

# Estudio de un circuito RLC en serie

Daniel Vázquez Lago

15 de abril de 2023

# Índice

<b>1. Objetivos</b>	<b>3</b>
<b>2. Introducción</b>	<b>3</b>
<b>3. Material</b>	<b>5</b>
<b>4. Procedimiento experimental</b>	<b>6</b>
<b>5. Análisis de datos</b>	<b>6</b>
5.1. Parte 1 . . . . .	7
5.2. Parte 2 . . . . .	8
5.2.1. Parte 2.1. Cálculo de $ Z^2 $ . . . . .	8
5.2.2. Parte 2.2. Cálculo de $\tan(\phi)$ . . . . .	9
5.3. Parte 3. Análisis teórico. . . . .	11
<b>6. Conclusiones</b>	<b>12</b>
<b>7. Bibliografía</b>	<b>13</b>
<b>8. Datos</b>	<b>15</b>

# 1. Objetivos

En esta práctica trataremos de obtener experimentalmente la curva de impedancia de un circuito RLC en función de la frecuencia, calculando así el módulo y argumento de la impedancia. Además obtendremos el factor de Calidad de nuestro circuito y los parámetros característicos de nuestro circuito (R,L,C,B...). El fin será comparar los resultados con el valor teórico para comprobar así si la teoría de circuitos que estudiamos es una buena aproximación o no de los resultados experimentales.

# 2. Introducción

En un circuito de corriente alterna existen ciertos elementos que modifican el comportamiento de la corriente. Estos elementos son: Resistencia (R), Autoinducción (L) y condensador (C), y el circuito más básico que los contenga se llama circuito RLC (los conecta en serie entre sí). El paso de una corriente alterna por estos genera una respuesta de los mismos que afecta al propio circuito, por ejemplo disipando potencia (resistencia), generando un desfase entre voltaje e intensidad (autoinducción y condensador). Suponiendo un circuito completamente ideal, las respuestas que generan estos elementos son:

- **Resistencia:** disipa potencia y no cambia la fase entre  $I$  y  $V$ . La potencia entre sus bornes vendrá dada por:

$$V_R(t) = \text{Re}[RI_0e^{j\omega t}] \quad (1)$$

- **Autoinducción:** no disipa potencia pero genera un cambio de fase entre  $I$  y  $V$  tal que  $I$  está atrasada  $\pi/2$  la fase respecto  $V$  (o el voltaje está adelantado). Eso significa que:

$$V_L(t) = \text{Re}[Lj\omega I_0e^{j\omega t}] \quad (2)$$

- **Condensador:** no disipa la potencia pero genera un cambio de fase entre  $I$  y  $V$  de tal forma que  $I$  está adelantada una fase de  $\pi/2$  respecto  $V$  (o  $V$  está atrasada). Viene dada por:

$$V_C(t) = \text{Re}\left[\frac{1}{j\omega C}I_0e^{j\omega t}\right] \quad (3)$$

Entonces podemos aplicar la ley de Kirchhoff de mallas para un circuito en serie, ya que la longitud del circuito es muy pequeña y las frecuencias que usamos también (del orden de  $kHz$ ), por lo que:

$$V(t) = V_R + V_L + V_C = \text{Re}\left[RI_0e^{j\omega t} + Lj\omega I_0e^{j\omega t} + \frac{1}{j\omega C}I_0e^{j\omega t}\right] \quad (4)$$

donde podemos agrupar los términos cosenos y senos en un solo “oscilador”, de tal forma que:

$$V(t) = |Z|I_0\cos(\omega t + \phi) \quad (5)$$

que es una relación similar a la ley de Ohm, pero para circuitos de corriente alterna. Antes de continuar voy a permitirme una breve aclaración: esto lo hemos hecho suponiendo que  $I(t) = I_0 \cos(\omega t)$ . Sin embargo realmente es el potencial el que se comporta como  $V(t) = V_0 \cos(\omega t)$  (ya que está dada por un generador, luego es la intensidad la que cambia de fase y de módulo). Aunque a la hora de la verdad no nos importa (es hacer un cambio de variables y ya), tenemos que realmente:

$$I(t) = \frac{V}{Z} = \frac{V_0}{|Z|} \cos(\omega t - \phi) \quad (6)$$

Acabada esta aclaración, definimos la **impedancia** del circuito como el número complejo:

$$Z(\omega) = R + j \left( \omega L - \frac{1}{\omega C} \right) \quad (7)$$

De tal modo que en la ecuación 5 tenemos que:

$$|Z(\omega)| = \sqrt{R^2 + \left( \omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2} \quad \phi = \arg(Z) = \arctan \left( \frac{\omega L - (1/\omega C)}{R} \right) \quad (8)$$

Llamamos al factor que va con el número complejo (responsable del desfase) **reactancia**. Una vez hemos llegado hasta aquí podemos entender el significado físico de la impedancia: es una medida del desfase entre intensidad y voltaje en un circuito RLC, además de darnos una medida de como se relacionan las amplitudes de ambos. En general es una medida de la oposición del circuito a la corriente alterna. Ahora podemos definir los siguientes parámetros:

- **Frecuencia de resonancia:** llamamos frecuencia de resonancia a la frecuencia  $\omega$  tal que no hay desfase. Teóricamente vendrá dado por:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (9)$$

- **Factor de Calidad:** el factor de calidad se define como el cociente entre la energía que se puede almacenar en un circuito RLC y la disipada, por un factor  $2\pi$ . En un circuito RLC viene dado por:

$$Q = \frac{\omega_0 L}{R} \quad (10)$$

- **Banda de paso:** se le llama así a la longitud del intervalo donde la curva de amplitud cae un  $1/\sqrt{2}$  respecto su valor máximo. Viene dado por:

$$B = \frac{\omega_0}{2\pi Q} \quad (11)$$

Como podemos ver existe un gran paralelismo entre lo estudiando con un oscilador armónico forzado y un circuito RLC. Esto es porque la ecuación del circuito viene dada por:

$$V_0 \cos(\omega t) = L \frac{dI}{dt} + \frac{Q}{C} + IR \implies L\ddot{Q} + R\dot{Q} + C^{-1}Q = V_0 \cos(\omega t) \quad (12)$$

### 3. Material

Nuestro material será:

- **Placa RLC:** contendrá una pequeña bobina (autoinductancia  $L$ ), un condensador (capacidad  $C$ ) y una resistencia  $R_T$  que vendrá dada por la suma de la resistencia de la bobina y una resistencia externa. Aunque en la propia placa de RLC no nos vengan dadas las incertidumbres del material, tenemos que el guión nos dice que una tolerancia adecuada para estos valores es una entorno al  $3 \sim 5\%$ . Por lo tanto tomaremos una tolerancia del  $5\%$  para la autoinductancia de la bobina, y una del  $3\%$  para la capacidad del condensador. Las incertidumbres de las resistencias se tomarán con el polímetro. Ver figura 1<sup>1</sup>.
- **Generador de corriente alterna:** nuestro generador de corriente, que aportará un potencial tal que  $V(t) = V_0 \cos(\omega t)$ .
- **Osciloscopio:** nuestro osciloscopio será un “Osciloscopio Siglent SDS 1102CML”. No incluimos todas las incertidumbres que nos da la hoja de especificaciones (ya que las medidas dependen de la escala y otros factores que no conocemos), una incertidumbre razonable será la incertidumbre combinada del  $5\%$  de la medida mas un factor  $0,1V$  o  $2mV$ . Está última solo la usaremos si el voltaje es inferior a  $1V$ , ya que es lo que nos indica el fabricante.
- **Polímetro:** nuestro polímetro no tiene especificaciones exactas. De todos modos aunque no conozcamos la incertidumbre exacta de nuestro fabricante, vamos a usar la incertidumbre que ya conocemos para la mayoría de los polímetros del laboratorio de electromagnetismo. En general una buena aproximación de la incertidumbre será de:

$$s(R) \equiv 0,5\% + 2$$

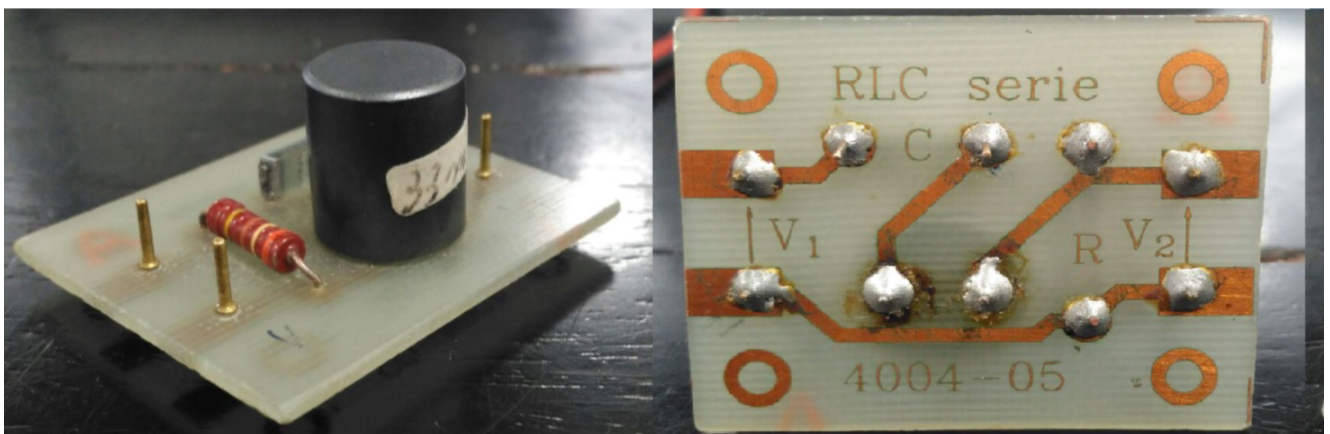


Figura 1: Imagen de nuestra placa RLC

---

<sup>1</sup>Autoría de la foto: Sara Gonzalez, Práctica 2018.

## 4. Procedimiento experimental

Lo primero que haremos nada mas llegar al laboratorio será medir la resistencia de nuestro circuito con un polímetro, para luego calcular algunos valores teóricos como  $w_0$  para poder orientarnos mejor al comenzar a tomar datos.

Una vez tenemos esto lo que haremos será conectar el osciloscopio al generador directamente y luego al circuito RLC, de tal forma que le lleguen dos señales diferentes: una del propio generador ( $V_1$ ), sin desfase, y otra tras desfasarse por culpa del circuito RLC ( $V_2$ ). Seleccionamos una onda sinusoidal en el generador, y lo que haremos es buscar cual es la frecuencia de resonancia experimental, buscando el lugar donde el desfase es cero, y la potencia  $V_2$  es máxima. Podemos comenzar con la teórica para luego ajustar. Todos los datos (las amplitudes de los voltajes, las frecuencias...) las medimos en el osciloscopio. En la siguiente figura se representa el esquema eléctrico. Las flechas  $V_2$  y  $V_1$  representan los bordes que están conectados al osciloscopio.

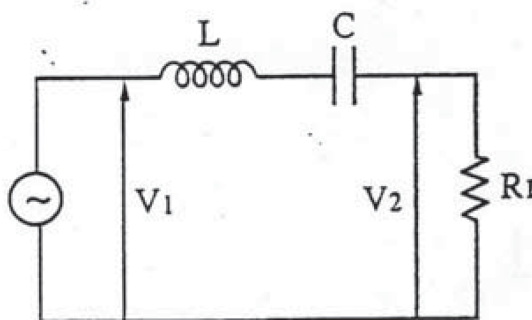


Figura 2: esquema eléctrico. Foto presentada en el guion de la práctica.

A partir de esta frecuencia de resonancia iremos aumentando las frecuencias para encontrar desfases en intervalos de  $5^\circ$ , hasta que llegemos a 10kHz, donde tomaremos valores de 20, 50 y 100kHz. Luego haremos exactamente lo mismo pero bajando las frecuencias, hasta llegar al entorno de 1000Hz, a partir del cual tomaremos 500, 200, 100Hz. En cada uno de estos puntos tomaremos las diferencias de potencial y los desfases para la frecuencia.

Es vital tomar nota de la escala de tiempos que tiene el osciloscopio en cada medida, puesto que tendrá relación con la incertidumbre del desfase, tal y como explicaremos en la sección 5.

## 5. Análisis de datos

En primer lugar vamos a explicar un poco las fuentes de incertidumbres de cada medida que hagamos en esta práctica, luego haremos todos los cálculos explicando paso por paso como vamos obteniendo los datos que buscamos.

La incertidumbre de las resistencias vendrán dadas por la incertidumbre del polímetro, y los voltajes por la incertidumbre del osciloscopio. La frecuencia nos sale en el osciloscopio, con una

gran precisión (hasta 5 decimales). Sin embargo en general oscila mucho este valor, por ello asignaremos una incertidumbre que contenga todas las posibles variaciones de la frecuencia. Está será:

$$s(f) = 0,01\text{kHz} \quad (13)$$

Ahora estudiaremos el dato con mayor incertidumbre (o al menos el que mas fuente tiene): el desfase. El problema del desfase es que tiene varias fuentes de incertidumbre, una procedente de la variación de la lectura del osciloscopio, y otra procedente de como se calcula la incertidumbre del desfase.

Cuando llegamos al laboratorio y tratamos de obtener un dato de desfase para determinada frecuencia, vemos que en la pantalla los datos oscilan bastante, por lo que es imposible decidir cual es el más correcto. Para realizar la toma de datos lo que haremos será lo siguiente: veremos cual es la oscilación, anotando el valor máximo y mínimo que aparecen en la pantalla durante unos 10 segundos. Luego, tomaremos el valor medio entre estos dos (su distribución de frecuencias es gaussiana) y la incertidumbre será la mitad del rango total del intervalo.

Para calcular el desfase, el osciloscopio lo que hace es medir la diferencia de tiempos que hay entre una señal y otra (a), por la frecuencia, de tal modo que:

$$\phi = 2\pi fa \quad (14)$$

Y ahora bien, ¿Cuál es la incertidumbre asociada a cada uno de estos parámetros? La frecuencia ya la hemos mencionado, luego la incertidumbre asociada a  $a$  depende intrínsecamente de la escala que hemos usado para medir el desfase, por eso es sumamente importante anotarla. Esta incertidumbre entonces vendrá dada por:

$$s(a) = \frac{N \cdot \text{escala}}{1000} \quad N = 15 \quad (15)$$

Entonces la incertidumbre total de cada desfase vendrá dada por la incertidumbre combinada. Es importante mencionar que todas los ajustes se han hecho ponderados, usando el módulo de Python `scipy.optimize`.

## 5.1. Parte 1

En este apartado cogeremos los valores teóricos de la resistencia, del condensador y la auto-inductancia, y luego usando las fórmulas previas calcularemos el valor teórico del factor de calidad, la frecuencia de resonancia... Sean los datos:

$$\begin{array}{llll} R_T & = & 345,8 & \Omega \\ C & = & 22,0 & nF \\ L & = & 33,0 & mH \end{array} \quad \begin{array}{ll} s(R_T) & = & 3,6 & \Omega \\ s(C) & = & 1,1 & nF \\ s(L) & = & 1,6 & mH \end{array} \quad (16)$$

Podemos obtener los parámetros de manera teórica:

$$\begin{array}{llll} w_0 & = & 371 \cdot 10^2 & \text{rad/s} \\ f_0 & = & 590 \cdot 10 & \text{Hz} \\ B & = & 166 \cdot 10 & s^{-1} \\ Q & = & 3,54 & \end{array} \quad \begin{array}{ll} s(w_0) & = & 13 \cdot 10^2 & \text{rad/s} \\ s(f_0) & = & 2 \cdot 10 & \text{Hz} \\ s(B) & = & 11 \cdot 10 & s^{-1} \\ s(Q) & = & 0,22 & \end{array} \quad (17)$$

## 5.2. Parte 2

### 5.2.1. Parte 2.1. Calculo de $|Z^2|$

En esta sección vamos a obtener los valores de los parámetros  $C$ ,  $L$  y  $R$  en función de los datos obtenidos. Los datos que hemos obtenido en el procedimiento son los voltajes  $V_1 \equiv V_{in}$ ,  $V_2 \equiv V_R$  y  $\phi$ , asociados a una frecuencia, por lo que tendremos que usar estos datos para obtenerlos. Como sabemos la intensidad que pasa por todo el circuito es la misma, por lo que la intensidad que circula por la resistencia y por el circuito es la misma. Entonces podemos aplicar la ley de Ohm:

$$I = \frac{V_2}{R}; \quad I = \frac{V_1}{Z} \implies Z = \frac{V_2}{V_1} R$$

es decir podemos obtener la impedancia de nuestro circuito para una frecuencia dada si conocemos los voltajes y la resistencia. Como estos datos los conocemos, podemos usar un ajuste de  $Z$  frente a  $w$  para calcular estos valores. Sabemos que:

$$|Z|^2 = L^2 w^2 + \left[ R^2 - \frac{2L}{C} \right] + \frac{1}{C^2 w^2}$$

Entonces podemos realizar el ajuste:

$$|Z|^2 = a_0 \frac{1}{w^2} + a_1 + a_2 w^2 \quad (18)$$

donde claramente:

$$a_0 = \frac{1}{C^2} \quad a_1 = R^2 - \frac{2L}{C} \quad a_2 = L^2 \quad (19)$$

por lo que podemos obtener estos tres parámetros. Para comprobar que el ajuste es bueno, luego con los datos obtenidos veremos si la función es capaz de ajustar la función  $1/|Z|$  con todos los datos. Entonces al hacer el ajuste 3 podemos obtener que:

$a_0 (F^{-2})$	$s(a_0) (F^{-2})$	$a_1 (\Omega^2)$	$s(a_1) (\Omega^2)$	$a_2 (H^2)$	$s(a_2) (H^2)$
$20,89 \cdot 10^{14}$	$0,69 \cdot 10^{14}$	$-29,01 \cdot 10^5$	$-0,52 \cdot 10^5$	$11,12 \cdot 10^{-4}$	$0,32 \cdot 10^{-4}$

Cuadro 1: valores del ajuste 18

Lo que usando las ecuaciones 19 nos lleva a deducir:

$C (nF)$	$s(C) (nF)$	$L (mH)$	$s(L) (mH)$	$R_T (\Omega)$	$s(R_T) (\Omega)$
21,88	0,36	33,35	0,48	383	88

Cuadro 2: parámetros intrínsecos del circuito para el ajuste 18

Con estos valores podemos obtener tanto  $Q$ ,  $B$ ,  $w_0$  y  $f_0$ :

Las regresiones que se pueden ver como en las figuras 3 y 4 le faltan algunos datos extremos, que en la tabla de datos estarán marcados. Esto es porque con algunos datos extremos dada su



$Q$	$s(Q)$	$B$ (kHz)	$s(B)$ (kHz)	$w_0$ (rad/s)	$s(w_0)$ (rad/s)	$f_0$ (kHz)	$s(f_0)$ (kHz)
3,22	0,75	1,83	0,43	$37,02 \cdot 10^3$	$0,81 \cdot 10^3$	5.89	0.13

Cuadro 3: parámetros intrínsecos del circuito para el ajuste 18

altísima incertidumbre, alteran drásticamente la regresión, haciéndola incalculable. Por lo tanto nos hemos visto en la necesidad de no usar algunos datos en la regresión. Además incluimos la figura 5 para que si se puedan ver los todos los datos sin las incertidumbres y además de usar la frecuencia.

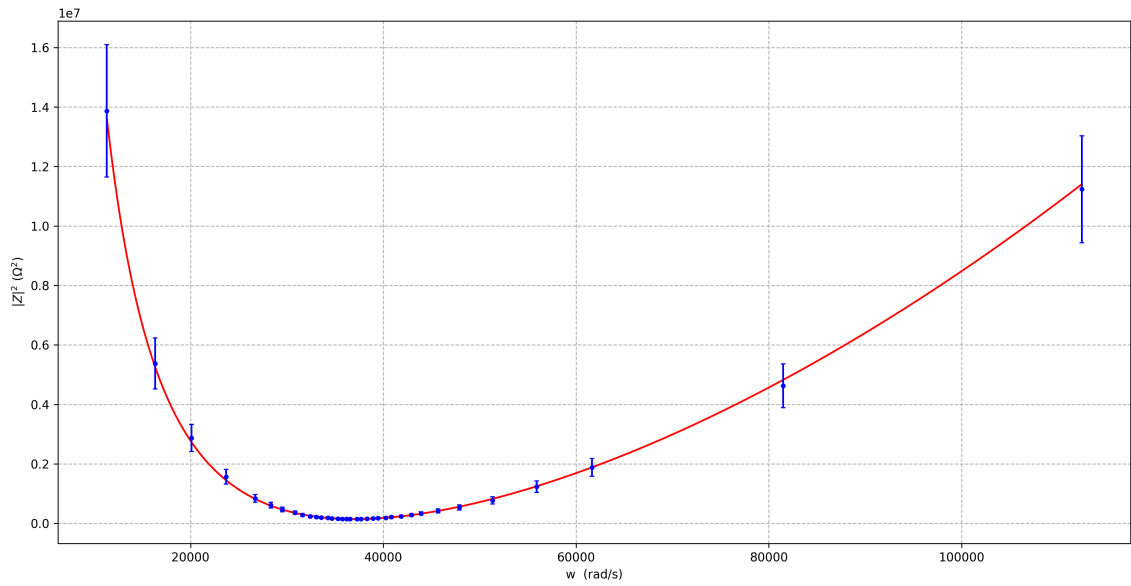


Figura 3: Ajuste a la ecuación 18 de  $|Z|^2$  frente a  $w$ .

### 5.2.2. Parte 2.2. Cálculo de $\tan(\phi)$

Ahora trataremos de obtener  $w_0$  y  $Q$  usando los otros datos que nos faltán: los desfases. Sabemos por la ecuación 8 que  $\tan(\phi)$  se puede escribir como:

$$\tan(\phi) = -\frac{1}{RCw} + \frac{L}{R}w$$

por lo que podemos hacer el ajuste:

$$\tan(\phi) = b_0 \frac{1}{w} + b_1 w \quad (20)$$

donde se puede ver que

$$b_0 = \frac{-1}{RC} \quad b_1 = \frac{L}{R} \quad (21)$$

y por lo tanto:

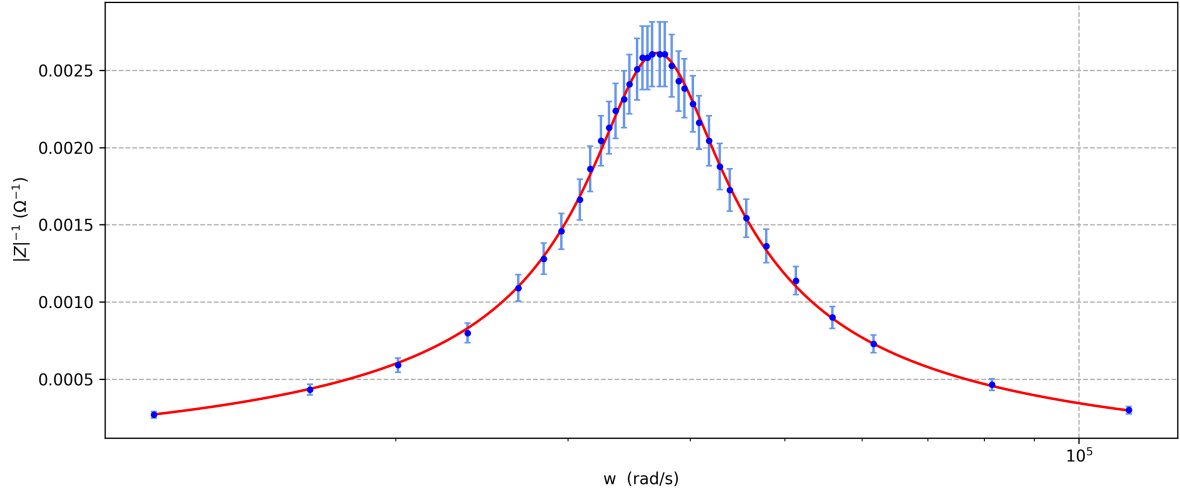


Figura 4: Representación de  $|Z|^{-1}$  frente a  $w$ , con barras de error y escala semi-logarítmica.

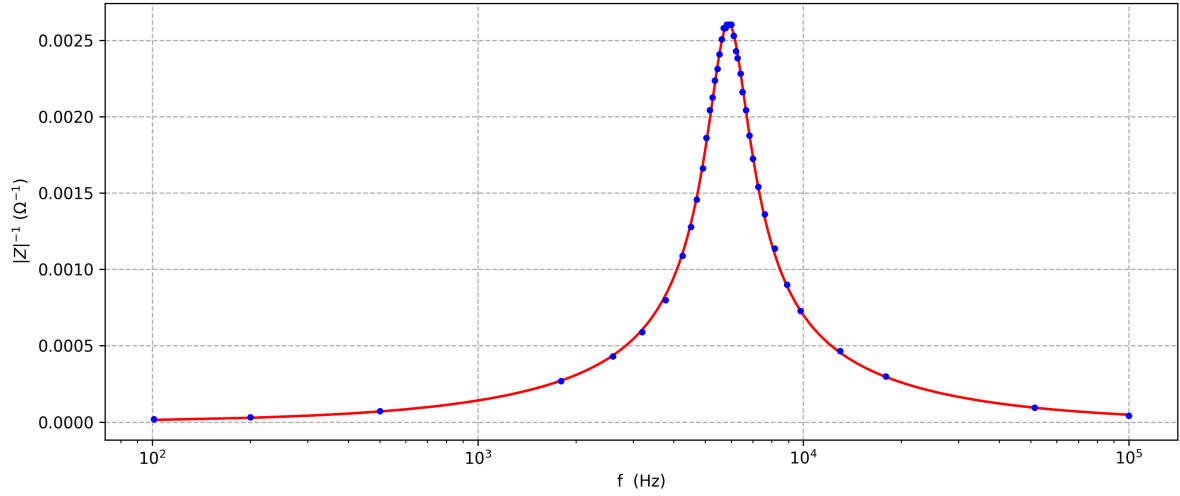


Figura 5: Representación de  $|Z|^{-1}$  frente a  $f$ , sin barras de error y escala semi-logarítmica.

$$w_0 = \sqrt{b_0/b_1} \quad Q = w_0 b_1 \quad (22)$$

Además tras hacer el ajuste veremos si dichos parámetros nos permiten deducir correctamente los valores de  $\phi$ , haciendo un ajuste de  $f$  frente a  $\phi$  y comparándolo con los resultados experimentales (figura 7). Una vez obtenido el ajuste 6 podemos obtener

$b_0$ ( $\Omega^{-1}F^{-1}$ )	$s(b_0)$ ( $\Omega^{-1}F^{-1}$ )	$b_1$ ( $H/\Omega$ )	$s(b_1)$ ( $H/\Omega$ )
$-12,4 \cdot 10^4$	$-2,1 \cdot 10^4$	$9,3 \cdot 10^{-5}$	$1,3 \cdot 10^{-5}$

Cuadro 4: valores del ajuste 20

Usando las ecuaciones 22 podemos obtener directamente:

$Q$	$s(Q)$	$B$ (kHz)	$s(B)$ (kHz)	$w_0$ (rad/s)	$s(w_0)$ (rad/s)	$f_0$ (kHz)	$s(f_0)$ (kHz)
3,39	0,60	1,72	0,36	$36,5 \cdot 10^3$	$4,0 \cdot 10^3$	5.82	0.64

Cuadro 5: parámetros intrínsecos del circuito para el ajuste 20

Al igual que antes a la regresión 6 le faltan algunos datos. Esto es por la misma razón que antes: los datos extremales presentan una elevada incertidumbre y solo complican hacer la regresión. En la figura 7 presentamos todos los datos para que se pueda comprobar si los parámetros son capaces de ajustar aquellos valores que no fueron incluidos:

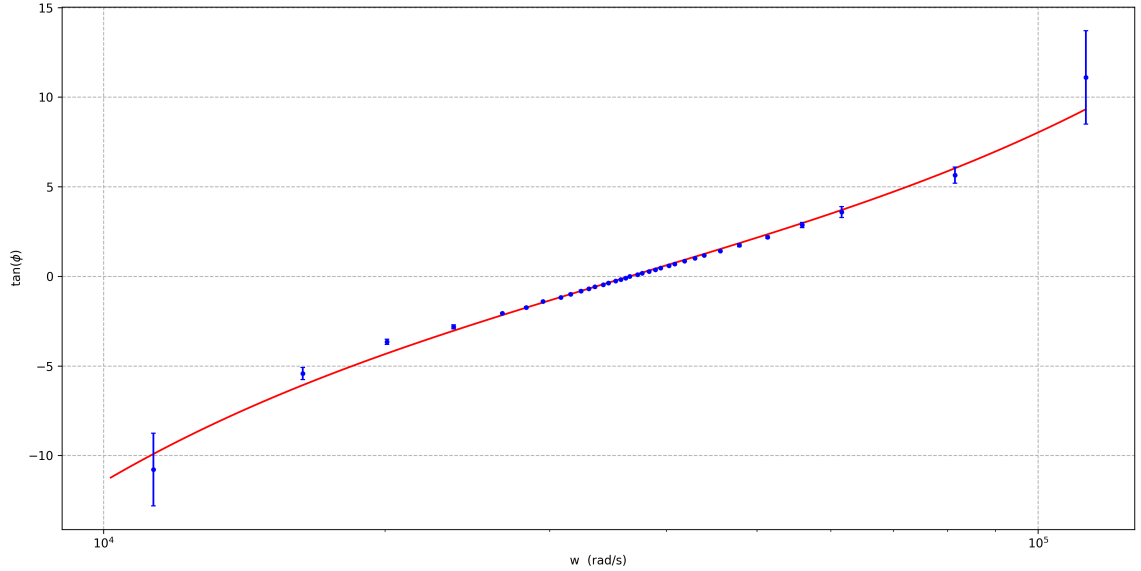


Figura 6: representación y ajuste de  $\tan(\phi)$  frente a  $w$

### 5.3. Parte 3. Análisis teórico.

Ahora vamos a analizar un momento los resultados obtenidos directamente de las medidas del laboratorio  $w_0$ ,  $B$  y  $Q$ . Entonces como ya mencionamos tenemos que  $w_0$  es la frecuencia para la cual el desfase es nulo:

$$w_0 = 36568 \text{ rad/s} \quad s(w_0) = 63 \text{ rad/s} \quad (23)$$

El valor de  $B$  es aquel valor para el cual la amplitud de la señal de entrada decae en relación a  $1/\sqrt{2}$ , o cuando el desfase es igual a  $45^\circ$ . Como no tenemos los datos fijos de  $45^\circ$  y  $-45^\circ$  Hacemos interpolación lineal entre los valores que se encuentran. De aquí podemos obtener finalmente que el ancho de banda experimental es:

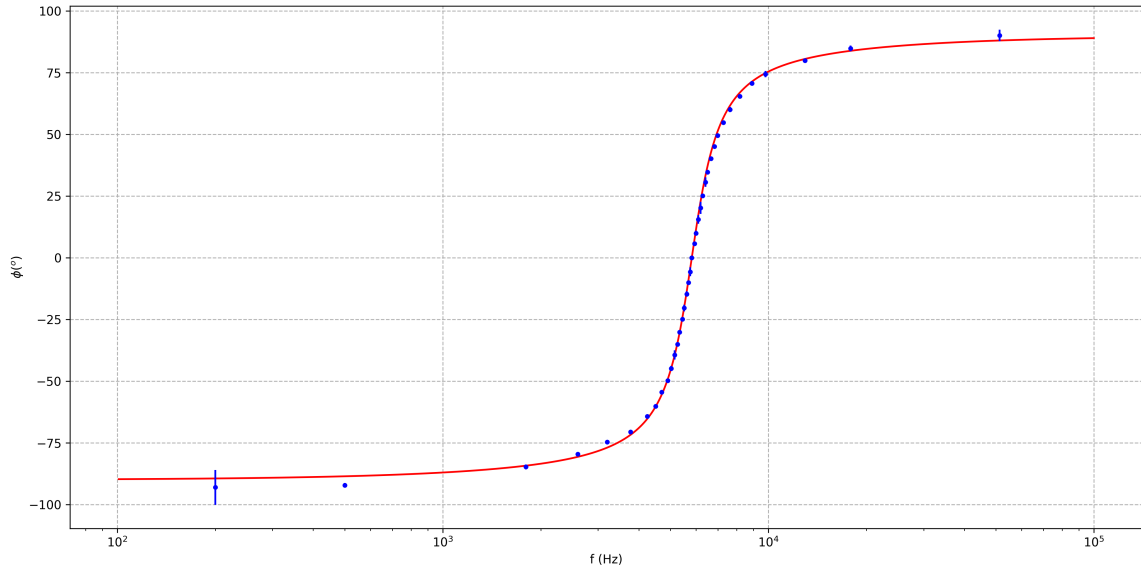


Figura 7: representación y ajuste de  $\phi$  frente a  $f$

$$B = 1791\text{Hz} \quad sB = 41\text{Hz} \quad (24)$$

Por lo tanto podemos obtener que:

$$Q = 3,249 \quad s(Q) = 0,082 \quad (25)$$

Estos son los valores teóricos que podemos medir.

## 6. Conclusiones

En este apartado analizaremos si hemos cumplido el objetivo de esta práctica.

Primero analicemos los datos empíricos, comparando los parámetros teóricos con los parámetros obtenidos haciendo las regresión, para luego estudiar los obtenidos experimentalmente.

Comparamos la resistencia, la capacidad y la auto-inductancia en la tabla 6; y el factor de calidad, frecuencia de corte y ancho de banda en la tabla 7:

	$R (\Omega)$	$s(R) (\Omega)$	$C (nF)$	$s(C) (nF)$	$L (mH)$	$s(L) (mH)$
Parte 1	345,8	3,6	22,00	1,10	33.00	1.65
Parte 2.1	383	88	21,88	0,36	33.35	0.48
Parte 2.2 2	-	-	-	-	-	-
Experimentales	-	-	-	-	-	-

Cuadro 6: comparación de los parámetros intrínsecos del circuito

	$Q$	$s(Q)$	$B$ (Hz)	$s(B)$ (Hz)	$w_0$ (rad/s)	$s(w_0)$ (rad/s)
Parte 1	3,54	0,22	1667	119	37100	1300
Parte 2.1	3,22	0,75	1828	427	37020	810
Parte 2.2	3,39	0,60	1717	359	36500	4000
Experimentales	3,249	0,083	1791	41	36568	63

Cuadro 7: comparación de los parámetros intrínsecos del circuito

Menciono que las cifras significativas están mal en los tres primeros valores de la frecuencia de corte y en el valor del ancho de banda para la parte 2.2. Esto responde únicamente a fines estéticos, solo queremos comparar los datos. En las otras tablas se realizó de manera correcta.

Como podemos ver en la tabla 6 los datos obtenidos mediante las regresiones son sumamente parecidos entre sí, sobretodo las capacidades y las autoinductancias, estando entre sus rangos de incertidumbre. La resistencia sin embargo difiere un poco, lo cual es normal, ya que en el cálculo de la parte 1 solo hemos tenido en cuenta las resistencias del bobinado y la resistencia, sin ver nada respecto los cables, el resto del circuito y el propio osciloscopio, por lo que es normal que aumente un poco. De todos modos se parecen bastante, coincidiendo en el orden, con una diferencia relativa de solo un 10 %. Aunque es demasiado pronto para sacar las conclusiones (aun nos queda analizar los otros resultados) podemos empezar a decir que realmente la teoría de circuitos si es una buena aproximación.

En la tabla 7 ocurre exactamente lo mismo. En este caso tenemos mas valores, que hemos calculado de manera diferente, pero tenemos algo mucho mas significativo: los datos experimentales medidos directamente. Y lo que obtenemos es que los parámetros son muy similares, por lo que realmente si podemos obtener información usando dicha teoría.

Por otra parte sería muy complicado mejorar esta práctica, y de hecho incluir otras fuentes de incertidumbre como las dadas por la inductancia del propio osciloscopio, las dadas por la calibración... sería un proceso largo y tedioso, que sale fuera de lo que se pretende en esta práctica: tener mas fuentes de incertidumbre no nos llevará a rechazar o no la teoría de circuitos, ya que sabemos que esta es solo una aproximación. La verdaderas fuentes de incertidumbre están en la propia forma de entender el problema. Sin embargo esto no nos importa: sabemos que va a existir un error. Lo que nos importa es que si sirve como una primera aproximación.

Además queda demostrado que un circuito RLC actúa como un filtro de señal, ya que toda señal con frecuencia no cercana a la frecuencia de resonancia se destruirá por interferencia destructiva de los desfases del condensador y la bobina.

## 7. Bibliografía

1. **Victor Pardo.** *Apuntes electro II 2016, tema 7.*
2. **Paco Ares.** *Apuntes electro II, 2023, tema 4.*
3. *Guion de prácticas Técnicas II, 2023, Práctica 1.*

Además cabe mencionar a los guiones de Andres Novo, Andrea Ferrer y Sara González para resolver alguna duda puntual. Consultar la página de scipy optimize. <sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup><https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/optimize.html>

## 8. Datos

$f$ (Hz)	$s(f)$ (Hz)	$w$ (rad/s)	$s(w)$ (rad/s)	$V_1$ (V)	$s(V_1)$ (V)	$V_2$ (V)	$s(V_2)$ (V)
100000	10	628318	63	0.1588	0.0099	10.80	0.64
51350	10	322641	63	0.334	0.019	10.16	0.61
17900	10	112469	63	1.040	0.054	10.08	0.60
12970	10	81492	63	1.620	0.083	10.08	0.60
9810	10	61638	63	2.50	0.13	9.92	0.60
8900	10	55920	63	3.06	0.16	9.84	0.59
8170	10	51333	63	3.84	0.19	9.76	0.59
7620	10	47877	63	4.56	0.23	9.68	0.58
7270	10	45678	63	5.12	0.26	9.60	0.58
6990	10	43919	63	5.68	0.29	9.52	0.58
6830	10	42914	63	6.08	0.31	9.36	0.57
6660	10	41846	63	6.56	0.33	9.28	0.56
6500	10	40840	63	6.88	0.35	9.20	0.56
6410	10	40275	63	7.20	0.36	9.12	0.56
6280	10	39458	63	7.52	0.38	9.12	0.56
6200	10	38955	63	7.60	0.38	9.04	0.55
6100	10	38327	63	7.84	0.39	8.96	0.55
6000	10	37699	63	8.00	0.40	8.88	0.54
5930	10	37259	63	8.00	0.40	8.88	0.54
5820	10	36568	63	8.00	0.40	8.88	0.54
5760	10	36191	63	8.00	0.40	8.96	0.55
5690	10	35751	63	8.00	0.40	8.96	0.55
5620	10	35311	63	7.84	0.39	9.04	0.55
5520	10	34683	63	7.60	0.38	9.12	0.56
5450	10	34243	63	7.36	0.37	9.20	0.56
5340	10	33552	63	7.12	0.36	9.20	0.56
5260	10	33049	63	6.80	0.34	9.24	0.56
5160	10	32421	63	6.56	0.33	9.28	0.56
5030	10	31604	63	6.08	0.31	9.44	0.57
4910	10	30850	63	5.52	0.28	9.60	0.58
4700	10	29530	63	4.88	0.25	9.68	0.58
4510	10	28337	63	4.32	0.22	9.76	0.59
4250	10	26703	63	3.68	0.19	9.76	0.59
3770	10	23687	63	2.74	0.14	9.92	0.60
3200	10	20106	63	2.04	0.10	10.00	0.60
2600	10	16336	63	1.500	0.077	10.06	0.60
1800	10	11309	63	0.936	0.049	10.08	0.60
500	10	3144	63	0.248	0.014	10.08	0.60
200	10	1256	63	0.1090	0.0074	10.16	0.61
101	10	635	63	0.0645	0.0052	10.48	0.62

Cuadro 8: datos de la practica

$f$ (Hz)	$s(f)$ (Hz)	$\phi$ ( $^\circ$ )	$s(\phi)$ ( $^\circ$ )	$Z$ ( $k\Omega$ )	$s(Z)$ ( $k\Omega$ )
100000	10	89.00	4.24	23.5	2.0
51350	10	90.06	2.34	10.52	0.87
17900	10	84.85	1.20	3.35	0.27
12970	10	79.95	0.78	2.15	0.17
9810	10	74.40	1.27	1.37	0.11
8900	10	70.71	0.89	1.112	0.088
8170	10	65.45	0.64	0.879	0.070
7620	10	60.05	1.06	0.734	0.058
7270	10	54.87	0.38	0.648	0.051
6990	10	49.60	0.71	0.580	0.046
6830	10	45.11	0.42	0.532	0.042
6660	10	40.16	0.36	0.489	0.039
6500	10	34.76	0.91	0.462	0.037
6410	10	30.65	1.91	0.438	0.035
6280	10	25.10	0.71	0.419	0.033
6200	10	20.25	2.47	0.411	0.033
6100	10	15.55	1.77	0.395	0.032
6000	10	10.00	0.99	0.384	0.031
5930	10	5.75	0.64	0.384	0.031
5820	10	0.00	0.01	0.384	0.031
5760	10	-5.65	1.77	0.387	0.031
5690	10	-10.00	0.71	0.387	0.031
5620	10	-14.65	1.06	0.399	0.032
5520	10	-20.35	1.34	0.415	0.033
5450	10	-24.90	0.71	0.432	0.034
5340	10	-30.15	0.78	0.447	0.036
5260	10	-35.05	0.07	0.470	0.037
5160	10	-39.35	1.91	0.489	0.039
5030	10	-44.85	1.06	0.537	0.043
4910	10	-49.80	0.71	0.601	0.048
4700	10	-54.40	0.28	0.686	0.054
4510	10	-60.20	0.85	0.781	0.062
4250	10	-64.20	0.28	0.917	0.073
3770	10	-70.50	0.71	1.252	0.099
3770	10	-70.50	0.71	1.25	0.10
3200	10	-74.70	0.57	1.70	0.13
2600	10	-79.55	0.64	2.32	0.18
1800	10	-84.70	0.99	3.72	0.30
500	10	-92.15	0.92	14.1	1.2
200	10	-93.00	7.07	32.2	2.9
101	10	-100.00	4.24	56.2	5.7

Cuadro 9: datos de la práctica