UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMÓN
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA-ELECTRÓNICA

LABORATORIO DE CIRCUITOS ELÉCTRICOS III
INFORME No. 8

CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA TRIFÁSICO EN CARGAS EQUILIBRADAS

Estudiante:
Caballero Burgoa, Carlos Eduardo.

Carrera:
Ing. Electromecánica.

Docente:
Ing. Marco Antonio Vallejo Camacho.

Grupo: 2F (Martes).
Fecha de entrega: 26 de Noviembre del 2024.

1. Cálculos teóricos

Considerando un circuito trifásico con carga en estrella equilibrado, se hallan los factores de potencia, las corrientes de linea y las potencias activa, reactiva y aparente.

1.1. Carga RL

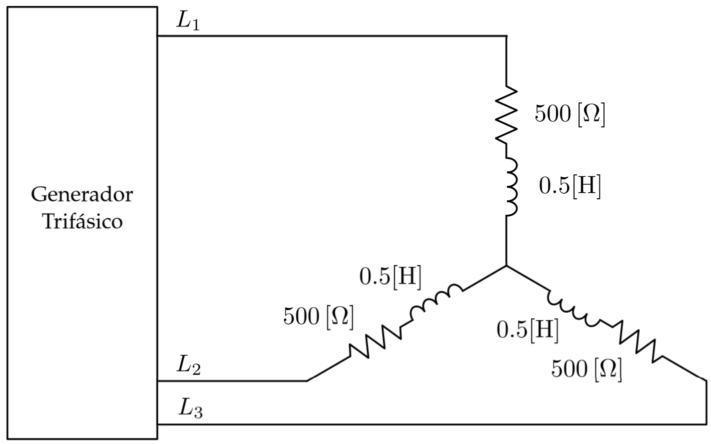

Figura 1: Circuito trifásico equilibrado con carga RL.

Considerando un circuito trifásico con carga RL estrella equilibrado (**Figura 1**).
Se calcula la frecuencia angular (ω):

$$\begin{aligned}\omega &= 2\pi f\\ &= 2\pi(50)\\ &= 100\pi\,[\text{rad/s}]\end{aligned}$$

Se halla la impedancia en el dominio de frecuencia:

$$\begin{aligned}Z &= R + j\omega L\\ &= 500 + j\,(100\pi)\,(0.5)\\ &= 500 + j50\pi\,[\Omega]\end{aligned}$$

Y su representación fasorial:

$$\begin{aligned}|Z| &= \sqrt{500^2 + (50\pi)^2}\\ &= 524.09\\ \theta &= \arctan\left(\frac{50\pi}{500}\right)\\ &= 17.44^\circ\\ Z &= 524.09\underline{/17.44^\circ}\,[\Omega]\end{aligned}$$

Por tanto, el factor de potencia es:

$$\begin{aligned}\text{fp} &= \cos(17.44^\circ)\\ &= 0.9540\,(\text{atrasado})\end{aligned}$$

A partir del voltaje de linea, se calcula el voltaje de fase:

$$\begin{aligned} U_F &= \frac{U_L}{\sqrt{3}} \\ &= \frac{380}{\sqrt{3}} \\ &= 219.39[\mathrm{V}] \end{aligned}$$

Y a partir del voltaje de fase, se halla la corriente de linea:

$$\begin{aligned} I_L &= \frac{U_F}{|Z|} \\ &= \frac{219.39}{\sqrt{(500)^2 + (50\pi)^2}} \\ &= 0.4186[\mathrm{A}] \end{aligned}$$

Por tanto, las potencias activa, reactiva y aparente son:

$$\begin{aligned} P_T &= \sqrt{3}\, U_L\, I_L\, \cos(\phi) \\ &= \sqrt{3}\,(380)\,(0.4186)\,\cos(17.44^\circ) \\ &= 262.86[\mathrm{W}] \\ Q_T &= \sqrt{3}\, U_L\, I_L\, \mathrm{sen}(\phi) \\ &= \sqrt{3}\,(380)\,(0.4186)\,\mathrm{sen}(17.44^\circ) \\ &= 82.579[\mathrm{VAR}] \\ S_T &= \sqrt{(262.86)^2 + (82.579)^2} \\ &= 275.52[\mathrm{VA}] \end{aligned}$$

1.2. Carga RL con capacitor en serie

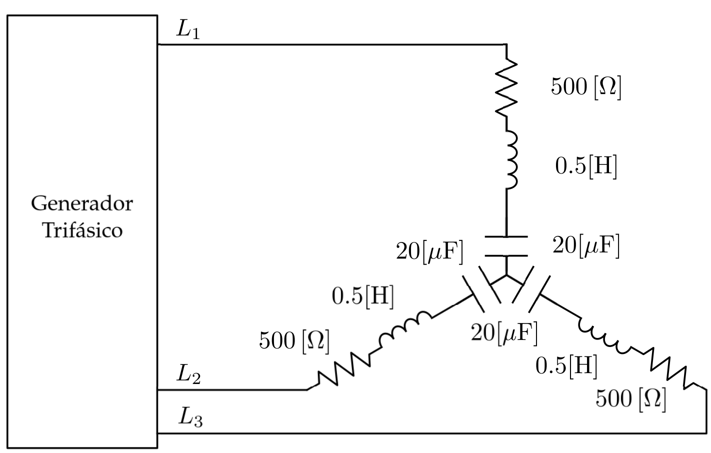

Figura 2: Circuito trifásico equilibrado con carga RL y capacitor en serie.

Considerando un circuito trifásico con carga RLC estrella equilibrado (**Figura 2**).

Se halla la impedancia en el dominio de frecuencia:

$$\begin{aligned} Z &= R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C} \\ &= 500 + j\,(100\pi)\,(0.5) + \frac{1}{j\,(100\pi)\,(20\times 10^{-6})} \\ &= 500 - j2.0753\,[\Omega] \end{aligned}$$

Y su representación fasorial:

$$\begin{aligned} |Z| &= \sqrt{500^2 + (-2.0753)^2} \\ &= 500.00 \\ \theta &= \arctan\left(\frac{-2.0753}{500}\right) \\ &= -0.24^\circ \\ Z &= 500.00\underline{/-0.24^\circ}\,[\Omega] \end{aligned}$$

Por tanto, el factor de potencia es:

$$\begin{aligned} \text{fp} &= \cos(-0.24^\circ) \\ &= 1.0000\,(\text{adelantado}) \end{aligned}$$

A partir del voltaje de linea, se calcula el voltaje de fase:

$$\begin{aligned} U_F &= \frac{U_L}{\sqrt{3}} \\ &= \frac{380}{\sqrt{3}} \\ &= 219.39[\text{V}] \end{aligned}$$

Y a partir del voltaje de fase, se halla la corriente de linea:

$$\begin{aligned} I_L &= \frac{U_F}{|Z|} \\ &= \frac{219.39}{\sqrt{(500)^2 + (-2.0753)^2}} \\ &= 0.4388[\text{A}] \end{aligned}$$

Por tanto, las potencias activa, reactiva y aparente son:

$$\begin{aligned} P_T &= \sqrt{3}\,U_L\,I_L\,\cos(\phi) \\ &= \sqrt{3}\,(380)\,(0.4388)\,\cos(-0.24^\circ) \\ &= 288.80[\text{W}] \\ Q_T &= \sqrt{3}\,U_L\,I_L\,\text{sen}(\phi) \\ &= \sqrt{3}\,(380)\,(0.4388)\,\text{sen}(-0.24^\circ) \\ &= -1.1987[\text{VAR}] \\ S_T &= \sqrt{(288.80)^2 + (-1.1987)^2} \\ &= 288.80[\text{VA}] \end{aligned}$$

1.3. Carga RL con capacitor en paralelo

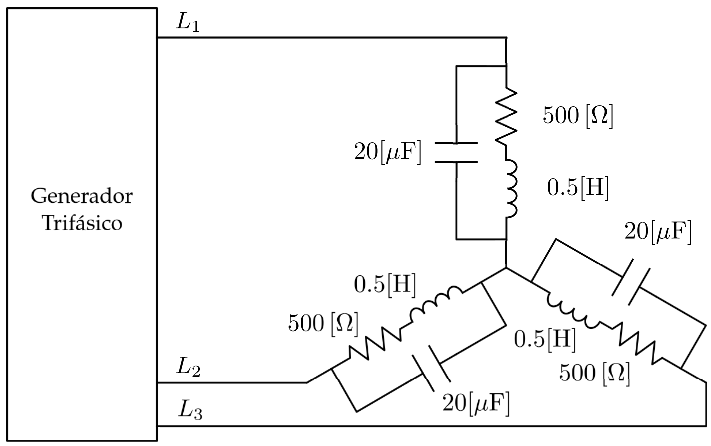

Figura 3: Circuito trifásico equilibrado con carga RL y capacitor en paralelo.

Considerando un circuito trifásico con carga RLC estrella equilibrado (**Figura 3**). Se halla la impedancia en el dominio de frecuencia:

$$\begin{aligned} Z &= (R + j\omega L)||(\frac{1}{j\omega C}) \\ &= \frac{(500 + j50\pi)(-j\frac{500}{\pi})}{(500 + j50\pi) + (-j\frac{500}{\pi})} \\ &= 50.660 - j158.945\,[\Omega] \end{aligned}$$

Y su representación fasorial:

$$\begin{aligned} |Z| &= \sqrt{(50.660)^2 + (-158.945)^2} \\ &= 166.82 \\ \theta &= \arctan\left(\frac{-158.945}{50.660}\right) \\ &= -72.32^\circ \\ Z &= 166.82\underline{/-72.32^\circ}\,[\Omega] \end{aligned}$$

Por tanto, el factor de potencia es:

$$\begin{aligned} \text{fp} &= \cos(-72.32^\circ) \\ &= 0.3037\,(\text{adelantado}) \end{aligned}$$

A partir del voltaje de linea, se calcula el voltaje de fase:

$$\begin{aligned} U_F &= \frac{U_L}{\sqrt{3}} \\ &= \frac{380}{\sqrt{3}} \\ &= 219.39[\text{V}] \end{aligned}$$

Y a partir del voltaje de fase, se halla la corriente de linea:

$$\begin{aligned} I_L &= \frac{U_F}{|Z|} \\ &= \frac{219.39}{\sqrt{(50.660)^2 + (-158.945)^2}} \\ &= 1.3151[\mathrm{A}] \end{aligned}$$

Por tanto, las potencias activa, reactiva y aparente son:

$$\begin{aligned} P_T &= \sqrt{3}\, U_L\, I_L\, \cos(\phi) \\ &= \sqrt{3}\,(380)\,(1.3151)\, \cos(-72.32°) \\ &= 262.86[\mathrm{W}] \\ Q_T &= \sqrt{3}\, U_L\, I_L\, \mathrm{sen}(\phi) \\ &= \sqrt{3}\,(380)\,(1.3151)\, \mathrm{sen}(-72.32°) \\ &= -824.71[\mathrm{VAR}] \\ S_T &= \sqrt{(262.86)^2 + (-824.71)^2} \\ &= 865.59[\mathrm{VA}] \end{aligned}$$

1.4. Resumen de resultados

En la siguiente tabla se resumen los valores obtenidos teóricamente:

	I_F[A]	P_T[W]	Q_T[VAR]	S_T[VA]	fp
RL	0.4186	262.86	82.58	275.52	0.9540 (atrasado)
RL + C en serie	0.4388	288.80	−1.20	288.80	1.0000 (adelantado)
RL + C en paralelo	1.3151	262.86	−824.71	865.59	0.3037 (adelantado)

2. Simulación

Se utilizó el software *Electronic Workbench v5.12.* para simular los circuitos, la carga RL puede verse en la **Figura 4**, la carga RL con capacitor en serie puede verse en la **Figura 5** y la carga RL con capacitor en paralelo puede verse en la **Figura 6**.

2.1. Resumen de resultados

En la siguiente tabla se resumen los valores obtenidos de la simulación:

	I_F[A]	P_T[W]	Q_T[VAR]	S_T[VA]	fp
RL	0.4183	262.27	83.51	275.25	0.9529
RL + C en serie	0.4389	288.75	1.16	288.75	1.0000
RL + C en paralelo	1.8141	262.27	−835.37	875.58	0.2995

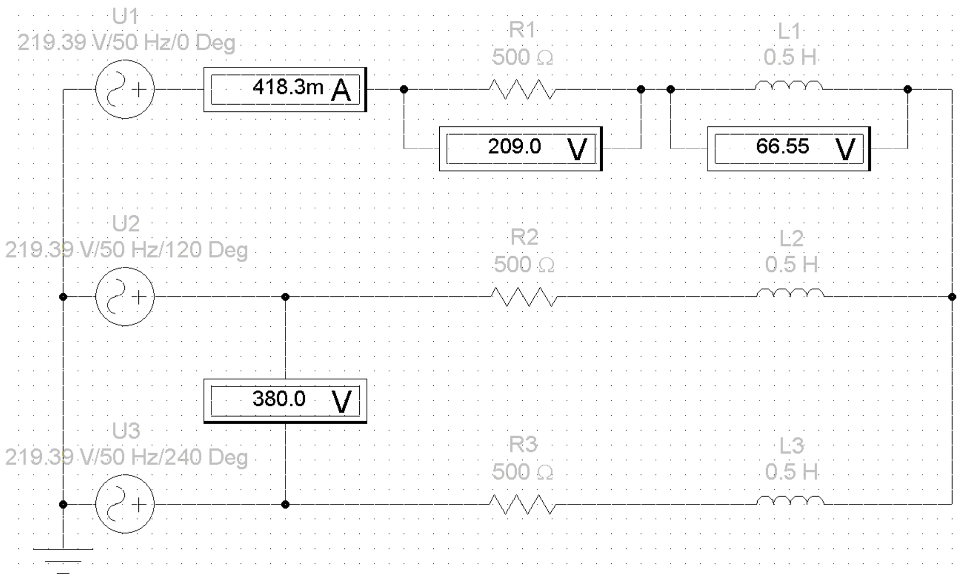

Figura 4: Simulación de la carga *RL*.

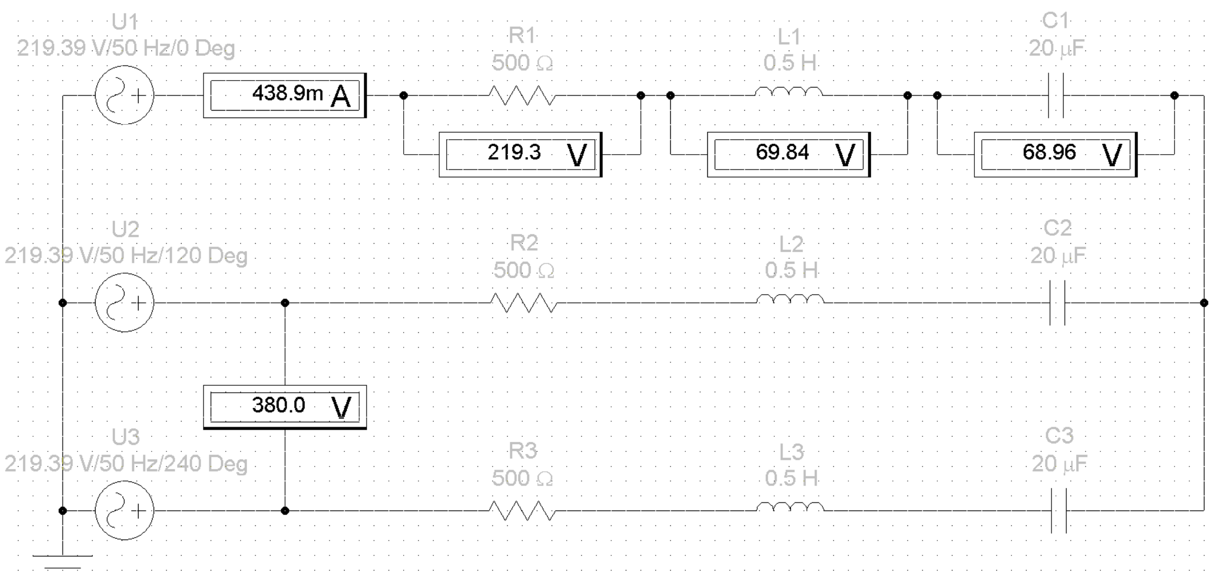

Figura 5: Simulación de la carga *RL* con capacitor en serie.

3. Tablas y mediciones

Se presentan los resultados obtenidos en laboratorio por medio del método de los dos vatímetros, el calculo de la potencia activa, reactiva, aparente y el factor de potencia.

La potencia aparente se calcula con la siguiente formula:

$$S_T = \sqrt{P_T^2 + Q_T^2}$$

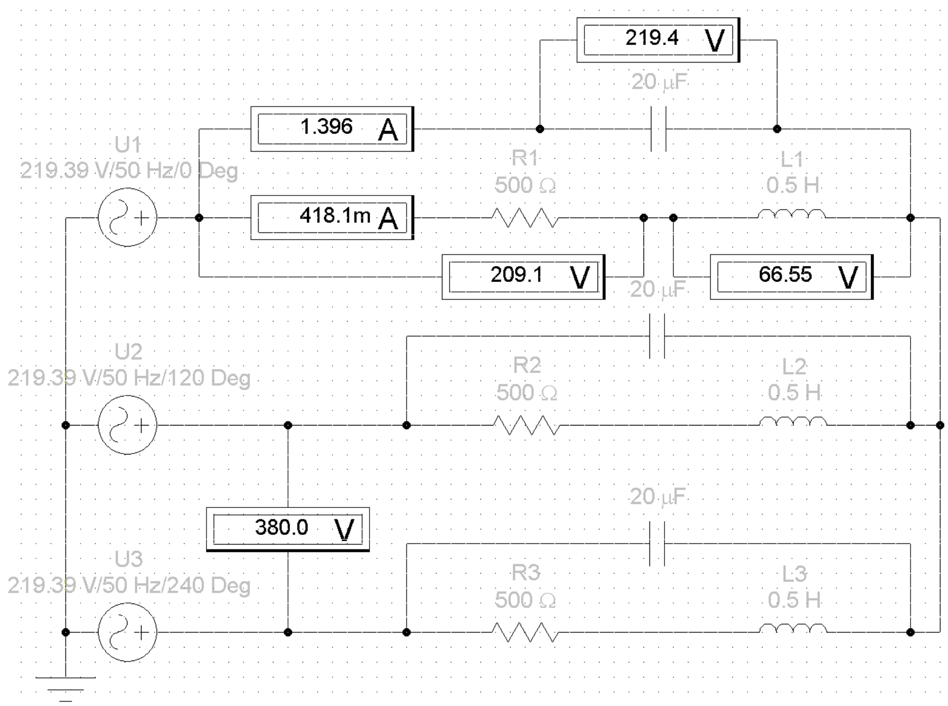

Figura 6: Simulación de la carga RL con capacitor en paralelo.

El factor de potencia se calcula con la siguiente formula:

$$\text{fp} = \frac{P_T}{S_T}$$

	I_F[A]	$W_1 + W_2 = P_T$[W]	$Q_1 + Q_2 = Q_T$[VAR]	S_T[VA]	fp
RL	0.40	$110 + 153 = 263$	$112 - 31 = 81$	275.19	0.9557
RL + C en serie	0.42	$143 + 143 = 286$	$79 - 78 = 1$	286	1.0000
RL + C en paralelo	1.40	$390 - 126 = 264$	$-393 - 528 = -921$	958.09	0.2755

4. Cuestionario

1. **¿Qué efectos produce en el circuito un mayor factor de potencia? Justifique su respuesta con los datos obtenidos.**

   Considerando que el factor de potencia se calcula con la siguiente formula:

$$\text{fp} = \frac{P_T}{S_T}$$
$$S_T = \sqrt{P_T^2 + Q_T^2}$$

   El valor del factor de potencia se halla comprendido en el intervalo $[0, 1]$, para subir el factor de potencia debe aproximarse la potencia activa (P_T) a la potencia aparente (S_T), es decir, reducir la potencia reactiva (Q_T).

En el caso de la medición de laboratorio el circuito RC tiene los siguientes valores:

$$\begin{aligned} P_T &= 263[\text{W}] \\ Q_T &= 81[\text{VAR}] \\ S_T &= 275.19[\text{VA}] \\ \text{fp} &= \frac{263}{275.19} \\ &= 0.9557 \end{aligned}$$

Con la conexión de un capacitor en serie los nuevos valores son:

$$\begin{aligned} P_T &= 286[\text{W}] \\ Q_T &= 1[\text{VAR}] \\ S_T &= 286[\text{VA}] \\ \text{fp} &= \frac{286}{286} \\ &= 1.0000 \end{aligned}$$

El factor de potencia 1 indica que toda la energía consumida por los componentes ha sido transformada en trabajo.

2. **¿Qué efectos produce en el circuito un menor factor de potencia? Justifique su respuesta con los datos obtenidos.**

   En el caso de la medición de laboratorio el circuito RC tiene los siguientes valores:

$$\begin{aligned} P_T &= 263[\text{W}] \\ Q_T &= 81[\text{VAR}] \\ S_T &= 275.19[\text{VA}] \\ \text{fp} &= \frac{263}{275.19} \\ &= 0.9557 \end{aligned}$$

   Con la conexión de un capacitor en paralelo los nuevos valores son:

$$\begin{aligned} P_T &= 264[\text{W}] \\ Q_T &= -921[\text{VAR}] \\ S_T &= 958.09[\text{VA}] \\ \text{fp} &= \frac{264}{958.09} \\ &= 0.2755 \end{aligned}$$

   La reducción del factor de potencia indica menor eficiencia en el consumo de la energía.

3. **¿Por qué razón es conveniente conectar capacitancias en paralelo en vez de conectar en serie cuando se corrige el factor de potencia? Justifique su respuesta**

Un **capacitor en serie** compensa la reactancia inductiva. En otras palabras, un capacitor en serie es una reactancia negativa (capacitiva) en serie con la reactancia positiva (inductiva) del circuito con el efecto de compensar parte o la totalidad de ella. Por lo tanto, el efecto principal del capacitor en serie es minimizar, o incluso suprimir, la caída de voltaje causada por la reactancia inductiva en el circuito.

Un capacitor serie proporciona un aumento de voltaje que aumenta automática e instantáneamente a medida que aumenta la carga. Además, un capacitor serie produce más aumento de voltaje neto que un capacitor en paralelo a factores de potencia más bajos, lo que crea más caída de voltaje. Sin embargo, un capacitor serie mejora el factor de potencia del sistema mucho menos que un capacitor en paralelo y tiene poco efecto sobre la corriente de la fuente.

Un **capacitor en paralelo** suministran el tipo de potencia reactiva o corriente para contrarrestar el componente fuera de fase de la corriente requerida por una carga inductiva.

En cierto sentido, los capacitores en paralelo modifican la característica de una carga inductiva al generar una corriente principal que contrarresta parte o la totalidad del componente retrasado de la corriente de carga inductiva en el punto de instalación.

Mediante la aplicación de un capacitor en paralelo, la magnitud de la fuente de corriente se puede reducir, el factor de potencia se puede mejorar y, en consecuencia, la caída de voltaje entre el extremo de envío y la carga también se reduce [1].

4. **Calcular cual debería ser el valor de la capacitancia en paralelo a conectarse por fase para obtener un factor de potencia igual a 1.**

   Calculando la impedancia equivalente:

$$
\begin{aligned}
Z_{\text{eq}} &= \frac{(500 + j50\pi)\left(-j\dfrac{1}{100\pi C}\right)}{500 + j50\pi - j\dfrac{1}{100\pi C}} \\
&= \frac{-j\dfrac{500}{100\pi C} + \dfrac{50\pi}{100\pi C}}{500 + j\left(50\pi - \dfrac{1}{100\pi C}\right)} \\
&= \frac{\dfrac{1}{2C} - j\dfrac{5}{\pi C}}{500 + j\left(\dfrac{5000\pi^2 C - 1}{100\pi C}\right)} \\
&= \frac{\dfrac{1}{2C} - j\dfrac{5}{\pi C}}{500 + j\left(\dfrac{5000\pi^2 C - 1}{100\pi C}\right)} \frac{500 - j\left(\dfrac{5000\pi^2 C - 1}{100\pi C}\right)}{500 - j\left(\dfrac{5000\pi^2 C - 1}{100\pi C}\right)} \\
&= \frac{\left(\dfrac{1}{2C} - j\dfrac{5}{\pi C}\right)\left(500 - j\dfrac{5000\pi^2 C - 1}{100\pi C}\right)}{500^2 + \left(\dfrac{5000\pi^2 C - 1}{100\pi C}\right)^2}
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
Z_{\text{eq}} &= \frac{\dfrac{250}{C} - j\dfrac{5000\pi^2C-1}{200\pi C^2} - j\dfrac{2500}{\pi C} - \dfrac{5000\pi^2C-1}{20\pi^2C^2}}{500^2 + \left(\dfrac{5000\pi^2C-1}{100\pi C}\right)^2} \\
&= \frac{\dfrac{250}{C} - \dfrac{5000\pi^2C-1}{20\pi^2C^2}}{500^2 + \left(\dfrac{5000\pi^2C-1}{100\pi C}\right)^2} - j\frac{\dfrac{5000\pi^2C-1}{200\pi C^2} + \dfrac{2500}{\pi C}}{500^2 + \left(\dfrac{5000\pi^2C-1}{100\pi C}\right)^2}
\end{aligned}
$$

Considerando que el factor de potencia es 1 cuando la parte imaginaria de la impedancia equivalente es 0, entonces:

$$
\frac{\dfrac{5000\pi^2C-1}{200\pi C^2} + \dfrac{2500}{\pi C}}{500^2 + \left(\dfrac{5000\pi^2C-1}{100\pi C}\right)^2} = 0
$$

$$
\begin{aligned}
\frac{5000\pi^2C-1}{200\pi C^2} &= -\frac{2500}{\pi C} \\
5000\pi^2C - 1 &= -500000C \\
5000\pi^2C + 500000C &= 1 \\
C &= \frac{1}{5000\pi^2 + 500000} \\
&= 1.82 \times 10^{-6}[\text{F}] = 1.82[\mu\text{F}]
\end{aligned}
$$

5. Conclusiones y Recomendaciones

Se midieron los valores en un circuito con carga estrella equilibrada, y se midieron los factores de potencia agregando un capacitor en serie y paralelo.

Se puede observar también como la precisión del vatímetro varia ligeramente los cálculos de potencia y factor de potencia.

Es recomendable realizar la simulación del circuito antes de conectar componentes adicionales para la corrección del factor de potencia, ya que puede rebasar la potencia que es capaz de disipar el componente.

Referencias

[1] Merla, Alfonso (2021, Junio).
La diferencia en como los capacitores serie y en derivación regulan el voltaje y los flujos de potencia reactiva.
Extraído el 24 de Noviembre del 2024, de:
https://cursostesla.com/la-diferencia-en-como-los-capacitores-serie-y-en-derivacion-regulan-el-voltaje-y-los-flujos-de-potencia-reactiva/