

## 1 Introducción y objetivos

En el presente trabajo práctico de laboratorio se realizó el conexionado y medición de un circuito trifásico, con sus cargas conectadas en triángulo. Se efectuaron las mediciones de las tensiones de línea, corrientes de línea y fase, y de potencias. Como cargas, se utilizaron combinaciones de lámparas como resistencias y bobinas como inductancias. Para las mediciones se empleó un multímetro digital para las tensiones, e instrumentos analógicos para las corrientes y potencias.

## 2 Circuito experimental

### 2.1 Esquemático

El circuito trifásico utilizado es el que se muestra en la figura, con las cargas conectadas siempre en triángulo, esquematizando los sentidos de corriente tomados para verificar posteriormente las relaciones. Se indican con marrón las corrientes de línea y con rojo las corrientes de fase.

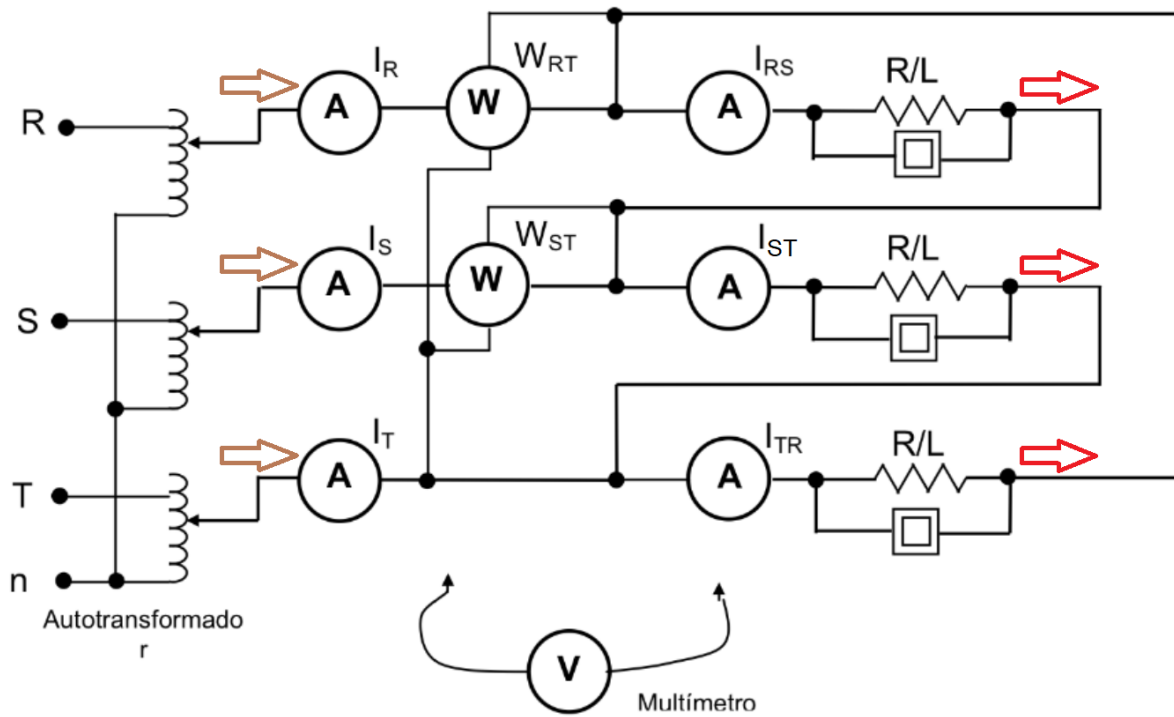


Figure 1: Circuito trifásico con cargas en triángulo

### 2.2 Relaciones entre parámetros

Tanto si está equilibrado o no, se deben verificar por las leyes de nodos las siguientes relaciones entre los fasores de corriente:

$$\begin{cases} I_R = I_{RS} - I_{TR} \\ I_S = I_{ST} - I_{RS} \\ I_T = I_{TR} - I_{ST} \end{cases}$$

Para las potencias, se tienen las relaciones siguientes:

$$\{ P = W_{RT} + W_{ST} \Rightarrow \text{Válida para sistemas trifilares}$$

$$\{ Q = \sqrt{3}(W_{RT} - W_{ST}) \Rightarrow \text{Válida para sistemas trifilares equilibrados}$$

### 3 Valores medidos

En las siguientes tablas se muestran los valores medidos para cada configuración de cargas.

#### 3.1 Tensiones y corrientes

CARGAS EN TRIANGULO			$U_{RS}$	$U_{ST}$	$U_{TR}$	$I_{RS}$	$I_{ST}$	$I_{TR}$	$I_R$	$I_S$	$I_T$
Fase $RS$	Fase $ST$	Fase $TR$	[V]	[V]	[V]	[A]	[A]	[A]	[A]	[A]	[A]
R	R	R	146	146	146	0.35	0.36	0.46	0.7	0.625	0.725
L	L	L	146	146	146	1.4	1.38	1.22	2.25	2.4	2.3
R/L	R/L	R/L	146	146	146	1.48	1.48	1.38	2.5	2.55	2.45
R	R/L	L	146	146	146	0.36	1.47	1.24	1	1.8	2.5

Table 1: Mediciones de tensión y corriente sobre las cargas

#### 3.2 Potencias

CARGAS EN TRIANGULO			$U_{RS}$	$U_{ST}$	$U_{TR}$	$W_{RT}$	$W_{ST}$	$P$ (Activa)	$Q$ (Reactiva)
Fase $RS$	Fase $ST$	Fase $TR$	[V]	[V]	[V]	[W]	[W]	[W]	[VAR]
R	R	R	146	146	146	92	84	176	8
L	L	L	146	146	146	236	-104	132	340
R/L	R/L	R/L	146	146	146	312	-20	292	332
R	R/L	L	146	146	146	68	124	192	-

Table 2: Medición de potencias sobre el circuito

### 4 Valores calculados

A partir de las relaciones de la sección 2, se calculan las corrientes  $I_R$ ,  $I_S$  e  $I_T$ , para compararlas con los valores medidos. Para los cálculos en los primeros tres casos se considera:

$$\begin{aligned} &\left\{ I_{RS} \quad \text{Con fase } \varphi = 0^\circ \right. \\ &\left\{ I_{ST} \quad \text{Con fase } \varphi = -120^\circ \right. \\ &\left\{ I_{TR} \quad \text{Con fase } \varphi = -240^\circ \right. \end{aligned}$$

Para el cuarto caso, al estar desbalanceado, no necesariamente tienen ese desfase entre sí. Como no se tienen datos suficientes medidos para calcularla en cada caso, según el tipo de elemento en cada rama se aproxima la fase solamente a fines de poder realizar los cálculos, para luego verificar que tan acertada fue esta aproximación. Dado que solo se tienen inductancias en dos ramas, y la restante es puramente resistiva, se agrega una fase adicional de  $-90^\circ$  a las corrientes  $I_{ST}$  e  $I_{TR}$  (que son las que tienen bobinas), dado que la rama resistiva pura no aporta fase respecto a estas dos últimas. Por lo tanto, para el último caso se considera que:

$$\begin{aligned} &\left\{ I_{RS} \quad \text{Con fase } \varphi = 0^\circ \right. \\ &\left\{ I_{ST} \quad \text{Con fase } \varphi = -210^\circ \right. \\ &\left\{ I_{TR} \quad \text{Con fase } \varphi = -330^\circ \right. \end{aligned}$$

CARGAS EN TRIANGULO			$I_R[A]$		$I_S[A]$		$I_T[A]$	
Fase $RS$	Fase $ST$	Fase $TR$	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado
R	R	R	0.7	0.7	0.625	0.614	0.725	0.712
L	L	L	2.25	2.27	2.4	2.4	2.3	2.3
R/L	R/L	R/L	2.5	2.5	2.55	2.56	2.45	2.48
R	R/L	L	1	0.9	1.8	1.7	2.5	2.3

Table 3: Comparación de valores medidos y calculados de corrientes

## 5 Diagramas fasoriales

Para cada caso se realizaron los diagramas fasoriales de corrientes de línea y de fase. Se muestra un solo diagrama de tensiones de fase (dado que son todos idénticos).

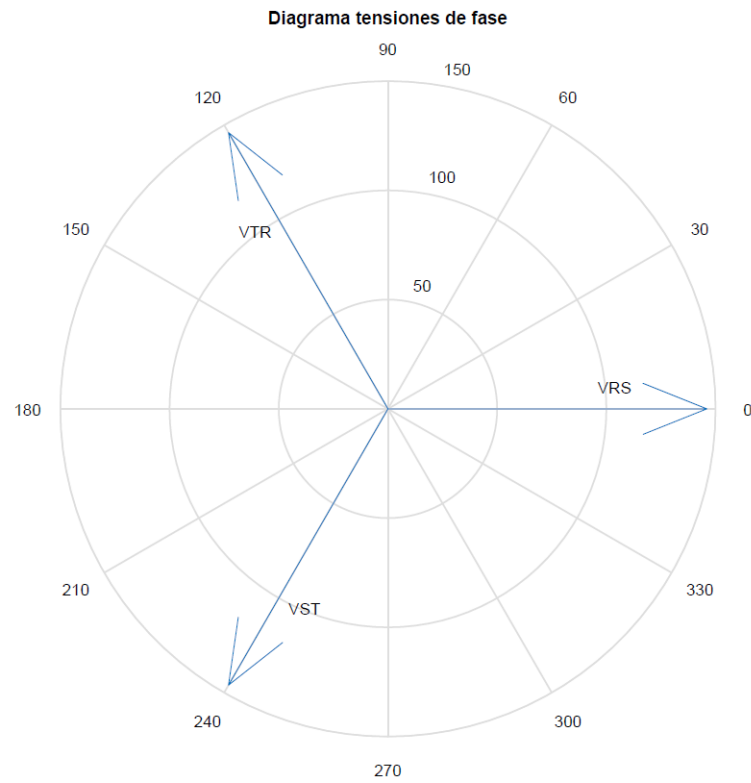


Figure 2: Diagrama fasorial de tensiones de fase

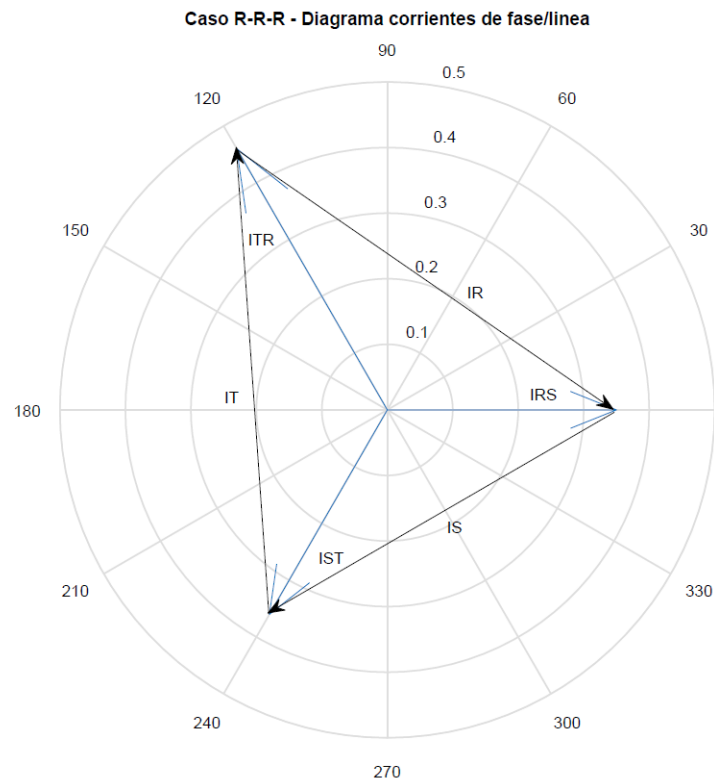


Figure 3: Diagrama fasorial de corrientes de linea/fase - Caso R-R-R

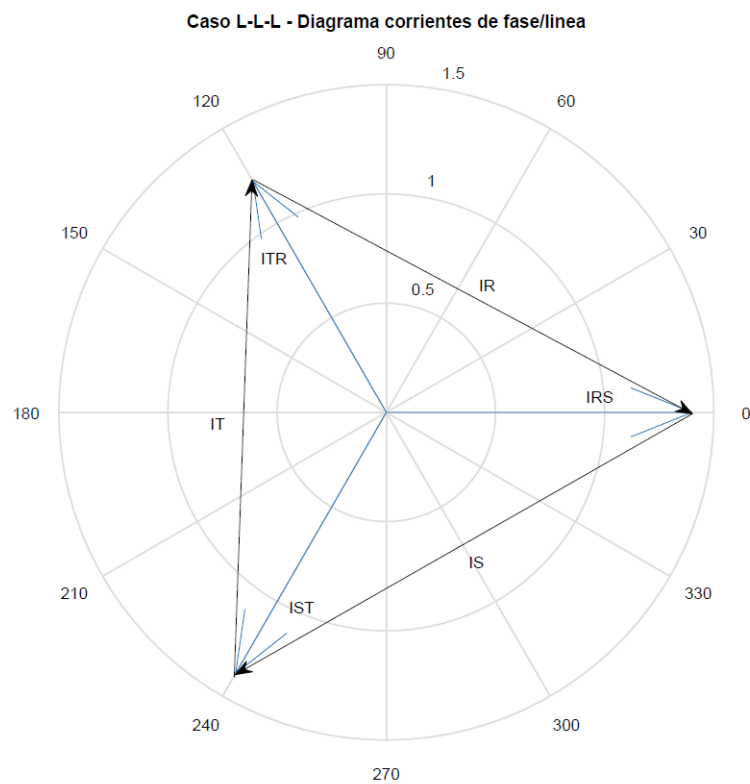


Figure 4: Diagrama fasorial de corrientes de linea/fase - Caso L-L-L

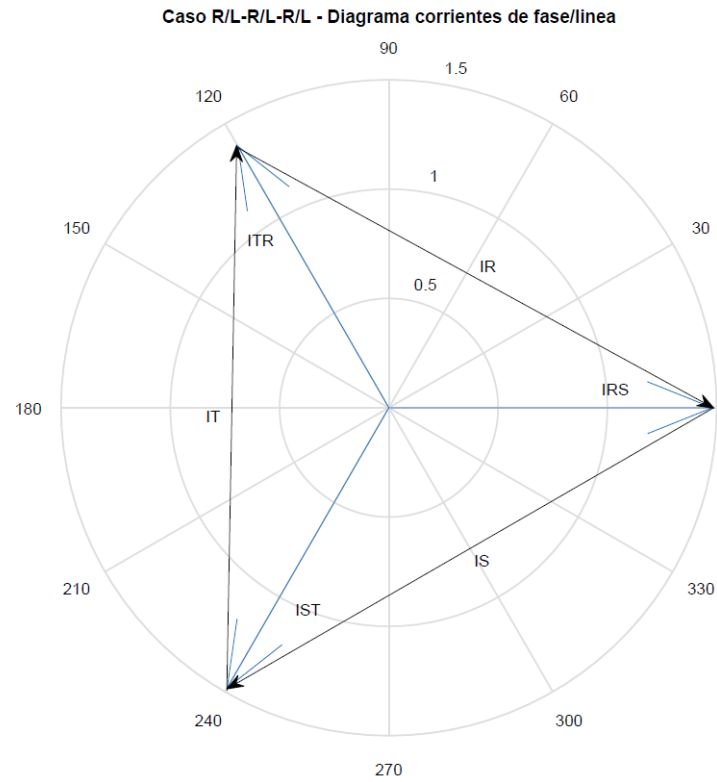


Figure 5: Diagrama fasorial de corrientes de linea/fase - Caso R/L-R/L-R/L

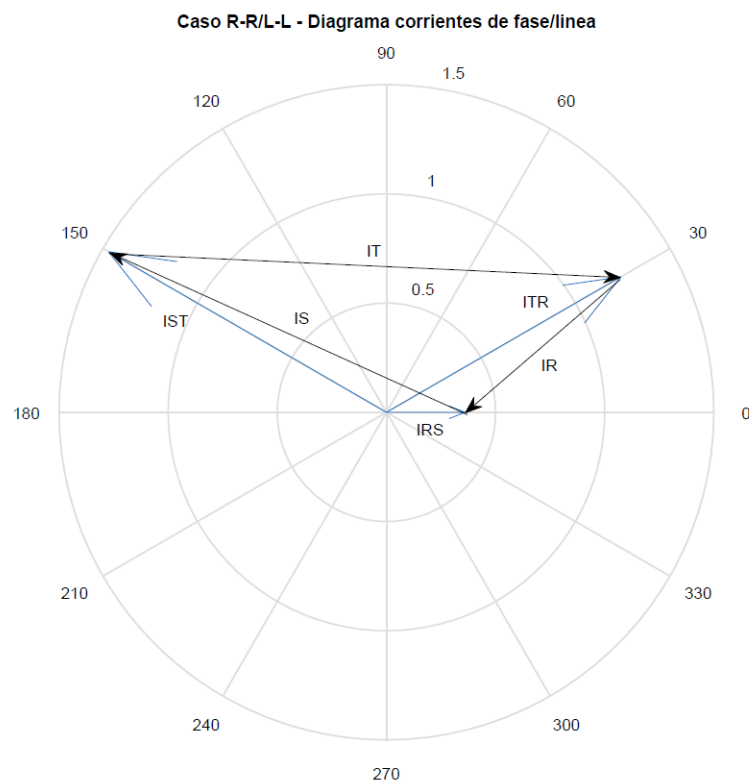


Figure 6: Diagrama fasorial de corrientes de linea/fase - Caso R-R/L-L

## 6 Análisis y conclusiones

A partir de las mediciones y cálculos equivalentes realizados, se pueden observar algunas cuestiones:

En el primer caso se conectaron lámparas de filamento iguales en cada rama en triángulo, por lo que el circuito resulta aproximadamente equilibrado. Se nota en los valores de corriente medidos, los cuales resultan similares entre sí. Las pequeñas diferencias pueden deberse a que las lámparas, naturalmente, no se comportan exactamente igual, o a que los amperímetros no están bien calibrados. Por otra parte, al estar el circuito aproximadamente equilibrado, los valores calculados usando las relaciones de la sección 2 y las fases mencionadas, en módulo resultan prácticamente idénticos a los medidos. Además, como la carga es resistiva, casi toda la potencia consumida resulta activa, con muy poca reactiva.

En el segundo caso se conectaron bobinas de impedancia similar en cada rama en triángulo, por lo que en este caso el circuito también resulta aproximadamente equilibrado. Al igual que antes, puede notarse en los valores de corriente medidos, similares entre sí y sustancialmente mayores al caso anterior, dado que la impedancia de las bobinas es mucho menor al de las lámparas de filamento cuando están en funcionamiento. En este caso las diferencias entre los valores medidos también son apreciables dado que las bobinas no son idénticas entre sí. Por otro lado, se observa al igual que en el caso anterior, que los valores calculados coinciden muy bien en módulo con los medidos, por estar el circuito aproximadamente equilibrado. Además, en este caso resulta que hay una mayor potencia reactiva respecto al caso anterior, dada la presencia de elementos inductivos. Como las bobinas poseen una cierta resistencia, esto se observa en la potencia activa medida. Notar además que la potencia medida por el vatímetro  $W_{ST}$  es negativa, lo que nos indica que el factor de potencia es menor a 0.5. Esto resulta consistente dado que en el circuito solamente hay bobinas, las cuales introducen una fase de aproximadamente  $90^\circ$ .

En el tercer caso, se combinan en paralelo una bobina con cada lámpara para cada rama, por lo que el circuito continúa siendo equilibrado. La diferencia que surge es en que circula una intensidad de corriente mayor en cada línea, dado que se combinan cargas en paralelo, por eso los valores medidos resultan incluso mayores al caso con sólo bobinas conectadas. Se comprueba nuevamente, que los valores calculados coinciden muy bien en módulo con los medidos, por ser el circuito aproximadamente equilibrado. Además, en este caso tenemos también potencia reactiva considerable dado que se tienen conectadas las bobinas, pero también aumenta la potencia activa respecto al caso anterior dado que también se conectaron las lámparas. Notar que, además, la potencia medida por el vatímetro  $W_{ST}$  es también negativa en este caso, pero con un valor más cercano a cero, dado que al introducir más parte resistiva (por las lámparas), compensa un poco la fase introducida por las bobinas.

En el último caso, se conecta en cada rama del triángulo una configuración distinta, por lo que el circuito resulta desequilibrado. Esto se observa además en los valores de corriente medidos, que muestran valores diferentes en cada línea. Al comparar con los valores calculados, se comprueba que la aproximación de fase para los cálculos es bastante acertada, dado que los valores muestran mínimas diferencias. Además, se observa una menor potencia activa, dado que a diferencia de antes, en este caso se tiene una bobina de menos, que como se vió anteriormente en el segundo caso, introducen un consumo de potencia activa apreciable. Notar que el valor de la potencia reactiva  $Q$  no se puede realizar implementando la ecuación dada en la sección 2, dado que el sistema no está equilibrado.