-2}} = 0,987$$

$$e^{j0,269} = 1 \angle \frac{0,269 \cdot 180}{\pi} = 1 \angle 15,4^\circ \quad e^{-j0,269} = 1 \angle -15,4^\circ$$

$$V_{Sf} = \frac{\frac{220}{\sqrt{3}} + 0,117 \angle -25,84^\circ \cdot 506,4 \angle -2,85^\circ}{2} \cdot 1,0135 \angle 15,4^\circ +$$

$$+ \frac{\frac{220}{\sqrt{3}} - 0,117 \angle -25,84^\circ \cdot 506,4 \angle -2,85^\circ}{2} \cdot 0,987 \angle -15,4^\circ$$

$$V_{Sf} = 131,44 \angle 6,07^\circ \text{ kV}$$

$$V_S = 227,7 \angle 6,07^\circ \text{ kV}$$

3) Una línea tiene: $L = 1,305 \cdot 10^{-3} \frac{\text{H}}{\text{km}}$; $C = 8,7 \cdot 10^{-9} \frac{\text{F}}{\text{km}}$; $r = 0,186 \frac{\Omega}{\text{km}}$

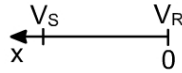
En el receptor, abierto, la tensión es de 132 kV. Hallar:

- La tensión incidente en el extremo receptor.
- La tensión reflejada en el extremo receptor.
- La tensión a 121 km del receptor.

La ecuación que permite calcular la tensión en cualquier punto de la línea es:

$$V_x = \frac{V_{Rf} + I_R \cdot Z_0}{2} \cdot e^{\sqrt{Z \cdot Y} \cdot x} + \frac{V_{Rf} - I_R \cdot Z_0}{2} \cdot e^{-\sqrt{Z \cdot Y} \cdot x}$$

El primer término de la ecuación es la tensión incidente y el segundo la tensión reflejada. La distancia x , se mide desde el receptor hasta el transmisor:



a) Tensión incidente en el extremo receptor:

$$x = 0 \Rightarrow \sqrt{Z \cdot Y} \cdot x = 0 \therefore e^{\sqrt{Z \cdot Y} \cdot x} = 1$$

$$I_R = 0 \Rightarrow I_R \cdot Z_0 = 0$$

$$V_{iRf} = \frac{V_{Rf}}{2} \quad V_{iRf} = \frac{132}{2 \cdot \sqrt{3}} \text{ kV} \quad V_{iRf} = 38,105 \angle 0^\circ \text{ kV} \quad V_{iR} = 66 \angle 0^\circ \text{ kV}$$

b) Tensión reflejada en el extremo receptor:

Haciendo las mismas consideraciones que en el caso anterior:

$$e^{-\sqrt{Z \cdot Y} \cdot x} = 1 \quad \text{o sea: } V_{rR} = \frac{V_R}{2}, \text{ por lo tanto: } V_{rR} = 66 \angle 0^\circ \text{ kV}$$

c) Tensión a 121 km del receptor:

$$x = 121 \text{ km}$$

$$z = r + j\omega L; \quad z = r + j \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$$

$$z = 0,186 + j \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 1,305 \cdot 10^{-3}$$

$$z = (0,186 + j \cdot 0,41) \frac{\Omega}{\text{km}} = 0,45 \angle 65,6^\circ \frac{\Omega}{\text{km}}$$

$$y = j\omega C; \quad y = j \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C$$

$$y = j \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 8,7 \cdot 10^{-9}$$

$$y = 2,733 \cdot 10^{-6} \angle 90^\circ \frac{1}{\Omega \cdot \text{km}}$$

$$\sqrt{z \cdot y} = \sqrt{0,45 \angle 65,6^\circ \cdot 2,733 \cdot 10^{-6} \angle 90^\circ} \left[\frac{\Omega}{\Omega \cdot \text{km} \cdot \text{km}} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\sqrt{z \cdot y} = 1,109 \cdot 10^{-3} \angle 77,8^\circ \frac{1}{\text{km}}$$

$$\sqrt{z \cdot y} \cdot x = 1,109 \cdot 10^{-3} \angle 77,8^\circ \cdot 121 \left[\frac{\text{km}}{\text{km}} \right]$$

$$\sqrt{z \cdot y} \cdot x = 0,134 \angle 77,8^\circ = 2,836 \cdot 10^{-2} + j \cdot 0,131$$

$$e^{\sqrt{z \cdot y} \cdot x} = e^{2,836 \cdot 10^{-2}} \cdot e^{j \cdot 0,131}$$

$$e^{2,836 \cdot 10^{-2}} = 1,0288; \quad e^{j \cdot 0,131} = 1 \angle \frac{0,131 \cdot 180}{\pi} = 1 \angle 7,51^\circ$$

$$e^{-\sqrt{z \cdot y} \cdot x} = e^{-2,836 \cdot 10^{-2}} \cdot e^{-j \cdot 0,131}$$

$$e^{-2,836 \cdot 10^{-2}} = 0,972; \quad e^{-j \cdot 0,131} = 1 \angle \frac{-0,131 \cdot 180}{\pi} = 1 \angle -7,51^\circ$$

$$V_{xf} = \frac{V_{Rf} + I_R \cdot Z_0}{2} \cdot e^{\sqrt{z \cdot y} \cdot x} + \frac{V_{Rf} - I_R \cdot Z_0}{2} \cdot e^{-\sqrt{z \cdot y} \cdot x}$$

$$\text{Pero como } I_R = 0 \Rightarrow I_R \cdot Z_0 = 0$$

$$V_{xf} = \frac{132}{2 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1,0288 \angle 7,51^\circ + \frac{132}{2 \cdot \sqrt{3}} \cdot 0,972 \angle -7,51^\circ$$

$$V_{xf} = 39,2 \angle 7,51^\circ + 37,04 \angle -7,51^\circ$$

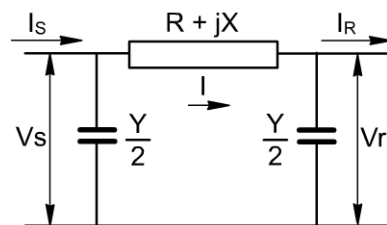
$$V_{xf} = 38,87 + j5,12 + 36,72 - j4,84$$

$$V_{xf} = 75,59 + j0,28 \quad V_{xf} = 75,59 \angle 0,21^\circ \text{ kV} \quad V_x = 131 \angle 0,21^\circ \text{ kV}$$

4) Si en el problema 3, la línea tiene 121 km de longitud y suministra 40 MW a 132 kV con $\cos \varphi_R = 0,8_i$.

Hallar la tensión, corriente, potencia y $\cos \varphi_R$ en el extremo transmisor. Calcular, además, el rendimiento de la transmisión, la impedancia característica, la longitud de onda y la velocidad de propagación.

Si la línea tiene una longitud total de 121 Km, se puede considerar como media y resolver mediante el circuito π



$$Z = 0,186 \cdot 121 + j0,41 \cdot 121 = 22,506 + j49,61$$

$$Z = 54,476 \angle 65,6^\circ \Omega$$

$$Y = j2,733 \cdot 10^{-6} \cdot 121 = 3,307 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\Omega}$$

$$I_R = \frac{40}{\sqrt{3} \cdot 132 \cdot 0,8} = 0,2187 \angle -36,87^\circ \text{ kA}$$

$$V_S = V_R \cdot \left(1 + \frac{Z \cdot Y}{2} \right) + Z \cdot I_R$$

$$V_{Sf} = \frac{132}{\sqrt{3}} \cdot \left(1 + \frac{54,476 \angle 65,6^\circ \cdot 3,307 \cdot 10^{-4} \angle 90^\circ}{2} \right) + 54,476 \angle 65,6^\circ \cdot 0,2187 \angle -36,87^\circ$$

$$V_{Sf} = 76,21 \cdot \left(1 + 9 \cdot 10^{-3} \angle 155,6^\circ \right) + 11,914 \angle 28,73^\circ$$

$$V_{Sf} = 76,21 + 0,686 \angle 155,6^\circ + 11,914 \angle 28,73^\circ$$

$$V_{Sf} = 76,21 - 0,625 + j0,283 + 10,447 + j5,739$$

$$V_{Sf} = 86,032 + j6,022$$

$$V_{Sf} = 86,242 \angle 4^\circ \text{ kV}$$

$$I_S = V_R \cdot Y \cdot \left(1 + \frac{Z \cdot Y}{4} \right) + I_R \cdot \left(1 + \frac{Z \cdot Y}{2} \right)$$

$$I_S = \frac{132}{\sqrt{3}} \cdot 3,307 \cdot 10^{-4} \angle 90^\circ \cdot \left(1 + \frac{54,476 \angle 65,6^\circ \cdot 3,307 \cdot 10^{-4} \angle 90^\circ}{4} \right) + 218,69 \cdot 10^{-3} \angle -36,87^\circ \cdot \left(1 + \frac{54,476 \angle 65,6^\circ \cdot 3,307 \cdot 10^{-4} \angle 90^\circ}{2} \right) =$$

$$I_S = 2,52 \cdot 10^{-2} \angle 90^\circ \left(1 + 4,5 \cdot 10^{-3} \angle 155,6^\circ \right) + 0,219 \angle -36,87^\circ \cdot \left(1 + 9 \cdot 10^{-3} \angle 155,6^\circ \right)$$

$$I_S = 2,52 \cdot 10^{-2} \angle 90^\circ - 1,134 \cdot 10^{-4} \angle 245,6^\circ + 0,219 \angle -36,87^\circ + 1,971 \cdot 10^{-3} \angle 118,73^\circ$$

$$I_S = j2,52 \cdot 10^{-2} + 4,68 \cdot 10^{-5} + j1,033 \cdot 10^{-4} + 0,175 - j0,131 - 9,474 \cdot 10^{-4} + j1,728 \cdot 10^{-3}$$

$$I_S = 0,174 - j0,127$$

$$I_S = 0,215 \angle -36,12^\circ \text{ kA}$$

$$S_{Sf} = V_{Sf} \cdot I_{Sf}^*$$

$$S_{Sf} = 86,242 \angle 4^\circ \cdot 0,215 \angle 36,12^\circ = 18,54 \angle 40,12^\circ \text{ MVA}$$

$$S_S = 3 \cdot S_{Sf} = 3 \cdot 18,54 \angle 40,12^\circ = 55,62 \angle 40,12^\circ \text{ MVA}$$

$$S_S = 55,62 \angle 40,12^\circ \text{ MVA}$$

$$P_S = 42,53 \text{ MW}$$

$$Q_S = 35,84 \text{ MVAR}$$

Rendimiento:

$$\eta = \frac{P_R}{P_S} \cdot 100 \quad \eta = \frac{40}{42,53} \cdot 100$$

$$\eta = 94\%$$

Impedancia característica:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{Z}{Y}} = \sqrt{\frac{0,45 \angle 65,6^\circ}{2,733 \cdot 10^{-6} \angle 90^\circ}} \quad Z_0 = 405,78 \angle -12,18^\circ \Omega$$

Longitud de onda: $\lambda = \frac{2 \cdot \pi}{\beta}$

$$\alpha + j\beta = \sqrt{Z \cdot Y} = \sqrt{0,45 \angle 65,6^\circ \cdot 2,733 \cdot 10^{-6} \angle 90^\circ} = 1,109 \cdot 10^{-3} \angle 77,8^\circ$$

$$\alpha = 1,109 \cdot 10^{-3} \cos(77,8^\circ) = 2,34356 \cdot 10^{-4}$$

$$\beta = 1,109 \cdot 10^{-3} \sin(77,8^\circ) = 1,08395 \cdot 10^{-3}$$

$$\lambda = \frac{2 \cdot \pi}{1,08395 \cdot 10^{-3}} \quad \lambda = 5796,54 \text{ km}$$

Velocidad de propagación:

$$v = f \cdot \lambda = 50 \cdot 5796,54$$

$$v = 289\,827 \text{ km/seg}$$

5) Una línea trifásica tiene: $V_R = 500 \text{ kV}$; long. = 420 km ; $r = 0,05 \frac{\Omega}{\text{km}}$

$$x_L = j0,25 \frac{\Omega}{\text{km}} ; y = j3,12 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\Omega \cdot \text{km}} ; S_R = 250 \text{ MVA}$$

Determinar: $V_S = f(\cos \varphi_R)$ y graficar para un $\cos \varphi_R$ variando de 0,8_i a 0,8_c, con intervalos $\Delta \cos \varphi_R = 0,1$

Resistencia: $R = r \cdot \text{long.}$

$$R = 0,05 \cdot 420 \left[\frac{\Omega \cdot \text{km}}{\text{km}} \right] \quad R = 21 \Omega$$

Reactancia Inductiva: $X_L = x_L \cdot \text{long.}$

$$X_L = j0,25 \cdot 420 \left[\frac{\Omega \cdot \text{km}}{\text{km}} \right] \quad X_L = j105 \Omega$$

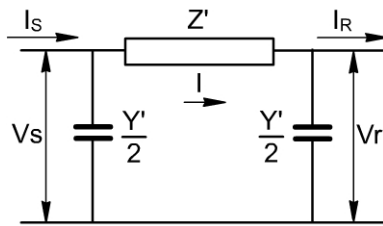
Admitancia: $Y = y \cdot \text{long.}$

$$Y = j3,12 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \left[\frac{\text{km}}{\Omega \cdot \text{km}} \right] \quad Y = j1,31 \cdot 10^{-3} \Omega$$

Corriente del receptor: $I_R = \frac{S_R}{\sqrt{3} \cdot V_R}$

$$|I_R| = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 500} \left[\frac{\text{MVA}}{\text{kV}} \right] \quad I_R = 0,289 \text{ kA}$$

La línea es larga, por lo tanto se utiliza el circuito equivalente π con los parámetros corregidos.



Para este circuito, la expresión de la tensión de transmisión es:

$$V_{Sf} = V_{Rf} \left(1 + Z' \cdot \frac{Y'}{2} \right) + I_R \cdot Z'$$

Corrección para la impedancia: $Z' = Z \cdot \frac{\text{sh} \gamma l}{\gamma l}$

Corrección para la admitancia: $Y' = Y \cdot \frac{\text{th} \frac{\gamma l}{2}}{\frac{\gamma l}{2}}$

De los gráficos se obtienen: $\frac{\text{sh} \gamma l}{\gamma l}$ y $\frac{\text{th} \frac{\gamma l}{2}}{\frac{\gamma l}{2}}$

Entrando con el módulo y el ángulo de $Z \cdot Y$:

$$Z \cdot Y = 107,079 \angle 78,69^\circ \cdot 1,31 \cdot 10^{-3} \angle 90^\circ = 0,14 \angle 168,7^\circ$$

$$\frac{\text{sh} \gamma l}{\gamma l} = 0,9774 \angle 0,28^\circ; \quad \frac{\text{th} \frac{\gamma l}{2}}{\frac{\gamma l}{2}} = 1,0117 \angle -0,25^\circ$$

$$Z' = 107,079 \angle 78,69^\circ \cdot 0,9774 \angle 0,28^\circ \quad Z' = 105,36 \angle 78,97^\circ \Omega$$

$$\frac{Y'}{2} = \frac{1,3104 \cdot 10^{-4} \angle 90^\circ}{2} \cdot 1,0117 \angle -0,25^\circ \quad \frac{Y'}{2} = 6,6287 \cdot 10^{-4} \angle 89,75^\circ \frac{1}{\Omega}$$

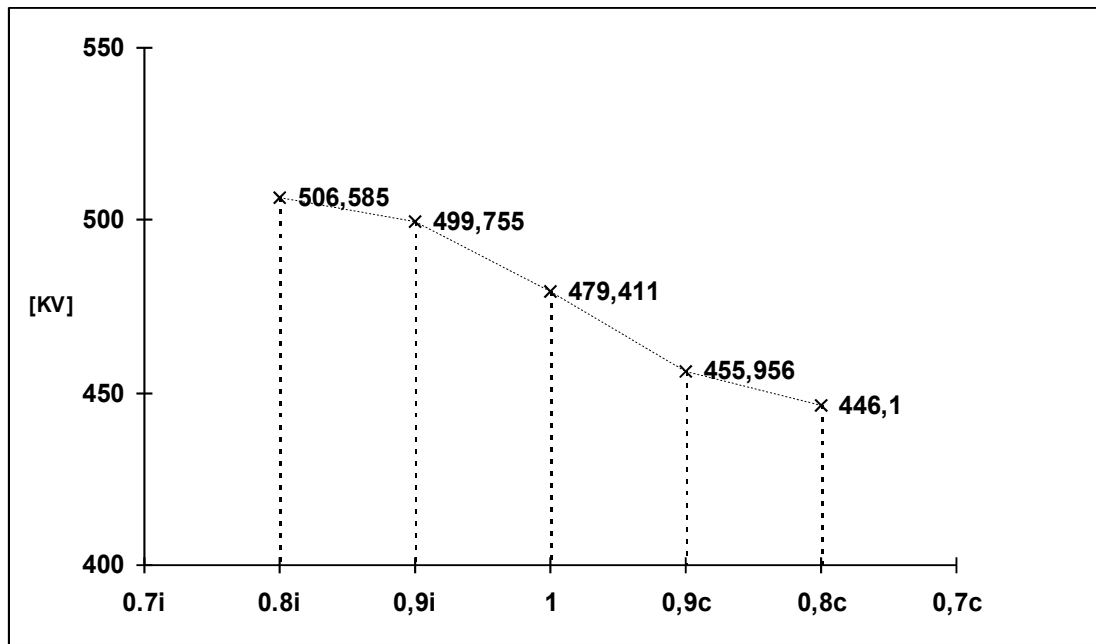
La expresión para calcular la tensión en función del $\cos \varphi_R$ es:

$$V_{Sf} = \frac{500}{\sqrt{3}} \cdot \left(1 + 105,36 \angle 78,97^\circ \cdot 6,6287 \cdot 10^{-4} \angle 89,75^\circ \right) + 0,289 \angle \varphi_R \cdot 105,36 \angle 78,97^\circ$$

$$V_{Sf} = 268,9 + j3,94 + 30,41 \angle 78,97 + \varphi_R$$

Dándole valores a φ_R se obtiene la siguiente tabla:

$\cos \varphi_R$	φ_R	Vsf [kV]	[Vsf] [kV]	[Vs] [kV]
0,8I	-36,87	291,460 + j24,328	292,477	506,585
0,9I	-25,84	287,146 + j28,268	288,530	499,755
1	0	274,718 + j33,788	276,788	479,411
0,9C	25,84	261,127 + j33,340	263,250	455,956
0,8C	36,87	255,646 + j31,309	257,556	446,100



6) Una línea de 292 km; $z = (0,12 + j0,4) \frac{\Omega}{\text{km}}$; $y = j3,815 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\Omega \cdot \text{km}}$, alimenta una carga de 40 MW a 220 kV. Si el factor de potencia varía entre 0,9_c y 0,8_i. Graficar el rendimiento en función del factor de potencia.

$$\text{Impedancia: } z = (0,12 + j0,4) = 0,4176 \angle 73,3^\circ \frac{\Omega}{\text{km}} \quad Z = z \cdot \text{long} = 121,94 \angle 73,3^\circ \Omega$$

$$\text{Admitancia: } Y = j3,815 \cdot 10^{-6} \cdot 292 = j9,3 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\Omega}$$

$$Z \cdot Y = 121,94 \angle 73,3^\circ \cdot 9,3 \cdot 10^{-4} \angle 90^\circ = 0,113 \angle 163,3^\circ$$

$$\frac{\text{sh} \gamma l}{\gamma l} = 0,9823 \angle 0,33^\circ; \quad \frac{\text{th} \frac{\gamma l}{2}}{\frac{\gamma l}{2}} = 1,009 \angle -0,15^\circ$$

$$Z' = 121,94 \angle 73,3^\circ \cdot 0,9823 \angle 0,33^\circ = 119,78 \angle 73,63^\circ$$

$$\frac{Y'}{2} = \frac{9,3 \cdot 10^{-4} \angle 90^\circ}{2} \cdot 1,009 \angle -0,15^\circ = 4,692 \cdot 10^{-4} \angle 89,85^\circ$$

$$\begin{cases} V_{Sf} = V_{Rf} \cdot \left(1 + \frac{Z' Y'}{2}\right) + Z' \cdot I_R \\ I_S = V_{Rf} \cdot Y' \cdot \left(1 + \frac{Z' Y'}{4}\right) + \left(1 + \frac{Z' Y'}{2}\right) \cdot I_R \end{cases}$$

$$I_R = \frac{40}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot \cos \varphi_R} = \frac{0,105}{\cos \varphi_R} \text{ kA}$$

$$\frac{Z' \cdot Y'}{2} = 119,78 \angle 73,63^\circ \cdot 4,692 \cdot 10^{-4} \angle 89,85^\circ = 5,62 \cdot 10^{-2} \angle 163,48^\circ = -5,39 \cdot 10^{-2} + j1,6 \cdot 10^{-2}$$

$$1 + \frac{Z' \cdot Y'}{2} = 0,946 + j1,6 \cdot 10^{-2} = 0,9463 \angle 0,97^\circ \quad 1 + \frac{Z' \cdot Y'}{4} = 0,973 + j8 \cdot 10^{-3} = 0,9731 \angle 0,47^\circ$$

$$V_{Rf} \cdot Y' = \frac{220}{\sqrt{3}} \cdot 2 \cdot 4,692 \cdot 10^{-4} \angle 89,85^\circ = 0,116 \angle 89,85^\circ$$

$$V_{Sf} = 120,158 + j2,03 + \frac{12,58}{\cos \varphi_R} \angle 73,63 + \varphi_R \quad I_S = -6,305 \cdot 10^{-4} + j0,1129 + \frac{0,1}{\cos \varphi_R} \angle 0,97 + \varphi_R$$

$\cos \varphi_R$	V_{Sf} [kV]	I_S [kA]	S_S [MVA]	P_S [MW]	η [%]
0,95c	120,705 $\angle 7,265^\circ$	0,18590 $\angle 57,89^\circ$	67,317 $\angle -50,625^\circ$	42,706	93,7
1	124,500 $\angle 6,500^\circ$	0,15975 $\angle 51,43^\circ$	59,667 $\angle -44,930^\circ$	42,224	94,7
0,9i	130,140 $\angle 5,460^\circ$	0,12580 $\angle 39,25^\circ$	49,115 $\angle -31,790^\circ$	41,747	95,8
0,8i	133,248 $\angle 4,926^\circ$	0,11220 $\angle 26,24^\circ$	44,850 $\angle -21,314^\circ$	41,783	95,7

