



INSTITUTO TECNOLÓGICO  
DE  
BUENOS AIRES

## Trabajo Práctico N° 5

Teoría de Circuitos I  
25.10

**Grupo N° 2**

Juan Bautista Correa Uranga  
Juan Ignacio Caorsi  
Rita Moschini

Legajo: 65016  
Legajo: 65532  
Legajo: 67026

9 de noviembre de 2025

# Resumen

Este trabajo abordó la variación de la inductancia y la resistencia interna de un inductor en función de la frecuencia de la excitación, la obtención de la frecuencia de resonancia y los diagramas de bode de los distintos componentes en un circuito RLC serie. Además, se determinó el factor de calidad ( $Q$ ) por dos métodos experimentales y se analizó la respuesta del circuito a una señal triangular. Se concluyó que las resistencias parásitas del inductor ( $R_L$ ) y del generador ( $R_{gen}$ ) son factores dominantes que explican la diferencia entre los valores medidos y los teóricos.

# Índice

<b>1.. Introducción</b>	<b>3</b>
1.1. Instrumental . . . . .	3
1.2. Marco teórico . . . . .	3
<b>2.. Desarrollo</b>	<b>4</b>
2.1. Procedimiento . . . . .	4
a). Analizador de impedancias . . . . .	4
b). Resonancia . . . . .	4
c). Respuesta en frecuencia . . . . .	5
2.2. Datos recolectados . . . . .	5
a). Analizador de impedancias . . . . .	5
b). Resonancia . . . . .	5
c). Respuesta en frecuencia . . . . .	6
2.3. Cálculos y Comparación Teórica . . . . .	9
2.4. Respuesta a Señal Triangular . . . . .	9
a). Análisis de la Forma de Onda . . . . .	11
<b>3.. Conclusiones</b>	<b>11</b>

# 1. Introducción

## 1.1 Instrumental

En esta experiencia se utilizaron los siguientes instrumentos:

- Osciloscopio Keysight (Agilent) DSO6014A
- Generador de ondas con resistencia interna de  $50\ \Omega$
- Analizador de impedancias.
- Resistencia de  $100\ \Omega$  (nominal y medido).
- Capacitor de  $2,2\ \text{nF}$ .
- Inductor de inductancia entre  $0,5\ \text{mH}$  y  $2\ \text{mH}$

## 1.2 Marco teórico

Un circuito RLC serie está compuesto por una resistencia de valor  $R$ , un inductor de inductancia  $L$  y un capacitor de capacitancia  $C$  conectados en serie. La resistencia total del circuito ( $R_{Total}$ ) debe considerar todas las resistencias:  $R_{Total} = R_{gen} + R + R_L$  donde  $R_{gen}$  es la resistencia interna del generador.

La frecuencia de resonancia angular para un circuito RLC, serie o paralelo, es:

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

Se puede calcular el factor de calidad o factor de selectividad  $Q$ . Para un circuito serie, se define como:

$$Q_S = \frac{\omega_0 L}{R_{Total}} = \frac{1}{\omega_0 C R_{Total}} \quad (2)$$

Las frecuencias de corte se definen como las frecuencias para las cuales la potencia es igual a la mitad de la potencia máxima (es decir, la potencia cuando la frecuencia es igual a la de resonancia). El Ancho de Banda ( $B$ ) se define como la diferencia entre las dos frecuencias de corte,  $f_{c2}$  y  $f_{c1}$ :

$$B = f_{c2} - f_{c1} \quad (3)$$

El factor de calidad también relaciona la frecuencia de resonancia con el ancho de banda:

$$Q = \frac{f_0}{B} \quad (4)$$

Cuanto mayor sea  $Q$ , más angosta será la curva de la tensión en función de la frecuencia, es decir se amortiguarán más frecuencias.

Las Funciones Transferencia para las tensiones en cada componente, considerando  $V_{in}$  como la tensión total de la fuente  $V_S$ , son:

$$H_R(s) = \frac{V_R(s)}{V_S(s)} = \frac{R}{R_{Total} + sL + 1/sC} = \frac{sCR}{s^2LC + sCR_{Total} + 1} \quad (5)$$

$$H_L(s) = \frac{V_L(s)}{V_S(s)} = \frac{sL}{R_{Total} + sL + 1/sC} = \frac{s^2LC}{s^2LC + sCR_{Total} + 1} \quad (6)$$

$$H_C(s) = \frac{V_C(s)}{V_S(s)} = \frac{1/sC}{R_{Total} + sL + 1/sC} = \frac{1}{s^2LC + sCR_{Total} + 1} \quad (7)$$

A lo largo del trabajo práctico se distinguirá entre tres tipos de filtros

- Filtro pasa-altos: deja pasar las señales de alta frecuencia y atenúa las de baja frecuencia y deja pasar las de alta frecuencia.
- Filtro pasa-banda: deja pasar un rango de frecuencias y atenúa las frecuencias fuera del mismo.
- Filtro pasa-bajos: deja pasar las señales de baja frecuencia y atenúa las de alta frecuencia.

## 2. Desarrollo

### 2.1 Procedimiento

#### a) Analizador de impedancias

Con el fin de saber entre cuáles frecuencias se encontraría la frecuencia de resonancia, dados el rango de inductancia de la bobina utilizada, se obtuvieron sus valores teóricos para los extremos del rango de inductancia (0,5 mH y 2 mH), haciendo:

$$f_{1,-1} = \frac{1}{\sqrt{LC}} \cdot \frac{1}{2\pi} \quad (8)$$

También se obtuvo  $f_{-2} = \frac{f_{-1}}{2}$  (una octava menor a  $f_{-1}$ ) y  $f_2 = f_1 \cdot 2$  (una octava mayor a  $f_1$ ) y se midieron la inductancia y la resistencia de la bobina para cada una de estas frecuencias, variando la frecuencia con el analizador de impedancias.

#### b) Resonancia

Se armó el circuito de la figura 1, fijando la tensión del generador en 1 V de amplitud ( es decir, 2 V pico a pico), y conectando los canales del osciloscopio en la entrada y la salida de la resistencia, de manera que se pudiera observar la caída de tensión en la misma usando la función Math.

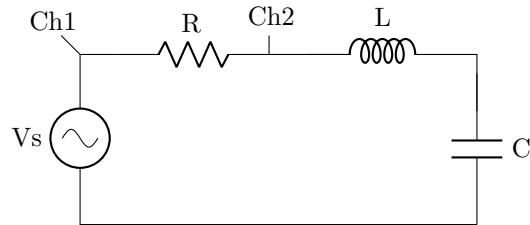


Figura 1: Circuito estudiado a lo largo de la práctica.

De esta manera, se varió la frecuencia de la señal generada entre  $f_{-1}$  y  $f_1$ , considerando que la frecuencia de resonancia se correspondía con la mayor caída de tensión sobre la resistencia, es decir cuando la señal ilustrada por Math era máxima, la frecuencia correspondiente era la de resonancia.

Luego se buscaron las frecuencias de corte  $f_{c1}$  y  $f_{c2}$ , es decir como se mencionó previamente las frecuencias para las cuales  $P = \frac{P_{max}}{2}$ , o bien  $V = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}}$  (siendo V la tensión pico en la resistencia) y se calculó el ancho de banda

$$B = \frac{f_{c1} + f_{c2}}{2}$$

### c) Respuesta en frecuencia

Se utilizó la función FRA (Frequency Response Analysis) del osciloscopio para obtener los diagramas de Bode de  $V_R$ ,  $V_L$  y  $V_C$ . Adicionalmente, se midieron puntos individuales para la transferencia de  $V_R$ .

## 2.2 Datos recolectados

### a) Analizador de impedancias

Los valores medidos se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1: Mediciones de la bobina con el analizador de impedancias.

Frecuencia (f)	Resistencia Inductor ( $R_L$ )	Inductancia (L)
38 kHz	60,9 $\Omega$	1,562 mH
76 kHz	99,2 $\Omega$	1,414 mH
114 kHz	126,0 $\Omega$	1,320 mH
151 kHz	150,0 $\Omega$	1,257 mH
304 kHz	257,0 $\Omega$	1,162 mH

### b) Resonancia

Los valores medidos experimentalmente en el circuito fueron:

- Frecuencia de Resonancia:  $f_0 = 80$  kHz

- Frecuencia de Corte Inferior:  $f_{c1} = 63 \text{ kHz}$
- Frecuencia de Corte Superior:  $f_{c2} = 102,5 \text{ kHz}$

A partir de estos datos, se calcularon el ancho de banda (B) y el factor de calidad (Q) experimentales:

- Ancho de Banda:  $B = f_{c2} - f_{c1} = 102,5 \text{ kHz} - 63 \text{ kHz} = 39,5 \text{ kHz}$
- Factor de Calidad (por B):  $Q_B = f_0/B = 80 \text{ kHz}/39,5 \text{ kHz} = \mathbf{2,025}$

Adicionalmente, se midió el factor Q midiendo la sobretensión en el capacitor en  $f_0$ :

- $V_S(\text{pico-pico}) = 2,0 \text{ V}$
- $V_C(\text{pico-pico}) = 3,973 \text{ V}$
- Factor de Calidad (por V):  $Q_V = |V_C|/|V_S| = 3,973/2,0 = \mathbf{1,987}$

Ambos valores de Q medidos (2,025 y 1,987) son muy consistentes entre sí.

### c) Respuesta en frecuencia

Las Figuras 2, 3 y 4 muestran los diagramas de Bode obtenidos con el osciloscopio.

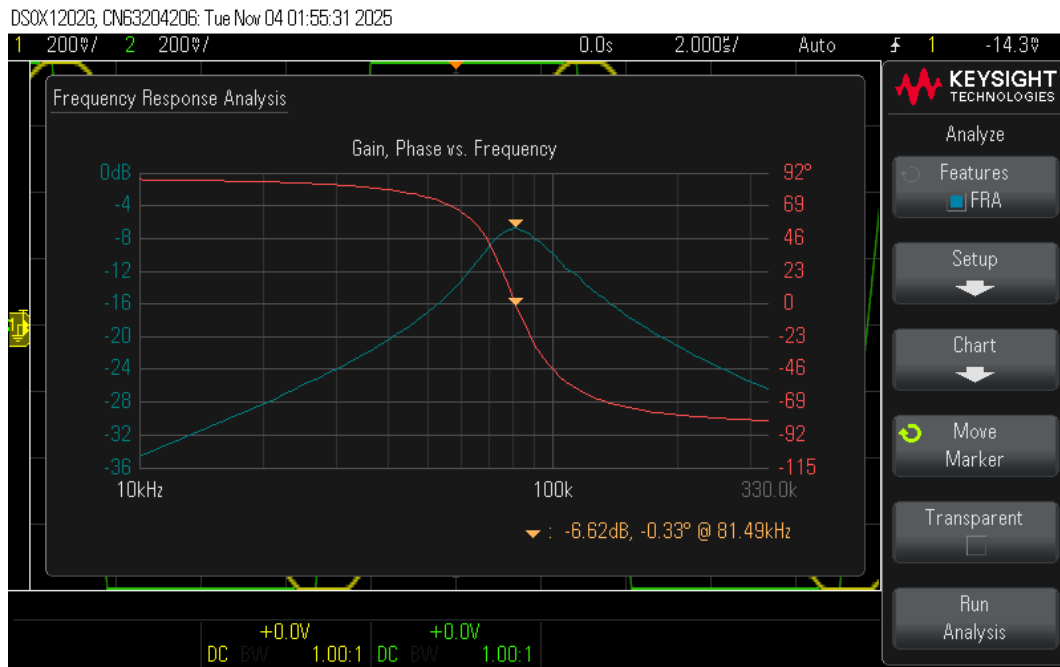


Figura 2: Diagrama de Bode para la Tensión en la Resistencia ( $V_R$ ). Se observa un claro filtro Pasa-Banda centrado en 81,49kHz.

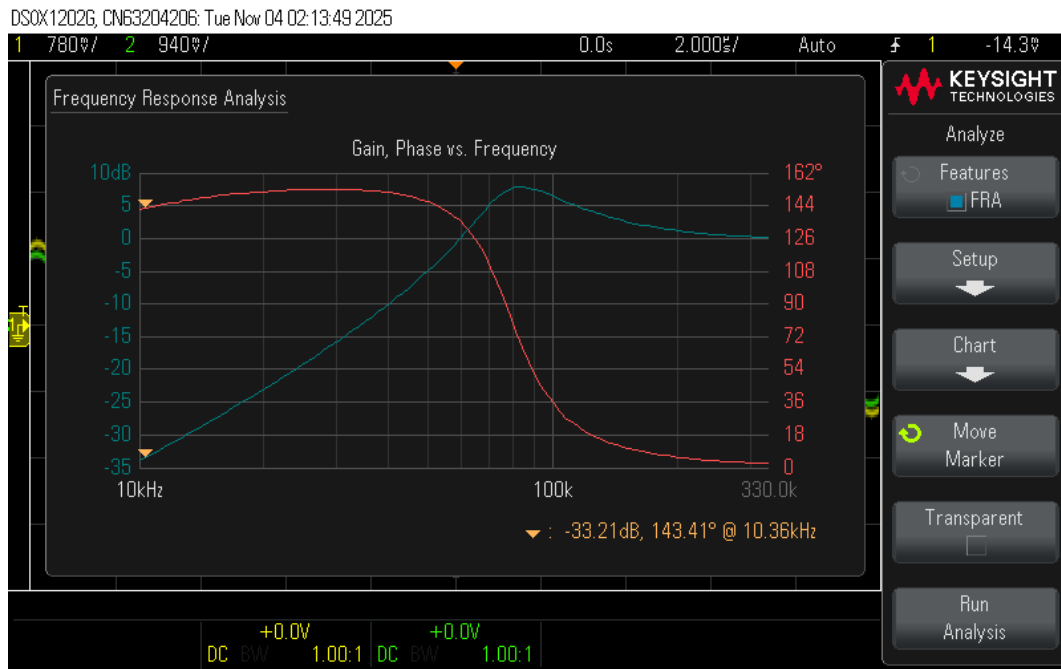


Figura 3: Diagrama de Bode para la Tensión en el Inductor ( $V_L$ ). Muestra un comportamiento de filtro Pasa-Alto, con un pico de ganancia cerca de la resonancia.



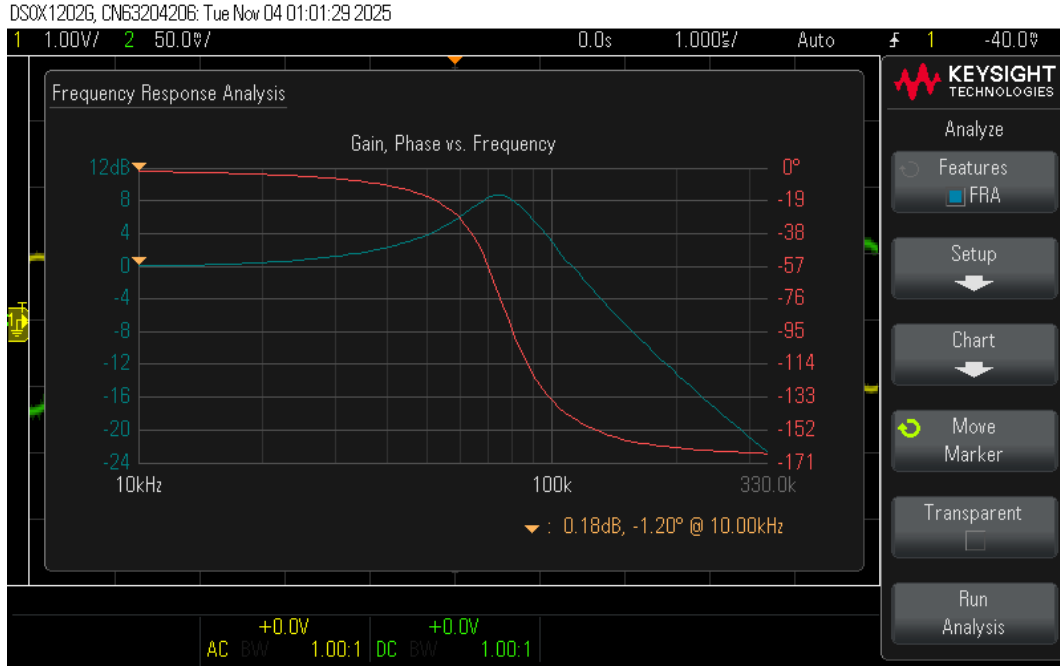


Figura 4: Diagrama de Bode para la Tensión en el Capacitor ( $V_C$ ). Muestra un comportamiento de filtro Pasa-Bajo, con un pico de ganancia cerca de la resonancia.

Se midieron los siguientes puntos para la transferencia  $H_R(s) = V_R/V_S$ , presentados en la Tabla 2.

Tabla 2: Puntos de Bode medidos para  $V_R$ .

Frecuencia (kHz)	Amplitud (dB)	Fase (°)
39,1	-20,53	81,47
51,73	-16,19	74,63
59,49	-13,25	66,58
66,07	-10,52	54,76
70,85	-8,54	41,22
<b>81,49</b>	<b>-6,62</b>	<b>-0,33</b>
93,72	-8,42	-34,57
100,5	-9,83	-45,57
119,7	-13,34	-61,82
152,9	-17,43	-71,87
202,3	-21,07	-77,02
297,1	-25,19	-80,29

El punto de máxima ganancia ( $-6,62$  dB) a  $81,49$  kHz coincide con la frecuencia de resonancia experimental  $f_0 = 80$  kHz.

## 2.3 Cálculos y Comparación Teórica

Para el análisis teórico, se utilizan los valores de componentes medidos a la frecuencia más cercana a la resonancia experimental ( $f_0 = 80 \text{ kHz}$ ). De la Tabla 1, la más cercana es  $76 \text{ kHz}$ , por lo que se usan:

- $L = 1,414 \text{ mH}$  (medido a  $76 \text{ kHz}$ )
- $R_L = 99,2 \Omega$  (medido a  $76 \text{ kHz}$ )
- $C = 2,2 \text{ nF}$
- $R_{gen} = 50 \Omega$
- $R = 100 \Omega$
- $R_{Total} = R_{gen} + R + R_L = 50 \Omega + 100 \Omega + 99,2 \Omega = 249,2 \Omega$

Con estos valores, se calculan los parámetros teóricos:

- $f_0(\text{teórica}) = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{1,414 \times 10^{-3} \text{ H} \cdot 2,2 \times 10^{-9} \text{ F}}} \approx 89,9 \text{ kHz}$
- $Q(\text{teórico}) = \frac{\omega_0 L}{R_{Total}} = \frac{2\pi \cdot 89,9 \times 10^3 \text{ Hz} \cdot 1,414 \times 10^{-3} \text{ H}}{249,2 \Omega} \approx \mathbf{3,20}$
- $B(\text{teórico}) = \frac{f_0}{Q} = \frac{89,9 \text{ kHz}}{3,20} \approx 28,1 \text{ kHz}$

La Tabla 3 resume la comparación entre los valores teóricos (calculados con componentes medidos) y los experimentales (medidos en el circuito).

Tabla 3: Comparación de valores Teóricos y Experimentales.

Parámetro	Teórico (calculado)	Experimental (medido)
$f_0$	89,9 kHz	80,0 kHz
$Q$	3,20	2,025 (por B) / 1,987 (por V)
$B$	28,1 kHz	39,5 kHz

## 2.4 Respuesta a Señal Triangular

Finalmente, se reemplazó la entrada senoidal por una señal triangular de  $2V_{pp}$  para observar la respuesta del circuito. La guía pedía analizar el comportamiento en  $f_{-2}$  y  $f_2$ . Se utilizó  $f_{-2} \approx 38 \text{ kHz}$ . Para  $f_2 \approx 304 \text{ kHz}$ , se utilizó una frecuencia de  $200 \text{ kHz}$  como sustitución, ya que era el límite operativo del generador de funciones.

Las Figuras 5, 6 y 7 muestran las 6 combinaciones de salida y frecuencia. Debido a una confusión, la señal del generador aparece en color verde en las imágenes de la izquierda de las figuras mencionadas, mientras que en las imágenes de la derecha la señal del generador aparece en color amarillo.

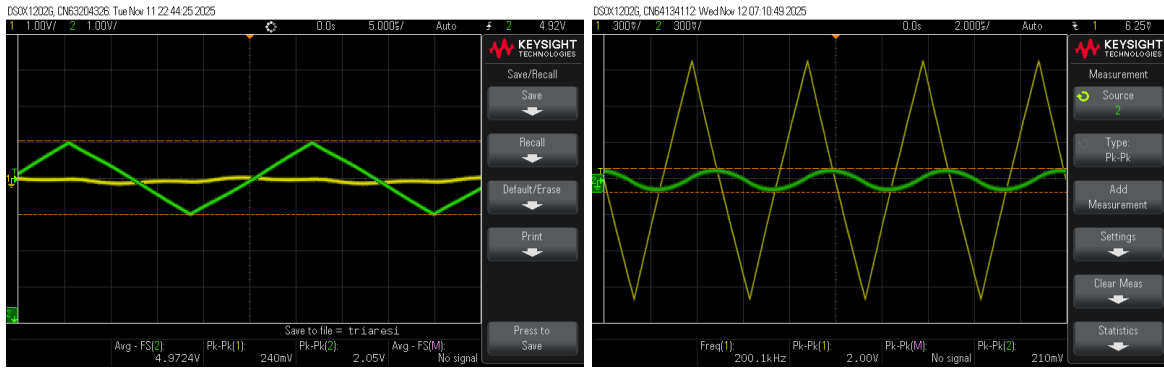


Figura 5: Respuesta en  $V_R$  a 38 kHz (izquierda) y 200 kHz (derecha).

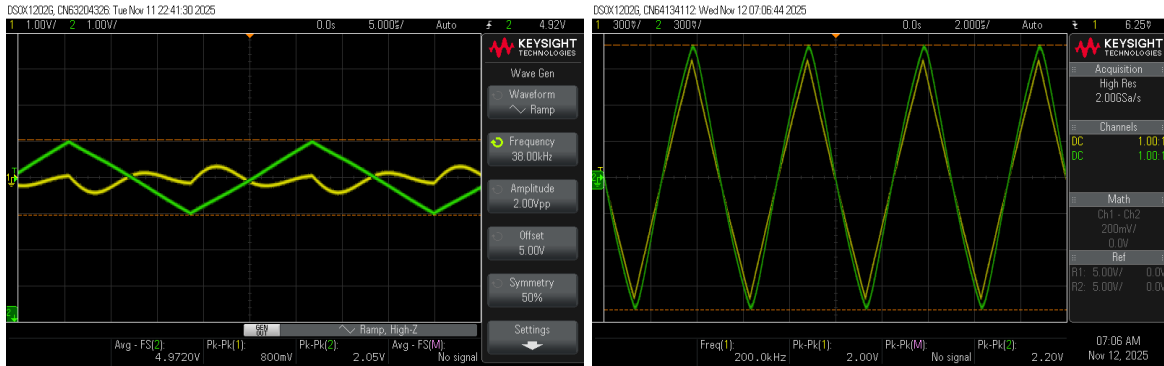


Figura 6: Respuesta en  $V_L$  a 38 kHz (izquierda) y 200 kHz (derecha).

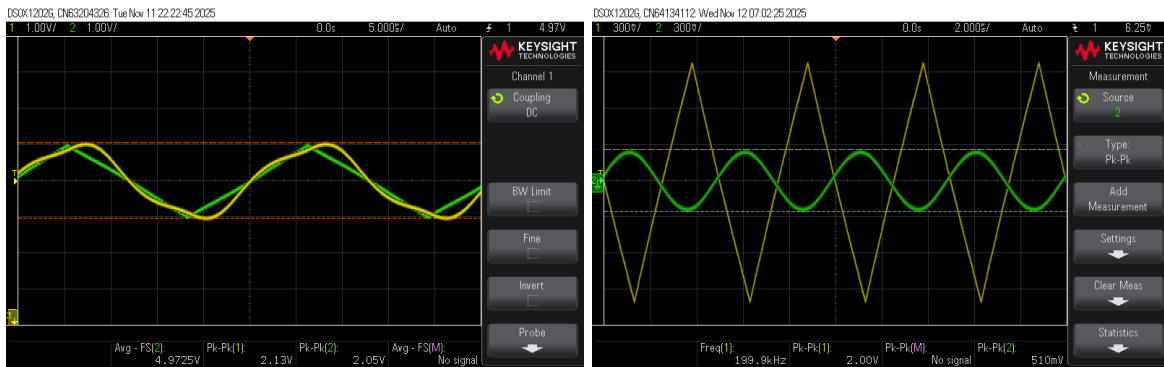


Figura 7: Respuesta en  $V_C$  a 38 kHz (izquierda) y 200 kHz (derecha).

### a) Análisis de la Forma de Onda

Una señal triangular está compuesta por una suma infinita de armónicos impares. La respuesta del circuito depende de cómo el filtro (pasa-bajo, pasa-alto o pasa-banda) atenúa o no esos armónicos.

- $V_R$  (**Pasa-banda**): El filtro está centrado en 80 kHz. A 38 kHz (Figura 5, izq.), la señal está atenuada pero retiene su forma triangular. A 200 kHz (Figura 5, der.), la frecuencia fundamental y todos sus armónicos están profundamente en la banda de rechazo; la señal de salida es casi nula (210mVpp vs 2Vpp).
- $V_L$  (**Pasa-alto**): A 38 kHz (Figura 6, izq.), la frecuencia es baja, por lo que el filtro la bloquea; la señal de salida se ve muy atenuada y con una forma muy distorsionada. A 200 kHz (Figura 6, der.), la frecuencia es alta y está en la banda de paso. El filtro deja pasar la señal, por lo que la salida **es casi idéntica a la triangular de entrada**.
- $V_C$  (**Pasa-bajo**): A 38 kHz (Figura 7, izq.), la frecuencia es baja y está en la banda de paso. El filtro deja pasar la señal, por lo que la salida **es casi idéntica a la triangular de entrada**. A 200 kHz (Figura 7, der.), la frecuencia es alta y está en la banda de rechazo. El filtro bloquea la señal de 200 kHz. Una señal triangular necesita componentes de alta frecuencia para formar sus "picos agudos". Como el filtro los bloquea, la señal de salida se "suaviza" se convierte en una **onda senoidal** de muy baja amplitud (510mVpp).

Respondiendo a la pregunta del TP "¿En qué caso se obtiene una respuesta más parecida a una señal triangular?": La respuesta es más fiel a la triangular en  $V_L$  **a alta frecuencia** (200 kHz) y en  $V_C$  **a baja frecuencia** (38 kHz). Esto ocurre porque en esas regiones, la impedancia del componente ( $Z_L$  o  $Z_C$ ) es tan grande comparada con el resto que domina el divisor de tensión, haciendo que  $V_{out} \approx V_{in}$ .

## 3. Conclusiones

Se ha verificado exitosamente el comportamiento en resonancia de un circuito RLC serie. La medición de los componentes con el analizador de impedancias (Tabla 1) fue fundamental, ya que demostró que la resistencia parásita del inductor ( $R_L$ ) no es despreciable y varía significativamente con la frecuencia.

Esta resistencia parásita, sumada a la resistencia interna del generador ( $R_{gen} = 50 \Omega$ ), compone una  $R_{Total}$  de  $249,2 \Omega$ , que es mucho mayor a la  $R$  nominal de  $100 \Omega$ . Este es el factor principal que domina el comportamiento del circuito.

Los valores experimentales de  $Q$  (2,025 y 1,987) fueron muy consistentes entre sí, validando las mediciones de frecuencias de corte y de tensión.

Como se ve en la Tabla 3, los valores teóricos (calculados usando los datos de 76 kHz) difieren de los experimentales. La  $f_0$  teórica (89,9 kHz) es un 12 % mayor que la experimental (80 kHz), y el  $Q$  teórico (3,20) es significativamente mayor que el experimental (2,0). Esto es la "mayor causa de diferencia" mencionada en la guía del TP: el modelo teórico usa valores fijos de  $L$  y  $R_L$  medidos a 76 kHz, pero en la realidad, estos valores cambian para  $f_0$ ,  $f_{c1}$  y  $f_{c2}$ , afectando los resultados.

Finalmente, los diagramas de Bode (Figuras 2, 3 y 4) confirmaron el comportamiento esperado:  $V_R$  actúa como un filtro pasa-banda,  $V_L$  como un pasa-alto y  $V_C$  como un pasa-bajo. El análisis con la señal triangular demostró cómo estos filtros afectan a los armónicos de una señal no senoidal.