

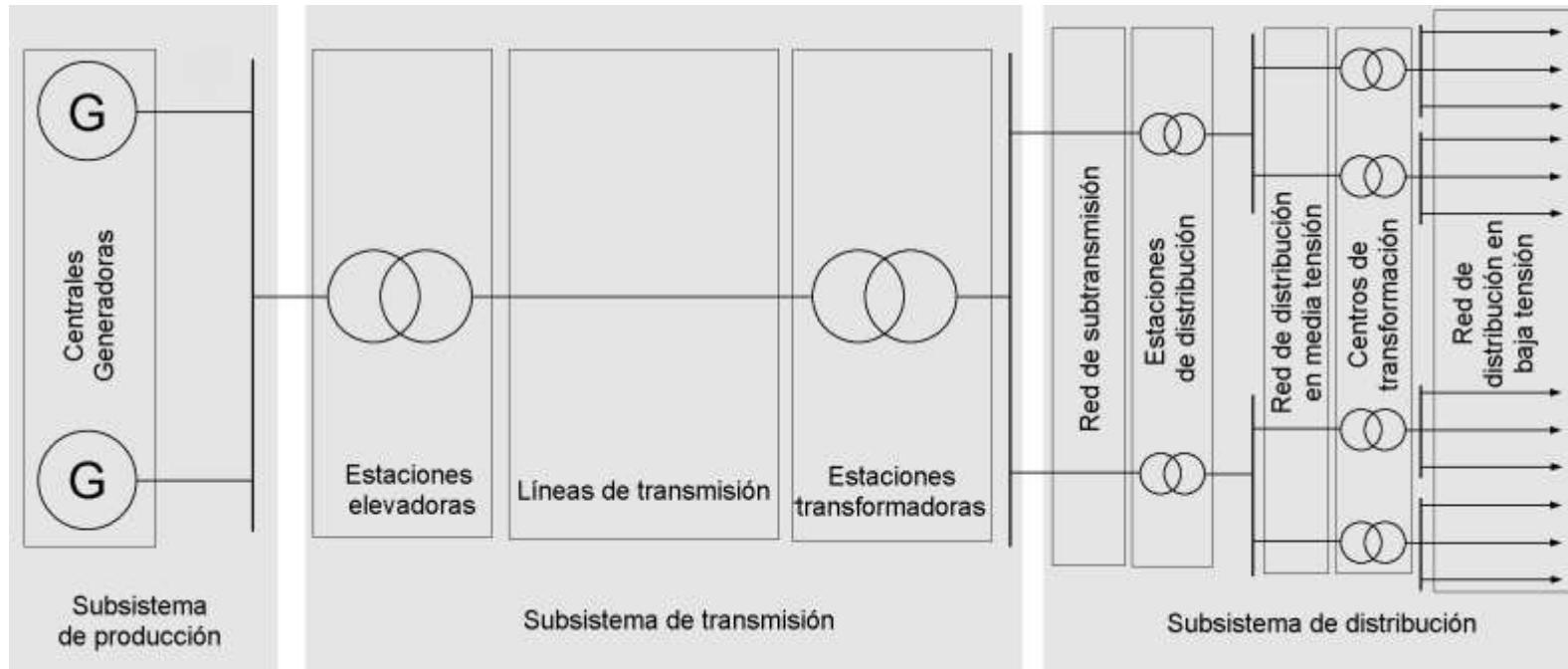
Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Buenos Aires

**CLASE DE COMPENSACION
FACTOR DE POTENCIA**

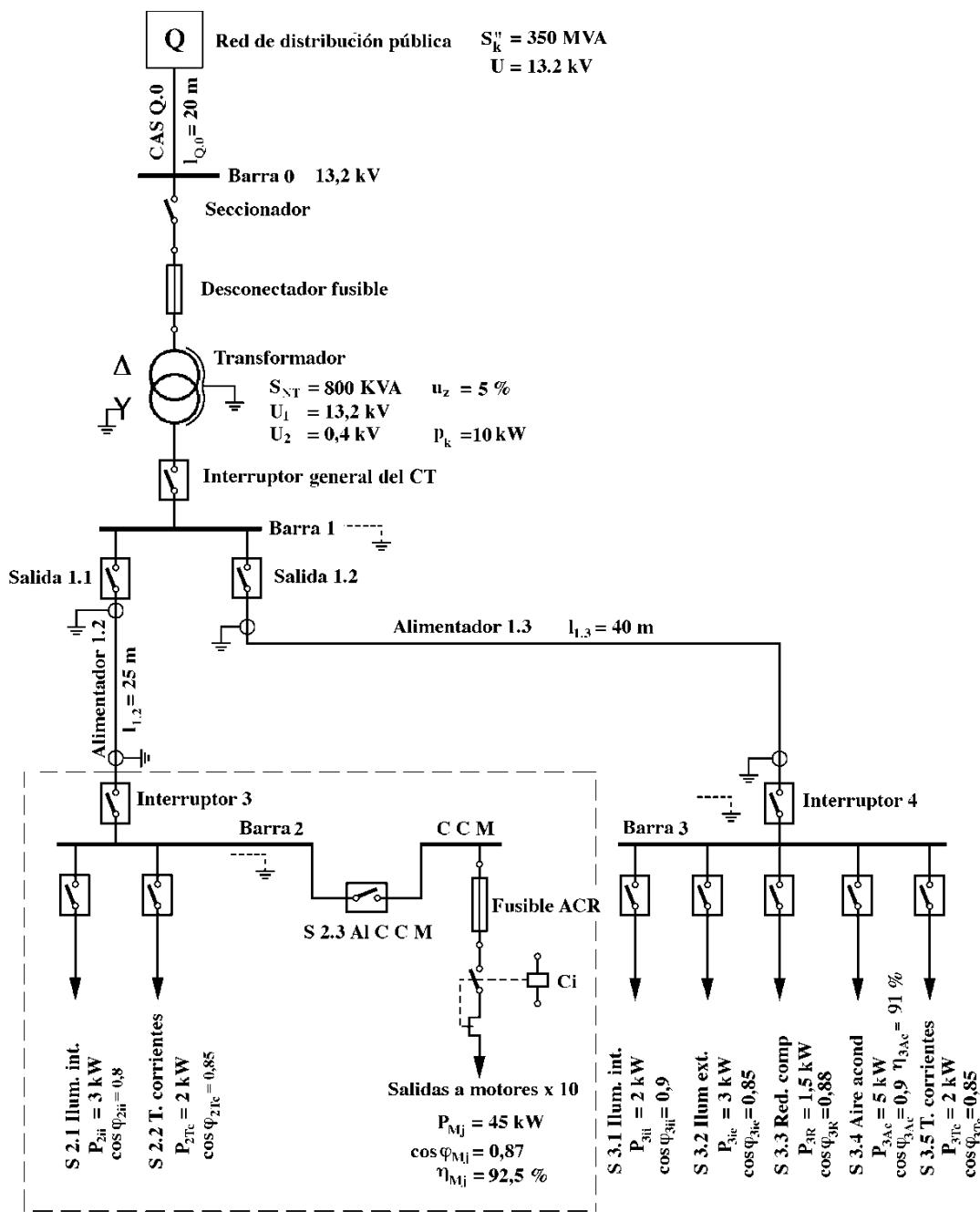
Asignatura : Máquinas e Instalaciones Eléctricas

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 $0,95$.

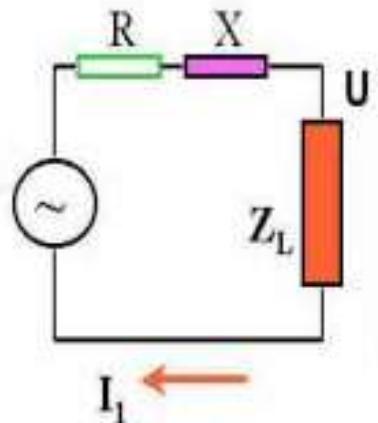


fig.1

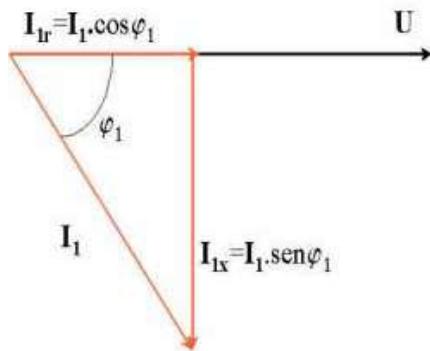
Primero debemos determinar la Impedancia para conocer la corriente.

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

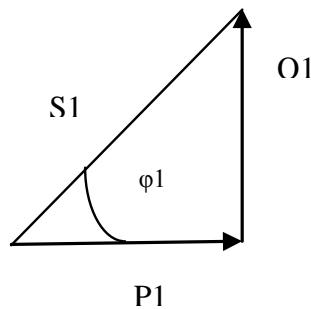
$$Z = 226 + j 226 \Omega = 320 e^{j45^\circ} \Omega$$

Trabajo Práctico N° 2 – Ejercicio N° 1

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



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

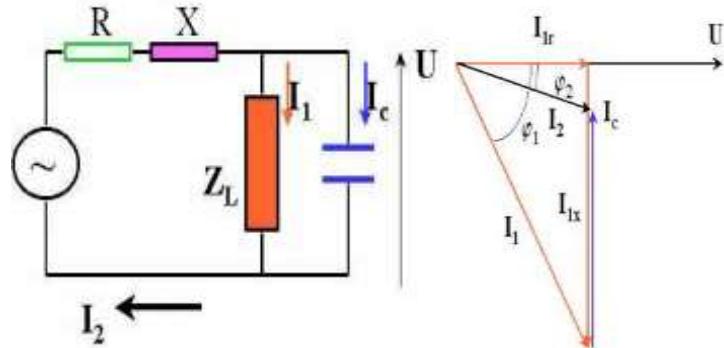


Se cumple la relación

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

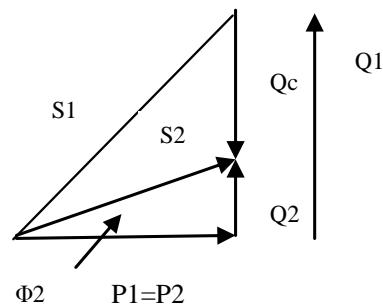
Trabajo Práctico N° 2 – Ejercicio N° 1

Ahora realizo la compensación

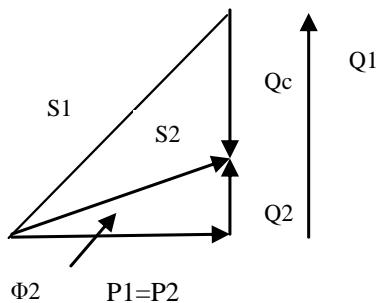


Como se ve, la componente resistiva de la corriente para la nueva condición de alimentación se mantiene constante, por tanto la potencia activa P_2 también, y resulta igual a P_1

Tengo un nuevo triángulo de potencia



Trabajo Práctico N° 2 – Ejercicio N° 1



Analizando la ambos triángulos resulta:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Trabajo Práctico N° 2 – Ejercicio N° 2

Problema N° 2

Se tiene tres impedancias conectadas en estrella, alimentadas por una fuente $3 \times 400 \text{ V}$
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

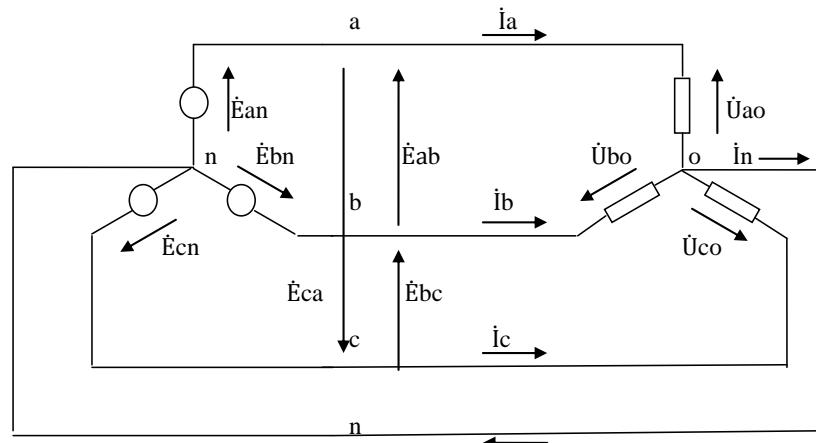
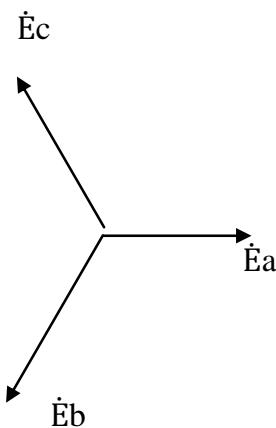


fig.1

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.



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

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

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

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.

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

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

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

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

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

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 Capacitativa (Qcap) 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:

$$Q_{cap} = P (\operatorname{tg} \varphi_{inic} - \operatorname{tg} \varphi_{final})$$

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

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

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

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.

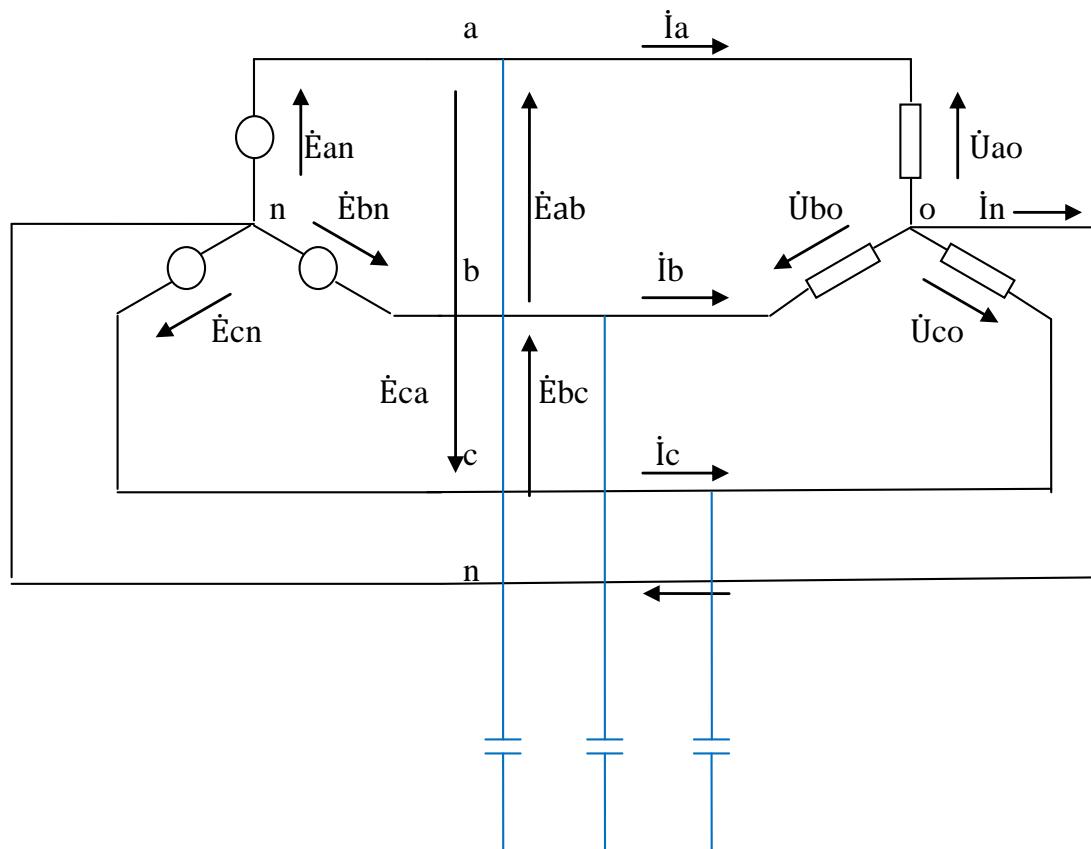
La determinación de la Potencia Reactiva Capacitativa Trifásica a incorporar se determina, con el mismo procedimiento, pero trabajando con el triángulo de potencias trifásicas P₃, Q₃, S₃.

$$Q_{3\ cap} = P_3 (\operatorname{tg} \varphi_{inic} - \operatorname{tg} \varphi_{final}) \quad \text{expresión 1}$$

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 P₃ de la carga, la cual es fácil de calcular

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

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

$$\operatorname{tg} \varphi_{\text{inic}} = 1$$

$$\operatorname{tg} \varphi_{\text{final}} = \operatorname{arc}(\cos 0,95) = 0,3287$$

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

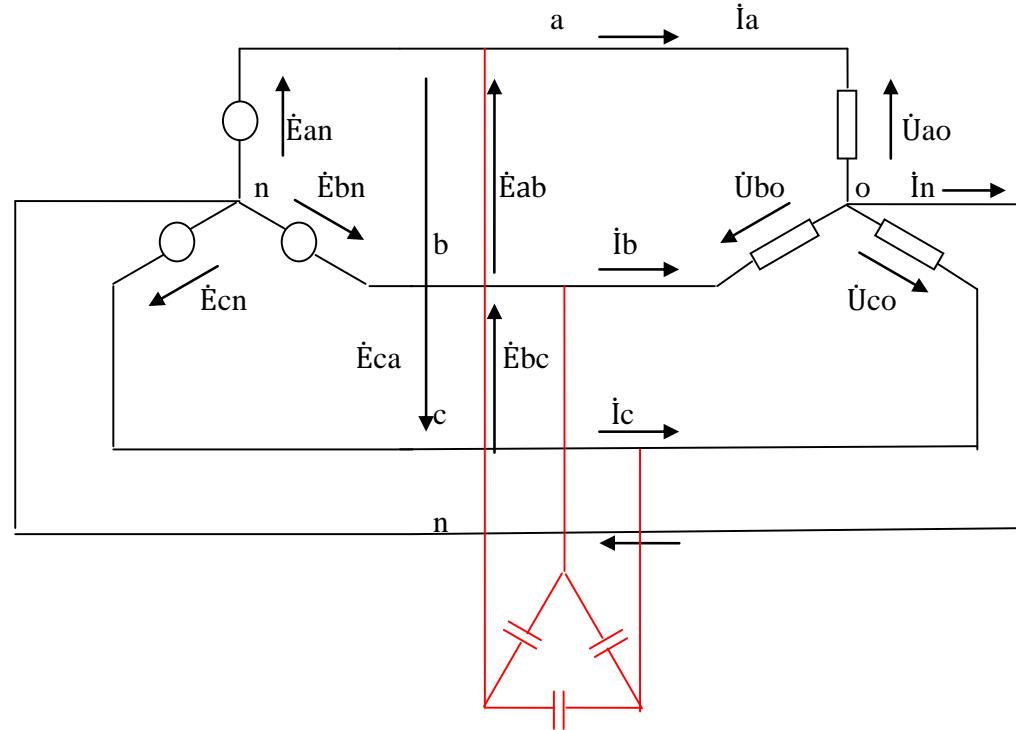
Para determinar el valor de la capacitancia de un capacitor conectado en estrella, deberé obtener la Potencia reactiva que aporta cada uno. Esto se logra considerando un tercio de la Q₃ cap.

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

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

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 Q3 cap.

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

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

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 $3 \times 380 / 220$ Vca – 50 Hz.

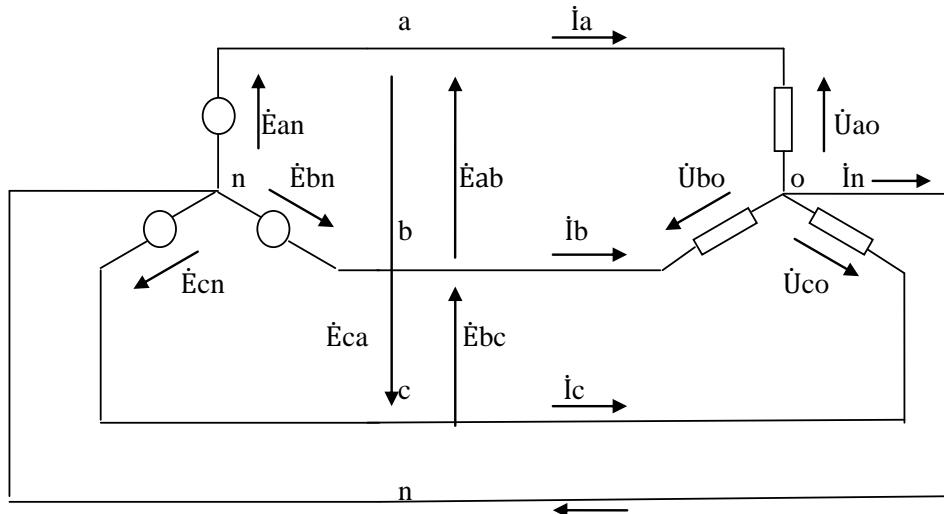
Dimensionar la batería de capacitores que será necesario instalar para corregir el factor de potencia a 0,9 para los casos 6.a y 6.b.

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



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

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

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

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

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

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

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

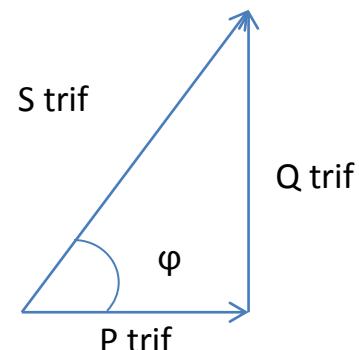
$$\tan \varphi_{\text{trif}} = 1,33$$

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

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

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

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



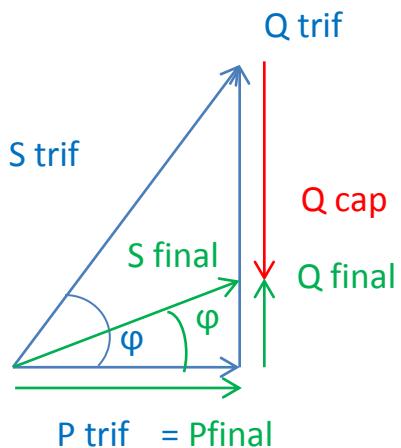
Trabajo Práctico N° 2 – Ejercicio N° 3

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

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

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

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



Trabajo Práctico N° 2 – Ejercicio N° 3

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

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

Q trif cap = 2038 VAR cap

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

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

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

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

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

$$\frac{CY}{C\Delta} = 3$$

Trabajo Práctico N° 2 – Ejercicio N° 4

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

Pmín = 160 KW , cos Fi = 0.6

Pmax = 300 KW , cos Fi = 0.75

Impedancia del cable alimentador de la industria es $0.080 + j 0.180$ [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 Pmáx
- 2- Determinar la reducción porcentual de la Potencia aparente trifásica S, para la condición de Pmáx
- 3- Determinar la reducción porcentual de la Corriente de línea I, para la condición de Pmáx
- 4- Determinar la reducción porcentual de las pérdidas Joule en la línea (conductor alimentador), para la condición de Pmáx
- 5- Determinar la reducción porcentual de la caída de tensión en la línea (conductor alimentador), para la condición de Pmáx
- 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 Pmín.

Trabajo Práctico N° 2 – Ejercicio N° 4

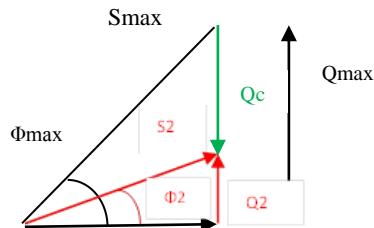
1-Determinar la Potencia Reactiva trifásica Q , para elevar el factor de potencia desde 0,75 a 0.90.

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

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

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

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



$$P_1=P_2$$

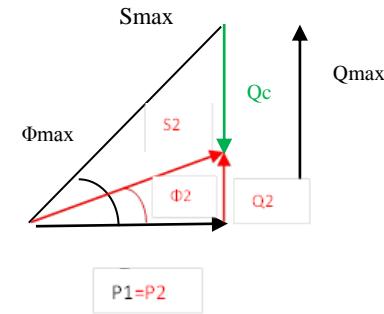
Trabajo Práctico N° 2 – Ejercicio N° 4

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

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

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

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



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

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

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

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

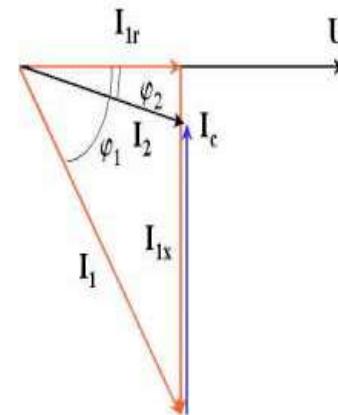
Trabajo Práctico N° 2 – Ejercicio N° 4

3-

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

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

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



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

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

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

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

En este caso $\phi_1 = \phi_{\max}$

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

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:

$$\Delta Pp [\%] = [(Pp1 - Pp2) / Pp1].100$$

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

Operando, resulta:

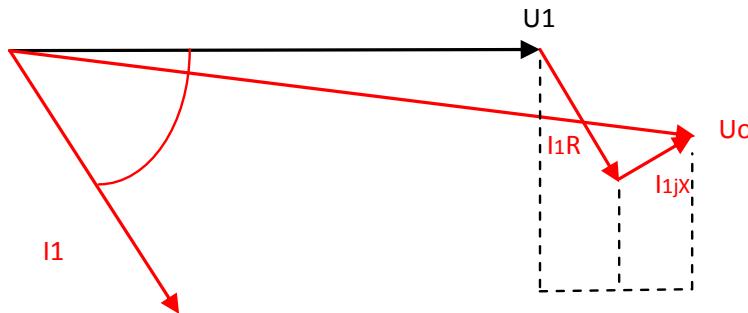
$$\Delta Pp [\%] = (1 - Pp2/Pp1) . 100$$

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

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

Trabajo Práctico N° 2 – Ejercicio N° 4

5-



Valores por fase

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

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

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

Reemplazando

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

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

Trabajo Práctico N° 2 – Ejercicio N° 4

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

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

Reemplazando

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

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

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

Cálculamos 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 $U_{0L} = 380$

$$\Delta U_{\text{max}} / U_1 [\text{p.u.}] = [(0,080.0,2).300.10^3 + (0,180.0,2).300.10^3.0,882] / (380)^2$$

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

Trabajo Práctico N° 2 – Ejercicio N° 4

Cálculamos 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

$$\Delta U_{max}/U_1[\text{p.u.}] - \Delta U_{max}/U_2[\text{p.u.}] = [(R.Pmax3 + X.Qmax3) - R.Pmax3 + X.(Qmax3 - Q3 cap)] / (U_{linea})^2$$

Resultando

$$\Delta U_{max}/U_1[\text{p.u.}] - \Delta U_{max}/U_2[\text{p.u.}] = X.Q3 cap / (U_{linea})^2 = (0,180.0,2)119,4.10^3 / 380^2 = 0,03 \equiv 3\%$$

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 $Q_{cap} = 120 \text{ kVAR capac}$

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

Determino el factor de potencia final

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

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

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:

Pm = 768 KW

Qm = 708 KVAr

Pt = 840 KW

Qt = 852 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 $\cos \varphi$ 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 φ 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

$$\cos \varphi \text{ deseado} = 0,9$$

$$\varphi \text{ deseado} = 0,451 \text{ rad} = 25,8^\circ$$

$$\operatorname{tg} \varphi \text{ deseado} = Q \text{ prom} / P \text{ prom} = 0,4843$$

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

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 $6 \times 30 \text{ KVar} = 180 \text{ KVar}$ y dos bancos automáticos de $6 \times 30 \text{ KVar}$ c/uno

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

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

Segunda Alternativa

La Instalación de un banco fijo de $6 \times 30 \text{ KVA} = 180 \text{ KVA}$ y dos bancos automáticos de $4 \times 40 \text{ KVA}$ c/uno

Prom 325 - Max Mañ 336	180	180
	40	
	40	
	40	
	40	300
	340	
	40	
	380	
	40	
Máx Tarde 445	460	420
	40	
	<u>40</u>	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:

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

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 $S_{carga} = P_{carga} / \cos \varphi$

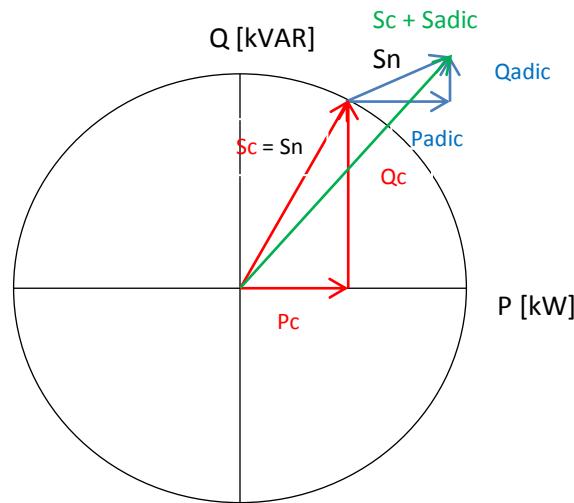
$$S_{carga} = 200 \text{ kW} / 0,5 = 400 \text{ kVA} = S_{nom} \text{ del Transformador}$$

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 $S_{\text{carga}} = P_{\text{carga}} / \cos \varphi$

Scarga = 200 kW / 0,5 = 400 kVA = Snom del Transformador



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

$$Q_c + Q_{\text{adic}} = P_c \operatorname{Tg} \varphi_c + P_{\text{adic}} \operatorname{tg} \varphi_{\text{adic}} = 200 \cdot 1,73 + 90 \cdot 0,75 = 417,5 \text{ k VAR}$$

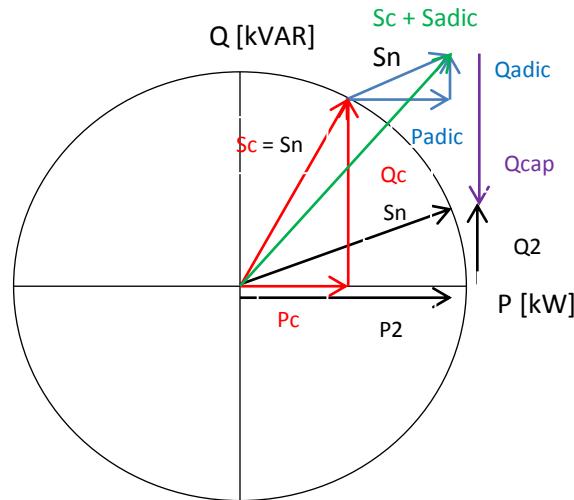
$$S_{c+adic} = 508 \text{ kVA} > \text{Módulo de } S_n = 400 \text{ kVA}$$

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}



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

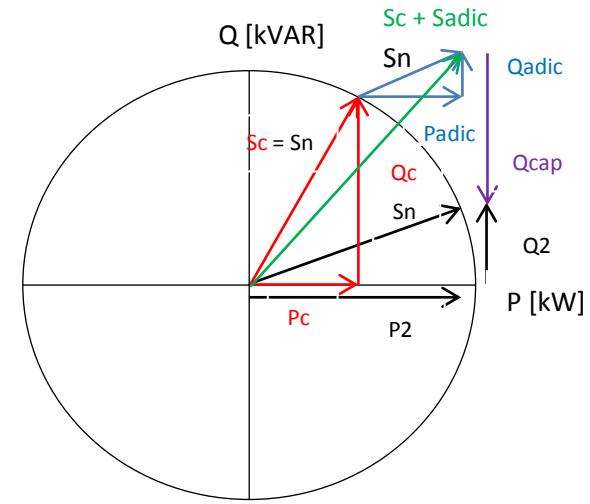
Trabajo Práctico N° 2 – Ejercicio N° 6

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

$$P_1 = \sqrt{3} \text{ UL. } I_1 \cdot \cos \varphi_1$$

$$P_2 = \sqrt{3} \text{ UL. } I_2 \cdot \cos \varphi_2$$

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



Determino el nuevo factor de potencia $\cos \varphi_2$, correspondiente a la condición final, luego de la compensación, a partir del incremento de potencia permitido.

$$(P_2 - P_1) / P_1 = \sqrt{3} \text{ UL. } I_1 (\cos \varphi_2 - \cos \varphi_1) / \sqrt{3} \text{ UL. } I_1 \cos \varphi_1 = (\cos \varphi_2 - \cos \varphi_1) / \cos \varphi_1$$

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

De esta manera puedo calcular el $\cos \varphi_2$ y la $\tan \varphi_2$, para obtener

$$Q_2 = P_2 \tan \varphi_2$$

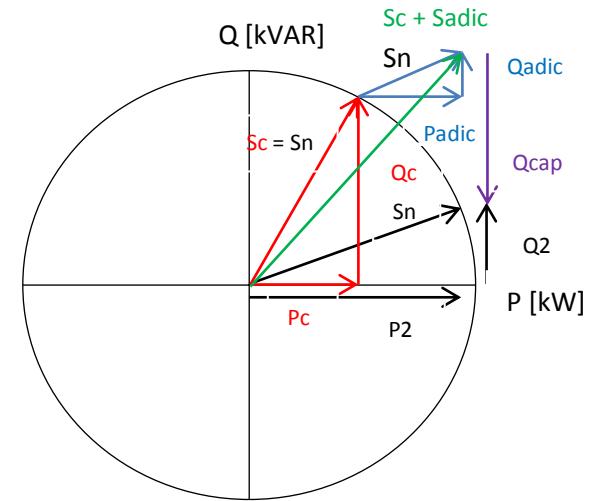
Trabajo Práctico N° 2 – Ejercicio N° 6

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

Trabajo Práctico N° 2 – Ejercicio N° 6

