
Informe de laboratorio

Medición de
magnitudes
eléctricas

Orueta Golorons, Rocío

Legerén Álvarez, Jaime

Núñez Jiménez, Alejandro



1. Introducción.....	4
2. Aparatos de medida	6
2.1 Polímetro.....	7
2.2 Vatímetro analógico	8
2.3 Amperímetro analógico	9
2.4 Analizador de redes.....	10
3. Primer montaje: carga resistiva	11
3.1 Esquema simbólico y elementos constituyentes del circuito.....	11
3.2 Implementación del circuito y establecimiento de tensiones	12
3.3 Mediciones obtenidas	13
3.4 Análisis de los datos y adecuación al resultado teórico	13
3.5 Representación gráfica de las magnitudes.....	15
3.6 Conclusiones	15
4. Segundo montaje: carga resistiva-inductiva.....	16
4.1 Esquema simbólico y elementos constituyentes del circuito.....	16
4.2 Implementación del circuito y establecimiento de tensiones	17
4.3 Mediciones obtenidas	17
4.4 Análisis de los datos y adecuación al resultado teórico	18
4.5 Representación gráfica de las magnitudes.....	20
4.6 Conclusiones	20
5. Tercer montaje: compensación del factor de potencia.....	21
5.1 Esquema simbólico y elementos constituyentes del circuito.....	21
5.1.1 Circuito A	21
5.1.2 Circuito B	22
5.1.3 Circuito C.....	22
5.2 Implementación del circuito y establecimiento de tensiones	22
5.2.1 Circuito A	23
5.2.2 Circuito B	23
5.2.3 Circuito C.....	23
5.3 Mediciones obtenidas	23
5.3.1 Circuito A	24
5.3.2 Circuito B	24
5.3.3 Circuito C.....	24
5.4 Análisis de los datos y adecuación al resultado teórico	24
5.4.1 Circuito A	26
5.4.2 Circuito B	26

5.4.3 Circuito C.....	27
5.5 Representación gráfica de las magnitudes.....	27
5.5.1 Circuito A.....	28
5.5.2 Circuito B.....	28
5.5.3 Circuito C.....	29
5.6 Conclusiones.....	30
6. Cuarto montaje: carga RL trifásica.....	31
6.1 Esquema simbólico y elementos constituyentes del circuito.....	31
6.2 Implementación del circuito y establecimiento de tensiones.....	32
6.3 Mediciones obtenidas.....	33
6.4 Análisis de los datos y adecuación al resultado teórico.....	34
6.4.1 Análisis de las impedancias:.....	35
6.4.2 Análisis de las impedancias, tomando elementos ideales.....	36
6.4.3 Comparación de resultados e impedancia óhmica atribuible a las conductancias.....	38
6.5 Representación gráfica de las magnitudes.....	39
6.6 Conclusiones.....	41
7. Trabajo realizado por cada alumno.....	42
8. Conclusiones.....	43
9. Bibliografía, fuentes y software empleado.....	45

1. Introducción

Una vez desarrollada la teoría de los sistemas monofásicos con fuentes de excitación sinusoidal y alcanzado el estudio de los sistemas trifásicos, abordamos la primera práctica de laboratorio con cuatro objetivos principales:

- Familiarización con el uso de equipos de medida de magnitudes eléctricas
- Implementación de circuitos eléctricos a partir de sus esquemas simbólicos
- Determinación experimental de la potencia consumida por distintos montajes
- Compensación experimental del factor de potencia

De entre estos objetivos destacan sobre todo los dos primeros, pensando especialmente en los estudiantes que nunca han manejado elementos eléctricos y que les permite entrar en contacto con los dispositivos analizados en el aula.

Para alcanzar estos objetivos se plantean una serie de cuatro montajes distintos: montaje de una carga resistiva, montaje de una carga resistiva-inductiva, compensación del factor de potencia en el segundo montaje y montaje de una carga RL trifásica. En cada uno de ellos se especifican los valores de los distintos elementos que los constituyen y los pasos a seguir para su implementación.

En el caso particular de este grupo de trabajo, debido al buen ritmo de trabajo que llevaba durante la realización de las medidas del tercer montaje (compensación del factor de potencia), fue instado por un profesor de laboratorio a analizar dos casos adicionales no previstos. Estos dos nuevos circuitos fueron: conexión de dos condensadores en paralelo y conexión de tres condensadores en paralelo, ambos para el circuito correspondiente al segundo montaje (montaje de una carga resistiva-inductiva). En ambos casos se tomaron las medidas correspondientes y se observó la influencia del incremento de las cargas capacitivas presentes en el circuito.

Las prácticas han sido desarrolladas bajo la tutela de los profesores del Departamento de Sistemas Energéticos de la E.T.S.I. de Minas de Madrid, los cuáles proporcionaron a los estudiantes una guía de prácticas con las instrucciones precisas para su realización. El montaje de los circuitos fue

llevado a cabo en el laboratorio de circuitos de la planta baja del edificio M2, con los equipos allí presentes, durante la semana del 26 de Marzo de 2012.

Este informe persigue el cumplimiento de las pautas establecidas en el guión de prácticas. Para ello desarrollará una exposición de los medios, dispositivos y técnicas utilizadas en el estudio de los diferentes circuitos; así como el análisis de los resultados obtenidos en las diferentes mediciones y su relación con los resultados previstos por el análisis teórico de cada montaje. Tratando de enunciar los soportes teórico-físicos de cada uno de los comportamientos observados.

NOTA: es importante hacer una pequeña aclaración acerca de la nomenclatura utilizada en el informe. Para referirnos a los bornes de algunos dispositivos, tales como resistencias o inductancias, hablamos de “entradas” y “salidas”. Estas denominaciones carecen de sentido físico en la gran mayoría de los casos, ya que es indiferente un terminal que otro. Además, si tenemos presente que trabajaremos con sistemas en régimen permanente con fuentes de alimentación de corriente alterna, resulta absurdo hablar de entradas o salidas.

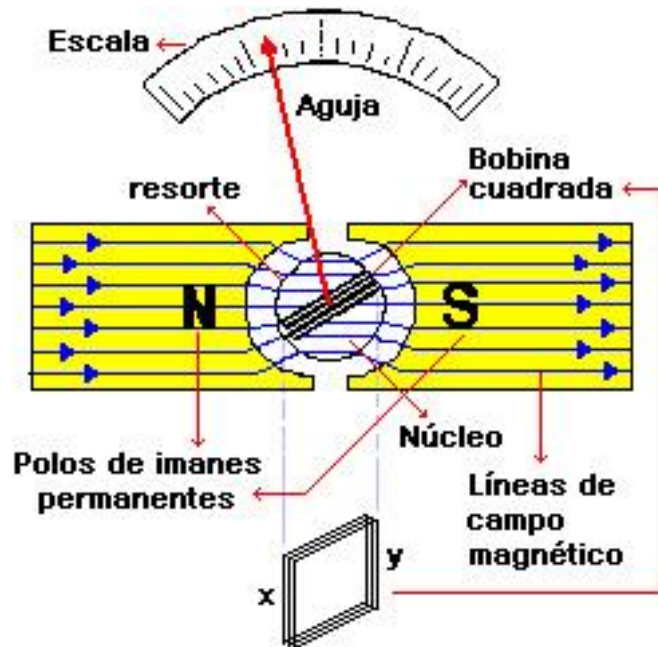
Esto es así excepto en el caso del sentido de la potencia que siempre fluye desde la alimentación del circuito hacia las cargas, y que se deberá tener presente al realizar la conexión de las pinzas de corriente del analizador de redes.

2. Aparatos de medida

En este primer apartado vamos a hacer un somero repaso de los principios de funcionamiento de cada uno de los aparatos de medida que hemos utilizado en la práctica y que, muchos de ellos, ya hemos podido estudiar en el aula.

Antes de tratar de analizar la estructura de un amperímetro o un vatímetro, debemos recordar el funcionamiento del galvanómetro, dispositivo del que derivan.

El galvanómetro D'Arsonval es un instrumento que se utiliza para medir corrientes muy bajas.



Una bobina rectangular de alambre fino se dispone coaxialmente a un núcleo cilíndrico de hierro dulce y se suspende entre los polos de un imán permanente que crea un campo magnético muy fuerte. En la parte inferior del cilindro hay un muelle helicoidal de un material conductor que proporciona una fuerza restauradora al sistema que tiende a llevar a éste a su posición de equilibrio. Los dos extremos de la bobina

se unen al circuito a analizar permitiendo el paso de corriente.

$$\theta = \frac{BNSI}{k}$$

Esta ecuación refleja que la aguja se moverá un ángulo θ directamente proporcional a la intensidad que pasa por el circuito I , desplazándose sobre una escala graduada indicando así la cantidad de corriente que circula. B es la intensidad del campo magnético externo, N es el número de espiras de la bobina, S el área encerrada por cada una de ellas y k una constante, todos ellos conocidos.

Es necesario destacar que para corrientes alternas, este tipo de galvanómetro es inútil, ya que indica el valor medio de la corriente, que en este caso es nulo (se trata de una corriente de forma sinusoidal).

Para que sea posible medir corrientes alternas, se sustituye el imán permanente del galvanómetro D'Arsonval por un electroimán. El electroimán hace que el sentido del campo magnético cambie a la vez que lo hace la corriente, consiguiendo así que la aguja se desplace siempre en el mismo sentido sobre la escala graduada, dando de esta forma una medida fija.

Otra forma de conseguir el mismo resultado es añadiendo una bobina adicional, pero de esta forma, la sensibilidad del sistema no es muy grande.

2.1 Polímetro

Un polímetro o multímetro (también llamado tester o multitester), es un instrumento eléctrico utilizado para medir directamente la corriente, la tensión o resistencias de un circuito. Las dos primeras medidas pueden realizarse tanto si la corriente es continua como si es alterna, pero las resistencias sólo se pueden medir en corriente continua. Existen polímetros analógicos y digitales y las mediciones se pueden realizar en varios márgenes de medida.

En base a la función que queremos que desarrolle el polímetro, sus conexiones serán distintas de modo que:

- **El polímetro como amperímetro:** se conectan los bornes del polímetro en serie para medir la intensidad que pasa por ese punto del circuito.
- **El polímetro como voltímetro:** se conectan los bornes del polímetro en paralelo para medir la caída tensión que se produce entre esos dos puntos del circuito.
- **El polímetro como óhmetro:** se conectan los bornes del polímetro en paralelo para medir la resistencia que ofrece el circuito entre esos dos puntos.



En nuestro caso, se trata de un polímetro digital y sólo lo utilizamos para medir la tensión.

2.2 Vatímetro analógico

El vatímetro es un instrumento electrodinámico que es empleado para medir la potencia eléctrica de un circuito.

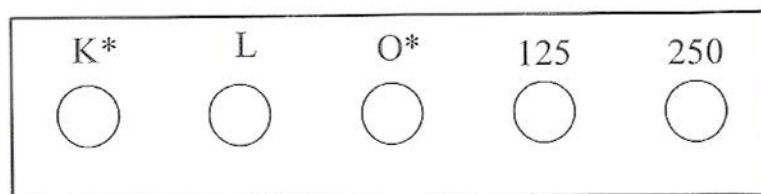
En el caso de mediciones con el vatímetro para corriente alterna, el dispositivo consiste en un par de bobinas fijas, llamadas *bobinas de corriente*, *bobinas de campo* o *bobinas amperimétricas*, y una bobina móvil, llamada *bobina de potencial*. Las bobinas fijas se conectan en serie con el circuito, mientras la móvil se conecta en paralelo. En los vatímetros analógicos, la bobina móvil tiene una aguja que se mueve sobre una escala para indicar la potencia medida.

La corriente que circula por las bobinas fijas genera un campo electromagnético cuya potencia es proporcional a la corriente y está en fase con ella. La bobina móvil tiene, por regla general, una resistencia grande conectada en serie para reducir la corriente que circula por ella.

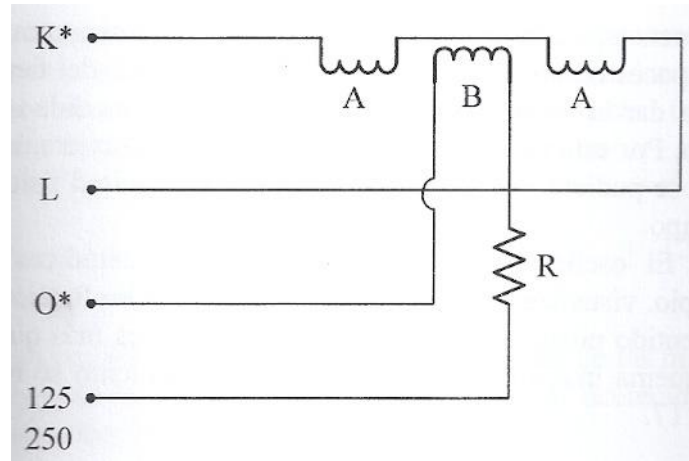


El resultado de esta disposición es que en un circuito de corriente continua, la aguja se desplaza un ángulo proporcional tanto a la corriente como al voltaje, según la ecuación $P=V \cdot I$. En un circuito de corriente alterna, este ángulo es proporcional al producto instantáneo medio del voltaje y la corriente, midiendo pues la potencia real.

Los vatímetros suelen tener cuatro o cinco terminales. En el caso de tener cinco, mostrarán una disposición similar a:



Estos terminales se relacionan con las bobinas y resistencia de la siguiente un esquema:



2.3 Amperímetro analógico

Un amperímetro es un instrumento que sirve para medir la intensidad de corriente que está circulando por un circuito eléctrico.



El diseño original de un amperímetro no es más que un galvanómetro con una resistencia en paralelo, llamada *resistencia shunt*, que le concede al amperímetro varios rangos o intervalos de medición. Tienen una resistencia interna muy pequeña, por debajo de 1Ω , para que la corriente que pasa por el circuito no disminuya significativamente

cuando se conecta.

Los amperímetros actuales utilizan un convertidor analógico-digital (ADC). Miden la caída de tensión que se produce entre los bornes del amperímetro, la cual es leída por un microprocesador que realiza los cálculos para presentar en un display numérico el valor de la corriente eléctrica circulante.



La pinza amperimétrica es un tipo especial de amperímetro que permite no tener que abrir el circuito en el que se quiere medir la intensidad de la corriente, si no que rodea el cable por el que circula. Con este instrumento se evitan las caídas de tensión que se producen con el amperímetro clásico. Además, es más seguro para el operario.

2.4 Analizador de redes



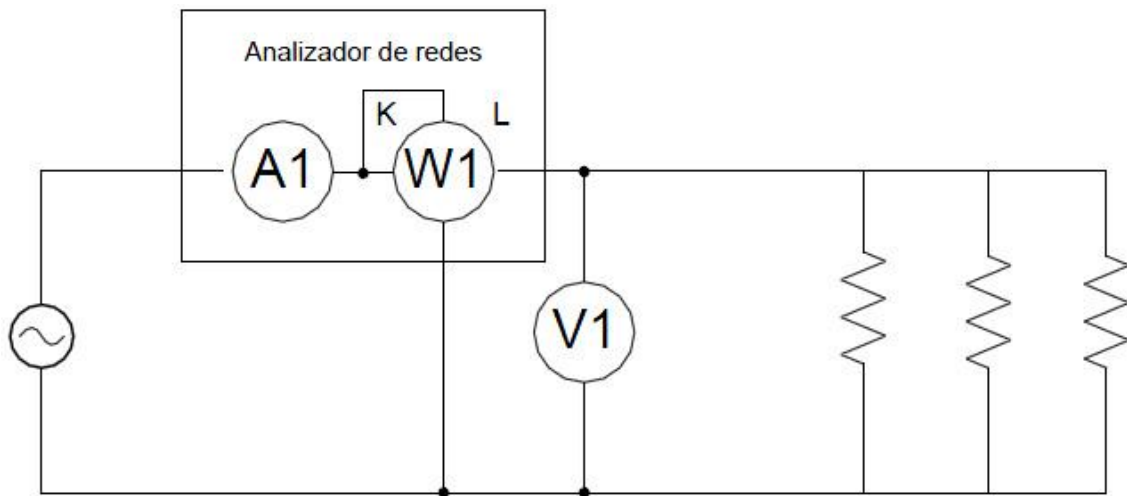
Un analizador de redes es un instrumento electrónico que mide, de una sola vez y con precisión, las propiedades eléctricas: corriente, tensión, potencia activa, potencia reactiva y factor de potencia.

3. Primer montaje: carga resistiva

Para comenzar la práctica vamos a analizar el montaje más sencillo posible, únicamente con cargas de carácter óhmico y alimentación monofásica.

3.1 Esquema simbólico y elementos constituyentes del circuito

El esquema simbólico a partir del cual implementamos el circuito es:



Se trata de un circuito en el que hay tres resistencias de valor desconocido conectadas en paralelo. El objetivo, por tanto, será tomar las medidas necesarias de las magnitudes eléctricas que definen el circuito y calcular el valor de las resistencias.

3.2 Implementación del circuito y establecimiento de tensiones

Para conseguir las medidas necesarias, comenzamos por conformar el circuito, cuya conexión es bastante sencilla.

Así mismo conectamos los instrumentos de medida en base al esquema de montaje de cada uno de ellos: conectamos el amperímetro en serie para medir la intensidad de corriente, el voltímetro en paralelo con las resistencias, de forma que el voltaje indicado es la caída de tensión que existe en cada rama donde se encuentran las resistencias.

Con el vatímetro hay que tener especial cuidado en conectar bien los terminales, siguiendo el esquema de conexión que aparece en el esquema simbólico, los terminales de intensidad van en serie y en paralelo los de tensión.

El analizador de redes, el aparato de medida con un montaje más complicado debido a sus múltiples terminales y a que era nuestro primer contacto con el mismo. Mide la tensión en paralelo, con dos terminales de tensión similares a los del polímetro, y la corriente con una pinza amperimétrica, a la que se ha arrollado con diez vueltas de cable para obtener mayor precisión.

Una vez conectado el circuito según el esquema y habiendo sido aprobado por el profesor, conectamos el banco de alimentación y lo regulamos hasta alcanzar los 100V, para evitar que la intensidad del circuito superase los 2 amperios.

NOTA: El guión indica que la tensión ha de ser de 200V, sin embargo, el profesor de laboratorio nos advirtió de que no sobrepasáramos los 2A para no dañar las instalaciones, de tal manera que la tensión quedó fijada en 100V. Esta diferencia con el resto de grupos se debe a la elección que hicimos al tomar las cargas resistivas, tomando tan hasta la mitad de su recorrido en lugar de su recorrido completo, disminuyendo así su valor.

3.3 Mediciones obtenidas

Los valores obtenidos experimentalmente a través de los distintos aparatos de medida son:

Mediciones experimentales

Tensión	I (A)	I* (A)	U (V)	U* (V)	P (W)	P* (W)	Q*(Var)	cosΦ
100.000	2.100	2.000	101.600	102.300	205.000	205.000	0.000	-1.000

Aquellos valores que se encuentran denotados por un asterisco hacen alusión a su procedencia, correspondiente al analizador de redes.

El carácter negativo del factor de potencia, mostrado por el analizador de redes, indica la presencia de un cierto carácter capacitivo del circuito, pero carece de sentido físico. Dado que las cargas son óhmicas y que la lectura de la potencia reactiva fue cero, atribuimos este carácter capacitivo del circuito al comportamiento imprevisto de los componentes reales. La influencia del montaje (cables) o incluso de los propios aparatos de medida, puede ser explicación suficiente para este carácter capacitivo residual.

3.4 Análisis de los datos y adecuación al resultado teórico

Podemos observar que los valores obtenidos con el amperímetro, el voltímetro, el vatímetro se corresponden bastante bien con los obtenidos con el analizador de redes.

Tal y como habíamos esperado, la potencia reactiva en este circuito es nula, ya que toda la carga es resistiva. Por lo tanto, el ángulo Φ es 0, luego consecuentemente: $\cos\Phi = 1$.

NOTA: ver apartado anterior para conocer porqué no se corresponde con la lectura en pantalla.

Para analizar los resultados utilizaremos los datos obtenidos con el analizador de redes, ya que son más precisos que los aparatos analógicos y el polímetro, luego:

$$I = 2,0 A$$

$$U = 102,3 V$$

Experimentalmente, obtenemos una potencia activa de:

$$P = 205 \text{ W}$$

Teóricamente, teniendo presente que el factor de potencia es la unidad:

$$P = I \cdot U$$

Luego:

$$P = 2,0 \cdot 102,3 = 204,6 \text{ W}$$

Como podemos observar, la diferencia es mínima y aceptamos el valor medido en el laboratorio.

Calculamos las resistencias a partir de la aplicación directa de la ley de Ohm:

$$U = R \cdot I$$

Luego:

$$R = \frac{U}{I}$$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{102,3}{2,0} = 51,15 \Omega$$

Ésta es la resistencia equivalente total del circuito, ya que las resistencias están en paralelo:

$$R = \frac{1}{\Sigma \left(\frac{1}{r} \right)}$$

$$51,15 = \frac{1}{\Sigma \left(\frac{1}{r} \right)}$$

Suponiendo que las tres resistencias tienen el mismo valor:

$$51,15 = \frac{1}{\frac{3}{r}}$$

$$r = 3 \cdot 51,15 = 153,45 \Omega$$

3.5 Representación gráfica de las magnitudes

Al ser el ángulo $\Phi=0$, sabemos que la corriente y la tensión tienen la misma dirección y sentido, de forma que su representación gráfica queda:



El triángulo de potencias o de impedancias en este caso concreto no son tales, ya que tan solo tenemos potencia activa, en el caso de las potencias, y componente óhmica en el caso de las impedancias.

3.6 Conclusiones

Los resultados obtenidos partiendo de las mediciones experimentales, habiendo realizado los cálculos necesarios, comprobamos que se corresponden totalmente con lo esperado.

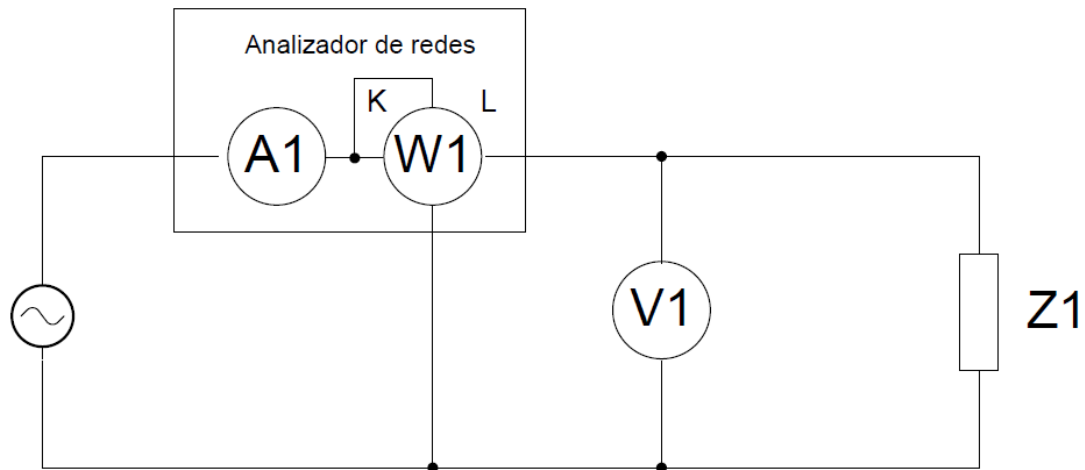
El ángulo que forman intensidad y tensión es nulo ya que no hay carga inductiva/capacitiva, es exclusivamente resistiva, luego los vectores son colineales.

Este análisis es aplicable a una gran cantidad de aparatos y dispositivos cotidianos que utilizamos en nuestras casas con alimentación monofásica y que, por no tener presentes elementos inductivos, como motores eléctricos o bobinas, ni elementos capacitivos, como condensadores; presentan en exclusiva una componente óhmica en su impedancia.

4. Segundo montaje: carga resistiva-inductiva

4.1 Esquema simbólico y elementos constituyentes del circuito

A continuación procederemos a la resolución teórica y al análisis del segundo circuito de la práctica. Su esquema es el que sigue:



Donde la carga $Z1$ consiste en una bobina de inductancia desconocida y una resistencia de 75Ω .

El objeto de las medidas es calcular la impedancia equivalente que se ajusta a las medidas de potencia activa y reactiva realizadas. Cabe señalar que usaremos las medidas de potencias dadas por el analizador de redes, aparato más preciso que el resto, tal y como se explicó anteriormente.

Basándonos en los resultados experimentales calcularemos de forma teórica la impedancia equivalente, es decir, la inductancia de la bobina pues la parte real dada por la resistencia ya la conocemos. Posteriormente compararemos este resultado con el obtenido a través de la resolución del circuito, usando como intensidad y tensión los medidos en el analizador de redes durante la experiencia.

4.2 Implementación del circuito y establecimiento de tensiones

Comenzamos a hacer las conexiones de este circuito que son bastante triviales. El voltímetro va conectado en paralelo a la impedancia, colocándolo antes de la carga. El vatímetro tiene en paralelo los terminales destinados a medir la tensión y en serie los de intensidad de corriente.

Por su parte, el amperímetro se monta en serie con el circuito y, por último, el analizador de redes, quizá lo más complejo de todo el montaje, conecta con el generador de señales para medir el voltaje. Para registrar la intensidad dispone de un dispositivo especial, la pinza de corriente, alrededor de la cual se ha arrollado una bobina con diez espiras para obtener mayor precisión, como ya se detalló en el apartado correspondiente anterior.

Una vez revisado el circuito por el profesor procedimos a conectarlo y para hacer tres tandas de mediciones a las tensiones de: 100, 150 y 200 V.

Cabe comentar que las medidas se hicieron cuando el voltaje marcado por el analizador de redes fue lo suficientemente próximo al pretendido, ya que al tener que ajustar a mano el generador de la señal era complicado dar con el valor exacto que se pretendía.

4.3 Mediciones obtenidas

A continuación se adjunta la tabla con todas las medidas tomadas en este circuito durante la práctica. Todo lo que se muestra son resultados experimentales, de modo que algunos difieren con los teóricos que veremos a continuación.

Aquellos que están marcados con asterisco son los que proporciona el analizador de redes, que cuentan con una mayor precisión que los aparatos de medida analógicos. Así mismo el factor de potencia, aunque no esté marcado con un asterisco, también lo proporciona el analizador de redes.

Tensión	I (A)	I* (A)	U (V)	U* (V)	P (W)	P* (W)	Q*(Var)	cosΦ
100.000	-	0.745	100.800	100.700	45.000	47.000	58.000	0.630
150.000	1.400	1.144	150.300	150.300	105.000	110.000	133.000	0.635
200.000	1.400	1.546	199.500	199.700	190.000	198.000	238.000	0.642

La lectura de intensidad que nos proporcionaba el amperímetro para el primer voltaje fue tan baja que resultó imperceptible, de hecho, no alcanzaba la escala de medida del aparato. Para los otros dos voltajes el movimiento de la aguja fue muy pequeño, lo que no nos permitió ajustar con mucha precisión esta medida.

En cambio el voltímetro, al tratarse de un aparato digital como el analizador de redes, muestra valores de tensión muy parecidos a los que da este último. El vatímetro, si bien no da resultados tan próximos al analizador como el voltímetro, proporciona unos valores bastante satisfactorios.

Para todos los cálculos posteriores, con la intención de seguir un único criterio, se usarán las medidas proporcionadas por el analizador.

4.4 Análisis de los datos y adecuación al resultado teórico

En el guión de prácticas se requiere el cálculo de la impedancia a partir de los valores de las potencias obtenidos. Como se dijo antes, utilizaremos en exclusiva los valores obtenidos con el analizador de redes. El desarrollo es el que sigue:

Para las potencias tenemos:

$$P = UI\cos\varphi \qquad Q = UI\sin\varphi$$

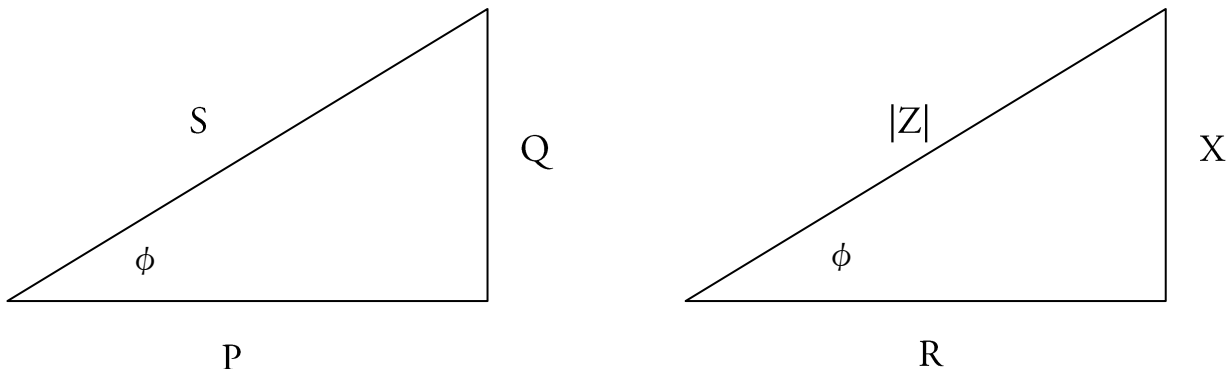
Dividiendo la segunda expresión entre la primera:

$$\frac{Q}{P} = \tan\varphi$$

De modo que el ángulo de fase es:

$$\varphi = \operatorname{atan}\frac{Q}{P}$$

Recordando los conceptos de triángulo de potencias, con S, Q y P; lo relacionamos con su semejante: el triángulo de impedancias, con $|Z|$, R y X. Ambos con el mismo ángulo φ , los podemos representar de manera sencilla, no a escala, como:



$$\tan\phi = \frac{X}{R} \quad X = R \tan\phi$$

Quedando entonces la impedancia buscada del modo siguiente:

$$Z1 = R + R \tan\phi j$$

Dado que R es dato de nuestro circuito en la tabla a continuación en lugar de poner la expresión de Z1 pondremos solo la de su parte imaginaria, es decir X. Añadiremos también el valor L de la bobina cuyo cálculo es muy simple:

$$X = L\omega$$

$$L = \frac{X}{\omega} = \frac{X}{2\pi f} = \frac{X}{2\pi 50} = \frac{X}{100\pi}$$

U(V)	P(W)	Q(Var)	cosφ	cosφ (exp)	X(Ω)	L(H)
100.000	47.000	58.000	0.630	0.630	92.550	0.295
150.000	110.000	133.000	0.637	0.635	90.680	0.289
200.000	198.000	238.000	0.640	0.642	90.152	0.289

Las ligeras desviaciones pueden achacarse al error experimental, a la incertidumbre de manejar elementos (resistencia en la bobina, en los cables), pero en general el resultado es satisfactorio y nos proporciona un valor aceptable de la impedancia.

U(V)	R(Ω)	X(Ω)	 Z1 (Ω)
100.000	75.000	92.550	119.124
150.000	75.000	90.680	117.677
200.000	75.000	90.152	117.271

4.5 Representación gráfica de las magnitudes

La representación gráfica de los triángulos de potencias e impedancias ya se hizo con anterioridad, por lo que en lo que a este apartado respecta, solo añadiremos la representación de los fasores correspondientes a voltajes e intensidad. En primer lugar, para determinar el ángulo que forman tensión y corriente podemos hacer una pequeña tabla:

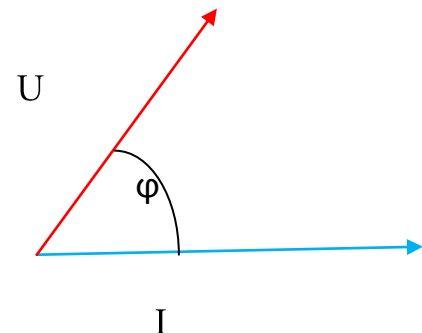
U(V)	ϕ
100.000	50.950
150.000	50.432
200.000	50.208

Como puede observarse, la fase para los distintos valores de tensión es prácticamente la misma, de acuerdo con la teoría.

Los valores de intensidad y voltaje son proporcionales y ya fueron presentados en la tabla de resultados teóricos. Por tanto la representación fasorial puede

reducirse a la siguiente:

Puede observarse como el ángulo de fase es positivo, por lo que la tensión precede a la corriente, corroborando la teoría, pues se trata de una carga inductiva.



4.6 Conclusiones

Como conclusiones a este sencillo circuito podemos confirmar desde la experiencia toda la teoría vista en clase. Al trabajar con una carga inductiva el circuito es inductivo, la potencia reactiva Q es mayor que 0 y el ángulo de fase es positivo, por lo que la tensión precede a la intensidad de corriente.

5. Tercer montaje: compensación del factor de potencia

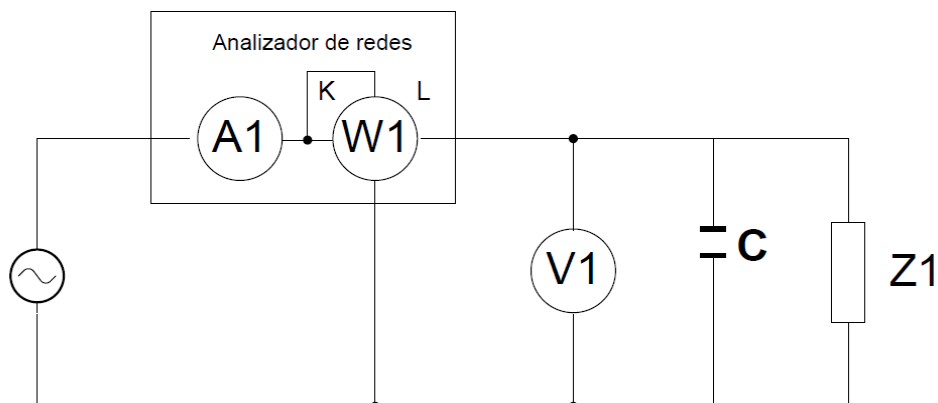
Antes de comenzar a analizar esta práctica hay que hacer un pequeño comentario. Durante el transcurso de la actividad, dado nuestro buen ritmo, uno de los profesores del laboratorio nos sugirió que además de poner un condensador en paralelo pusieramos un segundo y un tercero. Es por esto que esta parte del informe será algo diferente al resto de informes. Para tratar de ver la comparativa del modo más claro posible se irán analizando punto por punto los tres circuitos a la vez.

5.1 Esquema simbólico y elementos constituyentes del circuito

Los circuitos que vamos a utilizar no son más que el circuito del apartado cuarto, sumándole uno o varios condensadores en paralelo, destinados a corregir su factor de potencia. De modo que la impedancia que aparece en los circuitos es de nuevo una resistencia de 75Ω junto con una bobina.

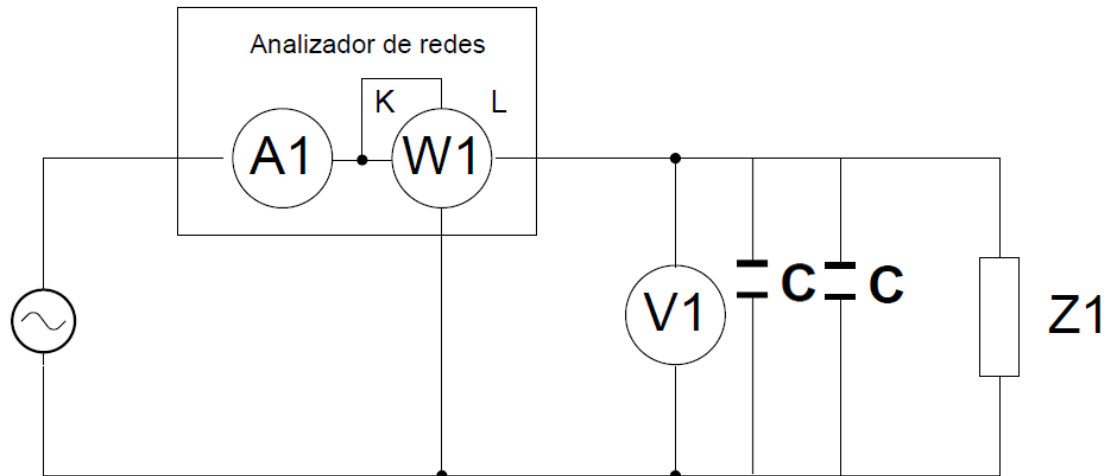
5.1.1 Circuito A

El esquema simbólico del primer circuito analizado:



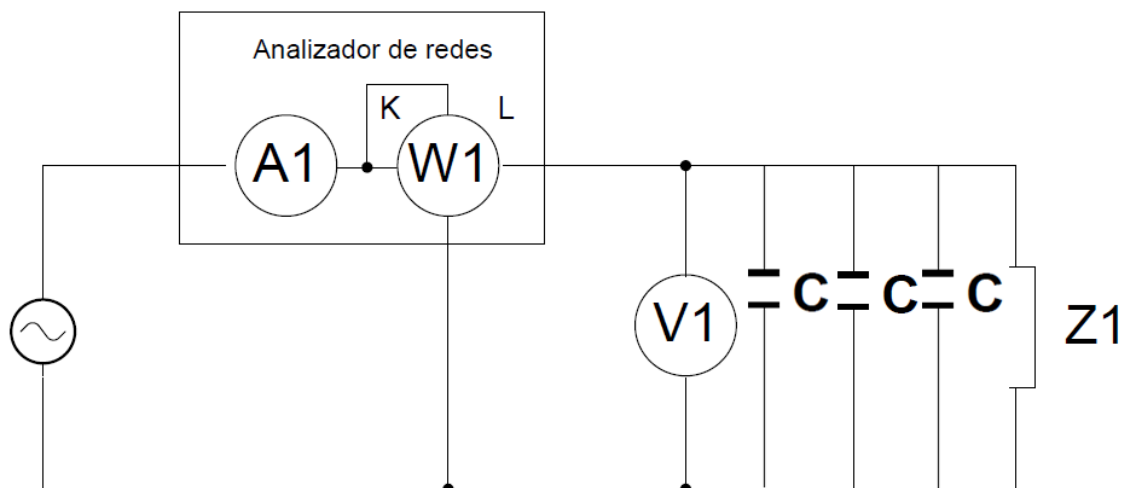
5.1.2 Circuito B

El esquema simbólico para dos condensadores en paralelo resulta:



5.1.3 Circuito C

Por último, el esquema simbólico del tercer circuito es:



5.2 Implementación del circuito y establecimiento de tensiones

El montaje realizado es idéntico al realizado para el circuito del apartado cuarto, con la salvedad de conectar los condensadores en paralelo antes de la carga.

Las consideraciones a tener en cuenta de cara a interpretar bien los resultados son también idénticas: el voltaje es lo más cercano al pretendido que pudimos obtener manipulando el generador de señales.

5.2.1 Circuito A

Instalación como ya se ha señalado y medidas tomadas a las tensiones 100, 150 y 200V

5.2.2 Circuito B

Instalación como ya se ha señalado y medidas tomadas a las tensiones 100, 150 y 200V

5.2.3 Circuito C

Instalación como ya se ha señalado y medida tomada a la tensión de 200V, pues tan solo nos interesaba conocer conceptualmente que ocurría. Por este motivo simplificamos la toma de medidas y decidimos utilizar un valor de 200 Voltios, al considerar que era la más representativa, por ser la más cercana a las tensiones de trabajo más comunes.

5.3 Mediciones obtenidas

A continuación se adjuntan las tablas con todas las medidas tomadas en estos circuitos durante la práctica. Todos ellos son resultados experimentales de modo que algunos difieren con los teóricos que veremos a continuación.

Aquellos marcados con un asterisco son los datos proporcionados por el analizador de redes y que tomamos como referencia por ser más preciso que las medidas de los aparatos analógicos. Así mismo el factor de potencia aunque no esté marcado con un asterisco también lo obtenemos del analizador de redes.

La intensidad que nos daba el amperímetro para el primer voltaje fue tan baja que resultó imperceptible. Para los otros dos voltajes el movimiento de la aguja fue muy pequeño, lo que no nos permitió ajustar con mucha precisión esta medida. En cambio el voltímetro, al tratarse de un aparato digital como el analizador de redes, da valores de tensión muy parecidos a los que suministrar este último. El vatímetro si bien no muestra resultados tan próximos al analizador como el voltímetro, da unos valores bastante satisfactorios. Para todos los cálculos posteriores con la intención de seguir un único criterio se usarán las medidas proporcionadas por el analizador.

5.3.1 Circuito A

Los datos obtenidos en el primer circuito son:

Tensión	I (A)	I* (A)	U (V)	U* (V)	P (W)	P* (W)	Q*(Var)	cosΦ
100.000	0.000	0.885	99.000	99.400	45.000	46.000	36.000	0.786
150.000	1.100	0.915	149.500	149.700	100.000	107.000	85.000	0.785
200.000	1.400	1.262	200.500	200.800	190.000	200.000	156.000	0.789

5.3.2 Circuito B

Los datos obtenidos en el segundo circuito son:

Tensión	I (A)	I* (A)	U (V)	U* (V)	P (W)	P* (W)	Q*(Var)	cosΦ
100.000	0.000	0.491	100.300	100.300	45.000	47.000	16.000	0.945
150.000	1.000	0.770	150.600	150.800	105.000	109.000	42.000	0.941
200.000	1.300	1.057	200.200	200.400	190.000	200.000	74.000	0.936

5.3.3 Circuito C

Para el último circuito, las mediciones obtenidas son:

Tensión	I (A)	I* (A)	U (V)	U* (V)	P (W)	P* (W)	Q*(Var)	cosΦ
200.000	1.200	1.009	200.100	200.200	195.000	199.000	-42.000	-0.970

5.4 Análisis de los datos y adecuación al resultado teórico

Con la implantación de los condensadores buscamos alcanzar una corrección del factor de potencia. Procederemos a calcular este nuevo factor de potencia de forma teórica y lo compararemos con el obtenido de forma experimental que ya figura en las tablas precedentes.

Para la determinación del nuevo factor de potencia de modo teórico usaremos el **teorema de Boucherot** puesto que todas las cargas están sometidas a la misma diferencia de potencial.

Para hacerlo de forma teórica absoluta usaremos los datos de potencias obtenidos en el circuito del apartado cuarto, aunque muchos coinciden con los de este apartado, las sutiles diferencias son de nuevo provocadas por el error

experimental. Posteriormente compararemos los resultados con los obtenidos experimentalmente, es decir, las potencias y factor de potencia obtenidos leyendo directamente del analizador de redes.

Para la potencia activa:

$$P = \sum P_i$$

Donde las potencias de cada carga son, para Z1 la medida del apartado cuarto, y para los condensadores es nula, puesto que estos solo consumen potencia reactiva.

Para la potencia reactiva:

$$Q = \sum Q_i = Q_{Z1} + nQ_c = Q_{Z1} - nU^2C\omega$$

Donde el primer término corresponde a la potencia reactiva consumida por la carga Z1, que es la misma que en el apartado cuarto, y el segundo término corresponde a la carga consumida por los n condensadores que se establecen en paralelo a la impedancia Z1. La capacidad nominal C de los condensadores es de 7µF cada uno.

Por último para determinar el factor de potencia, usaremos el mismo razonamiento que para el circuito cuarto:

Para las potencias tenemos:

$$P = UI\cos\varphi \quad Q = UI\sin\varphi$$

Dividiendo la segunda expresión entre la primera:

$$\frac{Q}{P} = \tan\varphi$$

De modo que el ángulo de fase es:

$$\varphi = \text{atan} \frac{Q}{P}$$

5.4.1 Circuito A

Para la primera conexión, donde $n=1$, es decir, tenemos solo un condensador, alcanzamos:

V	P	Qz	Qc	Q	cos ϕ	cos ϕ (exp)
100.000	47000.000	58000.000	-21991.000	36009.000	0,794	0.786
150.000	110000.000	133000.000	-49480.000	83520.000	0,796	0.785
200.000	198000.000	238000.000	-87965.000	150035.000	0,797	0.789

Puede observarse que los factores de potencia obtenidos experimental y teóricamente son bastante parecidos, sobre todo teniendo en cuenta que las medidas se realizaron de forma separada para intentar distinguir entre resultados teóricos y experimentales. Además del error experimental hay que añadir el que se comete considerando los condensadores y otros elementos ideales.

5.4.2 Circuito B

Los resultados obtenidos para el segundo montaje, con $n=2$, para dos condensadores, son:

V	P	Qz	Qc	Q	cos ϕ	cos ϕ (exp)
100.000	47000.000	58000.000	-43982.000	14018.000	0,958	0.945
150.000	110000.000	133000.000	-98960.000	34040.000	0,955	0.941
200.000	198000.000	238000.000	-175929.000	62071.000	0,954	0.936

Del mismo modo que en el circuito anterior, hay una sutil diferencia entre valores experimentales y teóricos, que se deben a las mismas causas, ya comentadas.

Puede observarse que siempre las predicciones teóricas son optimistas con respecto a lo que ocurre en la realidad, pues cuanto mayor sea el factor de potencia como se vio en clase, menos intensidad se requiere para realizar la misma actividad en cuanto a potencia activa, y menores son las pérdidas por efecto Joule.

5.4.3 Circuito C

Para el último montaje, con $n=3$, tres condensadores, tan solo tomamos una única tanda de medidas a una tensión de alimentación de 200 Voltios, son:

V	P	Qz	Qc	Q	cos ϕ	cos ϕ (exp)
100.000	47000.000	58000.000	-65973.000	-7973.000	0.986	-
150.000	110000.000	133000.000	-148440.000	-15440.000	0.990	-
200.000	198000.000	238000.000	-263894.000	-25894.000	0.992	-0.970

Y al fin llegamos al punto al que el profesor de laboratorio pretendía que llegáramos mediante la adición de condensadores en paralelo a la carga. Al ser la reactancia de los condensadores negativa, según se van añadiendo condensadores al circuito llega un momento en que hace negativa la reactancia total. El circuito pasa pues de inductivo a capacitivo, suceso de alto riesgo para los operarios debido a la aparición del efecto Ferranti. Efecto basado en que un circuito de carácter inductivo, la tensión es mayor que la de línea, con el consiguiente peligro de electrocución o deterioro de la instalación.

Como se dijo antes solo tomamos una medida en este último circuito, el resto de resultados de la tabla son teóricos, pero parece extraño el hecho de que el factor de potencia teórico sea positivo el experimental negativo. Esto es muy simple. Al ser el coseno de un ángulo negativo comprendido entre 0 y -90 su coseno es positivo. Sin embargo el analizador de redes lo da como negativo para que el usuario se dé cuenta de que la carga ha pasado a ser capacitiva, como ya nos indica el hecho de que la potencia reactiva consumida sea negativa.

5.5 Representación gráfica de las magnitudes

A continuación trazaremos el triángulo de potencias de cada uno de los circuitos y observaremos sus evidentes cambios progresivos de forma conforme se añaden condensadores para ver claro el fin de este circuito.

Del mismo modo se representarán los fasores de tensión e intensidad. Los valores del factor de potencia utilizados en las sucesivas tablas y representaciones gráficas corresponden a los valores experimentales.

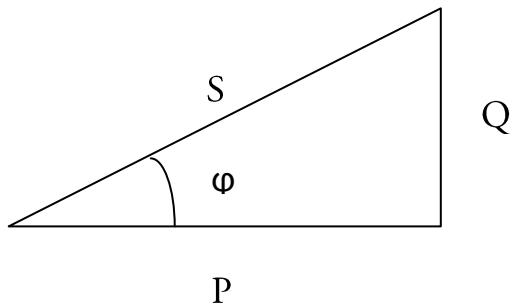
5.5.1 Circuito A

Los datos relevantes para la representación fasorial de la tensión de este circuito se resumen en:

U(V)	cos ϕ	ϕ
100.000	0.786	38.187
150.000	0.785	38.279
200.000	0.789	37.908

Confirmando la teoría, los valores de $\cos\phi$ son muy próximos entre sí, y del mismo modo lo es el propio ángulo.

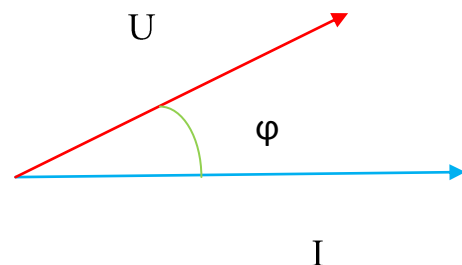
El triángulo resultante de potencias sería:



Y la representación de los fasores correspondientes a la tensión U y a la corriente I queda:

Como se indicaba antes tanto

teóricamente como de forma experimental el circuito es de naturaleza inductiva por lo que la tensión precede a la intensidad.

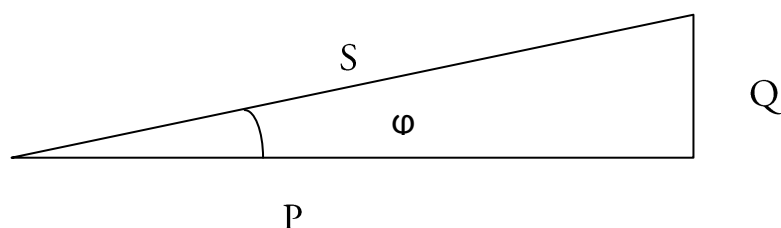


5.5.2 Circuito B

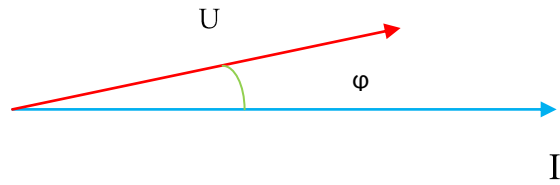
Repitiendo el mismo proceso para el segundo circuito de este montaje, obtenemos como datos:

U(V)	cos ϕ	ϕ
100.000	0.945	19.091
150.000	0.941	19.780
200.000	0.936	20.610

A partir de estos datos, con la ayuda de los obtenidos en anteriores cálculos, podemos definir el triángulo de potencias del circuito como:



Obteniendo una representación fasorial de la tensión U y la corriente I:



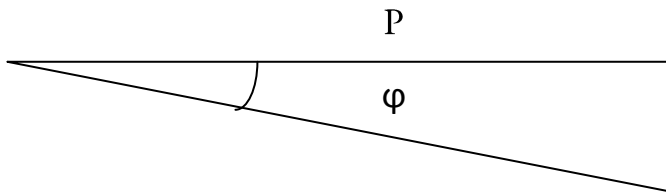
Representaciones similares a las del circuito anterior A, pero con un ángulo de desfase menor por la presencia del segundo condensador.

5.5.3 Circuito C

Para el último circuito, tan sólo tenemos una tanda de datos que representar:

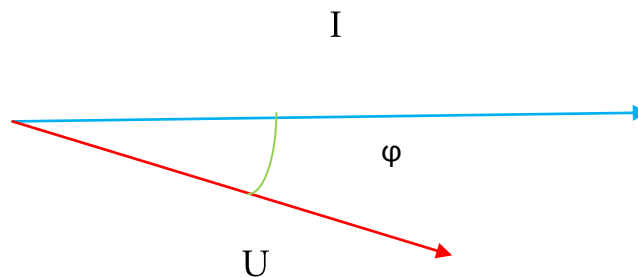
U(V)	cosφ	φ
200.000	-0.970	-14.070

Ahora sí cambia la forma tanto de nuestro triángulo como de los fasores de tensión y corriente, que se adecuan al carácter capacitivo con un desfase negativo:



Corroborando así lo anteriormente dicho sobre la naturaleza capacitiva de este último circuito, ahora la intensidad va por

delante de la tensión como indica el siguiente diagrama vectorial:



5.6 Conclusiones

Estos circuitos, de una dificultad ligeramente superior al del apartado cuarto, nos sirven para corroborar de modo experimental el proceso de corrección del factor de potencia mediante el añadido de condensadores que vimos en teoría.

El primero corrige sensiblemente, el segundo deja el factor de potencia en torno a 1 y el tercero provoca que traspasemos el factor ideal.

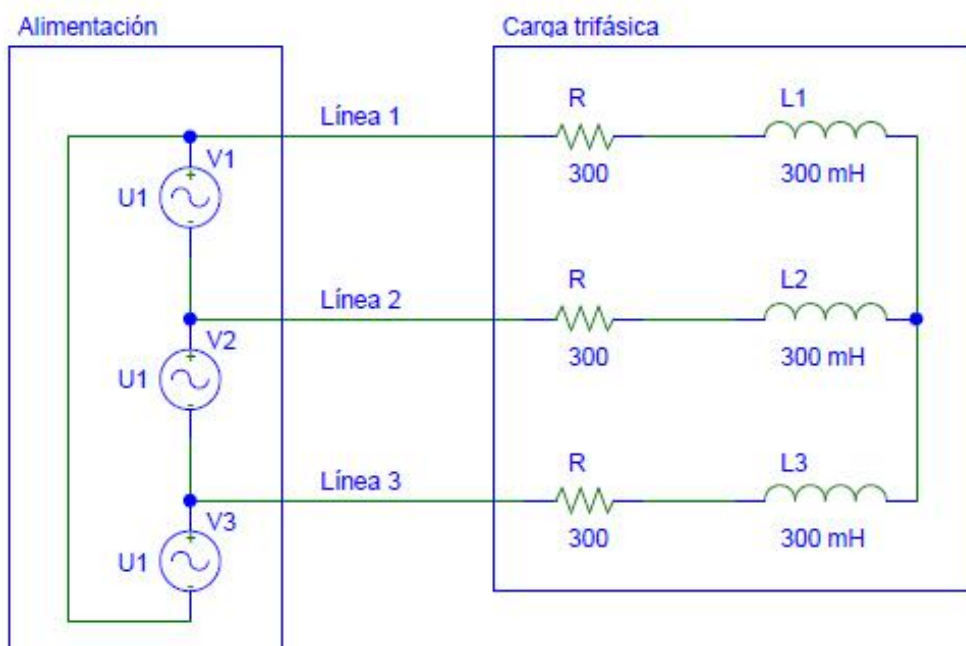
Los resultados teóricos se asemejan mucho a lo obtenido con los aparatos de medida, pero sobre todo en el plano conceptual coinciden a la perfección. Conforme se van añadiendo condensadores vamos mejorando el factor de forma de un modo lineal, pero al pasar al tercer condensador nos corregimos por exceso, dando lugar a un circuito capacitivo que como antes se comentó no es nada beneficioso para los aparatos eléctricos.

6. Cuarto montaje: carga RL trifásica

Con el cuarto y último montaje abandonamos la alimentación senoidal monofásica para realizar nuestro primer circuito de un sistema trifásico. Aunque en un principio se plantearon dos conexiones distintas para la carga RL trifásica: en estrella y en triángulo; tan sólo se implementó la carga en estrella por indicación de la profesora de laboratorio.

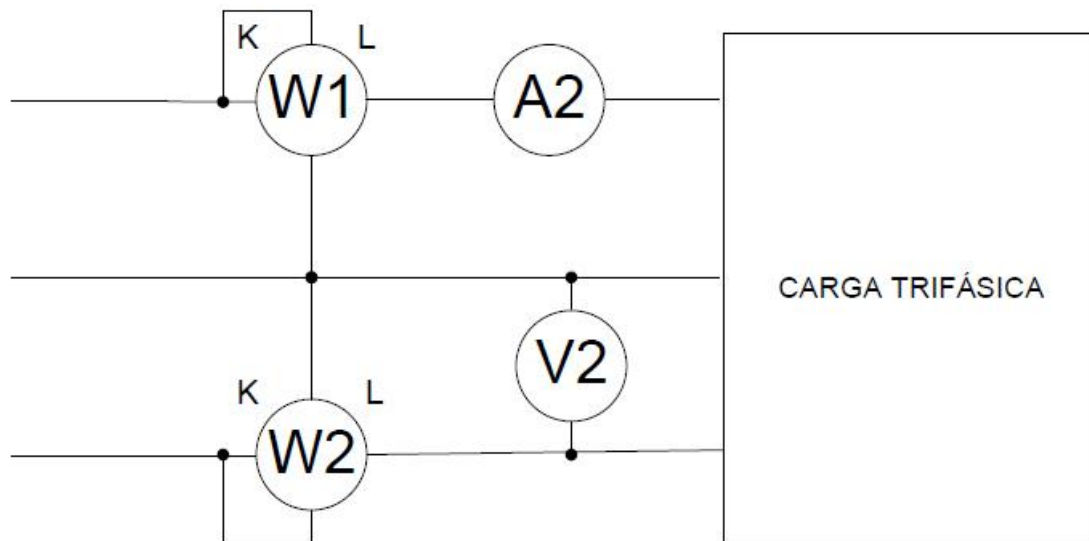
6.1 Esquema simbólico y elementos constituyentes del circuito

El esquema del circuito a montar proporcionado por los profesores describe la colocación de las herramientas de medida. La distribución de los elementos que componen el circuito responde, sin embargo, a este esquema:



Como se puede observar, para realizar el circuito fue necesaria la utilización de tres resistencias de 300 ohmios (obtenidas mediante la conexión en serie de dos resistencias de 150 ohmios) y tres inductancias de 300 mili-Henrios cada una de ellas. Además, a pesar de que en el esquema hemos querido reflejar la disposición de los generadores de alterna que nos permiten obtener un sistema trifásico de tres líneas, se tomaron directamente tres líneas del banco de alimentación, por lo que el esquema puede o no corresponderse con la realidad.

Una vez comprobado el esquema de la carga, ya podemos estudiar el esquema de los dispositivos de medida, que sería:



Se puede observar que utilizamos el método de los dos vatímetros, o conexión de Aarón, para alcanzar una medida de la potencia útil consumida por la carga trifásica.

6.2 Implementación del circuito y establecimiento de tensiones

Para implementar el circuito comenzamos realizando las conexiones necesarias para configurar la carga trifásica RL. Con este objetivo, mediante varios cables cortos conectamos las salidas de tres bobinas a un único nodo (punto neutro de la conexión en estrella de las cargas), enlazando la entrada de cada una de las bobinas a la salida de las resistencias de 300 ohmios. Terminadas las conexiones, ya disponemos de nuestra carga trifásica RL en estrella.

Para completar el circuito solo resta conectar cada una de las entradas de las resistencias a una línea de tensión distinta. No obstante, es necesario disponer antes los dispositivos de medida que vamos a utilizar (que en este caso concreto se reducen al analizador de redes). Para ello, de acuerdo con el esquema de los dos vatímetros, utilizaremos dos pinzas de corriente y los dos terminales de tensión del analizador, siguiendo el propio esquema de conexión del analizador (presente en su cara posterior).

Una vez realizadas todas las conexiones necesarias para cerrar el circuito, comprobando el montaje y siendo revisado por el profesor de laboratorio, establecemos distintos valores de tensión de línea U , a: 100V, 150V, 200V.

6.3 Mediciones obtenidas

Antes de mostrar las mediciones obtenidas conviene recordar qué es lo que estamos midiendo con el montaje que hemos dispuesto de los dispositivos de medida.

Cabría pensar que la lectura de tensión que nos da el analizador de redes sea la resta vectorial de dos tensiones de línea (que sería el resultado de montar un voltímetro V_2 tal y como aparece en el esquema de los dispositivos de medida), sin embargo, la medida que aparece en pantalla es la tensión de línea de cada una de las líneas de alimentación, necesariamente iguales, en teoría.

Así mismo nos da la lectura de la corriente de línea que atraviesa cada cable, que deben ser iguales ya que el sistema se encuentra equilibrado al enfrentarse a tres cargas idénticas en cada línea. En la realidad, es probable que existan pequeñas diferencias entre las corrientes de las tres líneas debido a las incertidumbres en los valores de los elementos utilizados (resistencias e inductancias) que suelen ser despreciables aunque sí quedan reflejadas en las mediciones.

Con estas precauciones, ya podemos interpretar los datos obtenidos:

Tensión	U1 (V)	U2 (V)	I1 (A)	I2 (A)	P (W)	Q (Var)	cosΦ
100.000	100.000	100.000	0.169	0.164	27.000	10.000	0.939
150.000	150.500	149.600	0.253	0.245	61.000	23.000	0.939
200.000	200.000	200.900	0.341	0.331	110.000	42.000	0.939

Donde *Tensión* es el valor nominal al que se nos indicaba tomar las mediciones.

6.4 Análisis de los datos y adecuación al resultado teórico

Con las mediciones realizadas deseamos conocer qué impedancias exactas existen en cada rama y su adecuación a los valores previstos por la teoría, suponiendo un comportamiento ideal de los elementos del circuito y que el valor real de las resistencias coincidiese con el nominal.

Para ello necesitaremos un pequeño repaso de los principios de funcionamiento del modelo que vamos a utilizar, comenzando por las tensiones.

Las mediciones realizadas nos permiten conocer dos medidas de las tensiones de línea, en particular para la línea 1 y la línea 2. Para una conexión de cargas en triángulo, como la que estamos ensayando, la caída de tensión que se produce en cada impedancia no se corresponde con la tensión de línea que mide el analizador. Del análisis del circuito, llegamos a la conclusión de que la relación que guarda una y otra tensión es:

$$U_s = \frac{U_{línea}}{\sqrt{3}} = \frac{U}{\sqrt{3}} \quad (6.1)$$

No ocurre lo mismo con la corriente: para una conexión de cargas en estrella, la corriente que atraviesa cada impedancia es la misma que recorre la línea.

Gracias a estas dos relaciones podemos deducir cuál es la potencia activa y reactiva que se disipa en cada impedancia, partiendo de las medidas totales de la carga trifásica:

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi = 3 \cdot U_s \cdot I \cdot \cos\varphi \quad (6.2)$$

$$P_s = \frac{P}{3} \quad Q_s = \frac{Q}{3} \quad (6.3)$$

Sumando a estas ecuaciones, las relaciones que se derivan de la ley de Ohm, podemos analizar las impedancias con las ecuaciones:

$$|Z| = \frac{U_s}{I} \quad (6.4)$$

$$P_s = U_s \cdot I \cdot \cos\varphi = \frac{U_s^2}{|Z|} \cdot \cos\varphi = R \cdot I^2 \quad (6.5)$$

Así mismo, recordando los triángulos de potencias y su semejante, el de impedancias, podemos definir las relaciones:

$$|Z|^2 = R^2 + X^2 \quad (6.6)$$

$$R = |Z| \cdot \cos\varphi ; X = |Z| \cdot \sen\varphi \quad (6.7)$$

Que nos serán de utilidad para analizar las impedancias.

Tras este breve recordatorio del modelo empleado para estudiar el circuito, procedemos a analizar las mediciones obtenidas. Llevaremos dos cálculos paralelos para las dos líneas de las que hemos obtenido mediciones y que, en teoría, debería ser siempre iguales, a pesar de lo cual existen ligeras discrepancias.

NOTA: para los cálculos donde sea necesario, se ha tomado como frecuencia de la alimentación 50 Hertzios.

6.4.1 Análisis de las impedancias:

Realizamos el análisis de las impedancias presentes en cada una de las líneas aplicando las ecuaciones (6.1), (6.2) en P_s , (6.3) en $P's$, (6.4), (6.7) en R , (6.5) en R' , (6.6) en X y la definición de la impedancia inductiva (despreciando la posible aportación de una impedancia capacitiva imprevista), como:

$$X_L = L \cdot \omega = L \cdot 2 \cdot \pi \cdot f$$

Obtenemos:

Análisis de las impedancias

Línea 1

U1 (V)	I1 (A)	Us1 (V)	P (W)	Ps	P's
100.000	0.169	57.735	27.000	9.162	9.000
150.500	0.253	86.891	61.000	20.642	20.333
200.000	0.341	115.470	110.000	36.973	36.667

Z	R	R'	X	L
341.627	320.788	320.788	117.492	0.374
343.444	322.493	322.493	118.116	0.376
338.622	317.966	317.966	116.458	0.371

L1 (mH)	373.553
X1 (Ω)	117.355

Línea 2

U2 (V)	I2 (A)	Us1 (V)	P (W)	Ps	P's
100.000	0.164	57.735	27.000	8.891	9.000
149.600	0.245	86.372	61.000	19.870	20.333
200.900	0.331	115.990	110.000	36.051	36.667

Z	R	R'	X	L
352.043	330.568	330.568	121.074	0.385
352.537	331.032	331.032	121.244	0.386
350.422	329.046	329.046	120.516	0.384

L2 (mH)	384.978
X2 (Ω)	120.944

Donde los valores de L1, X1, L2, X2 se han obtenido como media aritmética de los resultados a distintas tensiones.

6.4.2 Análisis de las impedancias, tomando elementos ideales

Una vez analizadas las impedancias hemos podido comprobar cómo la impedancia óhmica experimental dista bastante del valor nominal que cabría esperar ante un comportamiento ideal. El siguiente análisis se basará en un comportamiento ideal de los dispositivos, donde igualamos el valor de las resistencias a su nominal de 300 Ω .

Se nos presentan dos posibilidades: mantener el valor de la impedancia que hemos alcanzado con los datos experimentales, con lo que obtenemos un cambio del coeficiente de potencia; o mantener el coeficiente de potencia que hemos medido y modificar el valor de la impedancia con la componente óhmica igualada al valor nominal de las resistencias. Esta segunda opción es ligeramente mejor en tanto que no modificamos un dato obtenido

experimentalmente (el coeficiente de potencia), sino una magnitud que hemos obtenido mediante la manipulación de las mediciones.

Obtenemos para ambas líneas, utilizando las mismas relaciones antes descritas:

Análisis de las impedancias, tomando elementos ideales ($R=300\Omega$)

Línea 1

U1 (V)	I1 (A)	Us1 (V)	P (W)	Ps	P's
100.000	0.169	57.735	27.000	9.162	9.000
150.500	0.253	86.891	61.000	20.642	20.333
200.000	0.341	115.470	110.000	36.973	36.667

Cambio de $\cos\Phi$

Z	Rt	Xt	Lt	$\cos\Phi_{1t}$	Lt1 (mH)	Xt1 (Ω)	$\cos\Phi_{1t}$
341.627	300.000	163.430	0.520	0.878	517.437	162.558	0.879
343.444	300.000	167.193	0.532	0.874			
338.622	300.000	157.050	0.500	0.886			

Cambio de |Z|

Zt	Rt	X't	L't	$\cos\Phi$	L't1 (mH)	X't1 (Ω)	Zt1 (Ω)
319.489	300.000	109.878	0.350	0.939	349.752	109.878	319.489
319.489	300.000	109.878	0.350	0.939			
319.489	300.000	109.878	0.350	0.939			

Línea 2

U2 (V)	I2 (A)	Us1 (V)	P (W)	Ps	P's
100.000	0.164	57.735	27.000	8.891	9.000
149.600	0.245	86.372	61.000	19.870	20.333
200.900	0.331	115.990	110.000	36.051	36.667

Cambio de $\cos\Phi$

Z	Rt	Xt	Lt	$\cos\Phi_{2t}$	Lt2 (mH)	Xt2 (Ω)	$\cos\Phi_{2t}$
352.043	300.000	184.212	0.586	0.852	584.059	183.488	0.853
352.537	300.000	185.155	0.589	0.851			
350.422	300.000	181.095	0.576	0.856			

Cambio de |Z|

Zt	Rt	X't	L't	$\cos\Phi$	L't2 (mH)	X't2 (Ω)	Zt2 (Ω)
319.489	300.000	109.878	0.350	0.939	349.752	109.878	319.489
319.489	300.000	109.878	0.350	0.939			
319.489	300.000	109.878	0.350	0.939			

6.4.3 Comparación de resultados e impedancia óhmica atribuible a las conductancias

Para la primera tanda de resultados, que hemos obtenido manteniendo intacto el valor de la impedancia hallado en apartados anteriores; podemos observar varias cosas. En primer lugar, comprobamos que si el componente óhmico de la impedancia procediese en exclusiva de las resistencias (teniendo entonces bobinas ideales), precisamos de unas inductancias bastante mayores (del orden de 150 mili-henrios más).

Derivado de esta necesidad de mayores inductancias tenemos como efecto colateral el empeoramiento del factor de potencia. Es fácil comprobar que sería más beneficioso, desde el punto de vista del factor de potencia (y, por tanto, del consumo) tener una mayor componente óhmica para alcanzar la misma impedancia.

Para el segundo método utilizado, conservación del factor de potencia, observamos como la suposición de elementos ideales reduce de forma considerable la impedancia presente en el circuito, obteniendo en consecuencia unas componentes óhmica e inductiva menores.

Podemos cuantificar la diferencia de resultados:

Comparación resultados

Línea 1

Xt	X't	X	X-Xt	X-Xt /Xt (%)	X-X't	X-X't /X't (%)
163.430	109.878	117.492	45.938	28.109	7.614	6.929
167.193	109.878	118.116	49.077	29.353	8.238	7.498
157.050	109.878	116.458	40.592	25.847	6.580	5.989

Lt	L't	L	L-Lt	L-Lt /Lt (%)	L-L't	L-L't /L't (%)
0.520	0.350	0.374	0.146	28.109	0.024	-6.929
0.532	0.350	0.376	0.156	29.353	0.026	-7.498
0.500	0.350	0.371	0.129	25.847	0.021	-5.989

Línea 2

Xt	X't	X	X-Xt	X-Xt /Xt (%)	X-X't	X-X't /X't (%)
184.212	109.878	121.074	63.139	34.275	11.196	10.189
185.155	109.878	121.244	63.912	34.518	11.366	10.344
181.095	109.878	120.516	60.579	33.452	10.638	9.682

Lt	L't	L	L-Lt	L-Lt /Lt (%)	L-L't	L-L't /L't (%)
0.586	0.350	0.385	0.201	34.275	0.036	-10.189
0.589	0.350	0.386	0.203	34.518	0.036	-10.344
0.576	0.350	0.384	0.193	33.452	0.034	-9.682

Una de las conclusiones rápidas que podemos extraer de estos resultados es que el segundo método supone cambios menos drásticos en las inductancias necesarias para implementar el circuito, que de hecho resultan menores que las inductancias alcanzadas con las mediciones reales (fenómeno que hemos reflejado añadiendo carácter negativo a los porcentajes de variación).

Para finalizar este interesante apartado, vamos a calcular que parte de la componente óhmica de la impedancia, suponiendo que las resistencias tuvieran un valor idéntico al nominal (300 ohmios); sería achacable a las inductancias (partiendo de que la aportación de los conductores es despreciable gracias a las pequeñas longitudes de los cables).

Impedancia óhmica atribuible a las inductancias

R"1	R"2	R"1/R1 (%)	R"2/R2 (%)	R"1 (Ω)	R"2 (Ω)
20.788	30.568	6.480	9.247	20.416	30.216
22.493	31.032	6.975	9.374		
17.966	29.046	5.650	8.827		

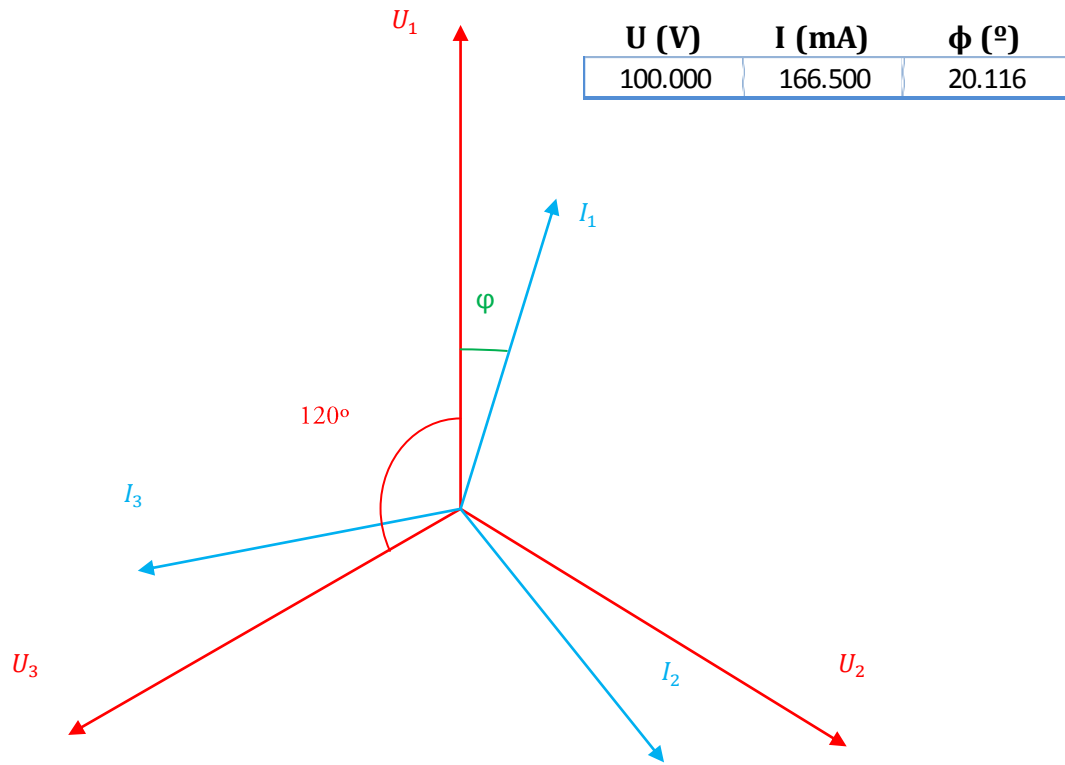
De estos cálculos podemos apreciar que un porcentaje no despreciable de la resistencia óhmica es atribuible a las inductancias, lo que nos hace pensar que para bobinas de gran tamaño y número de espiras, este fenómeno cobre una importancia vital para su mantenimiento y la configuración de los dispositivos en que se encuentren.

6.5 Representación gráfica de las magnitudes

Para la representación gráfica de las magnitudes eléctricas medidas en el circuito vamos a hacer una suposición simplificadora: el sistema se encuentra equilibrado (lo que nos lleva a tener tensiones y corrientes idénticas en todas las líneas, desfasadas entre sí 120°). Gracias a esta premisa podemos representar la tensión y la corriente de la tercera línea de la que no tenemos mediciones directas.

Tomaremos como valores las medias aritméticas de los resultados obtenidos para cada tensión de alimentación. Además, dado que la relación entre las distintas magnitudes (tensión, corriente, potencias) se mantiene igual, es decir, crece de manera directamente proporcional a la variación de tensión (las potencias con el cuadrado), manteniéndose constante en los tres casos, representaremos como representativo de los tres el primer caso.

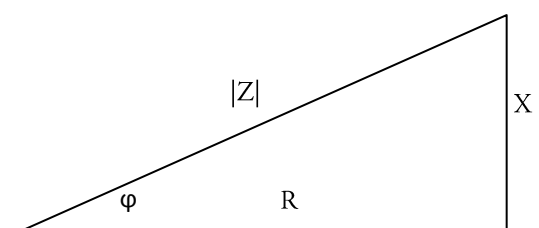
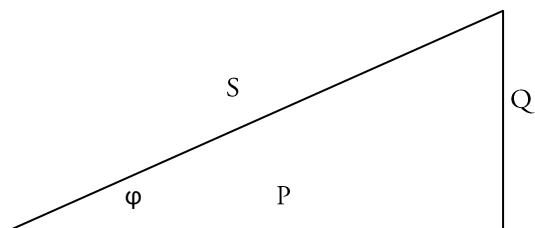
Comenzando por la representación fasorial de las tensiones y las corrientes, obtenemos:



Para las potencias y las impedancias, obtenemos sendos triángulos semejantes, que quedan como:

P (W)	Q (Var)	ϕ (°)
27.000	10.000	20.116

Z	R	X
346.449	325.316	119.150



6.6 Conclusiones

Varias conclusiones se pueden extraer de este último montaje. En primer lugar, podemos decir que un sistema perfectamente equilibrado es tan difícil de alcanzar como un elemento ideal y que, por tanto, supone un modelo, una simplificación útil de la realidad de las instalaciones.

De la comparación entre resultados teóricos con elementos ideales y los resultados experimentales, podemos extraer dos conclusiones: para obtener una impedancia concreta, hay configuraciones que nos proporcionan un rendimiento energético peor con elementos ideales que con elementos reales. Por otro lado, para un factor de potencia concreto, la adopción de elementos ideales como modelo de funcionamiento, nos proporciona resultados optimistas (por debajo de lo realmente necesario) en cuanto a los valores de inductancia o resistencia necesarios para alcanzar las mediciones reales.

Por último, señalar la importancia que tienen las *propiedades colaterales* en el funcionamiento de las instalaciones (refiriéndonos a la resistencia óhmica atribuible a las inductancias), que cobran mayor peso cuanto mayores sean las dimensiones de la instalación, produciendo pérdidas de energía y dificultades de diseño, que si no son tenidas en cuenta pueden ocasionar el mal funcionamiento o deterioro de los dispositivos involucrados.

7. Trabajo realizado por cada alumno

Antes de acudir al laboratorio, cada uno de nosotros realizó una lectura del guión de prácticas para conocer de antemano a qué nos íbamos a enfrentar y resolver las posibles dudas acerca del planteamiento de los montajes.

Una vez allí, decidimos comenzar por organizar el equipo de que disponíamos y diferenciar las conexiones de entrada de potencia y salida de potencia, con los colores de cables negros y rojos. Los tres componentes del grupo colaboramos de forma activa en la conexión de cada montaje, que era revisado por cada uno de nosotros antes de solicitar el visto bueno de algún profesor de laboratorio.

Cuando un montaje era aprobado por un profesor, nos disponíamos de manera tal que una persona recogía los datos que le iban cantando los otros dos componentes del equipo, haciendo las tandas de medidas en cuestión de segundos. Para mayor seguridad, asignamos a cada componente del grupo de trabajo una función específica en el arrancado de cada medición, así uno encendía la bancada de alimentación y otro procedía a subir lentamente la tensión hasta alcanzar el valor al que realizar las mediciones, mientras el tercero iba avisando de las lecturas que tomaban los dispositivos de medida.

Terminada la parte presencial de la práctica, nos dividimos la realización del informe en los distintos apartados o capítulos de que se componen. Esto era esencial dada la distancia física que nos ha separado durante su redacción, realizando toda la comunicación de manera telemática.

Finalmente, el informe fue maquetado en un solo archivo que ha dado origen a este trabajo.

8. Conclusiones

En este apartado queremos hacer una conclusión global de la práctica, ya que hemos ido sacando los aprendizajes de cada uno de los montajes en sus respectivos apartados. Desde nuestro punto de vista, las enseñanzas que podemos extraer de este laboratorio responden a distintas visiones de la misma.

En primer lugar, desde un punto de vista docente, es una práctica que, como apuntábamos al inicio de este informe, facilita el contacto con los elementos, dispositivos y aparatos que estudiamos en las clases teóricas, pudiendo “ponerles cara”. Además supone, para un buen número de estudiantes, una de las escasas ocasiones en que manejan dispositivos eléctricos, manipulando los parámetros que determinan su funcionamiento.

Por todas estas razones, consideramos que la práctica realizada supone una buena aproximación a los aparatos eléctricos, su manipulación y funcionamiento, en un entorno que se asemeja al real. Evaluándola desde esta perspectiva, creemos que cumple una importante misión que en muchos casos es obviada, por falta de tiempo o medios, o insuficientemente satisfecha, por las mismas razones.

Por otro lado, desde un punto de vista más alejado del academicismo e inclinado hacia la utilidad práctica de los conocimientos y habilidades que aborda este laboratorio, nos resultan especialmente relevante dos puntos: el manejo de aparatos de medida profesionales y la implementación de los circuitos a partir de sus esquemas simbólicos.

El hecho de que, tanto el polímetro como el analizador de redes sean aparatos profesionales de medida de magnitudes eléctricas, utilizados en instalaciones reales, supone, para nosotros, una excelente elección que nos permite acercarnos a la labor real de los técnicos e ingenieros que están en contacto con instalaciones industriales.

La implementación de montajes eléctricos a partir de sus esquemas simbólicos nos parece una habilidad básica de cualquier ingeniero que trate con la electricidad. Es por ello que valoramos que se exija esta habilidad en estos laboratorios, aunque creemos que es un aspecto olvidado y que debería ser más desarrollado, con circuitos más complejos y con un mayor número de montajes.

Para finalizar estas conclusiones, creemos que es importante y que puede ser un aspecto a mejorar, el reflejar la utilidad de los montajes que realizamos con aplicaciones reales de los mismos. En este laboratorio es reseñable la utilidad real de dos apartados: corrección del factor de potencia y medición de la potencia consumida por una instalación trifásica.

La importancia de estos dos apartados a nivel industrial es significativa. Por esta razón, consideramos de gran relevancia que el alumno se vaya con la impresión de que acaba de realizar dos montajes de verdadera importancia en el diseño y en la gestión de instalaciones industriales, con las que es posible que tenga que tratar en un futuro. Es este un objetivo que se está cumpliendo de manera parcial y que, por su fácil solución, creemos que es un punto a mejorar en un futuro.

Aplicaciones como los bancos de condensadores o los medidores de consumo, ambos mencionados en clase, despiertan el interés del alumnado y facilitan la asimilación de conceptos, que en algunos casos pueden parecer abstractos.

9. Bibliografía, fuentes y software empleado

- Información sobre dispositivos de medida:
 - Wikipedia.org
 - Física experimental: una guía de prácticas de electromagnetismo
 - Salazar Bloise, Félix
 - Bayón Rojo, Ana
- Esquemas simbólicos extraídos de:
 - Instrucciones para la realización de la práctica nº 1
 - Teoría de circuitos (2º GIE) Curso: 2011/2012
- Esquemas simbólicos realizados con:
 - PSpice Schematics 9.1
- Análisis numérico de las mediciones:
 - Microsoft Office Excel 2007
- Redacción y representaciones gráficas:
 - Microsoft Office Word 2007