



INSTITUTO TECNOLÓGICO  
DE  
BUENOS AIRES

## Trabajo Práctico N° 3

Teoría de Circuitos I  
25.10

### Grupo N° 2

Juan Bautista Correa Uranga  
Juan Ignacio Caorsi  
Rita Moschini

Legajo: 65016  
Legajo: 65532  
Legajo: 67026

3 de octubre de 2025

# Resumen

# 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
2.2. Mediciones . . . . .	5
2.3. Cálculos . . . . .	5
2.4. Análisis . . . . .	6
<b>3.. Conclusiones</b>	<b>9</b>

# 1. Introducción

Este trabajo práctico aborda la respuesta transitoria en circuitos RLC serie. Se busca aplicar conceptos teóricos mediante mediciones reales, utilizando generador de señales y osciloscopio. Se analiza cómo varían las respuestas al modificar resistencia, inductancia y capacitancia, observando casos de subamortiguamiento, sobreamortiguamiento y amortiguamiento crítico. El objetivo es comprender la dinámica temporal de circuitos RLC y validar modelos teóricos con datos experimentales.

## 1.1 Instrumental

En esta experiencia se utilizaron los siguientes instrumentos:

- Osciloscopio Keysight DSOX 1202G con generador de ondas integrado.
- Capacitores de 47 pF y 470 pF.
- Resistencias de 220  $\Omega$  nominal y potenciómetro de 5 k $\Omega$  nominal.
- Inductor de resistencia indefinida, con inductancia aproximada de 1 mH.
- Multímetro UNI-T, Standar Digital multimeter, modelo: UT39C.

## 1.2 Marco teórico

Un circuito RLC serie está compuesto por una resistencia (R), una inductancia (L) y una capacitancia (C) conectadas en serie. Dependiendo de la resistencia del circuito, la respuesta transitoria puede ser subamortiguada, sobreamortiguada o críticamente amortiguada. La ecuación diferencial que describe la respuesta del circuito RLC serie es:

$$L \frac{d^2 i(t)}{dt^2} + R \frac{di(t)}{dt} + \frac{1}{C} i(t) = V_{in}(t) \quad (1)$$

y su solución general es la suma de la respuesta natural y la respuesta forzada:  
Para la respuesta natural ( $V_{in}(t) = 0$ ), se define:

$$\alpha = \frac{R}{2L}, \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}, \quad \Delta = \alpha^2 - \omega_0^2 \quad (2)$$

La solución general depende del valor de  $\Delta$ :

- **Sobreamortiguado** ( $\Delta > 0$ ):

$$i(t) = Ae^{(-\alpha + \sqrt{\Delta})t} + Be^{(-\alpha - \sqrt{\Delta})t} \quad (3)$$

- **Críticamente amortiguado** ( $\Delta = 0$ ):

$$i(t) = (A + Bt)e^{-\alpha t} \quad (4)$$

- Subamortiguado ( $\Delta < 0$ ):

$$i(t) = e^{-\alpha t} (A \cos(\omega_d t) + B \sin(\omega_d t)) \quad (5)$$

donde  $\omega_d = \sqrt{\omega_0^2 - \alpha^2}$ .

## 2. Desarrollo

### 2.1 Procedimiento

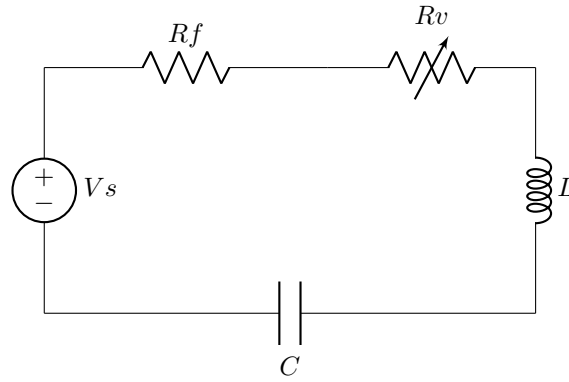


Figura 1: Circuito analizado

La parte experimental se realizó en una serie de 4 pasos:

1. Primero se armó el circuito en serie (observar figura 1) usando el capacitor de 470 pF. Luego, se determinó de manera aproximada, observando la salida en el osciloscopio, el valor de la resistencia variable que producía un amortiguamiento crítico.
2. En esta parte, se ajustó la resistencia  $R_v$  a su valor máximo. Posteriormente, se colocó uno de los cursores horizontales del osciloscopio en  $V_{salida} = 0V$ , y el otro en  $V_{salida} = 3,16V$  y medimos el  $\Delta t$  entre esos valores, tomándolo como el  $\tau$  del sistema. Con este valor aproximado, se midió la salida en el tiempo  $5\tau$ .
3. A continuación, se reemplazó el capacitor por uno de 47pF, y se repitió la medición de la resistencia variable tal que el amortiguamiento fuera crítico. Luego, se puso  $R_v$  en su valor mínimo, y se calculó el tiempo del transitorio. También se midió la frecuencia y el valor de sobrepico, esto el  $\Delta V = V_{max} - V_{excitacion} = V_{max} - 5V$ . Para calcular la frecuencia, obtuvimos un valor aproximado del período promediando las distancias horizontales entre los primeros 3 picos.
4. Finalmente, se cortocircuitaron las resistencias y se analizó el tiempo de respuesta transitoria nuevamente.

## 2.2 Mediciones

- $R_f = 215\Omega$
- $R_{V_{max}} = 9980\Omega$
- $R_{V_{min}} = 2\Omega$
- $R_L = 0,8\Omega$
- $L \approx 1mH$

### Capacitor de C = 470 pF

- Resistencia variable tal que el amortiguamiento fue crítico:  $R_{critico} = 1,9k\Omega$
- Tiempo  $\tau$  en que la salida llegó a 3,175 V con  $R_V$  en su valor máximo:  $\tau = 5,75\mu s$
- Salida cuando  $t = 5\tau$  con  $R_V$  en su valor máximo:  $V_{5\tau} = 5$  V

### Capacitor de C = 47 pF

- Resistencia variable tal que el amortiguamiento fue crítico:  $R_{critico} = 3,47k\Omega$
- Tiempo en que la salida llegó a 3,175 V con  $R_V$  en su valor crítico:  $t = 2,20\mu s$
- Tiempo en que la salida llegó a 5,24 V con  $R_V$  en su valor mínimo:  $t = 14,30\mu s$
- Tiempo en que la salida llegó a 4,982 V ( $5V \pm 0,05V$ ) con las resistencias cortocircuitadas:  $t = 11\mu s$

## 2.3 Cálculos

### Ecuaciones utilizadas

**Cálculo del la resistencia variable tal que el amortiguamiento fuera crítico**

$$\alpha_{serie} = \omega_0 \Rightarrow \frac{R}{2L} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$R = \frac{2L}{\sqrt{LC}} \quad (6)$$

**Cálculo de la inductancia**

Tomando la resistencia variable tal que el amortiguamiento resultase crítico,  $R = \frac{2L}{\sqrt{LC}} = 2\frac{\sqrt{L}}{\sqrt{C}}$

$$L = \frac{C \cdot R^2}{4} \quad (7)$$

## Resultados

### Capacitor de C = 470 pF

Inductancia L:

$$L = 0,526mH$$

Resistencia variable tal que el amortiguamiento fuera crítico:

$$R_{critico} = 1,857k\Omega$$

$\tau$  con  $R_V = R_{V_{max}} = 9980\Omega$ :

$$\tau = 4,74\mu s$$

### Capacitor de C = 47 pF

Resistencia variable tal que el amortiguamiento fuera crítico:

$$R_{critico} = 6,47k\Omega$$

$\tau$  para  $R_V = R_{V_{min}}$ :

$$\tau = 4,83\mu s$$

Sobrepico para  $R_V = R_{V_{min}}$ :

$$\Delta V = 3,196V$$

Frecuencia para  $R_V = R_{V_{min}}$ :

$$f = 0,9836$$

$\tau$  para  $R = R_L$  (resistencias cortocircuitadas):

$$\tau = 1,315ms$$

## 2.4 Análisis

Luego de recolectar los datos, se pudieron observar los siguientes comportamientos.

Es importante mencionar que en este trabajo, no se contó con un valor de referencia de la constante del inductor; esta debió ser aproximada mediante el valor de la resistencia del amortiguamiento crítico obtenida con el capacitor de 470 pF. Consecuentemente, los datos teóricos también pueden contener errores asociados.

### Capacitor 470 pF

En esta parte, se observó lo siguiente: al aproximar el valor de la resistencia del amortiguamiento crítico, se llegó a  $1,9k\Omega$ , un valor el cual posee un error relativo del 2,32 % con respecto al valor teórico. Esto indica una buena aproximación al valor real que causa que el sistema sea críticamente amortiguado.

Sumado a esto, se observó que la respuesta se volvía sobreamortiguada al aumentar la resistencia por encima de  $1,9k\Omega$  y que la misma se volvía subamortiguada al disminuir la misma por debajo de ese

valor. Esto concuerda con las ecuaciones descriptas en el apartado teórico, puesto a que al aumentar  $R$ ,  $\alpha$  aumentaba.

Otras de las áreas analizadas fue la del valor de  $\tau$ . Esta se aproximó despejando el tiempo el cual llevaba a una respuesta de  $3,175 \text{ V}$ . Se observó que el mismo fue de  $5,75 \mu\text{F}$ , un valor el cual posee un error relativo del  $21,3\%$ . Esto muestra un error alto, pero el mismo puede estar asociado en gran medida a la incertidumbre en el valor de la constante  $L$ . Al mismo tiempo, dicho  $\tau$  teórico se consiguió mediante una aproximación, usando la raíz de la ecuación característica más pequeña y descartando la otra.

Finalmente, se observó que el transitorio en  $5\tau$  el valor de la respuesta estaba entre los valores de  $4,75 \text{ V}$  y  $5,25 \text{ V}$ . Esto demuestra que la aproximación de  $5\tau$  como tiempo de transitorio, es efectiva.

## Capacitor 47 pF

En esta parte, se analizó el efecto de la reducción de la capacitancia. Primero se observó que la resistencia del valor crítico aumentaba en comparación con el capacitor de  $470 \text{ pF}$ . Consecuentemente, esto aumentó el margen de valores de las resistencias en los cuales el sistema se mantiene como un subamortiguado.

Al mismo tiempo, también se midió un valor de resistencia que causaba un amortiguamiento crítico. Ese valor fue de  $3,47 \text{ k}\Omega$ , el cual muestra un error relativo del  $46,4\%$ . Este gran error asociado a la medición se debe a que el valor fue obtenido de manera aproximada, sin un ajuste riguroso.

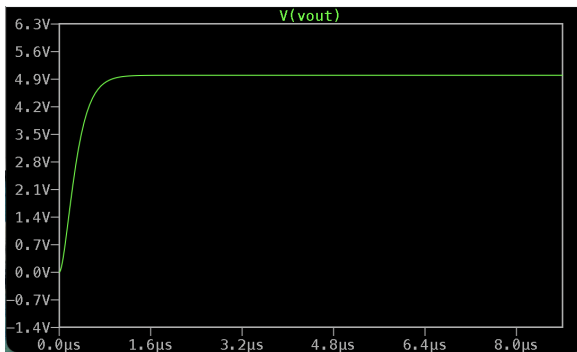


Figura 2: Capacitor 47pF, con  $R_v = 6,47 \text{ k}\Omega$

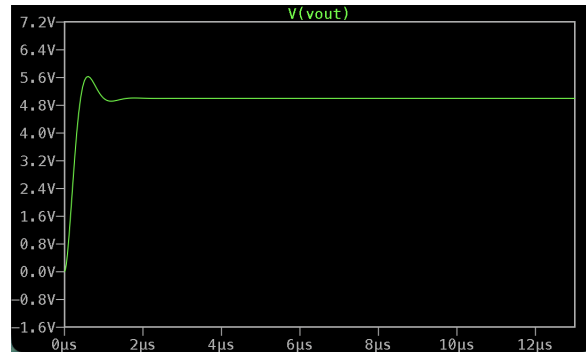


Figura 3: Capacitor 47pF, con  $R_v = 3,47 \text{ k}\Omega$

Por este motivo, se recurrió a la simulación del mismo usando el valor de  $L$ . Es importante volver a mencionar que el mismo ya asocia una gran incertidumbre en su cálculo. Al observar las figuras 2 y 3, se puede observar que el valor calculado mediante el osciloscopio, es un valor subamortiguado. Por tal motivo se considera que el valor de  $6,47 \text{ k}\Omega$  es el valor aproximado que genera un transitorio críticamente amortiguado.

Por otra parte, al analizar el tiempo de transitorio del sistema, con la resistencia variable configurada en su valor mínimo, se obtuvieron los datos a continuación. El tiempo de respuesta transitoria obtenido experimentalmente fue de  $14,30 \mu\text{s}$ , un valor muy lejano al que se consigue con la aproximación teórica de  $5\tau = 24,15 \mu\text{s}$ .



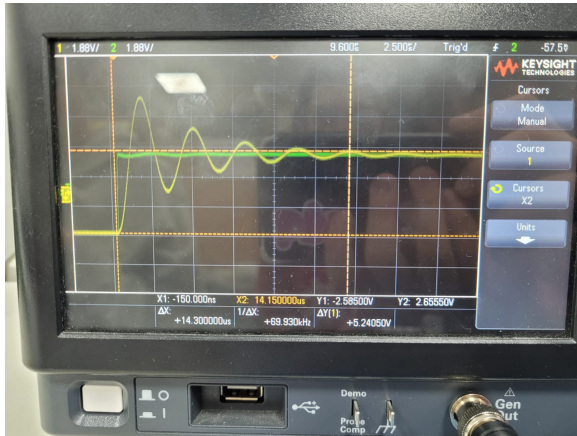


Figura 4: Foto de medición de  $5\tau$  con la resistencia mínima.

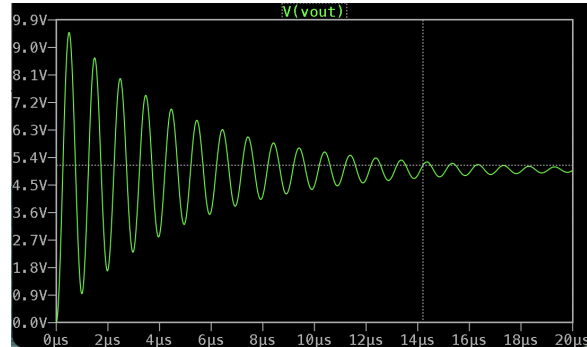


Figura 5: Capacitor 47pF, con  $R_v$  mínimo. Aquí la línea marca el valor de  $5\tau$ .

Al observar las dos gráficas (observar figuras 4 y 5), se puede observar que el gráfico teórico difiere en gran medida con el medido por el osciloscopio. Las dos diferencias más grandes que se observa son: 1) La señal medida por el osciloscopio posee un decaimiento exponencial mucho más rápido que la simulada. 2) La señal simulada posee una frecuencia angular mucho más rápida que la medida por el osciloscopio.

Esta gran diferencia se puede explicar por el efecto de histéresis en el inductor. Si bien el núcleo del inductor es de ferrite, un material el cual no cuenta con pérdidas a causa de corrientes Eddin, el mismo cuenta con pérdidas de histéresis al cambiar la orientación del campo magnético. Esto se debe a que la corriente en este momento no es continua, sino que varía con el tiempo cambiando la dirección del campo magnético. Esto termina afectando la energía del sistema no ideal, causando las diferencias observadas con los valores teóricos.

Por tal motivo, se pudo concluir que en este caso los cálculos teóricos no se aproximan correctamente a los valores observados en el sistema real. Esto se debe a que las ecuaciones no contemplan el efecto de pérdida causado por la histéresis. Es más, este modelo se podría aproximar usando una resistencia en serie o una resistencia en paralelo. Aunque la misma conserva una forma parecida, la misma cuenta con diferencias marcadas en el tiempo de transitorio, por lo que no se consideró pertinente su comparación con los valores experimentales. Todo esto explicaría el error relativo del 68% entre el tiempo del transitorio teórico y el experimental.

(explicar sobre pico)

En última instancia se cortocircuitaron la resistencia de  $215\ \Omega$  y la resistencia variable. Al comparar ambos gráficos (observar figuras 6 y 7), se puede observar una gran diferencia entre los datos obtenidos teóricamente y los datos empíricos. Mientras que según lo teórico se puede observar lo que es un oscilador casi ideal, en la experiencia de laboratorio se observó un sistema que no oscila indefinidamente. Esto se puede ver en los datos, puesto a que el tiempo de transitorio obtenido en el osciloscopio es de  $t = 11\ \mu s$ , mientras que el teórico es de  $5\tau = 6,58\ ms$ . Esto es una diferencia de 3 órdenes de magnitud.

Esta diferencia vuelve a ser explicada por la pérdida de histéresis en el inductor. En el modelo teórico se considera que el único elemento que pierde energía es la resistencia asociada al inductor.

No obstante en la realidad, el sistema no solo pierde energía por la resistencia del inductor, sino que también por la histéresis al cambiar la orientación del campo magnético.

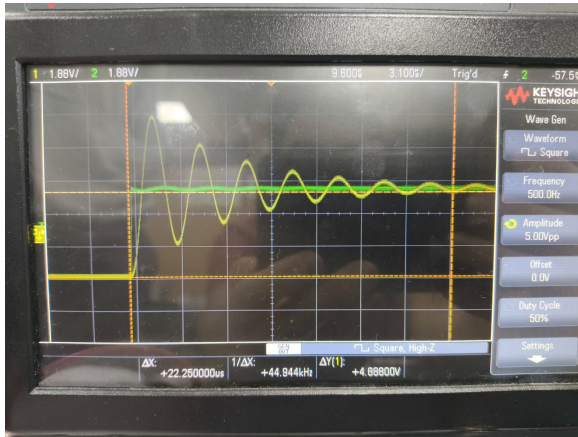


Figura 6: Foto de medición del osciloscopio con las resistencias cortocircuitadas.

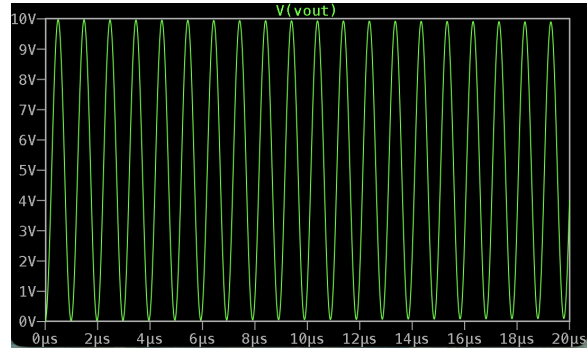


Figura 7: Simulación del sistema con las resistencias cortocircuitadas.

### 3. Conclusiones