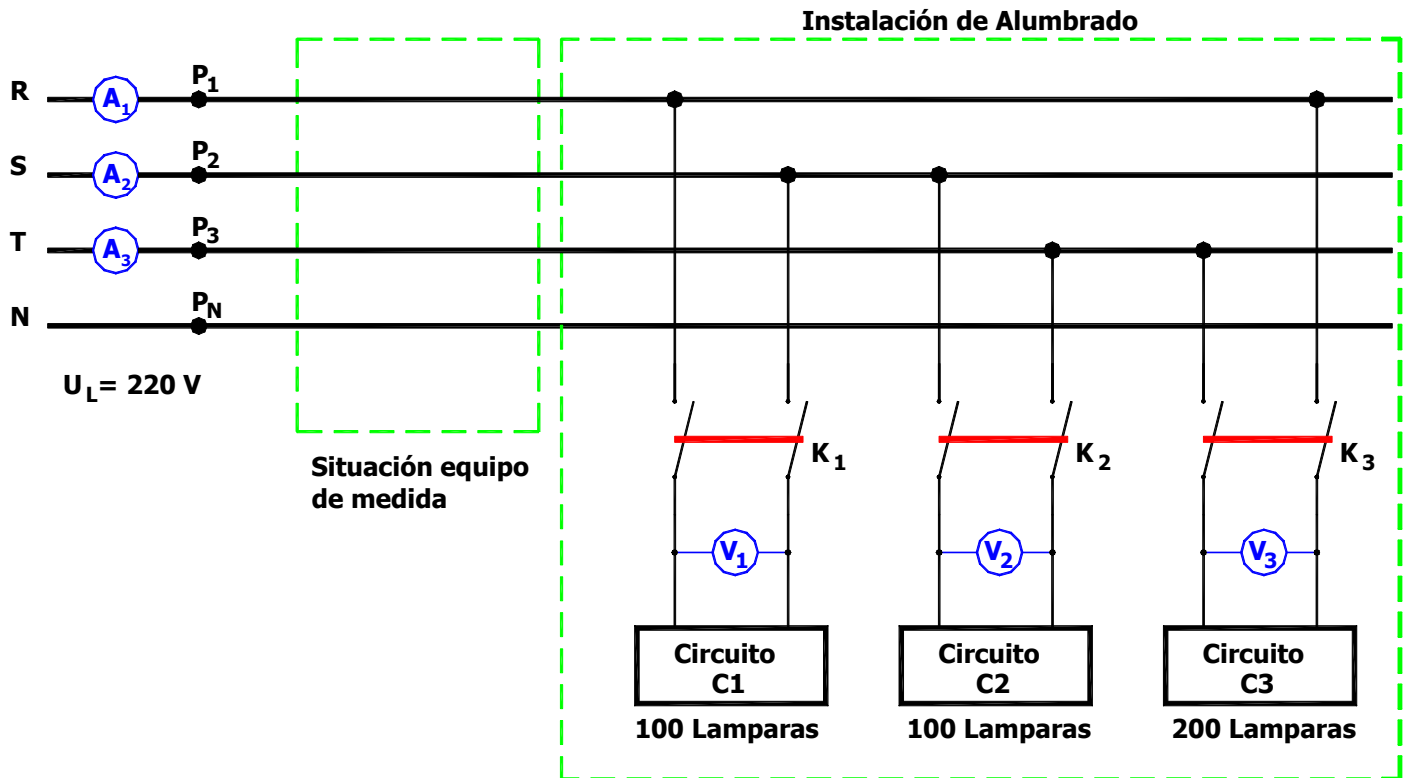


PROBLEMA

Dado el esquema eléctrico del alumbrado de una iglesia, determinar:



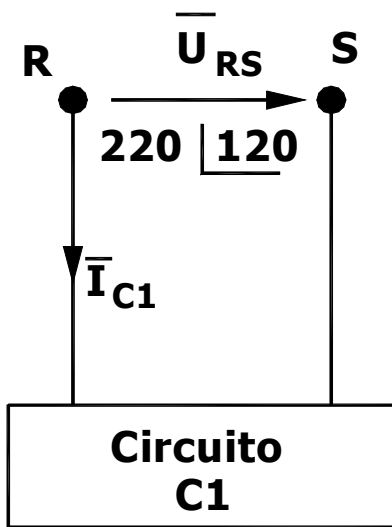
Características lamparas: $U_N = 220 \text{ V}$, $P_N = 60 \text{ W}$, $\text{fdp} = 0,6$

- 1) Lectura de los diferentes aparatos de medida en las siguientes circunstancias:
 - A) K_1 , K_2 y K_3 cerrado.
 - B) K_1 , K_2 y K_3 cerrado y se rompe el conductor T por el punto P_3 .
 - C) K_1 y K_2 cerrado, P_3 roto y K_3 abierto.

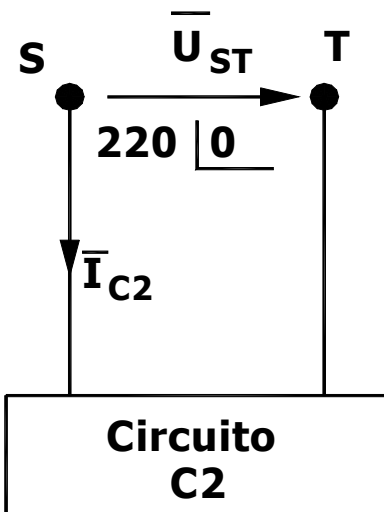
Nota: Suponer que la impedancia de las lamparas no varia con la tensión.
- 2) Determinar la capacidad de los condensadores a instalar que corrigen la potencia reactiva puesta en juego por las lamparas lo máximo posible (hasta la unidad).
- 3) Diseñar un esquema de vatímetros para medir la potencia activa consumida por la red en todas las circunstancias del apartado 1. Dar las lecturas de estos vatímetros suponiendo que todos los interruptores están cerrados y los condensadores están instalados.
- 4) Calcular el triángulo equivalente a la instalación (con condensadores incluidos).

Solución:

- 1) Sabiendo que la tensión de línea vale 220 V. las intensidades consumidas de la red por los diferentes circuitos serán:



P = 6000 W
f.d.p. = 0,6



P = 6000 W
f.d.p. = 0,6

Circuito C1: Este circuito está sometido a la tensión $U_{RS} = U_3$, por lo que la intensidad de la corriente que atraviesa el circuito C1 será:

$$I_{C1} = \frac{P_{C1}}{U_{RS} \cos \varphi_{C1}} = \frac{6000}{220 \times 0,6} = 45,58 \text{ A}$$

la cual está retrasada un ángulo de $53,13^\circ$ con respecto a la tensión de suministro, esto implica que:

$$\bar{I}_{C1} = \bar{I}_{RS} = 45,58 \angle 120 - 53,13 = 45,58 \angle 66,87$$

de donde podemos obtener la impedancia equivalente del circuito:

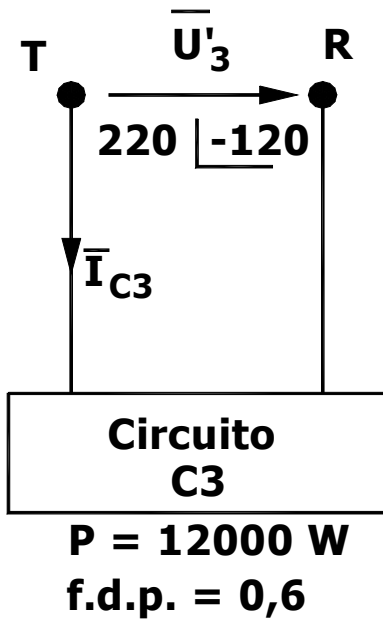
$$\bar{Z}_{C1} = \bar{Z}_{RS} = \frac{\bar{U}_{RS}}{\bar{I}_{RS}} = \frac{220 \angle 120}{45,58 \angle 66,87} = 4,813 \angle 53,13 = 2,89 + 3,85j$$

Circuito C2: Del mismo modo:

$$I_{C2} = \frac{P_{C2}}{U_{ST} \cos \varphi_{C2}} = \frac{6000}{220 \times 0,6} = 45,58 \text{ A}$$

$$\bar{I}_{C2} = \bar{I}_{ST} = 45,58 \angle -53,13$$

$$\bar{Z}_{C2} = \bar{Z}_{ST} = \frac{\bar{U}_{ST}}{\bar{I}_{ST}} = \frac{220 \angle 0}{45,58 \angle -53,13} = 4,813 \angle 53,13$$



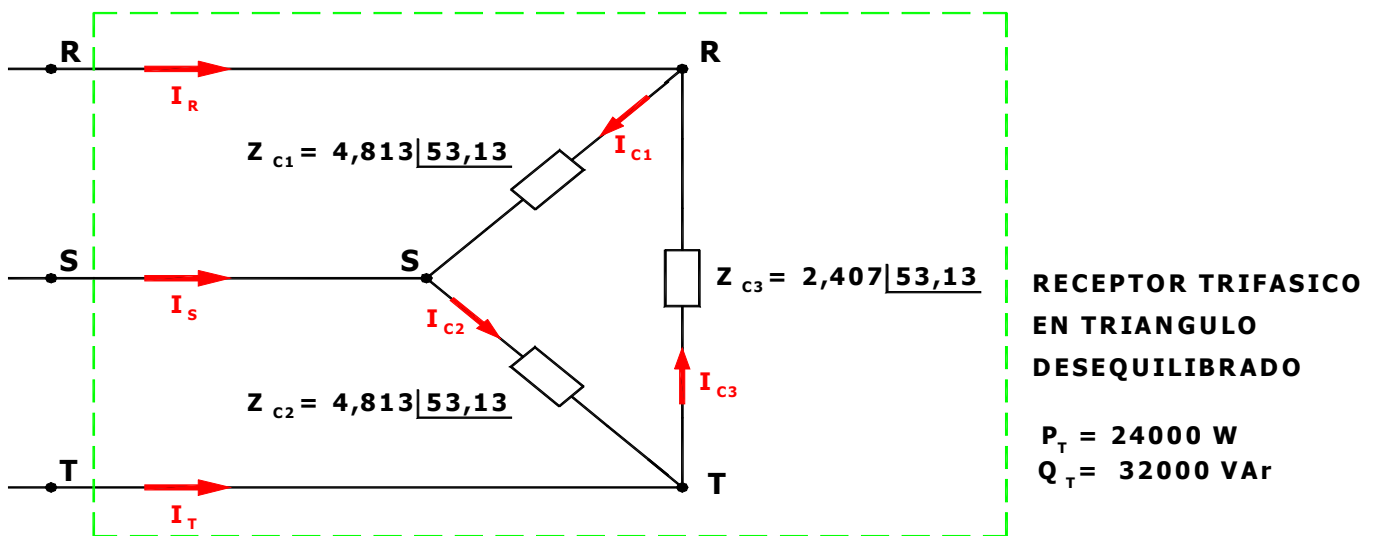
Circuito C3:

$$I_{C3} = \frac{P_{C3}}{U'_3 \cos \varphi_{C3}} = \frac{12000}{220 \times 0,6} = 91,16 \text{ A}$$

$$\bar{I}_{C3} = \bar{I}_{TR} = 91,16 \angle -173,13$$

$$\bar{Z}_{C3} = \bar{Z}_{TR} = \frac{\bar{U}_{TR}}{\bar{I}_{TR}} = \frac{220 \angle -120}{91,16 \angle -173,13} = 2,407 \angle 53,13 = 1,44 + 1,93j$$

Los tres circuitos monofásicos se comportan como un triangulo desequilibrado (ver figura siguiente).



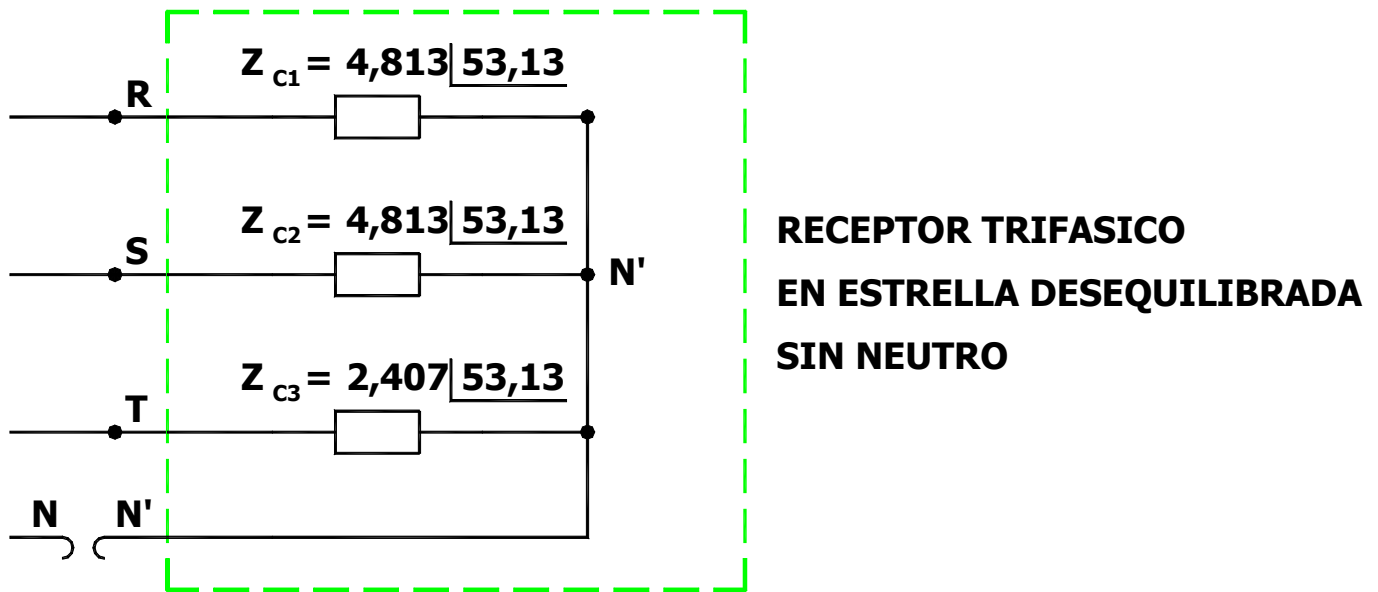
Si K_1 , K_2 y K_3 están cerrados, las lecturas de los aparatos de medida serán:

$$V_1 = V_2 = V_3 = 220 \text{ V}$$

$$A_1 = A_2 = 45,58 \text{ A} ; A_3 = 91,16 \text{ A}$$

Si K_1 , K_2 y K_3 están cerrados y se rompe el conductor N por el punto P_N , se tendrá que determinar las nuevas intensidades de línea para poder calcular las lecturas de los diferentes aparatos de medida.

El tipo de carga que queda es una estrella desequilibrada sin neutro, por lo que se tendrá que determinar el desplazamiento del neutro.



$$\bar{U}_{N'N} = \frac{220 \angle 90 \times 1/4,81 \angle -53,13 + 220 \angle -30 \times 1/4,81 \angle -53,13 + 220 \angle -150 \times 1/2,41 \angle -53,13}{1/4,81 \angle 53,13 + 1/4,81 \angle -53,13 + 1/2,41 \angle -53,13} =$$

$$= 54,84 \angle 210$$

Por lo que las tensiones e intensidades en los diferentes circuitos serán:

$$\bar{U}_{1N'} = \bar{U}_{C1} = \bar{U}_{RN} - \bar{U}_{N'N} = 220 \angle 90 - 54,84 \angle 210 = 251,34 \angle 79,1$$

$$\bar{U}_{2N'} = \bar{U}_{C2} = \bar{U}_{SN} - \bar{U}_{N'N} = 220 \angle -30 - 54,84 \angle 210 = 251,34 \angle 340,9$$

$$\bar{U}_{3N'} = \bar{U}_{C3} = \bar{U}_{TN} - \bar{U}_{N'N} = 220 \angle -150 - 54,84 \angle 210 = 164,54 \angle 210$$

$$\bar{I}_{C1} = \bar{U}_{C1} / \bar{Z}_{C1} = 52,21 \angle 25,97$$

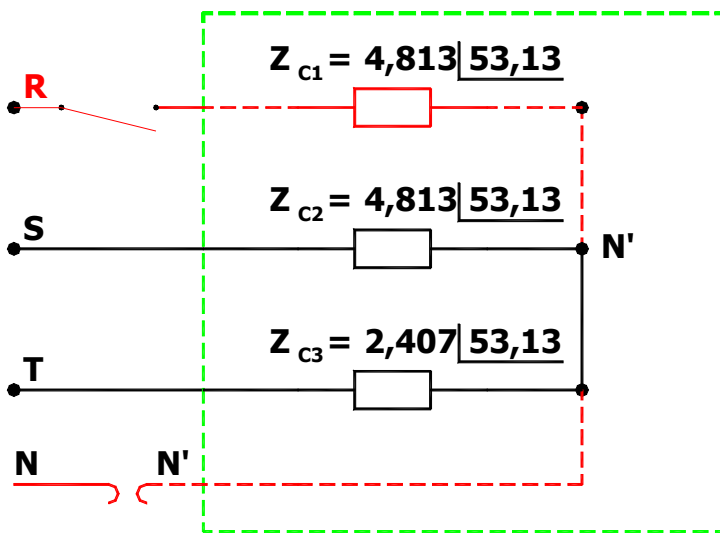
$$\bar{I}_{C2} = \bar{U}_{C2} / \bar{Z}_{C2} = 52,21 \angle 287,76$$

$$\bar{I}_{C3} = \bar{U}_{C3} / \bar{Z}_{C3} = 63,37 \angle 156,87$$

Las lecturas de los voltímetros serán: $V_1 = V_2 = 251,34$ V; $V_3 = 164,54$ V

y la de los amperímetros: $A_1 = A_2 = 52,21$ A ; $A_3 = 63,37$ A

Si K_2 y K_3 están cerrados, P_N roto y K_1 abierto, la carga trifásica se comporta como una monofásica entre S-T. Las nuevas intensidades de línea serán:



**RECEPTOR MONOFASICO
ENTRE S - T**

$$\bar{Z}_{S-T} = \bar{Z}_{C2} + \bar{Z}_{C3} = 7,24 \angle 53,13$$

$$\bar{I}_{S-T} = \bar{U}_{S-T} / \bar{Z}_{S-T} = 52,50 \angle -53,13$$

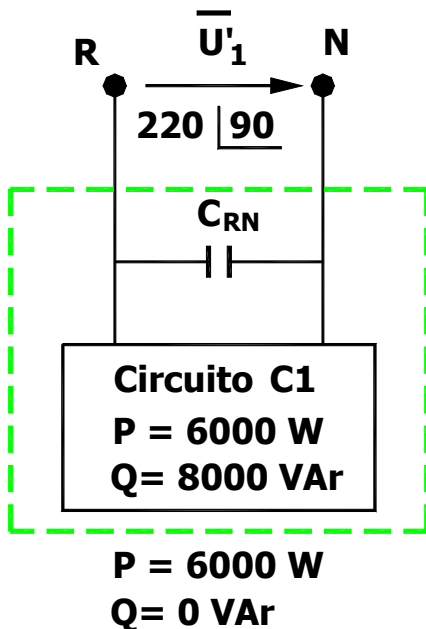
Las lecturas de los amperímetros serán:
 $A_1 = 0$; $A_2 = A_3 = 52,50$ A, y las lecturas de los
 voltímetros tendrán por valor:

$$V_1 = 0 \text{ V}$$

$$V_2 = 52,5 \times 4,813 = 253,6 \text{ V}$$

$$V_3 = 52,5 \times 2,407 = 126,4 \text{ V}$$

- 2) Los condensadores se instalarán en paralelo con los diferentes circuitos, de forma que estos entrarán en funcionamiento cuando entren sus circuitos respectivos.



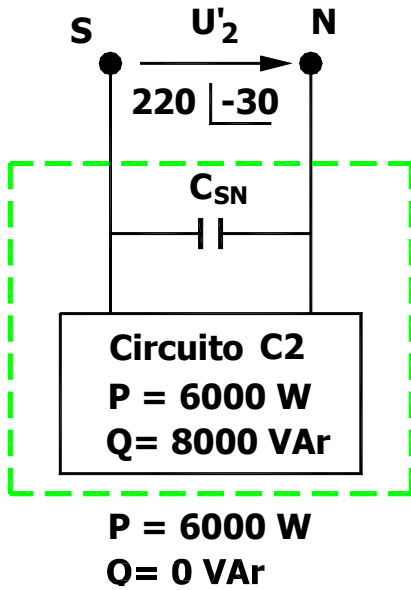
Circuito C1:

$$Q_C = U^2 / X = U^2 \omega C_{RN} \rightarrow$$

$$C_{RN} = 8000 / (220^2 100 \pi) = 0,526 \text{ mF}$$

La impedancia equivalente al circuito C1 mas el condensador es una resistencia pura de valor:

$$Z_{RN} = R_{RN} = U^2 / P = 220^2 / 6000 = 8,06 \Omega$$



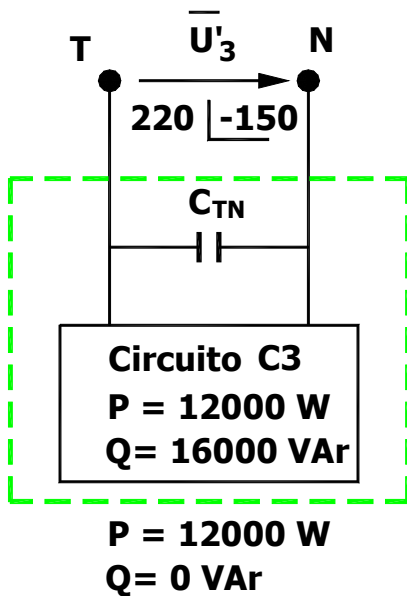
Circuito C2: Igual que en el caso anterior:

$$Q_C = U^2 / X = U^2 \omega C_{SN} \rightarrow$$

$$C_{SN} = 8000 / (220^2 100 \pi) = 0,526 \text{ mF}$$

La impedancia equivalente al circuito C2 mas el condensador es una resistencia pura de valor:

$$Z_{RN} = R_{RN} = U^2 / P = 220^2 / 6000 = 8,06 \Omega$$



Circuito C3:

Igual que en el caso anterior, pero con otros valores:

$$Q_C = U^2 / X = U^2 \omega C_{TN} \rightarrow$$

$$C_{TN} = 8000 / (220^2 100 \pi) = 1,052 \text{ mF}$$

La impedancia equivalente al circuito C3 mas el condensador es una resistencia pura de valor:

$$Z_{RN} = R_{RN} = U^2 / P = 220^2 / 6000 = 4,03 \Omega$$

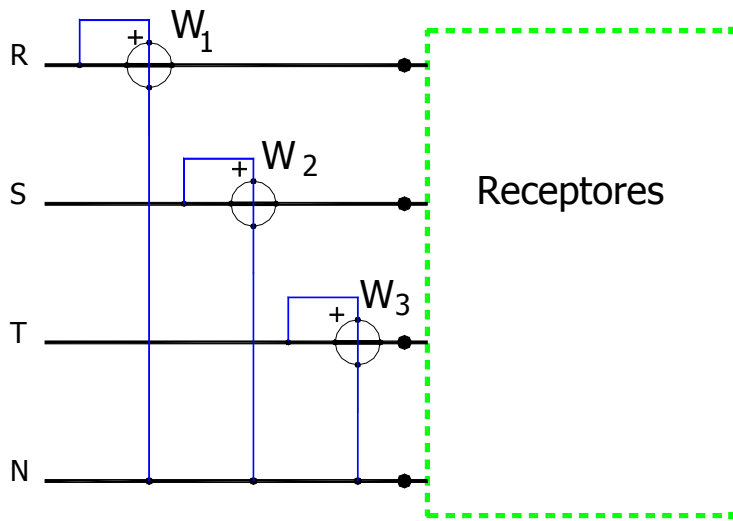
- 3) Para medir la potencia activa consumida por cualquier tipo de receptor trifásico equilibrado o desequilibrado, o monofásicos en una red se utilizara el esquema de la figura siguiente donde:

$$P_T = W_1 + W_2 + W_3$$

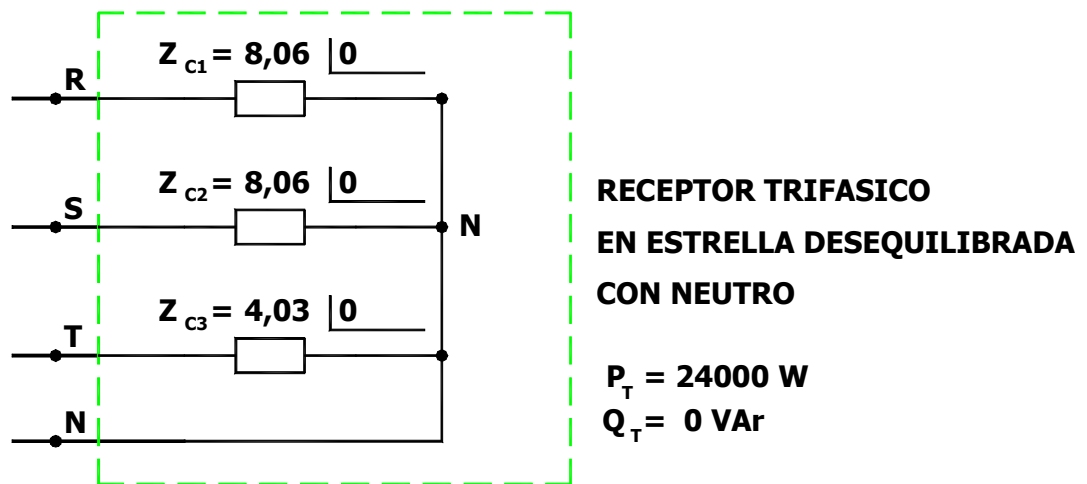
Por la disposición de los vatímetros, la lectura de estos es la potencia entregada a cada circuito, siendo por tanto su lectura:

$$W_1 = 6000 \text{ W} ; \quad W_2 = 6000 \text{ W} ; \quad W_3 = 12000 \text{ W}$$

independiente de si están o no conectados los condensadores.



Para comprobar que esto es cierto, se determinaran las nuevas intensidades de línea a partir de la estrella equivalente a la instalación con condensadores incluidos que esta representada en la figura siguiente:



$$\bar{I}_R = \frac{\bar{U}_{RN}}{\bar{Z}_{RN}} = \frac{220 \angle 90}{8,06 \angle 0} = 27,3 \angle 90 \quad \rightarrow W_1 = 220 \times 27,3 \times \cos(90-90) = 6006 \text{ W}$$

$$\bar{I}_S = \frac{\bar{U}_{SN}}{\bar{Z}_{SN}} = \frac{220 \angle -30}{8,06 \angle 0} = 27,3 \angle -30 \quad \rightarrow W_2 = 220 \times 27,3 \times \cos(-30-(-30)) = 6006 \text{ W}$$

$$\bar{I}_T = \frac{\bar{U}_{TN}}{\bar{Z}_{TN}} = \frac{220 \angle -150}{4,03 \angle 0} = 54,6 \angle -150 \quad \rightarrow W_3 = 220 \times 54,6 \times \cos(-150-(-150)) = 12012 \text{ W}$$

Como resumen de estos últimos apartados, los datos se muestran en una tabla que hacen el resultado más legible.

	P (W)	Q (VAr)	fdp	Z (Ω)	φ ($^\circ$)	I (A)	
RN	Circuito C1	6000	8000	0,6	4,813	53,13	45,58
	Condensador	0	- 8000	0	6,017	- 90	36,36
	Total	6000	0	1	8,06	0	27,3

SN	Circuito C2	6000	8000	0,6	4,813	53,13	45,58
	Condensador	0	- 8000	0	6,017	- 90	36,36
	Total	6000	0	1	8,06	0	27,3

TN	Circuito C3	12000	16000	0,6	2,407	53,13	91,16
	Condensador	0	- 16000	0	3,01	- 90	72,73
	Total	12000	0	1	4,03	0	54,6