

***INFORME***  
***DE***  
***PRÁCTICA 1***  
***LABORATORIO***  
***DE***  
***ELECTROTECNIA***

**Alejandro Asensio Aurell**  
**Ignacio García Herrera**  
**Daniel García Manso**

## Índice

- Aparatos de medida y esquemas eléctricos utilizados.....3 a 8
- Descripción del trabajo que ha realizado el alumno durante la realización de la práctica.....9
- Tablas.....10
- Cálculo de impedancias equivalentes adaptadas a las lecturas tomadas en los ensayos b, c y d.....11 a 13
- Análisis de resultados obtenidos. Compensación teórica del circuito b.....14
- Diagramas de los fasores (vectores simbólicos) de los circuitos a, b, c y d.....15 a 21
- Conclusiones.....21

# Aparatos de medida y esquemas eléctricos utilizados

## Equipos de medida y esquemas eléctricos utilizados

### Introducción

Los instrumentos eléctricos utilizados para realizar mediciones de diferentes magnitudes físicas pueden ser analógicos o digitales. Un aparato es analógico si el desplazamiento de su indicador sobre una escala graduada es proporcional a la corriente eléctrica que varía continuamente con el tiempo; esto es, la aguja se puede desplazar de forma continua para cada variación, también continua, de la intensidad en el sistema interno del aparato. La característica fundamental de una señal eléctrica digital es que ésta no es continua, diferenciándose, por tanto, de los sistemas analógicos. En ellos la magnitud que se mide no puede tomar cualquier valor dentro del rango que permite el aparato, si no que los valores se dan de forma discreta, no siendo posible apreciar ningún valor entre dos números consecutivos, lo cual depende de la precisión del instrumento. En la práctica se utilizarán tanto dispositivos digitales como analógicos.

### Generador Trifásico

Para la realización de los montajes de los circuitos, se utilizó en todos los casos un generador trifásico. Éste consiste básicamente en tres generadores conectados en estrella, cuya tensión está desfasada entre un generador y el siguiente 120 grados. En los circuitos monofásicos únicamente se utilizó una de las líneas del generador trifásico haciendo retornar la intensidad por un conductor hasta el punto neutro, de esta manera se cierra el circuito.

## Multímetro Digital

Es un instrumento eléctrico portátil para medir directamente magnitudes eléctricas activas como corrientes y potenciales (tensiones) o pasivas como resistencias, capacidades y otras. Las medidas pueden realizarse para corriente continua o alterna. Un conmutador permite cambiar la función del polímetro para que actúe como medidor en todas sus versiones y márgenes de medida. El uso que daremos al aparato consistirá únicamente en la medida de tensiones que nos facilitará la regulación de la misma obtenida de la torre de alimentación. Para medir una tensión, colocaremos las bornas en las clavijas, y no tendremos más que colocar ambas puntas entre los puntos de lectura que queramos medir.



## Amperímetro Analógico

Es un instrumento que sirve para medir la intensidad de corriente que está circulando por un circuito eléctrico. El diseño original del amperímetro no es más que un galvanómetro con una resistencia en páratelo, que le concede al amperímetro varios rangos de medición. . Esta resistencia interna debe ser lo más pequeña posible con la finalidad de evitar una caída de tensión apreciable. Para efectuar la medida es necesario que la intensidad de la corriente circule por el amperímetro, por lo que éste debe colocarse en serie, para que sea atravesado por dicha corriente.



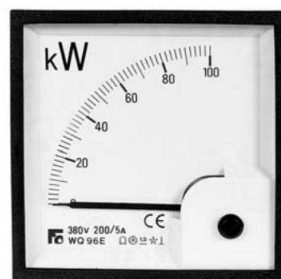
## La pinza amperimétrica

Tipo especial de amperímetro que nos permite conocer la intensidad de corriente rodeando el cable por el que circula. Con este instrumento evitamos las posibles caídas de tensión que se pueden dar con el amperímetro clásico, sin olvidarnos de que es más seguro para el operario.



## Vatímetro Analógico

Es un instrumento electrodinámico para medir la potencia eléctrica o la tasa de suministro de energía eléctrica de un circuito eléctrico dado. El dispositivo consiste en un par de bobinas fijas, llamadas «bobinas de corriente», y una bobina móvil llamada «bobina de potencial». Las bobinas fijas se conectan en serie con el circuito, mientras la móvil se conecta en paralelo. Además, en los vatímetros analógicos la bobina móvil tiene una aguja que se mueve sobre una escala para indicar la potencia medida. Una corriente que circule por las bobinas fijas genera un campo electromagnético cuya potencia es proporcional a la corriente y está en fase con ella. Los vatímetros suelen tener cuatro o cinco terminales.



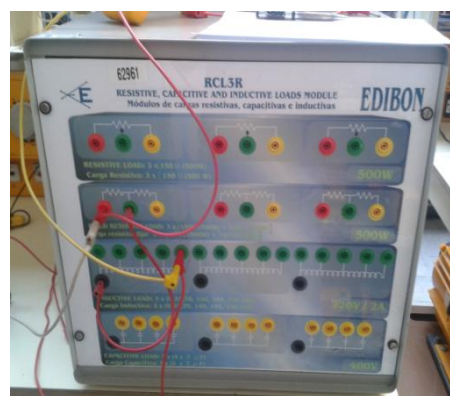
## Analizador de Redes

Es un instrumento electrónico capaz de analizar las propiedades de las redes eléctricas. Asociado a un circuito nos proporciona la tensión que lo atraviesa, la intensidad, la potencia, tanto activa (KW) como reactiva (KVA<sub>r</sub>), el factor de potencia y la frecuencia.



## Módulos de cargas resistivas, capacitivas e inductivas

Es un conjunto de cargas agrupadas dentro de un módulo que se conectarán al circuito en función de las que se precisen para el montaje del mismo. Está compuesto por tres cargas resistivas variables, tres cargas resistivas fijas, tres cargas inductivas variables y tres cargas capacitivas variables.

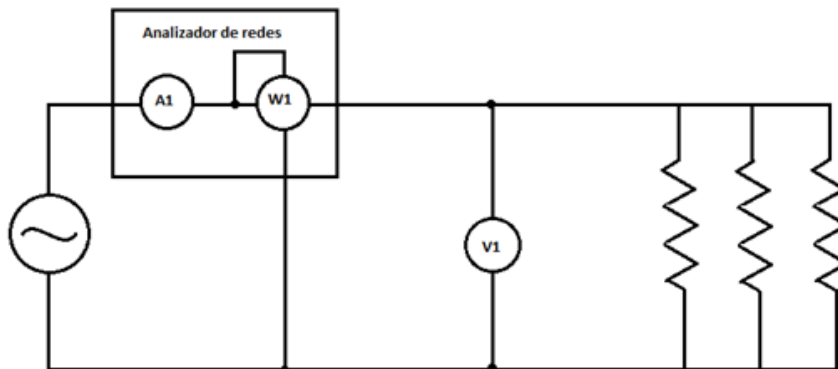


## Esquemas eléctricos

Los siguientes esquemas, son los utilizados para el montaje de los circuitos.

### 1. Montaje de una carga resistiva y medida de variables eléctricas:

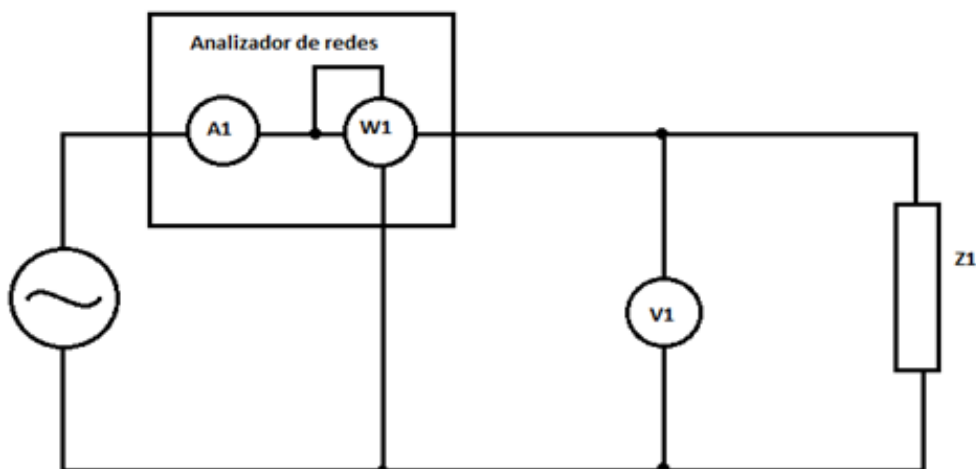
El circuito consiste en la conexión a la red de tres resistencias de  $300\Omega$  en paralelo entre las que se miden todas las variables dadas por el polímetro, el amperímetro, el vatímetro y el analizador de redes.



Montaje de resistencias en paralelo

### 2. Montaje de una carga resistiva- inductiva:

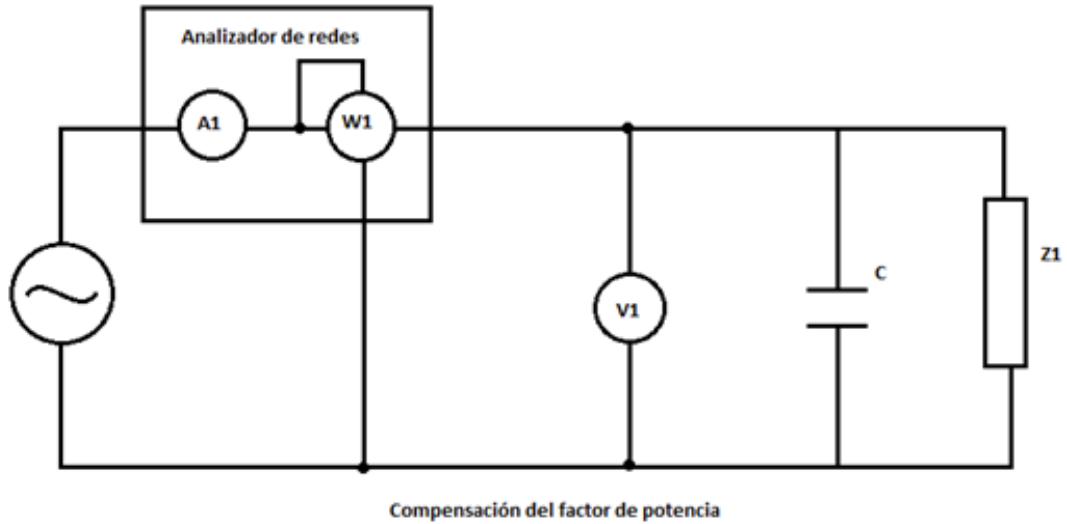
El circuito consiste en la conexión a la red de una carga resistiva-inductiva, la parte resistiva es de  $150\Omega$  y la parte inductiva se calcula a partir de las medidas tomadas.



Montaje de una carga resistiva inductiva

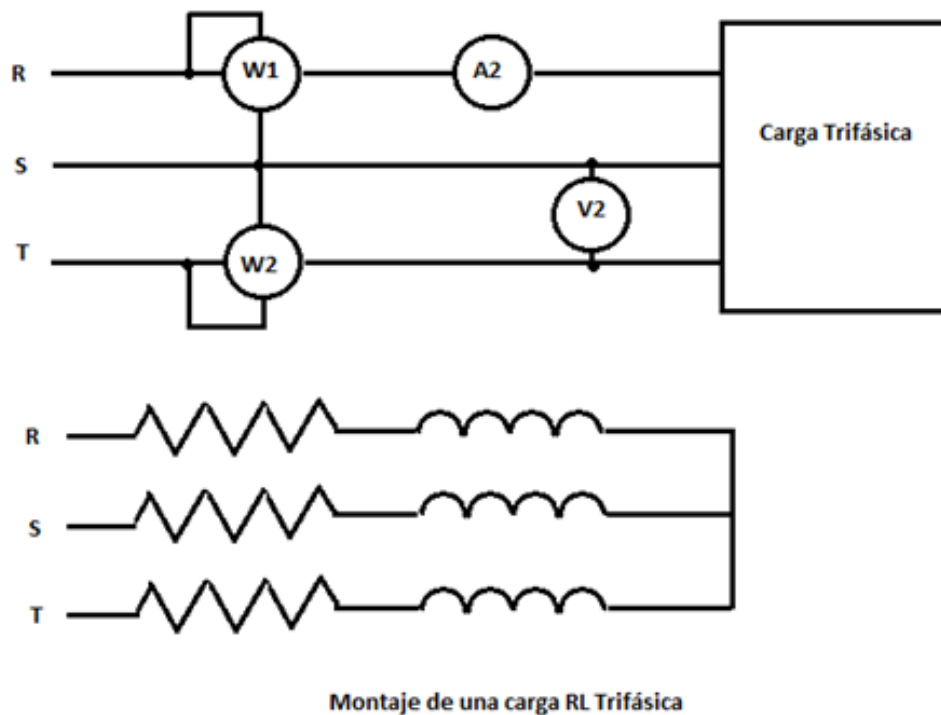
### 3. Compensación del factor de potencia en la segunda posición.

El circuito consiste en una modificación del anterior habiéndose añadido una carga capacitiva con el fin de reducir el factor de potencia.



### 4. Montaje de una carga RL Trifásica.

El circuito consiste en una conexión de una carga RL trifásica en estrella.





## Descripción del trabajo que ha realizado el alumno durante la realización de la práctica

1. Los profesores de laboratorio nos dieron unas nociones básicas del funcionamiento de los instrumentos a utilizar, las normas de seguridad y como se va a desarrollar la práctica.
2. Tras la explicación general, se procede a una un poco más particular, donde se nos enseñó el funcionamiento de los módulos de cargas resistivas, capacitivas e inductivas, así como las tres tomas de corriente, de las cuales serán utilizadas para el circuito monofásico dos de ellas, y para el circuito trifásico las tres.
3. En el primer circuito monofásico, donde se montan tres resistencias en paralelo, una vez comprobado, se conecta a la corriente y procedemos a la toma de medidas de los aparatos correspondientes. Una vez tomados los datos, se desconecta de la corriente.
4. En el circuito b), donde se coloca una carga resistiva - inductiva ( $Z_1$ ). Una vez comprobado el circuito por el profesor, se conecta a la corriente, y se toman los datos, para los distintos niveles de tensión. Realizada la toma de datos, desconectamos el circuito de la tensión.
5. En el circuito c), en el cual nuestro objetivo es compensar el factor de potencia del circuito b), mediante la colocación de un condensador en paralelo con la carga ( $Z_1$ ). Montamos el circuito que es comprobado por el profesor, se conecta a la corriente y procedemos a la toma de datos del circuito para las distintas tensiones, por último desconectamos el circuito de la red.
6. Por último, procedemos al montaje del circuito trifásico en estrella de una carga resistiva - inductiva. En este caso, mediremos las diferentes magnitudes del circuito mediante un analizador de redes, el cual medirá dos tensiones compuestas y dos intensidades de línea. Una vez finalizado el montaje y comprobado, se conecta a la corriente mediante tres terminales. Tomamos las medidas correspondientes para las tensiones. Por último desconectamos el circuito, y recogemos todos los instrumentos de medida y conductores utilizados.

## Tablas

Tension(V)	Intensidad(A)	P(KW)	Q(KVAr)	S(KVA)	cos $\phi$	Frecuencia(Hz)
<b>Circuito a)</b>						
200,4	1,962	0.39	0	0.39	1	50
<b>Circuito b)</b>						
100,9	0.227	0.017	0.015	0.023	0.757	50
150,3	0.339	0.038	0.034	0.051	0.752	50
200.3	0.452	0.068	0.06	0.091	0.75	50
<b>Circuito c) un condensador 7<math>\mu</math>F</b>						
100,1	0.175	0.17	0.004	0.017	0,972	50
150.5	0.264	0.038	0.011	0.04	0.963	50
201	0.354	0.068	0.021	0.071	0.958	50

**Tabla I. Datos Circuitos monofásicos a), b) y c).**

Tensión(V)	U1(V)	U2(V)	A1(A)	A2(A)	P( KW)	Q(KVAr)	S(KVA)	cos $\phi$	Frecuencia(Hz)
<b>Circuito d)</b>									
100	100,7	100.1	0.15	0.127	0,018	0.015	0.023	0.77	50
150,9	150.9	150.3	0.19 5	0.194	0.034	0.033	0.051	0.765	50
200	200.1	199.2	0.26	0.257	0.068	0.058	0.084	0.757	50

**Tabla II. Datos Circuito Trifásico en Estrella.**

## Cálculo de Impedancias equivalentes adaptadas a las lecturas tomadas en los ensayos b, c y d. (Datos en la tabla I y II)

### Circuito b:

#### Tensión 100V

$$u(t) = \sqrt{2} \cdot 100.9 \sin(100\pi t) \quad \vec{U} = 100.9e^{j0}e^{j100\pi t} \text{ (Versor)}$$
$$\vec{U} = 100.9e^{j0} \text{ (Fasor)} \quad \vec{Z} = \frac{\vec{U}}{\vec{I}}$$

Se conecta una resistencia de 150  $\Omega$  en serie con una resistencia inductiva, de la que no se conoce su valor.

$$\vec{Z} = (R + jX)\Omega \rightarrow \varphi_I = -\cos^{-1}(0.757) = -40.79^\circ \vec{I} = 0.227e^{-j40.79}A$$

$$\vec{Z} = \frac{\vec{U}}{\vec{I}} \rightarrow \frac{100.9e^{j0}}{0.227e^{-j40.79}} = 444.49e^{j40.79} \text{ Por la fórmula de Euler:}$$

$$\vec{Z} = 336.529 + j290.380 \Omega$$

#### Tensión 150V

$$u(t) = \sqrt{2} \cdot 150.3 \sin(100\pi t) \quad \vec{U} = 150.3e^{j0}e^{j100\pi t} \text{ (Versor)}$$
$$\vec{U} = 150.3e^{j0} \text{ (Fasor)} \quad \vec{Z} = \frac{\vec{U}}{\vec{I}}$$

$$\vec{Z} = (R + jX)\Omega \rightarrow \varphi_I = -\cos^{-1}(0.752) = -41.23^\circ \vec{I} = 0.339e^{-j41.23}A$$

$$\vec{Z} = \frac{\vec{U}}{\vec{I}} \rightarrow \frac{150.3e^{j0}}{0.339e^{-j41.23}} = 443.36e^{j41.23} \quad \text{Por la fórmula de Euler:}$$

$$\vec{Z} = 333.439 + j292.211 \Omega$$

#### Tensión 200V

$$u(t) = \sqrt{2} \cdot 200.3 \sin(100\pi t) \quad \vec{U} = 200.3e^{j0}e^{j100\pi t} \text{ (Versor)}$$
$$\vec{U} = 200.3e^{j0} \text{ (Fasor)} \quad \vec{Z} = \frac{\vec{U}}{\vec{I}}$$

$$\vec{Z} = (R + jX)\Omega \rightarrow \varphi_I = -\cos^{-1}(0.75) = -41.409^\circ \vec{I} = 0.452e^{-j41.409}A$$

$$\vec{Z} = \frac{\vec{U}}{\vec{I}} \rightarrow \frac{200.3e^{j0}}{0.452e^{-j41.409}} = 443.141e^{j41.409} \quad \text{Por la fórmula de Euler:}$$

$$\vec{Z} = 332.359 + j293.106 \Omega$$

### Circuito c:

#### Tensión 100V

$$u(t) = \sqrt{2} \cdot 100.1 \sin(100\pi t) \quad \vec{U} = 100.1e^{j100\pi t} \text{ (Versor)}$$
$$\vec{U} = 100.1e^{j0} \text{ (Fasor)} \quad \vec{Z} = \frac{\vec{U}}{\vec{I}}$$

Se conecta un condensador de  $7\mu\text{F}$  en paralelo con la carga del circuito b), de la que no se conoce su valor.

$$\vec{Z} = (R + jX)\Omega \rightarrow \varphi_I = -\cos^{-1}(0.972) = -13.59^\circ \vec{I} = 0.175e^{-j13.59j}$$

$$\vec{Z} = \frac{\vec{U}}{\vec{I}} \rightarrow \frac{100.1e^{j0}}{0.175e^{-j13.59}} = 572e^{j13.59} \quad \text{Por la fórmula de Euler:}$$

$$\vec{Z} = 555.985 + j134.404 \Omega$$

#### Tensión 150V

$$u(t) = \sqrt{2} \cdot 150.5 \sin(100\pi t) \quad \vec{U} = 150.5e^{j0}e^{j100\pi t} \text{ (Versor)}$$
$$\vec{U} = 150.5e^{j0} \text{ (Fasor)} \quad \vec{Z} = \frac{\vec{U}}{\vec{I}}$$

$$\vec{Z} = (R + jX)\Omega \rightarrow \varphi_I = -\cos^{-1}(0.963) = -15.63^\circ \vec{I} = 0.264e^{-j15.63A}$$

$$\vec{Z} = \frac{\vec{U}}{\vec{I}} \rightarrow \frac{150.5e^{j0}}{0.264e^{-j15.63}} = 570.075e^{j15.63} \quad \text{Por la fórmula de Euler:}$$

$$\vec{Z} = 548.994 + j153.591 \Omega$$

#### Tensión 200V

$$u(t) = \sqrt{2} \cdot 201 \sin(100\pi t) \quad \vec{U} = 201e^{j0}e^{j100\pi t} \text{ (Versor)}$$
$$\vec{U} = 201e^{j0} \text{ (Fasor)} \quad \vec{Z} = \frac{\vec{U}}{\vec{I}} \vec{Z} = (R + jX)\Omega \rightarrow \varphi_I = -\cos^{-1}(0.958) = -16.66^\circ \vec{I} = 0.354e^{-j16.66A}$$

$$\vec{Z} = \frac{\vec{U}}{\vec{I}} \rightarrow \frac{201e^{j0}}{0.354e^{-j16.66}} = 567.796e^{j16.66} \quad \text{Por la fórmula de Euler:}$$

$$\vec{Z} = 543.961 + j162.782 \Omega$$

### Circuito d:

#### **Tensión 100V**

$$P(W) = \sqrt{3}UI\cos\varphi = 3RI^2\text{faseYQ(VAr)} = 3XI^2\text{fase}$$

$$18W = 3R(0.15)^2 \rightarrow R_1 = 266.666\Omega$$

$$15VAr = 3X(0.15)^2 \rightarrow X_1 = 222.222\Omega$$

$$\vec{U}_{RO} = \vec{U}_{SO} = \vec{U}_{TO} = \frac{100,7}{\sqrt{3}}V\vec{I}_S = \vec{I}_R = \vec{I}_T = 0.15A$$

$$\vec{U}_{RT} = \vec{U}_{SR} = \vec{U}_{TS} = 100.7V\cos\varphi = 0.77 \rightarrow \varphi = 39.65^\circ$$

#### **Tensión 150V**

$$P(W) = \sqrt{3}UI\cos\varphi = 3RI^2\text{faseYQ(VAr)} = 3XI^2\text{fase}$$

$$34W = 3R(0.195)^2 \rightarrow R_2 = 298.049\Omega$$

$$33VAr = 3X(0.195)^2 \rightarrow X_2 = 289.283\Omega$$

$$\vec{U}_{RO} = \vec{U}_{SO} = \vec{U}_{TO} = \frac{150.9}{\sqrt{3}}V\vec{I}_S = \vec{I}_R = \vec{I}_T = 0.195A$$

$$\vec{U}_{RT} = \vec{U}_{SR} = \vec{U}_{TS} = 150.9V\cos\varphi = 0.765 \rightarrow \varphi = 40.09^\circ$$

#### **Tensión 200V**

$$P(W) = \sqrt{3}UI\cos\varphi = 3RI^2\text{faseYQ(VAr)} = 3XI^2\text{fase}$$

$$68W = 3R(0.26)^2 \rightarrow R_3 = 335.305\Omega$$

$$58VAr = 3X(0.26)^2 \rightarrow X_3 = 285.996\Omega$$

$$\vec{U}_{RO} = \vec{U}_{SO} = \vec{U}_{TO} = \frac{200.1}{\sqrt{3}}V\vec{I}_S = \vec{I}_R = \vec{I}_T = 0.26A$$

$$\vec{U}_{RT} = \vec{U}_{SR} = \vec{U}_{TS} = 200.1V\cos\varphi = 0.757 \rightarrow \varphi = 40.79^\circ$$

## ***Análisis de los resultados obtenidos.***

Cuando se conecta una carga  $Z = R + jX\Omega$  a una línea de tensión alterna senoidal de valor eficaz  $U(V)$ , ésta absorbe una corriente alterna de valor eficaz  $I(A)$ , que depende de las características de dicha carga  $Z$ . El producto del valor eficaz de la corriente por el valor eficaz de la tensión aplicada a la misma, se denomina potencia aparente ( $S=UI$ ).

La potencia aparente está compuesta por la potencia útil o activa  $P = UI\cos\varphi$  ( $W$ ) y por la potencia reactiva  $Q = UI\sin\varphi$  ( $VAR$ ), que es necesaria para generar campos magnéticos, (funcionamiento de determinados tipos de cargas con reactancias inductivas ( $X>0$ )).

Referido a los circuitos b) y c), al conectar adicionalmente a la carga un condensador el resultado más directo es la disminución de consumo de potencia reactiva, y por tanto del factor de potencia debido a la reducción de reactancia producida por la bobina.

En cuanto al circuito trifásico, vemos que las impedancias equivalentes de cada línea del circuito, son iguales, ya que por ellas circula la misma intensidad (Analizador de redes), y por tanto la potencia útil y reactiva total consumida por el circuito al completo, es tres veces la potencia que consumiría el circuito equivalente de una línea conectado al conductor neutro, al estar conectadas las cargas en estrella.

### **Compensación de reactiva teórica del circuito b):**

#### **Tensión 100V:**

$$Q = XI^2 = 290.380(0.227)^2 = 14.9629 \text{ VAR} \rightarrow Q = \omega Cu^2 \rightarrow C = \frac{Q}{\omega u^2}$$

$$C_1 = \frac{14.9629}{100\pi \cdot 100.9^2} = 4.678 \mu F$$

#### **Tensión 150V:**

$$Q = XI^2 = 292.211(0.339)^2 = 4.7318 \text{ VAR} \rightarrow Q = \omega Cu^2 \rightarrow C = \frac{Q}{\omega u^2}$$

$$C_2 = \frac{33.5811}{100\pi \cdot 150.3^2} = 4.7318 \mu F$$

#### **Tensión 200V:**

$$Q = XI^2 = 293.106(0.452)^2 = 59.8827 \text{ VAR} \rightarrow Q = \omega Cu^2 \rightarrow C = \frac{Q}{\omega u^2}$$

$$C_3 = \frac{59.8827}{100\pi \cdot 200.3^2} = 4.7510 \mu F$$

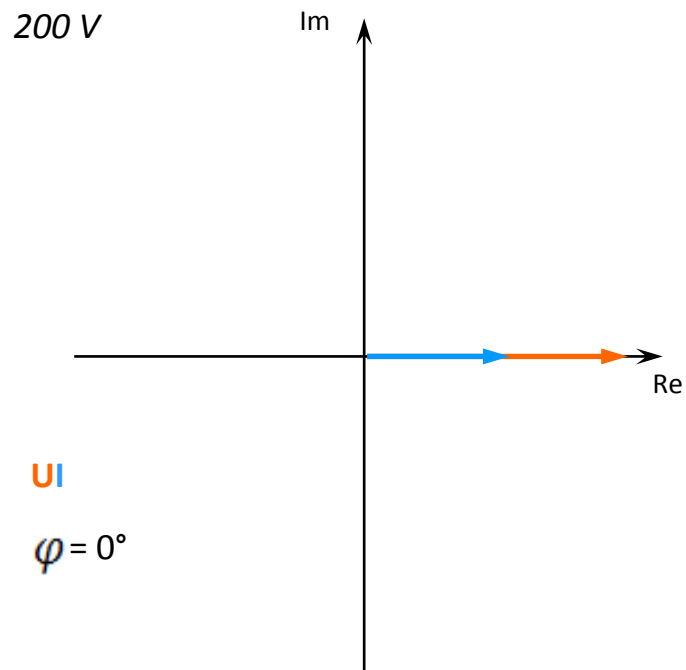
La compensación teórica total para el circuito se puede expresar como la media de las tres compensaciones teóricas para cada tensión:

$$C_m = \frac{\sum_{i=1}^3 C_i}{n} = 4.7202 \mu F$$

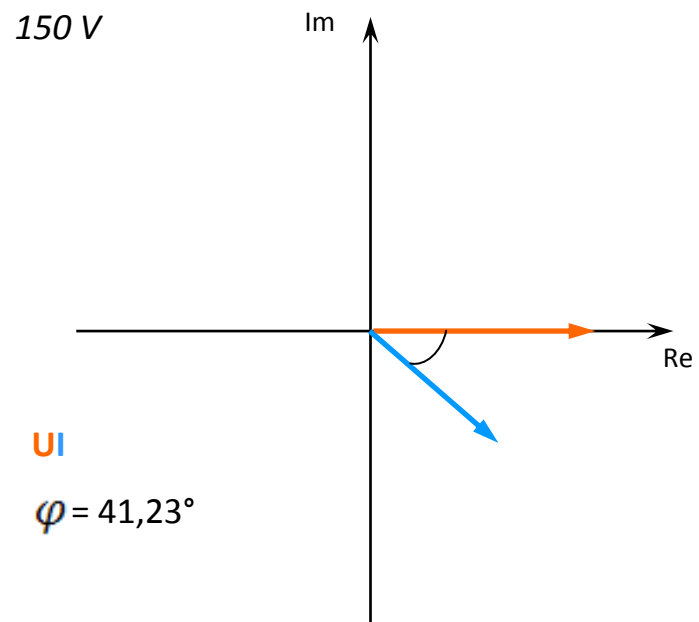
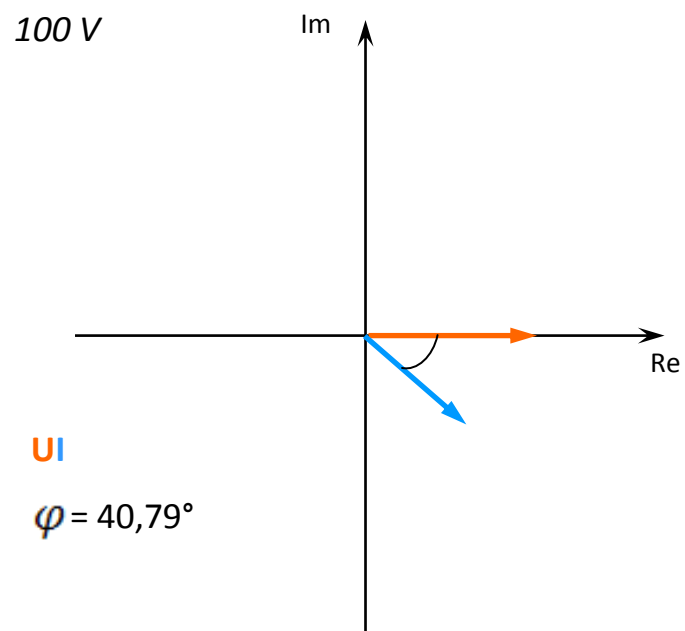
*Diagramas fasoriales (vectores simbólicos) de los circuitos a, b, c y d.*

Los valores de los vectores U e I vienen determinados en el cálculo de impedancias de las páginas anteriores.

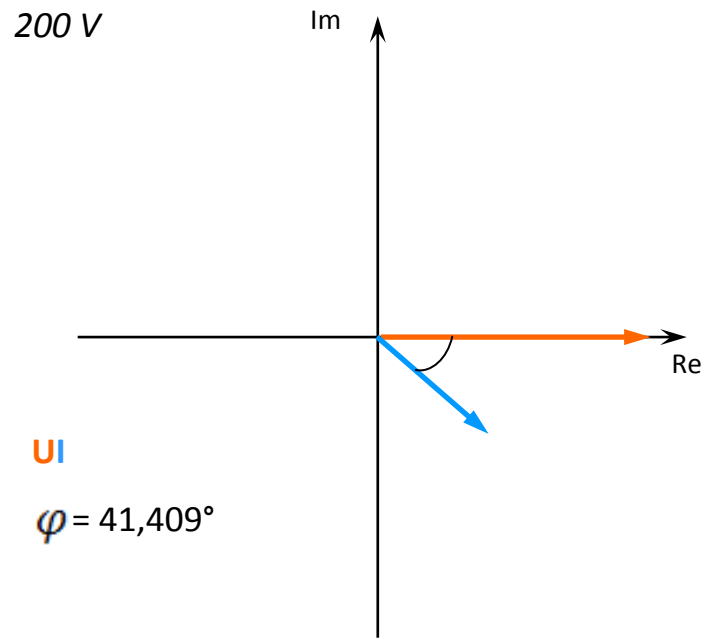
**Circuito a:**



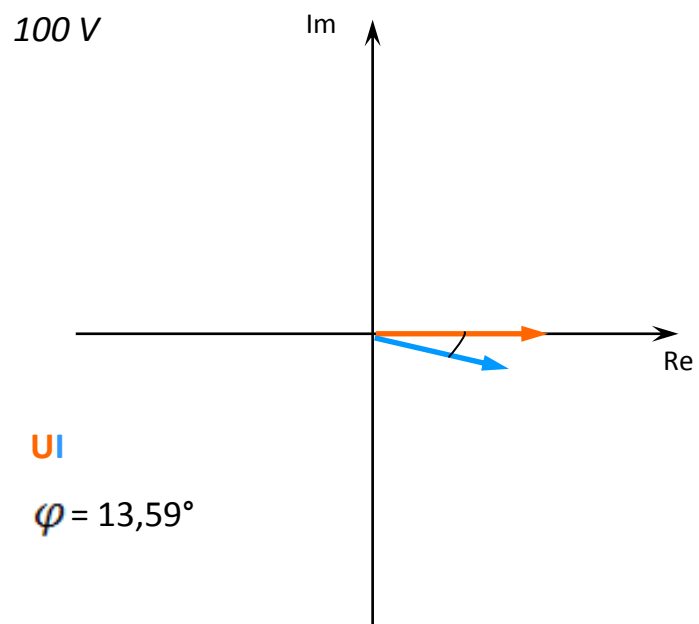
Circuito b:

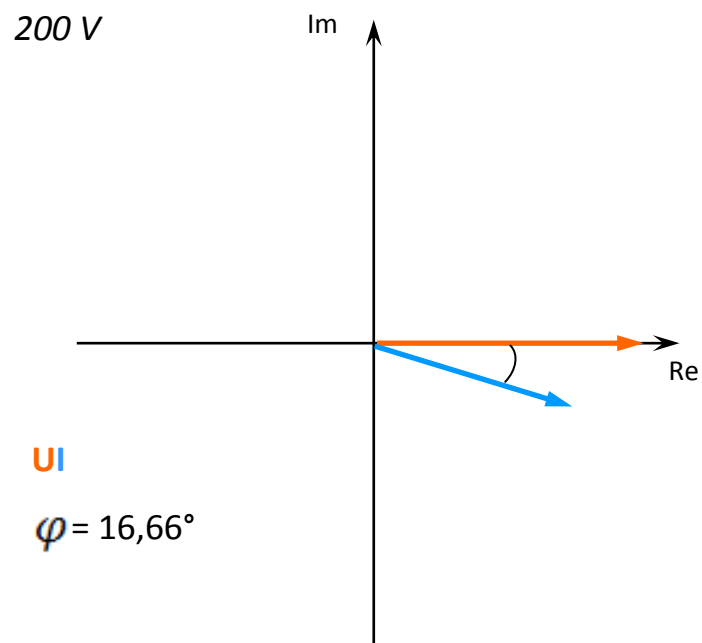
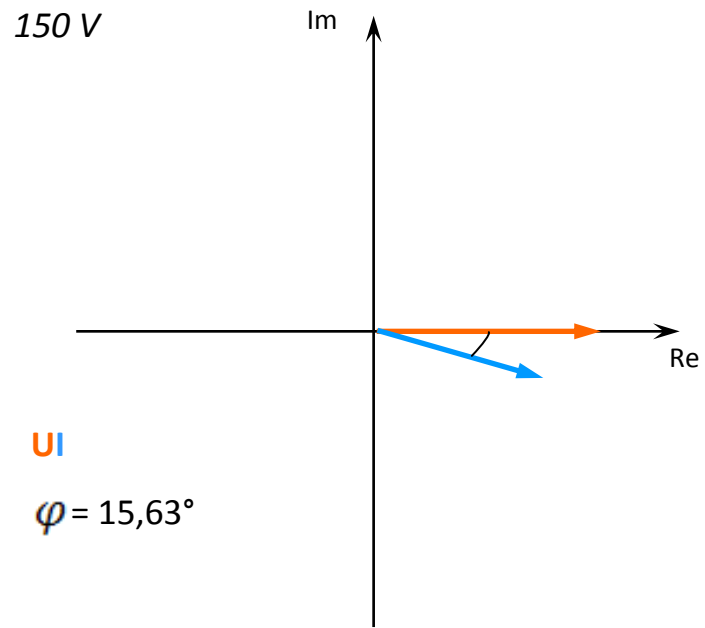




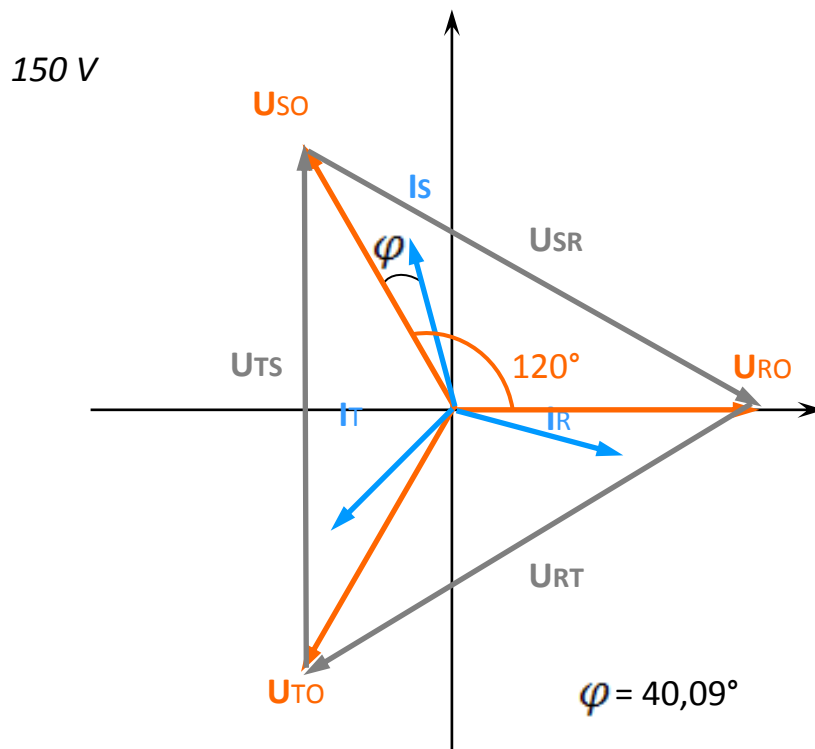
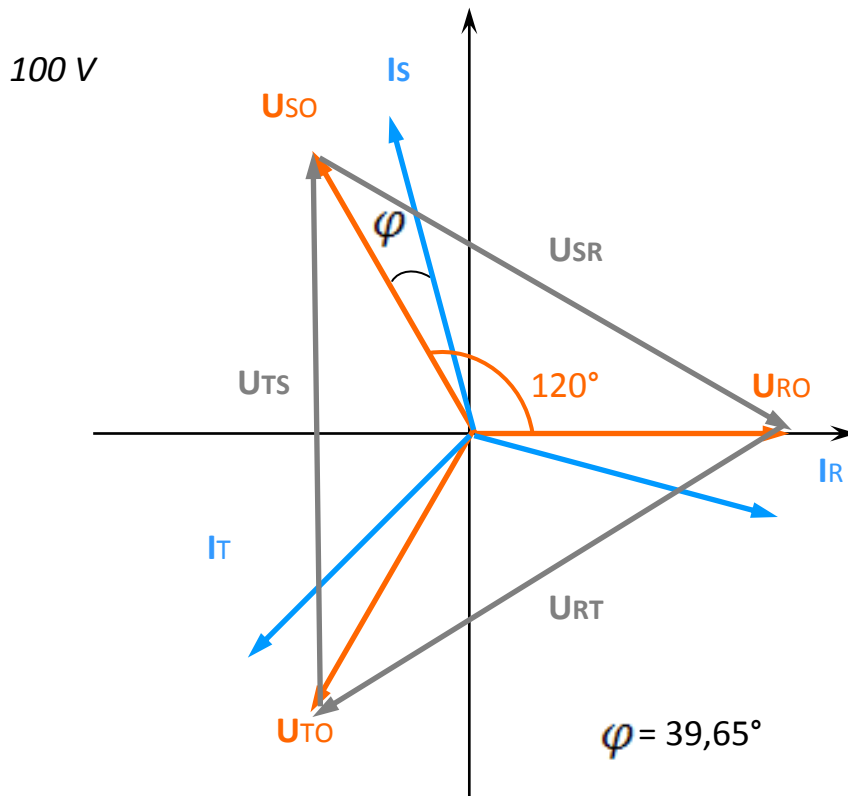


Circuito c:

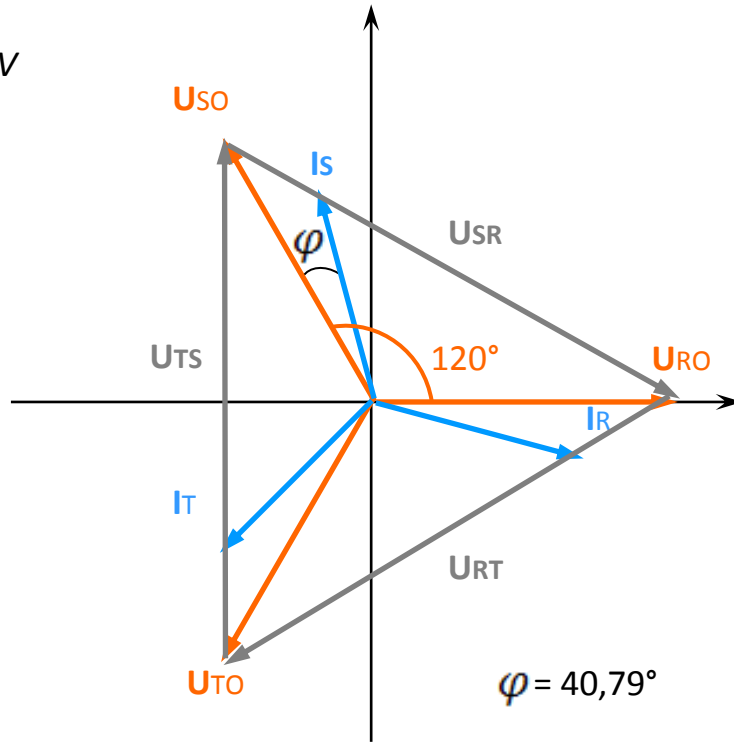




Circuito d:



200 V



## Conclusiones:

En este apartado de la práctica queremos expresar una conclusión individual de cada uno de los circuitos realizados y para finalizar una conclusión e impresiones de la práctica en sí.

En el circuito a) hemos llegado a la conclusión de que la existencia de una pequeña pérdida de potencia reactiva en el circuito es debido a una pequeña autoinducción que se genera en el cable, el cual a su vez está creando un campo magnético alrededor.

En cuanto a los circuitos b) y c), podemos obtener dos conclusiones: En primer lugar, al medir magnitudes con el analizador de redes, éste muestra un consumo importante de potencia reactiva y aunque requerida por las cargas inductivas no se transforma en trabajo útil, debe de ser generada, transportada y distribuida por la red eléctrica. Esto obliga al sobredimensionado de transformadores, generadores y líneas, e implica la existencia de pérdidas de potencia y caídas de tensión. Por esta razón las compañías eléctricas penalizan el consumo de la energía reactiva, aplicando recargos en las facturas de sus clientes cuando el factor de potencia de éstos tiene valores bajos. Con el fin de reducir ese consumo innecesario al circuito b) se le acopló en paralelo un condensador para reducir esa producción de potencia reactiva y así ahorrar dinero en la factura de la luz.

Por último, en el circuito d) hemos percibido que debido a que la intensidad de línea es la misma en las tres redes al llegar al nudo en el que las cargas están conectadas en estrella, la intensidad total se anulará, y no será necesario el retorno de intensidad a los generadores, no siendo necesario el uso de tres conductores de vuelta.

La práctica, desde un punto de vista docente, nos ha facilitado el contacto con los dispositivos, elementos y aparatos que hemos ido estudiando en las clases teóricas, por ello consideramos que es algo beneficioso para el alumno. Desde un punto de vista práctico nos ha servido para tomar contacto con aparatos de manejo diario para profesionales del sector (a destacar el analizador de redes), sin olvidarnos de la implementación de montajes eléctricos a partir de los esquemas simbólicos dados.

*ETSI DE MINAS*

*INFORME DE PRÁCTICAS N°2*

*ELECTROTECNIA*

**Trabajo realizado por:**

Alejandro Asensio Aurell

Daniel García Manso

Ignacio García Herrera

## ÍNDICE:

### 1. Descripción y desarrollo de la práctica realizada

- Objetivos de la práctica.
- Descripción de los elementos y equipos de medida empleados, su interconexión, especificando como se han tomado las medidas y misión de cada elemento utilizado.
- Valores de las medidas tomadas (en forma de tablas) en el laboratorio.

### 2. Análisis y evaluación de los resultados obtenidos

- Valores de las especificaciones del trafo trifásico que se ha utilizado en la práctica:  
 $S_n$ ,  $r_{tn} = (U_{1n}/U_{2n})$ ,  $I_{1n}$ ,  $I_{2n}$  y grupo de conexión.  
Explicar cómo se han conectado los devanados primarios y secundarios del transformador trifásico. Detallar especificaciones de los 3 trafos monofásicos utilizados para configurar el trafo trifásico.
- Comprobación de que se mantiene la relación de transformación nominal  $r_{tn} = (U_{1n}/U_{2n})$  para distintas tensiones  $U_1$  aplicadas al primario o entrada del transformador.  
Comprobación de que existe una relación  $P_{Fe} = k (U_1)^2$ .
- Valores obtenidos de las medidas de los ensayos:  $P_o$ ,  $I_o$ ,  $P_{cc}$  y  $\epsilon_{cc}$ .
- Cálculo detallado del circuito monofásico equivalente completo (referido al primario del transformador y también al secundario):  $R_{Fe}$ ,  $X_\mu$ ,  $R_{cc}$ ,  $X_{cc}$
- Con las medidas obtenidas al conectar cargas trifásicas en el secundario, calcular para cada una de las cargas:
  - Índice de carga (C)
  - Impedancia por fase (equivalente en estrella) de la carga trifásica, especificando el valor de su resistencia y de su reactancia:  $[(R+jX)]$ .
  - Caída de tensión debida al transformador [ $\Delta U$  (V) y  $\Delta U$  (%)]
  - Potencia útil, potencia reactiva y potencia aparente consumidas por la carga
  - Perdidas de potencia en el transformador (en el cobre y en el hierro) y su rendimientoComparar los resultados para las 3 cargas conectadas en el secundario.

### 3.- Bibliografía

Apuntes de la asignatura electrotecnia

<http://www.wikipedia.com>

# 1. Descripción y desarrollo de la práctica realizada

## *Objetivos de la práctica*

La práctica es una toma de contacto con los transformadores estudiados en clase, aplicando los conocimientos adquiridos.

A través de ella se ve de forma experimental lo que es un ensayo en cortocircuito y en vacío, dando una mejor idea cómo son y qué quiere decir cada uno, respaldando esto los datos obtenidos y observando las pérdidas del hierro y cobre gracias a estos ensayos. Una vez conocidas las características de nuestro transformador trifásico se pone en práctica los conocimientos y aptitudes adquiridas en la práctica anterior montando diferentes circuitos trifásicos con componentes tales como una resistencia, una bobina, un condensador y por supuesto los transformadores.

Gracias a la práctica se ve de un modo real lo estudiado en clase, poniendo en práctica nuestros conocimientos, comprobando que lo estudiado coincide con los resultados obtenidos experimentalmente.

## *Descripción de los elementos, equipos de medida empleados e interconexión*

- Torre de alimentación. Dispone de un botón de arranque y parada además de un regulador de tensión que empleamos para la regulación del voltaje que necesitamos en cada ocasión para la toma de medidas.



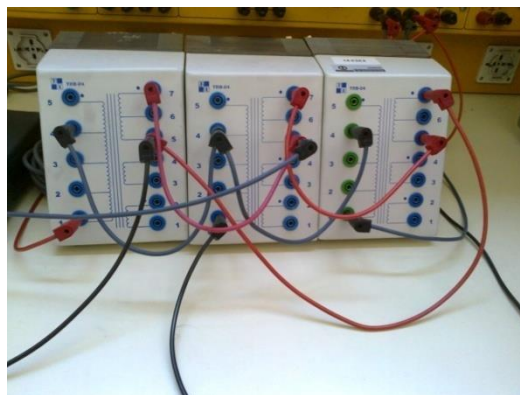
-Trasformador monofásico. Se denomina transformador a un dispositivo eléctrico que permite aumentar o disminuir la tensión en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo la potencia. La potencia que ingresa al equipo, en el caso de un transformador ideal (sin pérdidas), es igual a la que se obtiene a la salida. Las máquinas reales presentan un pequeño porcentaje de pérdidas, dependiendo de su diseño, tamaño...



Están basados en el fenómeno de la inducción electromagnética y constituidos por un número de bobinas devanadas sobre uno o varios núcleos cerrados, en función del número de bobinas. La única conexión entre las bobinas la constituye el flujo magnético común que se establece en el núcleo. Las bobinas o devanados se denominan primario y secundario según correspondan a la entrada o salida del sistema en cuestión. Los núcleos pueden ser de hierro dulce o de láminas apiladas de acero eléctrico, aleación apropiada para optimizar el flujo magnético.

En el caso del transformador trifásico, los devanados de las bobinas están conectados internamente y, estas conexiones pueden ser en estrella o en triángulo.

Un sistema trifásico se puede conseguir empleando 3 transformadores monofásicos. Los circuitos magnéticos son completamente independientes, sin que se produzca reacción o interferencia alguna entre los flujos respectivos. Con tres de estos transformadores constituiremos el transformador trifásico que analizaremos.



### **-Polímetro**

Es un instrumento portátil que puede ser analógico o digital, usado para medir directamente magnitudes eléctricas activas como corrientes y potenciales (tensiones) o pasivas como resistencias, capacidades y otras. Las medidas pueden realizarse para corriente continua o alterna.

Se basa en la utilización de un galvanómetro muy sensible que se emplea para todas las determinaciones. Además del galvanómetro, el polímetro consta de los siguientes elementos: La escala múltiple por la que se desplaza una sola aguja permite leer los valores de las diferentes magnitudes en los distintos márgenes de medida. Un conmutador permite cambiar la función del polímetro para que actúe como medidor en todas sus versiones y márgenes de medida. La misión del conmutador es seleccionar en cada caso el circuito interno que hay que asociar al instrumento de medida para realizar cada medición.

El uso que daremos al aparato consistirá únicamente en la medida de tensiones compuestas. Para medir una tensión, colocaremos las bornas en las clavijas, y no tendremos más que colocar ambas puntas entre los puntos de lectura que queramos

medir. Si lo que queremos es medir voltaje absoluto, colocaremos la borna negra en cualquier masa y la otra borna en el punto a medir. Si lo que queremos es medir diferencias de voltaje entre dos puntos, no tendremos más que colocar una borna en cada lugar.



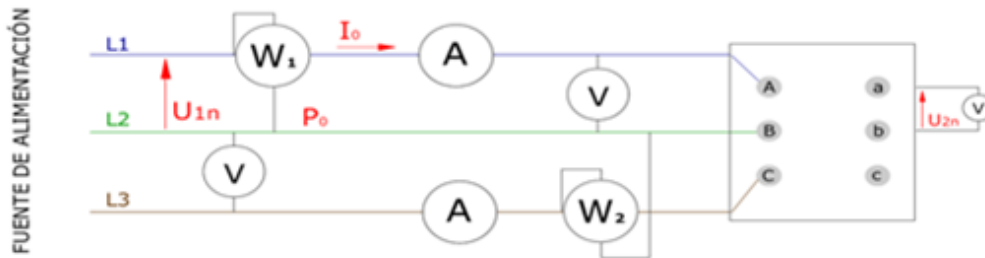
### **-Analizador de redes**

Es un instrumento similar al polímetro (ya que con el analizador podemos realizar las mismas medidas que con el polímetro) pero con la gran diferencia de que el analizador nos mide también magnitudes vectoriales. Para las medidas se usan unas pinzas amperimétricas; gran importancia tiene su correcta colocación en cuanto al sentido del flujo se refiere. Si las medidas son de pequeña magnitud, mejoraremos la calidad de la medida arrollando más vueltas de cable alrededor de estas.



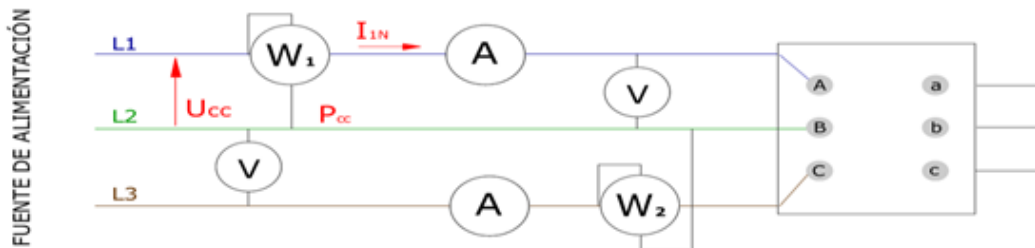
## *Interconexión de los elementos en los diferentes ensayos.*

Ensayo de vacío



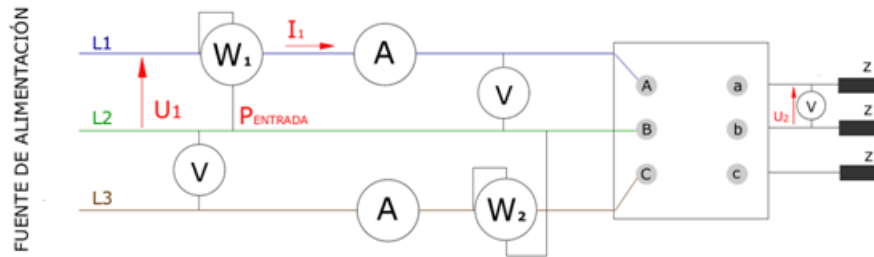
Con el transformador ya montado, el devanado secundario se conecta a un voltímetro, que lo único que hará será medir la tensión compuesta a la salida del secundario, es decir para las interacciones del circuito el secundario no está conectado a nada, está en vacío. Una vez hecho esto, el primario se conecta a la corriente y se toman los datos necesarios.

Ensayo en corto



Con el transformador ya montado, el devanado secundario se conecta entre sí en estrella, es decir cortocircuitándose, con esto se consigue medir las pérdidas que tiene el transformador en el cobre. Una vez hecho esto, el primario se conecta a la corriente y se toman los datos necesarios.

Ensayo en carga



**Ensayo Carga 1:** El transformador de trabajo se conecta a la torre de alimentación, añadiéndose tres resistencias en estrella.

**Ensayo Carga 2:** A cada una de las resistencias del ensayo anterior se le añade una bobina colocada en serie, quedando una conexión en estrella de impedancias, cada una formada por una resistencia y una bobina en serie.

**Ensayo Carga 3:** A la estrella de impedancias del ensayo anterior se conecta un triángulo de condensadores para saber cómo afecta al factor de potencia.

## Tablas de mediciones

### Especificaciones

$U_{1n}$ (V)	$U_{2n}$ (V)	$S_n$ (VA)	$I_{1n}$ (A)	Grupo de conexión
380	190.5	1500	2.28	Dy

### Ensayo en vacío (dividimos los valores entre 10 por las pinzas amperimétricas)

$U_{1n}$ (V)	$U_{2n}$ (V)	$P_0$ (W)	$Q_0$ (Var)	$\cos\phi_0$	$I_0$ (A)
379.65	199.2	33.6	60	0.496	0,1027

	$U_1$ (V)	I vacío (A)	P <sub>Fe</sub> (W)	$U_2$ (V)
0,75 $U_{1n}$	283.35	0,0575	19	148.9
0,5 $U_{1n}$	189.4	0,039	9.4	99.5
0,25 $U_{1n}$	95.25	0,0258	2.9	50

### Ensayo en corto (dividimos los valores entre 10 por las pinzas amperimétricas)

$I_{1n}$ (A)	$P_{cc}$ (W)	$\cos\phi_{cc}$	$U_{cc}$ (V)
2.256	140	-	36.05

### Ensayo en carga (dividimos los valores entre 10 por las pinzas amperimétricas)

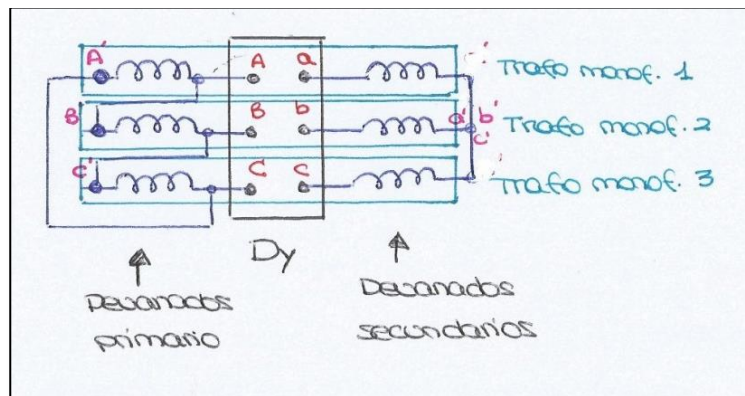
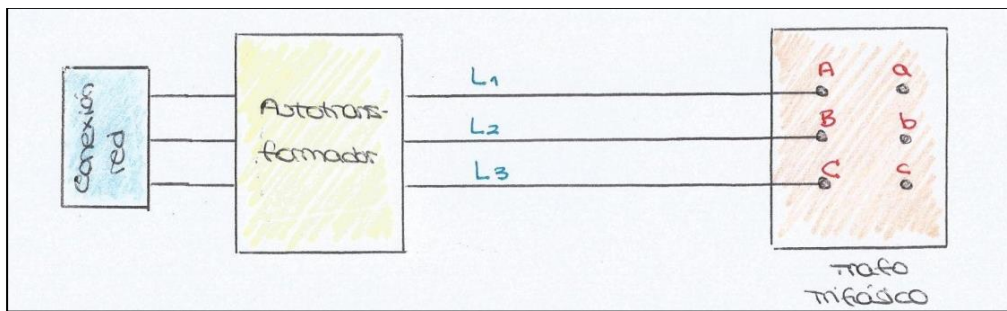
	$U_{1n}$ (V)	$U_2$ (V)	$I_1$ (A)	P entrada (W)	Q entrada (Var)	Cos $\phi_{ENTRADA}$
Carga nº1	379.5	196.7	0.267	161	53	0.925
Carga nº2	379.85	198.4	0.2675	142	113	0.808
Carga nº3	379.7	197.2	0.3265	141	-165	-0.656

Que la potencia reactiva y el factor de potencia salgan negativos nos indica que el sistema es principalmente capacitivo. A la hora de hacer los cálculos este signo no se tenderá en cuenta y se tomará la potencia reactiva y el factor de potencia como positivos.

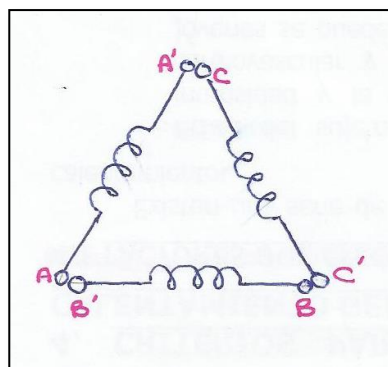
## 2. Análisis y evaluación de los resultados obtenidos.

a) *Valores de las especificaciones del transformador trifásico utilizado en la práctica: ( $S_n$ ,  $r_{tn}$ ,  $I_{1n}$ ,  $I_{2n}$  y grupo de conexión)*

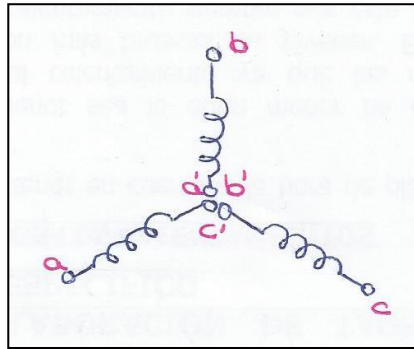
Para conseguir nuestro transformador conectamos el primario en triángulo (D) y el secundario en estrella (y). Para así obtener el transformador propuesto: Dy



La conexión en triángulo consiste en conectar cada uno de los devanados con el siguiente, es decir: la parte superior de las bobinas (A, B, C) con la parte inferior de la siguiente bobina (A', B', C').



La conexión en estrella consiste en conectar la parte superior de las bobinas (a', b', c') en un mismo punto, llamado punto neutro.

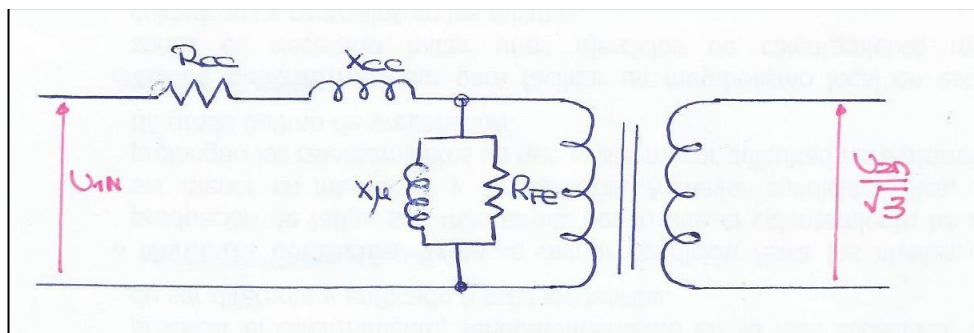


Para la elección de los terminales de las bobinas nos basamos en los datos de las tensiones con las que vamos a trabajar: en cuanto a las bobinas que forman el devanado primario, puesto que con la tensión que trabajaremos será 380V y puesto que están conectadas en triángulo y en este tipo de conexión la tensión de línea es igual a la de fase, usaremos el terminal de abajo y el de arriba que son los que contienen el número de espiras que soporta dicha tensión.

Para las bobinas que forman el devanado secundario, al estar conectadas en estrella la tensión de fase ha de ser  $\sqrt{3}$  veces la de línea, es decir,  $190.5 = \sqrt{3}U_s$ , lo que da un valor aproximado a  $u_s$  de 109.99, por lo que las conexiones que usaremos serán la segunda y la tercera empezando por arriba.

**\*Circuito equivalente:**

El esquema del circuito equivalente de nuestro transformador es el siguiente:



Donde  $R_{cc}$  y  $X_{cc}$  representan las pérdidas en el cobre, es decir las generadas por no usar conductores ideales. Y  $R_{Fe}$  y  $X_{\mu}$  las pérdidas en el hierro es decir las que son causadas por el núcleo magnético, que al igual que los conductores no es ideal.

**\*Especificaciones:**

- Tensión primaria nominal compuesta ( $U_{1n}$ ): 380 V
- Tensión secundaria nominal compuesta ( $U_{2n}$ ): 190.5 V
- Potencia nominal ( $S_n$ ) : 1500 VA
- Intensidad primaria nominal de línea ( $I_{1n}$ ): Cálculo realizado *in situ*.  
2.28 A
- Grupo de conexión: Dy

**\*Valores específicos del trafo trifásico:**

$$S_n = 1500 \text{ VA}$$

$$r_{t_n} = \frac{U_{1n}}{U_{2n}} \quad r_{t_n} = \frac{380}{190.5} = 2$$

$$I_{1n} = \frac{S_n}{\sqrt{3}u_{1n}} \quad I_{1n} = \frac{1500}{\sqrt{3} 380} = 2.279 \text{ A}$$

$$I_{2n} = \frac{S_n}{\sqrt{3}u_{2n}} \quad I_{2n} = \frac{1500}{\sqrt{3} 139.4} = 4.546 \text{ A}$$



b) *Comprobación de la mantención de la relación de transformación nominal, para distintas tensiones  $U_1$  aplicadas al primario o entrada del transformador.*

*Comprobación de que existe una relación  $P_{Fe} = k(U_1)^2$ .*

100%

$$r_{t_n} = \frac{u_{1n}}{u_{2n}} \quad r_{t_n} = \frac{379.65}{146.2} = 1.906$$

75%

$$r_{t_n} = \frac{u_{1n}}{u_{2n}} \quad r_{t_n} = \frac{283.35}{109.9} = 1.903$$

50%

$$r_{t_n} = \frac{u_{1n}}{u_{2n}} \quad r_{t_n} = \frac{189.49}{73.5} = 1.904$$

25%

$$r_{t_n} = \frac{u_{1n}}{u_{2n}} \quad r_{t_n} = \frac{95.25}{50} = 1.905$$

A la vista de los resultados obtenidos, se puede afirmar que la relación de tensiones se mantiene.

75%

$$P_{Fe} = K \cdot U_1^2 \quad 19 = K(283.35)^2 \quad K = 2.36 \cdot 10^{-4}$$

50%

$$P_{Fe} = K \cdot U_1^2 \quad 9.4 = K(189.49)^2 \quad K = 2.61 \cdot 10^{-4}$$

25%

$$P_{Fe} = K \cdot U_1^2 \quad 2.9 = K(95.25)^2 \quad K = 3.19 \cdot 10^{-4}$$

Aunque las constantes difieren un poco numéricamente, el orden de magnitud es el mismo, por lo que se puede decir que sí existe la relación  $P_{Fe} = K(U_1)^2$

c) *Valores obtenidos de las medidas de los ensayos:  $P_0, I_0, P_{cc}$  y  $\varepsilon_{cc}$ .*

$$P_0 = 33.6W ; I_0 = 0.1027A ; P_{cc} = 140W \quad \varepsilon_{cc}(\%) = 9.49\%$$

d) *Cálculo detallado del circuito monofásico equivalente completo (referido al primario del transformador y también al secundario):  $R_{Fe}, X_{\mu}, R_{cc}$  y  $X_{cc}$ .*

$$R_{Fe} = \frac{U_{1n}^2}{P_0} \quad R_{Fe} = \frac{380^2}{33.6} \quad R_{Fe} = 4297.62 \Omega$$

$$I_{Fe} = \frac{U_{1n}^2 / \sqrt{3}}{R_{Fe}} \quad I_{Fe} = \frac{380 / \sqrt{3}}{4297.62} = 0.051 A$$

$$I_{\mu} = \sqrt{I_0^2 - I_{Fe}^2} \quad I_{\mu} = \sqrt{0.1027^2 - 0.051^2} = 0.089 A$$

$$X_{\mu} = \frac{U_{1n}}{I_{\mu}} \quad X_{\mu} = \frac{380}{0.089} \quad X_{\mu} = 4269.66 \Omega$$

$$P_{cc}(\%) = \frac{P_{cc}}{S_n} \times 100 \rightarrow P_{cc}(\%) = 9.33$$

$$R_{cc(1)} = \frac{P_{cc}(\%)}{100} \times \frac{U_{1n}^2}{S_n} = 8.98 \Omega$$

$$Z_{cc(1)} = \frac{E_{cc}(\%)}{100} \times \frac{U_{1n}^2}{S_n} = 9.14 \Omega$$

$$X_{cc(1)} = \sqrt{Z_{cc}^2 - R_{cc}^2} \quad X_{cc} = \sqrt{9.14^2 - 8.98^2} \quad X_{cc(1)} = 1.7 \Omega$$

$$R_{cc(2)} = \frac{P_{cc}(\%)}{100} \cdot \frac{U_{2n}^2}{S_n} = 2.26 \Omega \quad Z_{cc(2)} = \frac{\varepsilon_{cc}(\%)}{100} \cdot \frac{U_{2n}^2}{S_n} = 2.3 \Omega$$

$$X_{cc(2)} = \sqrt{Z_{cc}^2 - R_{cc}^2} \quad X_{cc} = \sqrt{2.3^2 - 2.26^2} \quad X_{cc(2)} = 0.43 \Omega$$

e) Con las medidas obtenidas al conectar cargas trifásicas en el secundario, calcular para cada una de las cargas:

-Índice de carga (C)

-Impedancia por fase (equivalente en estrella) de la carga trifásica especificando el valor de su resistencia y de su reactancia (R+jX).

-Caída de tensión debida al transformador ( $\Delta U(V)$  y  $\Delta U(\%)$ ).

-Potencia útil, potencia reactiva y potencia aparente consumida por la carga.

-Pérdidas de potencia en el transformador (en Cu y en Fe) y su rendimiento.

Comparar los resultados de las tres cargas conectadas en el secundario.

Carga 1: Tres resistencias en estrella

$$C_1 = \frac{I_1}{I_{1n}} = \frac{0.267}{2.28} = 0.1171$$

$$P_{entrada} = P_{\text{útil}} + P_{\text{trafo}}$$

$$161 \text{ W} = P_{\text{útil}} + 33.6 \text{ W} + C_1^2 \cdot 140 \text{ W} \quad P_{\text{útil}} = P = 125.48 \text{ W}$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} \rightarrow I_2 = \frac{3795 \cdot 0.267}{196.7} = 0.515 \text{ A} \quad R_{\text{carga}} = \frac{P_{\text{útil}}}{3I_2^2} = 157.7 \Omega$$

$$|Z| = \frac{U_2}{I_2} \quad |Z| = \frac{196.7}{0.515} = 381.94 \Omega$$

$$|Z| = \sqrt{R^2 + X^2} = 381.94 \quad R^2 + X^2 = 145878 \quad 157.7^2 + X^2 = 145878 \quad X = 347.86 \Omega$$

$$Q = 3 \cdot I_2^2 \cdot X \quad Q = 3 \cdot 0.515^2 \cdot 347.86 \quad Q = 276.79 \text{ VAr}$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad S = \sqrt{125.48^2 + 276.79^2} \quad S = 303.9 \text{ VA}$$

$$\Delta U = I_1 \cdot Z_{cc} \quad Z_{cc} = \frac{U_{cc}}{I_{1n}} = \frac{36.05}{2.28} = 15.81 \Omega \quad \Delta U = 0.267 \cdot 15.81 = 4.22 \text{ V}$$

$$\Delta U(\%) = \frac{\Delta U}{U_{1n}} \cdot 100 \quad \Delta U(\%) = \frac{4.22}{380} \cdot 100 = 1.11\%$$

$$P_{Cu} = C^2 \cdot P_{cc} \quad P_{Cu} = 0.1171^2 \cdot 140 = 1.92 \text{ W} \quad P_{Fe} = P_o \cdot \left(\frac{U_1}{U_{1n}}\right)^2 \quad P_{Fe} = 33.6 \cdot 1 = 33.6 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_{\text{útil}}}{P_{\text{útil}} + P_o + C^2 \cdot P_{cc}} \times 100 \quad \eta = \frac{125.48}{125.48 + 33.6 + 1.92} \times 100 = 77.94\%$$

**Carga 2:** A cada una de las resistencias del ensayo anterior se le añade una bobina colocada en serie, quedando una conexión en estrella de impedancias, cada una formada por una resistencia y una bobina en serie

$$C_1 = \frac{I_1}{I_{1n}} = \frac{0.2675}{2.28} = 0.1173$$

$$P_{entrada} = P_{\acute{u}til} + P_{trafo}$$

$$142 \text{ W} = P_{\acute{u}til} + 33.6 \text{ W} + C_1^2 \cdot 140 \text{ W} \quad P_{\acute{u}til} = P = 106.47 \text{ W}$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} \rightarrow I_2 = \frac{379.85 \cdot 0.2675}{198.4} = 0.521 \text{ A} \quad R_{carga} = \frac{P_{\acute{u}til}}{3I_2^2} = 130.75 \Omega$$

$$|Z| = \frac{U_2}{I_2} \qquad |Z| = \frac{198.4}{0.521} = 380.81 \Omega$$

$$|Z| = \sqrt{R^2 + X^2} = 380.81 \quad R^2 + X^2 = 145016 \quad 130.75^2 + X^2 = 145016 \quad X = 357.66 \Omega$$

$$Q = 3 \cdot I_2^2 \cdot X \quad Q = 3 \cdot 0.521^2 \cdot 357.66 \quad Q = 291.25 \text{ VAR}$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad S = \sqrt{106.47^2 + 291.25^2} \quad S = 310.1 \text{ VA}$$

$$\Delta U = I_1 \cdot Z_{cc} \quad Z_{cc} = \frac{U_{cc}}{I_{1n}} = \frac{36.05}{2.28} = 15.81 \Omega \quad \Delta U = 0.2675 \cdot 15.81 = 4.23 \text{ V}$$

$$\Delta U(\%) = \frac{\Delta U}{U_{1n}} \cdot 100 \qquad \Delta U(\%) = \frac{4.23}{380} \cdot 100 = 1.11\%$$

$$P_{Cu} = C^2 \cdot P_{cc} \quad P_{Cu} = 0.1173^2 \cdot 140 = 1.93 \text{ W} \quad P_{Fe} = P_o \cdot \left(\frac{U_1}{U_{1n}}\right)^2 \quad P_{Fe} = 33.6 \cdot 1 = 33.6 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_{\acute{u}til}}{P_{\acute{u}til} + P_o + C^2 \cdot P_{cc}} \times 100 \qquad \eta = \frac{106.47}{106.47 + 33.6 + 1.93} \times 100 = 74.98\%$$

**Carga 3:** A la estrella de impedancias del ensayo anterior se conecta un triángulo de condensadores para saber cómo afecta al factor potencia.

$$C_1 = \frac{I_1}{I_{1n}} = \frac{0.3266}{2.28} = 0.1432$$

$$P_{entrada} = P_{\acute{u}til} + P_{trafo}$$

$$141 \text{ W} = P_{\acute{u}til} + 33.6 \text{ W} + C_1^2 \cdot 140 \text{ W} \quad P_{\acute{u}til} = P = 104.53 \text{ W}$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} \rightarrow I_2 = \frac{379.7 \cdot 0.3266}{197.2} = 0.629 \text{ A} \quad R_{carga} = \frac{P_{\acute{u}til}}{3I_2^2} = 88.07 \Omega$$

$$|Z| = \frac{U_2}{I_2} \qquad |Z| = \frac{197.2}{0.629} = 313.51 \Omega$$

$$|Z| = \sqrt{R^2 + X^2} = 313.51 \quad R^2 + X^2 = 98289 \quad 88.07^2 + X^2 = 98289 \quad X = 300.89 \Omega$$

$$Q = 3 \cdot I_2^2 \cdot X \quad Q = 3 \cdot 0.629^2 \cdot 300.89 \quad Q = 357.13 \text{ VAR}$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad S = \sqrt{104.53^2 + 357.13^2} \quad S = 372.11 \text{ VA}$$

$$\Delta U = I_1 \cdot Z_{cc} \quad Z_{cc} = \frac{U_{cc}}{I_{1n}} = \frac{36.05}{2.28} = 15.81 \Omega \quad \Delta U = 0.3265 \cdot 15.81 = 5.16 \text{ V}$$

$$\Delta U(\%) = \frac{\Delta U}{U_{1n}} \cdot 100 \qquad \Delta U(\%) = \frac{5.16}{380} \cdot 100 = 1.36\%$$

$$P_{Cu} = C^2 \cdot P_{cc} \quad P_{Cu} = 0.1432^2 \cdot 140 = 2.87 \text{ W} \quad P_{Fe} = P_o \cdot \left(\frac{U_1}{U_{1n}}\right)^2 \quad P_{Fe} = 33.6 \cdot 1 = 33.6 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_{\acute{u}til}}{P_{\acute{u}til} + P_o + C^2 \cdot P_{cc}} \times 100 \qquad \eta = \frac{104.53}{104.53 + 33.6 + 2.87} \times 100 = 74.13\%$$

## CONCLUSIONES

En primer lugar, gracias a esta práctica se ha ampliado el conocimiento de los miembros del grupo en cuanto a los dispositivos de medida empleados en la elaboración de la práctica, ya que de la realización de la anterior práctica se tenían ya unos cimientos correctos.

En cuanto a los casos del ensayo de cortocircuito y vacío, hemos sido capaces de comprobar los comportamientos que debían de presentarse debido a los conocimientos de teoría, como la caída de tensión en los bobinados del transformador o la reactancia magnetizante del hierro.

En cuanto al ensayo con cargas trifásicas, además de que se nos ha enseñado el manejo y como estudiar un transformador trifásico, hemos aprendido a medir constantes y leer en él la carga a la que está sometido (gran importancia el diseño de su dimensionamiento, para que pueda trabajar a un índice de carga que pueda soportar y que sean mínimas las pérdidas económicas). Importante el conocimiento adquirido de que si empleamos un aparato fuera de sus rangos de precisión, el error de la medida tomada crece considerablemente.

El grupo le da gran importancia a la mejora que ha adquirido en el manejo de las mediciones tomadas, su consideración y coherencia y en gran medida el cálculo que se ha debido de llevar para los datos cálculos y expuestos en este informe.

En cuanto al plano personal e individual, todos los componentes del grupo hemos coincidido en que se han adquirido conocimientos importantes que junto a los que teníamos respecto a las clases teóricas y resolución de ejercicios nos han ayudado al entendimiento de los montajes a realizar e interpretar los resultados numéricos que obtenidos, destacando que gracias al mejor manejo del analizador de redes, podíamos llegar a realizar conexiones monofásicas y trifásicas con él. Consideramos que un buen conocimiento en transformadores es esencial para cualquier ingeniero y creemos que con esta práctica se ha conseguido notablemente.