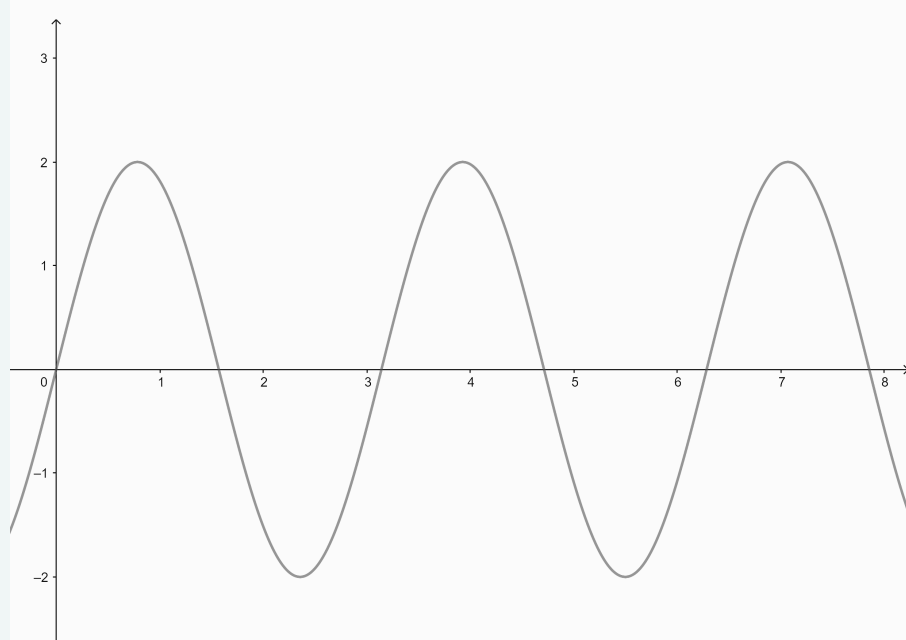


# PRÁCTICA E5

## CORRIENTE ALTERNA:

### CIRCUITOS RLC EN SERIE. RESONANCIA



Autora:  
Aroa Antón Samaniego

*Técnicas experimentales I. Prácticas de Electromagnetismo. Grado en Física.*  
Curso 2022-2023

# Índice

<b>1. Resumen</b>	<b>2</b>
<b>2. Introducción</b>	<b>2</b>
<b>3. Fundamento teórico</b>	<b>2</b>
3.1. La corriente alterna . . . . .	2
3.2. Componentes eléctricos en circuitos de CA . . . . .	3
3.2.1. Resistencias . . . . .	3
3.2.2. Condensadores . . . . .	4
3.2.3. Inductores . . . . .	5
3.3. Circuitos RLC . . . . .	6
<b>4. Método experimental</b>	<b>9</b>
4.1. Materiales . . . . .	9
4.2. Método experimental . . . . .	10
4.2.1. Parte 1 . . . . .	10
4.3. Parte 2 . . . . .	11
<b>5. Resultados</b>	<b>11</b>
5.1. Parte 1 . . . . .	11
5.1.1. Circuito resistivo . . . . .	11
5.1.2. Circuito con condensador . . . . .	12
5.1.3. Circuito con inductor . . . . .	12
5.2. Parte 2 . . . . .	13
<b>6. Interpretación y discusión de los resultados</b>	<b>14</b>
<b>7. Conclusiones</b>	<b>15</b>
<b>8. Cuestiones</b>	<b>15</b>
<b>9. Agradecimientos</b>	<b>17</b>
<b>10. Bibliografía</b>	<b>17</b>
<b>11. Apéndices</b>	<b>18</b>
11.1. Regla de Kirchoff . . . . .	18
11.2. Código de colores resistencias . . . . .	18
11.3. Tablas de datos . . . . .	18
11.3.1. Parte 1 . . . . .	18
11.3.2. Parte 2 . . . . .	18
11.4. Cálculo de errores . . . . .	19

## 1. Resumen

En esta práctica vamos a estudiar el comportamiento de resistencias, condensadores y bobinas en circuitos de corriente alterna. Además, vamos a comprobar que se verifica la Ley de Ohm generalizada para circuitos de corriente alterna y también estudiaremos el fenómeno de la resonancia.

## 2. Introducción

Existen dos tipos de corriente para transmitir la energía eléctrica: la corriente alterna (CA) y la corriente continua (CC). Hoy en día la corriente continua se suele utilizar en la mayoría de dispositivos electrónicos, mientras que la corriente alterna se utiliza mayoritariamente para la generación, transporte y distribución de la electricidad. Este uso de la corriente alterna vino dado como solución a uno de los problemas de la industria eléctrica del siglo XIX, transportar la electricidad de una manera eficiente y rentable.

En 1831, el científico británico Michael Faraday hizo uno de los hallazgos más importantes para la física, la inducción electromagnética. Faraday descubrió que la variación del flujo magnético a través de un circuito genera una fuerza electromotriz inducida en este. Por lo que un conductor que gira en paralelo dentro de un campo magnético genera un flujo electrónico constante, que puede utilizarse para realizar un trabajo mecánico, dando paso a la invención del motor eléctrico y, por lo tanto, al origen de la industria eléctrica.

Inicialmente la corriente eléctrica se distribuía de la forma en la que se generaba en los dinamos, es decir, en corriente directa o continua. Sin embargo, esto presentaba un gran problema ya que la distribución en corriente continua a grandes distancias calienta el cable y provoca el fenómeno de la disipación, y la única solución a este problema era aumentar la intensidad de la corriente, aumentando así los costos y el desperdicio de energía, por lo que este método dejaba de ser eficiente.

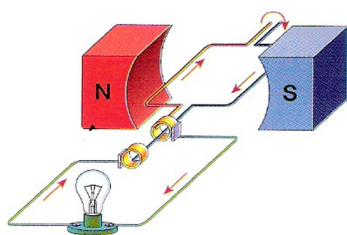


Figura 1: Generador de CA

En 1888, Nikola Tesla presentó el primer prototipo de motor de inducción, un motor de corriente alterna que se basa en la Ley de Inducción de Faraday y que supuso un gran cambio en la industria eléctrica que ha perdurado hasta la actualidad. Esto dio lugar a la conocida como guerra de las corrientes, ya que Tesla respaldaba las centrales de corriente alterna y Thomas Alva Edison, dueño del monopolio de centrales eléctricas en aquel momento, quería mantener la corriente continua, puesto que cambiar a la alterna suponía grandes pérdidas para su negocio.

La idea de Nikola Tesla no fue del todo respaldada en aquellos tiempos. Sin embargo, hoy en día la corriente alterna es la utilizada mundialmente, ya que nos permite elevar la tensión y distribuirla largas distancias sin ocasionar pérdidas significativas, solucionando así el antiguo problema de la corriente continua.

## 3. Fundamento teórico

### 3.1. La corriente alterna

La corriente alterna es una corriente eléctrica donde las cargas eléctricas cambian el movimiento de manera periódica ya que se invierte la polaridad. Este tipo de corriente se genera mediante generadores de corriente alterna, que se basan en el principio de inducción magnética y de los cuales el más simple es el que podemos ver en la Fig. 1.

¿Cómo funcionan este tipo de generadores? <sup>1</sup>

Como podemos ver en la Fig. 1 el generador consiste en una espira que gira en el interior de un campo magnético. Al girar la espira el flujo de campo magnético que atraviesa esta varía por lo que según la Ley de Faraday se inducirá una fem en la espira:

$$\varepsilon = -\frac{d\phi_B}{dt} \quad (1)$$

Donde  $\phi_B$  es el flujo magnético que atraviesa la espira y que podemos calcular con la expresión:

$$\phi_B = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S} \quad (2)$$

Resolviendo esto y teniendo en cuenta que la espira gira a una velocidad angular  $\omega = cte$  obtenemos que la fem inducida en la espira será:

$$\varepsilon = \omega B S \sin(\omega t) \quad (3)$$

,donde  $S$  es el área de la espira y  $B$  el valor del campo magnético. Y como estos valores son constantes podemos escribir:

$$\varepsilon = V_{max} \sin(\omega t) \quad (4)$$

$V_{max}$  será la amplitud del voltaje del generador. Además, como podemos ver esta fem variará sinusoidalmente con el tiempo alcanzando su valor máximo cuando el flujo es mínimo, es decir, el campo magnético está en el plano de la espira, y es nula cuando  $\omega t = 0$  ó  $\pi$ , es decir, cuando el campo magnético es perpendicular al plano de la espira.

En los extremos de la espira se colocan unos anillos que giran con ella y si conectamos a estos, por ejemplo una bombilla, veremos como esta se ilumina, siendo mayor su brillo si la espira gira con mayor velocidad, por lo que ya tenemos nuestro generador de corriente alterna.

Ahora que ya hemos visto como funcionan los generadores de c.a. podemos pasar a ver como se comportan los componentes típicos de un circuito con este tipo de corriente.

## 3.2. Componentes eléctricos en circuitos de CA

### 3.2.1. Resistencias

Las resistencias son un tipo de componente eléctrico que se opone al paso de la corriente. Están fabricadas con materiales resistentes a la electricidad como puede ser el carbón y son imprescindibles en un circuito eléctrico ya que evitan sobrecargas eléctricas.

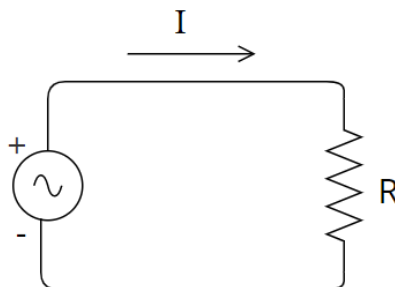


Figura 2: Generador de CA en serie con una resistencia

---

<sup>1</sup>Cuestión 1

Si conectamos una resistencia en serie aun generador de c.a. ,como podemos ver en la figura, tenemos que según la Ley de Ohm el voltaje en la resitencia será  $V_R = RI$ . Si aplicamos la regla de las mallas de Kirchoff tenemos que:

$$\varepsilon - V_R = 0 \quad (5)$$

por lo que la corriente en la resistencia será:

$$I_R = \frac{V_{max}}{R} \text{sen}(\omega t) \quad (6)$$

Por lo tanto la amplitud de la intensidad en este circuito será:

$$I_{R,max} = \frac{V_{max}}{R} \quad (7)$$

Y como podemos ver la corriente que pasa por la resistencia está en fase con la fem de la fuente.

### 3.2.2. Condensadores

Los condensadores son dispositivos que se encargan de almacenar energía eléctrica que reciben durante un periodo de carga para despues ceder esta misma en un proceso de descarga. Están compuestos por dos placas conductoras separadas por un material dieléctrico que, cuando se someten a una diferencia de potencial, adquieren una carga positiva en una de ellas y negativa en la otra, siendo esta carga proporcional a la diferencia de potencial entre las placas del condensador:

$$Q = CV_C \quad (8)$$

La constante de proporcionalidad  $C$  se dice que es la capacidad del condensador. Esta se mide en Faradios, siendo 1F la capacidad de un condensador cuyas placas adquieren una carga de 1 culombio cuando este es sometido a una diferencia de potencial de 1V.

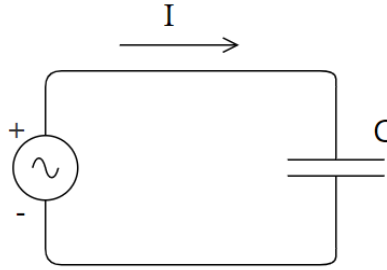


Figura 3: Generador de CA en serie con un condensador

Si conectamos en serie una fuente de corriente alterna con un condensador y aplicamos la regla de las mallas de Kirchoff obtenemos que:

$$\varepsilon - V_C = 0 \quad (9)$$

Además, teniendo en cuenta que  $I = \frac{dQ}{dt}$  y la ec.(7) tenemos que la intensidad del circuito será:

$$I_C = \omega CV_{max} \cos(\omega t) = \omega CV_{max} \text{sen}(\omega t + \frac{\pi}{2}) = I_{C,max} \text{sen}(\omega t + \frac{\pi}{2}) \quad (10)$$

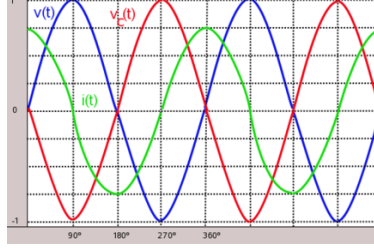


Figura 4: Representación tensiones y corriente en un condensador

En este caso podemos ver que la corriente del circuito va  $\frac{\pi}{2}$  adelantada respecto al voltaje. Esto se debe a que, como podemos ver en la Fig. 4 inicialmente el condensador está descargado, por lo que las cargas empiezan a circular por el circuito y cuando el potencial alcanza su máximo el condensador ya está completamente cargado y entonces la corriente es 0. A partir de ahí el condensador empieza a descargarse, por lo tanto la tensión de este disminuye hasta descargarse completamente, alcanzando la intensidad su máximo valor (negativo) y comienza de nuevo el proceso de carga del condensador.

Al igual que antes, tenemos la intensidad máxima  $I_{C,max} = \omega C V_{max}$ . Además, el condensador ofrece una resistencia al paso de la corriente que llamamos **reactancia capacitiva** y que podemos obtener comparando  $I_{C,max}$  con  $I_{R,max}$ :

$$X_C = \frac{1}{\omega C} \quad (11)$$

Por lo que podemos describir la amplitud de la intensidad en función de esta:

$$I_{C,max} = \frac{V_{max}}{X_C} \quad (12)$$

### 3.2.3. Inductores

Los inductores o bobinas inductoras son componentes eléctricos que se oponen a los cambios bruscos de corriente y que almacenan energía en un campo magnético cuando la corriente fluye a través de ellos.

Esto se debe a que cuando la corriente pasa por la bobina se genera un campo magnético variable que, por la Ley de Faraday (1), inducirá una fem en el circuito que según la Ley de Lenz se opondrá a la causa que la produce, es decir, se opondrá a la fem de la fuente, por lo que el inductor frenará el flujo de la corriente en el circuito, haciendo que el generador tenga que realizar un trabajo para que la corriente pase a través de la bobina.

Además, en los inductores existe una relación entre el flujo magnético y la intensidad de corriente cuya constante de proporcionalidad llamamos **inductancia**:

$$\phi_B = LI \quad (13)$$

Aplicando la Ley de Faraday podemos calcular la fem inducida en el circuito:

$$V_L = \frac{d\phi_B}{dt} = L \frac{dI}{dt} \quad (14)$$

La bobina almacenará energía en forma de campo magnético cuando aumente la intensidad de corriente, devolviéndola cuando esta disminuya.

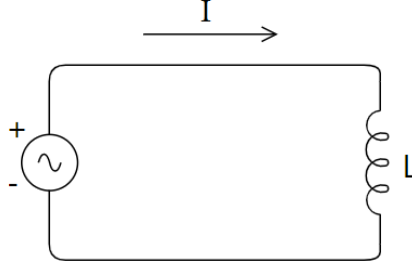


Figura 5: Generador de CA en serie con un inductor

Si conectamos ahora un inductor en serie con una fuente de corriente alterna y aplicamos la Regla de las mallas de Kirchoff:

$$\varepsilon - V_L = 0 \quad (15)$$

Lo que quiere decir que, considerando una bobina ideal donde no existen perdidas de cargas, existe en ella una caída de tensión. Sustituyendo e integrando podemos obtener el valor de la intensidad que circula por el inductor:

$$I_L = \frac{V_{max}}{\omega L} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) \quad (16)$$

En este caso la intensidad de corriente se retrasa  $\frac{\pi}{2}$  respecto del voltaje, ya que cuando el voltaje empieza a aumentar el inductor genera un fem contraria al aumento del flujo y cuando el voltaje llega a su máximo y empieza a disminuir el inductor se opone a este cambio por lo que la corriente cambia de negativa a positiva y por lo tanto, se mantiene desfasada  $\frac{\pi}{2}$  respecto del voltaje.

Al igual que en los casos anteriores podemos definir el valor máximo de la corriente:

$$I_{max} = \frac{V_{max}}{\omega L} \quad (17)$$

De la misma forma que el condensador un inductor ofrece una resistencia al paso de la corriente, y recordando la Ley de Ohm para CC ( $V = RI$ ) podemos definir la **reactancia inductiva** como:

$$X_L = \omega L \quad (18)$$

obteniendo así:

$$I_{max} = \frac{V_{max}}{X_L} \quad (19)$$

Como vemos la reactancia inductiva o resistencia efectiva aumenta si aumenta la frecuencia, lo que concuerda con la teoría ya que mayor velocidad supone un cambio más rápido lo que provoca que la respuesta sea mayor.

Por lo tanto, hemos visto que si conectamos un generador de corriente alterna a los componentes eléctricos vistos, la corriente que circula por ellos sigue siendo sinusoidal, a pesar de que en varios de ellos esta corriente se desfasa respecto a la corriente.

### 3.3. Circuitos RLC

Ahora vamos a estudiar el comportamiento de un circuito RLC cuando le conectamos una fuente de c.a.. Un circuito RLC no es más que un circuito que contiene resistencias, inductores y condensadores.

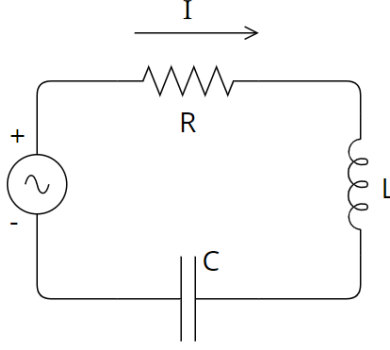


Figura 6: Circuito RLC en serie con un generador de c.a.

En nuestro caso vamos a estudiar un circuito RLC en serie cuyos componentes van a ser un generador de c.a., una resistencia, un inductor y un condensador como podemos ver en la Fig. (6).

Si aplicamos la regla de Kirchoff como hemos en los casos por separado obtenemos lo siguiente:

$$\varepsilon - V_R - V_C - V_L - IR_L = 0 \quad (20)$$

donde  $V_i$  son los voltajes de cada componente,  $\varepsilon$  es la fem proporcionada por la fuente y  $IR_L$  es la resistencia interna del inductor. Si sustituimos las ecuaciones que hemos obtenido en el estudio de los componentes obtenemos:

$$V_{max} \sin(\omega t) - IR - \frac{Q}{C} - L \frac{dI}{dt} - IR_L = 0 \quad (21)$$

Como  $I = \frac{dQ}{dt}$  podemos reescribir la ecuación en función de la carga del condensador, obteniendo:

$$L \frac{d^2 Q}{dt^2} + (R + R_L) \frac{dQ}{dt} + \frac{Q}{C} = V_{max} \sin(\omega t) \quad (22)$$

Si observamos la ecuación podemos ver que presenta similitud con la ecuación de movimiento de una masa fija a un muelle sometida a un movimiento armónico forzado y amortiguado. Así que analicemos este análogo mecánico a ver que conclusiones podemos extraer para nuestro circuito.

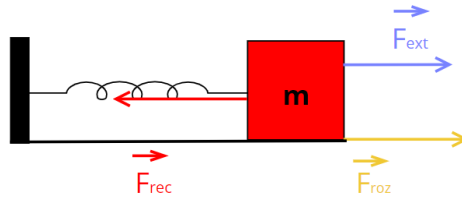


Figura 7: Oscilador armónico amortiguado y forzado

Como podemos ver en la fig.(7) ,vamos a analizar el movimiento de una masa fija a un muelle que se mueve en el eje x. Las fuerzas que van a actuar sobre ella van a ser la fuerza ejercida por el muelle  $F_{rec} = -kx$  donde  $k$  es la constante elástica del muelle, la fuerza de rozamiento proporcional a la velocidad  $F_{roz} = -\gamma v$  y una fuerza externa de la forma  $F_{ext} = F_{max} \sin(\omega t)$

Aplicando al sistema la segunda ley de Newton tenemos:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -kx - \gamma \frac{dx}{dt} + F_{max} \sin(\omega t) \quad (23)$$



Al resolver esta ecuación obtenemos la elongación del muelle en función del tiempo:

$$x(t) = e^{-\gamma t/2m} (c_1 e^{i\omega_1 t} + c_2 e^{-i\omega_1 t}) + \left( \frac{F_{max}/m}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + \gamma^2 \omega^2/m^2} \right) \text{sen}(\omega t - \phi) \quad (24)$$

,donde  $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$  es la frecuencia propia del oscilador.

Como podemos ver la ecuación (24) esta compuesta por 2 términos. El primero de ellos representa los efectos transitorios y determina el comportamiento del sistema en los instantes iniciales. Mientras que el segundo representa los efectos estacionarios que se mantienen indefinidamente. Por lo tanto a tiempos grandes este primer término desaparecerá y la ecuación de movimiento quedará:

$$x(t) = A \text{sen}(\omega t - \phi) \quad (25)$$

donde  $A$  es la amplitud de las oscilaciones y  $\phi$  el desfase respecto de la fuerza aplicada, verificando:

$$A = \frac{F_{max}/m}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + \gamma^2 \omega^2/m^2}} \quad (26)$$

$$\tan \phi = \frac{\gamma \omega}{m(\omega_0^2 - \omega^2)} \quad (27)$$

Con esto podemos ver que cuando aplicamos una fuerza oscilante a una masa fija a un muelle esta oscilará. Además, en el caso de que la frecuencia  $\omega$  sea igual a la frecuencia propia del oscilador  $\omega_0$  la amplitud de las oscilaciones se maximizará, lo que es conocido como **resonancia**.

A continuación, vamos a aplicar a nuestro circuito RLC lo que hemos visto en el ejemplo mecánico.

Como hemos visto que las ecuaciones diferenciales son análogas, la solución para el circuito también tendrá una solución estacionaria de la forma:

$$Q(t) = Q_{max} \text{sen}(\omega t - \phi) \quad (28)$$

donde la amplitud y el desfase serán:

$$Q_{max} = \frac{V_{max}}{\sqrt{L^2(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (R + R_L)^2 \omega^2/m^2}} \quad (29)$$

$$\tan \phi = \frac{(R + R_L)\omega}{L(\omega_0^2 - \omega^2)} \quad (30)$$

Como podemos ver las resistencias del circuito  $(R + R_L)$  corresponden al término de amortiguamiento del sistema mecánico. Además, podemos definir también para nuestro caso la frecuencia propia de oscilación  $\omega_0$  y, recordando que  $I = dQ/dt$ , podemos determinar la corriente  $I$  que circulará por el sistema obteniendo:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (31)$$

$$I = \omega Q_{max} \cos(\omega t - \phi) \quad (32)$$

Como hemos hecho en los casos individuales del condensador y el inductor, podemos definir para nuestro circuito una resistencia efectiva que llamaremos **impedancia** y que vendrá dada por:

$$Z = \sqrt{\left(\frac{1}{\omega C} - \omega L\right)^2 + (R + R_L)^2} \quad (33)$$

Sustituyendo por la reactancia inductiva y capacitativa obtenemos:

$$Z = \sqrt{(X_C - X_L)^2 + (R + R_L)^2} \quad (34)$$

Por lo tanto, finalmente podemos definir el valor máximo de la intensidad como:

$$I_{max} = \frac{V_{max}}{Z} \quad (35)$$

Esta ecuación es conocida como la **Ley de Ohm generalizada para circuitos de c.a.**.

Además, si le damos valores pequeños a la impedancia podemos ver que la amplitud de la corriente se maximiza, por lo que se está dando el fenómeno de la resonancia como habíamos visto también en el caso del oscilador armónico. La agudeza de la resonancia va a depender del amortiguamiento del sistema, es decir, de la resistencia del circuito y cuanto menor sea esta, mayor y más agudo será el pico de resonancia. En el caso de que no hubiera resistencia la amplitud sería infinita cuando  $\omega = \omega_0$

## 4. Método experimental

Ahora que ya hemos introducido los conceptos necesarios para realizar nuestra práctica podemos pasar a explicar qué vamos a hacer y cómo.

Vamos a dividir nuestra experiencia en 2 partes. Una primera donde estudiaremos por separado el comportamiento de los componentes típicos de un circuito RLC cuando los conectamos en serie con una fuente de corriente alterna y una segunda parte donde estudiaremos un circuito RLC alimentado con un generador de corriente alterna.

### 4.1. Materiales

Los materiales que utilizaremos serán los siguientes:

- Generador de voltaje de tipo sinusoidal de frecuencia variable con voltímetro incorporado HAMEG HM8030
- Multímetro
- Placa de conexiones
- Cables
- Resistencias de  $120 \, \Omega$  y  $470 \, \Omega$
- Condensador de  $0,1 \mu F$
- Bobina de  $35 \, mH$

Además, en la fig.(8) podemos ver una foto de como sería el montaje experimental. Es importante recordar que siempre debemos conectar el amperímetro en serie y el voltímetro en paralelo. Esto se debe a que un amperímetro tiene una resistencia interna muy pequeña, por lo que si lo conectáramos en paralelo esta intensidad sería muy elevada y podría estropear nuestro amperímetro. Por el contrario, un voltímetro tiene una resistencia muy elevada, por lo que para que la medida sea correcta es necesario que pase la suficiente corriente además de que con un voltímetro lo que pretendemos es medir diferencias de potencial entre 2 puntos, por lo tanto será más conveniente la conexión en paralelo.

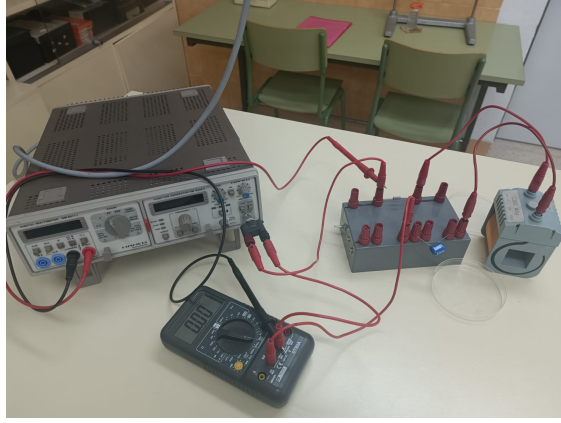


Figura 8: Dispositivo experimental

También es importante saber que la mayoría de los dispositivos que miden voltaje e intensidad están diseñados de tal manera que no miden los valores máximos, sino los valores eficaces de intensidad y voltaje. Sin embargo, todas las fórmulas vistas anteriormente se pueden aplicar a estos valores ya que, para corrientes sinusoidales, están relacionados de la siguiente forma:

$$I_{ef} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} \quad i \quad V_{ef} = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}} \quad (36)$$

## 4.2. Método experimental

### 4.2.1. Parte 1

En esta primera parte vamos a ver como se comportan una resistencia, un condensador y un inductor al conectarlos en serie a un generador de corriente alterna.

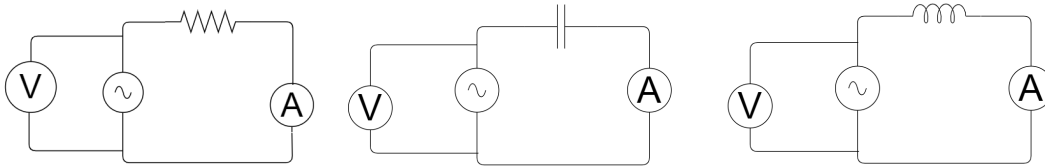


Figura 9: Generador c.a. en serie con distintos componentes

En primer lugar montaremos un circuito con el generador de c.a. y una resistencia de valor  $R = 120\Omega$  como podemos ver en la fig.(15a). A continuación, fijamos la frecuencia en el generador a un valor de  $f = 1kHz$  y variaremos el voltaje de la fuente desde 1V hasta 4V en intervalos de 0.5V e iremos anotando los valores de intensidad que nos mida el amperímetro. Esto lo realizaremos 3 veces para minimizar el error en nuestras medidas.

En segundo y en tercer lugar haremos lo mismo pero intercambiando la resistencia por un condensador de capacidad  $C = 0,1\mu F$  y un inductor de inductancia  $L = 35mH$ .

Para los tres casos representaremos los datos gráficamente y veremos que se verifican las ecuaciones (7),(12) y (19) respectivamente.

### 4.3. Parte 2

Ahora lo que haremos será conectar en serie los tres componentes analizados en el apartado anterior, construyendo así un circuito RLC como el que podemos ver en la fig.(10)

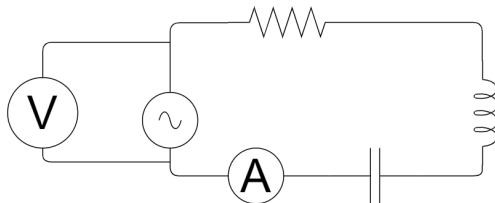


Figura 10: Circuito RLC con generador de c.a.

En este caso vamos a fijar el voltaje de la fuente a 1V y variaremos la frecuencia desde 1kHz hasta 10kHz en intervalos de 1kHz y utilizaremos el amperímetro (en la escala de 20mA) para tomar valores de la intensidad en función de la frecuencia, buscando así la intensidad máxima y la correspondiente frecuencia de resonancia. En nuestro caso calculamos el valor teórico de esta frecuencia y tomamos más datos en torno a esta para poder obtenerla experimentalmente con más precisión. Un dato a destacar es que al variar la frecuencia de la fuente también variaba el voltaje por lo que había que ir cambiándolo manualmente para mantenerlo en 1V.

Repetimos el experimento cambiando la resistencia por otra de  $R = 470\Omega$  para ver como cambia la frecuencia de resonancia del circuito cuando la resistencia varía.

## 5. Resultados

### 5.1. Parte 1

#### 5.1.1. Circuito resistivo

Para el circuito con la resistencia tomamos las siguientes medidas:

$f = 1kHz$	
$V(V)$	$I(mA)$
1,00	7,31
1,50	11,35
2,00	15,12
2,50	18,91
3,00	24,00
3,50	28,07
4,00	32,23

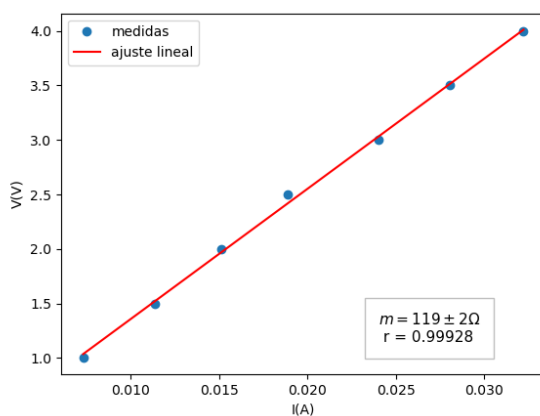


Figura 11: Medidas generador c.a. en serie con resistencia de  $R = 120\Omega$

Al representar estos datos y realizar el ajuste lineal obtuvimos el valor de nuestra resistencia con un error

relativo del 1,7 %:

$$R = 119 \pm 2\Omega$$

### 5.1.2. Circuito con condensador

$f = 1kHz$	
$V(V)$	$I(mA)$
1,00	0,60
1,50	0,90
2,00	1,21
2,50	1,51
3,00	1,83
3,50	2,13
4,00	2,43

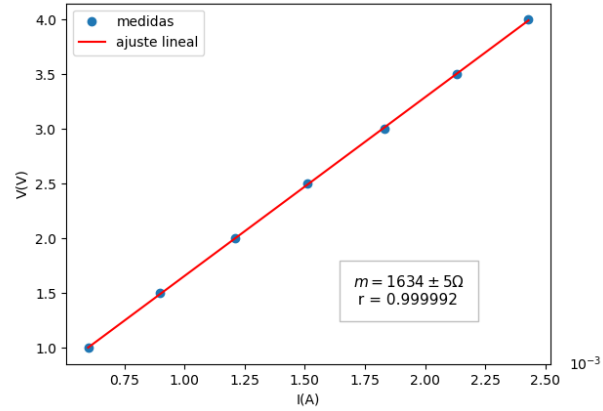


Figura 12: Medidas generador c.a. en serie con condensador de  $C = 0,1\mu F$

Al cambiar la resistencia por el condensador y realizar las medidas de la intensidad obtuvimos, tras linealizar, el valor de la reactancia capacitativa del circuito gracias a la ec.(12).

$$X_C = 1634 \pm 5\Omega$$

Para obtener la capacidad del condensador utilizamos la ec.(11) que nos relaciona la capacidad del condensador con la reactancia y obtuvimos:

$$C = 0,0974 \pm 0,0010\mu F$$

con un error relativo del 1,1 %

### 5.1.3. Circuito con inductor

Finalmente al realizar las medidas para el circuito con el inductor obtuvimos los resultados que podemos ver en la fig.(13a), obteniendo una reactancia inductiva de:

$$X_L = 241 \pm 6\Omega$$

Utilizando la ec.(18) llegamos al valor de la inductancia de la bobina:

$$L = 38 \pm 4mH$$

con un error relativo del 10,5 %

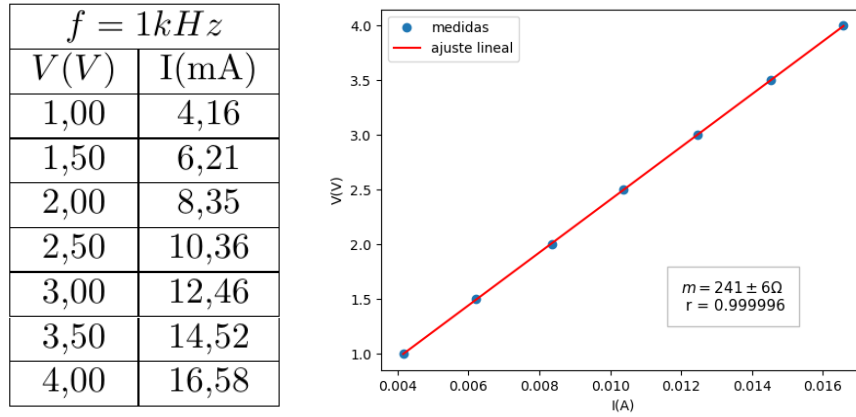


Figura 13: Medidas generador c.a. en serie con inductor de  $L = 35mH$

## 5.2. Parte 2

Al medir la intensidad de la corriente respecto de la frecuencia obtivimos los siguientes resultados para ambas resistencias:

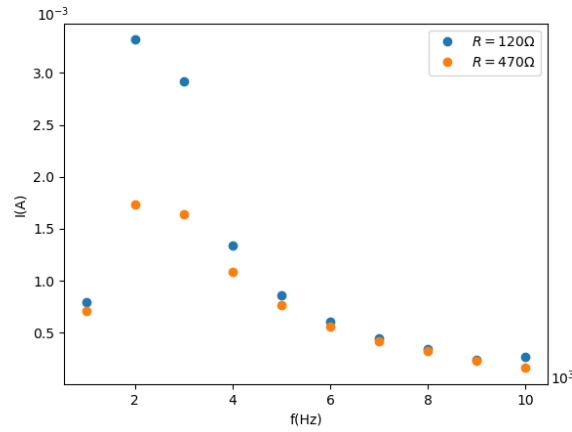


Figura 14: Intensidad de corriente respecto a frecuencia

Para buscar la frecuencia de resonancia primero buscamos el valor teórico mediante la ecuación:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (37)$$

Esta expresión viene de que cuando se da la resonancia en un circuito RLC en serie las reactancias capacitativa e inductiva son iguales.

$$X_C = X_L \Rightarrow 2\pi f_0 L = \frac{1}{2\pi f_0 C} \Rightarrow f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (38)$$

Sustituyendo en esta ecuación nuestros datos llegamos a una frecuencia de resonancia de:

$$f_0 = 2690Hz$$

Teniendo este valor realizamos más medidas en torno a él para obtener la intensidad máxima de nuestros circuitos:

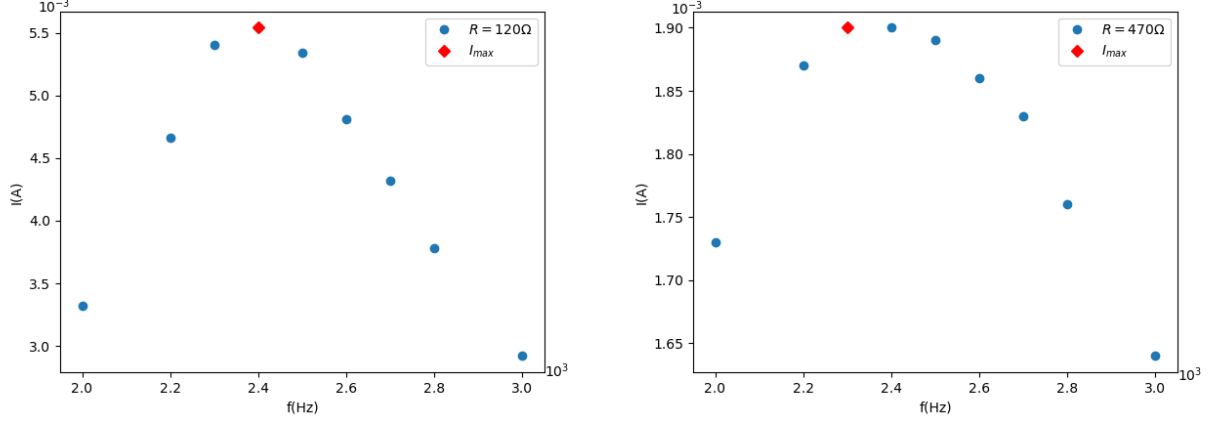


Figura 15: Frecuencia de resonancia circuitos RLC

Como podemos ver en la fig.(15) obtuvimos las siguientes frecuencias de resonancia:

$$R = 120\Omega : f_0 = 2,4 \pm 0,1kHz \rightarrow I_{max} = 5,54mA$$

$$R = 470\Omega : f_0 = 2,3 \pm 0,1kHz \rightarrow I_{max} = 1,90mA$$

## 6. Interpretación y discusión de los resultados

En la primera parte del experimento hemos determinado los valores de la resistencia, la capacidad y la inductancia mediante el ajuste lineal de los datos medidos y, como podemos ver en las figuras (),() y (), el coeficiente de correlación lineal de los tres casos es en torno al 0,999 lo que quiere decir que en los tres casos existe una relación lineal entre el voltaje y la intensidad.

En el caso de la resistencia hemos obtenido un valor de  $R = 119 \pm 2\Omega$  que comparándolo con el valor nominal que hemos determinado para la resistencia mediante el código de colores., es un valor completamente aceptable y hemos comprobado que se verifica la ecuación (7)

En el caso del condensador de capacidad  $C = 0,1\mu F$  hemos obtenido un valor para  $C$  de  $C = 0,0974 \pm 0,0010\mu F$ , verificando la ecuación (12). Sin embargo, aún siendo la medida bastante precisa ya que su error relativo no se aleja mucho del 1%, vemos que súmandole el error nuestro resultado no entra en el valor aceptado.

Por último, para el caso del inductor también vemos que se verifica la ec.(19), obteniendo un valor para la inductancia de  $L = 38 \pm 4mH$  y, a pesar de ser la medida menos precisa de las 3 nuestro valor para L entra en rango del valor aceptado.

En la segunda parte hemos obtenido la frecuencia de resonancia de dos circuitos RLC con distintas resistencias. Teóricamente ambas frecuencias deberían darnos igual ya que, como podemos ver en la ec.(37) la frecuencia de resonancia depende únicamente de la inductancia y la capacidad. Sin embargo, nos da  $2,3y2,4kHz$  para las resistencias de  $470\Omega$  y  $120\Omega$ , respectivamente y el valor teórico no se encuentra en el margen de error de estos resultados. Esto se puede deber a que existen varias fuentes de error como por ejemplo, el hecho de que al variar la frecuencia también variaba el voltaje.

Además, podemos apreciar bien el papel que hacen las resistencias, ya que para la resistencia de mayor valor tenemos que la intensidad máxima que alcanza es de 1,9mA mientras que con la más pequeña se alcanzan entorno a los 5mA.

Para terminar podemos comprobar si se verifica la Ley de Ohm generalizada para circuitos de c.a.(ec.(35)) En primer lugar hallamos la impedancia (Z) para ambas resistencias con la ec.(34):

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

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

Sabemos que  $I_{max} = 5,54mA$  para la resistencia de 120Ω, por lo que utilizando la ec.(35) podemos hallar el voltaje:

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

Y para la resistencia de 470Ω, 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  $V = 1V$ , podemos concluir que sí se verifica nuestra ecuación.

## 7. Conclusiones

En general podemos decir que nuestro experimento ha salido bien ya que hemos podido verificar todas las ecuaciones expuestas en el marco teórico. Además, hemos visto que la corriente alterna a través de los componentes de un circuito RLC es también sinusoidal y hemos podido observar el fenómeno de la resonancia. También hemos visto que existe un análogo de la Ley de Ohm para la corriente alterna.

En cuanto a errores podemos ver que, aunque en algunos casos no estaban dentro del rango, los resultados obtenidos eran bastante similares a los reales. Siempre podremos realizar mejores medidas comprando instrumentos más precisos o realizando más medidas para hacer tratamiento estadístico de los datos.

En conclusión, hemos visto como funcionan los circuitos de corriente alterna y esta práctica nos ha ayudado a recordar cosas básicas de circuitos al igual que a manejarnos mejor con el montaje de estos.

## 8. Cuestiones

En este apartado nos dedicaremos a resolver algunas de las cuestiones planteadas durante la práctica para profundizar un poco más en algunos conceptos.

**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.*

Hoy en día se utilizan altas tensiones para distribuir la energía ya que son mucho más eficientes que las líneas de baja tensión. Esto se debe a que:

$$P = V \cdot I \tag{39}$$

Por lo tanto, si tomamos voltajes altos podemos disminuir la intensidad y transmitir la misma cantidad de potencia, lo que permite también utilizar conductores de menos calibre.

Y por esto mismo se utiliza la corriente alterna, ya que al ser fácil de transformar en voltajes más altos o más bajos nos permite reducir la corriente, minimizando así las pérdidas de energía por la resistencia de los conductores y por lo tanto reduciendo el coste, cosa que no es posible con la corriente continua.



**Cuestión 3:** *Comenta algunas aplicaciones tecnológicas de los circuitos de corriente alterna.*

Los circuitos de corriente alterna tienen una gran variedad de aplicaciones tecnológicas. Por ejemplo, la iluminación en nuestras casas se alimenta de la corriente alterna que viene generada y distribuida desde las centrales eléctricas.

Este tipo de corriente también se utiliza en los cargadores inalámbricos, ya que estos no son más que circuitos de corriente alterna resonantes sintonizados a la misma frecuencia, de tal manera que se puede transmitir la energía de uno a otro sin necesidad de cables.

También hay que tener en cuenta que desde el descubrimiento de la corriente alterna esta se utiliza para montar todo tipo de circuitos en los laboratorios, por lo que esta también es muy importante en la investigación científica.

**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.

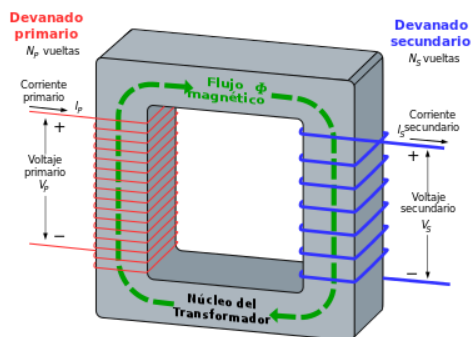


Figura 16: Esquema de un transformador

La fig.(16) 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.

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 el efecto Joule en las pequeñas resistencias de ambos devanados o en las espiras de corriente dentro del núcleo y por la histéresis <sup>2</sup> del núcleo de hierro.

---

<sup>2</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.

Existen muchas aplicaciones para los transformadores así que hablaremos de las más importantes. 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.

Los transformadores también se utilizan en la mayoría de electrodomésticos y aparatos electrónicos, ya que normalmente trabajan a tensiones de un valor inferior al suministrado por la red por lo que es necesario reducirla. 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.

En conclusión los transformadores son unos dispositivos muy necesarios para hacer posible nuestra vida día a día y existen miles de usos para estos.

**Cuestión 5:** *Discute algunas aplicaciones de los fenómenos de resonancia en circuitos de corriente alterna.*

Ahora que hemos estudiado lo que es la resonancia podemos pasar a hablar un poco de sus aplicaciones en los circuitos de corriente alterna. Estas aplicaciones son bastante amplias así que hablaremos sobre todo de las más cercanas a nosotros en nuestro día a día.

En primer lugar podemos hablar de los circuitos sintonizados. Estos son un tipo de circuitos resonantes, ya sean en serie o en paralelo, con una antena que se ajusta para recibir señales de una frecuencia específica pudiendo sintonizar así circuitos de radio o televisión.

Al igual que se pueden recibir frecuencias específicas, con los circuitos resonantes también podemos medir la frecuencia, ya que la frecuencia de resonancia del circuito es igual a la frecuencia de la señal de entrada e incluso podemos generarla.

Además, los circuitos con resonancia se pueden utilizar para amplificar señales de corriente alterna ya que, como ya sabemos, la impedancia del circuito es menor en la frecuencia de resonancia.

En resumen, la resonancia en los circuitos de c.a. tiene muchas aplicaciones útiles que nos rodean en nuestro día a día y nos permiten disfrutar de cosas como escuchar una canción en la radio o ver las noticias en la tele.

## 9. Agradecimientos

Para terminar, agradecer a mi compañero Josema por su participación activa como pareja de laboratorio y también a los profesores por ayudarnos en el laboratorio.

## 10. Bibliografía

### Referencias

- [1] <https://solar-energia.net/electricidad/corriente-electrica/corriente-alterna/historia>
- [2] <http://www.laenergiadelcambio.com/corriente-alterna-vs-corriente-continua/>
- [3] <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/electromagnet/induccin/generador/generador.htm>
- [4] <https://electronicaonline.net/componentes-electronicos/inductor/>

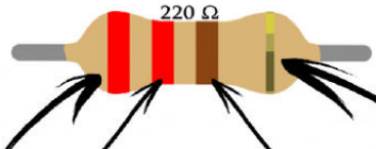
## 11. Apéndices

### 11.1. Regla de Kirchoff

La regla de Kirchoff de las mallas enuncia que la suma de todas las tensiones en una malla es 0. Siendo una malla una trayectoria cerrada donde se pasa por cada elemento del circuito una única vez.

### 11.2. Código de colores resistencias

El código de colores que se emplea para identificar el valor de las resistencias es el siguiente:



Color	Banda 1	Banda 2	Banda 3 (multiplicadora)	Tolerancia
Negro	0	0	x1	
Café	1	1	x10	1%
Rojo	2	2	x100	2%
Naranja	3	3	x1000	
Amarillo	4	4	x10000	
Verde	5	5	x100000	0.5%
Azul	6	6	x1000000	0.25%
Morado	7	7	x10000000	0.10%
Gris	8	8	x100000000	0.05%
Blanco	9	9	x1000000000	

Dorado 5%  
Plata 10%

### 11.3. Tablas de datos

#### 11.3.1. Parte 1

R = 120 ohm; f = 1kHz					C = 0,1 microfaradios; f = 1kHz					L = 35mH; f = 1kHz				
V (volts)	I1 (mA)	I2	I3	media	I4	I5	I6	media		I7	I8	I9	media	
1	7,65	7,13	7,15	7,31	0,60	0,60	0,60	0,60		4,20	4,15	4,12	4,16	
1,5	11,32	12,01	10,71	11,35	0,91	0,89	0,91	0,90		6,30	6,18	6,15	6,21	
2	15,11	15,93	14,33	15,12	1,22	1,19	1,21	1,21		8,31	8,32	8,41	8,35	
2,5	18,86	20,00	17,88	18,91	1,52	1,50	1,52	1,51		10,44	10,33	10,30	10,36	
3	23,80	24,10	24,10	24,00	1,84	1,82	1,82	1,83		12,58	12,39	12,42	12,46	
3,5	27,80	28,20	28,20	28,07	2,15	2,12	2,12	2,13		14,64	14,47	14,44	14,52	
4	32,20	32,20	32,30	32,23	2,46	2,40	2,43	2,43		16,71	16,51	16,52	16,58	

#### 11.3.2. Parte 2

R= 120; V=1V		R= 470; V=1V	
f	I	f	I
1	0,79	1	0,71
2	3,32	2	1,73
2,2	4,66	2,2	1,87
2,3	5,4	2,3	1,9
2,4	5,54	2,4	1,9
2,5	5,34	2,5	1,89
2,6	4,81	2,6	1,86
2,7	4,32	2,7	1,83
2,8	3,78	2,8	1,76
3	2,92	3	1,64
4	1,34	4	1,09
5	0,86	5	0,77
6	0,61	6	0,56
7	0,45	7	0,42
8	0,34	8	0,32
9	0,24	9	0,23
10	0,17	10	0,16

### 11.4. Cálculo de errores

Para calcular los errores del voltímetro y el amperímetro hemos supuesto una distribución triangular y por lo tanto su error será:

$$\epsilon = \frac{\epsilon_{inst.}}{\sqrt{3}}$$

Los errores de los resultados extraídos por ajuste lineal los hemos extraído del programa SciDavis y los de la capacidad del condensador y la inductancia los hemos calculado por propagación de errores de la siguiente manera:

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

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

Por último calculamos el error relativo:

$$\epsilon_{rel} = \frac{\epsilon_x}{|x|}$$