

TRABAJO PRÁCTICO N°4

CIRCUITO RL DE CORRIENTE ALTERNA - FACTOR DE POTENCIA

GRUPO N° 2

Integrantes del grupo:

64467 González Núñez, Pedro

65435 Escobar, Victoria

65699 Cinque, Renata

65778 Lopez Vila, Jerónimo

62110 Casanova, Maria Justina

65264 Berardi, Franco

65666 Albertolli, Juan Cruz

Fecha de realización del trabajo práctico: 19/06/2025

Fecha de entrega del informe: 26/06/2025

Observaciones:.....
.....
.....

Fecha de aprobación:

Firma del docente:

1. Objetivos y Resumen

El objetivo del presente trabajo práctico es el de analizar el comportamiento de circuitos de corriente alterna conformados por elementos resistivos, inductivos y capacitivos conectados en serie.

A través de la conexión de un circuito RL serie, se buscó determinar el valor de la resistencia de carga, la resistencia interna y la inductancia de una bobina. También se examinó el fenómeno de resonancia y se calcularon los factores de potencia en distintas configuraciones de circuito.

En una primera instancia, se estudió un circuito RL serie para obtener, mediante mediciones y cálculos de tensión y corriente, y el trazado del correspondiente diagrama fasorial, los valores de resistencia interna e inductancia de una bobina.

Posteriormente, se evaluaron diferentes tipos de cargas reales (lámparas de distinto voltaje, un motor y un calentador), determinando su valor de potencia activa y factor de potencia. Se aplicó una corrección mediante capacitores a una de las lámparas y se analizaron los resultados utilizando triángulos de potencia. Los resultados obtenidos fueron consistentes con los modelos teóricos esperados.

2. Introducción teórica

En los circuitos de corriente alterna con elementos resistivos, inductivos y capacitivos, se puede representar la impedancia con la siguiente ecuación:

$$Z = \sqrt{(R + r)^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}, \quad (1)$$

Siendo $\omega = 2\pi f$ la frecuencia angular, L la inductancia de la bobina, $\chi_L = \omega L$ la reactancia inductiva del inductor, $\chi_C = \frac{1}{\omega C}$ la reactancia capacitiva del capacitor, R la resistencia y r la resistencia interna de la bobina.

Esto ocurre en un inductor real, cuando su resistencia interna r es distinta de cero. Como consecuencia, se presenta un retraso de la corriente con respecto a la tensión, el desfase (φ). Este se cuantifica de la siguiente manera:

$$\tan(\varphi) = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R+r} \quad (2)$$

Este ángulo puede ser positivo, negativo o cero e indica si el circuito se comporta como un circuito capacitivo, inductivo o resistivo, respectivamente.

En un circuito con instrumentos resistivos e inductivos, se pueden determinar, a través de mediciones, los valores correspondientes a V_R , la caída de tensión en la resistencia de carga R ; V_{Lr} la caída en el inductor completo (incluyendo su resistencia interna); V la tensión total del circuito, es decir, la que entrega la fuente; i la corriente en el circuito.

Haciendo uso de tales mediciones y del correspondiente diagrama fasorial, se obtiene el ángulo φ de desfase entre la corriente i y la tensión V a partir de:

$$V_{Lr}^2 = V_R^2 + V^2 - 2 \cdot V_R \cdot V \cdot \cos(\varphi) \quad (3)$$

También la caída de tensión en la resistencia interna de la bobina V_r :

$$V_r = V \cos(\varphi) - V_R \quad (4)$$

y la caída de tensión en el inductor, sin incluir la resistencia interna:

$$V_L = V \sin(\varphi) \quad (5)$$

Con estos valores, es posible hallar la resistencia interna r de la bobina:

$$r = \frac{V_r}{i}, \quad (6)$$

y la inductancia L de la bobina:

$$L = \frac{V_L}{\omega i} \quad (7)$$

En términos de potencia, es posible calcular la potencia activa (la que efectivamente utiliza el circuito):

$$\langle P \rangle = V \cdot I \cdot \cos(\varphi), \quad (8)$$

con

$$P_f = \cos(\varphi) = \frac{V_R + V_r}{V} \quad (9)$$

el factor de potencia.

Por otro lado, la potencia aparente (la potencia que entrega la fuente) va cómo:

$$S = V \cdot I \quad (10)$$

Por último, la potencia reactiva (la potencia que impacta en el capacitor y la bobina y luego retorna al generadores), está dada por:

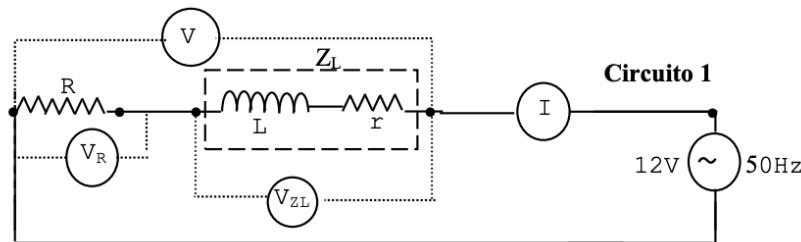
$$Q = V \cdot I \cdot \sin(\varphi) \quad (11)$$

3. Instrumentos, circuitos y elementos empleados

En una primera parte de la experiencia, se armó un circuito con:

- Fuente de corriente alterna de 12V efectivos y frecuencia $f = 50\text{Hz}$.
- Resistor con valor nominal de resistencia 50Ω .
- Cables de conexión.
- Bobina de inductancia L y resistencia interna r desconocidas.

Se hizo uso de un multímetro en su función de voltímetro, amperímetro y óhmetro, en distintas disposiciones como indica el diagrama:



Nota: en el resto del desarrollo del trabajo práctico, se llama V_{Lr} a lo que en el diagrama se llama V_{zL}

Notar que todos los elementos se colocaron en serie, y luego en paralelo el voltímetro en cada caso, y en serie el amperímetro.

Para la segunda parte de la experiencia, se dispuso de un vatímetro electrónico para la medición de potencia activa, valor eficaz de la tensión, valor eficaz de la corriente y factor de potencia en distintos artefactos:

- Lámpara de 220V y 25 W de potencia nominal.
- Lámpara de 12V y 25 W de potencia nominal, conectada vía transformador.

En este caso, se intentó mejorar el factor de potencia con:

- Un capacitor de $2 \mu F$.
- Un capacitor de $4 \mu F$.
- Calentador eléctrico.
- Motor eléctrico de valor nominal de potencia 1 kW.

4. Método Experimental

En una primera instancia, se armó el circuito antes descrito en la figura 1, con una fuente de corriente alterna, un resistor y una bobina de inductancia L con resistencia interna r , todos en serie.

Luego, se procedió a la medición, con un multímetro en su función de voltímetro, del valor eficaz de la tensión entregada por la fuente V , la caída de tensión en el resistor V_R , la caída de tensión en el inductor completo V_{Lr} . Con el mismo multímetro, pero en su función de amperímetro, se midió el valor eficaz de la corriente en el circuito. Por último, utilizando el óhmetro, se conoció la resistencia del resistor R.

Con estos valores, se trazó el diagrama de fasores. A partir de las fórmulas enunciadas en el marco teórico, se halló el ángulo φ , V_r la caída de tensión específicamente en la resistencia interna r de la bobina, y V_L la caída de tensión en la bobina sin incluir a la resistencia interna. Con estos valores se calcularon tanto r la resistencia interna de la bobina, como L la inductancia del inductor.

En una segunda experiencia, utilizando un vatímetro digital, se midió potencia activa, tensión, corriente en sus valores eficaces, y el factor de potencia, en los siguientes casos:

1. Lámpara de 220V y valor nominal de potencia 25 W.
2. Lámpara de 12V y valor nominal de potencia 25 W, conectada vía transformador. A esta se le mejoró el factor de potencia con el agregado de un capacitor de 4 μF , y luego con otro de 2 μF y se volvieron a realizar las mismas mediciones.
3. Caloventor de valor nominal de potencia 1 kW.
4. Motor eléctrico. En este caso se simuló una carga, ejerciendo una fuerza sobre el eje, y se volvió a medir.

Se calcularon las potencias aparentes y reactivas correspondientes a partir de las ecuaciones (8), (10) y (11), y se esbozó el correspondiente triángulo de potencias en cada caso.

5. Datos obtenidos: Discusión y cálculo de errores

En la primera parte del experimento, se obtuvieron los siguientes valores:

$V (V)$	$V_R (V)$	$V_{Lr} (V)$	$I (mA)$	$R (\Omega)$
12,70	5,27	8,86	99,50	51,50

Tabla 1. Valores eficaces.

A partir de la ecuación (3), se calculó el ángulo φ de desfasaje:

$$\varphi = 34,3126^\circ$$

El valor máximo de las tensiones y la corriente se obtiene multiplicando por $\sqrt{2}$ los valores eficaces:

$V_{max}(V)$	$V_{R\ max}(V)$	$V_{Lr\ max}(V)$	$I_{max}(mA)$
17,96	7,45	12,53	140,71

Tabla 2. Valores máximos.

Estos serán de utilidad en el trazo del diagrama fasorial correspondiente.

Utilizando la ecuación (4) y (5), y los valores eficaces correspondientes, se halla el valor eficaz tanto de la caída de tensión en la resistencia interna de la bobina V_r como el valor eficaz de la caída de tensión en el inductor sin resistencia interna:

$$V_r = 5,22 V$$

$$V_L = 7,16 V$$

Luego, con las ecuaciones (6) y (7) y los valores eficaces, se obtiene la resistencia interna y la inductancia L de la bobina:

$$r = 52,46 \Omega$$

$$L = 0,23 H$$

Trazando el correspondiente diagrama fasorial con los valores máximos de las tensiones y la corriente medidos y se logra calcular:

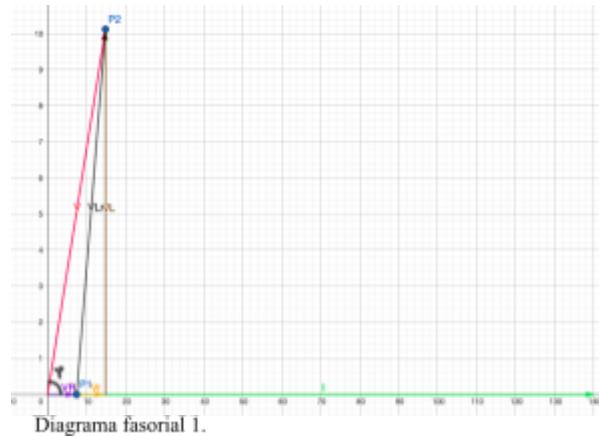


Diagrama fasorial 1.



Detalle de diagrama fasorial 1.

En la segunda parte de la experiencia, para calcular las caídas de tensión por inductancia y resistividad, al igual que en la primera parte se utilizaron las propiedades trigonométricas mencionadas previamente. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Dispositivo	Corriente [A]	Potencia activa P [W]	Factor de potencia $\cos(\varphi)$	Potencia aparente S [VA]	Angulo φ [en grados]	Potencia reactiva Q [VAR]
Lámpara 220V	0,112	26,800	≈1	26,830	0°	≈0
Lámpara 12V	0,213	33,200	0,681	48,750	47,08°	35,70
Lámpara 12V con capacitor $2\mu F$	0,213	33,140	0,921	35,980	22,93°	14,02
Lámpara 12V con capacitor $4\mu F$	0,213	33,140	0,660	50,210	48,70°	37,72
Caloventor 220V	3,830	842,000	≈1	842,00	0°	≈ 0
Motor eléctrico 220V	1,340	150,300	0,499	300,90	60,03°	260,59
Motor eléctrico 220V con eje forzado	1,380	220,000	0,680	323,53	47,16°	237,26

Tabla 3. Datos obtenidos y calculados.

En la primera lámpara, se puede observar un factor de potencia muy cercano a 1, esto se debe a que su funcionamiento es puramente resistivo. En su interior contienen un filamento metálico que emite luz por incandescencia cuando llega a temperaturas elevadas. Es importante notar que su rendimiento es muy bajo, ya que la mayor parte de la energía se disipa en la resistencia como calor. Consecuentemente, la caída de tensión se debe solamente a la resistividad, por lo que $\varphi = 0^\circ$.

Para la segunda lámpara de 12V, se intentó mejorar su factor de potencia ($\cos\varphi$), ya que al estar conectada a un transformador tiene una parte inductiva y hace que la corriente vaya adelantada

respecto a la tensión. El capacitor de $2\mu\text{F}$ en paralelo hace que disminuya el desfasaje entre la corriente y la tensión, ya que compensa parcialmente el efecto del transformador.

Si cambiamos el capacitor por otro de $4\mu\text{F}$ vemos que el factor de potencia disminuye respecto al original. Esto se debe a que ahora la reactancia del capacitor hace que la tensión se adelante demasiado, generando un desfasaje en sentido contrario al que generaba el transformador.

Podemos ver que el caloventor tiene una gran potencia, ya que debe calentar el aire. Su factor de potencia es prácticamente 1. Esto se debe a que, al igual que la lámpara incandescente, su funcionamiento es puramente resistivo, y utiliza resistencias para disipar la energía en forma de calor. Esto nuevamente significa que $\varphi = 0^\circ$.

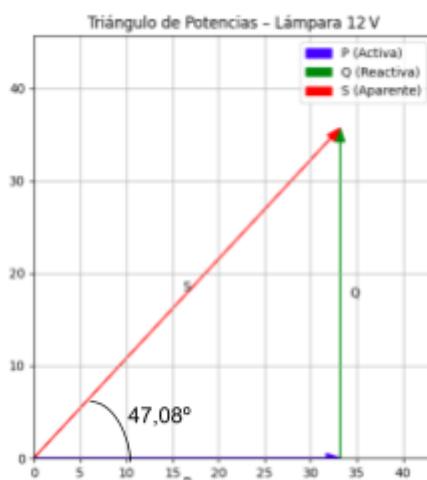
Para el motor eléctrico descargado, se puede observar una potencia menor a la del cargado, ya que funciona “con su propia inercia”, mientras que si generamos una fuerza sobre el eje de este veremos que la potencia aumenta. Para mantener la corriente eficaz constante, este efecto se compensa con un mayor factor de potencia. Matemáticamente, esto se justifica según la relación:

$$I = \frac{P}{V \cdot \cos(\varphi)}$$

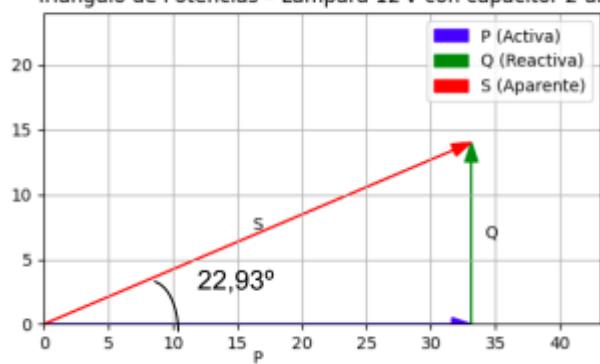
En el caso de la lámpara de 220 V, se trata de un circuito puramente resistivo: el triángulo de potencias no es un triángulo, sino una línea recta que alinea la potencia activa P y la potencia reactiva S.



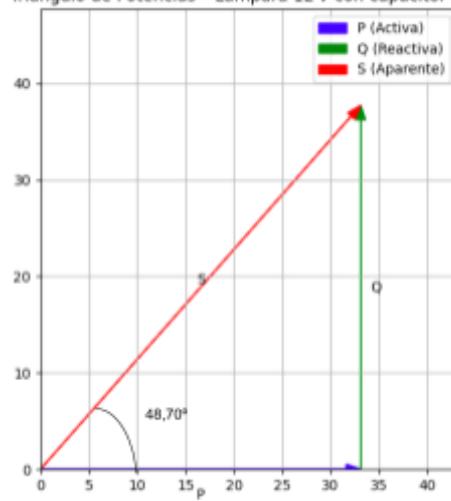
Triángulo de potencia para lámpara de 12V conectado vía transformador:



Triángulo de Potencias – Lámpara 12 V con capacitor 2 uF



Triángulo de Potencias – Lámpara 12 V con capacitor 4 uF



En el caso del caloventor, vemos nuevamente un comportamiento similar al de la lámpara de 220 V: la potencia reactiva es nula y, por lo tanto, no se observa un triángulo. Es un circuito resistivo.

6. Análisis de los resultados obtenidos

En la primera parte de la experiencia, se estudió un circuito RL serie con el objetivo de obtener la resistencia interna y la inductancia de una bobina. A partir de las mediciones realizadas, se obtuvo un valor eficaz de la tensión total de $V = 12,7V$, una caída de tensión en el resistor de $V_R = 5,27V$ una caída de tensión total en la bobina (incluyendo su resistencia interna) de $V_{Lr} = 8,86V$. La corriente medida fue de $I = 99,50\text{ mA}$, y la resistencia del resistor fue de $R = 51,50\Omega$.

Con estos valores y utilizando la ecuación del diagrama fasorial, se calculó un ángulo de desfase de $\varphi = 34,3126^\circ$, lo cual indica un comportamiento inductivo del circuito. Luego, se determinaron la caída de tensión en la resistencia interna de la bobina ($V_r = 5,22\text{ V}$) y la caída de tensión debida a la inductancia pura ($V_L = 7,16\text{ V}$). A partir de estos datos se calculó la resistencia interna de la bobina como $r = 52,46\Omega$, y la inductancia como $L = 0,23\text{ H}$. Estos valores son razonables considerando el tipo de bobina utilizada y el orden de magnitud de la corriente.

En la segunda parte del trabajo, se utilizaron distintas cargas reales conectadas a un vatímetro electrónico para medir potencia activa, corriente y factor de potencia. En la lámpara de 220 V se observó un factor de potencia cercano a 1, como se esperaba para una carga puramente resistiva. En cambio, la lámpara de 12 V, alimentada mediante un transformador, presentó un factor de potencia de 0,681, debido a la componente inductiva del transformador que provoca un desfasaje entre la corriente y la tensión.

Se aplicaron dos correcciones con capacitores en paralelo. Al agregar un capacitor de $2\mu\text{F}$, el factor de potencia mejoró a 0,921, mostrando una reducción del desfasaje. Sin embargo, con un capacitor de $4\mu\text{F}$, el factor de potencia disminuyó nuevamente, lo que indica que se compensó de más y que la corriente se adelantó respecto de la tensión, cambiando el tipo de desfasaje. El caloventor mostró un factor de potencia cercano a 1, como corresponde a un dispositivo resistivo de alta potencia. En el caso del motor eléctrico, se observó un factor de potencia de 0,499 en vacío y un valor más alto de 0,680, al aplicar una carga mecánica sobre el eje. Esto se debe a que, al aplicar carga al eje, el motor empieza a consumir más potencia activa y el desfasaje con la corriente disminuye. Por eso, el factor de potencia mejora sin que haya grandes cambios en la corriente.

En todos los casos, los resultados obtenidos fueron consistentes con los modelos teóricos y permitieron visualizar con claridad el efecto del tipo de carga y la corrección capacitiva sobre el factor de potencia.