

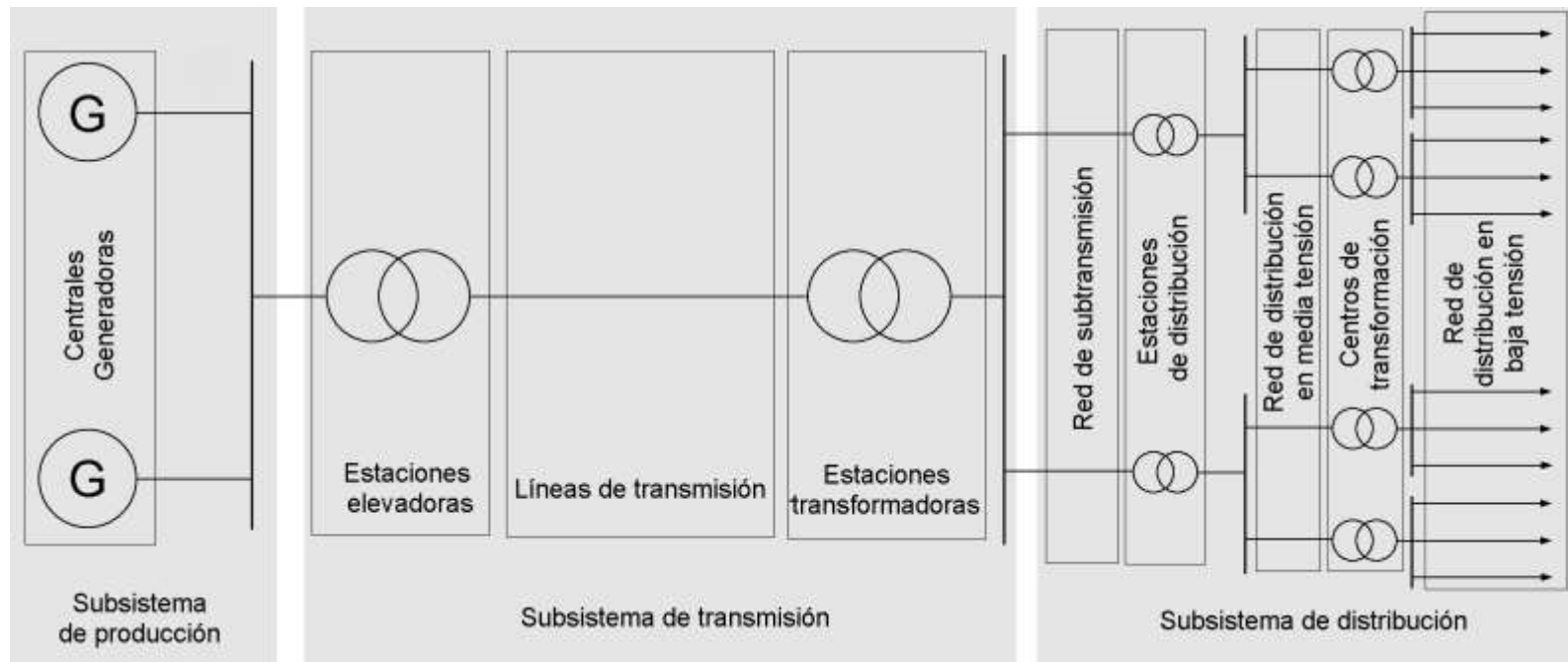
Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Buenos Aires

**CLASE DE COMPENSACION
FACTOR DE POTENCIA**

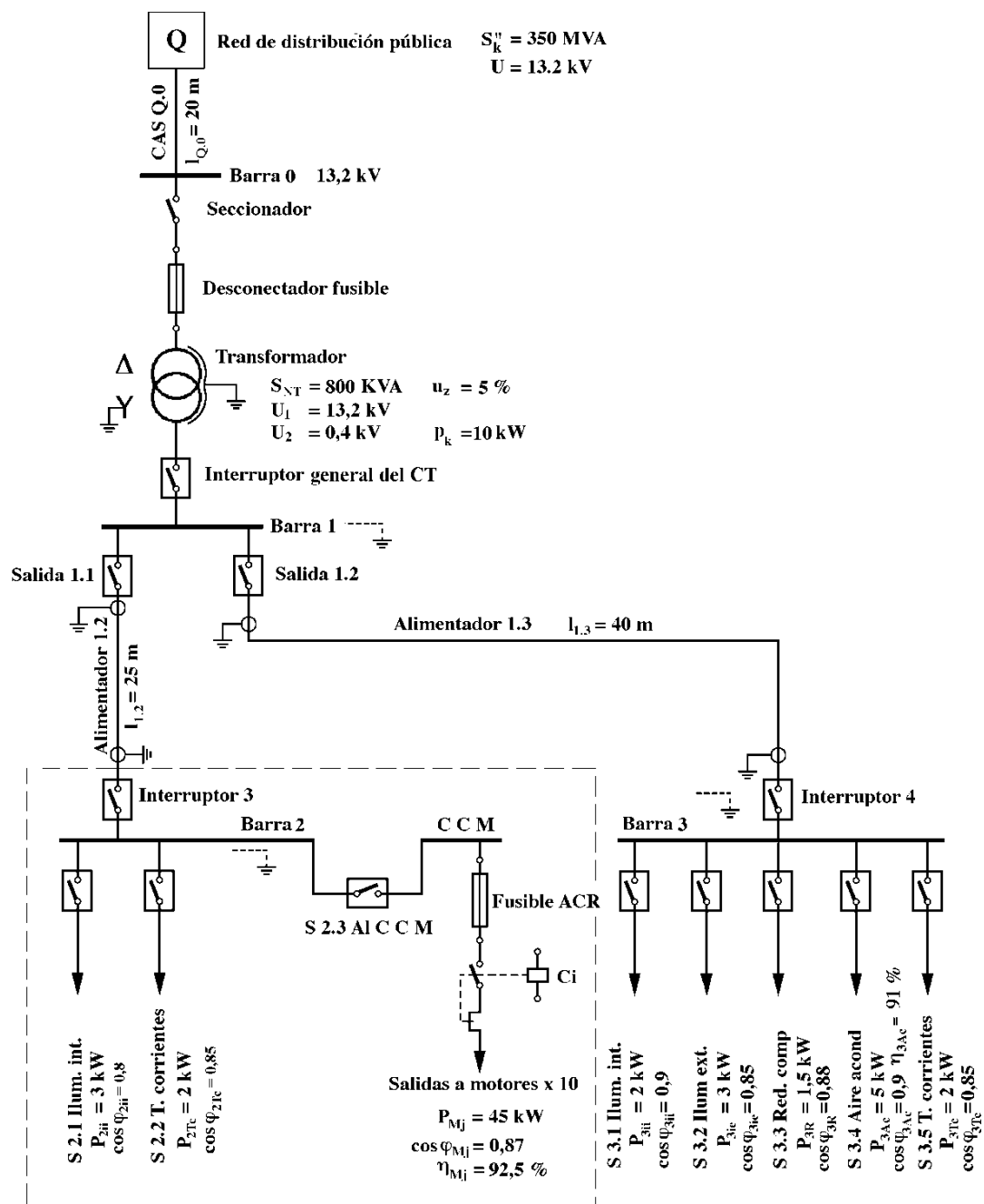
Asignatura : Máquinas e Instalaciones Eléctricas

Ingeniero Mario Marcelo Flores

ESQUEMA DEL SISTEMA ELECTRICO



ESQUEMA UNIFILAR DE INSTALACION INDUSTRIAL EN MEDIA Y BAJA TENSION



Trabajo Práctico N° 2 – Ejercicio N° 1

Ejercicio N° 1

Se tiene una carga cuyo equivalente se puede ver como una resistencia de 226Ω en serie con una inductancia de $0,72 \text{ Hy}$, la misma está alimentada por una fuente de $400 \text{ V} - 50 \text{ Hz}$. Calcular la capacidad necesaria para llevar el Factor de Potencia a $0,95$.

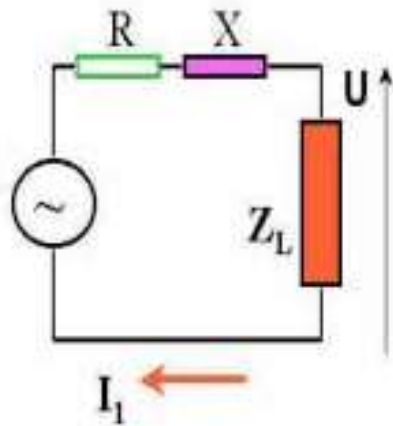


fig.1

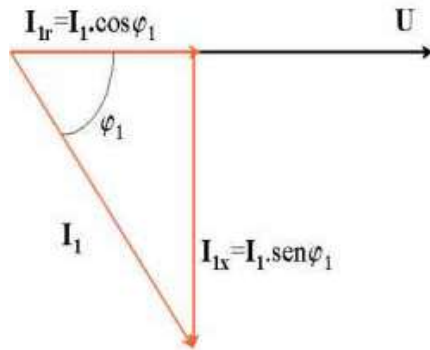
Primero debemos determinar la Impedancia para conocer la corriente.

$$X = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = 314,16 \cdot 0,72 = 226 \Omega$$

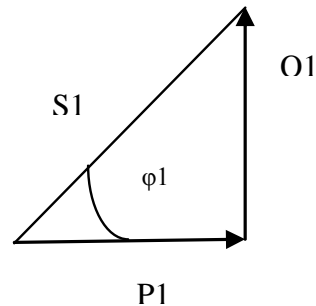
$$Z = 226 + j 226 \Omega = 320 e^{j45^\circ} \Omega$$

Trabajo Práctico N° 2 – Ejercicio N° 1

$$I e^{j0-\varphi} = \frac{E e^{j0^\circ}}{Z e^{j\varphi}} = \frac{400 e^{j0^\circ}}{320 e^{j45^\circ}} = 1,25 e^{-j45^\circ} \text{ A}$$



Con los datos obtenidos puedo calcular las Potencias activas y reactivas de este estado y armar el triángulo de potencia.

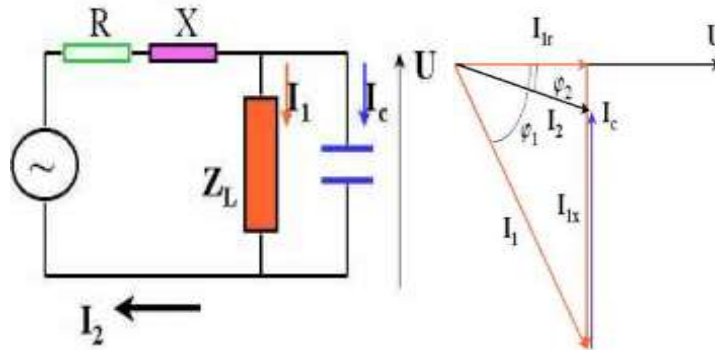


Se cumple la relación

$$Q_1 = P_1 \cdot \operatorname{Tg} \varphi_1$$

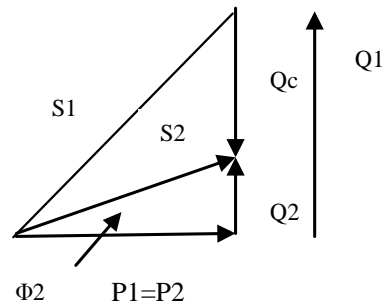
Trabajo Práctico N° 2 – Ejercicio N° 1

Ahora realizo la compensación

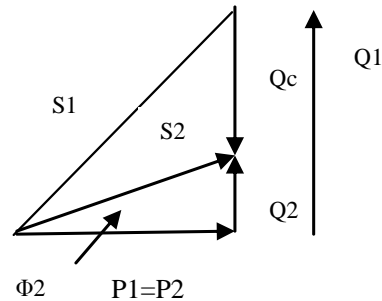


Como se ve, la componente resistiva de la corriente para la nueva condición de alimentación se mantiene constante, por tanto la potencia activa P_2 también, y resulta igual a P_1

Tengo un nuevo triángulo de potencia



Trabajo Práctico N° 2 – Ejercicio N° 1



Analizando la ambos triángulos resulta:

$$Q_c = Q_1 - Q_2 = P_1 \cdot \text{Tg } \varphi_1 - P_2 \cdot \text{Tg } \varphi_2 = P_1 \cdot (\text{Tg } \varphi_1 - \text{Tg } \varphi_2)$$

$$\mathbf{Q_c = P_1 \cdot (\text{Tg } \varphi_1 - \text{Tg } \varphi_2)}$$

$$P_1 = I_1^2 \cdot R = 1,25^2 \cdot 226 = 353 \text{ W}$$

$$\text{Tg } \varphi_1 = 1 \quad \text{Tg } \varphi_2 = 0,329$$

$$Q_c = 353 \cdot (1 - 0,329) = 237 \text{ VAR capac}$$

La capacitancia del capacitor a incorporar se calcula a partir de la siguiente expresión

$$Q_{\text{cap}} = \frac{U_{\text{cap}}^2}{Z_{\text{cap}}} = U_{\text{cap}}^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \text{ [kVAR cap]} \quad , \text{ de la cual resulta}$$

$$C = \frac{Q_{\text{cap}}}{U_{\text{cap}}^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f} \text{ [F]}$$

$$C = \frac{237}{400^2 \cdot 314,16} = 4,7 \cdot 10^{-6} \text{ F}$$

Trabajo Práctico N° 2 – Ejercicio N° 2

Problema N° 2

Se tiene tres impedancias conectadas en estrella, alimentadas por una fuente 3 x 400 V
Cada impedancia es idéntica al ejercicio anterior.

- Calcular el capacitor trifásico conectado en estrella para llevar el Factor de Potencia a 0,95.
- Calcular el capacitor trifásico conectado en triángulo para llevar el Factor de Potencia a 0,95.

Se tiene un circuito trifásico con fuente perfecta alimentando una carga equilibrada conectada en Y

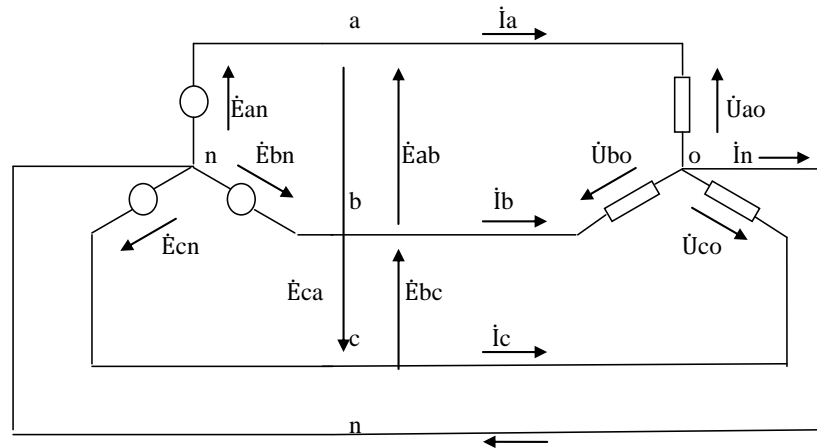
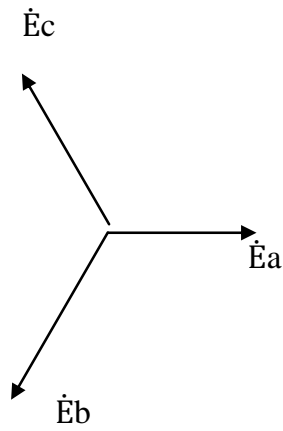


fig.1

Primero debemos determinar el sistema de tensiones Trifásicas. Si consideramos que es de secuencia directa, se debe cumplir la siguiente sucesión de fases R,S,T o 1,2,3 o a,b,c girando en el esquema fasorial en sentido antihorario.



$$\dot{E}_a = E_a e^{j0^\circ} = 231 e^{j0^\circ}$$

$$\dot{E}_b = E_b e^{j240^\circ} = 231 e^{j240^\circ}$$

$$\dot{E}_c = E_c e^{j120^\circ} = 231 e^{j120^\circ}$$

Trabajo Práctico N° 2 – Ejercicio N° 2

Como la carga es equilibrada $Z_a = Z_b = Z_c = Z_Y = 320 e^{j45^\circ} \Omega = 226 + j 226 \Omega$, entonces puedo calcular las corrientes en la carga, que por condición estrella son iguales a las de línea.

$$I_a e^{j0-\varphi a} = \frac{E_a e^{j0^\circ}}{Z_a e^{-j\varphi a}} = \frac{231 e^{j0^\circ}}{320 e^{j45^\circ}} = 0,72 e^{-j45^\circ} \text{ A}$$

$$I_b e^{j240-\varphi b} = \frac{E_b e^{j240^\circ}}{Z_b e^{-j\varphi b}} = \frac{231 e^{j240^\circ}}{320 e^{j45^\circ}} = 0,72 e^{j195^\circ} \text{ A}$$

$$I_c e^{j120-\varphi c} = \frac{E_c e^{j120^\circ}}{Z_c e^{-j\varphi c}} = \frac{231 e^{j120^\circ}}{320 e^{j45^\circ}} = 0,72 e^{j75^\circ} \text{ A}$$

Como la carga es equilibrada basta con calcular una sola fase y las siguientes salen por simetría y secuencia directa.

$$I \text{ línea } e^{j0-\varphi} = \frac{E e^{j0^\circ}}{Z e^{-j\varphi}} = \frac{231 e^{j0^\circ}}{320 e^{j45^\circ}} = 0,72 e^{-j45^\circ} \text{ A}$$

Trabajo Práctico N° 2 – Ejercicio N° 2

Como han visto en la compensación de potencia reactiva monofásica para una carga RL, se conecta un capacitor en paralelo.

La Potencia Reactiva Capacitiva (Q_{cap}) a incorporar la pueden calcular a partir del triángulo de potencia, realizando la diferencia entre la Q inicial y la Q final (ambas inductivas) utilizando la expresión:

$$Q_{cap} = P (\tan \phi_{inic} - \tan \phi_{final})$$

La capacitancia del capacitor a incorporar se calcula a partir de la siguiente expresión

$$Q_{cap} = \frac{U_{cap}^2}{Z_{cap}} = U_{cap}^2 2 \pi f C \text{ [kVAR cap]}, \text{ de la cual resulta}$$

$$C = \frac{Q_{cap}}{U_{cap}^2 2 \pi f} \text{ [F]}$$

Para el caso de cargas trifásicas equilibradas de característica RL, la compensación de la potencia reactiva trifásica, se realiza conectando una carga trifásica equilibrada capacitiva, conformada por un banco de capacitores que pueden conectarse en estrella o en triángulo.

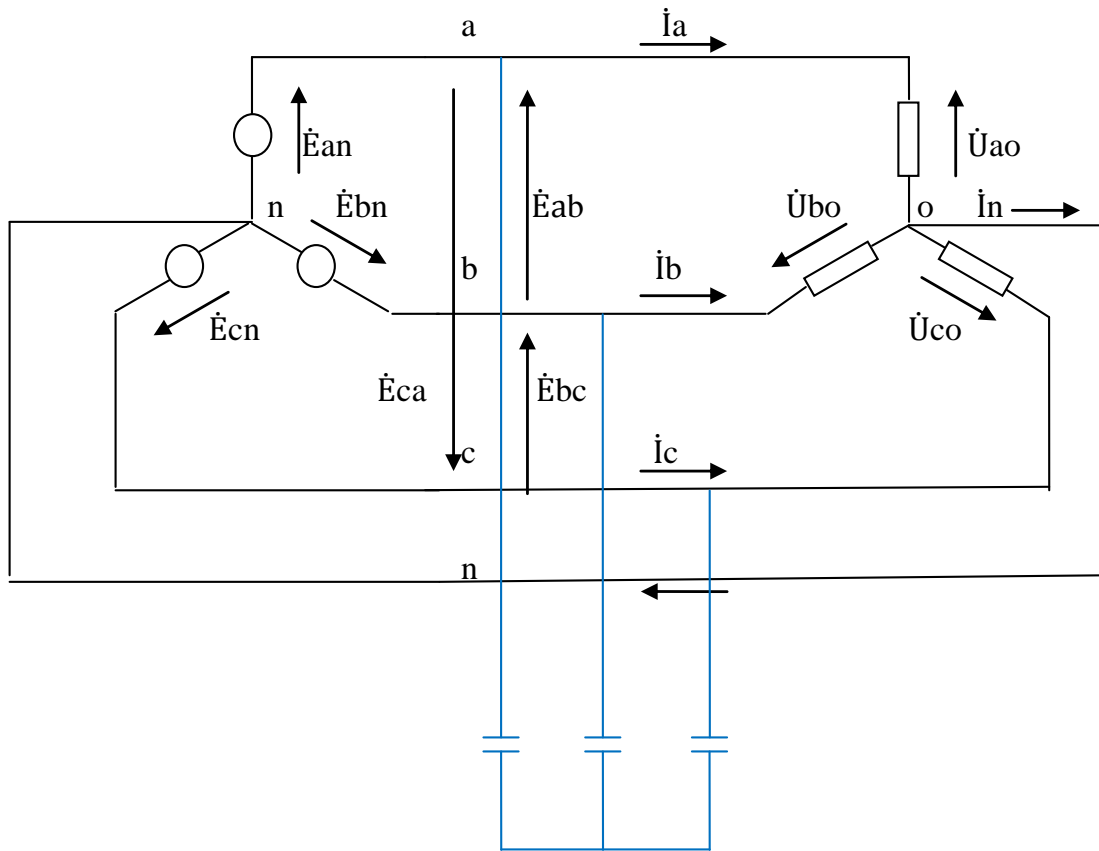
La determinación de la Potencia Reactiva Capacitiva Trifásica a incorporar se determina, con el mismo procedimiento, pero trabajando con el triángulo de potencias trifásicas P_3 , Q_3 , S_3 .

$$Q_3 \text{ cap} = P_3 (\tan \phi_{inic} - \tan \phi_{final}) \quad \text{expresión 1}$$

Trabajo Práctico N° 2 – Ejercicio N° 2

Pasemos a la resolución de lo solicitado en el enunciado.

a- Veamos la conexión de un banco de capacitores trifásicos en estrella.



Trabajo Práctico N° 2 – Ejercicio N° 2

Para aplicar la expresión 1, debemos conocer la P_3 de la carga, la cual es fácil de calcular

$$P_3 = 3 \cdot I^2 \cdot R = 3,0,72^2 \cdot 226 = 351,5 \text{ W}$$

Luego, determinando las tangentes inicial y final a partir de la carga y el factor de potencia final.

$$\text{tg } \phi_{\text{inic}} = 1$$

$$\text{tg } \phi_{\text{final}} = \arccos(0,95) = 0,3287$$

$$Q_3 \text{ cap} = 351,5 (1 - 0,3287) = 236 \text{ VAR cap}$$

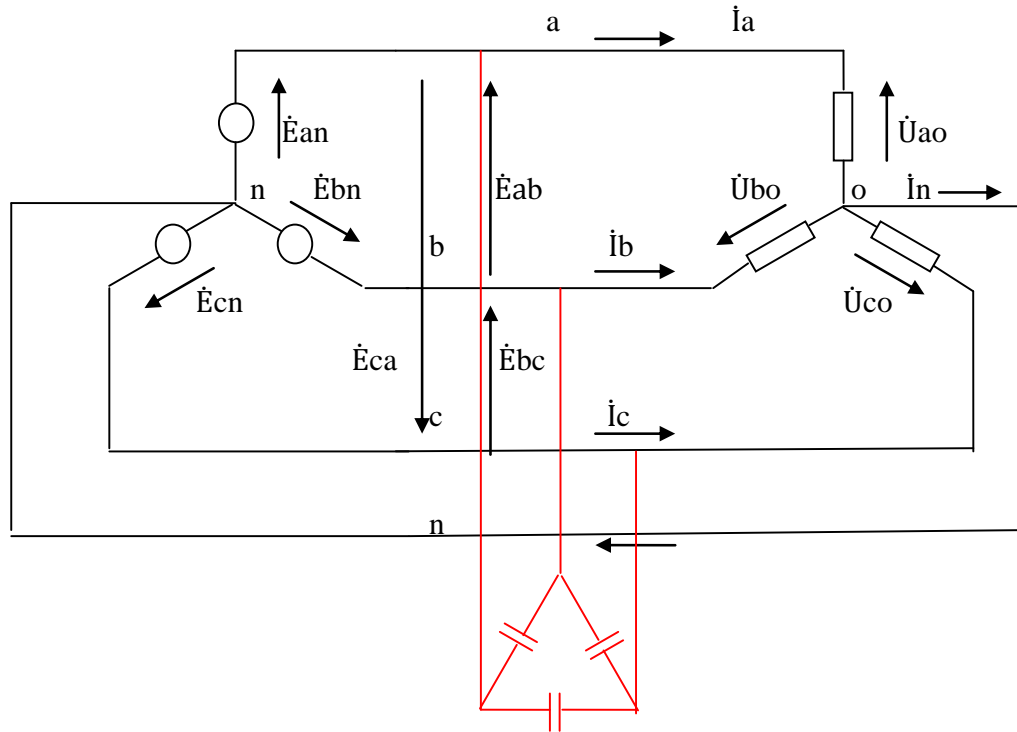
Para determinar el valor de la capacitancia de un capacitor conectado en estrella, deberé obtener la Potencia reactiva que aporta cada uno. Esto se logra considerando un tercio de la $Q_3 \text{ cap}$.

$$C_Y = \frac{Q_3 \text{ cap} / 3}{U_{\text{fase}}^2 2 \cdot \pi \cdot f} \text{ [F]}$$

$$C_Y = \frac{236 / 3}{231^2 \cdot 314,16} = 4,7 \times 10^{-6} \text{ F}$$

Trabajo Práctico N° 2 – Ejercicio N° 2

b - Veamos la conexión de un banco de capacitores trifásicos en triángulo.



Para determinar el valor de la capacitancia de un capacitor conectado en triángulo, deberé obtener la Potencia reactiva que aporta cada uno. Esto se logra considerando un tercio de la Q_3 cap.

$$C_{\Delta} = \frac{Q_3 \text{ cap}/3}{U_{\text{línea}}^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f} \text{ [F]}$$

$$C_{\Delta} = \frac{236/3}{400^2 \cdot 314,16} = 1,6 \times 10^{-6} \text{ F}$$

Trabajo Práctico N° 2 – Ejercicio N° 3

El alumbrado de una sala de diseño gráfico está compuesto de 30 artefactos de iluminación equipados con 2 tubos fluorescentes de 40 W, cuyo factor de potencia ($\cos \varphi$) es 0,6 (considerar los equipos de iluminación como una carga resistivo inductiva lineal).

Los artefactos se han conectado en forma equilibrada a una red 3 x 380 / 220 Vca – 50 Hz.

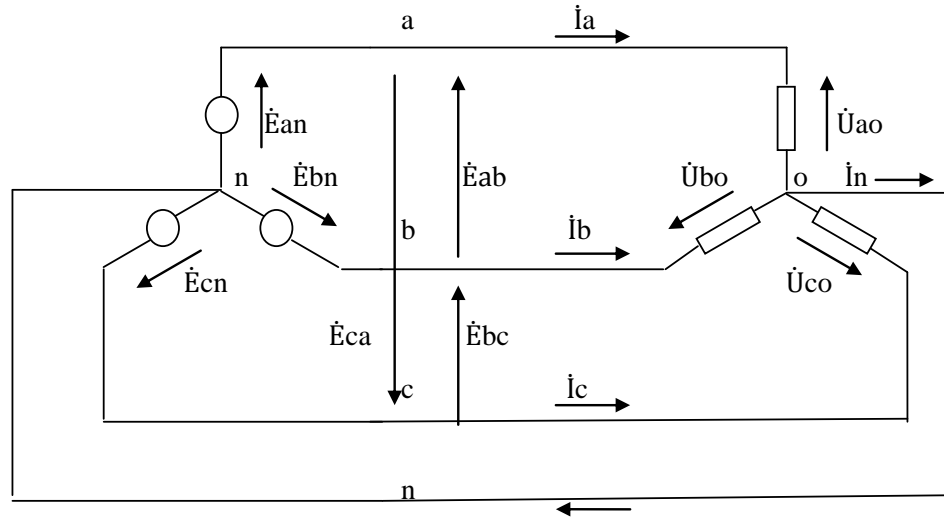
Dimensionar la batería de capacitores que será necesario instalar para corregir el factor de potencia a 0,9 para los casos 6.a y 6.b.

6.a - Batería de capacitores conectados en estrella.

6.b - Batería de capacitores conectados en triángulo.

6.c - ¿Cuál es la relación entre las capacidades de los capacitores en los casos 6.a y 6.b?

Trabajo Práctico N° 2 – Ejercicio N° 3



$$P_{\text{artef}} = 2 \times 40 \text{ W} = 80 \text{ W}$$

$$\cos \varphi_{\text{artef}} = 0,6$$

$$\sin \varphi_{\text{artef}} = 0,8$$

$$\tan \varphi_{\text{artef}} = 1,33$$

$$P_{\text{trif}} = 30 \times 2 \times 40 \text{ W} = 2400 \text{ W}$$

$$\cos \varphi_{\text{trif}} = 0,6$$

$$\sin \varphi_{\text{trif}} = 0,8$$

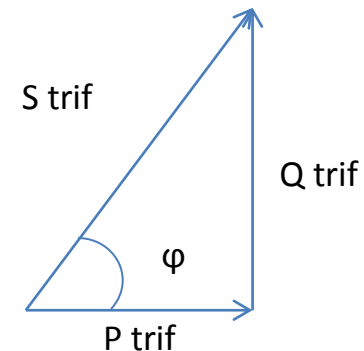
$$\tan \varphi_{\text{trif}} = 1,33$$

$$Q_{\text{trif}} = P_{\text{trif}} \cdot \tan \varphi_{\text{trif}}$$

$$Q_{\text{trif}} = 2400 \times 1,33 = 3192 \text{ VAR induct}$$

$$S_{\text{Trif}} = \sqrt{P_{\text{trif}}^2 + Q_{\text{trif}}^2}$$

$$S_{\text{Trif}} = \sqrt{2400^2 + 3192^2} = 3994 \text{ VA}$$



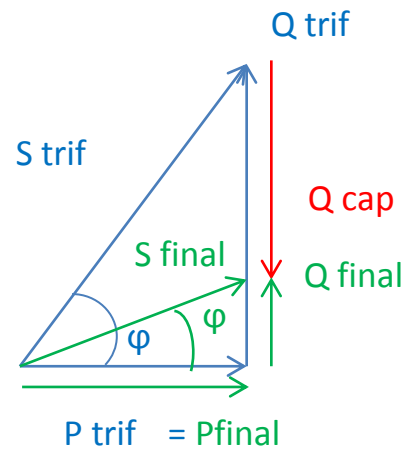
Trabajo Práctico N° 2 – Ejercicio N° 3

$$\cos \phi_{\text{inic}} = 0,6 \Rightarrow \operatorname{tg} \phi_{\text{inic}} = 1,333$$

$$\cos \phi_{\text{final}} = 0,9 \Rightarrow \operatorname{tg} \phi_{\text{final}} = 0,484$$

$$Q_{\text{trif cap}} = P_{\text{trif}} (\operatorname{tg} \phi_{\text{inic}} - \operatorname{tg} \phi_{\text{final}})$$

$$Q_{\text{trif cap}} = 2400 (1,333 - 0,484) = 2038 \text{ VAR cap}$$



Trabajo Práctico N° 2 – Ejercicio N° 3

$$Q_{\text{cap fase}} = \frac{U_{\text{cap}}^2}{X_{\text{cap}}} = U_{\text{cap}}^2 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \text{ [kVAR cap]} \quad , \text{ de la cual resulta}$$

$$C = \frac{Q_{\text{cap fase}}}{U_{\text{cap}}^2 2 \cdot \pi \cdot f} \text{ [F]}$$

$$Q_{\text{trif cap}} = 2038 \text{ VAR cap}$$

$$Q_{\text{cap fase}} = Q_{\text{trif cap}} / 3 = 2038/3 = 679 \text{ VAR cap}$$

Para conexión estrella la $U_{\text{cap}} = U_{\text{fase}} = 220 \text{ V}$

$$C_Y = \frac{680}{220^2 2 \cdot \pi \cdot 50} = 44,7 \times 10^6 \text{ F}$$

Para conexión triángulo la $U_{\text{cap}} = U_{\text{línea}} = 380 \text{ V}$

$$C_{\Delta} = \frac{770}{380^2 2 \cdot \pi \cdot 50} = 14,9 \times 10^6 \text{ F}$$

$$\frac{C_Y}{C_{\Delta}} = 3$$

Trabajo Práctico N° 2 – Ejercicio N° 4

Una instalación industrial de 3 x 380 VCA, tiene los siguientes registros

$P_{\min} = 160 \text{ KW}$, $\cos \phi_i = 0.6$

$P_{\max} = 300 \text{ KW}$, $\cos \phi_i = 0.75$

Impedancia del cable alimentador de la industria es $0.080 + j 0.180 \text{ [ohm/km]}$

La longitud estimada del alimentador es de 200 metros

- 1- Determinar la Potencia Reactiva trifásica Q , para elevar el factor de potencia desde 0,75 a 0,90 para la condición de P_{\max}
- 2- Determinar la reducción porcentual de la Potencia aparente trifásica S , para la condición de P_{\max}
- 3- Determinar la reducción porcentual de la Corriente de línea I , para la condición de P_{\max}
- 4- Determinar la reducción porcentual de las pérdidas Joule en la línea (conductor alimentador), para la condición de P_{\max}
- 5- Determinar la reducción porcentual de la caída de tensión en la línea (conductor alimentador), para la condición de P_{\max}
- 6- Seleccionar un banco de capacitores trifásicos de la Tabla adjunta y recalcular el valor resultante de factor de potencia
- 7- Calcular el factor de potencia resultante, luego de la incorporación del banco trifásico, para la condición de P_{\min} .

Trabajo Práctico N° 2 – Ejercicio N° 4

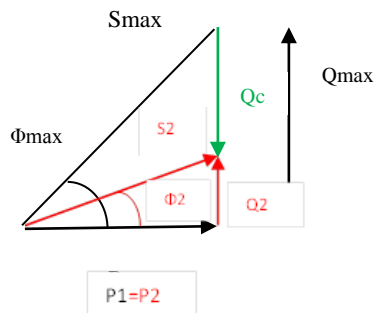
1-Determinar la Potencia Reactiva trifásica Q , para elevar el factor de potencia desde 0,75 a 0.90.

$$\cos \phi_{\max} = 0,75 \Rightarrow \tan \phi_{\max} = 0,882$$

$$\cos \phi_2 = 0,9 \Rightarrow \tan \phi_2 = 0,484$$

$$Q_{\text{cap}} = P_{\max} (\tan \phi_{\max} - \tan \phi_2)$$

$$Q_{\text{cap}} = 300 (0,882 - 0,484) = 119,4 \text{ kVAR cap}$$



Trabajo Práctico N° 2 – Ejercicio N° 4

2- Determinar la reducción porcentual de la Potencia aparente trifásica S, para la condición de P_{máx}

$$P = S \cdot \cos \phi \Rightarrow S = \frac{P}{\cos \phi}$$

$$\Delta S = S_{\text{máx}} - S_2 = P_{\text{máx}} \left(\frac{1}{\cos \phi_{\text{máx}}} - \frac{1}{\cos \phi_2} \right)$$

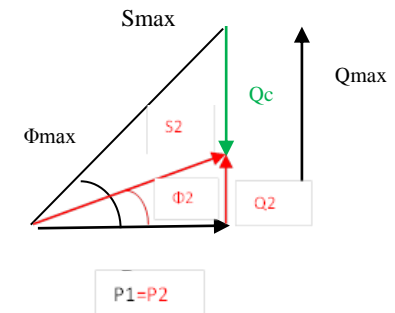
$$\Delta S = 300 \left(\frac{1}{0,75} - \frac{1}{0,9} \right) = 66,7 \text{ kVA}$$

$$\Delta s [\%] = \frac{\Delta S}{S_{\text{máx}}} 100 = \left[\left(\frac{1}{\cos \phi_{\text{máx}}} - \frac{1}{\cos \phi_2} \right) / \left(\frac{1}{\cos \phi_{\text{máx}}} \right) \right] \cdot 100$$

$$\Delta s [\%] = \left(\frac{\cos \phi_2 - \cos \phi_{\text{máx}}}{\cos \phi_2} \right) \cdot 100$$

$$\Delta s [\%] = \left[1 - \left(\frac{\cos \phi_{\text{máx}}}{\cos \phi_2} \right) \right] \cdot 100$$

$$\Delta s [\%] = [1 - (0,75 / 0,9)] \cdot 100 = 16,6 \%$$



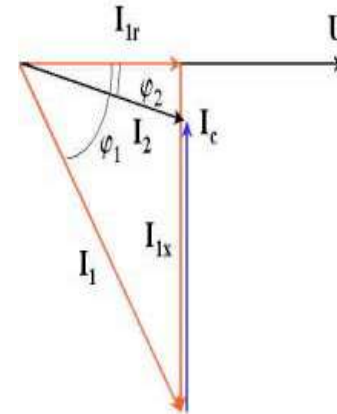
Trabajo Práctico N° 2 – Ejercicio N° 4

3-

$$P_{\text{máx}} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_{\text{máx}} \cdot \cos \phi_{\text{máx}} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_1 \cdot \cos \phi_1 = P_1$$

$$P_2 = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_2 \cdot \cos \phi_2$$

$$P_{\text{máx}} / \sqrt{3} \cdot U = P_2 / \sqrt{3} \cdot U = I_1 \cdot \cos \phi_1 = I_2 \cdot \cos \phi_2$$



$$I_2 = I_1 \cdot \left(\frac{\cos \phi_1}{\cos \phi_2} \right)$$

$$\Delta I = I_1 - I_2 = I_1 \left[1 - \left(\frac{\cos \phi_1}{\cos \phi_2} \right) \right]$$

$$\Delta i [\%] = (I_1 - I_2) \cdot 100 / I_1 = \left[1 - \left(\frac{\cos \phi_1}{\cos \phi_2} \right) \right] \cdot 100$$

En este caso $\phi_1 = \phi_{\text{máx}}$

$$\Delta i [\%] = \left[1 - \left(\frac{\cos \phi_{\text{máx}}}{\cos \phi_2} \right) \right] \cdot 100$$

$$\Delta i [\%] = \left[1 - \left(\frac{0,75}{0,9} \right) \right] \cdot 100 = 16,6 \%$$

Trabajo Práctico N° 2 – Ejercicio N° 4

4- Determinar la reducción porcentual de las pérdidas Joule en la línea (conductor alimentador).

Pérdidas con el $\cos\varphi_1$ inicial:

$$I_1 = I_{1r} / \cos\varphi_1 \Rightarrow P_{p1} = I_1^2 R$$

Diferencia porcentual de pérdidas:

Pérdidas con el $\cos\varphi_2$ final:

$$\Delta P_p [\%] = [(P_{p1} - P_{p2}) / P_{p1}] \cdot 100$$

$$I_2 = I_{1r} / \cos\varphi_2 \Rightarrow P_{p2} = I_2^2 R$$

Operando, resulta:

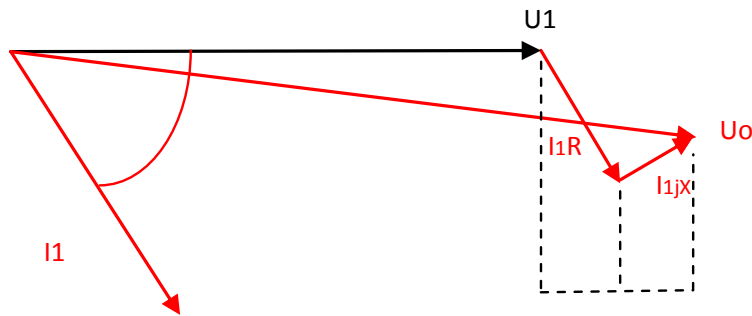
$$\Delta P_p [\%] = (1 - P_{p2}/P_{p1}) \cdot 100$$

$$\Delta P_p [\%] = [1 - (\cos\varphi_1 / \cos\varphi_2)^2] \cdot 100$$

$$\Delta P_p [\%] = [1 - (0,75 / 0,9)^2] \cdot 100 = 30,6 \%$$

Trabajo Práctico N° 2 – Ejercicio N° 4

5-



Valores por fase

$$U_0 - U_1 \approx \Delta U = I_1 R \cos \phi_1 + I_1 X \sin \phi_1$$

$$P = U_1 I_1 \cos \phi_1 \Rightarrow I_1 \cos \phi_1 = P / U_1$$

$$Q = U_1 I_1 \sin \phi_1 \Rightarrow I_1 \sin \phi_1 = Q / U_1$$

Reemplazando

$$\Delta U = R P / U_1 + X Q / U_1 = (R P + X Q) / U_1 \quad \text{Expresión por fase}$$

$$\Delta U / U_1 [\text{p.u.}] = (R P + X Q) / U_1^2 \quad \text{Expresión por fase en por unidad [p.u.]}$$

Trabajo Práctico N° 2 – Ejercicio N° 4

$$\Delta U [V] = R P / U_1 + X Q / U_1 = (R P + X Q) / U_1 \quad \text{Expresión por fase en Volt [V]}$$

$$\Delta U / U_1 [\text{p.u.}] = (R P + X Q) / U_1^2 \quad \text{Expresión por fase en por unidad [p.u.]}$$

Reemplazando

$$\Delta U / U_1 [\text{p.u.}] = (R P + X Q) / (U_{\text{linea}} / \sqrt{3})^2 = 3 \cdot (R P + X Q) / (U_{\text{linea}})^2$$

$$\Delta U / U_1 [\text{p.u.}] = (R 3P + X 3Q) / (U_{\text{linea}})^2 = (R \cdot P_3 + X \cdot Q_3) / (U_{\text{linea}})^2$$

$$\Delta U / U_1 [\text{p.u.}] = (R \cdot P_3 + X \cdot Q_3) / (U_{\text{linea}})^2 \quad \text{Expresión trifásica en por unidad [p.u.]}$$

Cáculamos la caída de tensión para la condición inicial, sin cometer un gran error se puede tomar como referencia la U de alimentación, en el otro extremo del cable $U_{0L} = 380$

$$\Delta U_{\text{max}} / U_1 [\text{p.u.}] = [(0,080 \cdot 0,2) \cdot 300 \cdot 10^3 + (0,180 \cdot 0,2) \cdot 300 \cdot 10^3 \cdot 0,882] / (380)^2$$

$$\Delta U_{\text{max}} / U_1 [\text{p.u.}] = 0,1 \equiv 10 \%$$

Trabajo Práctico N° 2 – Ejercicio N° 4

Cáculamos la caída de tensión para la condición final, sin cometer un gran error se puede tomar como referencia la U de alimentación, en el otro extremo del cable $U_{0L} = 380$

$$\Delta U_{\max}/U_2[\text{p.u.}] = [(0,080.0,2).300.10^3 + (0,180.0,2). 300.10^3.0,484)] / (380)^2$$

$$\Delta U_{\max}/U_2[\text{p.u.}] = 0,07 \equiv 7 \%$$

La mejora es en 3%, que también se podía haber calculado a partir de la diferencia

$$\Delta U_{\max}/U_1[\text{p.u.}] - \Delta U_{\max}/U_2[\text{p.u.}] = [(R.P_{\max 3} + X.Q_{\max 3}) - R.P_{\max 3} + X.(Q_{\max 3} - Q_3 \text{ cap})] / (U_{\text{linea}})^2$$

Resultando

$$\Delta U_{\max}/U_1[\text{p.u.}] - \Delta U_{\max}/U_2[\text{p.u.}] = X.Q_3 \text{ cap} / (U_{\text{linea}})^2 = (0,180.0,2)119,4.10^3 / 380^2 = 0,03 \equiv 3 \%$$

Trabajo Práctico N° 2 – Ejercicio N° 4

6-

Del enunciado se selecciona el Banco trifásico de compensación CLMB 83 código 405120 de 120 kVA

7-

Considerando que la compensación resultó con un banco trifásico fijo de 120 KVAR, veamos que sucede con la condición de P_{\min} , $\cos \phi_{\min}$

$$\cos \phi_{\min} = 0,6 \Rightarrow \tan \phi_{\max} = 1,33$$

$$Q_{\min} = P_{\min} \cdot \tan \phi_{\min} = 160 \cdot 1,33 = 213,3 \text{ kVAR induct}$$

Calculamos el estado final al incorporar $Q_{\text{cap}} = 120 \text{ kVAR capac}$

$$Q_{\text{final min}} = Q_{\min} - Q_{\text{cap}} = 93,3 \text{ kVAR induct}$$

Determino el factor de potencia final

$$\tan \phi_{\text{final min}} = Q_{\text{final min}} / P_{\min} = 93,3 / 160 = 0,583$$

Este valor de $\tan \phi_{\text{final min}}$ corresponde a **$\cos \phi_{\text{final min}} = 0,86$**

No cumple el requerimiento de $\cos \phi = 0,9$

UTN – M&IE II - Trabajo Práctico N° 2 – Ejercicio N° 5

Una fábrica que cumple diariamente dos turnos de 8 horas cada uno, de lunes a viernes, tiene los siguientes consumos de energía mensuales.

243.792 kWh

232.618 KVarh

En los turnos mañana y tarde, tiene los siguientes consumos Picos de potencias:

$P_m = 768 \text{ KW}$

$Q_m = 708 \text{ KVar}$

$P_t = 840 \text{ KW}$

$Q_t = 852 \text{ KVar}$

a - Calcular la Potencia activa y coseno Fi promedios.

b - Calcular los Coseno Fi picos.

c - Determinar las Potencias Reactivas Capacitivas necesarias para llevar el $\cos \phi$ a 0.90, en los casos a y b

d - Se cuenta con el siguiente Stock de Baterías de capacitores Fijos y Automáticos .

Banco Fijo compuesto de 5 x 40 KVar

Banco Fijo compuesto de 6 x 30 KVar

Banco Automatico compuesto de 6 x 30 KVar

Banco Automatico compuesto de 4 x 40 KVar

Seleccionar la mejor combinación y justificar.

UTN – M&IE II - Trabajo Práctico N° 2 – Ejercicio N° 5

a- Consideramos jornadas de 16 hs durante 22 días por mes

| | | |
|-------------------------|-----------|-------------------------|
| Energía Act [kWh] | Horas Mes | Pot Act Prom [kW] |
| 243792 | 352 | 692,6 |
| | | |
| Energía React [kVAh] | Horas Mes | Pot React Prom [kVA] |
| 232618 | 352 | 660,8 |

$$\tan \varphi \text{ promedio} = Q \text{ prom} / P \text{ prom} = 0,954$$

$$\varphi \text{ promedio} = 0,762 \text{ rad} = 43,7^\circ$$

$$\cos \varphi \text{ prom} = 0,723$$

UTN – M&IE II - Trabajo Práctico N° 2 – Ejercicio N° 5

b – Cálculo de los $\cos \varphi$ de los turnos

Valores de la Mañana

| | | |
|--|--------------|------|
| Pmax M | 768 | KW |
| Qmax M | 708 | KVAR |
| | | |
| | | |
| Tang φ max M | 0,9219 | |
| Arco tang φ | 0,745 | 42,7 |
| Cos φ max | 0,735 | |

Valores de la Tarde

| | | |
|--|--------------|------|
| Pmax T | 840 | KW |
| Qmax T | 852 | KVAR |
| | | |
| | | |
| Tang φ max T | 1,0143 | |
| Arco tang φ | 0,792 | 45,4 |
| Cos φ max | 0,702 | |

UTN – M&IE II - Trabajo Práctico N° 2 – Ejercicio N° 5

c - Determinación de las Potencias Reactivas

$\cos \varphi$ deseado = 0,9

φ deseado = 0,451 rad = 25,8°

$\text{tg } \varphi$ deseado = $Q_{\text{prom}} / P_{\text{prom}} = 0,4843$

| Valores Promedios Mensuales | | | |
|--|---------------|-------------|--|
| | | | |
| $Q_c = P (\text{Tag } \varphi \text{ promedio} - \text{Tg } \phi \text{ deseado})$ | | | |
| | | | |
| Qc = | 325,41 | KVAr | |
| | | | |
| | | | |
| Valores Picos de mañana | | | |
| | | | |
| $Q_c = P (\text{Tag } \phi \text{ pico mañana} - \text{Tg } \phi \text{ deseado})$ | | | |
| | | | |
| Qc = | 336,04 | KVAr | |
| | | | |
| | | | |
| Valores Picos de tarde | | | |
| | | | |
| $Q_c = P (\text{Tag } \phi \text{ pico tarde} - \text{Tg } \phi \text{ deseado})$ | | | |
| | | | |
| Qc = | 445,17 | KVAr | |
| | | | |

UTN – M&IE II - Trabajo Práctico N° 2 – Ejercicio N° 5

d –

Para seleccionar la conformación del banco de capacitores para la compensación de la Energia Reactiva , debo determinar un valor base fijo y a partir del mismo determinar el maximo rango de incorporación automática de KVAR . Una vez definido este rango debo determinar en que pasos me conviene incorporar los KVAR automáticos.

| | | |
|---------------------------------------|--------|------|
| Tengo tres (3) valores de referencia. | | |
| | | |
| Qc Promedio Mensual | 325,41 | KVAR |
| Qc Máximo Mañana | 336,04 | KVAR |
| Qc Máximo Tarde | 445,17 | KVAR |

| | | | |
|--|-------------|--|------|
| El Stock de Banco Fijo de Capacitores tiene 2 Valores: | | | |
| | | | |
| | 5 x 40 KVAR | 200 | KVAR |
| | | | |
| | 6 x 30 KVAR | 180 | KVAR |
| | | | |
| El Stock de Banco variable automático de capacitores tiene dos alternativas: | | | |
| | | | |
| | 6 x 30 KVAR | 180 KVAR finales con saltos de 30 KVAR | |
| | | | |
| | 4 x 40 KVAR | 160 KVAR finales con saltos de 40 KVAR | |

UTN – M&IE II - Trabajo Práctico N° 2 – Ejercicio N° 5

Primera Alternativa

La Instalación de un banco fijo de 6x30 KVar = 180 KVar y dos bancos automáticos de 6 x 30 KVar c/uno

| | | | |
|------------|-----|-----|---|
| | | 180 | 180 |
| | | 30 | |
| | | 30 | |
| | | 30 | |
| Promedio | 325 | 30 | 300 |
| | | 30 | 330 |
| Máx Mañana | 336 | 30 | 360 |
| | | 30 | |
| | | 30 | 420 |
| Máx Tarde | 445 | 30 | 450 |
| | | 30 | Reserva del 50 % para futuro aumento de carga reactiva inductiva. |
| | | 30 | |
| | | 30 | |
| | | | 540 |

UTN – M&IE II - Trabajo Práctico N° 2 – Ejercicio N° 5

Segunda Alternativa

La Instalación de un banco fijo de 6x30 KVAR = 180 KVAR y dos bancos automáticos de 4 x 40 KVAR c/uno

| | | | |
|------------------------|-----|------------|---|
| Prom 325 - Max Mañ 336 | 180 | 180 | |
| | 40 | | |
| | 40 | | |
| | 40 | 300 | |
| | 40 | 340 | |
| Máx Tarde 445 | 40 | 380 | |
| | 40 | 420 | |
| | 40 | 460 | |
| | 40 | 500 | Reserva del 25 % para futuro aumento de carga reactiva inductiva. |

Trabajo Práctico N° 2 – Ejercicio N° 6

Un Transformador de 400 kVA 13,2 / 400-231 KV alimenta una carga trifásica equilibrada de 200 kW a factor de potencia 0,5 inductivo, del lado de Baja Tensión.

Por razones operativas es necesario colocar en paralelo con la anterior una carga adicional de 90 kW a factor de potencia 0,8. ¿Podrá el transformador indicado abastecer las dos cargas conectadas en paralelo, haciendo uso de la compensación del factor de potencia? En tal caso, calcular el capacitor en conexión triángulo necesario

La Potencia Nominal de un transformador Trifásico es:

$$S_{nom} = \sqrt{3} \cdot U_{nom} \cdot I_{nom} \quad \Rightarrow \quad I_n = S_n / \sqrt{3} \cdot U_n$$

Esta corriente nominal no puede ser superada porque pondría en riesgo las aislaciones de los bobinados de la máquina.

Considerando las tensiones de línea y de fase constantes en el transformador, significa que tampoco se puede superar la S_{nom}

La carga conectada al transformador consume un $S_{carga} = P_{carga} / \cos \varphi$

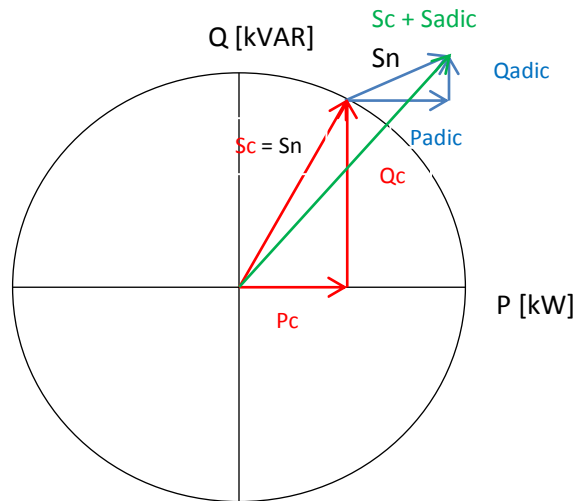
$$S_{carga} = 200 \text{ kW} / 0,5 = 400 \text{ kVA} = S_{nom} \text{ del Transformador}$$

Por lo tanto no se le podría solicitar más carga al Transformador

Trabajo Práctico N° 2 – Ejercicio N° 6

La carga conectada al transformador consume un $S_{\text{carga}} = P_{\text{carga}} / \cos \varphi$

$$S_{\text{carga}} = 200 \text{ kW} / 0,5 = 400 \text{ kVA} = S_{\text{nom}} \text{ del Transformador}$$



$$P_c + P_{\text{adic}} = 200 + 90 \text{ kW} = 290 \text{ kW}$$

$$Q_c + Q_{\text{adic}} = P_c \tan \varphi_c + P_{\text{adic}} \tan \varphi_{\text{adic}} = 200 \cdot 1,73 + 90 \cdot 0,75 = 417,5 \text{ kVAR}$$

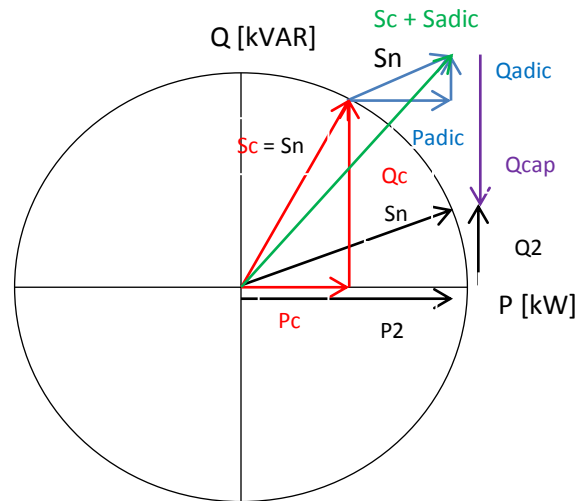
$$S_{c+\text{adic}} = 508 \text{ kVA} > \text{Módulo de } S_n = 400 \text{ kVA}$$

El transformador no podría abastecer ambas cargas, debido a que sufriría una importante sobre carga

Trabajo Práctico N° 2 – Ejercicio N° 6

La solución a este problema es agregar una **carga trifásica capacitiva (Compensación)** para reducir el Q resultante = $Q_c + Q_{adic} - Q_{capac} = Q_2$.

De manera tal que $P_2 = P_c + P_{adic}$ en composición con Q_2 no supere a S_{nom}



$$P_2 + j Q_2 = S_2 \leq S_{nom}$$

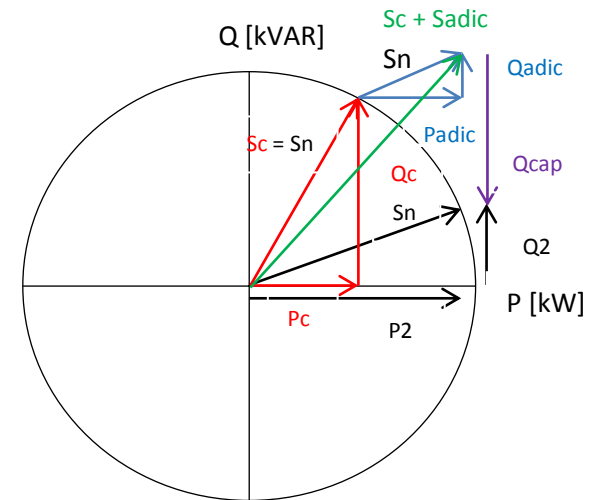
Trabajo Práctico N° 2 – Ejercicio N° 6

Vamos a llamar a la condición de $P_{\text{carga}} = P_c = P_1$

$$P_1 = \sqrt{3} U_L I_1 \cos \varphi_1$$

$$P_2 = \sqrt{3} U_L I_L \cos \varphi_2$$

Para no superar la S_{nom} se debe cumplir $I_1 = I_2 = I_n$



Determino el nuevo factor de potencia $\cos \phi_2$, correspondiente a la condición final, luego de la compensación, a partir del incremento de potencia permitido.

$$(P_2 - P_1) / P_1 = \sqrt{3} U_L I_{L1} (\cos \varphi_2 - \cos \varphi_1) / \sqrt{3} U_L I_{L1} \cos^2 \varphi_1 = (\cos \varphi_2 - \cos \varphi_1) / \cos^2 \varphi_1$$

$$(P_2 - P_1) / P_1 = (\cos \varphi_2 - \cos \varphi_1) / \cos \varphi_1$$

De esta manera puedo calcular el $\cos \varphi_2$ y la $\operatorname{tg} \varphi_2$, para obtener

$$Q_2 = P_2 \operatorname{tg} \varphi_2$$

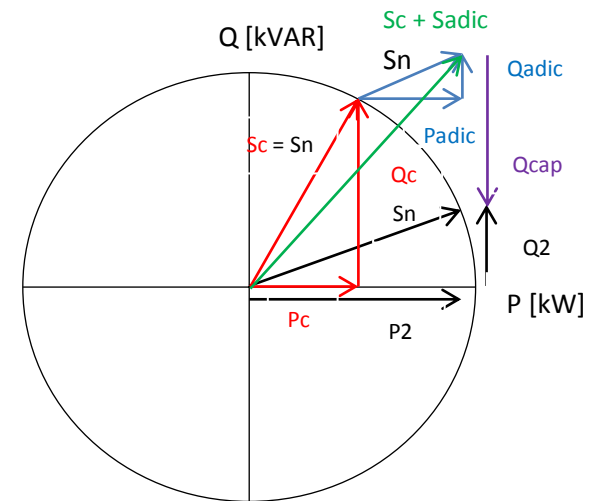
Trabajo Práctico N° 2 – Ejercicio N° 6

$$\cos \varphi_2 = (P_2 / P_1) \cos \varphi_1$$

$$\cos \varphi_2 = [(293 / 200) \cdot 0,5 = 0,733$$

$$\text{Tg } \varphi_2 = 0,929$$

$$Q_2 = P_2 \cdot \text{Tg } \varphi_2 = 272,2 \text{ k VAR induct}$$



Con el valor calculado puedo determinar la potencia trifásica reactiva capacitiva a incorporar:

$$Q_{\text{cap}} = (Q_1 + Q_{\text{adic}}) - Q_2 = 417,5 - 272,2 \text{ kVAR capacitivo}$$

$$Q_{\text{cap}} = 145,3 \text{ kVAR capacitivo}$$

Finalmente puedo conocer el valor de la capacitancia a incorporar por fase en conexión triángulo.

$$C_{\Delta} = \frac{Q_{3 \text{ cap}}/3}{U_{\text{línea}}^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f} \text{ [F]}$$

$$C_{\Delta} = \frac{145300/3}{400^2 \cdot 314,16} = 964 \cdot 10^{-6} \text{ F}$$

Trabajo Práctico N° 2 – Ejercicio N° 6

