

Informe 2: Resonancia Eléctrica

Facundo Otero Zappa, Sergio Stedile y Luis Diaz (Grupo 8)

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires

Licenciatura en Ciencias Físicas | Laboratorio 3, Verano 2023 | Mar./Vié. de 14:00 a 20:00 hs.

facuotero20.88@outlook.com , sergiogstedile@gmail.com , luis_diaz1997@hotmail.com

Resumen

En este trabajo, estudiamos dos circuitos de Corriente Alterna (C.A.), un circuito RLC en serie y un circuito RLC en paralelo. Estudiamos las curvas de resonancia producidas para distintos valores de resistencias, las frecuencias de resonancia asociadas a los máximos de corriente y la potencia disipada por los circuitos. Con respecto a éstos últimos, analizamos sus anchos de banda y factores de calidad. Por último, realizamos los diagramas de Bode de los circuitos, que correspondían a su atenuación y fase.

1 Introducción

La resonancia es un fenómeno físico que se produce cuando la frecuencia angular de una fuerza externa periódica aplicada a un sistema es cercana o igual a su *frecuencia natural* de oscilación. Cuando una fuerza oscilante es aplicada con dicha frecuencia natural, el sistema oscila con una amplitud mayor en comparación a cuando se le aplica la misma fuerza pero con distinta frecuencia.

La resonancia eléctrica, es un fenómeno de resonancia que se produce en circuitos eléctricos cuando la frecuencia de la fuente que los alimenta es cercana o igual a la frecuencia natural de oscilación del circuito.

En primer lugar, en este trabajo estudiamos el fenómeno de resonancia eléctrica que se produce en un circuito eléctrico RLC en serie. Para poder registrar el incremento en la amplitud de la tensión que circula por el circuito con respecto a la frecuencia angular de oscilación, puede utilizarse un esquema de conexión como el de la Figura 1.

Una fuente de tensión $V(t) = V_0 \sin(\omega t)$ alimenta en serie a una inductancia L , un capacitor C y una resistencia variable R . Un osciloscopio se encuentra en paralelo con la resistencia R , conectado a los terminales A y B, y conectado a tierra mediante el terminal B, que comparte la tierra con el circuito.

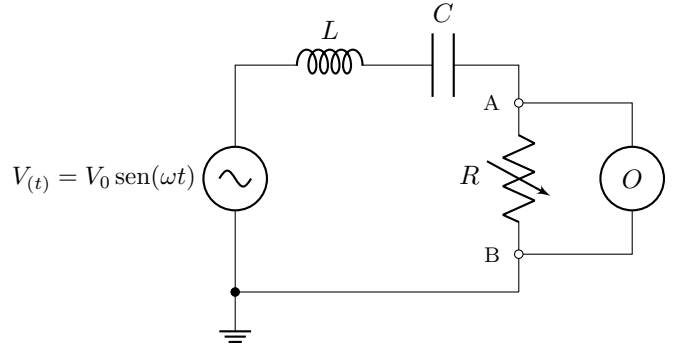


Figura 1: Circuito RLC Serie. Una fuente de tensión $V(t) = V_0 \sin(\omega t)$ alimenta en serie a una inductancia L , un capacitor C y una resistencia variable R . Un osciloscopio se encuentra en paralelo con la resistencia R , conectado en los terminales A y B y comparte la tierra del circuito.

Mediante esta conexión, el osciloscopio es capaz de registrar la diferencia de potencial entre los terminales A y B con respecto a la tensión inicial V_0 de la fuente, lo que permite realizar un barrido en frecuencias ω para poder estudiar la resonancia del circuito.

En este circuito, aplicando la Ley de Ohm [1] y reemplazando el valor de las impedancias correspondientes podemos obtener una relación para la corriente que circula por él, que es de la forma [2]:

$$|I(\omega)| = \frac{|V|}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}, \quad (1)$$

donde $|I_{(\omega)}|$ representa el módulo de la corriente que circula por el circuito, $|V|$ el módulo de la diferencia de potencial medida entre los terminales A y B, y R , L y C la resistencia variable, la inductancia y el capacitor, respectivamente.

Mediante la Ecuación (1), conociendo los valores de R , L , C y ω , al medir la diferencia de potencial V con el osciloscopio pudimos ajustar los valores de corriente en función de la frecuencia para la curva de resonancia obtenida experimentalmente, con respecto a la esperada teóricamente. Además, de ella se desprende que la corriente alcanza su máximo cuando la frecuencia angular corresponde a la frecuencia natural del circuito, cuyo valor es de la forma [2]:

$$\omega_0 := \frac{1}{\sqrt{LC}}, \quad (2)$$

donde ω_0 representa la frecuencia natural del circuito o frecuencia de resonancia.

En segundo lugar, en este informe estudiamos la resonancia eléctrica producida por un circuito eléctrico RLC en paralelo. Para poder analizar el comportamiento de la amplitud de la tensión que circula por el circuito con respecto a la frecuencia, un esquema de conexión posible a utilizar es el de la Figura 2.

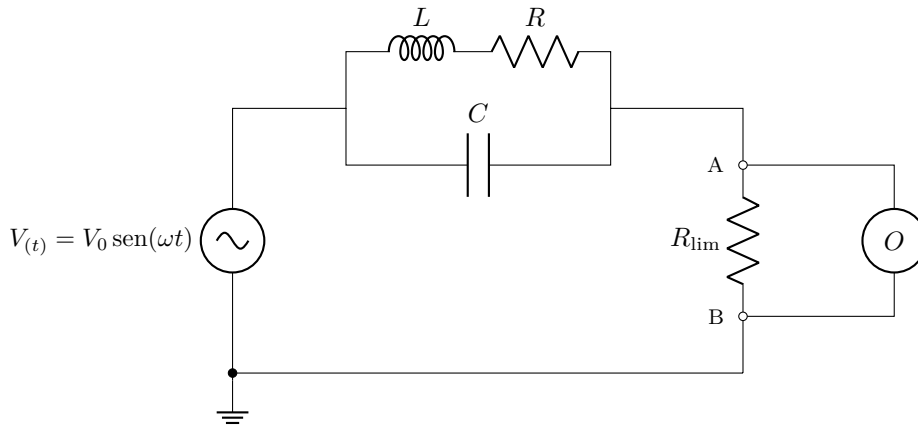


Figura 2: Circuito RLC Paralelo. Una fuente de tensión $V(t) = V_0 \text{sen}(\omega t)$ alimenta en paralelo a una rama que contiene una inductancia L en serie con una resistencia R , y a un capacitor C . Luego, alimenta en serie a una resistencia limitadora R_{lim} sobre la cual se conecta un osciloscopio en paralelo en los terminales A y B, de tal forma que el ramal B del osciloscopio está a tierra y comparte la tierra del circuito.

En esta ocasión, una fuente de tensión $V(t) = V_0 \text{sen}(\omega t)$ alimenta a una rama que contiene a una inductancia L en serie con una resistencia R , y en paralelo con ésta, se encuentra un capacitor C . Luego, alimenta en serie a una resistencia limitadora R_{lim} sobre la cual se conecta un osciloscopio en paralelo en los terminales A y B, de tal forma que el ramal B del osciloscopio está a tierra y comparte la tierra del circuito.

Con respecto a esta conexión, el osciloscopio es capaz de registrar la diferencia de potencial entre los terminales A y B tras haber circulado por el circuito RLC en paralelo, por lo que conociendo la tensión inicial V_0 de la fuente, pudimos realizar un barrido en frecuencias ω para estudiar el comportamiento en resonancia del circuito.

Al igual que en el circuito RLC en serie, aplicando la Ley de Ohm en el circuito RLC en paralelo y reemplazando el valor de las impedancias correspondientes se obtiene una relación para la corriente que circula por él, que es de la forma [3]:

$$|I_{\parallel(\omega)}| = \omega C \sqrt{\frac{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}{R^2 + \omega^2 L^2}} |V|, \quad (3)$$

donde $|I_{\parallel(\omega)}|$ representa el módulo de la corriente que circula por el circuito RLC paralelo, R , L , C y ω representan la resistencia, la inductancia, el capacitor y la frecuencia angular de oscilación del circuito, respectivamente, y $|V|$ el módulo de la diferencia de potencial entre los terminales A y B.

Mediante la Ecuación (3), conociendo los valores de R , L , C y ω , al medir la diferencia de potencial V con el osciloscopio pudimos contrastar los valores de corriente asociados a los valores de frecuencia para la curva de resonancia obtenida experimentalmente, con respecto a lo esperado teóricamente. Además, de ella se desprende que la corriente alcanza su máximo cuando la frecuencia angular corresponde a la frecuencia natural del circuito,

cuyo valor es de la forma [2]:

$$\omega_{0\parallel} := \frac{1}{\sqrt{LC}} \sqrt{1 - \frac{R^2 C}{L}} = \omega_0 \sqrt{1 - \frac{R^2 C}{L}}, \quad (4)$$

donde $\omega_{0\parallel}$ representa la frecuencia natural del circuito o frecuencia de resonancia.

Por último, una magnitud escalar que resulta de interés en ambos circuitos es la potencia disipada por ellos, cuya expresión está dada por [2]:

$$P_{(\omega)} = I_{(\omega)}^2 R \quad (5)$$

donde $P_{(\omega)}$ representa la potencia disipada por el circuito correspondiente, $I_{(\omega)}$ la corriente que circula sobre ellos y R la resistencia variable para el circuito RLC en serie y la resistencia fija del ramal de la inductancia para el circuito RLC en paralelo.

Debido a que los gráficos de potencia tienen forma de campana, una manera de caracterizar el ancho de la curva es definiendo las frecuencias ω_1 y ω_2 a ambos lados de la frecuencia natural ω_0 , cuya potencia representa la mitad de la potencia máxima correspondiente a la frecuencia ω_0 . Así, definimos el *ancho de banda* del circuito como [2]:

$$\Delta\omega := \omega_2 - \omega_1, \quad (6)$$

donde ω_1 y ω_2 corresponden a las frecuencias a mitad de potencia máxima ($\frac{P_{\text{máx}}}{2}$).

Finalmente, en relación con el ancho de banda definimos el *factor de calidad* del circuito como [2]:

$$Q := \frac{\omega_0}{\Delta\omega}, \quad (7)$$

donde Q representa la ancho de banda.

2 Desarrollo Experimental

En esta sección, explicaremos las prácticas experimentales realizadas e informaremos las incertezas de los instrumentos de medición utilizados.

2.1 Circuito RLC Serie

En primer lugar, en este trabajo estudiamos un Circuito RLC Serie. Armamos un esquema de conexión como el de la Figura 1.

Utilizamos un generador de funciones Tektronix AFG 1022 como fuente de alimentación $V_{(t)}$ [4], y lo configuramos para que enviara una onda sinusoidal de $V = (5.0 \pm 0.3)$ Vpp de tensión.

Utilizamos una inductancia $L = (1.00 \pm 0.02)$ H, cuya resistencia interna medimos con un multímetro UNI-T UT55 en modo óhmetro, como puede observarse en la Figura 3, y tenía un valor de $R_L = (340 \pm 10) \Omega$.

Utilizamos un capacitor $C = (44 \pm 1)$ nF con una resistencia interna $R_C = (10 \pm 5) \Omega$, que medimos con el óhmetro como en la Figura 3, pero reemplazando a la inductancia por el capacitor.

Finalmente, utilizamos una resistencia variable R con un rango desde $(1.0 \pm 0.1) \Omega$ hasta $(10.00 \pm 0.01) \text{ k}\Omega$.

Para registrar la diferencia de potencial entre los terminales A y B, utilizamos un osciloscopio Tektronix TBS 1052B-EDU [5].

Mediante este esquema de conexión, pusimos al sistema en funcionamiento enviando mediante el generador de funciones una onda



Figura 3: Medición de la resistencia interna R_L de una inductancia L mediante un multímetro en modo óhmetro.

sinusoidal tanto a la inductancia (ver Figura 1) como directamente al osciloscopio, por lo que fuimos capaces de observar el cambio entre la tensión enviada directamente por la fuente al osciloscopio con respecto a la tensión registrada luego de circular por el circuito.

De esta forma, realizamos dos barridos en frecuencias de 30 mediciones desde $f = (100.0 \pm 0.2)$ Hz hasta $f = (2000 \pm 8)$ Hz para un valor de resistencia variable R que denominamos $R_1 = (92 \pm 3) \Omega$, uno de ellos de forma equiespaciada para medir los cambios en la tensión de la señal recibida por el osciloscopio, y el otro en forma logarítmica para poder medir diferencias de fase entre ambos canales correctamente.

Luego, repetimos este procedimiento para unos valores de resistencia variable $R_2 = (500 \pm 20) \Omega$ y $R_3 = (1000 \pm 30) \Omega$, por lo que en total efectuamos 180 mediciones.

2.2 Circuito RLC Paralelo

En segundo lugar, en este trabajo estudiamos el comportamiento de un Circuito RLC Paralelo. Para ello, armamos un esquema de conexión como el de la Figura 2.

Utilizamos el mismo generador de funciones de la experiencia anterior como fuente de alimentación $V_{(t)}$, y lo configuramos para que enviara una onda sinusoidal de $V = (5.0 \pm 0.3)$ Vpp de tensión nuevamente. Utilizamos la misma inductancia y capacitor que en la experiencia anterior, y una resistencia fija $R = (10.0 \pm 0.3) \Omega$ que medimos previamente con el óhmmetro como en la Figura 3, pero reemplazando a la inductancia por la resistencia. Luego, colocamos una resistencia limitadora R_{lim} que medimos previamente y obtuvimos un valor de $R_{lim} = (100 \pm 3) \Omega$, y en paralelo con ella, el mismo osciloscopio mencionado anteriormente.

Mediante este esquema experimental, pusimos el sistema en funcionamiento y realizamos un barrido en frecuencias de 15 mediciones equiespaciadas desde (100.0 ± 0.2) Hz hasta (10000 ± 10) Hz, y otro barrido de 15 mediciones equiespaciadas desde (10000 ± 10) hasta (30000 ± 30) Hz. Luego, tras contrastar con los datos notamos que las mediciones no fueron suficientes por lo que tomamos más datos entre 100 y 1000 Hz y entre 30000 y 60000 Hz. Con estas mediciones estudiamos el cambio en la tensión al pasar por el circuito con respecto a la tensión directa del generador.

Finalmente, realizamos un barrido en frecuencias de 30 mediciones espaciadas de forma logarítmica desde (100.0 ± 0.2) Hz hasta (30000 ± 30) Hz para estudiar el desfase entre la onda enviada directamente por el generador hacia el osciloscopio con respecto a la onda registrada por el osciloscopio tras circular por el circuito.

3 Resultados Y Discusión

3.1 Circuito RLC Serie

Con respecto al Circuito RLC Serie, con los valores de tensión registrados y teniendo en cuenta la incerteza del osciloscopio (ver Apéndice A), mediante la Ecuación (1) pudimos realizar un ajuste no lineal de la corriente que circulaba por el circuito con respecto a los barridos de frecuencia efectuados asociados a los valores de resistencias variables $R_1 = (92 \pm 3) \Omega$, $R_2 = (500 \pm 20) \Omega$ y $R_3 = (1000 \pm 30) \Omega$, respectivamente, como puede observarse en la Figura 4 (a).

Para efectuar los ajustes utilizamos en cada caso la resistencia total equivalente, es decir, la suma de la resistencia variable R correspondiente y las resistencias internas de la inductancia L y el capacitor C . Además, reescribimos los parámetros de la Ecuación (1) para que el ajuste no lineal sea más eficiente que el obtenido mediante la Ecuación (1) propuesta. Debido a que mantuvimos los valores de la inductancia y el capacitor fijos, por la Ecuación (2), el máximo de las campanas debía ser el mismo para las tres campanas de resonancia obtenidas y su posición debía corresponder a una frecuencia angular de $\omega_0 = (4790 \pm 90)$ [rad/s] (ver Apéndice B.1).

Como podemos observar en la Figura 4 (a), los gráficos obtenidos asociados a los valores de resistencia variable, se encontraron todos en un entorno muy cercano con respecto a la posición de la frecuencia de resonancia teórica ω_0 , cuyos picos correspondían a un valor de $\omega_0 = (4782 \pm 3)$ [rad/s], por lo que el valor de la frecuencia de resonancia obtenida experimentalmente coincidió con el esperado según la Ecuación (2). Además la forma de las campanas de resonancia obtenidas coincidió con los gráficos esperados teóricamente [2].

Con respecto a los ajustes no lineales realizados, como se puede observar en la Figura 4 (a) los datos se ajustaron muy bien a las curvas de resonancia asociadas en cada caso, con incertezas de medición razonables. Los

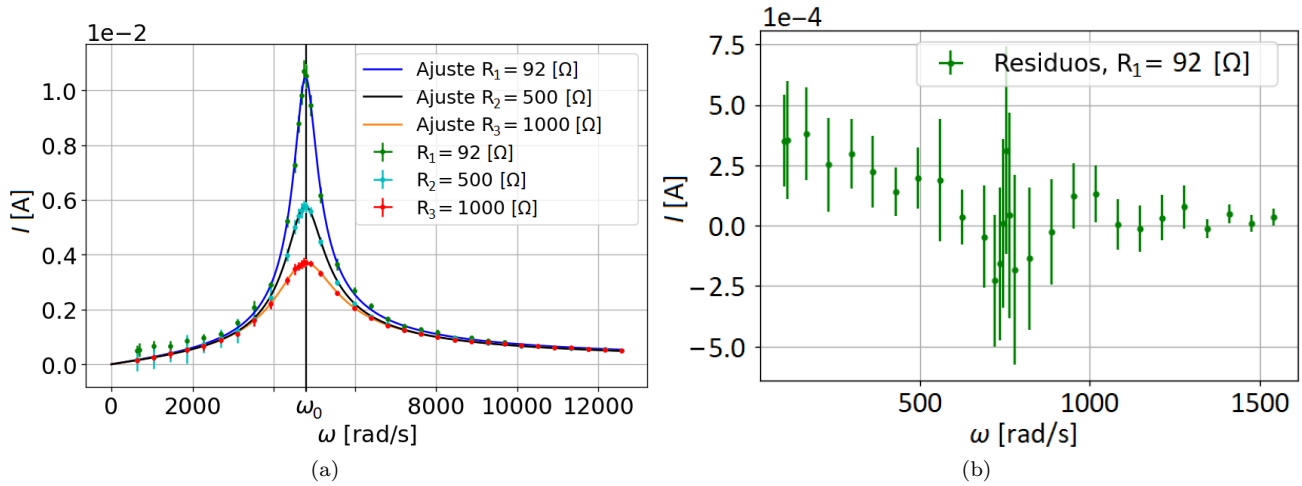


Figura 4: (a) Corriente I [A] en función de la frecuencia angular ω [rad/s] para los valores de resistencia total correspondientes utilizando las resistencias variables R_1 , R_2 y R_3 , respectivamente. Ajuste no lineal realizado para las corrientes mediante la Ecuación $\tilde{V}/\sqrt{1 + (2\pi f\tilde{L} - (1/(2\pi f\tilde{C})))^2}$, donde reescribimos los parámetros de ajuste $\tilde{V} = V/R_T$, $\tilde{L} = L/R_T$ y $\tilde{C} = R_TC$ (ver apéndice C), dejando fijo R_T . Los valores de χ^2 reducido fueron de $\chi_1^2 = 1.21$, $\chi_2^2 = 0.71$ y $\chi_3^2 = 0.75$, para las resistencias R_1 , R_2 y R_3 , respectivamente. (b) Residuos de la corriente con respecto a la frecuencia para la resistencia, $R_1 = (92 \pm 3) \Omega$.

valores del χ^2 reducido correspondientes fueron de $\chi_1^2 = 1.21$, $\chi_2^2 = 0.71$ y $\chi_3^2 = 0.75$, respectivamente. Con esto, entendemos que la correspondencia entre nuestros datos y los ajustes son lo suficientemente buenos para determinar el valor de la frecuencia de resonancia.

Por otra parte, con respecto al gráfico asociado al valor de resistencia variable R_1 notamos una mayor discrepancia en los datos, por lo que estudiamos sus residuos asociados a la corriente con respecto a la frecuencia, como puede observarse en la Figura 4 (b). Si bien el χ_1^2 superó el valor de 1, podemos ver que los residuos no presentan una tendencia aparente, se encuentran centrados con respecto al valor esperado y la mayor distancia con respecto al ajuste no superó los 3.8 [A], por lo que el ajuste fue bueno de todas formas.

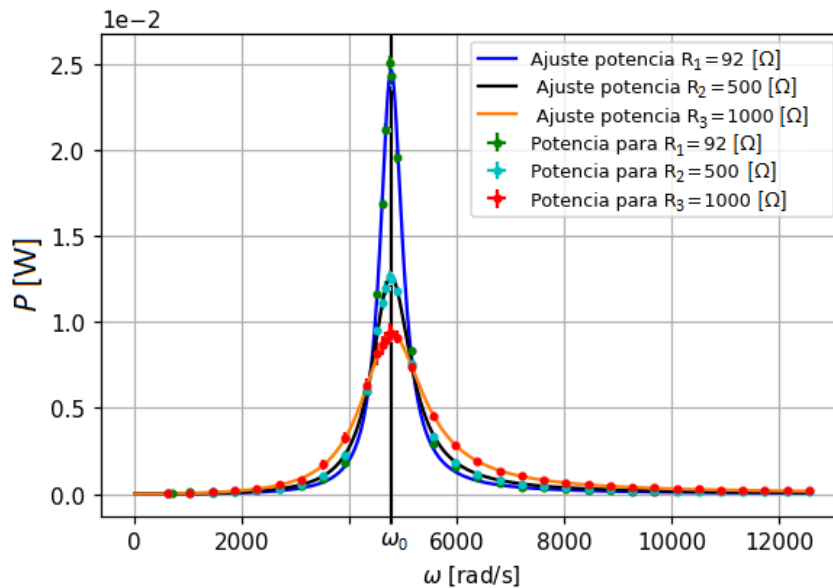


Figura 5: (a) Potencia P [W] en función de la frecuencia angular ω [rad/s], para los valores de resistencia total equivalentes utilizando las resistencias variables R_1 , R_2 y R_3 , respectivamente. Ajuste no lineal realizado al aplicar la Ecuación (5) a la función $\tilde{V}/\sqrt{1 + (2\pi f\tilde{L} - (1/(2\pi f\tilde{C})))^2}$ donde reescribimos los parámetros de ajuste $\tilde{V} = V/R_T$, $\tilde{L} = L/R_T$ y $\tilde{C} = R_TC$, dejando fijo R_T . Los valores de χ^2 reducido fueron de $\chi_1^2 = 44.6$, $\chi_2^2 = 6.8$ y $\chi_3^2 = 1.5$, para las resistencias R_1 , R_2 y R_3 , respectivamente.

Luego, con los datos obtenidos de la corriente con respecto a la frecuencia para cada valor de resistencia variable R_1 , R_2 y R_3 , mediante la Ecuación (5) pudimos realizar los ajustes no lineales correspondientes de la potencia disipada por el circuito con respecto a los barridos de frecuencia efectuados, como puede observarse en la Figura 5.

Podemos notar que los gráficos de potencia presentan una forma de campana como se esperaba teóricamente [2], y los tres de ellos se encuentran centrados con respecto a la frecuencia natural del circuito.

El χ^2 reducido de los ajustes realizados fue de $\chi_1^2 = 44.6$, $\chi_2^2 = 6.8$ y $\chi_3^2 = 1.5$, respectivamente, por lo que no obtuvimos un resultado satisfactorio. Sin embargo, los puntos con sus incertezas, se ajustan muy bien a la función correspondiente y sus residuos se encontraban muy cercanos al valor esperado y no presentaron una tendencia aparente. En la Figura 6 podemos observar los residuos correspondientes a la potencia disipada para la última resistencia variable utilizada, como una muestra de este hecho.

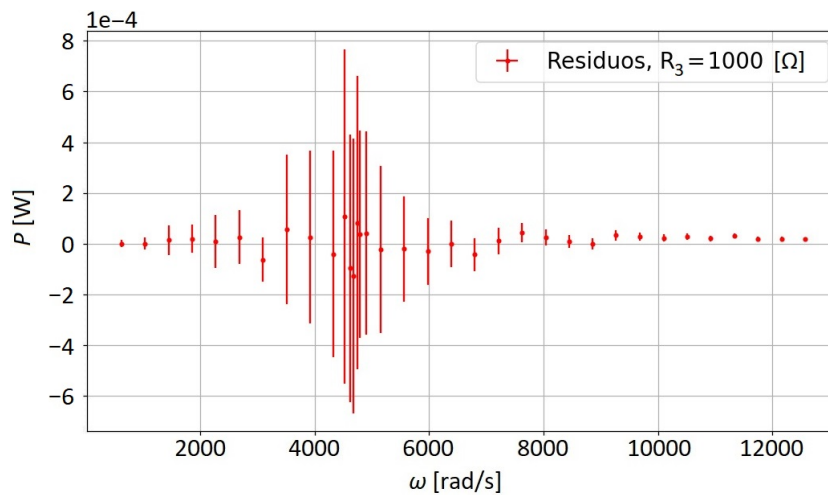


Figura 6: Residuos correspondientes al gráfico de la potencia disipada con respecto a la frecuencia angular para un valor de resistencia variable de $R_3 = (1000 \pm 30) \Omega$.

Los máximos de potencia obtenidos se encontraron en la posición $\omega_0 = (4782 \pm 3) \text{ rad/s}$, resultado que coincidía con la frecuencia natural del circuito hallada teóricamente, y cuyos valores nos permitieron calcular mediante la Ecuación (6), los anchos de banda correspondientes para cada resistencia variable utilizada cuyos valores fueron de $\Delta\omega_1 = (503 \pm 2) \text{ [rad/s]}$, $\Delta\omega_2 = (892 \pm 2) \text{ [rad/s]}$ y $\Delta\omega_3 = (1420 \pm 2) \text{ [rad/s]}$, respectivamente. Por último, mediante la Ecuación (7) pudimos obtener los factores de calidad correspondientes, con unos valores de $Q_1 = (9.501 \pm 0.002)$, $Q_2 = (5.353 \pm 0.002)$, y $Q_3 = (3.375 \pm 0.002)$.

Con estos resultados notamos que cuanto menor era la resistencia en este tipo de circuitos, más se acortaba el ancho de banda y por lo tanto más se achicaba el espectro de frecuencias que sirve como filtro pasa-banda.

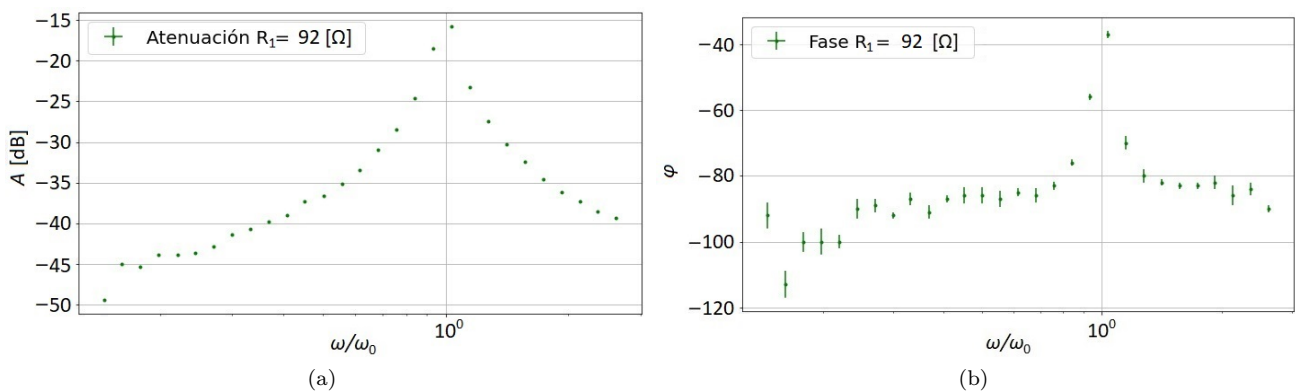


Figura 7: Diagramas de Bode para la resistencia R_1 . (a) Atenuación A [dB] y (b) fase φ con respecto al cociente entre la frecuencia angular y la frecuencia de resonancia ω/ω_0 del circuito RLC en serie.

Finalmente, estudiamos los Diagramas de Bode [6] del circuito RLC en serie para todas las resistencias, para ello graficamos la atenuación y la fase con respecto al cociente entre la frecuencia angular y la frecuencia de resonancia del circuito. Debido a que la respuesta en atenuación obtenida en todos los casos fue prácticamente igual, mostramos únicamente la correspondiente a la resistencia variable R_1 , como puede observarse en la Figura 7 (a).

Debido a que los tres gráficos presentaron esta forma con su pico máximo centrado en la posición correspondiente a la frecuencia natural del circuito, creemos que las mediciones obtenidas son razonables y se asemejan al circuito experimental realizado, a pesar de no contar con una función de ajuste de referencia. Por otra parte, con respecto al desfase entre la tensión enviada directamente por el generador al osciloscopio y la tensión que circulaba por el circuito, obtuvimos una respuesta diferente para cada resistencia variable, como puede observarse en las Figuras 7 (b), 8 (a) y 8 (b). Aún así, en todos los casos la fase en el valor de la frecuencia de resonancia fue nula, como esperábamos [2].

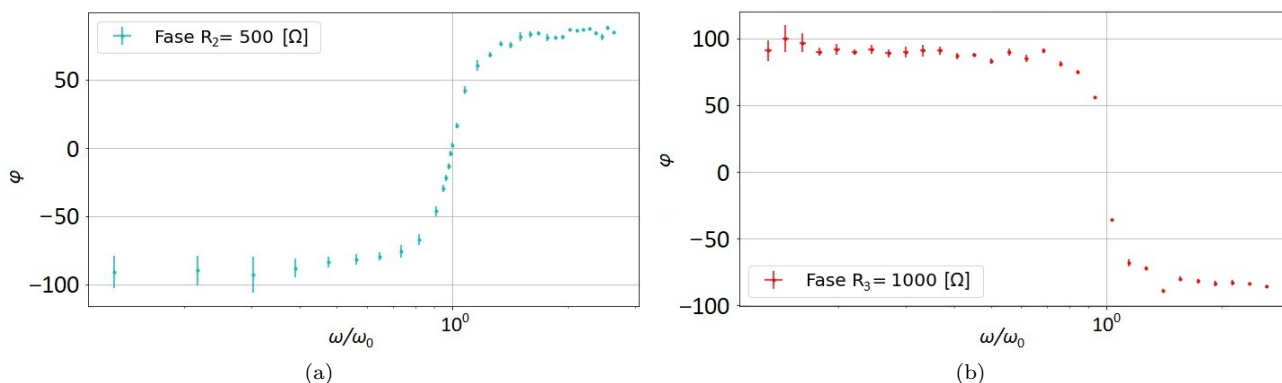


Figura 8: Fases φ con respecto al cociente entre la frecuencia angular y la frecuencia de resonancia ω/ω_0 del circuito RLC en serie para los valores de resistencia variable R_2 (a) y de R_2 (b).

3.2 Circuito RLC Paralelo

Con respecto al Circuito RLC Paralelo, luego de registrar los valores de tensión tras efectuar el barrido de frecuencias, realizamos un ajuste no lineal mediante la Ecuación (3) pero no obtuvimos un resultado satisfactorio. Como puede observarse en la Figura 9 (a), los puntos verdes que representan los valores registrados de corriente con sus respectivas incertezas, no se ajustaron bien por la función de ajuste azul basada en la Ecuación (3). Los residuos obtenidos presentaron una clara tendencia y se encontraron muy lejanos a los valores esperados.

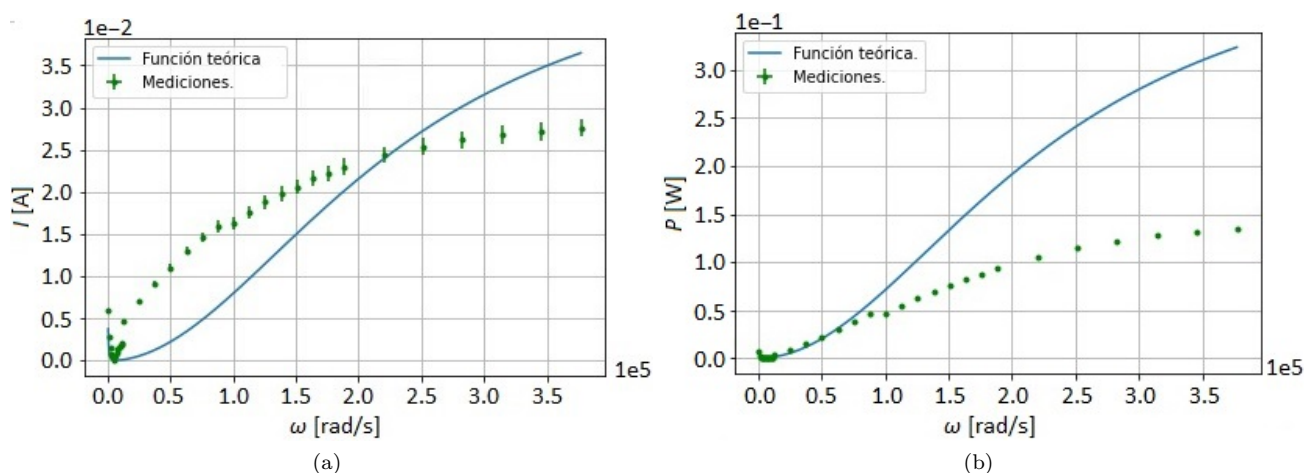


Figura 9: (a) Corriente I [A] y (b) potencia P [W] con respecto a la frecuencia angular ω [rad/s]. Ajustes no lineales realizados (azul), con respecto a las mediciones registradas con sus respectivas incertezas (verde).

Podemos notar que la forma funcional de los datos obtenidos es similar a la esperada teóricamente [3], con un valor de anti-resonancia ubicado próximo a la frecuencia de resonancia, y de forma creciente para mediciones

mayores. Aún así, no pudimos medir experimentalmente un valor de corriente máxima hacia el cual tendiera la función para valores mayores de frecuencia, ya que ésta parecía crecer indefinidamente. Como cabía esperar, este problema también se trasladó al cálculo de la potencia disipada por el circuito al aplicar la Ecuación (5) al ajuste efectuado anteriormente, como puede observarse en la Figura 9 (b).

Creemos que este hecho podría deberse a la existencia de corrientes parásitas en el circuito correspondientes a la rama que contenía a la resistencia limitadora de la Figura 2 y no al paralelo del circuito RLC, ya que al agregar una resistencia extra en serie con la resistencia limitadora, logramos una mejor correspondencia entre los resultados teóricos y los medidos experimentalmente, como puede observarse en la Figura 10.

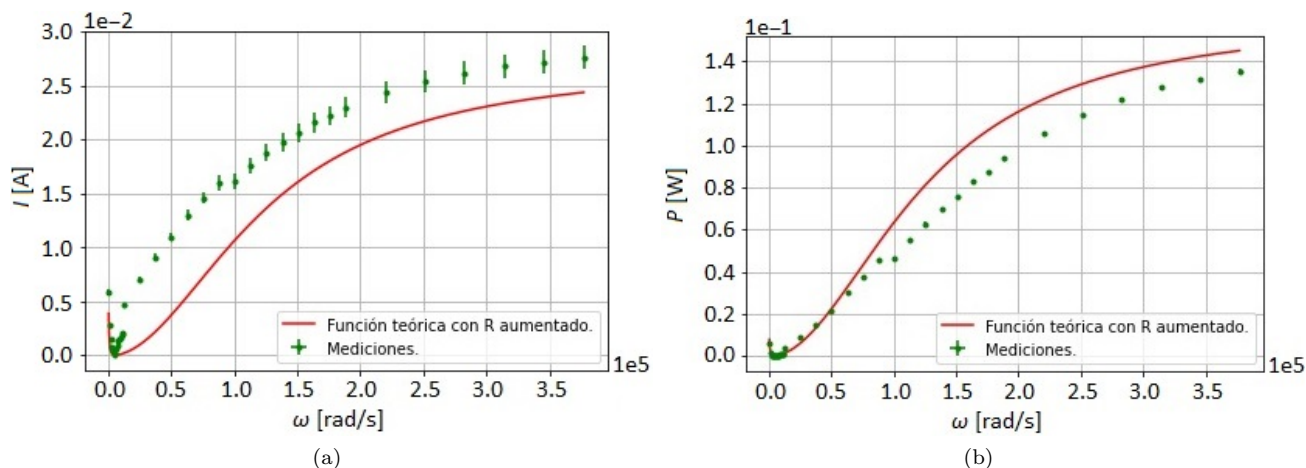


Figura 10: (a) Corriente I [A] y (b) potencia P [W] con respecto a la frecuencia angular ω [rad/s]. Ajustes no lineales realizados (rojo), con respecto a las mediciones registradas con sus respectivas incertezas (verde) al agregar un valor de resistencia extra debida a corrientes parásitas de $R_e = (85 \pm 1) \Omega$.

Finalmente, calculamos la frecuencia de resonancia del circuito RLC paralelo teóricamente, y mediante la Ecuación (4) obtuvimos un valor de $\omega_{0\parallel} = (4780 \pm 50)$ [rad/s] (ver Apéndice B.2). Debido a que la frecuencia de resonancia obtenida experimentalmente fue de $\omega_{0\parallel} = (4780.0 \pm 0.3)$ [rad/s] ambos resultados coincidieron. Además, sabiendo esto graficamos el desfase entre la tensión directa del generador de funciones al osciloscopio con respecto a la tensión que circulaba por el circuito RLC paralelo, como puede observarse en la Figura 11, y pudimos notar que la frecuencia de corte del circuito RLC en paralelo coincidía con el valor de una fase nula, como era de esperarse [3] por lo que esta experiencia resultó exitosa.

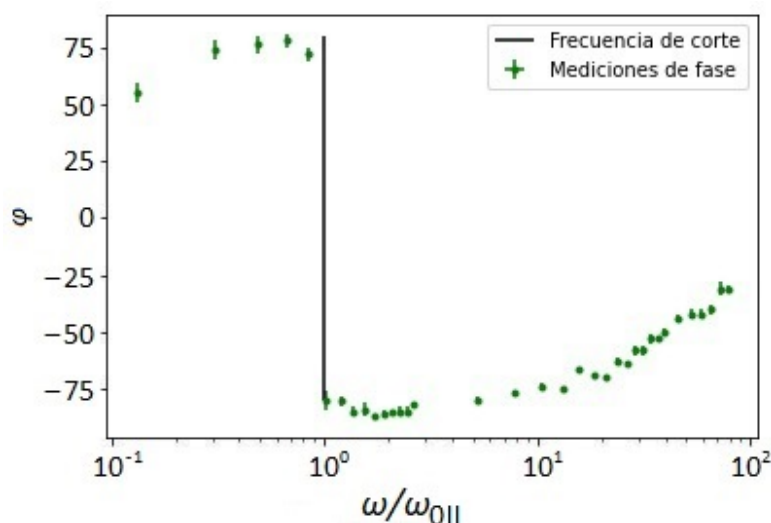


Figura 11: Desfasaje con respecto al cociente entre la frecuencia angular con respecto a la frecuencia de resonancia del circuito RLC paralelo. Mediciones obtenidas experimentalmente con su correspondiente incerteza (verde) y la frecuencia de corte (negro).

Teniendo en cuenta que la frecuencia natural del sistema $\omega_{0||}$ no depende de la resistencia limitadora, este hecho nos hace pensar aún más en la existencia de una posible corriente parásita debido a los cables del ramal de la resistencia limitadora, que podría oponer una mayor resistencia al paso de tensión y corriente.

4 Conclusiones

Tras efectuar el análisis correspondiente logramos caracterizar las propiedades de interés de un circuito RLC al cual se le varía la frecuencia de voltaje de entrada y el valor de la resistencia total del circuito. Conociendo la resistencia interna de una inductancia $L = (1.00 \pm 0.02)$ H y un capacitor $C = (44 \pm 1)$ nF, y al utilizar tres resistencias $R_1 = (92.0 \pm 0.7) \Omega$, $R_2 = (500 \pm 3) \Omega$ y $R_3 = (1000 \pm 7) \Omega$ logramos hallar la frecuencia angular de resonancia del circuito $\omega_0 = (4782 \pm 3)$ rad/s, así como los valores máximos de potencia $P_{1\text{máx.}} = (0.0246 \pm 0.0001)$ W, $P_{2\text{máx.}} = (0.0126 \pm 0.0001)$ W y $P_{3\text{máx.}} = (0.0093 \pm 0.0001)$ W respectivamente.

Por otro lado logramos verificar la utilidad de las hipótesis teóricas para nuestro estudio, y mediante ellas encontrar las propiedades que permiten a los circuitos mencionados actuar como filtros pasa-banda eficaces, siendo la principal propiedad la poca presencia de resistencia total, lo cual causa un alto valor en el factor de calidad, siendo en nuestros casos $Q_1 = (9.501 \pm 0.002)$, $Q_2 = (5.353 \pm 0.002)$, y $Q_3 = (3.375 \pm 0.002)$.

Respecto al circuito RLC paralelo, los resultados obtenidos para la corriente y la potencia no concuerdan con las hipótesis teóricas. Sin embargo en el gráfico de fases notamos que la frecuencia natural del circuito coincidió con la esperada teóricamente, tomando un valor de $\omega_{0||} = (4780.0 \pm 0.3)$ [rad/s]. Creemos que este hecho podría deberse a la presencia de una resistencia parásita, no tomada en cuenta, ubicada en la rama de la resistencia limitadora.

5 Agradecimientos

Agradecemos al Profesor Pablo Cobelli por ayudar a comprender los conceptos de este informe, agradecemos a los Docentes Sebastian Bordakevich, Ayelen Santos, Gabriel Brichetto y Jean Paul Louys Sanso por guiarnos en la interpretación de datos y colaborar con las ambigüedades que se presentaron en los experimentos y mediciones, y agradecemos a Federico por brindarnos las herramientas e instrumental para realizar las experiencias.

Agradecemos a la Facultad de Ciencias Exactas & Naturales de la Universidad de Buenos Aires por hacer posible la realización de este trabajo.

6 Bibliografía

- [1] David J. Griffiths. *Introduction To Electrodynamics*. Editorial Pearson. Cuarta Edición. Página: 298.
- [2] <http://users.df.uba.ar/moreno/cursos/lab3/apuntes/resonancia.pdf>
- [3] <https://colab.research.google.com/drive/17g2j1O24eO0Q3hHnyoSRUIu-WKDW0UYH?usp=sharing>
- [4] Manual de usuario Osciloscopio Tektronix TBS1000B-EDU:
http://users.df.uba.ar/moreno/manuales/TBS1052B_User_Manual.pdf
- [5] Manual de usuario Generador de Funciones Tektronix AFG 1022:
<https://www.tek.com/en/arbitrary-function-generator/afg1000-manual>
- [6] <http://users.df.uba.ar/moreno/cursos/lab3/apuntes/filtros.pdf>

Apéndice

A Incerteza Del Osciloscopio Tektronix TBS1000B-EDU

En las mediciones efectuadas por el osciloscopio, tuvimos en cuenta su incerteza a la hora de medir tiempos, que es de la forma:

$$\Delta t = \pm(1\text{Int S.} + 100\text{ppm} \cdot \text{Med.} + 0.5 \text{ ns}) \quad (8)$$

donde Δt representa la incerteza temporal, Int S. representa el intervalo de sampleo del osciloscopio y Med. la medición realizada.

B Frecuencia Natural

B.1 Circuito RLC Serie

Dada $\omega_{0(L,C)} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ una función de dos variables que representa la frecuencia natural o de resonancia del circuito RLC en serie, entonces su incerteza será de la forma:

$$\Delta\omega_0 = \frac{1}{2\sqrt{\bar{L}\bar{C}}} \sqrt{\frac{\Delta L^2}{\bar{L}^2} + \frac{\Delta C^2}{\bar{C}^2}}, \quad (9)$$

donde $\Delta\omega_0$ representa la incerteza de la frecuencia natural, \bar{L} y \bar{C} los valores promedios de la inductancia y el capacitor y ΔL y ΔC sus incertezas, respectivamente.

Mediante esta ecuación, el valor de la frecuencia del circuito RLC en serie resulta $\omega_0 = (4790 \pm 90) \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}}\right]$.

B.2 Circuito RLC Paralelo

Dada $\omega_{0(R,L,C)} = \frac{1}{\sqrt{LC}} \sqrt{1 - \frac{R^2 C}{L}}$ una función de tres variables que representa la frecuencia natural o de resonancia del circuito RLC en paralelo, entonces su incerteza será de la forma:

$$\Delta\omega_{0\parallel} = \sqrt{\frac{1}{\bar{L} - \bar{R}^2 \bar{C}} \left[\frac{\bar{R}^2 \bar{C} \Delta R^2}{\bar{L}^2} + \frac{(\bar{L} - 2\bar{R}^2 \bar{C})^2 \Delta L^2}{4\bar{L}^4 \bar{C}} + \frac{\Delta C^2}{4\bar{C}^3} \right]}, \quad (10)$$

donde $\Delta\omega_{0\parallel}$ representa la incerteza de la frecuencia natural, \bar{R} , \bar{L} y \bar{C} los valores promedios de la resistencia total, la inductancia y el capacitor y ΔR , ΔL y ΔC sus incertezas, respectivamente.

Mediante esta ecuación, el valor de la frecuencia del circuito RLC en paralelo resulta $\omega_{0\parallel} = (4780 \pm 50) \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}}\right]$.

C Parámetros De Ajuste Circuito RLC Serie

En la Figura 4 se realizaron ajustes a las mediciones tomadas para un circuito RLC en serie al cual se le varió la resistencia en tres oportunidades. Los parámetros utilizados en dichos ajustes fueron $\tilde{V} = V/R_T$, $\tilde{L} = L/R_T$ y $\tilde{C} = R_T C$. En particular los valores obtenidos para cada pueden observarse en la Tabla 1:

Resistencia	Parámetro \tilde{L}	Parámetro \tilde{V}	Parámetro \tilde{C}
R_1	$(183 \pm 5) \times 10^{-5}$	$(105 \pm 1) \times 10^{-4}$	$(236 \pm 6) \times 10^{-7}$
R_2	$(1101 \pm 7) \times 10^{-6}$	$(576 \pm 2) \times 10^{-5}$	$(398 \pm 3) \times 10^{-7}$
R_3	$(697 \pm 4) \times 10^{-6}$	$(371 \pm 9) \times 10^{-6}$	$(625 \pm 4) \times 10^{-7}$

Tabla 1: En la tabla podemos observar los valores de los parámetros obtenidos en los ajustes de corriente para el circuito RLC en serie.

Temporary page!

L^AT_EX was unable to guess the total number of pages correctly. As there was some unprocessed data that should have been added to the final page this extra page has been added to receive it.

If you rerun the document (without altering it) this surplus page will go away, because L^AT_EX now knows how many pages to expect for this document.