

Instituto Tecnológico de Costa Rica
Área Académica de Ingeniería en Computadores



Manual de Laboratorios
CE2201 Laboratorio de Circuitos Eléctricos

Profesor
Ing. Jeferson Gonzalez Gomez, M.Sc.

Basado en el Manual de Laboratorios de
Ing. Juan José Montero Rodríguez, M.Sc.
Ing. Carlos Salazar García, M.Sc.
Ing. Yeiner Arias Esquivel, M.Sc.

II Semestre 2017

Índice de experimentos

Laboratorio #1: Introducción a los circuitos eléctricos	3
Laboratorio #2: Leyes de Kirchhoff.....	7
Laboratorio #3: Divisor de tensión y de corriente, conversión Y- Δ	10
Laboratorio #4: Análisis de mallas y análisis de nodos	15
Laboratorio #5: Teoremas de Superposición, Thévenin y Norton	20
Laboratorio #6: Determinación de la resistencia interna de una fuente de tensión real y máxima transferencia de potencia.....	22
Laboratorio #7: Introducción al osciloscopio.....	25
Laboratorio #8: El circuito RC y RL en corriente continua	29
Laboratorio #9: El circuito RLC serie y escalón unitario	33
Laboratorio #10: Reactancia capacitiva e inductiva.....	37
Laboratorio #11: Respuesta de frecuencia de circuitos RC.....	44

Laboratorio #1: Introducción a los circuitos eléctricos

En este experimento se utiliza el multímetro como equipo básico de laboratorio, para medir tensiones, corrientes y resistencias en circuitos sencillos. Se aprenderá a usar este instrumento de forma correcta, para medir variables eléctricas sin dañar los equipos. Además, se verificará el funcionamiento de un potenciómetro.

1. Objetivos

- Conocer e interpretar la simbología de los instrumentos de medición.
- Utilizar el multímetro como aparato de medición de tensión, corriente y resistencia.
- Determinar fuentes de error en las mediciones de tensión, corriente y resistencia.

1. Cuestionario previo

1. Investigue el código de colores para resistencias de cuatro y cinco bandas.
2. Escriba el valor de una resistencia con bandas amarillo, violeta, naranja, dorado.
3. ¿Cuáles serían las bandas de color de una resistencia de $3.3\text{ k}\Omega$ con 10% de tolerancia?
4. Explique cómo se conecta y utiliza un voltímetro, un amperímetro y un ohmímetro.
5. Cuando se mide una señal eléctrica, ¿cuál escala debe seleccionarse primero para no dañar el instrumento? Explique por qué en el procedimiento se usa la escala más alta.
6. Investigue cómo se especifica la incertidumbre en instrumentos analógicos y en digitales.
7. Explique en qué consiste la Ley de Ohm y dé un ejemplo para un circuito sencillo.
8. Explique cómo sumar resistencias en serie y en paralelo.
9. Realice los cálculos que sean necesarios para rellenar los valores teóricos de las tablas. Calcule las tensiones y corrientes que se le solicitan.

2. Equipo y materiales

Cantidad	Descripción
1	Fuente de CD
1	Multímetro digital
1	Protoboard
1	Potenciómetro
	Resistencias de distintos valores
	Cables de conexión tipo banana-banana

3. Circuitos de medición

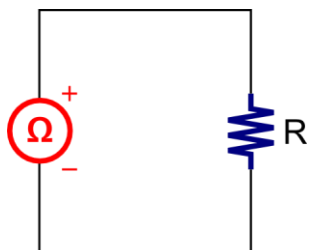


Figura 1. Circuito de medición de resistencias.

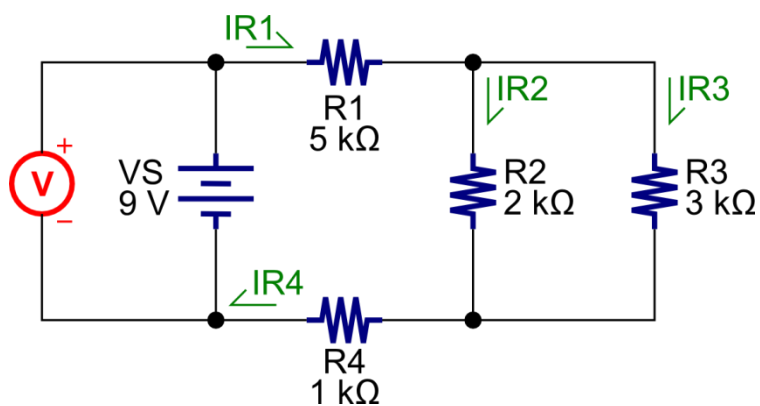


Figura 2. Circuito de medición de tensiones.

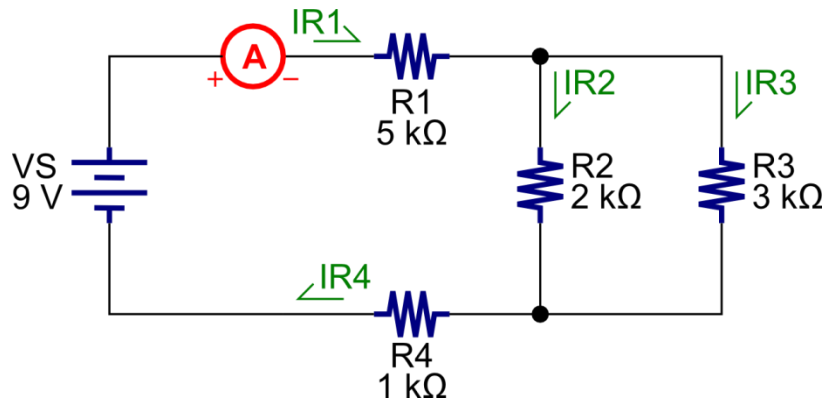


Figura 3. Circuito de medición de corrientes.

4. Procedimiento

4.1 Uso del ohmímetro

1. Coloque el multímetro en el modo de medición de resistencias (ohmímetro).
2. Construya el circuito de medición de la Figura 1. Mida la resistencia y anótela en la Tabla 1.
3. Repita la medición para diez valores distintos de resistencias, hasta completar la tabla.
4. Calcule el porcentaje de error de las resistencias utilizadas.
5. Explique a qué puede deberse la diferencia entre el valor teórico y el experimental.

Tabla 1. Valores teóricos y experimentales de diez resistencias del laboratorio.

Valor teórico (Ω)	Valor medido (Ω)	Incertidumbre (Ω)	Error (%)
		\pm	
		\pm	
		\pm	
		\pm	
		\pm	
		\pm	
		\pm	
		\pm	
		\pm	
		\pm	

4.2 Mediciones de un potenciómetro

1. Coloque el multímetro en el modo de medición de resistencias (ohmímetro).
2. Identifique las tres terminales del potenciómetro: las de los extremos son A y B, y la terminal del centro se denominará terminal C. Dibuje el potenciómetro con las terminales en la bitácora.
3. Conecte el ohmímetro entre las terminales A y B. Mida la resistencia y anótela en la Tabla 2.
4. Mida la resistencia entre las terminales A y C para cinco posiciones distintas de la perilla del potenciómetro. Anote las mediciones en la Tabla 2.

Tabla 2. Mediciones de resistencia en un potenciómetro.

Posición	Valor medido (Ω)	Incertidumbre (Ω)
A-B		\pm
A-C (posición 1)		\pm
A-C (posición 2)		\pm
A-C (posición 3)		\pm
A-C (posición 4)		\pm
A-C (posición 5)		\pm

4.3 Uso del voltímetro

1. Coloque el multímetro en el modo de medición de tensiones (voltímetro).
2. Seleccione la escala más alta.
3. Arme el circuito de medición de la Figura 2.
4. Compruebe que la perilla de la fuente esté en el mínimo, y enciéndala.
5. Ajuste una tensión de 9 V en la fuente de corriente directa.
6. Mida la tensión de la fuente con el voltímetro y anótela en la Tabla 3.
7. Desconecte el voltímetro y realice la conexión para medir la tensión de la resistencia R1.
8. Mida la tensión de las demás resistencias. Anótelas en la Tabla 3.
9. Apague la fuente de tensión y gire la perilla hasta el mínimo.

Tabla 3. Mediciones de tensión en un circuito serie-paralelo.

Tensión	Valor teórico (V)	Valor medido (V)	Incertidumbre (V)
V_S			\pm
V_{R1}			\pm
V_{R2}			\pm
V_{R3}			\pm
V_{R4}			\pm

4.4 Uso del amperímetro

1. Coloque el multímetro en el modo de medición de corrientes (amperímetro).
2. Seleccione la escala más alta.
3. Arme el circuito de medición de la Figura 3.
4. Compruebe que la perilla de la fuente esté en el mínimo, y enciéndala.
5. Ajuste una tensión de 9 V en la fuente de corriente directa.
6. Mida la corriente total que fluye por el circuito. Anótela en la Tabla 4.
7. Apague la fuente de tensión y gire la perilla hasta el mínimo.
8. Haga las modificaciones necesarias para medir la corriente en las resistencias R3 y R4.
9. Mida la corriente que fluye por las resistencias R3 y R4 y anótela en la Tabla 4.
10. Apague la fuente de tensión y gire la perilla hasta el mínimo.
11. Desarme los circuitos y devuelva los componentes y equipo a su lugar original.

Tabla 4. Mediciones de tensión en un circuito serie-paralelo.

Corriente	Valor teórico (A)	Valor medido (A)	Incertidumbre (A)
I_S			\pm
I_{R1}			\pm
I_{R2}			\pm
I_{R3}			\pm
I_{R4}			\pm

Laboratorio #2: Leyes de Kirchhoff

Las Leyes de Kirchhoff son dos técnicas de análisis fundamentales de los circuitos eléctricos con elementos pasivos. En este experimento se verificarán estas dos leyes de manera experimental mediante circuitos de medición resistivos, y se comparan los resultados con los cálculos teóricos. La Ley de Tensiones de Kirchhoff (LVK) indica que la suma de tensiones en una malla debe ser cero. La Ley de Corrientes de Kirchhoff (LCK) establece que la suma de corrientes en un nodo es cero.

1. Objetivos

- Medir apropiadamente corriente y tensión en distintos circuitos de medición.
- Comprobar experimentalmente la Ley de Tensiones de Kirchhoff (LVK).
- Comprobar experimentalmente la Ley de Corrientes de Kirchhoff (LCK).
- Comprobar que la sumatoria de potencias en cualquier circuito pasivo es cero.

2. Cuestionario previo

1. Explique la Ley de Tensiones de Kirchhoff y brinde un ejemplo con un circuito serie.
2. Explique la Ley de Corrientes de Kirchhoff y brinde un ejemplo con un circuito paralelo.
3. Realice los cálculos que sean necesarios para rellenar los valores teóricos de las tablas.
4. Verifique de manera teórica que la sumatoria de tensiones en el circuito de la Figura 1 es igual a cero, y que la sumatoria de corrientes en el nodo superior del circuito de la Figura 2 es cero. Escriba los cálculos necesarios en la bitácora.
5. Explique cómo puede calcular la potencia en un elemento, si tiene (a) V e I (b) V y R (c) I y R .

3. Equipo y materiales

Cantidad	Descripción
1	Fuente de CD
1	Multímetro digital
1	Protoboard
	Resistencias de distintos valores
	Cables de conexión tipo banana-banana

4. Circuitos de medición

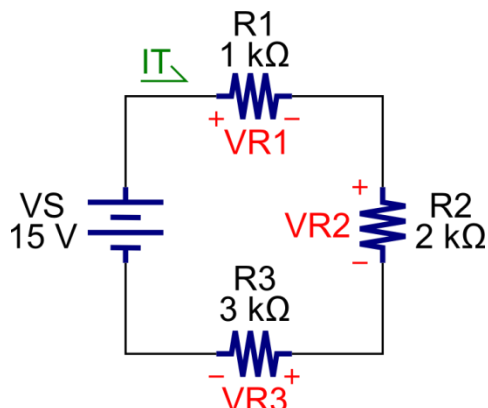


Figura 1. Circuito en serie para comprobar LVK.

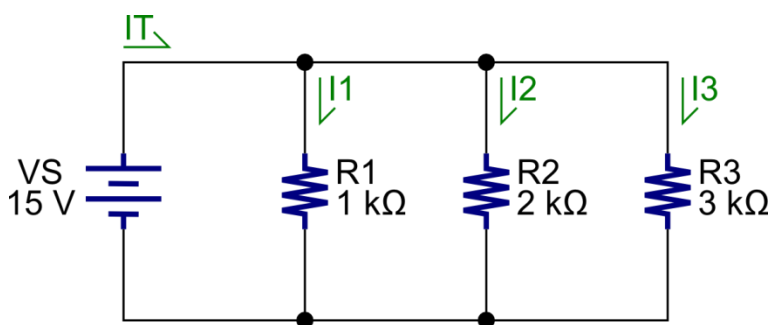


Figura 2. Circuito en paralelo para comprobar LCK.

5. Procedimiento

5.1 Ley de tensiones de Kirchhoff

1. Construya el circuito de medición de la Figura 1.
2. Copie en su bitácora una tabla como la que se brinda a continuación.

Tabla 1. Mediciones de tensión en un circuito serie para verificar la LVK.

Tensión	Teórica (V)	Experimental (V)	Incertidumbre (V)	% Error
V_S	15		\pm	
V_{R1}			\pm	
V_{R2}			\pm	
V_{R3}			\pm	

3. Ajuste una tensión de 15 V en la fuente de alimentación. Médala con el voltímetro y anote el valor experimental en la Tabla 1. Recuerde anotar la incertidumbre, de acuerdo con la escala que se utilizó para medir la tensión.
4. Mida con el voltímetro las tensiones V_{R1} , V_{R2} y V_{R3} . Anótelas en la Tabla 1.
5. Mida la corriente que circula por este circuito. Escríbala a continuación: I_T _____
6. Calcule el porcentaje de error de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\%Error = \left(\frac{V_{Teórico} - V_{Experimental}}{V_{Teórico}} \right) \times 100\%$$

7. Apague la fuente de tensión, pero NO mueva la perilla de ajuste de la misma, puesto que ya anotó el valor experimental de la tensión en el punto 3. Esta tensión la utilizará en la siguiente sección.

5.2 Ley de corrientes de Kirchhoff

1. Construya el circuito de medición de la Figura 2. Deje el espacio suficiente para conectar un amperímetro en serie con las resistencias.
2. Copie en su bitácora una tabla como la que se brinda a continuación.

Tabla 2. Mediciones de corriente en un circuito paralelo para verificar la LCK.

Tensión	Teórica (A)	Experimental (A)	Incertidumbre (A)	% Error
I_T			\pm	
I_{R1}			\pm	
I_{R2}			\pm	
I_{R3}			\pm	

3. Encienda la fuente y verifique con el voltímetro que exista una tensión de 15 V.
4. Mida con el amperímetro las corrientes I_T , I_{R1} , I_{R2} e I_{R3} . Anótelas en la Tabla 2.
5. Calcule el porcentaje de error de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\%Error = \left(\frac{I_{Teórico} - I_{Experimental}}{I_{Teórico}} \right) \times 100\%$$

6. Evaluación

1. Compruebe que se cumple la LVK en el circuito de la Figura 1, utilizando los valores medidos.
2. Compruebe que se cumple la LCK en el circuito de la Figura 2, utilizando los valores medidos.
3. ¿La sumatoria de tensiones o de corrientes da exactamente cero? ¿Por qué?
4. Calcule la potencia que se consume en cada una de las resistencias del circuito de la Figura 1, y la potencia que entrega la fuente, utilizando los valores medidos. Considere que la potencia que consumen las resistencias es positiva, y la que entrega la fuente es negativa. ¿La sumatoria de potencias da cero?
5. Repita el cálculo de potencia en todos los elementos del circuito de la Figura 2. Compruebe que la sumatoria de potencias sea igual a cero. ¿Por qué es cero, si los elementos están en paralelo?

Laboratorio #3: Divisor de tensión y de corriente, conversión Y-Δ

Las técnicas de análisis por división de tensión y divisor de corriente permiten realizar cálculos de la forma en la que se distribuye la tensión o la corriente en circuitos resistivos, dependiendo de la magnitud de las resistencias y de las ramas presentes en el circuito.

El **divisor de tensión** establece que la tensión en cualquier resistencia de un circuito serie se puede calcular multiplicando la tensión de la fuente por la resistencia en estudio, y dividiendo entre la suma de todas las resistencias del circuito. La ley está descrita por la siguiente ecuación:

$$V_{R1} = \frac{R_1}{R_1 + R_2 + \dots} \times V_S$$

El **divisor de corriente** establece que la corriente en cualquier resistencia de un circuito paralelo se puede calcular multiplicando la corriente total de entrada por el valor de la conductancia en estudio, y dividiendo entre la suma de todas las conductancias de la rama paralela. La ley está descrita de manera general por la siguiente ecuación:

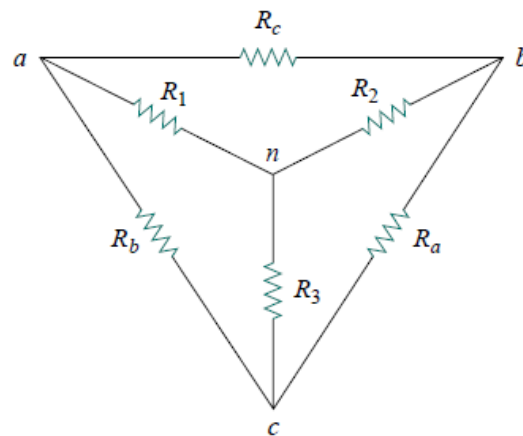
$$I_{R1} = \frac{G_1}{G_1 + G_2 + \dots} \times I_T$$

Por otra parte, en este experimento se estudiará la conversión entre circuitos estrella y delta, que es de gran utilidad al realizar cálculos en circuitos trifásicos mixtos. La **conversión estrella-delta** establece que las impedancias de un circuito en estrella se pueden reacomodar en configuración delta por medio de las siguientes ecuaciones:

$$R_a = \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}{R_1}$$

$$R_b = \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}{R_2}$$

$$R_c = \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}{R_3}$$

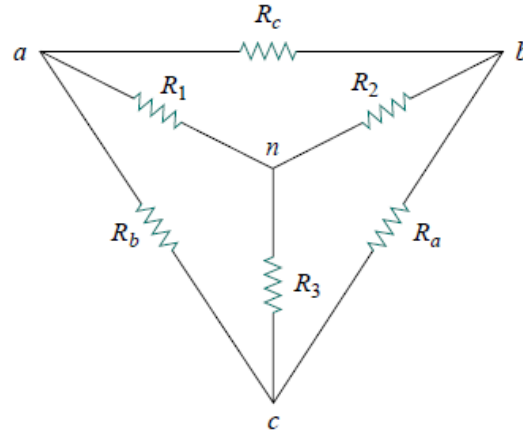


La **conversión delta-estrella** establece que las impedancias en un circuito en delta se pueden reacomodar en configuración estrella por medio de las siguientes ecuaciones:

$$R_1 = \frac{R_b R_c}{R_a + R_b + R_c}$$

$$R_2 = \frac{R_a R_c}{R_a + R_b + R_c}$$

$$R_3 = \frac{R_a R_b}{R_a + R_b + R_c}$$



Además, si las cargas están balanceadas se cumple que $R_\Delta = 3R_Y$.

Objetivos

- Comprobar experimentalmente el divisor de tensión y comparar con el cálculo teórico.
- Comprobar experimentalmente el divisor de corriente y comparar con el cálculo teórico.
- Realizar conversiones delta-estrella en el circuito conocido como “Puente de Wheatstone”.

1. Cuestionario previo

1. Investigue la ecuación del divisor de corriente para el caso en el que sean solo dos resistencias.
2. Calcule la tensión que cae en las resistencias del circuito de la Figura 1, utilizando la ecuación del divisor de tensión (no utilice la Ley de Ohm) y complete los datos teóricos de la Tabla 1.
3. Calcule la corriente I_{R1} del circuito de la Figura 2 combinando las resistencias en paralelo.
4. Calcule la corriente que pasa por cada una de las resistencias del circuito de la Figura 2, utilizando la corriente del punto anterior y la ecuación del divisor de corriente (no utilice la Ley de Ohm). Debe calcular las conductancias G_2 , G_3 y G_4 para este cálculo. Complete la Tabla 2.
5. Aplique la conversión delta-estrella a las resistencias R_1 , R_2 y R_3 del circuito de la Figura 3. Obtenga el equivalente en estrella y calcule la corriente total que circula por este circuito. Calcule la corriente que pasa por las resistencias R_4 y R_5 . Calcule la tensión en los puntos A y B.
6. Calcule la corriente que circula por la resistencia R_2 en el circuito original Puente de Wheatstone.
7. Copie en la bitácora los circuitos de medición y las tablas correspondientes. Deje los espacios para anotar todos los resultados el día de la práctica.

2. Equipo y materiales

Cantidad	Descripción
1	Fuente de CD
1	Multímetro digital
1	Protoboard
	Resistencias de distintos valores
	Cables de conexión tipo banana-banana

3. Circuitos de medición

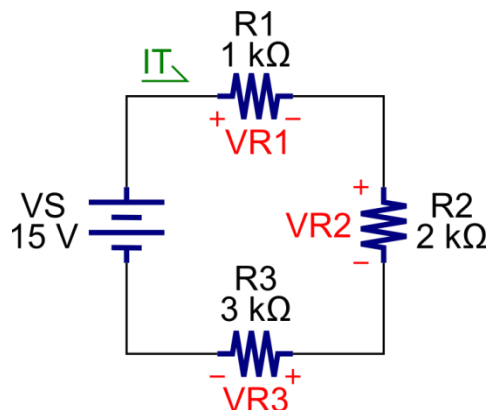


Figura 1. Circuito para la comprobación del divisor de tensión.

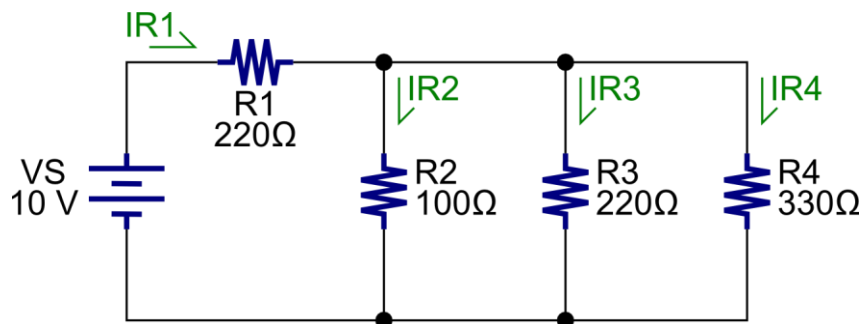


Figura 2. Circuito para la comprobación del divisor de corriente.

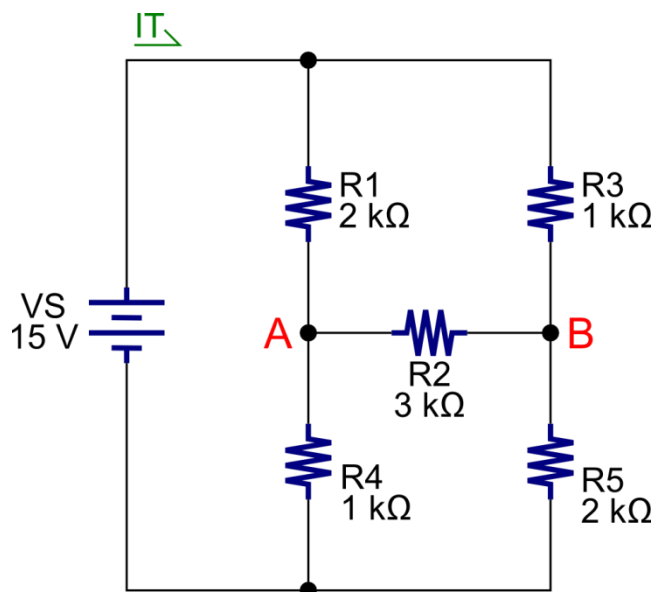


Figura 3. Circuito de Puente de Wheatstone para conversión estrella-delta.

4. Procedimiento

1 Divisor de tensión

1. Construya el circuito de medición de la Figura 1.
2. Mida la tensión de la fuente, y la tensión en cada una de las resistencias. Anótelas en la Tabla 1.
3. Calcule el porcentaje de error de estas mediciones y complete la Tabla 1.

Tabla 1. Mediciones de tensión en un circuito serie para comprobar la Ley de Divisor de Tensión.

Elemento	Tensión teórica (V)	Tensión medida (V)	% Error (%)
V_S	15		
V_{R1}			
V_{R2}			
V_{R3}			

2 Divisor de corriente

1. Construya el circuito de medición de la Figura 2.
2. Mida la corriente total, y la corriente en cada una de las resistencias. Anótelas en la Tabla 2.
3. Calcule el porcentaje de error de estas mediciones y complete la Tabla 2.

Tabla 2. Mediciones de corriente en un circuito para comprobar la Ley de Divisor de Corriente.

Elemento	Corriente teórica (A)	Corriente medida (V)	% Error (%)
I_T			
I_{R2}			
I_{R3}			
I_{R4}			

3 Puente de Wheatstone

1. Construya el circuito de medición de la Figura 3.
2. Mida la tensión en los puntos A y B, anótelas en la Tabla 3.
3. Mida la corriente total que circula por el circuito y anótela en la Tabla 3.
4. Mida la corriente que circula por la resistencia R3.
5. Complete los datos de la Tabla 3.

Tabla 3. Mediciones de tensión y de corriente en el Puente de Wheatstone.

Elemento	Valor teórico	Valor medido	% Error (%)
V_A			
V_B			
I_T			
I_{R2}			

5. Evaluación

1. Demuestre que se cumplen las Leyes de Kirchhoff utilizando los datos experimentales, para los circuitos de la Figura 1 (LVK) y la Figura 2 (LCK).
2. Demuestre además que la sumatoria de potencias en estos dos circuitos es cero.
3. Realice conclusiones sobre la ley de divisor de tensión y la ley de divisor de corriente. ¿Los resultados experimentales demuestran que se cumplen dichas leyes?
4. Investigue sobre distintas aplicaciones del circuito Puente de Wheatstone. ¿Cómo se puede utilizar para medir resistencias desconocidas? ¿O para medir temperatura? Cite ejemplos.

Laboratorio #4: Análisis de mallas y análisis de nodos

En este laboratorio se estudiarán las técnicas de análisis de circuitos eléctricos complejos. Se analizará un circuito por medio de análisis de mallas y análisis de nodos, para calcular las tensiones y corrientes en todos los puntos del circuito. Además, el estudiante aprenderá a simular circuitos eléctricos mediante la herramienta de simulación SPICE y a ensamblar circuitos en protoboard.

1. Objetivos

- Simular circuitos eléctricos pasivos usando LTspice.
- Calcular tensiones y corrientes con la técnica de análisis de mallas y análisis de nodos.
- Comprobar experimentalmente las técnicas de análisis de mallas y análisis de nodos.
- Aprender a ensamblar circuitos en protoboard.

2. Cuestionario previo

1. Explique la técnica de análisis de mallas y explique cómo se utiliza para calcular las tensiones y corrientes en diferentes puntos de un circuito.
2. Explique la técnica de análisis de nodos y explique cómo se utiliza para calcular las tensiones y corrientes en diferentes puntos de un circuito.
3. Realice el punto 5.1 del procedimiento para simular el circuito de medición antes de la clase. Imprima el diagrama montado en LTspice y péguelo en la bitácora. Anote los resultados de simulación en la Tabla 1.
4. Calcule la tensión y la corriente en todas las resistencias y nodos del circuito estudiado, utilizando análisis de mallas. Realice los cálculos a mano y escríbalos en su bitácora de laboratorio. Complete los valores teóricos de la Tabla 1 y compare con la simulación.
5. Repita los cálculos utilizando ahora análisis de nodos. Anote los cálculos en su bitácora.

3. Equipo y materiales

Cantidad	Descripción
1	Fuente de CD
1	Multímetro digital
1	Protoboard
	Resistencias de 1 k Ω , 2 k Ω , 3.3 k Ω
	Cable UTP para conexiones
	Cortadora o alicata pequeño

4. Circuitos de medición

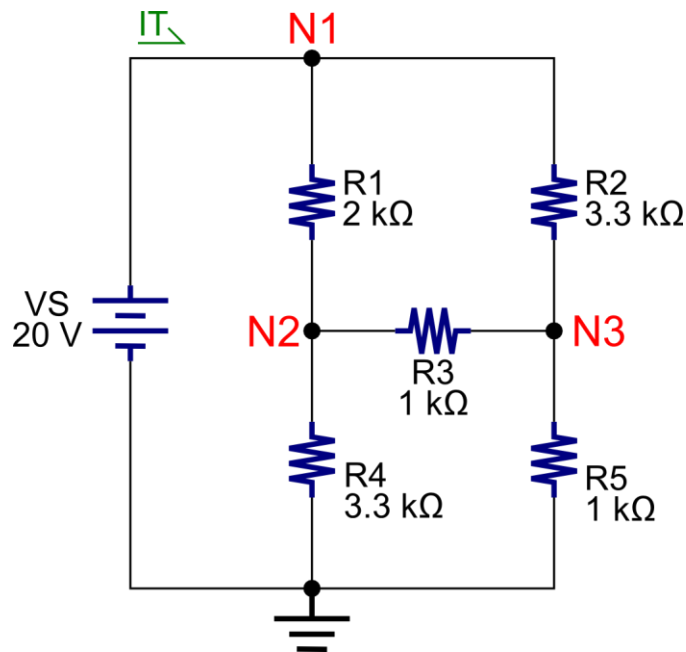


Figura 1. Circuito de comprobación de análisis de mallas y análisis de nodos.

5. Procedimiento

5.1 Simulación de circuitos utilizando LTspice

1. Instale el programa LTspice en su computadora. El programa lo puede descargar de la dirección <http://ltspice.linear-tech.com/software/LTspiceIV.exe>
2. Inicie el programa y haga clic en File->New Schematic.
3. Haga clic en View->Show grid para mostrar la rejilla en la pantalla.
4. Haga clic en Edit->Resistor (o presione la tecla R) para agregar una resistencia.
5. Coloque la resistencia haciendo clic izquierdo, y presione ESC para salir del modo de edición.
6. Para cambiar el valor de la resistencia, haga clic derecho sobre la misma y escriba el valor en el cuadro indicado. Deje la tolerancia y la potencia en blanco.
7. Puede rotar las resistencias mientras está en el modo de edición presionando CTRL+R.
8. Si desea eliminar una resistencia, presione la tecla SUPR. El cursor cambiará a una tijera. Haga clic izquierdo sobre la resistencia deseada. Presione ESC para salir del modo de edición.
9. Para agregar una fuente de CD, haga clic en Edit->Component (o presione F2) y busque el componente "Voltage". Haga clic en OK y agregue la fuente.
10. Proceda a construir el resto del circuito de medición de la Figura 1. Deberá armar el circuito como se muestra en la Figura 2.

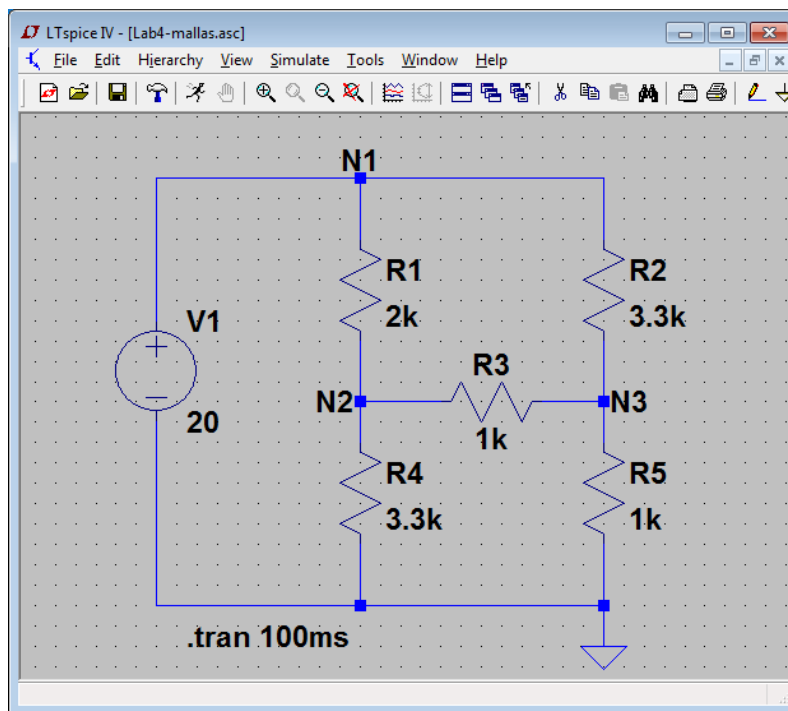


Figura 2. Estructura del circuito de medición implementada en LTspice.

11. Para agregar cables, haga clic en Edit->Draw wires (o presione F3) y dibuje los cables entre los componentes. Deberá construir las conexiones usando líneas rectas. Presione ESC (o clic derecho) si desea terminar el cable y salir del modo de edición.
12. Cuando termine el circuito, agregue la terminal de tierra presionando Edit->Place ground (o presione la tecla G). Conecte la tierra a la terminal negativa de la fuente.
13. Puede agregar etiquetas para identificar los nodos. Haga clic en Edit->Label Net (o presione F4), escriba el nombre del nodo (por ejemplo, N1) y agregue la etiqueta sobre el cable.
14. Configure la simulación haciendo clic en Simulate->Edit Simulation Cmd. Complete la información para realizar una simulación de 100 ms (Stop time) y deje los demás campos en blanco. Haga clic en OK y luego en cualquier punto de la hoja del esquemático para agregar la directiva de simulación SPICE. Deberá decir “trans 100ms”
15. Simule el circuito haciendo clic en Simulate->Run. Se abrirá una pestaña de gráficas, puede cerrarla haciendo clic derecho en la pestaña y luego haciendo clic en Close. Maximice la ventana del circuito esquemático.
16. Para medir tensión, coloque el cursor sobre un nodo cualquiera (cable) sin hacer clic. En la barra inferior del programa deberá aparecer el número de nodo y la tensión DC de ese nodo.
17. Para medir corriente, coloque el cursor sobre cualquier resistencia o bien sobre la fuente, igualmente sin hacer clic. En la barra inferior aparecerá información sobre corriente y potencia disipada por dicho elemento.
18. Complete la Tabla 1 con todos los resultados de su simulación. La tabla la encontrará al final de este instructivo de laboratorio.

5.2 Mediciones experimentales

1. Construya el circuito de medición de la Figura 1 utilizando la protoboard.
2. Mida la tensión de la fuente y la tensión en cada una de las resistencias y nodos del circuito. Las tensiones de los nodos VN1, VN2, VN3, VN4 se miden con respecto a la referencia.
3. Mida la corriente a través de cada una de las resistencias del circuito. Para esto deberá apagar la fuente, desconectar una resistencia, conectar el amperímetro en serie con la resistencia por aparte, y volver a colocar las terminales en el punto donde la desconectó. Encienda la fuente revisando que no haya cables tocándose y mida la corriente. Repita para las demás resistencias.
4. Complete la Tabla 1 con la información de las mediciones.

6. Evaluación

1. Compare los resultados de la simulación con los cálculos teóricos y las mediciones.

Tabla 1. Valores teóricos y experimentales de tensión y corriente en el circuito del laboratorio.

Variable	Valor simulado	Valor calculado	Valor experimental
V_{N1}	20 V	20 V	
V_{N2}			
V_{N3}			
V_{R1}			
V_{R2}			
V_{R3}			
V_{R4}			
V_{R5}			
I_{R1}			
I_{R2}			
I_{R3}			
I_{R4}			
I_{R5}			

Laboratorio #5: Teoremas de Superposición, Thévenin y Norton

En algunas ocasiones, los circuitos son demasiado complejos y es necesario simplificarlos para continuar con el análisis. El principio de superposición es útil para calcular de manera rápida los parámetros en circuitos con varias fuentes. Los teoremas de Thévenin y Norton permiten reemplazar una parte del circuito por una fuente y una resistencia, simplificando el análisis posterior. Estas técnicas se estudiarán en el presente experimento.

1. Objetivos

- Comprobar experimentalmente el principio de superposición.
- Comprobar experimentalmente el teorema de Thévenin.
- Comprobar experimentalmente el teorema de Norton.

2. Cuestionario previo

1. Explique el teorema de superposición.
2. Explique los teoremas de Thévenin y Norton.
3. Calcule la corriente que pasa por la resistencia R_3 del circuito de medición del experimento, con el principio de superposición.
4. Suponga que la resistencia R_3 es la carga. Desconéctela y calcule teóricamente el equivalente de Thévenin entre los puntos A y B. (Calcule tensión circuito abierto y corriente cortocircuito).
5. Suponga que la resistencia R_3 es la carga. Desconéctela y calcule teóricamente el equivalente de Norton entre los puntos A y B. (Calcule tensión circuito abierto y corriente cortocircuito).
6. Simule el circuito con LTspice para verificar los resultados de sus cálculos.

3. Equipo y materiales

Cantidad	Descripción
1	Fuente dual de CD
1	Multímetro digital
1	Protoboard
	Resistencias de distintos valores
	Cables de conexión

4. Circuitos de medición

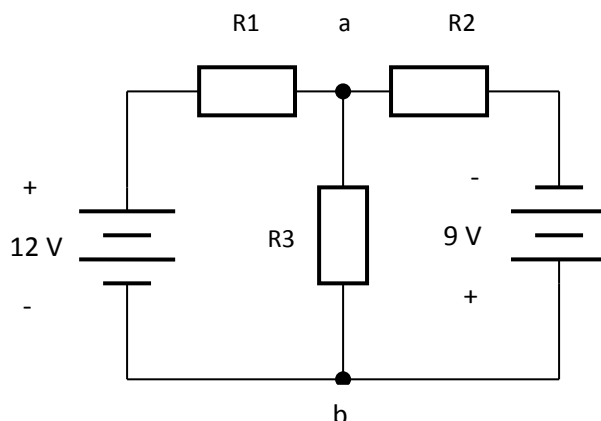


Figura 1. Circuito para comprobar el teorema de superposición.

Con $R_1 = 1k$, $R_2 = 2k$, $R_3 = 3k$

5. Procedimiento

5.1 Teorema de superposición

1. Monte el circuito de la Figura 1 en la protoboard.
2. Con la fuente V_2 apagada, conecte la fuente de tensión V_1 y ajuste 12 V.
3. Mida la corriente en la resistencia R_3 .
4. Apague la fuente de tensión V_1 y ajuste una tensión de 9 V en la fuente V_2 .
5. Mida la corriente en la resistencia R_3 .
6. Conecte de nuevo ambas fuentes $V_1=12V$,
7. Mida la tensión entre las terminales A y B. $V_2=9V$. Mida la corriente en la resistencia R_3 .

5.2 Teorema de Thévenin y Norton

1. Desconecte la resistencia R_3 del circuito, y mida la tensión entre las terminales A y B.
2. Desconecte las fuentes y conecte en su lugar un corto circuito. Bajo estas condiciones, mida la resistencia entre A y B, manteniendo R_6 desconectada.
3. Conecte nuevamente las fuentes y conecte el amperímetro entre los puntos A y B. Mida la corriente de cortocircuito.

6. Evaluación

1. Con las mediciones realizadas, demuestre que se cumple:
 - El principio de superposición
 - El teorema de Thévenin
 - El teorema de Norton

Laboratorio #6: Determinación de la resistencia interna de una fuente de tensión real y máxima transferencia de potencia

Las fuentes de tensión que se utilizan en la práctica no son elementos ideales, sino que internamente tienen algunos parámetros equivalentes que tienen un efecto en la salida. La tensión o la corriente de salida varían dependiendo de la carga que se coloque.

1. Objetivos

- Describir y explicar el funcionamiento de diferentes tipos de fuentes.
- Aplicar métodos de medición apropiados para obtener el valor de los diferentes parámetros no ideales de una fuente.
- Comprobar experimentalmente las características de las fuentes independientes de tensión.

2. Cuestionario previo

1. Investigue y explique las características de las fuentes de tensión y corriente ideales y reales.
2. Explique el funcionamiento de cada uno de los circuitos que se usarán en este experimento.
3. Realice todos los cálculos indicados en el procedimiento.
4. Simule el circuito de medición de la Figura 1 utilizando LTspice.
5. Llene las Tablas 1 y 2 con los datos teóricos calculados.
6. En un circuito, que valor de resistencia de carga R_L debe conectarse para obtener la máxima transferencia de potencia.
7. ¿Qué valor de resistencia debe conectarse en el circuito de la Figura 2 para obtener la máxima transferencia de potencia?

3. Equipo y materiales

Cantidad	Descripción
1	Fuente de CD
1	Multímetro digital
1	Protoboard
-	Cables conectores tipo banana-banana
1	Resistencias de los siguientes valores: 100Ω , 470Ω , $1k\Omega$, $2k\Omega$, $5k\Omega$ y $100k\Omega$.
3	Resistencias de los siguientes valores: 1Ω , 10Ω . Ambas de 5W.
1	Potenciómetro analógico de $5k\Omega$

4. Circuitos de medición

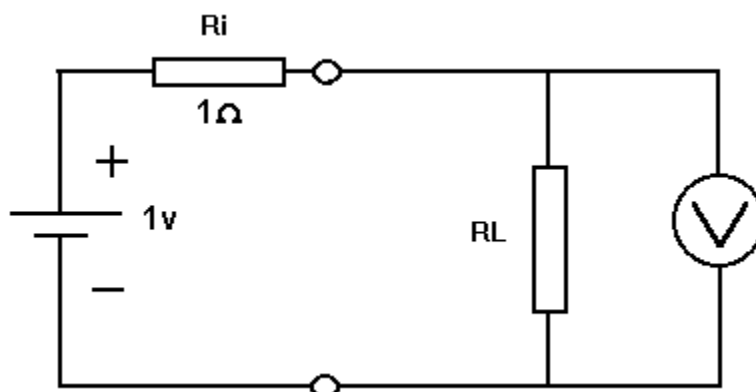


Figura 1. Medición de la resistencia interna de una fuente de tensión.

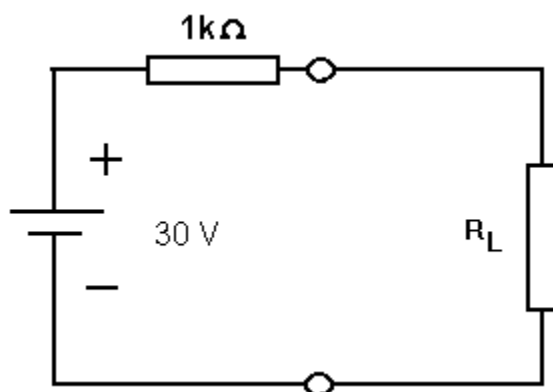


Figura 2. Circuito para determinar la máxima transferencia de potencia.

5. Procedimiento

5.1 Medición de la resistencia interna de una fuente de tensión

1. Calcule la tensión máxima que se puede aplicar a la resistencia de $1\Omega/5W$ que se usará en esta medición. $U = \underline{\hspace{2cm}}$
2. Ajuste la tensión de la fuente a 1 V y su corriente al máximo.
3. Arme el circuito de medición de la Figura 1. Coloque una resistencia $R_i = 1\Omega$.
4. Mida la tensión en la carga para los valores de resistencias indicadas en la Tabla 1.

Tabla 1. Mediciones de tensión de carga para determinar la resistencia interna de la fuente de tensión.

R_L	∞	1 k Ω	470 Ω	100 Ω	10 Ω	5 Ω	1 Ω	0,5 Ω
V_L								

5.2 Máxima transferencia de potencia

1. Arme el circuito de medición de la Figura 2. En la resistencia R_L , coloque un potenciómetro analógico de $5k\Omega$.
2. Mida la corriente y la tensión para cada uno de los valores de resistencia R_L .
3. Varíe la carga del circuito según la Tabla 2 y mida la tensión de la carga para cada caso.

Tabla 2. Mediciones de tensión de carga en función de la resistencia de carga para el circuito de la Figura 2.

R_L	0	100 Ω	300 Ω	700 Ω	1k Ω	1.3k Ω	1.5k Ω	2k Ω	2.5k Ω	∞
V_L										
I_L										

6. Evaluación

1. Para la fuente de tensión grafique V vs I . Determine la resistencia interna a partir del gráfico.
2. Utilizando los datos de la tabla 1 calcule el valor de la resistencia interna de la fuente de tensión para cada una de las mediciones.
3. ¿Cuál de los resultados anteriores permite determinar de una mejor manera el valor de la resistencia interna de la fuente? Explique.
4. Grafique los resultados de la Tabla 2.
5. Grafique la potencia consumida en la resistencia R_L , es decir realice un gráfico donde el eje horizontal sea la resistencia de carga del circuito de la figura 2 y el eje vertical sea la potencia consumida para cada valor de resistencia, $P_L=f(R_L)$.
6. Analicé los resultados obtenidos en la gráfica anterior, preste especial atención al valor de resistencia que produce la máxima transferencia de potencia.
7. Mencione las principales conclusiones sobre este experimento.

Laboratorio #7: Introducción al osciloscopio

Al finalizar este experimento, el estudiante estará en capacidad de manipular el osciloscopio de rayos catódicos o el osciloscopio digital (OSC), diferenciando entre el acople en DC, acople en AC, y utilizando de forma correcta el trigger y el modo XY.

1. Objetivos

- Observar formas de onda de tensión y de corriente en la pantalla del OSC.
- Aprender a utilizar las escalas de tiempo y de tensión por división.
- Identificar los parámetros que caracterizan las señales senoidales y cuadradas.
- Estudiar el modo XY del osciloscopio para obtener funciones de transferencia.

2. Cuestionario previo

1. Explique los siguientes conceptos relacionados con señales senoidales: amplitud (A), ángulo de fase (ϕ), frecuencia (f), frecuencia angular (ω), periodo (T), valor pico (V_p), valor pico-pico (V_{pp}).
2. Dibuje una onda senoidal de 60 Hz, 5 Vp en un eje coordenado e identifique gráficamente todos los términos del apartado anterior. Utilice tensión en voltios para el eje Y, y el tiempo en milisegundos para el eje X. Puede utilizar las plantillas de OSC en blanco que se muestran en el apartado del procedimiento para dibujar las señales.
3. Explique cómo convertir los valores de tiempo del eje X (en milisegundos) de manera que pueda redibujar la gráfica utilizando grados en el eje horizontal. Realice el dibujo y rotule los ángulos importantes.
4. Investigue para qué sirve el trigger del osciloscopio.
5. Investigue cómo medir la corriente que pasa por un elemento resistivo utilizando la tensión medida con el osciloscopio.
6. Explique qué información brinda la curva tensión vs corriente (y viceversa) en una resistencia.

3. Equipo y materiales

Cantidad	Descripción
1	Generador de funciones
1	Osciloscopio
1	Protoboard
1	Resistencia de 1 k Ω
1	Resistencia de 2 k Ω
	Cables de conexión

4. Circuitos de medición

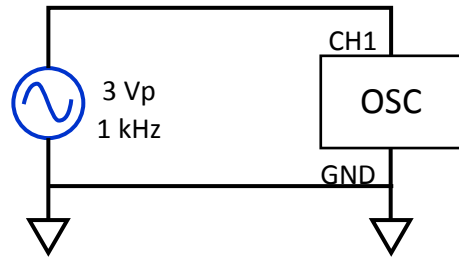


Figura 1. Conexión del osciloscopio.

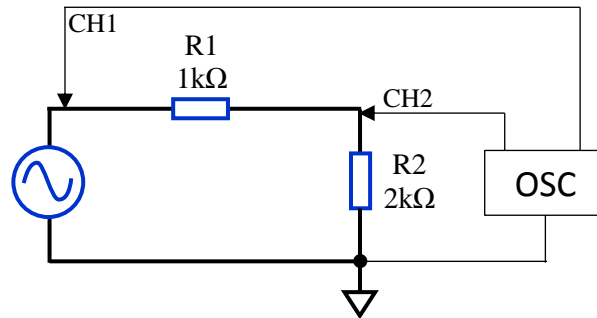


Figura 2. Medición de tensiones en un circuito.

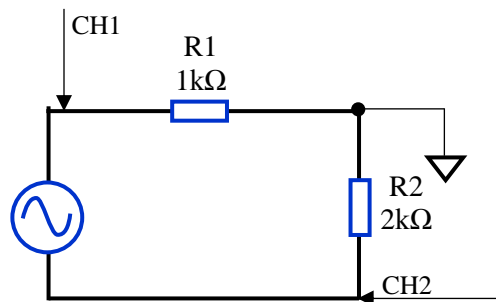
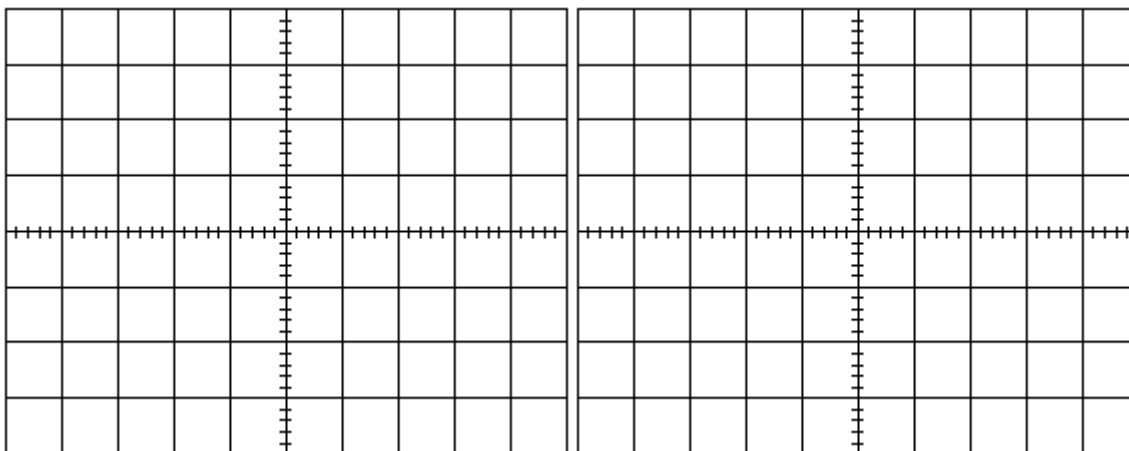


Figura 3. Circuito de medición para el modo XY.

5. Procedimiento

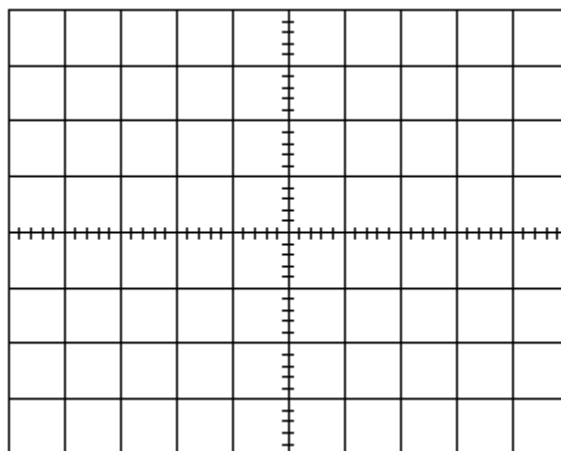
5.1 Características de las señales senoidales

1. Arme el circuito de la Figura 1.
2. Configure el canal 1 del osciloscopio en acople de DC.
3. Ajuste la escala horizontal a $100\ \mu\text{s}/\text{div}$.
4. Ajuste la escala vertical a $1\ \text{V}/\text{div}$.
5. Encienda el generador de funciones y ajuste una frecuencia de $1\ \text{kHz}$.
6. Seleccione la forma de onda senoidal en el selector del generador de funciones.
7. Ajuste la tensión hasta obtener una señal de $3\ \text{V}_p$.
8. Ajuste la perilla de trigger hasta que la línea cruce la onda representada, de modo que la imagen del osciloscopio quede quieta.
9. Describa qué es lo que pasa si la línea del trigger no cruza la onda que se muestra en pantalla.
10. Dibuje la forma de onda que observa en el canal 1 en la cuadrícula de la izquierda.
11. Cambie la escala horizontal a $200\ \mu\text{s}/\text{div}$ y dibuje la forma de onda en la cuadrícula derecha.
12. Rotule los ejes vertical y horizontal, escriba las unidades y numere las divisiones con el valor correspondiente.



5.2 Medición de tensiones en un circuito

1. Arme el circuito de la Figura 2.
2. Configure ambos canales del osciloscopio en acople de DC.
3. Ajuste una tensión de $4\ \text{V}_p$ en el generador, con una frecuencia de $3\ \text{kHz}$.
4. Ajuste la escala de tiempo del osciloscopio hasta que aprecie solamente un periodo completo en la pantalla. Escriba el valor final de la escala $T = \underline{\hspace{2cm}}\ \mu\text{s}/\text{div}$
5. Ajuste la escala vertical del canal 1 hasta que la onda alcance una cantidad máxima de cuadros en la pantalla. Maximice el uso de la pantalla del OSC. $\text{CH1} = \underline{\hspace{2cm}}\ \text{V}/\text{div}$
6. Ajuste la escala vertical del canal 2 hasta que la onda alcance una cantidad máxima de cuadros en la pantalla. Maximice el uso de la pantalla del OSC. $\text{CH2} = \underline{\hspace{2cm}}\ \text{V}/\text{div}$
7. Dibuje ambas formas de onda en la misma plantilla de osciloscopio, a continuación.

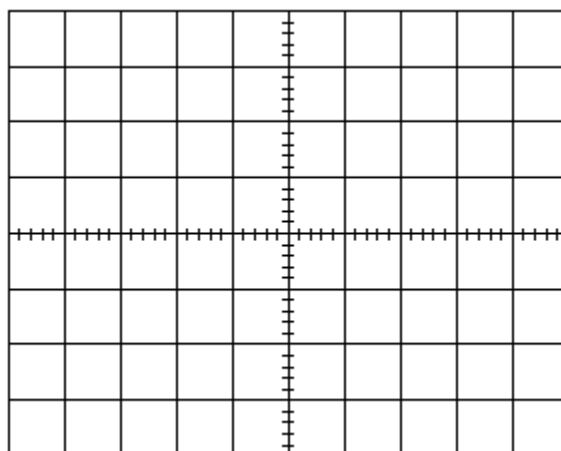


5.3 Modo XY

1. Arme el circuito de la Figura 3.
2. Asegúrese de que el cable de alimentación de 110 V del osciloscopio **NO tenga** conexión a tierra. Si es necesario, cambie el cable por uno que no la tenga.
3. Configure ambos canales del osciloscopio en acople de DC.
4. Ajuste una tensión de 5 Vp en el generador, con una frecuencia de 30 Hz.
5. Configure el osciloscopio para trabajar en modo XY.
6. Ajuste las escalas para maximizar el uso de la pantalla. Escriba las escalas utilizadas:

T = _____ $\mu\text{s}/\text{div}$	CH1 = _____ V/div	CH2 = _____ V/div
------------------------------------	-------------------	-------------------

7. Dibuje la figura que se muestra en la pantalla del osciloscopio en la cuadrícula.



6. Evaluación

1. Rotule todos los ejes de las gráficas dibujadas, indicando la variable medida y las unidades.
2. Con ayuda de la Ley de Ohm, utilice la tensión en la resistencia R1 para obtener los valores de corriente en el circuito y genere un gráfico de tensión contra corriente en la resistencia R2.
3. Utilizando el resultado del punto 2 obtenga de manera gráfica el valor de la resistencia R2.

Laboratorio #8: El circuito RC y RL en corriente continua

En este experimento se estudiará el comportamiento de carga y descarga de los condensadores e inductores en corriente continua, utilizando una fuente de tensión con forma de onda cuadrada. El propósito del experimento es observar el proceso de carga y descarga, observando el comportamiento exponencial y haciendo énfasis en el cálculo experimental de la constante de tiempo τ .

1. Objetivos

- Obtener experimentalmente la forma de onda de la tensión y de la corriente en el condensador y el inductor mediante circuitos RC y RL.
- Determinar experimentalmente la constante de tiempo τ para los circuitos RC y RL.
- Observar el comportamiento de un circuito RC y uno RL ante la variación de los valores de resistencia y capacitancia.

2. Cuestionario previo

1. Investigue la relación Corriente-Tensión del capacitor. Explique el comportamiento del capacitor en términos de esta relación. Investigue la relación Corriente-Tensión del inductor. Explique el comportamiento del inductor en términos de esta relación. Utilice algún software de simulación de circuitos para la obtención de todas las curvas teóricas solicitadas.
2. Investigue la respuesta de un circuito RC ante una tensión cuadrada de 10 kHz: la forma de la tensión y la corriente de ambos elementos. Suponga $C = 1\text{ nF}$, $R = 10\text{ k}\Omega$ y $V_T = 4\text{ Vpp}$. Utilice el simulador de circuitos LTSpice para la obtención de todas las curvas teóricas solicitadas.
3. Obtenga la respuesta de un circuito RL ante una tensión cuadrada de 1 kHz y 2 Vpp, determine la forma de la tensión y la corriente de ambos elementos. Suponga $L = 1\text{ H}$, $R = 10\text{ k}\Omega$.
4. Investigue el significado de la constante τ para un circuito RL. Explique claramente.
5. Investigue como puede calcularse de forma gráfica el valor de τ en circuito RC y RL.

3. Equipo y materiales

Cantidad	Descripción
1	Protoboard
	Cables de conexión y puentes
1	Generador de funciones
1	Osciloscopio
	Conectores tipo BNC-Banana
	Resistencias de 1 k Ω y 10 k Ω
	Condensador de 1 nF
	Inductor de 10 H o 100 mH (de ser posible encontrarlo)

4. Circuitos de medición

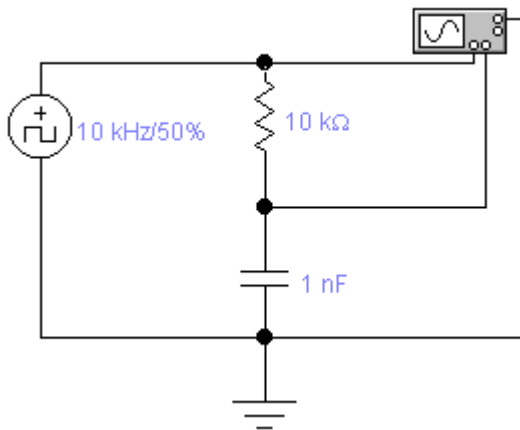


Figura 1. Circuito de medición para la tensión en el capacitor

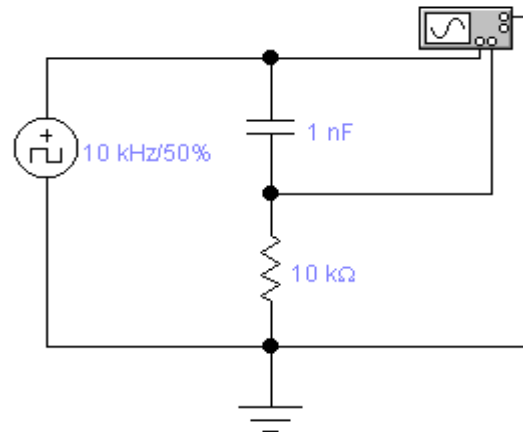


Figura 2. Circuito de medición para la corriente en el capacitor

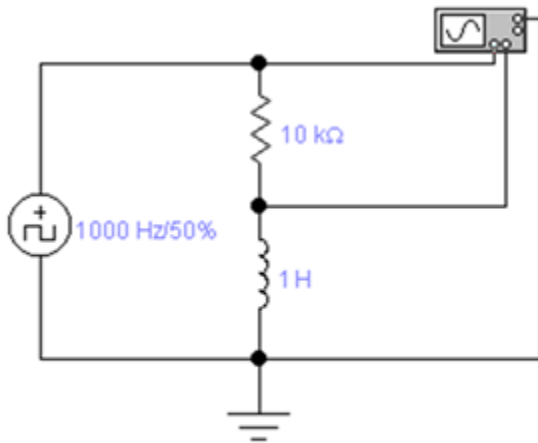


Figura 3. Circuito de medición para la tensión en el inductor

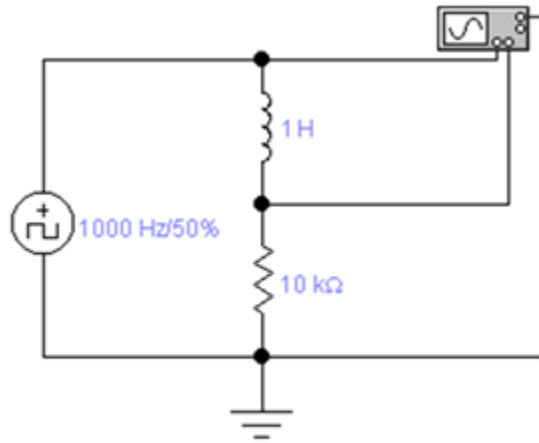


Figura 4. Circuito de medición para la corriente en el inductor

5. Procedimiento

5.1 Circuito RC

1. Monte el circuito mostrado en la Figura 1.
2. En el generador de funciones, elija la onda cuadrada.
3. Ajuste la frecuencia de operación a 10 kHz, el ciclo de trabajo al 50% (onda simétrica) y la amplitud de la onda a 4 V pico-pico.

4. Observe simultáneamente las señales del generador (V_T) y del condensador (V_C). Ajuste la base de tiempo para que se observe claramente al menos un período de las ondas. Dibuje las ondas en fase correcta. Utilice papel milimétrico y gradúe los ejes.
5. Intercambie la posición de los componentes R y C, como se muestra en la Figura 2. Mida V_T y V_R .
6. Para todos los casos, anote los valores pico, la frecuencia de operación, las escalas de tensión y tiempo y el valor máximo de la señal en consideración.
7. Cambie la frecuencia del generador a 1 kHz. Repita los puntos de 4 a 6.
8. Cambie la frecuencia del generador a 100 kHz. Repita los puntos de 4 a 6.

5.2 Circuito RL

1. En el generador de funciones, elija la onda cuadrada. Monte el circuito de la Figura 3.
2. Ajuste la frecuencia de operación a 1 KHz y la amplitud de la onda a $4 V_{pp}$.
3. Obtenga y dibuje las curvas de tensión del generador (V_G) y de la bobina (V_L) en fase correcta.
4. Intercambie la ubicación de la resistencia y la bobina como se muestra en la Figura 4.
5. Obtenga y dibuje en fase correcta respecto a la tensión del generador (V_G) la curva de carga y descarga de la corriente a través de la bobina (i_L) y determine la constante de tiempo τ .
6. Para todos los casos, recuerde anotar valores pico, la frecuencia de operación, las escalas de tensión, tiempo y el valor máximo de la señal en consideración. Utilice papel milimétrico al graficar.
7. Cambie la frecuencia del generador a 100 Hz. Repita los puntos de 3 a 5.
8. Cambie la frecuencia del generador a 10 KHz. Repita los puntos de 3 a 5.

6. Evaluación

6.1 Circuito RC

1. A partir de las curvas dibujadas, obtenga gráficamente el valor de la constante de tiempo τ , así como los valores de tensión y corriente obtenidos en $t = \tau$.
2. Calcule la constante de tiempo para los valores de resistencia y capacitancia utilizados en el experimento.
3. Compare el valor teórico de τ (punto 2) con el valor obtenido en el punto 1 de la evaluación.
4. Calcule, para cada caso, el valor teórico de tensión (V_C) que debe alcanzar el circuito al transcurrir una constante de tiempo y compárelo con los valores experimentales.
5. ¿Cuál es el valor máximo de corriente en el capacitor obtenido para cada una de las frecuencias utilizadas? ¿Qué determina este valor? Compare la forma de onda de la corriente y la tensión.
6. Explique por qué la tensión pico-pico en la resistencia es el doble de la tensión pico-pico del generador para el circuito de la figura 2.
7. Investigue al menos dos aplicaciones de los circuitos RC.

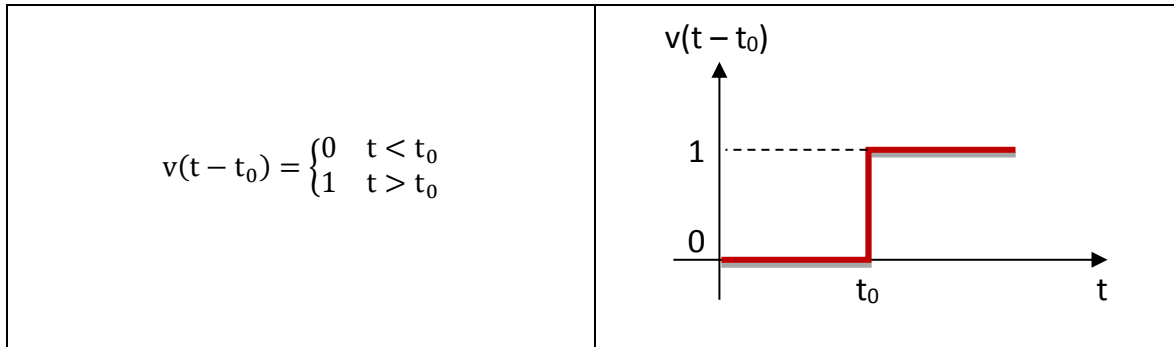
6.2 Circuito RL

1. Calcule la constante de tiempo para los valores de resistencia e inductancia utilizados en el experimento.
2. Compare el valor teórico de τ con los valores leídos directamente de sus curvas.
3. Calcule, para cada caso, el valor teórico de corriente que debe alcanzar el circuito luego de una constante de tiempo (considere la constante de tiempo a partir del flanco positivo de la señal de entrada) y compárelo con los valores leídos de sus curvas.
4. ¿Cuál es el valor máximo de tensión en el inductor obtenido en los puntos 5.1.3, 5.1.7 y 5.1.8? ¿Qué significado tiene este valor? Compare la forma de onda de la corriente y la tensión.
5. Investigue al menos dos aplicaciones de los circuitos RL.

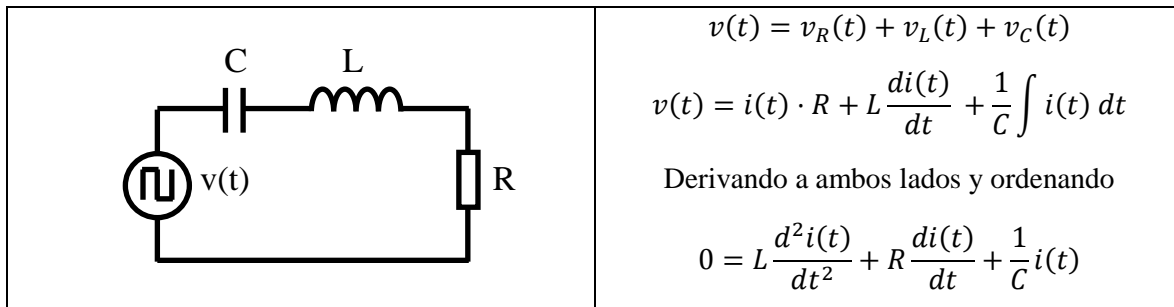
Laboratorio #9: El circuito RLC serie y escalón unitario

Respuesta subamortiguada, críticamente amortiguada y sobreamortiguada

En este experimento se estudia la respuesta natural y la respuesta forzada de circuitos RLC, en las condiciones: subamortiguada, críticamente amortiguada y sobreamortiguada. Se aplica la función escalón unitario, descrita mediante la siguiente ecuación:



La forma de onda de la corriente en un circuito RLC puede encontrarse resolviendo la ecuación diferencial que se escribe al expresar la ecuación de malla. Esta ecuación diferencial es de orden 2 como se aprecia a continuación.



Hay varias formas de resolver esta ecuación. Una de ellas es suponer una solución de la forma $i = Ae^{st}$ de manera que se obtiene la siguiente ecuación auxiliar:

$$0 = Ls^2 Ae^{st} + Ase^{st}R + \frac{1}{C} Ae^{st}$$

$$0 = Ae^{st} \left(L \cdot s^2 + R \cdot s + \frac{1}{C} \right)$$

La última expresión encerrada entre paréntesis es conocida como **ecuación auxiliar**. Si se puede satisfacer, entonces la solución seleccionada es válida. Se observa que tiene dos soluciones:

$$s = \frac{-R}{2L} \pm \sqrt{\left(\frac{R}{2L}\right)^2 - \frac{1}{LC}}$$

Definimos entonces los parámetros característicos de este sistema:

$$\alpha = \frac{R}{2L} \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$s = -\alpha \pm \sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2}$$

Como puede observarse, dependiendo de los valores de R, L y C la solución $i = Ae^{st}$ puede ser exponencial pura (si $\alpha > \omega_0$) o bien puede contener funciones senoidales (si $\alpha < \omega_0$) de acuerdo con la identidad de Euler. Estos dos casos se conocen como sobreamortiguado y subamortiguado respectivamente. El caso críticamente amortiguado se obtiene si $\alpha = \omega_0$.

La frecuencia de resonancia del circuito se define como $\omega_d = \sqrt{\omega_0^2 - \alpha^2}$

Las soluciones finales son:

Sobreamortiguado	$i(t) = A_1 e^{s_1 t} + A_2 e^{s_2 t}$
Críticamente amortiguado	$i(t) = e^{-\alpha t} (A_1 t + A_2)$
Subamortiguado	$i(t) = e^{-\alpha t} (B_1 \cos \omega_d t + B_2 \sen \omega_d t)$

Finalmente, los valores de A_1 , A_2 , B_1 y B_2 se deben determinar a partir de condiciones iniciales.

En el circuito que se presentó de ejemplo, la corriente inicial antes del escalón es igual a cero (porque el inductor no permite cambios bruscos de corriente) de modo que $i(t=0) = 0$. Si se iguala la respuesta del circuito a cero, y se evalúa $t=0$ se obtienen las constantes deseadas.

1. Objetivos

- Calcular las expresiones matemáticas generales de la corriente en un circuito RLC serie, como respuesta a un escalón unitario de tensión.
- Observar la forma de onda de la corriente en un circuito RLC serie para escalones unitarios.
- Comprobar experimentalmente el comportamiento de circuitos RLC serie en condiciones: subamortiguado, críticamente amortiguado y sobreamortiguado.

2. Cuestionario Previo

1. Para el circuito RLC serie, calcule el valor de la resistencia para el cual se obtiene una respuesta críticamente amortiguada, cuando $L=100$ mH y $C=47$ nF.
2. Realice una simulación en LTspice del circuito RLC serie de la figura 1, con los valores de inductancia y capacitancia anteriores, además de una resistencia de 100Ω en serie con el potenciómetro de $5 \text{ k}\Omega$, y obtenga las formas de onda de la corriente para las condiciones: subamortiguado, críticamente amortiguado y sobreamortiguado. Utilice para ello el rango completo de potenciómetro y presente sus resultados en la bitácora.

3. Equipo y materiales

Cantidad	Descripción
1	Generador de funciones
1	Osciloscopio digital
1	Protoboard
1	Resistencia de $100\ \Omega$
1	Potenciómetro de $5\ \text{k}\Omega$
1	Condensador de $47\ \text{nF}$
1	Inductor de $100\ \text{mH}$
	Cables de conexión tipo banana-banana

4. Circuitos de medición

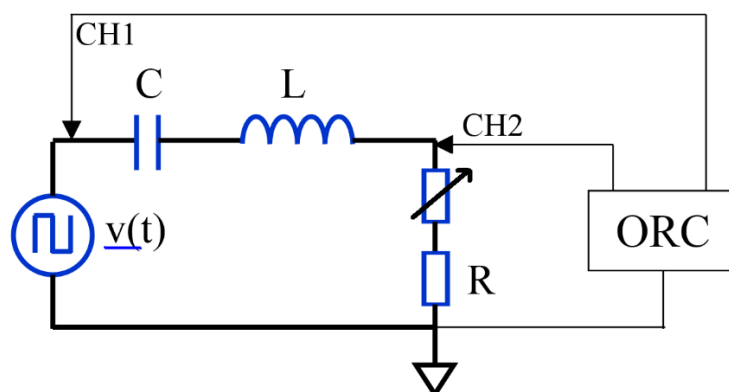


Figura 1. Circuito RLC serie.

5. Procedimiento

5.1. Respuesta del circuito RLC serie subamortiguado

1. Construya el circuito de medición de la Figura 1.
2. Ajuste la tensión del generador a una función cuadrada de $5\ \text{Vpp}$. Ajuste el offset a $2.5\ \text{V}$.
3. Observe cómo se comporta la forma de onda de la corriente cuando se varía el valor de potenciómetro.
4. Utilizando el rango completo de potenciómetro, ajuste su circuito a una condición subamortiguada.
5. Seleccione una frecuencia apropiada, de modo que pueda observar el transitorio completo en la pantalla del osciloscopio. Debe tener tiempo suficiente para descargar completamente.
6. Dibuje la forma de onda de la respuesta completa ante un escalón.
7. Anote el valor de la escala de tiempo y de las escalas de tensión.

CH1 = _____ V/div CH2 = _____ V/div t = _____ $\mu\text{s}/\text{div}$

5.2. Respuesta del circuito RLC serie críticamente amortiguado

1. Ajuste su circuito a una condición críticamente amortiguada.
2. Repita todo el procedimiento de la sección anterior.

CH1 = _____ V/div CH2 = _____ V/div t = _____ μ s/div

5.3. Respuesta del circuito RLC serie sobreamortiguado

1. Ajuste su circuito a una condición sobre amortiguada.
2. Repita todo el procedimiento de la sección anterior.

CH1 = _____ V/div CH2 = _____ V/div t = _____ μ s/div

6. Evaluación

1. Coloque las gráficas experimentales en la bitácora e identifique cada una.
2. Rotule las gráficas con los valores de corriente (no de tensión) dividiendo $v(t)/R$.
3. Escriba las expresiones matemáticas de cada una de las tres gráficas obtenidas.
4. Calcule el valor de α y de ω_0 para cada uno de los casos.
5. Calcule el valor de ω_d para el caso subamortiguado.
6. Compare cada gráfica con la ecuación correspondiente para cada circuito.
7. ¿Por qué la corriente al final de cada escalón tiende a ser cero?

Laboratorio #10: Reactancia capacitiva e inductiva

Al finalizar este experimento, el estudiante estará en capacidad de analizar el comportamiento de condensador e inductores para corriente alterna y determinar las relaciones entre la corriente y la tensión, en función de la capacitancia y de la frecuencia.

1 Objetivos

- Obtener experimentalmente y analizar las formas de onda de la tensión y corriente en un circuito RC y RL serie excitado con corriente alterna.
- Deducir a partir de datos experimentales las relaciones existentes entre las tensiones y la corriente en un circuito RC y RL serie.

2 Cuestionario Previo

- 1 Analice el circuito de la Figura 1, considere $R = 10\text{ k}\Omega$ y $C = 10\text{ nF}$. Obtenga la fórmula matemática para la impedancia equivalente que ve el generador en función de la frecuencia. Por división de tensión obtenga la relación matemática para la tensión en el condensador y la resistencia en función de V_F y la frecuencia. Realice todo el análisis del circuito (tensiones, impedancias, corrientes, formas de ondas).
- 2 Para las condiciones del punto anterior, deduzca el valor de la frecuencia que cumple que $|X_C| = R$.
- 3 Simule el circuito con los valores anteriores y obtenga las gráficas para V_F , V_C , V_R e I del circuito. Obtenga las gráficas utilizando el mismo sistema de referencia de manera que se pueda observar el desfase entre las mismas.
- 4 Calcule la reactancia inductiva X_L para el circuito de la Figura 4 con $L = 100\text{ mH}$, suponiendo $f = 2.5\text{ kHz}$.
- 5 Si la resistencia en este circuito es de $2.7\text{ k}\Omega$ calcule la tensión pico en cada uno de los elementos, para una tensión de 4 Vp en la fuente, con una frecuencia $f = 2.5\text{ kHz}$.
- 6 Explique qué sucede si se incrementa la frecuencia a $f = 5.0\text{ kHz}$ y se mantienen las demás condiciones. Calcule nuevamente la reactancia inductiva y la tensión pico en cada uno de los elementos con esta nueva frecuencia.

3 Equipo y materiales

Cantidad	Descripción
1	Generador de funciones
1	Multímetro digital
1	Osciloscopio
1	Protoboard
1	Resistencia de $1\text{ k}\Omega$, $2.7\text{ k}\Omega$ y $27\text{ k}\Omega$.
1	Condensadores de los siguientes valores: 4.7 nF , 10 nF , 15 nF , 22 nF

	Inductor 100 mH o 1 H
	Conectores de tipo BNC
	Papel milimétrico

4 Circuitos de medición

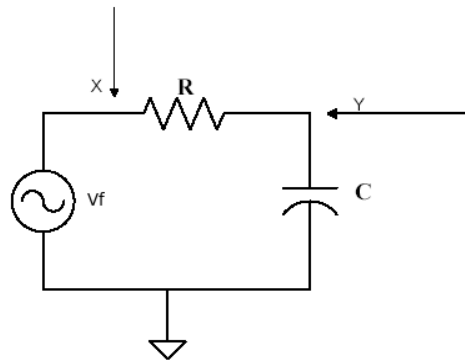


Figura 1. Circuito de medición #1.

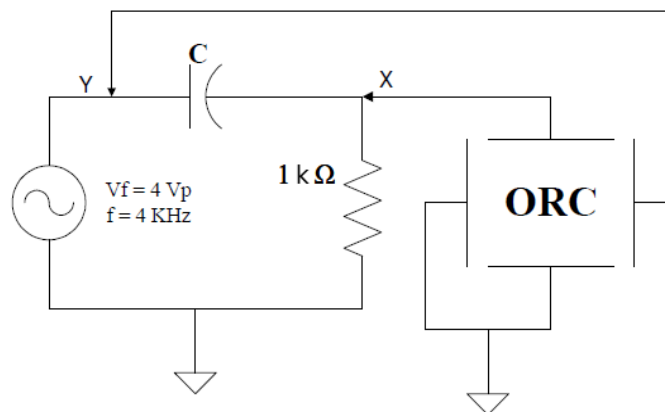


Figura 2. Circuito de medición #2.

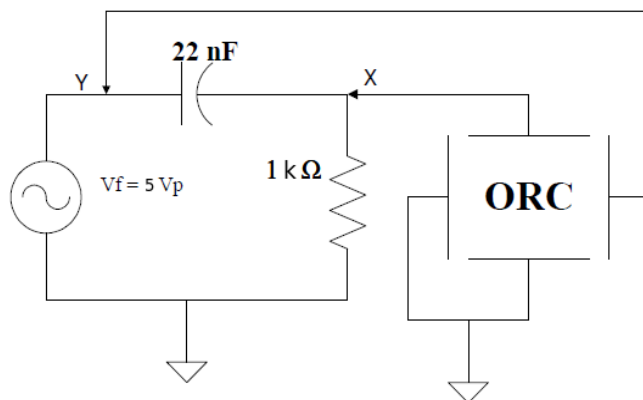


Figura 3. Circuito de medición #3.

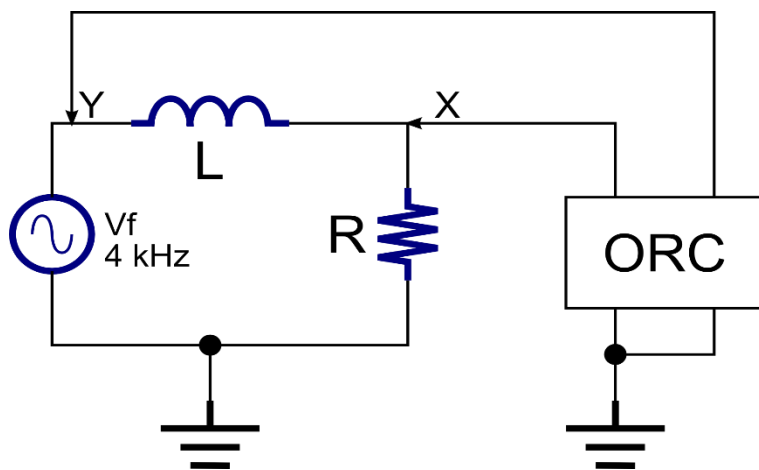


Figura 4. Circuito de medición #4.

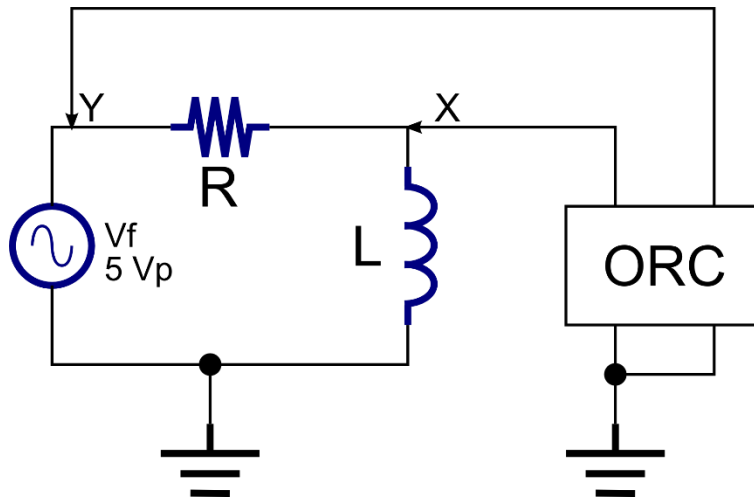


Figura 5. Circuito de medición #5.

5 Procedimiento

1. Obtenga el valor de la reactancia capacitiva del circuito de medición #1 con $R=1k\Omega$, $C=10nF$ y $F=4kHz$, y compare con la magnitud de la resistencia de medición.
2. Para el circuito #1, ajuste los valores pico de la fuente de tensión a los indicados en la tabla #1, con una frecuencia de 4 KHz. Mida y anote los valores pico solicitado.

Tabla 1. Medición de parámetros para el circuito #1.

$V_{\text{fuente}} (V_p)$	$V_C (V_p)$	$V_R (V_p)$	$I_C (mA_p)$
1			
2			
3			
4			
5			

3. Observe la forma de onda de la corriente y de la tensión en el condensador. Dibuje cada una de ellas, en fase correcta una debajo de otra para $V_{\text{fuente}} = 5 V_p$.
4. Para el circuito de medición #2, mida y anote los valores pico de la corriente en un condensador para diferentes valores de capacitancia, para un valor pico constante de tensión en la fuente de 4Vp y una frecuencia de 4 KHz. Complete la tabla #2.

Tabla 2. Medición de parámetros para el circuito #2.

$C (nF)$	$V_C (V_p)$	$V_R (V_p)$	$I_C (mA_p)$
4,7			
10			
15			
22			

5. Con el circuito #3, realice las mediciones de los valores pico de tensión y corriente indicados en la tabla #3, para una tensión pico de 5 V y una capacitancia de 22 nF.

F (kHz)	V_R (mV _p)	I_C (mA _p)
1,0		
1,5		
2,0		
2,5		
3,0		
3,5		
4,0		
4,5		
5,0		

6.3 División de tensión en CA

7. Arme el circuito de medición de la Figura 4. Utilice una inductancia de (100 mH o 1 H) y una resistencia de (2,7 k Ω o 27 k Ω).
8. Ajuste los valores pico de la fuente de tensión a los indicados en la tabla #1, con una frecuencia de 4 KHz. Mida y anote los valores pico solicitados utilizando el osciloscopio.

Tabla 1. Medición de parámetros para el circuito #1.

V_{fuente} (V _p)	V_L (V _p)	V_R (V _p)	I_L (mA _p)
1			
2			
3			
4			
5			

9. Observe la forma de onda de la corriente y de la tensión en el inductor. Dibuje cada una de ellas, en fase correcta una debajo de otra para $V_{\text{fuente}} = 5 \text{ V}_p$.

6.4 Variación de la frecuencia

- Con el circuito de la figura 5, realice las mediciones de los valores pico de tensión y corriente indicados en la tabla #2, para una tensión pico de 5 V y una inductancia de (100 mH o 1 H).

Tabla 2. Medición de parámetros para el circuito #2.

F (kHz)	V_R (mV _p)	I_C (mA _p)
1,0		
1,5		
2,0		
2,5		
3,0		
3,5		

4,0		
4,5		
5,0		

6 Evaluación

6.1 Reactancia Capacitiva

1. Compare las magnitudes de las tensiones en el punto 2 del procedimiento. ¿Qué porcentaje de V_{fuente} constituyen las tensiones V_C y V_R ? ¿Qué relación tiene ello con el valor de X_C y R ?
2. Compare y analice las formas de onda para la tensión y la corriente en el condensador obtenidas en el punto 3 del procedimiento.
3. Con los datos del punto 2 del procedimiento, haga el gráfico de corriente en función de la tensión en el condensador, para frecuencia y capacitancia constante.
4. Deduzca la relación matemática entre la corriente y la tensión en el condensador según el punto 2 de la evaluación.
5. Según los datos del punto 4 del procedimiento, realice el gráfico de la corriente en función de la capacitancia para tensión en el condensador y frecuencia constantes.
6. ¿Cuál es la relación matemática entre la corriente y la capacitancia, según el punto 4 de la evaluación?
7. De acuerdo con los datos del punto 5 del procedimiento, dibuje un gráfico de la corriente en función de la frecuencia para capacitancia y tensión del condensador constantes.
8. Obtenga la relación matemática entre la corriente y la frecuencia en el condensador según el punto 6 de la evaluación.
9. ¿Cuáles son sus observaciones de los puntos 1, 3 y 5 de la evaluación?
10. ¿Qué concluye del punto 7 de la evaluación?
11. ¿Cuál es la relación existente entre la tensión en un condensador y la corriente en el mismo? ¿Cómo se denomina este parámetro? ¿Cuál es su unidad? ¿Cómo se denomina el inverso de este parámetro? ¿Cuál es su unidad?
12. Establezca y analice la Ley de Ohm aplicada para un condensador en corriente alterna senoidal.

6.2 Reactancia inductiva

1. Compare las magnitudes de las tensiones en el punto 2 del procedimiento. ¿Qué porcentaje de V_{fuente} constituyen las tensiones V_L y V_R ? ¿Qué relación tiene ello con el valor de X_L y R ?
2. Compare y analice las formas de onda para la tensión y la corriente en la bobina obtenidas en el punto 3 del procedimiento.
3. Con los datos del punto 2 del procedimiento, haga el gráfico de corriente en función de la tensión en la bobina, para frecuencia e inductancia constante.
4. Deduzca la relación matemática entre la corriente y la tensión en la bobina según el punto 2 de la evaluación.
5. Según los datos del punto 4 del procedimiento, realice el gráfico de la corriente en función de la inductancia para tensión en la bobina y frecuencia constantes.

6. ¿Cuál es la relación matemática entre la corriente y la inductancia, según el punto 4 de la evaluación?
7. De acuerdo con los datos del punto 5 del procedimiento, dibuje un gráfico de la corriente en función de la frecuencia para inductancia y tensión de la bobina constantes.
8. Obtenga la relación matemática entre la corriente y la frecuencia en la bobina según el punto 6 de la evaluación.
9. ¿Cuáles son sus observaciones de los puntos 1, 3 y 5 de la evaluación?
10. ¿Qué concluye del punto 7 de la evaluación?
11. ¿Cuál es la relación existente entre la tensión en la bobina y la corriente en la misma? ¿Cómo se denomina este parámetro? ¿Cuál es su unidad? ¿Cómo se denomina el inverso de este parámetro? ¿Cuál es su unidad?
12. Establezca y analice la Ley de Ohm aplicada para una bobina en corriente alterna senoidal.

Laboratorio #11: Respuesta de frecuencia de circuitos RC

1. Objetivos

- Estudiar la respuesta en frecuencia de un circuito RC.
- Obtener experimentalmente las gráficas de magnitud y fase.
- Simular el circuito RC en LTSPICE haciendo un barrido de frecuencia.

2. Cuestionario previo

1. Simule el circuito haciendo un barrido de frecuencia de 1 Hz a 100 kHz. Obtenga los gráficos respectivos en escala semi-logarítmica para la tensión y la fase en la resistencia y en el condensador. Si utiliza SPICE, utilice el componente VAC como fuente y configure el barrido de frecuencia desde **Analysis->Setup->AC Sweep**. Utilice la función **P0** para graficar las fases.
2. ¿Cuál es la utilidad práctica o aplicación del circuito RC serie investigado en función de la frecuencia?
3. ¿Cómo se denomina el circuito según la salida se toma en el condensador o en la resistencia?
4. Defina frecuencia de corte.

3. Equipo y materiales

Cantidad	Descripción
1	Generador de funciones
1	Osciloscopio digital
1	Multímetro digital
1	Protoboard
1	Resistencia de 2 k Ω
1	Condensador de 47 nF
	Cables de conexión tipo banana-banana

4. Circuitos de medición

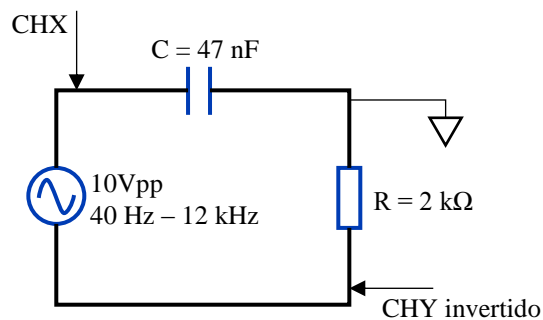


Figura 1. Circuito de medición.

5. Procedimiento

1. Ajuste la tensión del generador en un valor pico-pico de 10 V. Se debe mantener constante en el resto del experimento.
2. Verifique que el cable del osciloscopio NO tenga conexión a tierra. Intercambie el cable si es necesario.
3. Obtenga en el OSC las tensiones V_T vrs V_C y V_T vrs V_R . Mida para diferentes valores de frecuencia, de 40 Hz (si puede visualizar bien las señales a una frecuencia menor, utilícela para mejor comprensión) a 12 KHz la amplitud de V_C y su ángulo de fase con respecto a V_T . Tome como convención:
 - Ángulo de fase positiva: V_C o V_R atrasa a V_T .
 - Ángulo de fase negativa: V_C o V_R adelanta a V_T .
4. Resuma sus datos en la tabla 1.

Tabla 1. Valores de tensión y ángulo de desfase.

Frecuencia (Hz)	V_C (V)	$\angle V_C/V_T$ (°)	V_R (V)	$\angle V_R/V_T$ (°)
40				
100				
150				
200				
250				
300				
400				
500				
700				
900				
1000				
2000				
3000				
4000				
6000				
8000				
10000				
12000				

6. Evaluación

1. Con los datos obtenidos en la sección del procedimiento grafique (en computadora) con escala semi-logarítmica, en un mismo gráfico, las curvas de las tensiones V_C y V_R en función de la frecuencia.
2. Repita lo anterior para los ángulos de fase de V_C y V_R con respecto a V_T .
3. En los gráficos anteriores indique lo siguiente:
 - 3.1. La frecuencia a la cual se intersecan ambas curvas. Indique el valor de la tensión correspondiente. ¿Cómo se denomina esta frecuencia?
 - 3.2. Un rango de frecuencia en el que el ángulo de fase es nulo entre la tensión de salida V_C o V_R respecto a la tensión de entrada.
 - 3.3. Un rango de frecuencia en que el ángulo de fase es de 90° entre la tensión de salida V_C o V_R respecto a la tensión de entrada.
 - 3.4. La frecuencia a la cual el ángulo de fase entre la tensión de salida y la de entrada es de $\pm 45^\circ$ (según sea V_C o V_R).
4. ¿Cómo se denomina la frecuencia a la cual se cumple lo indicado en el punto 3.4? ¿Cómo se determina matemáticamente esta frecuencia? Obtenga su valor numérico.
5. Analice la relación que hay entre la frecuencia obtenida en el punto 3.4 y la tensión de salida V_C o V_R .
6. Analice la relación que hay entre la frecuencia obtenida en el punto 3.4 y los valores de las impedancias R y XC según el caso.
7. Deduzca la relación V_{sal}/V_{ent} , en función de ω (frecuencia angular) y de los elementos del circuito R y C .
8. Para los casos en que $f = 1 \text{ KHz}$ y $f = 5 \text{ KHz}$, determine la magnitud de las tensiones, de las impedancias, de las corrientes y el ángulo de fase de la tensión de salida respecto a la tensión de entrada.
9. Utilizando los resultados obtenidos en el experimento brinde una explicación del funcionamiento de este circuito.