



Universidad de Alicante

---

# Corriente alterna: Circuitos RLC

---

Mireia Serrano Beltrá

Técnicas Experimentales I  
Informe bloque electromagnetismo

# Índice

	Página
<b>1. Objetivos</b>	<b>1</b>
<b>2. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>3. Desarrollo teórico</b>	<b>2</b>
3.1. Receptores eléctricos . . . . .	2
3.2. Circuitos corriente alterna. . . . .	3
3.2.1. Impedancia . . . . .	4
3.3. Elementos de un circuito de corriente alterna . . . . .	4
3.3.1. Circuito Resistivo . . . . .	4
3.3.2. Circuito Inductivo . . . . .	6
3.3.3. Circuito capacitivo . . . . .	7
3.3.4. Circuito RLC en serie . . . . .	9
3.4. Resonancia . . . . .	10
<b>4. Desarrollo experimental</b>	<b>11</b>
4.1. Materiales . . . . .	11
4.2. Metodología . . . . .	11
4.2.1. Primera parte . . . . .	12
4.2.2. Segunda parte . . . . .	12
<b>5. Resultados</b>	<b>13</b>
5.1. Primera parte . . . . .	13
5.1.1. Circuito Resistivo . . . . .	13
5.1.2. Circuito Inductivo . . . . .	15
5.1.3. Circuito Capacitivo . . . . .	16
5.2. Segunda parte . . . . .	19
5.2.1. $R = 470\Omega$ . . . . .	19
5.2.2. $R = 120\Omega$ . . . . .	21
<b>6. Discusión</b>	<b>23</b>
6.1. Primera parte . . . . .	23
6.2. Segunda parte: Circuito RLC . . . . .	24
<b>7. Cuestiones</b>	<b>25</b>
7.1. Cuestión 1. Explica cómo se pueden producir generadores de corriente alterna. . . . .	25
7.2. Cuestión 2. Discute por qué la mayor parte de las líneas de transmisión de energía eléctrica de larga distancia utilizan altas tensiones y corriente alterna. . . . .	25

7.3. Cuestión 3. Aplicaciones tecnológicas de los circuitos de corriente alterna.	26
7.4. Cuestión 4. Explica el funcionamiento de un transformador y su utilidad.	26
7.5. Cuestión 5. Aplicaciones de los fenómenos de resonancia en circuitos de corriente alterna. . . . .	28
<b>8. Conclusión</b>	<b>28</b>
<b>9. Agradecimientos</b>	<b>29</b>
<b>10. Apéndice</b>	<b>29</b>
10.1. Mínimos cuadrados . . . . .	29
10.2. Cálculo de errores . . . . .	29
10.3. Valores eficaces . . . . .	32
10.4. Movimiento de un oscilador armónico amortiguado forzado . . . . .	32
10.5. Leyes de Kirchhoff . . . . .	33
10.5.1. Primera ley . . . . .	33
10.5.2. Segunda Ley . . . . .	34
10.6. Tabla de colores de resistencias . . . . .	34
<b>11. Bibliografía</b>	<b>35</b>

## 1. Objetivos

El objetivo principal de esta práctica es el análisis de resistencias, bobinas y condensadores en un circuito de corriente alterna. Así como también estudiar el fenómeno de la resonancia y por lo tanto, hallar la resonancia de un circuito RLC.

## 2. Introducción

A lo largo de este informe de laboratorio se realizará un estudio sobre los circuitos RLC en serie de corriente alterna.

La corriente alterna ha sido un principal objeto de debate en la rama de la electricidad, especialmente en lo que comúnmente se conoce como la "Guerra de las Corrientes", entre Thomas Edison y Nikola Tesla a finales del siglo XIX. Edison era partidario del uso de corriente continua, mientras que Tesla defendía la corriente alterna, ya que permitía transportar la electricidad a lo largo de enormes distancias sin apenas pérdidas de energía.

Además, un concepto muy útil del que hablaremos más adelante es la ley de Ohm. Esta establece que la corriente que fluye por un conductor es directamente proporcional al voltaje aplicado. Aunque hasta ahora solo hemos utilizado esta expresión para circuitos de corriente continua, también es aplicable para corriente alterna, tal y como veremos en uno de los apartados experimentales de la práctica.

También se analizará el fenómeno de la resonancia en un circuito RLC en serie y se calculará la frecuencia de resonancia de un circuito RLC en serie concreto. Este dato será importante para comprender el comportamiento del circuito.

En conclusión, en este informe se espera profundizar en el conocimiento sobre los circuitos RLC en corriente alterna, analizando los diferentes elementos que los componen y comprendiendo las leyes que los rigen.

### 3. Desarrollo teórico

Para empezar, explicaremos los conceptos teóricos necesarios para entender el comportamiento de los circuitos RLC en serie en corriente alterna y el fenómeno de la resonancia.

En primer lugar definiremos los siguientes conceptos y las leyes que rigen su comportamiento en un circuito:

#### 3.1. Receptores eléctricos

Los receptores eléctricos cuando se conectan en un circuito de corriente alterna se pueden comportar de tres formas diferentes:

- Se denomina **resistencia** a la oposición de corriente eléctrica a través de un conductor y se representa con la letra «R». Su unidad en el Sistema Internacional es el ohmio, que se representa con la letra griega  $\Omega$ . Además, se puede relacionar con las magnitudes tensión (V) y corriente (I) a través de la ley de Ohm:

$$V = I \cdot R \quad (1)$$

- Por otro lado, la **capacitancia** es la propiedad que posee un circuito eléctrico para almacenar energía en forma de carga eléctrica y se representa con la letra «C». El dispositivo más común que almacena energía de esta forma es el condensador.

La capacitancia la podemos expresar como la relación entre la carga eléctrica que posee un conductor y la diferencia de potencial que está presente entre dos conductores. Además, se expresa en faradios (F) que equivale a coulombios (C) dividido por voltios (V).

$$C = \frac{Q}{V} \quad (2)$$

- Por último, la **inductancia** es la medida de la oposición a un cambio de corriente de un inductor o bobina que almacena energía en presencia de un campo magnético, y es representado con la letra «L». Se define como:

$$L = \frac{\Phi}{I} \quad (3)$$

Es decir, es la relación entre el flujo magnético y la intensidad de corriente.

### 3.2. Circuitos corriente alterna.

Un circuito de corriente alterna consta de una combinación de elementos (resistencias, capacitores e inductores) y un generador.

El **generador de corriente alterna**<sup>1</sup> es un dispositivo que convierte la energía mecánica en energía eléctrica.

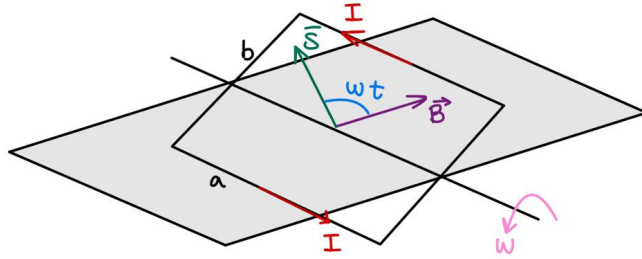


Figura 1: Espira rectangular que gira en un campo magnético uniforme.

La espira de la figura 1 gira con una velocidad angular  $\omega$ , entonces el flujo del campo magnético a través de la espira cambia con el tiempo y se produce una fuerza electromotriz (fem). El flujo del campo magnético  $B$  es:

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos(\omega \cdot t)$$

De acuerdo con la ley de Faraday, la fem es:

$$\epsilon = \frac{-d\Phi}{dt} = B \cdot S \cdot \omega \cdot \sin(\omega \cdot t) = V_{max} \cdot \sin(\omega \cdot t) \quad (4)$$

A partir de esta expresión se puede obtener la representación de la forma de onda de este tipo de corriente.

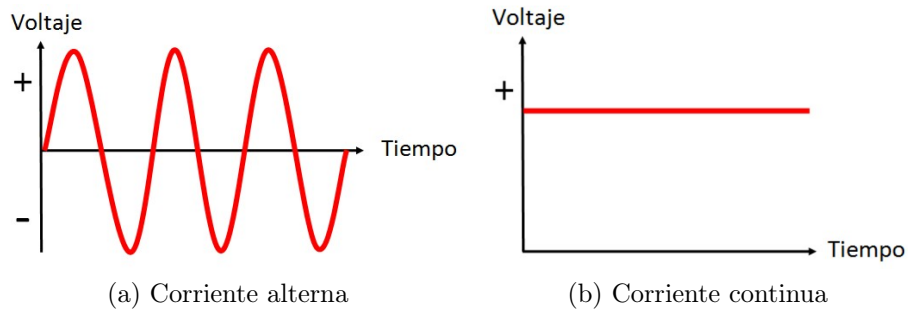


Figura 2: Gráficas de la corriente frente al tiempo.

<sup>1</sup>Respuesta Cuestión 1.

Se define la corriente alterna como una corriente eléctrica variable en la que las cargas eléctricas cambian el sentido del movimiento periódicamente. A diferencia de la corriente continua, que como se puede observar en la gráfica anterior es unidireccional, no cambia con el tiempo y se mantiene en el polo positivo.

### 3.2.1. Impedancia

La oposición a la corriente en corriente alterna se llama **Impedancia**, no resistencia. La unidad de la impedancia es el ohm  $\Omega$  y la letra que la representa es la  $Z$ . En un circuito que solo tiene una resistencia esta es la impedancia ( $Z$ ), pero en un circuito inductivo (bobina) la oposición que ejerce la bobina a que pase la corriente por ella se llama reactancia inductiva  $X_L$  y en uno capacitivo (condensador) se llama reactancia capacitiva  $X_C$ <sup>2</sup> y sus fórmulas correspondientes son:

$$X_L = \omega \cdot L \quad (5)$$

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} \quad (6)$$

Cuando tenemos un circuito mixto, vendrá determinada por la siguiente suma vectorial:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2 + X_L^2} \quad (7)$$

Además, de acuerdo con la ley de Ohm:

$$V = I \cdot Z$$

## 3.3. Elementos de un circuito de corriente alterna

### 3.3.1. Circuito Resistivo

En este subapartado se estudiará el comportamiento de un circuito formado por una fuente de corriente alterna en serie con una resistencia  $R$ , de acuerdo con el esquema de la figura 3.

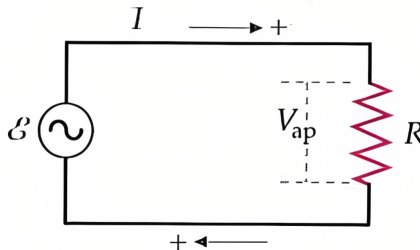


Figura 3: Circuito generador de corriente alterna en serie con una resistencia  $R$ .

<sup>2</sup>Tanto  $R$  como  $X_L$  y  $X_C$  se expresan en Ohmios  $\Omega$ .

El comportamiento de los circuitos resistivos en corriente alterna es bastante similar al comportamiento en corriente continua. De acuerdo con la Ley de Ohm (ecuación 1) y la regla de las mallas de Kirchhoff<sup>3</sup>:

$$\epsilon = V_R = I \cdot R$$

Utilizando la expresión 4 de la fuerza electromotriz:

$$V_R = V_{R,max} \cdot \cos(\omega \cdot t) = I \cdot R$$

Por lo que la corriente será:

$$I = \frac{V_{R,max}}{R} \cdot \cos(\omega \cdot t) = I_{max} \cdot \cos(\omega \cdot t)$$

$$I_{max} = \frac{V_{R,max}}{R} \quad (8)$$

Cabe resaltar que la corriente que circula por la resistencia está en fase con la tensión aplicada a la misma, como puede verse en la figura 4.

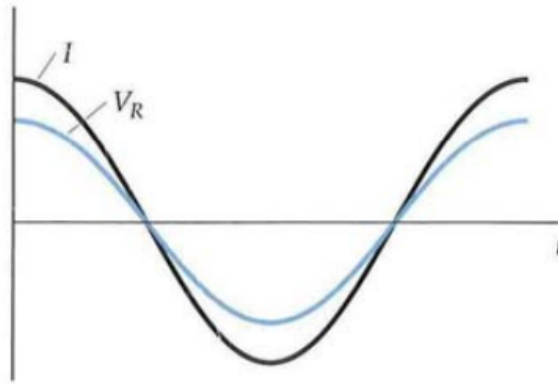


Figura 4: Representación gráfica de la caída de potencial y la corriente frente al tiempo.

---

<sup>3</sup>Leyes de Kirchhoff explicadas en el apartado 10.5 del Apéndice.



### 3.3.2. Circuito Inductivo

A continuación, se analizará el caso de una bobina en serie con un generador de corriente alterna, tal y como se muestra en la figura 5.

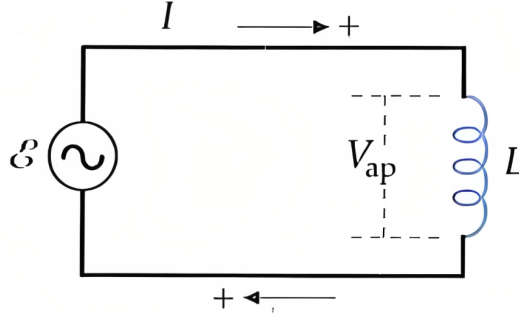


Figura 5: Circuito generador de corriente alterna en serie con una bobina de inductancia  $L$ .

Cuando la corriente crece en el inductor se crea en este una fuerza contraelectromotriz debido a la variación del flujo. De acuerdo con la expresión 3 y aplicando la Ley de Faraday obtenemos:

$$V_L = \frac{d\Phi}{dt} = L \cdot \frac{dI}{dt}$$

Donde  $V_L$  es la caída de voltaje a través del inductor. Si aplicamos la regla de las mallas de Kirchhoff <sup>4</sup>, tendremos que:

$$V_L = \epsilon$$

$$V_L = V_{max} \cdot \cos(\omega \cdot t) = V_{L,max} \cdot \cos(\omega \cdot t) = L \frac{dI}{dt}$$

Reordenando la expresión anterior:

$$dI = \frac{V_{L,max}}{L} \cdot \cos(\omega \cdot t) \cdot dt$$

El valor de la corriente  $I$  se obtiene integrando ambos miembros de esta ecuación:

$$I = \frac{V_{L,max}}{\omega \cdot L} \cdot \sin(\omega \cdot t) = I_{max} \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

Donde:

$$I_{max} = \frac{V_{L,max}}{\omega \cdot L} \quad (9)$$

<sup>4</sup>Leyes de Kirchhoff detalladas en el apartado 10.5 del Apéndice.

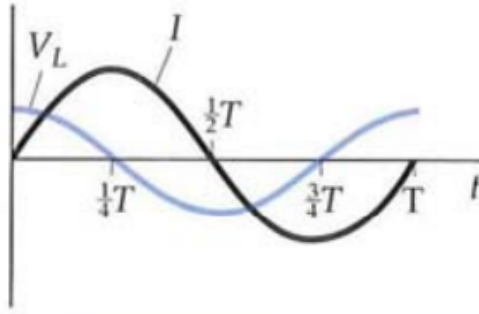


Figura 6: La corriente y la tensión a través de la bobina en función del tiempo.

La corriente  $I = I_{max} \cdot \sin(\omega \cdot t)$  está desfasada  $90^\circ$  respecto al voltaje a través del inductor,  $V_L = V_{L,max} \cdot \cos(\omega \cdot t)$ . En la figura 6, podemos ver que el valor máximo del voltaje ocurre un cuarto de periodo antes que el valor máximo de corriente. Cuando  $I$  es cero, pero decrece,  $\frac{dI}{dt}$  es mínimo, de manera que la fem inducida por la bobina pasa por un valor máximo. Un cuarto de ciclo después  $I$  es máximo. En ese momento  $\frac{dI}{dt}$  es cero, de modo que  $V_L$  es cero. De acuerdo con este razonamiento se puede expresar la corriente como:

$$I = I_{max} \cdot \cos(\omega \cdot t - \frac{\pi}{2})$$

Utilizando la ecuación 5, la relación entre la corriente máxima y la tensión máxima en el caso de la bobina queda de la siguiente forma:

$$I_{max} = \frac{V_{L,max}}{\omega \cdot L} = \frac{V_{L,max}}{X_L}$$

### 3.3.3. Circuito capacitivo

Por último, vamos a estudiar un circuito con una generador de corriente alterna en serie con un condensador de capacidad  $C$ , tal y como se muestra en la figura 7.

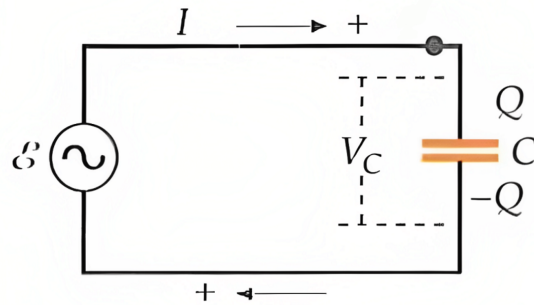


Figura 7: Circuito generador de corriente alterna en serie con un condensador de capacidad  $C$ .

La caída del voltaje a través del condensador ( $V_C$ ) se obtiene a partir de la ecuación 2. Al aplicar la regla de mallas de Kirchhoff<sup>5</sup>:

$$V_C = \epsilon$$

$$V_C = V_{C,max} \cdot \cos(\omega \cdot t) = \frac{Q}{C}$$

Podemos hallar la siguiente expresión para  $Q$ , que es la carga de la placa con carga positiva del condensador.

$$Q = V_C \cdot C = V_{C,max} \cdot C \cdot \cos(\omega \cdot t)$$

La corriente es

$$I = \frac{dQ}{dt} = -\omega \cdot V_{C,max} \cdot C \cdot \sin(\omega \cdot t) = -I_{max} \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

donde la amplitud de la intensidad es

$$I_{C,max} = \omega \cdot C \cdot V_{max}$$

Empleando la ecuación 6 de la reactancia capacitiva queda de la siguiente forma:

$$I_{C,max} = \frac{V_{max}}{X_C} \quad (10)$$

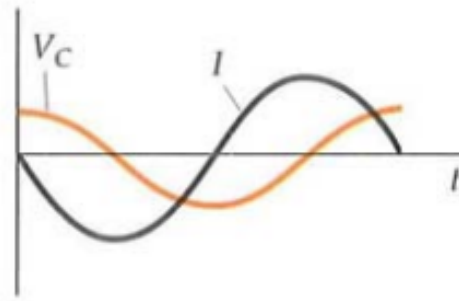


Figura 8: La corriente y la tensión a través de un condensador en función del tiempo.

De forma semejante al caso del inductor, el voltaje está desfasado  $90^\circ$  con respecto a la corriente del circuito. En la figura 8 puede verse este fenómeno. Se debe a que la carga  $Q$  es proporcional a la caída de potencial. La máxima variación del crecimiento de

<sup>5</sup>Leyes de Kirchhoff detalladas en el apartado 10.5 del Apéndice.

la carga  $I = \frac{dQ}{dt}$  debe ocurrir cuando  $Q$  sea nula, y por tanto  $V_C$  sea cero. Al aumentar la carga sobre la placa, la corriente disminuye hasta que, un cuarto de periodo después, la carga es máxima y la corriente es cero. Entonces la corriente se hace negativa cuando la carga  $Q$  disminuye. De acuerdo con este razonamiento podemos expresar la corriente como:

$$I = I_{max} \cdot \cos(\omega \cdot t + \frac{\pi}{2})$$

### 3.3.4. Circuito RLC en serie

Finalmente, una vez se ha estudiado cada uno de los elementos por separado, pasamos al análisis de un circuito con una resistencia, una bobina y un condensador en serie con un generador de corriente alterna; tal y como se ve representado en la figura 9.

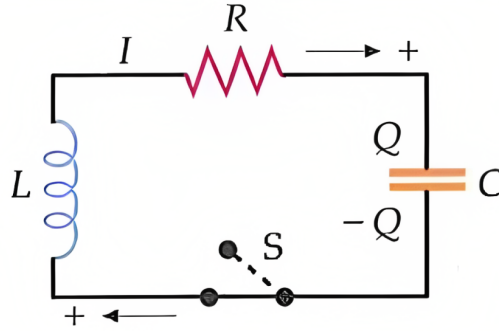


Figura 9: Circuito RLC en serie con un generador de corriente alterna

Siguiendo con el mismo método que para los casos anteriores, al aplicar la regla de mallas de Kirchhoff<sup>6</sup> obtenemos:

$$V_{max} \cdot \sin(\omega \cdot t) - L \frac{dI}{dt} - I \cdot R_L - \frac{Q}{C} - I \cdot R = 0$$

Donde  $R_L$  es la resistencia interna de la bobina. A continuación, reescribimos la fórmula anterior sabiendo que  $I = \frac{dQ}{dt}$ :

$$L \frac{d^2Q}{dt^2} + (R + R_L) \frac{dQ}{dt} + \frac{Q}{C} = V_{max} \sin(\omega \cdot t)$$

Para continuar con la resolución de estas ecuaciones, hacemos uso del mismo procedimiento que se emplea para analizar el movimiento de un oscilador armónico amortiguado forzado (explicado con detalle en el apartado 10.4 del Apéndice). Por lo que las soluciones serán:

$$Q = Q_{max} \cdot \sin(\omega t - \phi)$$

<sup>6</sup>Leyes de Kirchhoff detalladas en el apartado 10.5 del Apéndice.

Donde la amplitud y el desfase vienen dados por:

$$Q_{max} = \frac{V_{max}}{\sqrt{L^2(\omega^2 - \omega_0^2)^2 + (R + R_L)^2\omega^2}}$$

$$\tan(\phi) = \frac{(R + R_L)\omega}{L(\omega_0^2 - \omega^2)}$$

La corriente  $I$  que circula por el circuito será:

$$I = \frac{dQ}{dt} = \omega \cdot Q_{max} \cdot \cos(\omega t - \phi)$$

En este caso, la impedancia del circuito será:

$$Z = \sqrt{\left(\frac{1}{\omega C} - \omega L\right)^2 + (R + R_L)^2}$$

y la intensidad máxima:

$$I_{max} = \frac{V_{max}}{Z} \quad (11)$$

Esta última ecuación se denomina ley de Ohm generalizada para circuitos de corriente alterna.

### 3.4. Resonancia

La resonancia en los circuitos AC se produce a una frecuencia especial determinada por los valores de la resistencia, la capacidad, y la inductancia. La condición de resonancia en los circuitos en serie se caracteriza porque la impedancia es mínima y el ángulo de fase es cero. Para que la impedancia sea mínima, las reactancias inductiva y capacitiva deben ser iguales:

$$X_L = X_C$$

$$\omega_{res}L = \frac{1}{\omega_{res}C}$$

Partiendo de esta ecuación obtenemos la siguiente expresión para la resonancia:

$$\omega_{res} = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (12)$$

## 4. Desarrollo experimental

### 4.1. Materiales

- Generador de voltaje tipo sinusoidal de frecuencia variable
- Voltímetro (HAMEG HM8030)
- Resistencias de  $120\Omega$  y  $470\Omega$
- Condensador de  $0,1\mu F$
- Bobina de  $35mH$
- 2 multímetros
- Placa de conexiones
- Cables

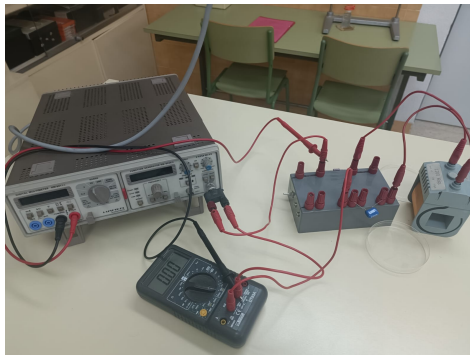


Figura 10: Materiales utilizados en la práctica.

### 4.2. Metodología

El desarrollo experimental se divide en dos partes. En primer lugar analizamos los elementos del circuito RLC por separado con una fuente de alimentación de corriente alterna. En segundo lugar, estudiamos el funcionamiento de un circuito RLC en serie, hallamos la variación de la corriente con la frecuencia del generador y la frecuencia de resonancia del circuito.

Antes de describir el procedimiento de la práctica, debemos aclarar ciertos aspectos generales. Para el montaje de los circuitos se tiene en cuenta que el amperímetro se conecta en serie y el voltímetro en paralelo. Además, estamos trabajando con corriente alterna, por lo que se debe indicar en los aparatos de medida. Por último, es conveniente poner las escalas adecuadas, en el voltímetro de 20 V y en el amperímetro de 200 mA.

#### 4.2.1. Primera parte

- **Circuito Resistivo** Se debe montar el circuito de la figura 3, donde mantendremos fija la frecuencia en torno a 1 kHz. A continuación, aumentamos el voltaje de la fuente de alimentación entre 1 y 4 V, en intervalos de 0,5 V. El objetivo, es medir la intensidad de corriente que pasa por la resistencia con el amperímetro.
- **Circuito Inductivo** En segundo lugar, montamos el circuito de la figura 5. Repetimos el procedimiento anterior, sustituyendo la resistencia por una bobina de  $L = 35 \text{ mH}$ .
- **Circuito Capacitivo** Por último, seguimos la misma metodología cambiando la bobina y la resistencia por un condensador de capacidad  $C = 0.1 \mu F$ . Este circuito corresponde al del circuito de la figura 7.

#### 4.2.2. Segunda parte

A continuación, pasamos al estudio del circuito RLC en su totalidad. Para ello realizamos el montaje tal y como aparece en la figura 9. Lo haremos dos veces, primero con la resistencia de  $120\Omega$  y después con la de  $470\Omega$ . En este caso se mantiene constante la fem del generador ( $V = 1V$ ) y vamos variando la frecuencia del generador ( $f$ ) desde 1 kHz hasta 10 kHz en intervalos de 1 kHz. El objetivo es medir la intensidad de corriente que circula por el circuito, y así obtener la intensidad en función de la frecuencia del generador, para hallar la frecuencia de resonancia.

## 5. Resultados

### 5.1. Primera parte

#### 5.1.1. Circuito Resistivo

El objetivo es hallar el valor de la resistencia a partir de la ecuación 1, de esta manera se comprueba que se verifica la ley de Ohm generalizada para corriente alterna. Hemos realizado el montaje del circuito resistivo para dos resistencias diferentes, en primer lugar  $R = 120\Omega$  y después  $R = 470\Omega$ .

A continuación se expondrán los resultados obtenidos y las gráficas necesarias para discutirlo y analizarlo posteriormente.

V (V)	$I_1$ (mA)	$I_2$ (mA)	$I_3$ (mA)	$I_{media}$ (mA)
1	7,27	7,13	7,15	7,18
1,5	10,77	12,01	10,71	11,16
2	13,63	15,93	14,33	14,63
2,5	17,48	18,96	17,88	18,11
3	23,4	24,1	24,1	23,87
3,5	27,4	28,2	28,2	27,93
4	31,3	32,2	32,3	31,93

Tabla 1: Datos del voltaje y la intensidad del circuito resistivo.

$\epsilon_V$ (V)	$\epsilon_I$ (mA)
0,06	0,1
0,06	0,6
0,06	0,9
0,06	0,6
0,06	0,3
0,06	0,3
0,06	0,4

Tabla 2: Errores del Voltaje y la Intensidad.

Los resultados de intensidad están en mA, puesto que es la escala tomada para realizar las medidas con el amperímetro. Sin embargo, para el cálculo de la pendiente se han utilizado Amperios, para así obtener la resistencia en Ohmios.

A partir de los resultados de corriente y voltaje, realizamos una representación gráfica, donde la resistencia será la pendiente de la recta obtenida.



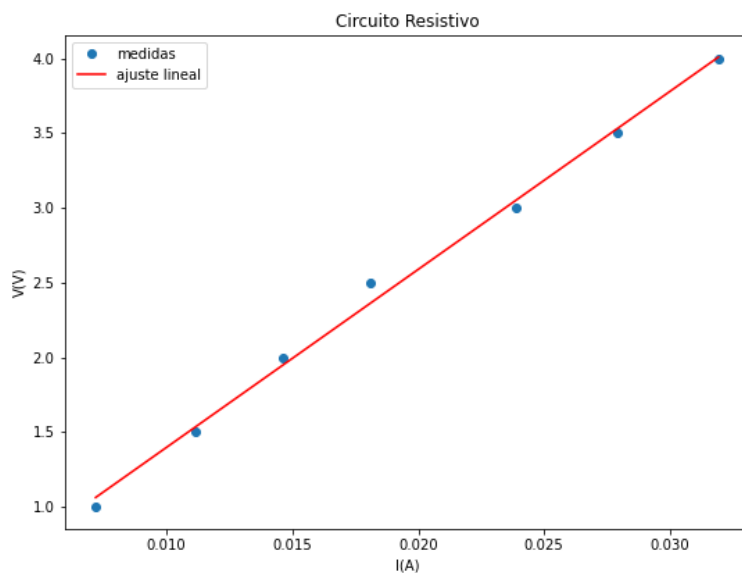


Figura 11: Ajuste lineal de la representación del voltaje frente a la intensidad de corriente.

Mediante el ajuste lineal realizado con un programa de Python se obtiene el siguiente valor de la pendiente:

$$\mathbf{R = 119 \pm 4 \, \Omega}$$

$$\epsilon_{relativo} = 3,36 \%$$

### 5.1.2. Circuito Inductivo

A continuación, realizando los mismos pasos que para el caso resistivo, obtendremos el valor de la reactancia inductiva. Para ello aplicaremos la ecuación 9. En la siguiente tabla aparecen los resultados obtenidos del voltaje y la intensidad.

V (V)	$I_1$ (mA)	$I_2$ (mA)	$I_3$ (mA)	$I_{media}$ (mA)
V <sub>ef</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>media</sub>
1	3,72	4,2	4,1	4,01
1,5	5,54	6,3	6,15	6,00
2	7,37	8,32	8,41	8,03
2,5	9,21	10,33	10,4	9,98
3,0	11,13	12,43	12,39	11,98
3,5	13,45	14,44	14,54	14,14
4	16,71	16,51	16,51	16,58

Tabla 3: Datos del voltaje y la intensidad del circuito capacitivo.

$\epsilon_V$ (V)	$\epsilon_I$ (mA)
0,06	0,19
0,06	0,30
0,06	0,4
0,06	0,5
0,06	0,6
0,06	0,5
0,06	0,09

Tabla 4: Errores del Voltaje y la Intensidad.

A partir de los datos anterior, pero expresados en Amperios, realizamos la siguiente gráfica:

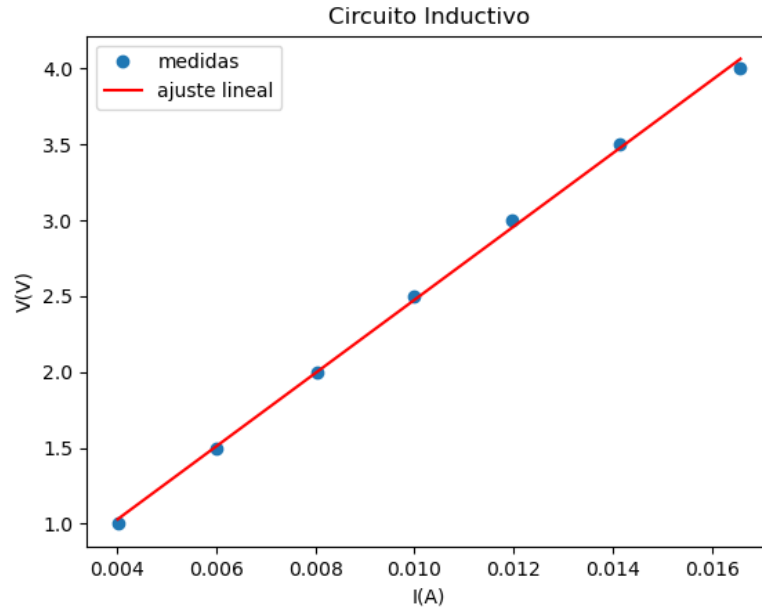


Figura 12: Ajuste lineal de la representación del voltaje frente a la intensidad de corriente.

Al realizar el ajuste lineal de la recta de la figura 12 obtenemos el siguiente valor de la pendiente:

$$X_L = 240 \pm 5 \, \Omega$$

$$\epsilon_{relativo} = 2,1 \%$$

A partir de la ecuación 5:  $X_L = \omega \cdot L$ , hallamos el valor de  $L$ . Como la frecuencia es  $f = 1\text{kHz} = 1000 \text{ Hz}$ , sabiendo que  $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ , se obtiene :

$$L = \frac{X_L}{\omega} = \frac{240}{2000\pi} = 0,038 H$$

Finalmente:

$$L = 38 \pm 4 \text{ mH}$$

$$\epsilon_{relativo} = 10 \%$$

### 5.1.3. Circuito Capacitivo

El procedimiento es el mismo que en los casos anteriores, pero el objetivo es hallar la reactancia capacitiva, por lo que la ecuación en la que nos basaremos es la número 10. De la misma manera, los resultados se encuentran en mA y se pasan a Amperios para obtener el resultado en Ohmios.

V (V)	$I_1$ (mA)	$I_2$ (mA)	$I_3$ (mA)	$I_{media}$ (mA)
1	0,61	0,6	0,6	0,60
1,5	0,92	0,89	0,91	0,91
2,034	1,26	1,19	1,21	1,22
2,5	1,56	1,5	1,52	1,53
3	1,87	1,82	1,82	1,84
3,508	2,19	2,12	2,12	2,14
4	2,5	2,4	2,43	2,44

Tabla 5: Datos del voltaje y la intensidad del circuito capacitivo.

$\epsilon_V$ (V)	$\epsilon_I$ (mA)
0,06	0,007
0,06	0,013
0,06	0,03
0,06	0,02
0,06	0,02
0,06	0,03
0,06	0,04

Tabla 6: Errores del Voltaje y la Intensidad.

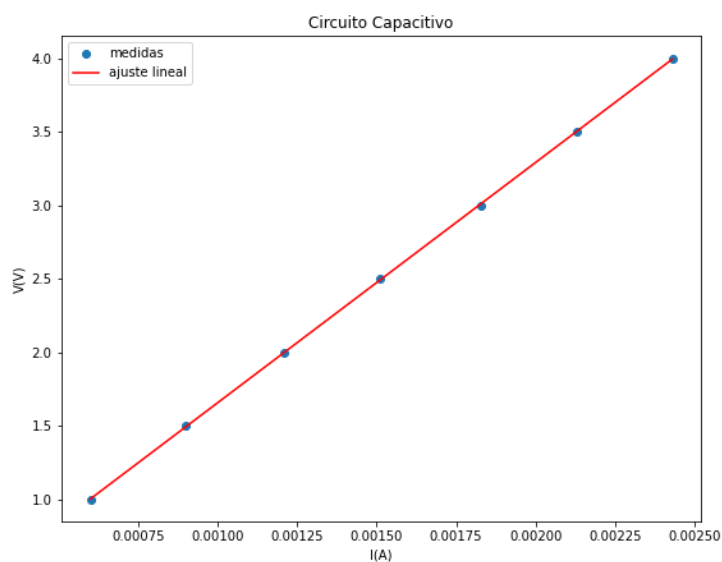


Figura 13: Ajuste lineal de la representación del voltaje frente a la intensidad de corriente.

Finalmente, mediante el ajuste lineal se llega al siguiente valor para la reactancia capacitiva:

$$\mathbf{X_C = 1624 \pm 8 \ \Omega}$$

$$\epsilon_{relativo} = 0,5 \%$$

A partir de la ecuación 6:  $X_C = \frac{1}{\omega \cdot C}$  somos capaces de hallar el valor de C. Como la frecuencia es  $f = 1kHz = 1000Hz$ , utilizando la siguiente relación:

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

se obtiene que:

$$C = \frac{1}{X_C \cdot \omega} = \frac{1}{2000 \cdot \pi \cdot 1624} = 0,098 \times 10^{-6} F$$

Entonces:

$$\mathbf{C = 0,10 \pm 0,01 \ \mu F}$$

$$\epsilon_{relativo} = 10 \%$$

## 5.2. Segunda parte

A continuación, para la segunda parte de este informe, mediremos la frecuencia y la intensidad manteniendo fija la fem a 1 V. Realizaremos el montaje del circuito RLC, en el primer caso con una resistencia de  $470\Omega$  y después para una resistencia de  $120\Omega$ .

### 5.2.1. $R = 470\Omega$

Se debe realizar el montaje del circuito RLC en serie, con una bobina de inductancia  $L = 35 \text{ mH}$  y un condensador de capacidad  $C = 0.1 \mu F$

f (kHz)	I (mA)
1	0,71
2	1,73
2,2	1,87
2,3	1,9
2,4	1,9
2,5	1,89
2,6	1,86
2,7	1,83
2,8	1,76
3	1,64
4	1,09
5	0,77
6	0,56
7	0,42
8	0,32
9	0,23
10	0,16

Tabla 7: Tabla datos de la frecuencia y la intensidad del circuito para la resistencia de  $470 \Omega$

Graficamos los datos de la tabla anterior.

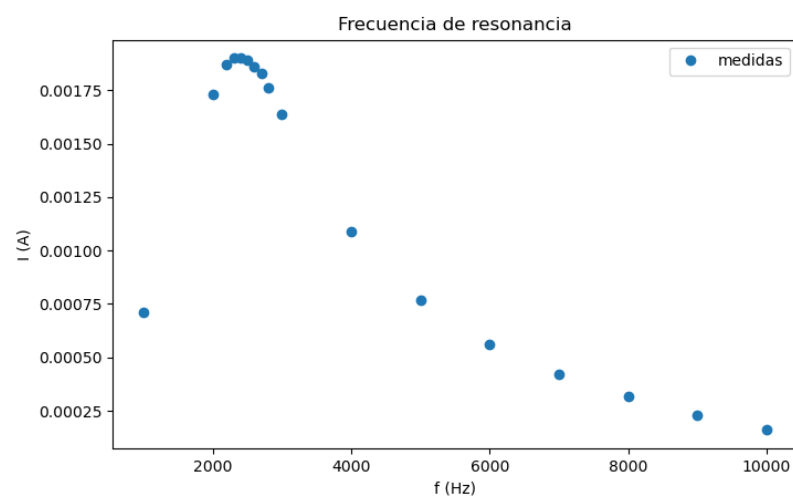


Figura 14: Gráfica de la frecuencia y la intensidad de corriente de un circuito RLC.

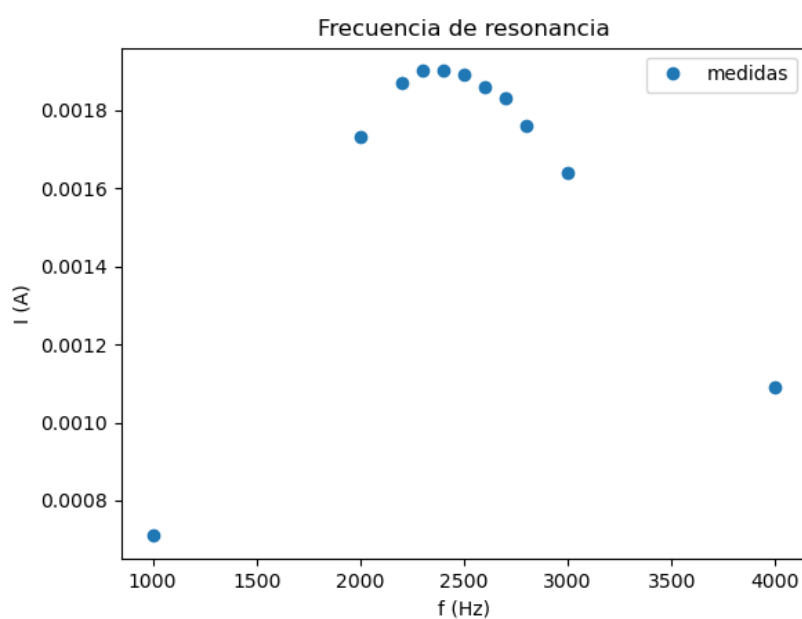


Figura 15: Gráfica de la frecuencia y la intensidad de corriente en torno a la frecuencia de resonancia.

A partir de la gráfica anterior obtenemos que el valor para la frecuencia de resonancia será  $f = 2,3$  kHz. Puesto que conocemos la relación entre  $f$  y  $\omega$ , podemos sacar la frecuencia de resonancia:

$$\omega_{res} = 2 \cdot \pi \cdot f$$

$$\omega_{res} = 4600\pi \pm 100 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$\epsilon_{relativo} = 0,7\%$$

### 5.2.2. $R = 120 \Omega$

Realizamos el mismo procedimiento pero cambiando el valor de la resistencia.

f (kHz)	I (mA)
1	0,79
2	3,32
2,2	4,66
2,3	5,4
2,4	5,54
2,5	5,34
2,6	4,81
2,7	4,32
2,8	3,78
3	2,92
4	1,34
5	0,86
6	0,61
7	0,45
8	0,34
9	0,24
10	0,17

Tabla 8: Tabla datos de la frecuencia y la intensidad del circuito para la resistencia de  $120 \Omega$



Si graficamos los datos de la tabla anterior obtenemos :

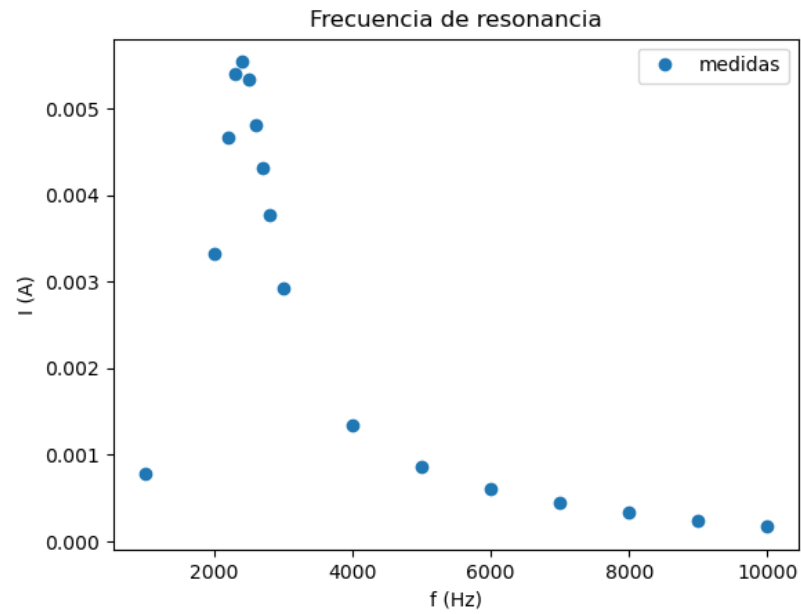


Figura 16: Gráfica de la frecuencia y la intensidad de corriente en torno a la frecuencia de resonancia.

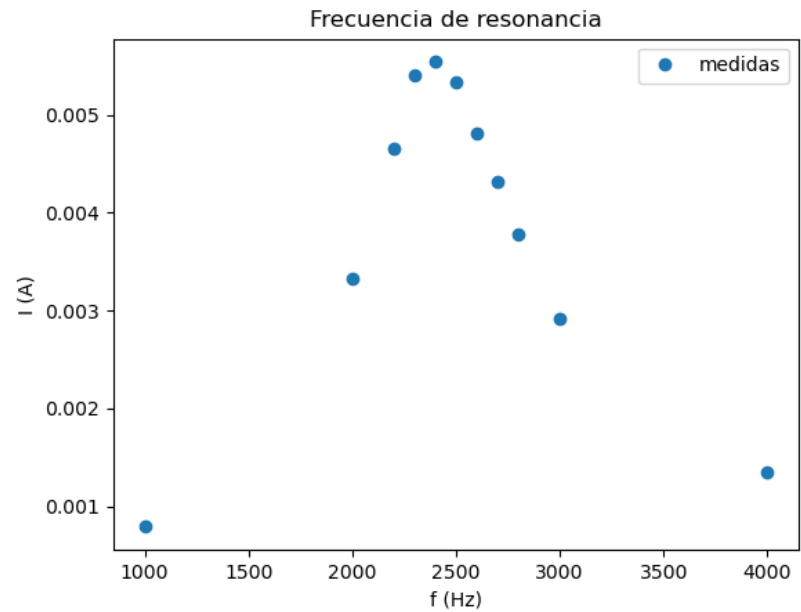


Figura 17: Gráfica de la frecuencia y la intensidad alrededor del valor de la frecuencia de resonancia.

Finalmente, el punto más alto de la frecuencia es  $f = 2,4 \text{ kHz}$ .  
Por lo tanto:

$$\omega_{res} = 2 \cdot \pi \cdot f$$

$$\omega_{res} = 4800\pi \pm 100 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$\epsilon_{relativo} = 0,7\%$$

## 6. Discusión

aquí hay que hablar de la primera parte, que es la comprobación de que la ley de Ohm sirve para corriente alterna comparando los resultados obtenidos con los que nos daban fuentes de error

segunda parte, explicar un poco que es la resonancia y por qué se obtiene haciendo la frecuencia y la intensidad, explicar que nos dan parecidas en ambos casos fuentes de error. Puesto que la práctica está dividida en dos partes, discutiremos en primer lugar los resultados del montaje de los circuitos con un solo elemento y posteriormente hablaremos sobre el montaje del circuito RLC

### 6.1. Primera parte

Para empezar, se ha montado un circuito resistivo con una resistencia de  $120\Omega$ . El objetivo era determinar el valor de  $R$  mediante la ley de Ohm generalizada (ecuación 8). Al realizar el ajuste se llega a que  $R = 119 \pm 4\Omega$  que es prácticamente igual (y que está dentro del margen de error) al obtenido con el código de colores.<sup>7</sup> Por lo que, hemos comprobado experimentalmente que se cumple la ley de Ohm generalizada.

A continuación, en el circuito inductivo, hemos obtenido la siguiente reactancia inductiva  $X_L = 240 \pm 5\Omega$  que nos ha permitido calcular  $L = 38 \pm 4 \text{ mH}$ . En este caso también se ha verificado que la ley de Ohm (ecuación 9) es correcta para estos circuitos. Si lo comparamos con el valor de la inductancia de nuestro circuito  $L = 35 \text{ mH}$ , observamos fácilmente que son valores muy próximos.

Por último, en el caso del circuito de corriente alterna con un condensador, hemos comprobado la eficacia de la ecuación 10. Hemos hallado la capacidad, cuyo valor es  $C = 0,10 \pm 0,01 \mu\text{F}$ , que es prácticamente igual al utilizado en el montaje del circuito. Por lo que la relación de la intensidad y el voltaje realizada ha sido correcta.

<sup>7</sup>Explicación en el apéndice de cómo hallar valor de una resistencia viendo las bandas de colores que tiene.

## 6.2. Segunda parte: Circuito RLC

En este apartado se ha obtenido el valor de la frecuencia de resonancia de dos circuitos RLC, uno con  $R = 120 \Omega$  y otro con  $R = 470 \Omega$ . En ambos circuitos hemos obtenido un valor similar:

$$\omega_{res} = 4800\pi \pm 100 \frac{rad}{s} \quad R = 120\Omega$$

$$\omega_{res} = 4600\pi \pm 100 \frac{rad}{s} \quad R = 470\Omega$$

¿Es posible que al cambiar las resistencias sigamos teniendo la misma frecuencia de resonancia? Sí. Esto se debe a que la frecuencia de resonancia depende principalmente de los valores de inductancia y capacitancia en el circuito, y no tanto de la resistencia, cosa que podemos observar en la ecuación 12. Para hallar dicha ecuación hemos definido  $\omega_{res}$  como la frecuencia en la que la impedancia es puramente resistiva, lo que significa que la impedancia no tiene componentes reactivos y la corriente fluye a través del circuito sin pérdidas. De manera que, la amplitud alcanza su máximo (es así como hemos hallado  $\omega_{res}$  buscando el valor máximo de la amplitud). Además, cuando se aplica una señal de esa frecuencia, el circuito resuena y la señal se amplifica, mientras que las señales de otras frecuencias son atenuadas.

Por otro lado, también podemos verificar la ecuación:  $I_{max} = \frac{V_{max}}{Z}$  a partir de los datos medidos del circuito RLC. Primero hallamos la impedancia ( $Z$ ):

$$Z_{120} = 180,9\Omega$$

$$Z_{470} = 505,5\Omega$$

Sabemos que  $I_{max} = 5,54mA$  para la resistencia de  $120 \Omega$ , por lo que utilizando la ecuación anterior:

$$V_{max} = 5,54 \times 10^{-3} \cdot 180,9 = 1,002V$$

Y para la resistencia de  $470 \Omega$ , tenemos que  $I_{max} = 1,9mA$ , entonces:

$$V_{max} = 1,9 \times 10^{-3} \cdot 505,5 = 0,96V$$

Como el voltaje utilizado ha sido  $V = 1 V$ , podemos concluir que la relación teórica anterior es correcta.

Un punto interesante que podemos comprobar es si en el circuito RLC que hemos montado, la fuerza electromotriz del generador es o no la suma algebraica del voltaje de cada uno de los componentes. Las medidas obtenidas experimentalmente para cada elemento son:

$\epsilon_R$ (V)	$\epsilon_C$ (V)	$\epsilon_L$ (V)	$\epsilon_{total}$ (V)
0,043	0,065	1,058	1,001

Tabla 9: Tabla con el valor de la fuerza electromotriz del generador y voltaje de cada elemento del circuito.

Si sumamos los voltajes obtenidos:

$$\epsilon_R + \epsilon_L + \epsilon_C = 1,166V \neq 1,001V$$

Esto se debe a la presencia de la reactancia en los circuitos de corriente alterna. La reactancia es la propiedad de los inductores y capacitores de almacenar energía en forma de campo magnético y eléctrico. A medida que la corriente alterna fluye a través del circuito, los inductores y capacitores absorben y liberan energía, lo que causa una caída de voltaje en estos componentes.

## 7. Cuestiones

En esta sección resolveremos algunas de las cuestiones planteadas en el guión de la práctica que no se han podido resolver a lo largo del informe.

### 7.1. Cuestión 1. Explica cómo se pueden producir generadores de corriente alterna.

Para la total comprensión del desarrollo teórico se ha respondido a esta pregunta en el apartado 3.2.

### 7.2. Cuestión 2. Discute por qué la mayor parte de las líneas de transmisión de energía eléctrica de larga distancia utilizan altas tensiones y corriente alterna.

En primer lugar, la ecuación de Potencia nos dice que:

$$P = V \cdot I \quad (13)$$

Por lo que un voltaje alto permite disminuir la corriente para transmitir la misma cantidad de Potencia.

El efecto Joule nos dice que la electricidad por el simple hecho de fluir por un material va a experimentar una pérdida de energía en forma de calor, y esa pérdida de energía será mayor cuanto más intensidad fluya. Es decir, cuanto más intensidad fluya por el cable más energía se va a perder en forma de calor. En definitiva, de acuerdo con este razonamiento, no conviene aumentar la intensidad, si no que al aumentar la

tensión podemos conseguir la misma potencia reduciendo así las pérdidas de energía y el coste económico.

Además, aumentar la intensidad que pasa por un cable supone aumentar la sección de este (como si queremos hacer que pase más agua por una tubería, debemos hacer más grande la tubería).

En conclusión, realizar las líneas de transmisión de energía eléctrica sin altas tensiones supone una gran pérdida de energía y un alto coste económico.

### **7.3. Cuestión 3. Aplicaciones tecnológicas de los circuitos de corriente alterna.**

Los circuitos de corriente alterna tienen numerosas aplicaciones tecnológicas muy útiles. Como por ejemplo, en el caso anterior cuando hablábamos de la transmisión de energía eléctrica. La energía eléctrica se genera en las centrales eléctricas y es transformada y distribuida a través de circuitos de corriente alterna. Y como consecuencia de esta, somos capaces de encender las luces y lámparas de nuestros hogares, que utilizan este tipo de corriente para funcionar.

Hoy en día cada vez son más comunes los cargadores inalámbricos y todo lo referente a la transmisión inalámbrica de energía. Para ello se utiliza la resonancia electromagnética, que transfiere la energía eléctrica de un lugar a otro sin necesidad de cables. Esta resonancia se logra mediante el uso de circuitos de corriente alterna sintonizados a la misma frecuencia. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la transmisión inalámbrica de energía eléctrica todavía está en desarrollo y presenta algunos problemas como la pérdida de energía.

Por último, cabe destacar que los circuitos de corriente alterna se utilizan en numerosos experimentos de física y son un importante objeto de estudio, por lo que otra aplicación importante es la investigación científica.

### **7.4. Cuestión 4. Explica el funcionamiento de un transformador y su utilidad.**

El transformador es un dispositivo utilizado para elevar o disminuir el voltaje en un circuito sin una apreciable pérdida de potencia.

La figura 18 muestra un transformador simple compuesto por dos bobinas de hilo conductor enrolladas sobre un núcleo de hierro. La bobina que se conecta a la fuente de entrada se denomina **primario** y la otra **secundario**.

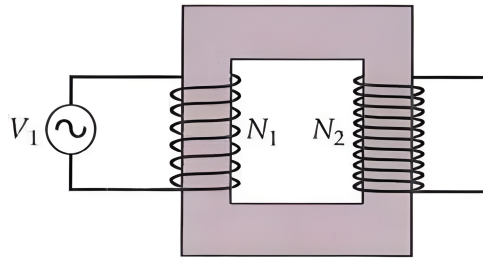


Figura 18: Esquema transformador simple.

Su funcionamiento se basa en el hecho de que una corriente alterna en un circuito inducirá una fem alterna en otro circuito próximo debido a la inductancia mutua entre ambos. El núcleo de hierro se encarga de aumentar el campo magnético creado por una corriente determinada y guiar dicho campo de manera que gran parte del flujo magnético que atraviesa uno de los hilos enrollados atraviese al otro.

Si no se perdiera potencia alguna, el producto del voltaje por la corriente en el circuito secundario sería igual al producto del voltaje por la corriente en el primario:

$$V_2 \cdot I_2 = V_1 \cdot I_1$$

De esta manera, si el voltaje del circuito secundario es mayor que el del primario, la corriente en el secundario será menor.

Las pérdidas de potencia proceden del calentamiento por efecto Joule en las pequeñas resistencias de ambos devanados o en las espiras de corriente dentro del núcleo y por la histéresis<sup>8</sup> del núcleo de hierro.

Por lo que se refiere a las **aplicaciones** de los transformadores, existe una amplia variedad. Sin embargo, una de las más importantes es la distribución de energía eléctrica. Una vez generada la electricidad en las centrales, se utilizan los transformadores para elevar la tensión y reducir así las pérdidas en el transporte producidas por el efecto Joule. Una vez transportada se utilizan los transformadores reductores para darle a esta electricidad unos valores con los que podamos trabajar.

También utilizados en la mayoría de electrodomésticos y aparatos electrónicos, ya que normalmente trabajan a tensiones de un valor inferior al suministrado por la red.

Además forman parte de un elemento clave en la seguridad eléctrica de los hogares: el diferencial. Este dispositivo utiliza transformadores para comparar la intensidad que entra con la que sale del hogar.

Una última aplicación, es en el sector de las energías renovables donde se utilizan para transformar y controlar la energía eléctrica producida por la energía eólica o solar.

<sup>8</sup>Fenómeno por el que el estado de un material depende de su historia previa y que se manifiesta por el retraso del efecto sobre la causa que lo produce.

## 7.5. Cuestión 5. Aplicaciones de los fenómenos de resonancia en circuitos de corriente alterna.

Una vez tenemos los conocimientos sobre el fenómeno de la resonancia, nos preguntamos lo siguiente: ¿cuál es su utilidad? ¿cómo se puede aplicar en nuestro día a día? En general su utilización es necesaria para la construcción de cualquier sistema que requiera regular el paso de determinadas frecuencias. Los ejemplos más comunes son:

- Receptores de radio: se emplean circuitos resonantes para seleccionar una frecuencia específica de la señal de radio o televisión y filtrar las demás frecuencias no deseadas.
- Telecontrol o mandos a distancia: en este caso, el mando a distancia emite una señal de radiofrecuencia que es recibida por el dispositivo electrónico que se desea controlar. Para que la señal del mando a distancia sea detectada y procesada correctamente, es necesario que ambos estén sintonizados en la misma frecuencia.
- Seguridad: otro uso de la frecuencia de resonancia muy común en nuestro día a día son las alarmas que vemos adheridas a los objetos que queremos comprar en tiendas o mercados. La física detrás de estos aparatos se base en el fenómeno de la resonancia. Cuando el objeto atraviesa el campo magnético que genera permanentemente el aparato de la puerta de salida, el circuito oscilador excita una señal que, al ser captada, activa la alarma. Para ello, es necesario que el circuito oscile a una única frecuencia para todos los dispositivos.

En conclusión, estas son solo unas pocas aplicaciones del fenómeno de la resonancia en comparación con todas las que podemos encontrar hoy en día. Además, con el avance de la investigación científica y el desarrollo de la tecnología, cada vez podremos contar con más dispositivos que utilicen este concepto para mejorar su rendimientos y eficacia.

## 8. Conclusión

En conclusión, en este informe de laboratorio hemos comprobado la ley de Ohm generalizada para corriente alterna en diferentes tipos de circuitos, como el resistivo, inductivo y capacitivo.

También hemos hablado sobre el fenómeno de la resonancia, tanto su fundamento teórico como sus importantes aplicaciones. Así como también se ha determinado la frecuencia de resonancia en circuitos RLC.

En general, se ha aprendido todo lo necesario para conocer en detalle el comportamiento de la corriente alterna y los circuitos RLC.

## 9. Agradecimientos

Antes de concluir con este informe, me gustaría agradecer a los profesores por su orientación y supervisión en la realización de esta práctica. También al personal técnico del laboratorio por su colaboración en la preparación de los materiales y equipos necesarios. Así como a mi compañero por su cooperación y participación.

## 10. Apéndice

En esta sección llevaremos a cabo la explicación del ajuste de mínimos cuadrados, así como la obtención de los distintos errores calculados en esta práctica. Además de diferentes apartados teóricos con conceptos utilizados en diferentes partes del informe que se pueden consultar para el total entendimiento de este experimento.

### 10.1. Mínimos cuadrados

El ajuste de mínimos cuadrados es un método utilizado para encontrar la mejor aproximación lineal de un conjunto de datos. En general, se utiliza cuando se desea ajustar una línea recta a un conjunto de datos, de manera que se minimice la distancia entre los puntos y la línea.

En nuestro caso tendremos una relación lineal, por lo que utilizaremos una línea recta, que se puede representar como  $y = mx + b$ , donde  $y$  es la variable dependiente,  $x$  es la variable independiente,  $m$  es la pendiente de la línea y  $b$  es el punto de intersección en el eje  $y$ .

Para la obtención del valor de la resistencia, la reactancia capacitiva y la reactancia inductiva, utilizaremos un programa en Python. A partir de los datos obtenidos experimentalmente, nos realizará el ajuste lineal y nos dará valor de la pendiente.

### 10.2. Cálculo de errores

- Cálculo de los errores circuito resistivo:

$$\epsilon_V = \frac{0,1}{\sqrt{3}} = 0,06V$$

Puesto que la intensidad de corriente se ha obtenido realizando una media de los tres valores medidos, debemos realizar una serie de cálculos.

El error de la intensidad será:

$$\epsilon_I = \sqrt{\epsilon_A^2 + \epsilon_B^2}$$

Donde:

$$\epsilon_A = t_{estudent} \cdot \sigma(\bar{x})$$



Siendo  $\sigma(\bar{x})$  la desviación típica media:

$$\sigma(\bar{x}) = \frac{\sigma(x)}{\sqrt{N}}$$

$$\sigma(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}{N - 1}}$$

$\sigma(x)$ (mA)	$\sigma(\bar{x})$ (mA)	$\epsilon_A$ (mA)
0,1	0,04	0,1
0,7	0,4	0,6
1,2	0,7	0,9
0,8	0,4	0,6
0,4	0,2	0,3
0,5	0,3	0,3
0,6	0,3	0,4

Tabla 10: Tabla con la desviación estándar, desviación estándar media y error tipo A

Mientras que el error tipo B de la intensidad se obtiene con la siguiente expresión:

$$\epsilon_B = \frac{0,01}{\sqrt{3}} = 0,006mA$$

De esta manera se han obtenido los errores que aparecen en el apartado de resultados.

- Cálculo del error del circuito inductivo Tanto las fórmulas como los pasos son los mismos que en el caso anterior, por lo que en la siguiente tabla presentamos los diferentes valores hallados:

$\sigma(x)$ (mA)	$\sigma(\bar{x})$ (mA)	$\epsilon_A$ (mA)
0,25	0,15	0,19
0,4	0,23	0,30
0,6	0,3	0,4
0,7	0,4	0,5
0,7	0,43	0,6
0,6	0,3	0,5
0,1	0,07	0,09

Tabla 11: Tabla con la desviación estándar, desviación estándar media y error tipo A

Mientras que los errores tipo B:

$$\epsilon_V = \frac{0,1}{\sqrt{3}} = 0,06V$$

$$\epsilon_{B,I} = \frac{0,01}{\sqrt{3}} = 0,006mA$$

Además se ha realizado propagación de errores para obtener el error de la inductancia de la bobina, a partir de la siguiente expresión:

$$\epsilon_L = L \cdot \sqrt{\left(\frac{\epsilon_{X_L}}{X_L}\right)^2 + \left(\frac{\epsilon_f}{f}\right)^2}$$

- Cálculo errores circuito capacitivo De nuevo realizaremos el mismo procedimiento y obtendremos la siguiente tabla:

$\sigma(x)$ (mA)	$\sigma(\bar{x})$ (mA)	$\epsilon_A$ (mA)
0,006	0,003	0,004
0,02	0,009	0,012
0,04	0,02	0,03
0,03	0,02	0,02
0,03	0,02	0,02
0,04	0,02	0,03
0,05	0,03	0,04

Tabla 12: Tabla con la desviación estándar, desviación estándar media y error tipo A

$$\epsilon_V = \frac{0,1}{\sqrt{3}} = 0,06V$$

$$\epsilon_{B,I} = \frac{0,01}{\sqrt{3}} = 0,006mA$$

También se debe calcular el error de la capacidad del condensador realizando propagación de errores, con la siguiente expresión:

$$\epsilon_C = C \cdot \sqrt{\left(\frac{\epsilon_{X_C}}{X_C}\right)^2 + \left(\frac{\epsilon_f}{f}\right)^2}$$

Por último, cabe destacar que para todos los resultados se ha hallado el error relativo correspondiente. Para ello se ha seguido la siguiente fórmula:

$$\epsilon_{relativo} = \frac{\epsilon_{absoluto}}{X}$$

Siendo X el valor obtenido del que queremos conocer el error.

### 10.3. Valores eficaces

Los valores eficaces de la tensión y de la intensidad son los más utilizados, y son los que miden los aparatos de medida. Se refiere al valor que debería tener una corriente continua que produjera la misma potencia que dicha corriente alterna. Se relacionan con el voltaje e intensidad máxima a través de las siguientes expresiones matemáticas:

$$I_{ef} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot I_{max} \quad (14)$$

$$V_{ef} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot V_{max} \quad (15)$$

Pero esta relación no afecta a las expresiones hallada de intensidad y voltaje máximos, siguen siendo válidas para los valores eficaces.

### 10.4. Movimiento de un oscilador armónico amortiguado forzado

Para el análisis de los circuitos RLC en serie, se estudia el caso análogo de una masa fija a un resorte. Se realiza esta comparación debido a que ambos sistemas comparten propiedades similares en su comportamiento dinámico. Además, resulta útil ya que el movimiento de un oscilador armónico amortiguado forzado es un fenómeno físico común y bien entendido, por lo que puede resultar más fácil de entender que el comportamiento de un circuito.

Las ecuaciones obtenidas para el circuito RLC son análogas a la ecuación correspondiente al movimiento armónico amortiguado forzado de una masa fija a un muelle (figura 19).

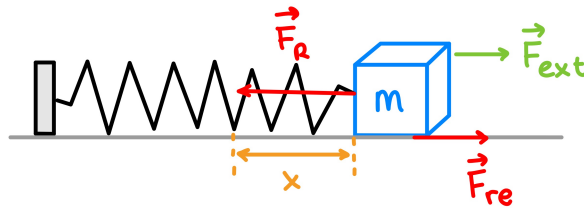


Figura 19: Movimiento armónico amortiguado forzado de una masa fija a un muelle y sometido a una fuerza externa.

Se trata de una masa  $m$  fija a un resorte, de constante elástica  $k$ , sometido a una fuerza externa ( $F_{ext}$ ). Además, actúa una fuerza recuperadora del muelle, correspondiente a la Ley de Hooke:

$$F_{rec} = -k \cdot x$$

Además de una fuerza de rozamiento proporcional a la velocidad:

$$F_{roz} = -\gamma \cdot v$$

Y por último, la fuerza externa:

$$F_{ext} = F_{max} \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

Aplicando la segunda ley de Newton a este sistema, obtenemos la siguiente ecuación de movimiento:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + \gamma \frac{dx}{dt} + k \cdot x = F_{max} \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

La solución de esta ecuación diferencial es la elongación (x) en función del tiempo:

$$x(t) = e^{\frac{-\gamma t}{2m}} (c_1 e^{i\omega t} + c_2 e^{-i\omega t}) + \left( \frac{\frac{F_{max}}{m}}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + \frac{\gamma^2 \omega^2}{m}} \right) \sin(\omega t - \phi)$$

El primer término representa los efectos transitorios y determina el comportamiento del sistema inicialmente, mientras que el segundo término muestra los efectos estacionarios que se mantienen indefinidamente. A tiempos grandes:

$$x(t) = A \cdot \sin(\omega t - \phi)$$

donde A es la amplitud y  $\phi$  el desfase con la fuerza aplicada:

$$A = \frac{\frac{F_{max}}{m}}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + \frac{\gamma^2 \omega^2}{m}}}$$

$$\tan(\phi) = \frac{\gamma \cdot \omega}{m(\omega_0^2 - \omega^2)}$$

donde se ha definido  $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$  como la frecuencia natural del oscilador. El significado físico de este resultado es que cuando se le aplica una fuerza externa a una masa fija a un muelle, esta oscila con una frecuencia angular  $\omega$ .

## 10.5. Leyes de Kirchhoff

Las leyes de Kirchhoff son dos igualdades que se basan en la conservación de la energía y la carga en los circuitos eléctricos.

### 10.5.1. Primera ley

Esta ley establece que la suma algebraica de las corrientes que entran en un nodo es cero, se puede expresar como:

$$\sum_{n=1}^N I_n = 0$$

### 10.5.2. Segunda Ley

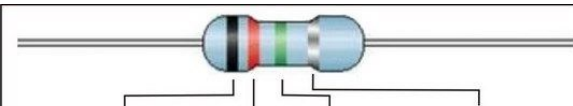
Esta ley implica que la suma algebraica de las tensiones en una trayectoria cerrada (o malla) es cero.

$$\sum_{n=1}^N V_n = 0$$

El conocimiento de estas leyes es necesario para la resolución de los diferentes circuitos de corriente alterna.

### 10.6. Tabla de colores de resistencias

Para determinar el valor de una resistencia nos fijamos en las tres primeras bandas, que nos dan el valor. Mientras que la cuarta, que se encuentra un poco más separada del resto, indica la tolerancia, que es el porcentaje que puede variar el valor de la resistencia.



Color	1ra. Banda	2da. Banda	3ra. Banda Multiplicador	Tolerancia %
Negro	0	0	x1	
Cafe	1	1	x10	
Rojo	2	2	x100	2%
Naranja	3	3	x1000	
Amarillo	4	4	x10000	
Verde	5	5	x100000	
Azul	6	6	x1000000	
Violeta	7	7	x10000000	
Gris	8	8	x100000000	
Blanco	9	9	x1000000000	
Circuitos Básicos				Dorado 5%
				Plata 10%

Por [www.areatecnologia.com](http://www.areatecnologia.com)

Figura 20: Código de colores de las resistencias.

## 11. Bibliografía

Algunas de las referencias bibliográficas empleadas para la realización de este informe son:

- Tipler, P. A. y Mosca, G. (2004). Física para la ciencia y la tecnología, volumen 2. Reverté.
- <https://www.areatecnologia.com/electricidad/circuitos-de-corriente-alterna.html>
- <https://exa.unne.edu.ar/fisica/electymagne/TEORIA/elecmagnet/inducccion/alterna/alterna.htm#:~:text=Una%20fem%20alterna%20se%20produce,los%20polos%20de%20un%20im%C3%A1n.>
- <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/elecmagnet/inducccion/generador/generador.htm>
- [https://www.electronics-tutorials.ws/resistor/res\\_2.html](https://www.electronics-tutorials.ws/resistor/res_2.html)
- <https://www.endesa.com/es/la-cara-e/biografias/tesla-edison-guerra>
- <https://es.khanacademy.org/science/physics/circuits-topic/circuits-resistance/a/ee-kirchhoffs-laws>