

PRÁCTICA P4

CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA (1Φ) Y, MEDIDA DE LOS VALORES DE FASE Y DE LÍNEA DE UN SISTEMA TRIFÁSICO EQUILIBRADO (STE) (3Φ).

1. OBJETIVOS.

- Corroborar mediante medidas los efectos negativos de los receptores inductivos.
- Comprobar como se puede aumentar el factor de potencia de una instalación eléctrica.
- Medir el factor de potencia de una instalación eléctrica.
- Determinar el valor necesario de reactancia capacitiva de la instalación.

2. TEORÍA.

2.1. INTRODUCCIÓN.

Básicamente esta práctica, esta compuesta de dos partes bien diferenciadas. En la primera de ellas, trabajamos en un sistema monofásico, y lo que se trata es de valorar el efecto de la corrección del factor de potencia (tema 5).

En la segunda parte, trabajamos con un sistema trifásico equilibrado. Y se trata por medio de esta práctica, de dejar claro los conceptos referidos a las magnitudes de fase y de línea (tema 6).

Pero antes de empezar se considera necesario, hacer un repaso a aquellos conceptos relacionados con las potencias –definiciones y formas de medirse-(tema 5 y 8)

2.2. MEDIDA DE POTENCIAS EN UN CIRCUITO.

En función del tipo de potencia que se quiera determinar en un circuito, se utilizarán distintos procedimientos o equipos de medida. Así pues, podemos obtener las distintas potencias de un circuito, según se indica a continuación:

A) Medida de Potencia Aparente (S):

Se realizará mediante la medida de la tensión total del circuito, con la utilización de un voltímetro, y la medida por separado de la intensidad total del circuito, mediante un amperímetro. Para obtener el valor de la Potencia Aparente total del circuito bastará con multiplicar entre sí los valores de tensión e intensidad obtenidos.

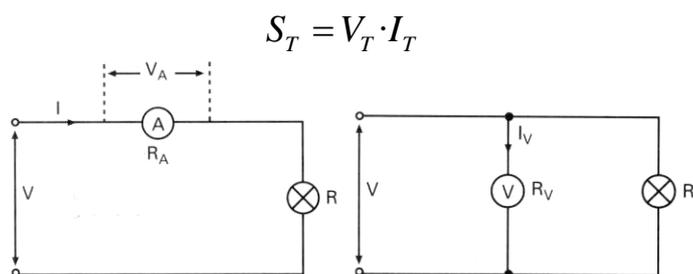


Fig. 1. Circuito de medida de Potencia Aparente. Medida de Tensión e Intensidad.

B) Medida de Potencia Activa (P):

Para realizar la medida de la potencia activa de un circuito, se utilizará un **instrumento** de medida denominado **Vatímetro**. Este instrumento de medida está formado internamente por dos medidores, uno es un voltímetro y otro un amperímetro. El instrumento muestra en pantalla el resultado de potencia activa, considerando tanto los valores de tensión e intensidad medidos, como el desfase que se produce entre ambos valores (Factor de potencia / coseno de ϕ).

- **Conexión del vatímetro:** En el esquema de representación de conexión del vatímetro, los dos terminales que se representan en serie con la potencia a medir, corresponden con los dos terminales de amperímetro del vatímetro, mientras que los dos terminales que se representan en paralelo, corresponden con los del voltímetro.

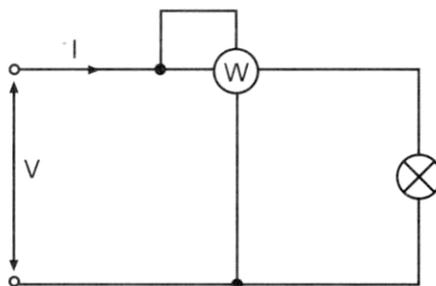


Fig. 2. Circuito de medida de Potencia Activa. Conexión de un Vatímetro.

- **Fondo de escala del vatímetro:** para determinar el fondo de escala de un vatímetro analógico, bastará con multiplicar entre sí los fondos de escala de tensión e intensidad utilizados. El producto de ambos fondos de escala, será el valor de fondo de escala de potencia (vatios) a considerar.

EJEMPLO:

Fondo Escala Tensión (V)	Fondo Escala Intensidad (A)	Fondo Escala Potencia (W)
40	0,5	20
80	0,5	40
80	1	80

En nuestro caso utilizaremos un vatímetro, que nos informará en la parte inferior izquierda del coeficiente corrector a aplicar a la lectura del vatímetro, para saber que potencia activa se consume, en función del fondo de escala elegido.

$$P = \text{Coeficiente} \cdot \text{Lectura}$$

Respecto al uso del vatímetro, habría que hacer dos puntualizaciones:

- a) Empezar a trabajar siempre por escalas altas, para evitar dañar el equipo de medida, y posteriormente en función de la precisión requerida, ir bajando la escala.
- b) Cuando la lectura de nuestro vatímetro sea negativa (la aguja marca hacia la izquierda), únicamente hay que invertir las bornas de intensidad.

C) Medida de Potencia Reactiva (Q):

Al igual que ocurría con la Potencia Activa, también existe un instrumento de medida que puede medir la Potencia Reactiva (Q), este instrumento de medida se denomina **Vármetro**. Interiormente está formado por un amperímetro y un voltímetro, indicando en la pantalla del instrumento de medida el resultado de la potencia activa medida, es decir, el producto de la tensión, intensidad medidos, y el seno del ángulo que forman ambas medidas.

Además de medir directamente la potencia Reactiva con un Vármetro, también se puede medir de forma indirecta mediante la relación entre la potencia Aparente y Activa medidas. Esta relación, según el triángulo de potencias deberá ser:

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

2.3. CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA.

En una instalación eléctrica la **potencia reactiva** que se genere será generalmente de tipo inductivo (bobinas). Esto se debe a que los **receptores eléctricos** que se pueden conectar a una instalación eléctrica, estarán formados por bobinados de máquinas eléctricas (transformadores, motores, etc.), de forma que estos, eléctricamente se **comportan** como un circuito **resistivo** (resistencia eléctrica de las bobinas, generalmente de cobre) e **inductivo** (por la formación de bobinas en las fases de los receptores).

De esta forma, en una instalación eléctrica casi siempre se producirá un **desfase** entre la **tensión e intensidad** aplicadas, por lo que el factor de potencia será siempre inferior a la unidad. Esto provocará en la instalación un mayor paso de intensidad por la línea de alimentación de los conductores.

Para **corregir** el factor de potencia de una instalación eléctrica, se suelen **conectar** en paralelo a los conductores de línea, reactancias capacitivas (**condensadores**), que anularán el efecto negativo que provocan las reactancias inductivas (bobinas).

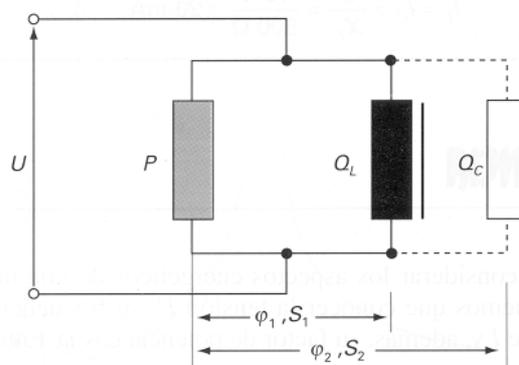


Fig. 3. Corrección del factor de potencia.

2.4. REDUCCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA.

Para **determinar** el **valor del condensador** que se deberá instalar para corregir en la instalación el factor de potencia desde un valor **inicial** $\text{Cos}\varphi_1$, hasta el valor **final** $\text{Cos}\varphi_2$ (inferior), se seguirán los siguientes **pasos**:

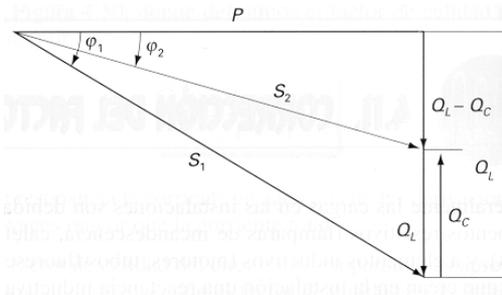


Fig. 4. Triángulo de potencias para corrección $\text{Cos}\varphi$.

-Se determina el valor de **energía reactiva** que deberá consumir el condensador (monofásico), para reducir el factor de potencia desde el valor inicial al final. Para ello, se determinará mediante la expresión:

$$Q_c = P \cdot (\text{tg} \varphi_1 - \text{tg} \varphi_2)$$

-Para el valor de energía reactiva anterior (en el condensador a instalar), se calcula cual debe ser la **reactancia de capacidad**, teniendo en cuenta la tensión a la que estará sometido el condensador.

$$Q_c = U_c \cdot I_c = \frac{(U_c)^2}{X_c} \qquad X_c = \frac{(U_c)^2}{Q_c}$$

-A partir del valor de la reactancia del condensador, se puede determinar el valor de la **capacidad** del mismo.

$$X_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} \qquad C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot X_c}$$

3. MATERIAL NECESARIO.

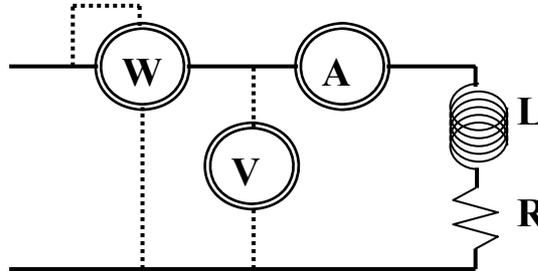
Para realizar la práctica, será necesaria la utilización del siguiente material:

- Alimentación monofásica de tensión regulable. **Tensión de fase:** 30V (Conectar entre fase y neutro)
- Carga monofásica resistiva de valores: 33Ω
- Carga monofásica inductiva de valor: $0,35\text{H}$.
- Cargas monofásicas capacitivas de valores: $4,7\mu\text{F}$, y $6,8\mu\text{F}$.
- Voltímetro (polímetro) analógico para medida de tensión.
- Amperímetro (polímetro) digital para medida de intensidades.
- Vatímetro analógico monofásico.
- Varios cables de conexiones.

4. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA.

Para realizar la práctica, seguir los pasos indicados a continuación:

1º.- Conectar a la tensión de **30 V**, un **receptor de tipo inductivo** en **serie** con otro **resistivo**, según los valores de la tabla de toma de datos siguiente. Medir los valores de tensiones, intensidades y potencias del circuito para cada valor del receptor. Este circuito **no tendrá compensación de energía reactiva**.



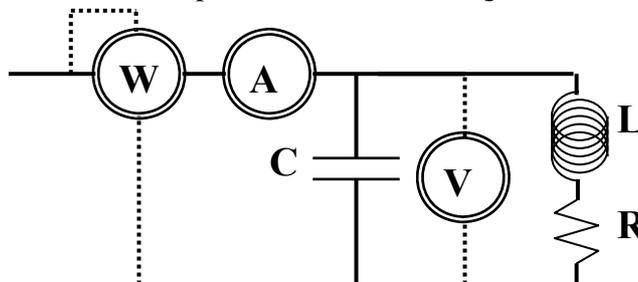
NOTA: Recordar que para realizar la medida se debe utilizar los **fondos de escala** escalas de tensión e intensidad del vatímetro **mas bajos** posibles, **sin superar** el fondo de escala de la **medida** de tensión o intensidad a realizar. Como ya dijimos, empezar por las escalas más altas (ver pregunta 2.2.)

Receptor		Medidas a realizar				
R (Ω)	L (H)	V_T (V)	I_T (A)	Escala vatímetro		P_T (W)
				(V)	(A)	
33	0,35					

2º.- **Determinar**, con los valores obtenidos en el punto anterior, los **valores** de potencias **Aparente y Reactiva**, así como el Factor de Potencia y el desfase entre tensión e intensidad total del circuito.

Receptor		Cálculos a realizar			
R (Ω)	L (H)	S_T (VA)	Q_T (VAr)	$\cos \varphi$	φ (grados)
33	0,35				

3º.- Conectar a la tensión de **30 V**, un **receptor de tipo inductivo** en **serie** con otro **resistivo**, según los valores de la tabla de toma de datos siguiente. **Conectar** a su vez, en **paralelo** a la línea un **condensador** de **4,7 μ F**. Medir los valores de tensiones, intensidades y potencias del circuito para cada valor del receptor. El circuito **estará compensado** frente a la energía reactiva.



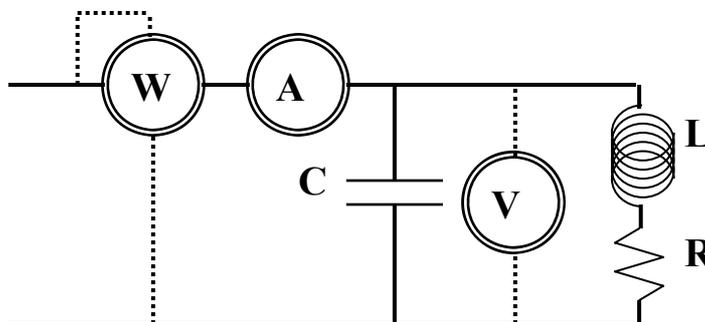
NOTA: Recordar que para realizar la medida se debe utilizar los **fondos de escala** escalas de tensión e intensidad del vatímetro **mas bajos** posibles, **sin superar** el fondo de escala de la **medida** de tensión o intensidad a realizar.

Receptor		Medidas a realizar				
R (Ω)	L (H)	V_T (V)	I_T (A)	Escala vatímetro		P_T (W)
				(V)	(A)	
33	0,35					

4°.- **Determinar**, con los valores obtenidos en el punto anterior, los **valores** de potencias **Aparente y Reactiva**, así como el Factor de Potencia y el desfase entre tensión e intensidad total del circuito.

Receptor		Cálculos a realizar			
R (Ω)	L (H)	S_T (VA)	Q_T (VAr)	$\cos \phi$	ϕ (grados)
33	0,35				

5°.- Conectar a la tensión de **30V eficaces**, un **receptor de tipo inductivo en serie** con otro **resistivo**, según los valores de la tabla de toma de datos siguiente. En este caso, **Conectar** a su vez, en **paralelo** a la línea un **condensador de 6,8 μ F**. Medir los valores de tensiones, intensidades y potencias del circuito para cada valor del receptor. El circuito estará aun **más compensado** que en el apartado anterior, frente a la energía reactiva.

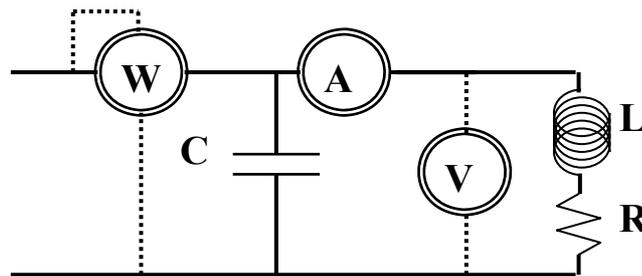


Receptor		Medidas a realizar				
R (Ω)	L (H)	V_T (V)	I_T (A)	Escala vatímetro		P_T (W)
				(V)	(A)	
33	0,35					

6°.- **Determinar**, con los valores obtenidos en el punto anterior, los **valores** de potencias **Aparente y Reactiva**, así como el Factor de Potencia y el desfase entre tensión e intensidad total del circuito.

Receptor		Cálculos a realizar			
R (Ω)	L (H)	S_T (VA)	Q_T (VAr)	$\cos \phi$	ϕ (grados)
33	0,35				

7°.- En la misma disposición anterior, conecta el amperímetro entre el condensador y nuestra carga inductiva.



Receptor		Medidas a realizar				
R (Ω)	L (H)	V_T (V)	I_T (A)	Escala vatímetro		P_T (W)
				(V)	(A)	
33	0,35					

8°.- **Determinar**, con los valores obtenidos en el punto anterior, los **valores** de potencias **Aparente y Reactiva**, así como el Factor de Potencia y el desfase entre tensión e intensidad total del circuito.

Receptor		Cálculos a realizar			
R (Ω)	L (H)	S_T (VA)	Q_T (VAr)	$\cos \varphi$	φ (grados)
33	0,35				

9°.- ¿Qué lectura obtienes de las dos medidas anteriormente obtenida? ¿Cómo explicas la diferencia en los valores de la intensidades?

10°.- Determinar teóricamente, el valor del condensador a instalar, para que el factor de potencia se reduzca a un valor de 0,99, respecto del que tiene el receptor.

5. OBJETIVOS.

- Conocer los sistemas eléctricos trifásicos.
- Conectar receptores trifásicos en estrella y triángulo.
- Comprobar relaciones de tensiones simples y compuestas en sistemas trifásicos.
- Comprobar relaciones de intensidades simples y compuestas en sistemas trifásicos.

6. TEORÍA.

6.1. TENSIONES ALTERNAS TRIFÁSICAS.

Una **tensión alterna trifásica** estará formada por tres señales alternas senoidales (monofásicas), cuyo valor de tensión y frecuencia serán iguales, pero que estarán desfasadas 120° entre sí. Por tanto se tendrán tres fuerzas electromotrices (generación de tensión), cada una generada por separado.

Se denomina **Fase** de un sistema trifásico, a cada una de las bobinas donde se genera la f.e.m. senoidal. Un sistema trifásico tendrá por tanto tres fases.

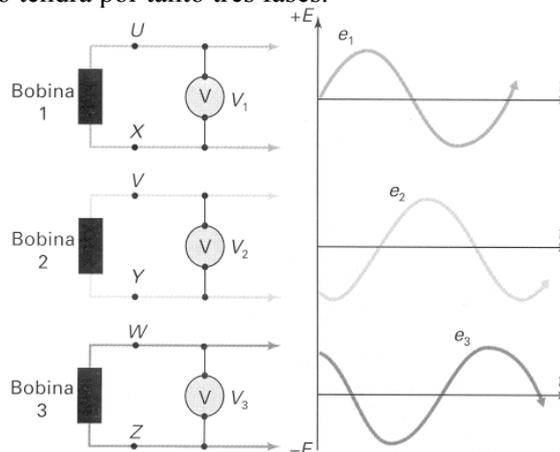


Fig. 5. Fases de un Sistema Trifásico.

A) Tipos de acoplamientos.

Debido a que se disponen de **tres tensiones** individuales, en la práctica si se quisieran distribuir estas tensiones trifásicas se debería de instalar líneas eléctricas con seis conductores (dos por cada una de las tres fases). Puesto que esto sería muy costoso, se **realizan acoplamientos** entre las tres tensiones generadas. De esta forma se consiguen tener tres o cuatro conductores en la línea eléctrica, en función del tipo de acoplamiento que se realice. Estos acoplamientos son:

- **Conexión en Estrella:** Se realiza conectando entre sí todos los finales de las tres bobinas de fase, mientras que los principios se conectan a los terminales de la línea eléctrica. Existen por tanto cuatro **conductores** en la línea, los correspondientes a las **tres fases** que se denominan L_1 , L_2 , y L_3 , y un cuarto conductor denominado **Neutro**.

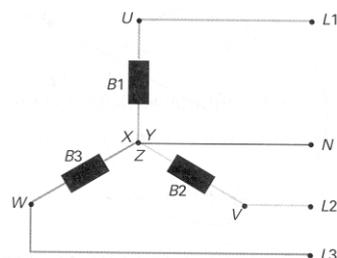


Fig. 6 Generador trifásico conexión en estrella.

-**Conexión en triángulo:** Se realiza conectando el final de una bobina con el principio de la siguiente, sucesivamente hasta completar todas las conexiones. Se consiguen así **tres conexiones** a los

conductores de la línea eléctrica que se denomina L_1 , L_2 , y L_3 , cada uno de ellos corresponde con una unión entre dos fases.

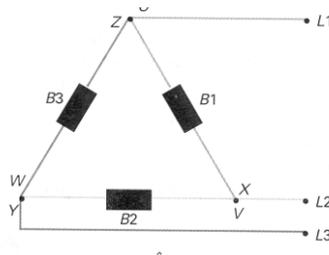


Fig. 7 Generador trifásico conexión en triángulo.

- **Conductores de Línea:** Los **conductores** que forman la **línea** eléctrica, conectando el generador trifásico con el receptor. Se les denomina L_1 , L_2 , y L_3 , correspondiendo a cada una de las fases del sistema.

B) Tensiones Simples y Compuestas.

Para distinguir las tensiones que se pueden generar entre los distintos conductores de una línea eléctrica trifásica (conductores de fases L_1 , L_2 , y L_3 , y neutro N), se identifican los siguientes valores de tensiones medidos entre los mismos:

- **Tensión de Fase (U_F):** También se denomina **tensión simple (U_S)**. Es la tensión que existe entre los dos terminales de conexión de una fase del sistema.

Se puede comprobar que, en caso de que el sistema esté conectado en **estrella**, esta **tensión** coincide con la medida entre cualquier conductor de la línea eléctrica y el conductor neutro. Mientras que si la conexión es en triángulo, la medida coincidirá con la correspondiente entre dos conductores de la línea.

- **Tensión de Línea (U_L):** También se denomina **Tensión Compuesta (U_C)**. Es la tensión que se mediría entre dos conductores de línea (L_1 , L_2 ó L_3) de una línea eléctrica.

6.2. CORRIENTES EN UN SISTEMA TRIFÁSICO.

Las intensidades en un sistema trifásico serán generadas por los tres valores de tensiones de fase del sistema. Así se obtendrán tres intensidades alternas, cuyos valores y desfases dependerán de los valores de los receptores conectados al sistema.

A) Intensidades Simples y Compuestas.

En un sistema trifásico se producen valores diferenciados de corriente eléctrica, al igual que ocurría con las tensiones en los conductores. Se definen así los valores de intensidades siguientes:

- **Intensidad de Fase (I_F):** También se denomina intensidad **simple**. Será la que circulará por cualquiera de los bobinados de fase del generador trifásico.

- **Intensidad de línea (I_L):** También se denomina intensidad **compuesta**. Será la intensidad que circulará por cualquier de los conductores de línea de salida del generador trifásico. Estos valores son la diferencia entre los dos valores de intensidad de fase correspondientes.

- **Intensidad de Neutro (I_N)**: Es el valor de la intensidad que circulará por el conductor neutro (si existe) de en un sistema trifásico. Este valor coincide con la suma vectorial de todas las intensidades de fase:

$$\vec{I}_N = \vec{I}_{F1} + \vec{I}_{F2} + \vec{I}_{F3}$$

6.3. CONEXIÓN DE RECEPTORES TRIFÁSICOS.

Un receptor Trifásico estará formado por tres impedancias de fase (Z_1 , Z_2 , y Z_3). Estas impedancias, podrán ser conectadas en **estrella** o en **triángulo** a los conductores de la línea trifásica de alimentación.

A) Conexión de cargas trifásicas en ESTRELLA.

Consistirá en conectar los principios de los tres terminales iniciales de cada una de las fases, a cada uno de los conductores de fase de la línea (L_1 , L_2 , ó L_3), y los finales de las fases del receptor entre sí y al conductor neutro.

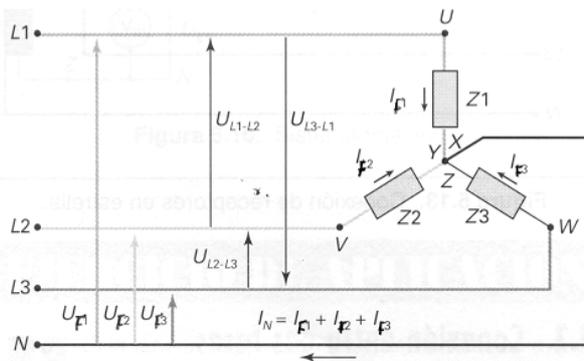


Fig. 8. Conexión de receptor trifásico en Estrella.

NOTA: Para determinar las relaciones de valores de tensión e intensidad que se indican a continuación, se ha considerado que el sistema trifásico es **equilibrado**.

- **Valores de tensión:** La relación que existe entre las tensiones de línea (U_L), que se aplican a un receptor trifásico en estrella, y los valores de tensión aplicados a cada fase del receptor (U_F), tendrá la relación siguiente:

$$U_L = \sqrt{3} \cdot U_F$$

- **Valores de intensidad:** Al tener conectado el receptor trifásico en estrella, las intensidades que circularán por los conductores de alimentación (I_L), y las intensidades que irán por las impedancias de fase del receptor (I_F), serán iguales. Aplicando la Ley de Ohm a la impedancia de fase, se tendrá un valor de intensidad de Fase (I_F) de:

$$I_L = I_F = \frac{U_F}{Z_F}$$

B) Conexión de cargas trifásicas en TRIANGULO.

En este caso se unirán el final de cada una de las fases del receptor, con el inicio de la fase siguiente. En este caso sobre el receptor no se podrá conectar el conductor neutro, por el receptor será exclusivamente trifásico.

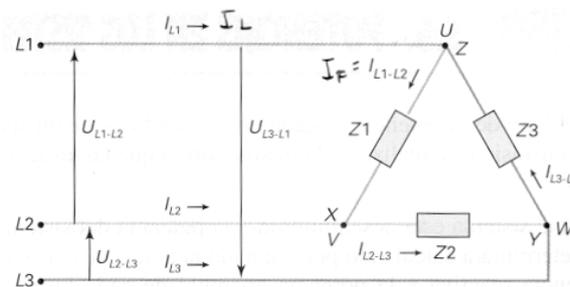


Fig. 9. Conexión de receptor trifásico en Triángulo.

NOTA: Para determinar las relaciones de valores de tensión e intensidad que se indican a continuación, se ha considerado que el sistema trifásico es **equilibrado**.

- **Valores de tensión:** En este caso, al tener conectado el receptor trifásico en triángulo, las tensiones que existirán en los conductores de alimentación (U_L), serán iguales a las tensiones aplicadas a cada una de las fases (U_F) del receptor.

$$U_L = U_F$$

- **Valores de intensidad:** La relación que existe entre las intensidades de **línea** (I_L), que circularán por cada conductor de alimentación del receptor trifásico en triángulo, y los valores de intensidad que circularán en cada **fase** del receptor (I_F), tendrá la relación siguiente:

$$I_L = \sqrt{3} \cdot I_F$$

Para determinar cual será la intensidad de Fase (I_F), se deberá aplicar la Ley de Ohm a la impedancia de fase (Z_F), obteniéndose un valor de:

$$I_F = \frac{U_F}{Z_F}$$

7. MATERIAL A UTILIZAR.

Para realizar la práctica, será necesaria la utilización del siguiente material:

- Línea de alimentación trifásica de tensión regulable. **Tensión de línea:** aprox. 52V (entre fases)
- Cargas monofásicas resistivas de valores: 47 y 68Ω (tres por cada valor).
- Cargas monofásicas inductivas de valores: 0,25 y 0,35H (tres por cada una).
- Voltímetro (polímetro) analógico para medida de tensión.
- Amperímetro (polímetro) digital para medida de intensidades.
- Varios cables de conexiones.

8. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA.

Para realizar la práctica, seguir los pasos indicados a continuación:

1º.- Realizar el montaje en **ESTRELLA**, Conectar las tres fases del mismo valor, según la forma indicada en la fig. 8 (Receptores Trifásicos en Estrella). Aplicar una **Tensión de línea de 52 V**. Realizar las medidas de tensiones e intensidades simples y compuestas que se indican para completar la tabla. tal como en el apartado anterior, pero en esta caso formar la impedancia de fase por medio de un receptor tipo **RESISTIVO**, en **SERIE** con otro de tipo **INDUCTIVO** (bobina), según los valores que se indican a continuación. Aplicar una **Tensión de línea de 52V**. Completar la tabla de medidas de tensiones e intensidades simples y compuestas.

Z_F		Tensiones compuestas			Tensiones simples		
R (Ω)	L (H)	U_{L1-L2} (V)	U_{L2-L3} (V)	U_{L3-L1} (V)	U_{F1} (V)	U_{F2} (V)	U_{F3} (V)
47	0,35						

Z_F		Intensidades simples y compuestas			
R (Ω)	L (H)	$I_{L1} = I_{F1}$ (mA)	$I_{L2} = I_{F2}$ (mA)	$I_{L3} = I_{F3}$ (mA)	I_N (mA)
47	0,35				

2º.- Realizar el montaje en **TRIÁNGULO**, Conectar las tres fases del mismo valor, según la forma indicada en la fig 9 (Receptores Trifásicos en Triángulo). Aplicar una **Tensión de línea de 52 V** tal como en el apartado anterior, pero en esta caso formar la impedancia de fase por medio de un receptor tipo **RESISTIVO**, en **SERIE** con otro de tipo **INDUCTIVO** (bobina), según los valores que se indican a continuación. Aplicar una **Tensión de línea de 52 V**. Completar la tabla de medidas de tensiones e intensidades simples y compuestas.

Z_F		Intensidades compuestas			Intensidades simples		
R (Ω)	L (H)	I_{L1} (mA)	I_{L2} (mA)	I_{L3} (mA)	I_{F1} (mA)	I_{F2} (mA)	I_{F3} (mA)
47	0,35						

Z_F		Tensiones simples y compuestas		
R (Ω)	L (H)	$U_{L1-L2} = U_{F1}$ (V)	$U_{L2-L3} = U_{F2}$ (V)	$U_{L3-L1} = U_{F3}$ (V)
47	0,35			

3º.- Para el caso de la impedancia en **ESTRELLA** del Apartado-2, comprobar los resultados obtenidos en la práctica, calculando teóricamente los valores de **corriente simples y compuestos**. Desarrollar los cálculos de los valores a continuación.

- Valor de impedancia de Fase (seleccionado uno de los dos valores):

- Desarrollo de resultados:

- Comprobación de resultados:

$I_L = I_F$ (medidos)=

$I_L = I_F$ (calculados)=

4°.- Dibujar los dos **esquemas de conexión** utilizados en la práctica, tanto para la conexión en **ESTRELLA** como en **TRIÁNGULO**, donde se representen la fuente de **tensión trifásica**, los **receptores** trifásicos utilizados (resistencia y bobina en serie), y los **instrumentos** de medida de tensiones e intensidades.

- Esquema de conexión en Estrella. (Apartado-1).

- Esquema de conexión en Triángulo. (Apartado-2).