

## IX. ANEXO 2: GUÍAS DE LABORATORIO DEL INSTRUCTOR PARA LOS CURSOS DE CIRCUITOS ELÉCTRICOS 1 y 2

Las guías de laboratorio para el curso de Circuitos Eléctricos 1 tienen como fin que el alumno conozca y aprenda a manipular los instrumentos de medición que tiene disponibles en el laboratorio. Por otra parte se espera que comprenda las limitantes y características de dichos instrumentos; que conozca y aprenda a manipular los componentes de la electrónica básica en la elaboración de los circuitos experimentales.

Las guías de laboratorio para el curso de Circuitos Eléctricos 2 tienen como fin que el alumno complemente sus conocimientos sobre circuitos eléctricos de corriente alterna. Sin embargo, como la mayoría de los temas son específicamente teóricos, en las guías de laboratorio se refuerza algunos temas con experimentos demostrativos y en otras se busca complementar el conocimiento con la introducción de nuevos componentes electrónicos más complejos.

Todas las guías deben cumplir con objetivos específicos que fueron establecidos según el contenido del tema que han de reforzar experimentalmente. La siguiente tabla sugiere un cronograma de acuerdo a los temas impartidos en el curso.

### A. GUÍA DE LABORATORIO DEL INSTRUCTOR: AMPERÍMETRO

1. Laboratorio. Para este experimento se mide la resistencia interna con el primer circuito, figura 4 de la guía de laboratorio: amperímetro, se debe tener cuidado que el segundo amperímetro si es digital no se cambie de escala para realizar las mediciones de corriente de maya, ya que al cambiar de escala en el amperímetro digital, se altera el circuito y la curva de regresión no será precisa. Por lo que puede obtener resultados errados en el segundo experimento, figura 5 de la guía de laboratorio: amperímetro.

Los resultados de la siguiente tabla se obtuvieron con un voltaje de alimentación de 1 voltio y una resistencia de  $100 \Omega$ . El multímetro se colocó en la escala de 10-400 mA.

Cuadro A-1. Mediciones de la resistencia interna del amperímetro

Ia (mA)	I	I - Ia	Ia/R
0.02	1.39	1.37	0.02
0.07	4.89	4.82	0.07
0.17	10	9.83	0.17
0.45	26.86	26.41	0.45
0.75	41.7	40.95	0.75
0.97	57.3	56.33	0.97
1.67	95	93.33	1.67
2.58	152	149.42	2.58
2.81	165	162.19	2.81
3.04	177.8	174.76	3.04
3.15	184.4	181.25	3.15

La pendiente de la curva de regresión es:  $r_i = \underline{57.551 \Omega}$ .

$$R_s = \left[ \frac{I_a}{I - I_a} \right] r_i = \underline{57.551 \Omega}.$$

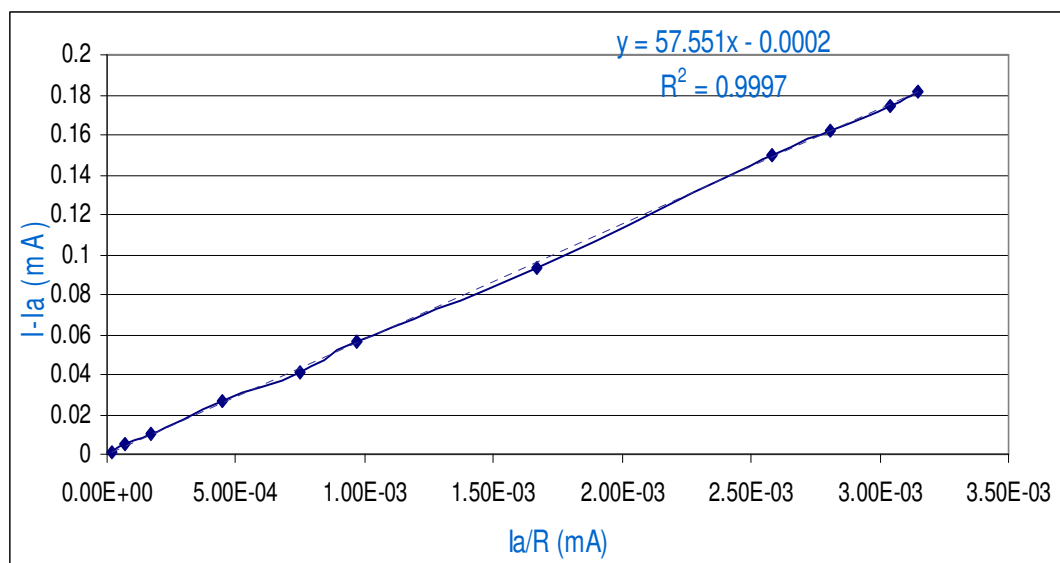


Figura A-1. Curva de regresión de la resistencia interna del amperímetro

Los resultados para el segundo experimento en el que se utiliza el valor de la resistencia interna para modificar el circuito interno del amperímetro, son los siguientes:

Cuadro A-2. Mediciones del fondo de escala del amperímetro

Ia (mA)	I	I / Ia	% Error
2.90E-04	5.30E-04	1.83	8.62%
4.27E-04	7.60E-04	1.78	11.01%
6.85E-04	1.23E-03	1.80	10.22%
1.01E-03	1.79E-03	1.78	10.95%
2.50E-03	3.43E-03	1.37	31.40%
2.70E-03	3.71E-03	1.37	31.30%
4.60E-03	6.34E-03	1.38	31.09%
7.60E-03	1.03E-02	1.36	31.97%
2.29E-02	3.10E-02	1.35	32.31%
8.57E-02	1.16E-01	1.35	32.61%

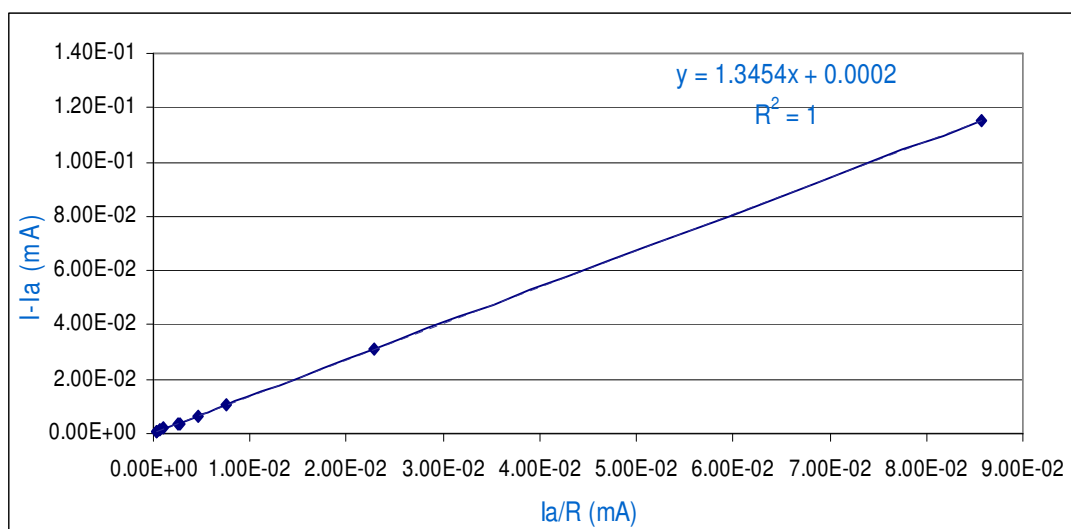


Figura A-2. Curva de regresión del fondo de escala del amperímetro

La pendiente de la curva de regresión es:  $K = 1.35 \Omega$ .

## B. GUÍA DE LABORATORIO DEL INSTRUCTOR: AMPLIFICADOR OPERACIONAL (OPAM)

1. Pre Laboratorio. Para el siguiente circuito se detalla a continuación la resolución aplicando el método de corrientes en mallas.

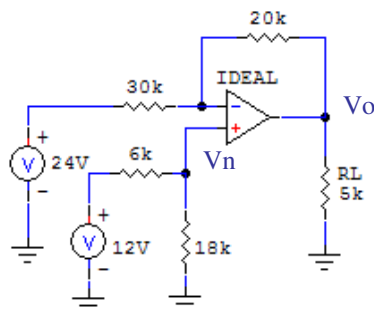


Figura B-1. Circuito con amplificadores operacionales para tarea

Utilizando el método de voltajes en nodos y asumiendo que es un amplificador operacional ideal, con lo que se puede suponer que no entra corriente al amplificador y que el voltaje en los pines es el mismo, se obtiene la siguiente ecuación:

$$\frac{Vn - 24v}{30k} + \frac{Vn - Vo}{20k} + \frac{Vo}{5k} = 0$$

Como se puede observar para la malla del pin no inversor, es un típico divisor de voltaje por lo que se puede deducir el voltaje  $Vn$  como:

$$Vn = \frac{12v * 18k}{18k + 6k} = 9v$$

Sustituimos  $Vn$  y resuelve para la primera ecuación y obtiene que:

$$60 \left[ \frac{9 - 24v}{30k} + \frac{9 - Vo}{20k} + \frac{Vo}{5k} \right] = 0$$

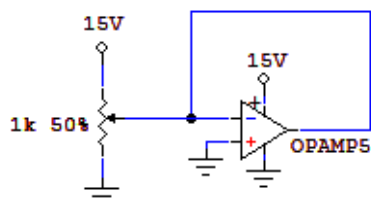
$$Vo = \frac{-3}{3} = -1$$

$$IL = \frac{-1}{5k} = -200 \times 10^{-6}$$

Por lo tanto la corriente que pasa por  $IL$  es de  $-200\mu A$ .

2. Laboratorio. Para los circuitos con operaciones básicas para amplificadores operacionales se obtuvieron los siguientes resultados.

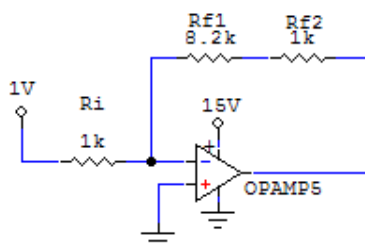
Cuadro B-1. Mediciones del experimento uno



VOLTAJE	
Vin	7.5 v
Vout	7.5 v

Figura B-2. Amplificador del experimento uno

¿A qué se debe esto? ¿Cuál es la característica del amplificador que nos permite utilizarlo como fuente de voltaje? Se debe a que la resistencia o impedancia de salida es muy pequeña por lo que no afecta la corriente que se suministra a la carga.



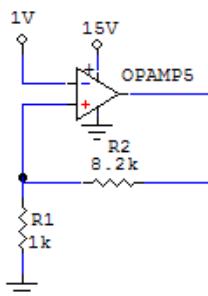
Cuadro B-2. Mediciones del experimento dos

VOLTAJE	
Vin	1 v
Vout	-9.2 v

Figura B-3. Amplificador del experimento dos

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_f}{R_i} = -\frac{8.2+1}{1} = -9.2$$

¿Qué tipo de amplificador es este circuito? Amplificador inversor



Cuadro B-3. Mediciones del experimento tres

VOLTAJE	
Vin	1 v
Vout	9.2 v

Figura B-4. Amplificador del experimento tres

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = 1 + \frac{R_2}{R_1} = 1 + \frac{8.2}{1} = 9.2$$

¿Qué tipo de amplificador es este circuito? Amplificador no inversor

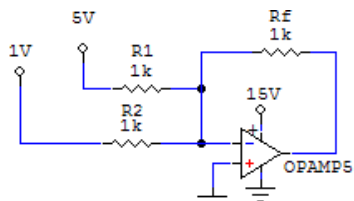


Figura B-5. Amplificador del experimento cuatro

Cuadro B-4. Mediciones del experimento cuatro

## VOLTAJE

Vin	5v y 1v
Vout	6 v

$$V_o = -R_f \left| \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} \right| = -1 \left| \frac{5}{1} + \frac{1}{1} \right| = 6$$

¿Qué tipo de amplificador es este circuito? Sumador

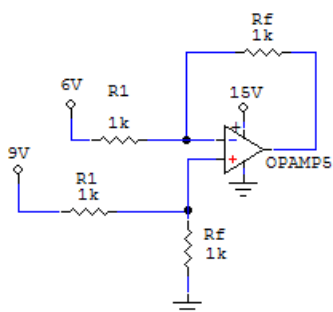


Figura B-6. Amplificador del experimento cinco

Cuadro B-5. Mediciones del experimento cinco

## VOLTAJE

Vin	6v y 9v
Vout	3v

$$V_o = -\frac{R_f}{R_1} (V_2 - V_1) = -\frac{1}{1} (9 - 6) = 3$$

¿Qué tipo de amplificador es este circuito? Restador

## C. GUÍA DE LABORATORIO DEL INSTRUCTOR: AMPLIFICADOR OPERACIONAL COMO COMPARADOR DE VOTAJE

1. Pre Laboratorio. Para el siguiente circuito se obtuvo el siguiente resultado.

Resolviendo por medio del método de voltajes en nodos, obtenemos las siguientes dos ecuaciones:

$$\frac{V_{n_1} - V_{o_1}}{0.5k} + \frac{V_{n_1} - V_{o_2}}{2k} + \frac{V_{n_1} - V_{n_2}}{5k} = 0$$

$$\frac{V_{n_2} - V_{o_2}}{0.4k} + \frac{V_{n_2}}{1k} + \frac{V_{n_2} - V_{n_1}}{5k} = 0$$

Pero ya se sabe que el voltaje  $V_{n_1} = 15v$  y  $V_{n_2} = 10v$ . Por lo que si sustituimos en la segunda ecuación obtenemos que:

$$2 \left[ \frac{10v - V_{o_2}}{0.4k} + \frac{10v}{1k} + \frac{10v - 15v}{5k} \right] = 95 - 5V_{o_2} = 0$$

$$V_{o_2} = 13.6v$$

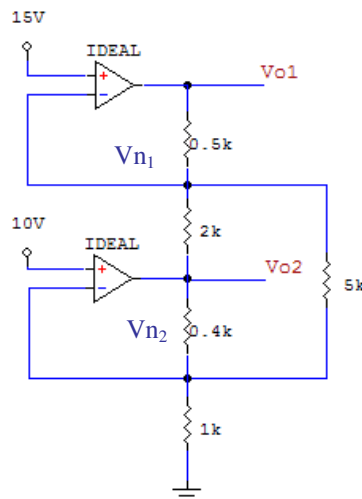


Figura C-1. Circuito comparador de voltaje para tarea

Ahora al sustituir en la primera ecuación obtenemos que:

$$2 \left[ \frac{15v - V_{o_1}}{0.5k} + \frac{15v - V_{o_2}}{2k} + \frac{15v - 10v}{5k} \right] = 77 - 4V_{o_1} - V_{o_2} = 0$$

$$V_{o_1} = \frac{77 - 13.6v}{4} = 15.85v$$

2. Laboratorio. Para los circuitos de práctica se obtuvieron los siguientes resultados.

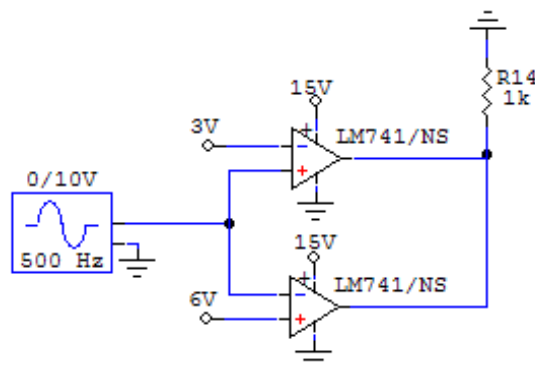


Figura C-2. Circuito amplificador del experimento uno

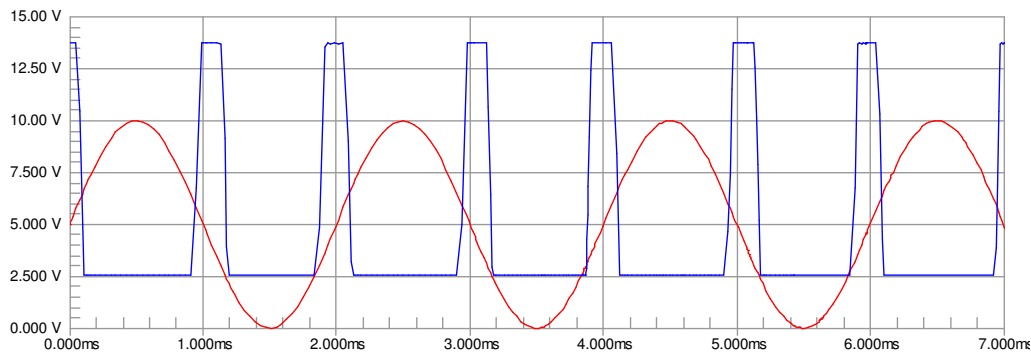


Figura C-3. Gráfica de los resultados del experimento uno

¿Qué configuración de amplificador es este circuito? Comparador de ventana

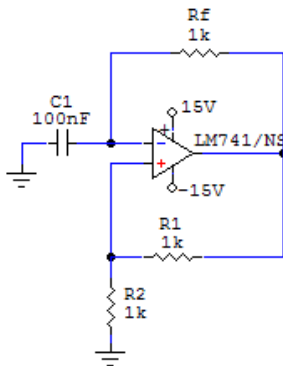


Figura C-4. Circuito amplificador del experimento dos

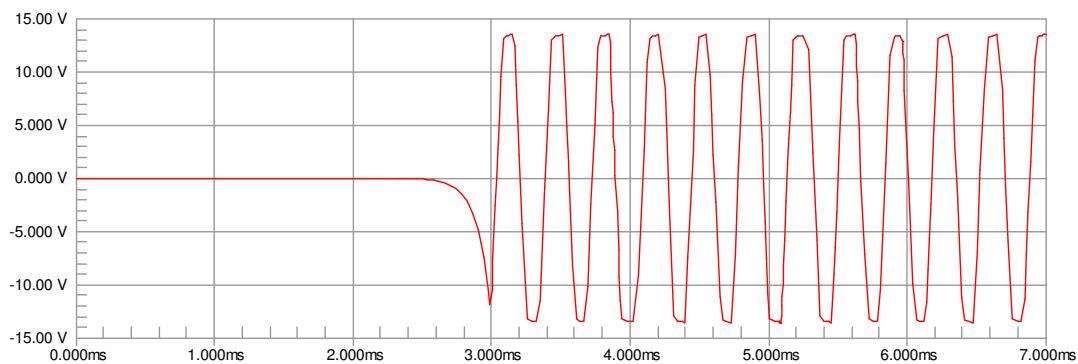


Figura C-5. Gráfica de los resultados del circuito del experimento dos

Cambiar el capacitor y observar de nuevo. ¿Qué sucede al cambiar el capacitor? Aumenta la frecuencia de oscilación

¿Qué nombre se le da al comportamiento de este circuito? Oscilador

## D. GUÍA DE LABORATORIO DEL INSTRUCTOR: AMPLIFICADOR OPERACIONAL COMO INTEGRADOR Y DERIVADOR

1. Laboratorio. Las señales producidas por cada etapa de integración en el diagrama del generador de funciones son las siguientes:

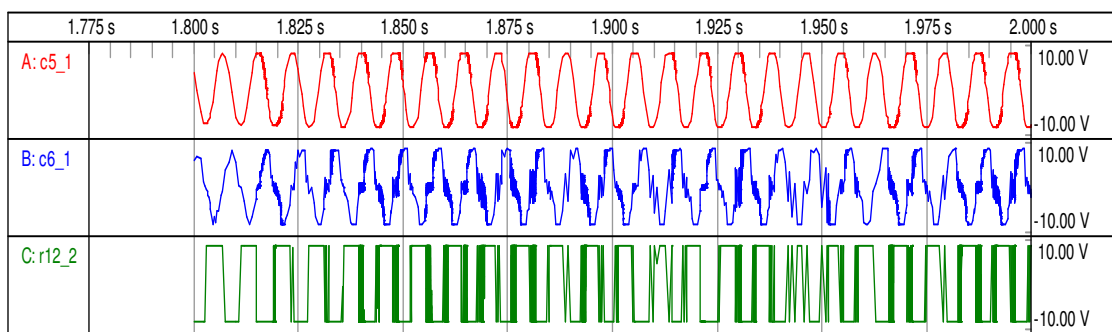


Figura D-1. Gráficas de resultado del circuito generador de señales

¿Qué configuración utiliza este circuito generador de funciones para obtener la señal cuadrada, triangular y senoidal? Configuración de amplificador operacional como derivador

## E. GUÍA DE LABORATORIO DEL INSTRUCTOR: APLICACIONES CON DIODOS

1. Laboratorio. A continuación se presentan las gráficas de comportamiento para los circuitos de aplicaciones utilizando diodos.

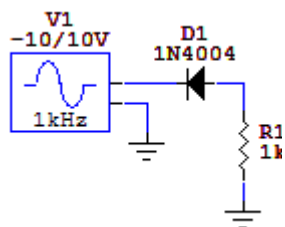


Figura E-1. Circuito con diodo en polarización inversa

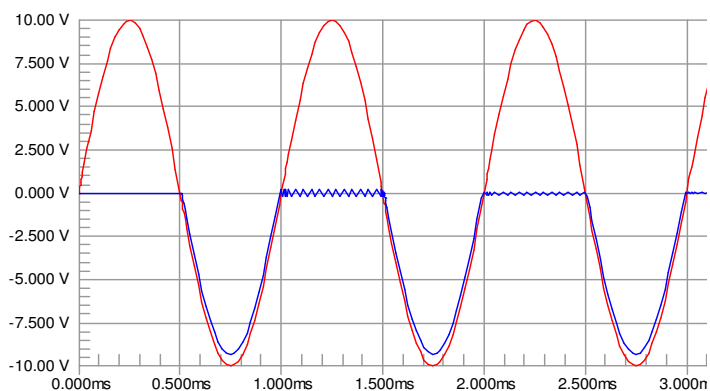


Figura E-2. Gráfica del circuito con diodo en polarización inversa

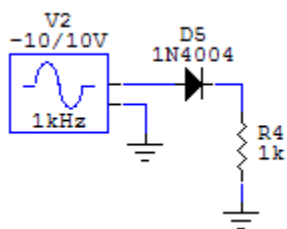


Figura E-3. Circuito con diodo en polarización directa

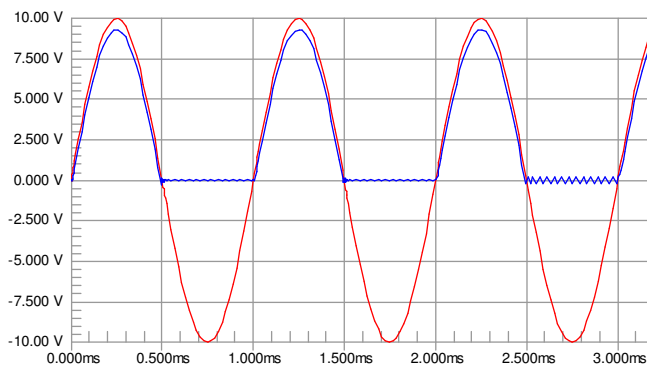


Figura E-4. Gráfica del circuito con diodo en polarización directa

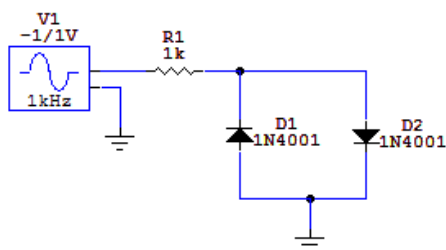


Figura E-5. Circuito del limitador de señal

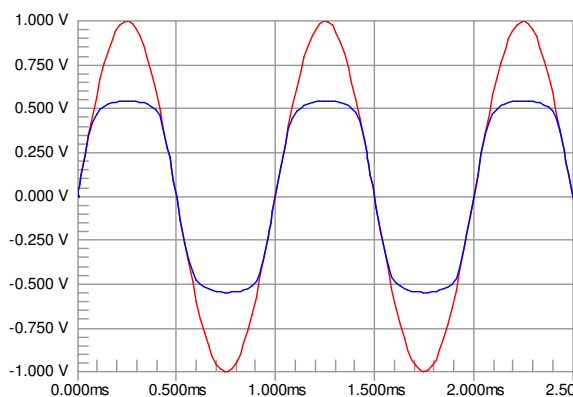


Figura E-6. Gráfica del circuito del limitador de señal

Para el circuito indicador de nivel, los leds emitirán luz en distintos niveles ya que el cátodo del diodo esta polarizado con un nivel de voltaje diferente.

Cuadro E-1. Mediciones del circuito indicador de nivel

VOLTAJE	
LED 1 (D4)	4
LED 2 (D5)	6
LED 3 (D6)	8

## F. GUÍA DE LABORATORIO DEL INSTRUCTOR: APLICACIONES CON TRANSISTORES

1. Laboratorio. Para el circuito de compuerta con un transistor NPN, el comportamiento observado fue el siguiente:

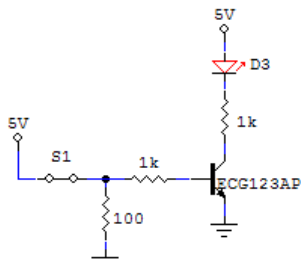


Figura F-1. Circuito de compuerta NPN

Cuadro F-1. Mediciones del circuito de compuerta NPN

VOLTAJE	
S1	Salida
0 V	5 V
5 V	0 V

Evalué la señal de salida (Vc) y compare con la señal de entrada. ¿Qué tipo de compuerta representa el circuito? Switch normalmente abierto

Para el circuito de switch con un transistor PNP, el comportamiento observado fue el siguiente:

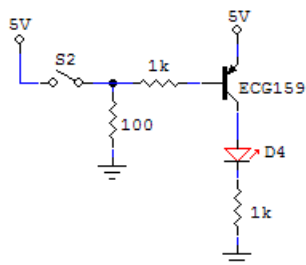


Figura F-2. Circuito de compuerta PNP

Cuadro F-2. Mediciones del circuito de compuerta PNP

VOLTAJE	
S2	Salida
0 V	5 V
5 V	0 V

Evalué la señal de salida (Vc) y compare con la señal de entrada. ¿Qué tipo de switch representa el circuito? switch normalmente

Para el circuito de una compuerta con un transistor PNP, el comportamiento observado fue el siguiente:

Cuadro F-3. Mediciones de la compuerta con transistor PNP

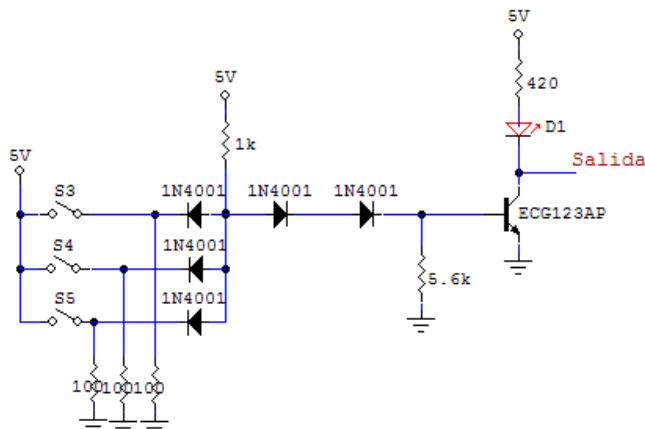


Figura F-3. Circuito compuerta con transistor NPN

VOLTAJE			
S3	S4	S5	Salida
0 V	0 V	0 V	5 V
0 V	0 V	5 V	5 V
0 V	5 V	0 V	5 V
5 V	0 V	0 V	5 V
5 V	0 V	5 V	5 V
5 V	5 V	0 V	5 V
5 V	5 V	5 V	0 V

¿Qué compuerta digital representa el circuito? NAND

## G. GUÍA DE LABORATORIO DEL INSTRUCTOR: CAPACITOR

1. Pre-Laboratorio. A continuación se presentan las demostraciones matemáticas para las relaciones de equivalencia entre los circuitos con capacitores en serie y paralelo.

### a. Capacitores en serie

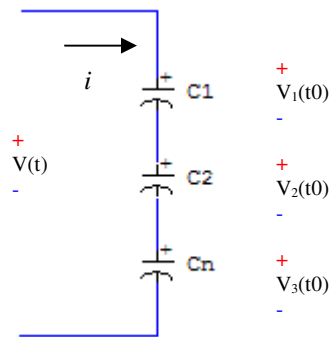


Figura G-1. Circuito de capacitores en serie

$$v(t) = v_1(t_0) + \frac{1}{C_1} \int_{t_0}^t id\tau + v_2(t_0) + \frac{1}{C_2} \int_{t_0}^t id\tau + \dots + v_n(t_0) + \frac{1}{C_n} \int_{t_0}^t id\tau$$

Si  $v_0(t_0) = v_1(t_0) + v_2(t_0) + \dots + v_n(t_0)$  y la corriente es la misma para todos los capacitores por encontrarse en la misma rama, entonces:

$$v(t) = v_0(t_0) + \frac{1}{C_1} \int_{t_0}^t id\tau + \frac{1}{C_2} \int_{t_0}^t id\tau + \dots + \frac{1}{C_n} \int_{t_0}^t id\tau$$

$$v(t) = v_0(t_0) + \left[ \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n} \right] \int_{t_0}^t id\tau$$

Para que esta ecuación conserve la estructura de la que describe la carga del capacitor entonces:

$$\frac{1}{C_{equi}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

## b. Capacitores en Paralelo

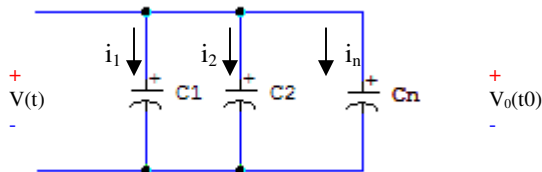


Figura G-2. Circuito de capacitores en paralelo

La carga en cada capacitor está dada por:

$$i_1 = C_1 \frac{dv}{dt}$$

$$i_2 = C_2 \frac{dv}{dt}$$

$$i_n = C_n \frac{dv}{dt}$$

Como la suma de corrientes en un nodo es cero entonces:

$$i_1 + i_2 + \dots + i_n = C_1 \frac{dv}{dt} + C_2 \frac{dv}{dt} + \dots + C_n \frac{dv}{dt}$$

$$\int_{t_0}^t (i_1 + i_2 + \dots + i_n) d\tau = [C_1 + C_2 + \dots + C_n] \int_{t_0}^t dv$$

$$v(t) = \frac{1}{C_1 + C_2 + \dots + C_n} \int_{t_0}^t (i_1 + i_2 + \dots + i_n) d\tau + v(t_0)$$

Entonces, para conservar la estructura de la ecuación de carga de un capacitor decimos que:

$$\frac{1}{C_{equi}} = \frac{1}{C_1 + C_2 + \dots + C_n}$$

Por lo tanto:

$$C_{equi} = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$

2. Laboratorio. Los siguientes experimentos muestran las relaciones entre el voltaje y la corriente generada según la topología del circuito utilizado. Por otra parte, se representa la relación de equivalencia en los circuitos con capacitores en serie y en paralelo.

Los siguientes resultados corresponden al circuito en serie básico, de resistencia y capacitor.

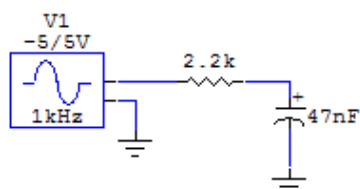


Figura G-3. Circuito del RC en serie

Cuadro G-1. Mediciones del circuito RC en serie

	VOLTAJE
Fuente	3.51
V <sub>pico</sub>	5.00
Resistencia	1.864
Capacitor	2.964
Suma	4.828

El ángulo de desfase tiene un valor de:

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{-V_c}{V_r}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{-2.964}{1.864}\right) = -1.0094 \text{ rad}$$

Cuadro G-2. Estadística de error en las mediciones del circuito RC en serie

	VOLTAJE
V <sub>r</sub> RMS	1.864
V <sub>c</sub> RMS cos(θ)	1.577
Suma V <sub>RMS</sub>	3.441
% error	2.65

Los siguientes resultados corresponden al circuito básico de resistencia y capacitores en serie.

Cuadro G-3. Mediciones del circuito RC con capacitores en serie

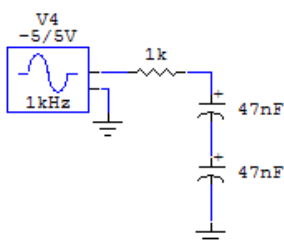


Figura G-4. Circuito RC con capacitores en serie

	VOLTAJE
Fuente	3.535
V <sub>pico</sub>	5
Resistencia	0.52
Capacitor 1	1.70
Capacitor 2	1.83
Suma	4.05

La Frecuencia de la señal es:  $X_c = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2\pi * 1000 * 47 * 10^{-9}} = 6570$

Por lo que el ángulo de desfase toma un valor de:  $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{X_c}{R}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{6570}{1000}\right) = 1.419rad$

Cuadro G-4. Estadística de error en las mediciones del circuito RC con capacitores en serie

	VOLTAJE
$V_{R\text{ RMS}}$	0.52
$V_{C_1\text{ RMS}} \cos(\theta - \pi/2)$	1.680
$V_{C_2\text{ RMS}} \cos(\theta - \pi/2)$	1.809
Suma $V_{\text{RMS}}$	4.09
% error	11.69

Los siguientes resultados corresponden al circuito en paralelo básico, de resistencia y capacitor.

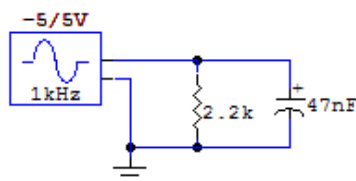


Figura G-5. Circuito RC en paralelo

Cuadro G-5. Mediciones del circuito RC en paralelo

	CORRIENTE
Fuente	0.0001942
Resistencia	0.0001939
Capacitor	0.0000032
Suma	0.000197

El ángulo de desfase tiene un valor de:  $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{-I_r}{I_c}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{-0.0001939}{0.0000032}\right) = -1.554rad$

El porcentaje de error en la elaboración y medición del circuito es:

Cuadro G-6. Mediciones del circuito RC en paralelo

	CORRIENTE
$I_{R\text{ RMS}}$	0.0001939
$I_{C\text{ RMS}} \cos(\theta)$	5.2804E-08
Suma $V_{\text{RMS}}$	0.000193953
% error	0.12729

Los siguientes resultados corresponden al circuito en paralelo básico, de resistencia y capacitor.

Cuadro G-7. Mediciones del circuito RC con capacitores en paralelo

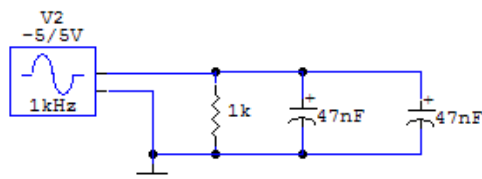


Figura G-6. Circuito RC con capacitores en paralelo

	CORRIENTE
Fuente	0.0001942
Resistencia	0.000194
Capacitor 1	0.0000032
Capacitor 2	0.0000032
Suma	0.0002003

El ángulo de desfase tiene un valor de:  $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{-I_r}{I_{c_1} + I_{c_2}}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{-0.000194}{0.0000032}\right) = -1.5703rad$

Cuadro G-8. Estadística de error en las mediciones del circuito RC con capacitor en paralelo

	CORRIENTE
$I_r_{RMS}$	0.000194
$I_{c_1}_{RMS} \cos(\theta)$	1.601E-09
$I_{c_2}_{RMS} \cos(\theta)$	1.601E-09
Suma $V_{RMS}$	0.000194
% error	0.152831

## H. GUÍA DE LABORATORIO DEL INSTRUCTOR: CONFIGURACIÓN DELTA-ESTRELLA

1. Pre Laboratorio. Para obtener las ecuaciones base, lo que debe hacer es encontrar la resistencia equivalente, entre cada par de nodos, en ambos circuito. Se debe tomar en cuenta que para la configuración delta, se tiene dos caminos para llegar de un nodo a otro, por lo que se obtiene la resistencia equivalente del paralelo de los dos caminos o mayas (tip: omitimos el tercer nodo).

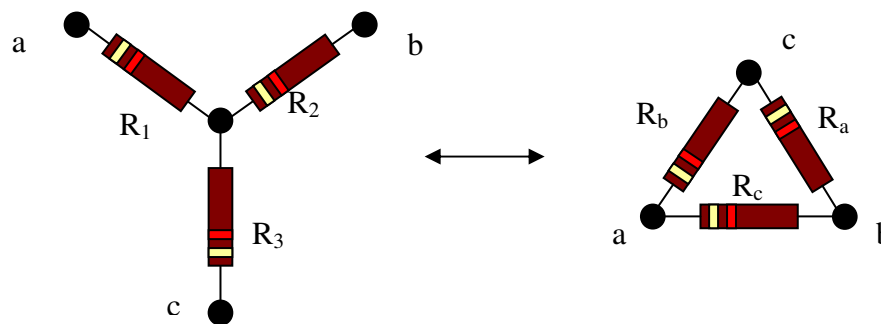


Figura H-1. Circuito equivalente entre configuraciones Y-Delta

Entonces del nodo a al nodo b la equivalencia de resistencias es:

$$R_1 + R_2 = R_c \parallel (R_a + R_b) = \frac{R_a R_c + R_b R_c}{R_a + R_b + R_c} \quad \text{Ec. 1}$$

Del nodo a al nodo c la equivalencia de resistencias es:

$$R_1 + R_3 = R_b \parallel (R_a + R_c) = \frac{R_a R_b + R_b R_c}{R_a + R_b + R_c} \quad \text{Ec. 2}$$

Del nodo b al nodo c la equivalencia de resistencias es:

$$R_2 + R_3 = R_a \parallel (R_b + R_c) = \frac{R_a R_b + R_a R_c}{R_a + R_b + R_c} \quad \text{Ec. 3}$$

Ahora para obtener la relación de  $R_1$  en función de  $R_a$ ,  $R_b$  y  $R_c$ , se realiza la siguiente operación con las ecuaciones anteriores:

$$Ec.1 + Ec.2 - Ec.3 = (R_1 + R_2) + (R_1 + R_3) - (R_2 + R_3) = \frac{R_a R_c + R_b R_c}{R_a + R_b + R_c} + \frac{R_a R_b + R_b R_c}{R_a + R_b + R_c} - \frac{R_a R_b + R_a R_c}{R_a + R_b + R_c}$$

Simplificando la ecuación anterior se tiene que:

$$R_1 = \frac{R_b R_c}{R_a + R_b + R_c} \quad \text{Ec. 4}$$

De la misma manera se obtiene  $R_2$  y  $R_3$  en función de  $R_a$ ,  $R_b$  y  $R_c$ .

$$Ec.1 - Ec.2 + Ec.3 = (R_1 + R_2) - (R_1 + R_3) + (R_2 + R_3) = \frac{R_a R_c + R_b R_c}{R_a + R_b + R_c} - \frac{R_a R_b + R_b R_c}{R_a + R_b + R_c} + \frac{R_a R_b + R_a R_c}{R_a + R_b + R_c}$$

Simplificando la ecuación anterior se tiene que:

$$R_2 = \frac{R_a R_c}{R_a + R_b + R_c} \quad \text{Ec. 5}$$

$$-Ec.1 + Ec.2 + Ec.3 = -(R_1 + R_2) + (R_1 + R_3) + (R_2 + R_3) = -\frac{R_a R_c + R_b R_c}{R_a + R_b + R_c} + \frac{R_a R_b + R_b R_c}{R_a + R_b + R_c} + \frac{R_a R_b + R_a R_c}{R_a + R_b + R_c}$$

Simplificando la ecuación anterior obtiene que:

$$R_3 = \frac{R_a R_b}{R_a + R_b + R_c} \quad \text{Ec. 6}$$

Ahora utilizando las ecuaciones 4, 5 y 6. se obtienen las siguiente ecuaciones:

$$\begin{aligned}
 R_1 R_2 &= \frac{R_a R_b R_c^2}{R_a + R_b + R_c} \\
 R_2 R_3 &= \frac{R_a^2 R_b R_c}{R_a + R_b + R_c} \\
 R_1 R_3 &= \frac{R_a R_b^2 R_c}{R_a + R_b + R_c} \quad + \\
 \hline
 R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3 &= \frac{R_a^2 R_b R_c + R_a R_b^2 R_c + R_a R_b R_c^2}{R_a + R_b + R_c}
 \end{aligned}$$

$$R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3 = \frac{R_a R_b R_c}{R_a + R_b + R_c} \quad \text{Ec. 7}$$

Si se reagrupa en la ecuación 7, el lado derecho de la igualdad, puede ver que el término es equivalente a  $R_1$ .

$$R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3 = R_a * \frac{R_b R_c}{R_a + R_b + R_c} = R_a * R_1$$

Por lo tanto,

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

De la misma manera se obtienen las relaciones para  $R_b$  y  $R_c$ .

$$R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3 = R_b * \frac{R_a R_c}{R_a + R_b + R_c} = R_b * R_2$$

Por lo tanto,

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

$$R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3 = R_c * \frac{R_b R_c}{R_a + R_b + R_c} = R_c * R_3$$

Por lo tanto,

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

De esta manera quedan demostradas las relaciones entre la configuración delta y estrella.

2. Laboratorio. Para el circuito de la primera transformación delta estrella se obtuvieron los siguientes datos.

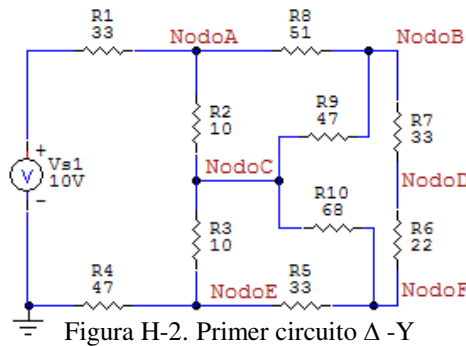


Figura H-2. Primer circuito Δ -Y

Cuadro H-1. Voltaje del primer circuito Δ -Y

VOLTAJE	
Nodo A	6.6
Nodo B	5.9
Nodo C	5.71
Nodo D	5.57
Nodo E	4.84
Nodo F	5.35

Cuadro H-2. Corrientes del primer circuito Δ -Y

AMPERAJE (mA)	
Resistencia 1	102.9
Resistencia 2	89.05
Resistencia 3	87.53
Resistencia 4	102.9
Resistencia 5	15.40
Resistencia 6	9.996
Resistencia 7	9.996
Resistencia 8	13.88
Resistencia 9	3.884
Resistencia 10	5.4

Para hacer la primera transformación delta estrella los valores de resistencia a sustituir son:

Cuadro H-3. Valores para las resistencias del primer circuito Δ -Y

RESISTENCIA	Valor
R <sub>B</sub>	18.8
R <sub>C</sub>	15.2
R <sub>F</sub>	22

Para el circuito de la segunda transformación delta estrella, configuración DELTA (Nodos BCF), se obtuvieron los siguientes datos.

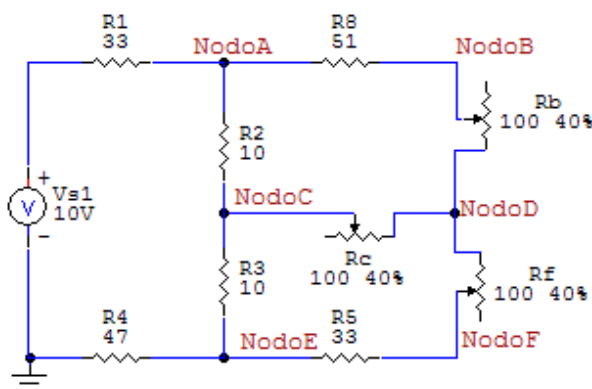


Figura H-3. Segundo circuito  $\Delta$  -Y

Cuadro H-4. Voltajes del segundo circuito  $\Delta$  -Y

VOLTAJE	
Nodo A	6.6
Nodo B	5.9
Nodo C	5.71
Nodo D	4.84
Nodo E	5.35
Nodo F	5.68

Cuadro H-5. Corrientes del segundo circuito  $\Delta$  -Y

AMPERAJE	
Resistencia 1	102.9
Resistencia 2	89.05
Resistencia 3	87.53
Resistencia 4	102.9
Resistencia 5	15.40
Resistencia 8	13.88
Resistencia $R_B$	13.88
Resistencia $R_C$	1.515
Resistencia $R_F$	15.4

¿Se conservan los valores de voltajes en los nodos para los cuales se cambiaron las resistencias? Sí se conservan los valores de voltaje en los nodos B, C y F.

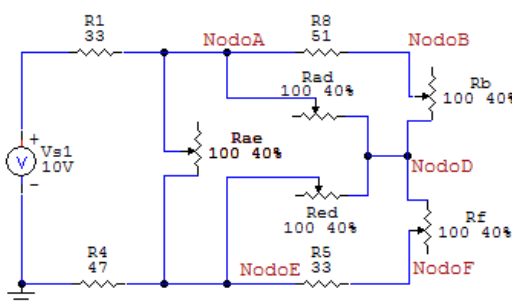
¿Por qué es que son o no iguales? Ya que la suma de corrientes en los nodos sigue siendo cero, y en este caso la corriente en la resistencia  $R_5$ ,  $R_8$  y  $R_{76}$  sigue siendo la misma.

¿Se conservan los valores de corriente en las ramas que llegan a los nodos (nodos BCF)? En las componentes del nuevo esquema estrella son diferentes ya que las resistencias cambian, pero guardan una relación de corriente con la diferencia de potencial entre los extremos.

Cuadro H-6. Valores para las resistencias del segundo circuito  $\Delta$ -Y

RESISTENCIA	Valor
$R_{ED}$	47.6
$R_{AD}$	47.6
$R_{AE}$	25.31

Para el circuito de la tercera transformación delta estrella, configuración DELTA (Nodos BDF), se obtuvieron los siguientes datos.

Figura H-4. Tercer circuito  $\Delta$ -YCuadro H-7. Voltajes del tercer circuito  $\Delta$ -Y

VOLTAJE	
Nodo A	6.6
Nodo B	5.9
Nodo D	5.68
Nodo E	4.84
Nodo F	5.35

Cuadro H-8. Corrientes del tercer circuito  $\Delta$ -Y

AMPERAJE	
Resistencia 1	102.9
Resistencia 4	102.9
Resistencia 5	15.40
Resistencia 8	13.88
Resistencia $R_B$	13.88
Resistencia $R_F$	15.4
Resistencia $R_{AD}$	19.31
Resistencia $R_{ED}$	17.79
Resistencia $R_{AE}$	69.74

¿Se conservan los valores de voltajes en los nodos para los cuales se cambiaron las resistencias (ADE)?  
Sí se conservan los valores de voltaje en los nodos A, D y E.

¿Por qué son o no iguales? Porque la suma de corrientes en los nodos sigue siendo cero, y en este caso la corriente en la resistencia  $R_1$ ,  $R_4$ ,  $R_5$ ,  $R_8$ ,  $R_b$  y  $R_f$  sigue siendo la misma.

¿Qué puede concluir de las relaciones voltaje- corriente- resistencias en las conversiones entre los sistemas? Que la suma de los voltajes en las resistencias R1 y R2 proporciona la diferencia de potencial entre las terminales A y B, que es el mismo voltaje de la resistencia Rc. De la misma manera para las otras terminales. Por lo que se puede decir que las resistencias R1 y R2 son divisores de voltaje, la complejidad se encuentra en que en el centro los divisores cumplan el mismo nivel de voltaje. Se puede concluir que el objetivo de las conversiones delta-estrella es facilitar el cálculo de una resistencia equivalente. Respetando los voltajes en los nodos y a su vez la ley de Kirchhoff que establece que la suma de corrientes en los nodos debe de ser cero.

## I. GUÍA DE LABORATORIO DEL INSTRUCTOR: DIODOS

1. Laboratorio. Para obtener la curva de comportamiento del diodo se midieron voltajes y corrientes en los siguientes dos circuitos, para los cuales se obtuvo los siguientes datos:

Cuadro I-1. Mediciones del circuito de polarización inversa

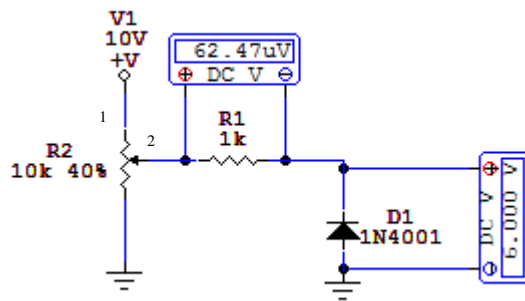


Figura I-1. Circuito de polarización inversa

VOLTAJE		
Diodo (V)	R1 (mV)	R1 (mA)
9	0.09251	0.09251
8	0.08249	0.08249
7	0.07248	0.07248
6	0.06247	0.06247
5	0.05245	0.05245
4	0.04268	0.04268
3	0.03242	0.03242
2	0.02253	0.02253
1	0.01252	0.01252
0.8	0.01055	0.01055
0.6	0.008583	0.008583
0.4	0.006527	0.006527
0.2	0.0045	0.0045

Cuadro I-2. Mediciones del circuito de polarización directa

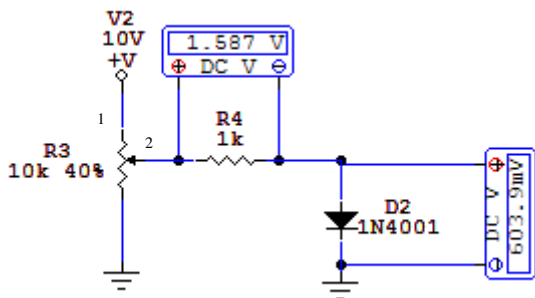


Figura I-2. Circuito de polarización directa

VOLTAJE		
R4 (V)	Diodo (mV)	R1 (mA)
0.1	478.7	0.4787
0.2	510.1	0.5101
0.3	528.5	0.5285
0.4	541.5	0.5415
0.5	551.6	0.5516
0.6	559.9	0.5599
0.7	566.8	0.5668
0.8	572.9	0.5729
1	583.0	0.5830
2	614.4	0.6144
3	632.8	0.6328
4	645.9	0.6459
5	656.0	0.6560
6	664.3	0.6643

Cuadro I-3. Resumen de datos

R1 mA	Diodo V
6.0000	0.6643
5.0000	0.6560
4.0000	0.6459
3.0000	0.6328
2.0000	0.6144
1.0000	0.5830
0.8000	0.5729
0.7000	0.5668
0.6000	0.5599
0.5000	0.5516
0.4000	0.5415
0.3000	0.5285
0.2000	0.5101
0.1000	0.4787
-0.0045	-0.2000
-0.0065	-0.4000
-0.0086	-0.6000
-0.0106	-0.8000
-0.0125	-1.0000
-0.0225	-2.0000
-0.0324	-3.0000
-0.0427	-4.0000
-0.0525	-5.0000
-0.0625	-6.0000

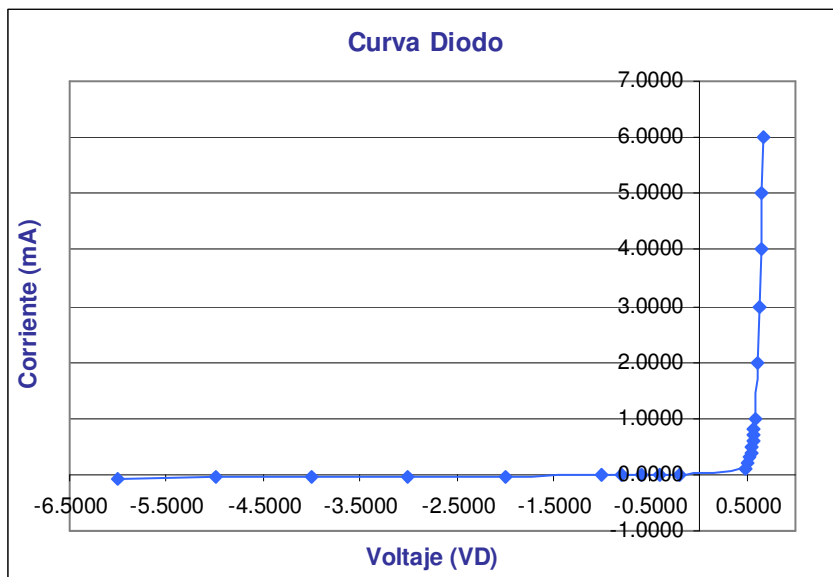


Figura I-3. Curva del comportamiento del diodo

Para el circuito de compuerta digital con diodos en polarización directa se obtuvieron los siguientes resultados.

Cuadro I-4. Mediciones del circuito de compuerta en polarización directa

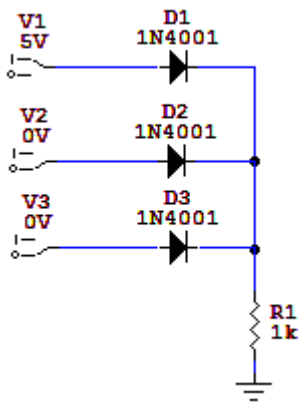


Figura I-4. Circuito de compuerta en polarización directa

VOLTAJE			
V1	V2	V3	R1
0 V	0 V	0 V	0 V
0 V	0 V	5 V	0 V
0 V	5 V	0 V	0 V
5 V	0 V	0 V	0 V
5 V	0 V	5 V	0 V
5 V	5 V	0 V	0 V
5 V	5 V	5 V	5 V

¿A qué compuerta lógica es equivalente este circuito? AND

Para el circuito de compuerta digital con diodos en polarización inversa se obtuvieron los siguientes resultados.

Cuadro I-5. Mediciones del circuito de compuerta en polarización inversa

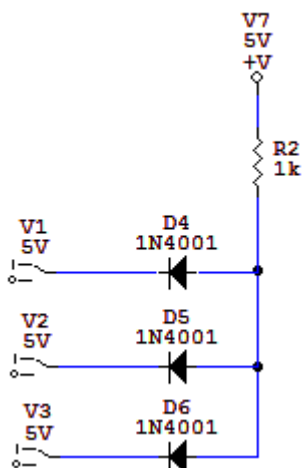


Figura I-5. Circuito de compuerta en polarización inversa

VOLTAJE			
V1	V2	V3	R1
0 V	0 V	0 V	0 V
0 V	0 V	5 V	5 V
0 V	5 V	0 V	5 V
5 V	0 V	0 V	5 V
5 V	0 V	5 V	5 V
5 V	5 V	0 V	5 V
5 V	5 V	5 V	5 V

¿A qué compuerta lógica es equivalente este circuito? OR

## J. GUÍA DE LABORATORIO DEL INSTRUCTOR: INDUCTOR

1. Pre-Laboratorio. A continuación se presenta la resolución matemática para demostrar la equivalencia de circuitos con inductores en serie y en paralelo.

### a. Inductores en serie

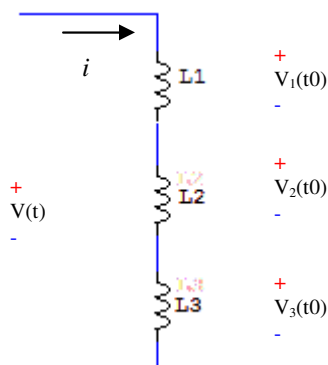


Figura J-1. Inductores en serie

La carga en cada capacitor está dada por:

$$v_1 = L_1 \frac{di}{dt}$$

$$v_2 = L_2 \frac{di}{dt}$$

$$v_n = L_n \frac{di}{dt}$$

Como la suma de corrientes en un nodo es cero entonces:

$$v_1 + v_2 + \dots + v_n = L_1 \frac{di}{dt} + L_2 \frac{di}{dt} + \dots + L_n \frac{di}{dt}$$

$$\int_{t_0}^t (v_1 + v_2 + \dots + v_n) d\tau = [L_1 + L_2 + \dots + L_n] \int_{t_0}^t di$$

$$i(t) = \frac{1}{L_1 + L_2 + \dots + L_n} \int_{t_0}^t (v_1 + v_2 + \dots + v_n) d\tau + i(t_0)$$

Entonces, para conservar la estructura de la ecuación de carga de un capacitor decimos que:

$$\frac{1}{L_{equi}} = \frac{1}{L_1 + L_2 + \dots + L_n}$$

Por lo tanto:

$$L_{equi} = L_1 + L_2 + \dots + L_n$$

### b. Inductores en paralelo

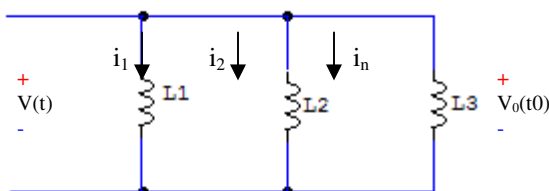


Figura J-2. Inductores en paralelo

$$i(t) = i_1(t_0) + \frac{1}{L_1} \int_{t_0}^t v d\tau + i_2(t_0) + \frac{1}{L_2} \int_{t_0}^t v d\tau + \dots + i_n(t_0) + \frac{1}{L_n} \int_{t_0}^t v d\tau$$

Si  $i_0(t_0) = i_1(t_0) + i_2(t_0) + \dots + i_n(t_0)$  y la corriente es la misma para todos los capacitores por encontrarse en la misma rama, entonces:

$$i(t) = i_0(t_0) + \frac{1}{L_1} \int_{t_0}^t v d\tau + \frac{1}{L_2} \int_{t_0}^t v d\tau + \dots + \frac{1}{L_n} \int_{t_0}^t v d\tau$$

$$i(t) = i_0(t_0) + \left[ \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots + \frac{1}{L_n} \right] \int_{t_0}^t v d\tau$$

Para que esta ecuación conserve la estructura de la que describe la carga del capacitor entonces:

$$\frac{1}{L_{equi}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots + \frac{1}{L_n}$$

## K. GUÍA DE LABORATORIO INSTRUCTOR: INSTRUMENTOS DE LABORATORIO

### 1. Laboratorio

¿Cómo se mide corriente con el osciloscopio? No se puede medir directamente. Se mide el voltaje y luego se divide dentro del valor del componente en el caso que fuese una resistencia.

¿Qué acople se necesita para medir una señal generada con la fuente de voltaje? Se necesita seleccionar acople DC.

¿Cuándo se usa High Frequency (HF) o Low Frequency (LF)? ¿Qué función está involucrada? En HF filtro pasa altas, y en LF pasa bajas.

¿Se pueden obtener voltajes negativos de la fuente de poder? Sí.

¿Cuántas entradas puede observar en la cratícula? Se pueden observar dos señales de entrada.

¿Qué tipos de trigger se puede usar? En el canal 1, en el canal 2, externo, aleatorio.

Describe el funcionamiento del trigger. Establece desde que momento se empieza a desplegar la señal en la cratícula del osciloscopio, Utiliza como referencia la pendiente y el nivel de voltaje.

¿Cómo se cambia el ciclo de trabajo de una onda? En el generador de funciones hay un botón que se gira, Duty cycle o simetría, el cual establece directamente el ciclo de trabajo.

¿Qué tipos de onda se pueden obtener con el generador? Cuadrada, triangular y senoidal.

¿Para qué se usa el atenuador? Para obtener diferentes escalas de amplitud en la señal de salida.

Si usted tiene que, la escala de voltaje es de 1 voltio y la escala en el periodo es de 0.5us. ¿Cuál es la frecuencia y la amplitud de pico a pico de la onda? 4 V pico a pico.  $\approx 1428.57$  k ( real es 4.12 V y 1488.5 k Hz).

## L. GUIA DE LABORATORIO DEL INSTRUCTOR: LEYES DE KIRCHOFF

1. Pre Laboratorio. El siguiente circuito se resolvió utilizando las leyes de Kirchoff. Se encontró el valor de corrientes para cada rama y el voltaje en cada nodo. La resistencia interna de la fuente de corriente es  $417.28 \Omega$ .

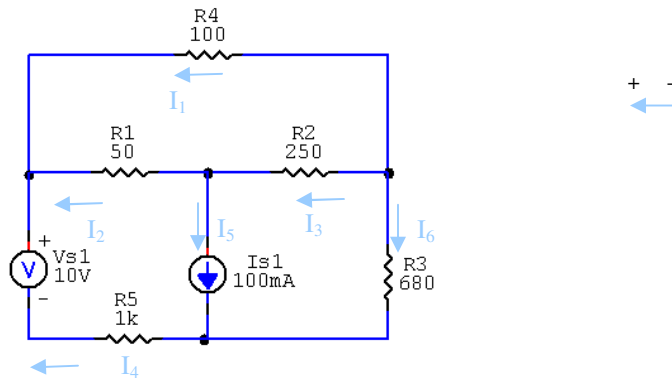


Figura L-1. Circuito de las leyes de Kirchoff para tarea

$$10 - 50 * I_2 + 1000 * I_4 + 500 * I_5 = 0$$

$$100 * I_1 - 50 * I_2 - 250 * I_3 = 0$$

$$250 * I_3 - 680 * I_6 - 500 * I_5 = 0$$

$$I_1 + I_3 + I_6 = 0$$

$$I_1 + I_2 + I_4 = 0$$

$$-I_2 + I_3 + I_5 = 0$$

$$I_4 + I_5 - I_6 = 0$$

$$I_5 = 0.100$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones se obtiene que, los valores de las corrientes son:

Cuadro L-1. Valores de corriente en las ramas

i1	-0.02650 A
i2	0.07450 A
i3	-0.02550 A
i4	-0.04801 A
i6	0.05199 A

i5 0.10000 A

## 2. Laboratorio

Cuadro L-2. Mediciones de voltaje del experimento de las leyes de Kirchoff

VOLTAJE	1 Voltio	3 Voltios	5 Voltios	10 Voltios	15 Voltios
Nodo1	0.923 V	2.770 V	4.613 V	9.226 V	0
Nodo2	0.917 V	2.750 V	4.586 V	9.172 V	0
Nodo 3	0.127 V	0.381 V	0.6353 V	1.271 V	0
Nodo 4	0.872 V	2.620 V	4.359 V	8.718 V	0
Nodo 5	0.110 V	0.331 V	0.5508 V	1.102 V	0

Cuadro L-3. Mediciones de corriente del experimento de las leyes de Kirchoff

AMPERAJE	1 Voltio	3 Voltios	5 Voltios	10 Voltios	15 Voltios
Resistencia 1	23.44 mA	70.32 mA	117.2 mA	234.4 mA	0
Resistencia 2	23.08 mA	69.24 mA	115.4 mA	230.8 mA	0
Resistencia 3	359.2 uA	1.078 mA	1.796 mA	3.592 mA	0
Resistencia 4	359.2 uA	1.078 mA	1.796 mA	3.592 mA	0
Resistencia 5	23.08 mA	69.24 mA	115.4 mA	230.8 mA	0
Resistencia 6	359.2 uA	1.078 mA	1.796 mA	3.592 mA	0
Resistencia 7	23.44 mA	70.32 mA	117.2 mA	234.4 mA	0

¿Es necesario medir en todos los nodos los voltajes? Sí, porque cada nodo tiene un voltaje diferente, ya que depende de las resistencias de la rama.

¿Es necesario medir en todas las corrientes para cada una de las resistencias? ¿Por qué? No, porque las resistencias que pertenecen a la misma rama tienen el mismo valor de corriente. En la tabla se puede observar que R2 y R5, tienen la misma corriente. De igual forma para R3, R4 y R6; y para R1 y R7.

¿Por qué se rompe el fusible? Porque la corriente que el circuito demanda es mayor a 100mA, por lo que el fusible no lo soporta y se rompe.

¿Qué relación existe entre el voltaje aplicado y la corriente inducida a medida que el voltaje aumenta? Aumenta la corriente inducida aumenta en la misma proporción a como aumenta el voltaje, ya que la resistencia es constante.

## M. GUÍA DE LABORATORIO DEL INSTRUCTOR: MÁXIMA TRANSFERENCIA DE POTENCIA

1. Pre-Laboratorio. Calcular el valor al que se debe de ajustar el potenciómetro  $R_L$  para obtener la máxima disipación de potencia.

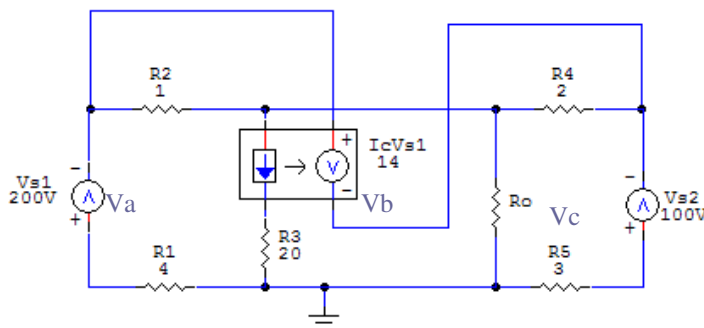


Figura M-1. Circuito tarea transferencia de potencia

El problema se resuelve utilizando el método de voltajes en nodos. Además se debe aplicar la simplificación de “super nodo”, el cual está formado por los nodos  $V_a$  y  $V_c$ .

$$\frac{V_a - 200}{4} + \frac{V_a - V_b}{1} + \frac{V_c - V_b}{2} + \frac{V_c - 100}{3} = 0$$

$$\frac{V_b - V_a}{1} + \frac{V_b}{20} + \frac{V_b - V_c}{2} + \frac{V_b}{R_o} = 0$$

$$\frac{V_a - V_c}{1} = 14I_{R3}$$

$$V_a - V_c = \frac{14 * V_b}{20}$$

Al resolver el sistema de ecuaciones obtenemos que los voltajes en los nodos son:

$$V_a = \frac{20(19R_o + 10)}{2r + 5}$$

$$V_b = \frac{300R_o}{2r+5}$$

$$V_c = \frac{10(17R_o + 20)}{2r+5}$$

Para obtener la máxima transferencia de potencia para la resistencia  $R_o$ , diferenciamos la siguiente ecuación que nos da la relación de potencia en función de  $R_o$ .

$$P_{R_o} = V * I = \frac{V^2}{R} = \frac{V_b^2}{R_o}$$

$$\int P_{R_o} dR_o = \int \frac{V_b^2}{R_o} dR_o = \int \frac{\left(\frac{300R_o}{2r+5}\right)^2}{R_o} dR_o = \frac{-90000(2R_o - 5)}{(2R_o + 5)^3} = 0$$

$$R_o = 2.5 \Omega$$

$$P_{Max-R_o} = \frac{90000R_o^2}{(2R_o + 5)^2} = 2250W$$

## 2. Laboratorio

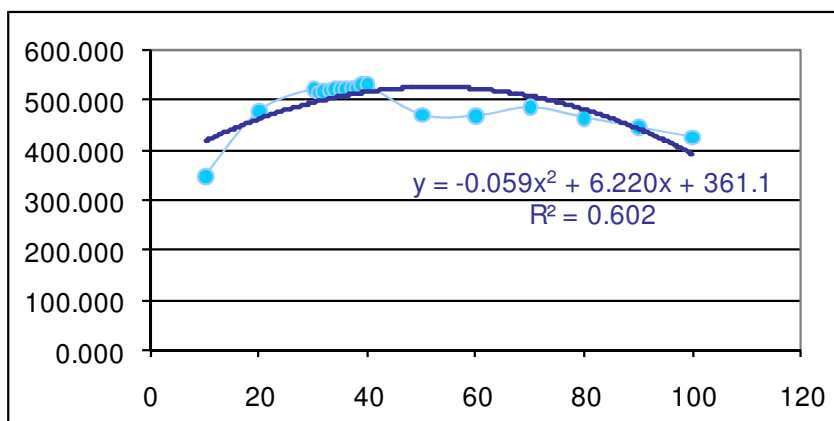


Figura M-2. Curva del experimento de máxima transferencia de potencia

Cuadro M-3. Mediciones del experimento de máxima transferencia de potencia

RESISTENCIA	CORRIENTE	VOLTAJE	POTENCIA
10	186.300	1.863	347.077
20	154.400	3.088	476.787
30	131.800	3.955	521.269
31	129.900	3.955	513.755
32	128.100	4.028	515.987
33	126.300	4.099	517.704
34	124.600	4.168	519.333
35	122.900	4.235	520.482
36	121.200	4.300	521.160
37	119.600	4.363	521.815
38	118.000	4.425	522.150
39	116.500	4.544	529.376
40	115.000	4.601	529.115
50	102.000	5.101	520.302
60	91.640	5.499	503.928
70	83.190	5.823	484.415
80	76.160	6.093	464.043
90	70.230	6.321	443.924
100	65.160	6.516	424.583

Entonces al derivar tenemos que  $y' = -0.1182 x + 6.2204$ . Al igualar a cero para obtener el valor del punto de inflexión tenemos:

$$R_L = 6.2204 / 0.1182 = 52.62 \Omega$$

RESISTENCIA ( $R_{\text{equivalente}}$ )

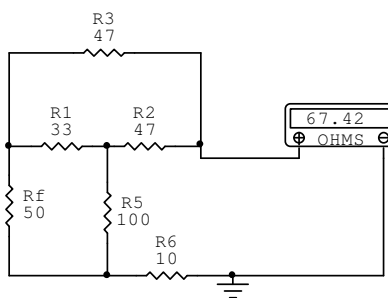
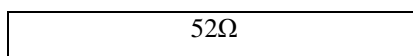


Figura M-3. Medición de la resistencia equivalente

¿Es este valor de resistencia igual al obtenido en el primer procedimiento? No ¿Por qué son o no iguales? Si medimos con el multímetro obtenemos una medición incorrecta, ya que la fuente tiene una impedancia de entrada muy grande.

¿Cree usted correcto medir una resistencia en una maya o dentro de un circuito? No. ¿Por qué cree es o no correcto? Lo correcto es extraerla del circuito y luego independientemente medirla, ya que dentro del circuito puede haber una fuga de corriente hacia las resistencias adyacentes y obtener una lectura errónea.

¿Por qué se midió potencia para calcular la resistencia equivalente? Como se comprobó en la teoría, al hacer equivalencias de Thévenin, podemos obtener los valores de resistencias para los cuales la transferencia de potencia es máxima.

## N. GUÍA DE LABORATORIO DEL INSTRUCTOR: RESISTENCIAS EN SERIE Y PARALELO

1. Pre-Laboratorio. Utilizando las ecuaciones desarrolladas para las relaciones de voltaje y corriente en las dos configuraciones de serie y paralelo, demostrar cual es la resistencia equivalente para cada configuración.

a. Resistencias en serie.

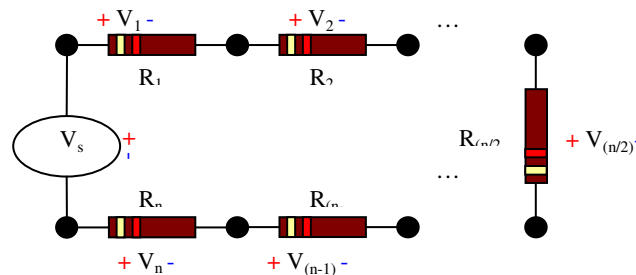


Figura N-1. Circuito de resistencias en serie

$$V_s = V_1 + V_2 + \dots + V_{n/2} + \dots + V_{n-1} + V_n$$

Se sabe que el voltaje a través de una resistencia es equivalente a su valor por la corriente que pasa a través de ella, por lo que:

$$V_s = I * R_1 + I * R_2 + \dots + I * R_{n/2} + \dots + I * R_{n-1} + I * R_n$$

Si  $R_{eq} = \frac{V_s}{I}$  entonces:

$$\frac{V_s}{I} = R_1 + R_2 + \dots + R_{n/2} + \dots + R_{n-1} + R_n$$

Por lo que la resistencia equivalente es:

$$R_{eq} = \sum_{i=1}^n R_i$$

### b. Resistencias en paralelo

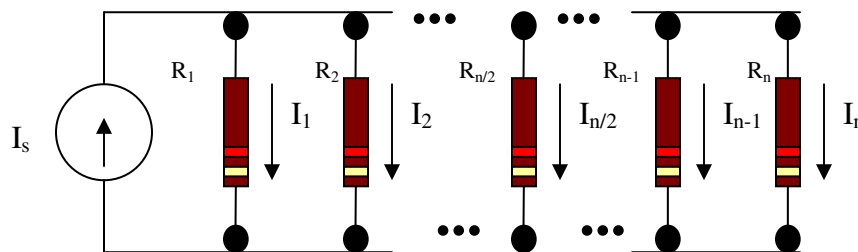


Figura N-2. Circuito de resistencias en paralelo

$$I_s = I_1 + I_2 + \dots + I_{n/2} + \dots + I_{n-1} + I_n$$

La ley de Ohm establece que la corriente es igual al valor del voltaje dividido la resistencia. Por lo que:

$$I_1 = \frac{V_1}{R_1}$$

Por lo tanto:

$$I_s = \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \dots + \frac{V_{n/2}}{R_{n/2}} + \dots + \frac{V_{n-1}}{R_{n-1}} + \frac{V_n}{R_n}$$

Como todas las resistencias están conectadas al mismo nodo  $V_i = V_s$  entonces:

$$I_s = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \dots + \frac{V}{R_{n/2}} + \dots + \frac{V}{R_{n-1}} + \frac{V}{R_n}$$

Si se divide dentro de  $V$  se obtiene:

$$\frac{I_S}{V} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_{n/2}} + \dots + \frac{1}{R_{n-1}} + \frac{1}{R_n}$$

Como se sabe  $R_{eq} = \frac{V}{I_S}$ , por lo tanto:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_{n/2}} + \dots + \frac{1}{R_{n-1}} + \frac{1}{R_n}$$

Entonces se tiene que la resistencia equivalente es:

$$R_{eq} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}}$$

2. Laboratorio. Los resultados para el primer experimento de resistencias en serie son los siguientes:

Cuadro N-1. Mediciones de voltaje en el circuito uno

VOLTAJE	
NodoA	10 V
NodoB	8 V
Nodo C	6 V
Nodo D	4 V
Nodo E	2 V
Nodo F	0 V

Cuadro N-2. Mediciones de corriente en el circuito uno

AMPERAJE	
R1	2 mA
R2	2 mA
R3	2 mA
R4	2 mA
R5	2 mA
Vs1	2 mA

Los resultados para el segundo experimento de resistencias en serie son:

Cuadro N-3. Mediciones de voltaje en el circuito dos

VOLTAJE	
NodoA	10 V
NodoB	9.387 V
Nodo C	6.258 V
Nodo D	4.233 V
Nodo E	1.350 V
Nodo F	0 V

Cuadro N-4. Mediciones de corriente en el circuito dos

AMPERAJE	
R1	6.135 mA
R2	6.135 mA
R3	6.135 mA
R4	6.135 mA
R5	6.135 mA
Vs1	6.135 mA

¿Qué configuración son los circuitos que construyó? Divisor de voltaje.

¿Cuáles son las características de voltaje y corriente? Diferente voltaje en cada nodo y la misma corriente para todas las resistencias.

Calcule la resistencia equivalente dividiendo el voltaje de la fuente, por la corriente que esta suministra al circuito:

$$R_{eq} = \frac{V_{s1}}{I_{vs1}} = \frac{10}{0.006135} = \underline{1.630 \text{ k}\Omega}$$

Mida la corriente que proporciona la fuente. ¿Obtuvo el mismo valor de corriente que en el circuito anterior? Sí se obtuvo el mismo valor de corriente, porque la resistencia es equivalente.

¿El valor de la resistencia obtenido es mayor o menor al valor de las resistencias del circuito original? Es mayor a las pertenecientes al circuito original, esto se debe a que la resistencia equivalente es la suma de todas ellas.

Los resultados para el tercer experimento de resistencias en paralelo son los siguientes:

Cuadro N-5. Mediciones de voltaje en el  
circuito tres

VOLTAJE	
NodoA	10 V
NodoB	0 V

Cuadro N-6. Mediciones de corriente en el  
circuito tres

AMPERAJE	
R1	10 mA
R2	10 mA
R3	10 mA
R4	10 mA
R5	10 mA
R6	10 mA
Vs1	60 mA

Los resultados para el cuarto experimento de resistencias en paralelo son los siguientes:

Cuadro N-7. Mediciones voltaje circuito cuatro

VOLTAJE	
NodoA	10 V
NodoB	0 V

Cuadro N-8. Mediciones corriente circuito cuatro

AMPERAJE	
R1	10 mA
R2	5 mA
R3	3.03 mA
R4	2.128 mA
R5	1.961 mA
R6	1 mA
Vs1	23.12 mA

¿Qué configuración son los circuitos que construyó? Divisor de corriente.

¿Cuáles son las características de voltaje y corriente? El mismo voltaje para los extremos de las resistencia, pero diferente valor de corriente para cada una.

Calcule la resistencia equivalente dividiendo el voltaje de la fuente, por la corriente que esta suministra al circuito:

$$R_{eq} = \frac{V_{s1}}{I_{vs1}} = \frac{10}{0.02312} = \underline{432.52\Omega}$$

Mida la corriente que proporciona la fuente. ¿Obtuvo el mismo valor de corriente que en el circuito anterior? Sí, porque la resistencia es una equivalencia.

¿El valor de la resistencia obtenido es mayor o menor al valor de las resistencias del circuito original? Es menor al valor de la resistencia mas pequeña del circuito.

## O. GUÍA DE LABORATORIO DEL INSTRUCTOR: SISTEMAS DE SOLUCIÓN DE CIRCUITOS

1. Pre-Laboratorio. Para los problemas propuestos se obtuvo la siguiente solución:

$$i_3 - i_2 = 3A$$

$$13 * i_1 + 10 * (i_1 - i_2) + 5 * (i_1 - i_3) = 0$$

$$24 - 10 * (i_2 - i_1) - 5 * (i_3 - i_1) - 12 - 15 * i_3 - 22 * i_2 = 0$$

$$i_1 = 0.0487 \text{ A}$$

$$i_2 = -0.9090 \text{ A}$$

$$i_3 = 2.0909 \text{ A}$$

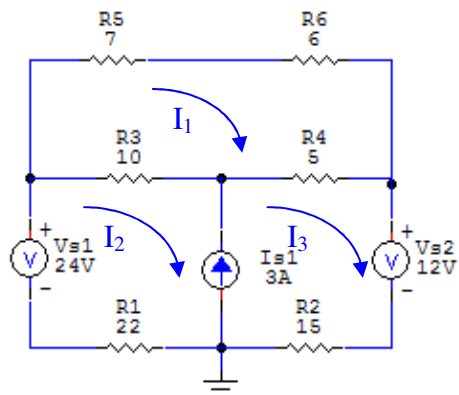


Figura O-1. Circuito uno para tarea

$$V_B - V_C = 5V$$

$$\frac{V_B - 20}{33} + \frac{V_B}{22} + \frac{V_2}{7} - 0.5 = 0$$

$$V_A = 20V$$

$$V_B = 8.3267 V$$

$$V_C = 3.3267$$

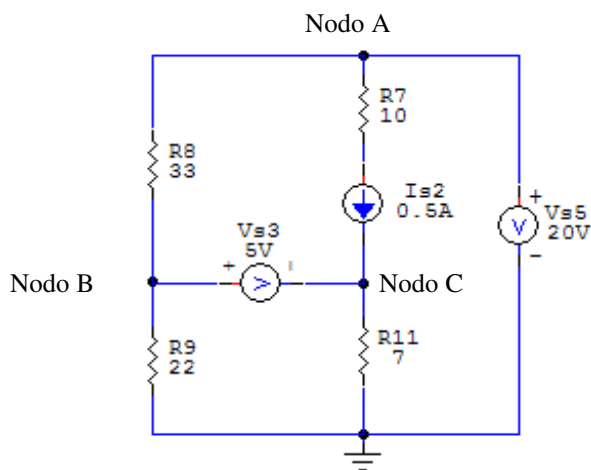


Figura O-2. Circuito dos para tarea

2. Laboratorio. Para el circuito básico propuesto se obtuvieron los siguientes resultados.

Cuadro O-1. Mediciones de voltaje del circuito experimental

VOLTAJE	
Nodo A	6.88V
Nodo B	6.88V
Nodo C	6.88V

Cuadro O-2. Mediciones de corrientes del circuito experimental

AMPERAJE	
Resistencia 1	312.5 nA
Resistencia 2	308.3 nA
Resistencia 3	312.5 nA
Resistencia 4	416.7 nA
Resistencia 5	416.7 nA

Respuestas experimentales con un multímetro con resistencia de medición de voltaje de 22 MΩ y resistencia de medición de corriente de 100mΩ.

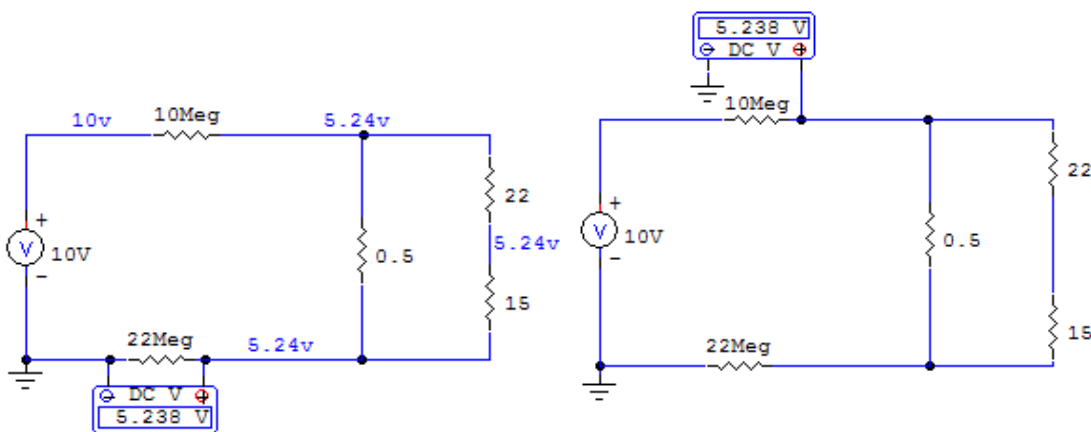


Figura O-3. Medición de voltaje en circuito básico

Al realizar la medición de voltaje se obtiene un valor equivocado, por lo que la lectura será de 5.24V cuando en realidad debiera ser de 6.88 V.

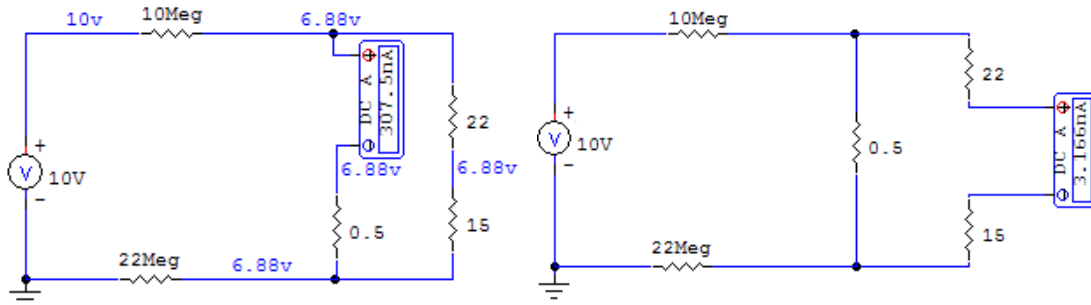


Figura O-4. Medición de corriente en circuito básico

Al hacer la medición de corriente en la resistencia de  $0.5 \Omega$ , se obtiene la lectura correcta de 307.5 nA. Sin embargo al realizar la lectura de corriente en la rama paralela la lectura no será correcta por lo que se tienen 3.166 nA en lugar de 416.7 nA.

Resuelva el circuito y compare los valores de voltaje y corrientes obtenidos en el laboratorio y los obtenidos teóricamente. ¿Son iguales? (Explique) No son iguales, ya que al realizar las mediciones de voltaje, al colocar el multímetro en paralelo este funciona como un divisor de corriente por lo que la lectura disminuye, ya que el multímetro consume una cantidad similar de corriente que la resistencia en medición. Lo mismo sucede con la medición de corriente, al colocarla en paralelo con una resistencia de valor similar esta consume igual cantidad de corriente por lo que de nuevo se obtiene una lectura errónea.

¿Encontró alguna limitación en su instrumento de medición? No se puede medir voltajes, ni corrientes, sobre resistencia cercanas a la interna del multímetro.

## P. GUÍA DE LABORATORIO DEL INSTRUCTOR: SUPERPOSICIÓN

1. Pre-Laboratorio. El circuito para tarea se resolvió con la siguiente metodología.

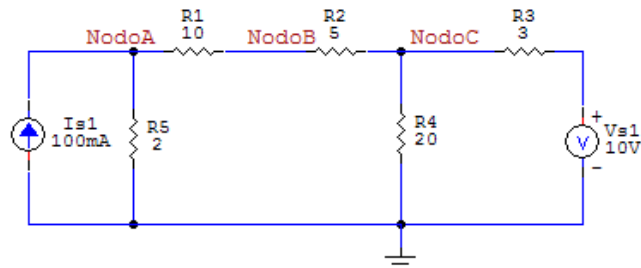


Figura P-1. Circuito de superposición para tarea

Solución para Vs1Solución para Is1Solución Total

$$\frac{V_c - 10}{3} + \frac{V_c}{20} + \frac{V_c - V_b}{5} = 0$$

$$\frac{V_c}{3} + \frac{V_c}{20} + \frac{V_c - V_b}{5} = 0$$

$$\frac{V_c - 10}{3} + \frac{V_c}{20} + \frac{V_c - V_b}{5} = 0$$

$$\frac{V_b - V_a}{10} + \frac{V_b - V_c}{5} = 0$$

$$\frac{V_b - V_a}{10} + \frac{V_b - V_c}{5} = 0$$

$$\frac{V_b - V_a}{10} + \frac{V_b - V_c}{5} = 0$$

$$\frac{V_a}{2} + \frac{V_a - V_b}{10} = 0$$

$$-100E^{-3} + \frac{V_a}{2} + \frac{V_a - V_b}{10} = 0$$

$$-100E^{-3} + \frac{V_a}{2} + \frac{V_a - V_b}{10} = 0$$

Solucionando los tres sistemas de ecuaciones se obtiene:

Cuadro P-1. Solución del circuito de superposición para tarea

VOLTAJE	Vs 1	Is 1	Total
Nodo A	0.8869	0.1796	1.0665
Nodo B	5.3215	0.0776	5.3391
Nodo C	7.5388	0.0266	7.5654

Al observar la tabla se puede comprobar que el teorema de superposición se cumple, ya que al sumar los voltajes de la columna con los de la columna dos, se tienen los voltajes finales del circuito que se encuentran colocados en la columna.

2. Laboratorio. Se realizaron las mediciones en el circuito experimental para superposición, los resultados son:

Cuadro P-2. Mediciones de voltaje del experimento de superposición

VOLTAJE	V <sub>s</sub> 1	V <sub>s</sub> 2	V <sub>s</sub> 3	Total
Nodo A	14.60	1.03	0.642	16.30
Nodo B	10.50	1.81	1.13	13.40
Nodo C	5.48	2.11	3.05	10.60
Nodo D	2.18	3.70	1.52	7.39
Nodo E	2.06	2.31	4.35	8.72

Cuadro P-3. Mediciones de corriente del experimento de superposición

AMPERAJE (uA)	V <sub>s</sub> 1	V <sub>s</sub> 2	V <sub>s</sub> 3	Total
Resistencia 1	1058	-201.5	-125.8	730.4
Resistencia 2	1058	-201.5	-125.8	730.4
Resistencia 3	-806.2	483.1	-563.2	-886.2
Resistencia 4	-251.6	-281.6	689.0	155.8
Resistencia 5	-830.3	188.2	38.84	-603.3
Resistencia 6	-24.14	-295.0	602.0	282.9
Resistencia 7	227.5	-13.38	-86.97	127.1
Resistencia 8	-227.5	13.38	86.97	-127.1

La suma de los voltajes parciales, ¿coincide con el voltaje teórico total para cada nodo? Sí coincide.

Explique, cómo se cumple la linealidad. Utilice las leyes de Kirchoff y el principio de conservación de la energía. La suma de voltajes es la misma debido a que cada fuente produce una corriente en cada resistencia, por lo que al sumarlas, las tres corrientes se siguen produciendo, entonces el voltaje es una composición de la suma de estas corrientes que actúan sobre las resistencias. Estas corrientes producidas para cada fuente cumplen con el teorema de conservación de la energía, ya que la suma de corrientes en cada nodo es cero en todos los casos.

## Q. GUÍA DE LABORATORIO DEL INSTRUCTOR: TERMOCOPLA

1. Laboratorio. La siguiente tabla muestra los datos obtenidos al comparar voltaje transmitido en función de la temperatura aplicada al termistor.



## R. GUÍA DE LABORATORIO DEL INSTRUCTOR: TOROIDE

1. Laboratorio. Los valores de potencial observados en el proceso de evaluación del comportamiento del toroide son los siguientes.

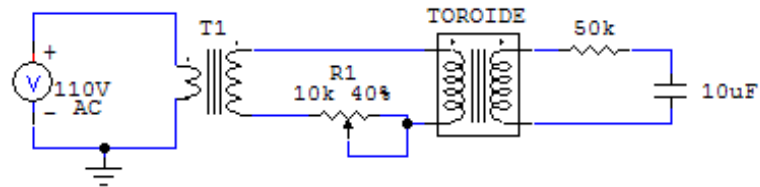


Figura R-1. Circuito práctico con toroide

El periodo de oscilación para el circuito del toroide es:

$$\tau = RC = 50k * 10\mu = 0.5 \gg \frac{1}{\omega} = \frac{1}{2\pi f} = \frac{1}{2\pi * 60} = 0.00265$$

Al aplicar el voltaje de alimentación se observó una señal de salida con amplitud variante respecto de la temperatura, como se puede ver en la siguiente tabla.

Cuadro R-1. Mediciones de potencial sobre el circuito con toroide

TEMPERATURA	EJE VERTICAL (v)	EJE HORIZONTAL (0.5s)
22°C	5.0	1.30
	-4.5	-1.35
60°C	5.0	1.3
	-4.5	-1.35
80°C	5.5	1.30
	-5.0	-1.35
90°C	5.5	1.30
	-5.0	-1.35

La gráfica observada en el osciloscopio varía de la gráfica esperada como se indica a continuación.

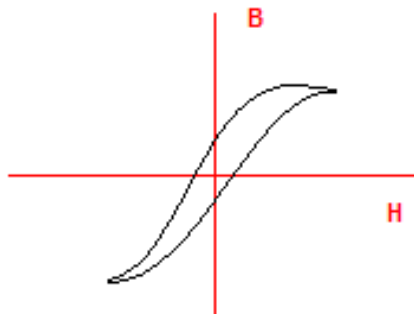


Figura R-2. Gráfica esperada

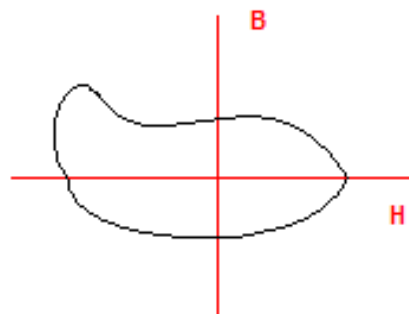


Figura R-3. Gráfica observada

## S. GUÍA DE LABORATORIO DEL INSTRUCTOR: TRANSISTOR

1. Laboratorio. El comportamiento observado para el transistor NPN fue el siguiente.

Cuadro S-1. Mediciones del circuito con transistor NPN

Vc	Ve	Vce	Ib	Ic
4.943	0	4.943	1.96E-02	1.176
5.020	0	5.020	1.92E-05	1.163
6.590	0	6.590	1.21E-05	9.02E-01
7.245	0	7.245	9.60E-06	7.92E-01
8.264	0	8.264	6.37E-06	6.23E-01
9.283	0	9.283	3.81E-06	4.53E-01
11.020	0	11.020	8.99E-04	1.63E-01
11.450	0	11.450	4.50E-04	9.15E-02
11.630	0	11.630	2.92E-04	6.20E-02
11.730	0	11.730	2.09E-04	4.52E-02
11.800	0	11.800	1.55E-04	3.37E-02
11.850	0	11.850	1.14E-04	2.46E-02
11.900	0	11.900	7.56E-05	1.61E-02
11.960	0	11.960	3.16E-05	6.11E-03
12.00	0	12.00	2.00E-07	2.62E-06
12.00	0	12.000	-1.82E-12	1.63E-11

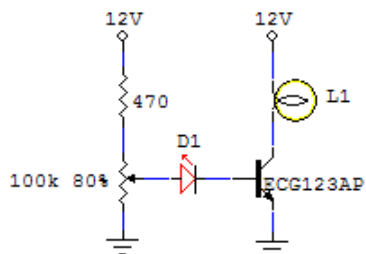


Figura S-1. Circuito con transistor NPN

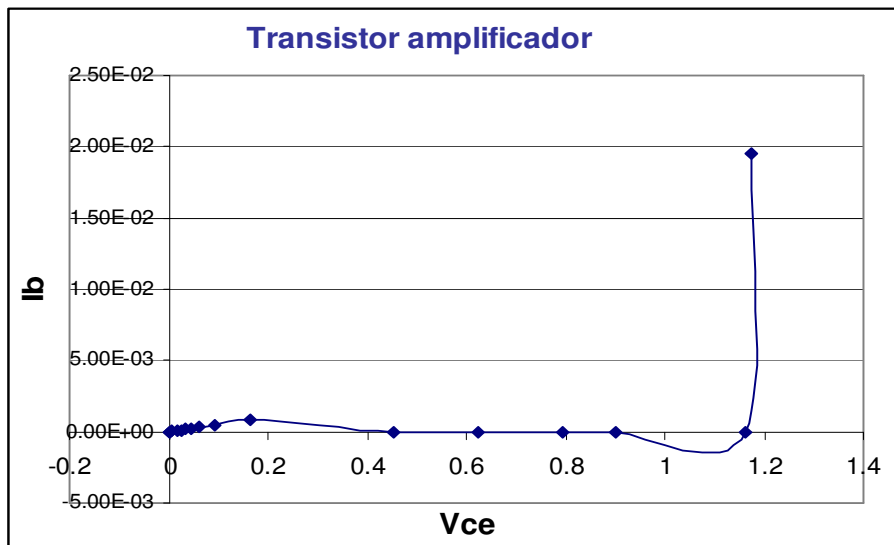


Figura S-2. Gráfica del comportamiento del circuito con transistor NPN

El comportamiento observado para el transistor PNP fue el siguiente.

Cuadro S-2. Mediciones del circuito con transistor PNP

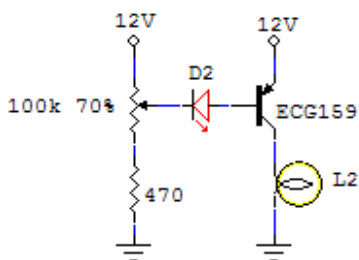


Figura S-3. Circuito con transistor PNP

Vc	Ve	Vce	Ib	Ic
0	12	-12	-1.40E-12	9.62E-11
1.16E-05	12	-11.99999	2.46E-07	1.94E-06
0.08017	12	-11.91983	7.64E-05	1.36E-03
0.0915	12	-11.9085	3.26E-05	4.93E-03
0.1252	12	-11.8748	1.14E-04	2.09E-02
0.1742	12	-11.8258	1.56E-04	2.90E-02
0.2376	12	-11.7624	2.10E-04	3.96E-02
0.3332	12	-11.6668	2.93E-04	5.55E-02
0.5067	12	-11.4933	4.51E-04	8.44E-02
0.9473	12	-11.0527	9.02E-04	1.58E-01
1.262	12	-10.738	1.27E-03	2.10E-01
2.902	12	-9.098	3.83E-03	4.84E-01
4.093	12	-7.907	6.40E-03	6.82E-01
4.992	12	-7.008	8.75E-03	8.32E-01
7.234	12	-4.766	1.63E-02	1.21E+00
8.052	12	-3.948	1.96E-02	1.34E+00
8.061	12	-3.939	1.97E-02	1.34E+00

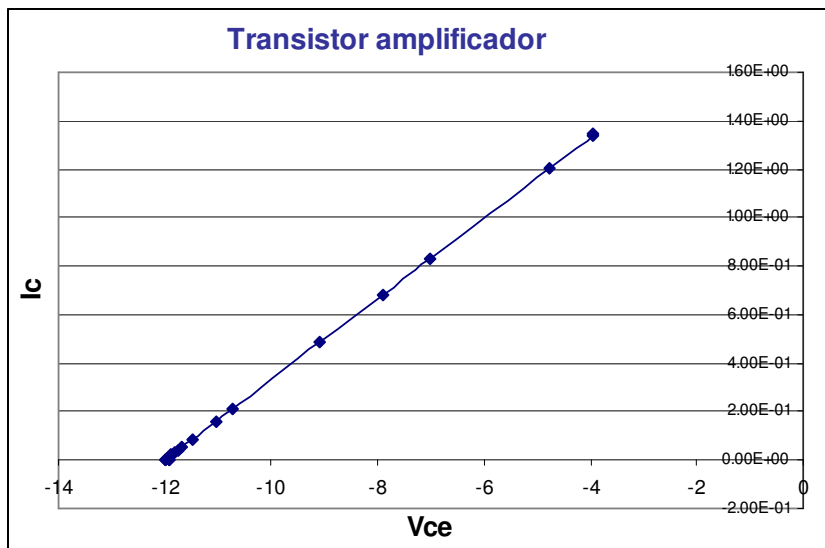


Figura S-4. Gráfica del comportamiento del circuito con transistor PNP

¿En qué configuración se encuentran configurados los amplificadores? Emisor común

## T. GUÍA DE LABORATORIO DEL INSTRUCTOR: TRIFÁSICOS

1. Laboratorio. Los parámetros medidos en la sub estación registraron los siguientes valores para el voltaje, amperaje y potencia.

Cuadro T-1. Medición de los parámetros de la sub estación UVG

LINEA	VOLTAJE	AMPERAJE	POTENCIA
A	124.8 V	134.9 A	1570 KW/H
B	125.8 V	116.2 A	
C	123.9 V	119.8 A	

¿El sistema está balanceado? Sí ¿Por qué? Porque las líneas poseen cargas similares.

¿Qué voltaje alimenta el transformador que proviene de la distribución de red eléctrica externa? 13,000V  
 ¿Por qué es mayor al voltaje que utilizamos en nuestros aparatos eléctricos? Porque la distancia de la estación central al usuario final es muy grande, por lo que para evitar caídas en el voltaje, y que el consumidor tenga el valor de voltaje requerido, este se eleva en las líneas de transmisión para garantizar una distribución eléctrica eficaz.

¿Qué tipo de configuración es la que se utiliza en la red eléctrica de la sub estación? Configuración estrella

¿Por qué la potencia está dada en KVARs? Es la potencia real reactiva

¿Deben estar unidas las líneas de neutro, de la sub estación con la línea de neutro de la red eléctrica de alimentación externa? Sí ¿Por qué? Porque todo sistema de distribución eléctrica es referenciado por lo que debemos de igualar los neutros de ambos sistemas para obtener los voltajes de referencia correctos.

¿Cómo se polariza un circuito Trifásico? No se puede polarizar

¿Cómo se polariza un circuito monofásico? Con los transformadores o con rectificadores de voltaje.

¿Puede haber corriente en la tierra física? Sí ¿Es correcto? No ¿Por qué? Porque la línea de tierra física es para evitar el sobre voltaje, pero no es correcto.

¿Cómo obtenemos 120V del banco de transformadores? Del neutro a cada línea de fase

¿Cómo obtenemos 210V del banco de transformadores? Midiendo entre una fase y otra

¿En qué configuraciones pueden estar conectadas las cargas? Delta o estrella

Fuente	Carga
Y	Y
Y	$\Delta$
$\Delta$	Y
$\Delta$	$\Delta$

¿Cuáles son las ventajas de tener un sistema trifásico y no un monofásico? La potencia en KVA (Kilo Volts Ampere) de un motor trifásico es aproximadamente 150% mayor que la de un motor monofásico. En un sistema trifásico balanceado los conductores necesitan ser el 75% del tamaño que necesitarían para un sistema monofásico con la misma potencia en VA por lo que esto ayuda a disminuir los costos y por lo tanto a justificar el tercer cable requerido. La potencia proporcionada por un sistema monofásico cae tres veces por ciclo. La potencia proporcionada por un sistema trifásico nunca cae a cero.

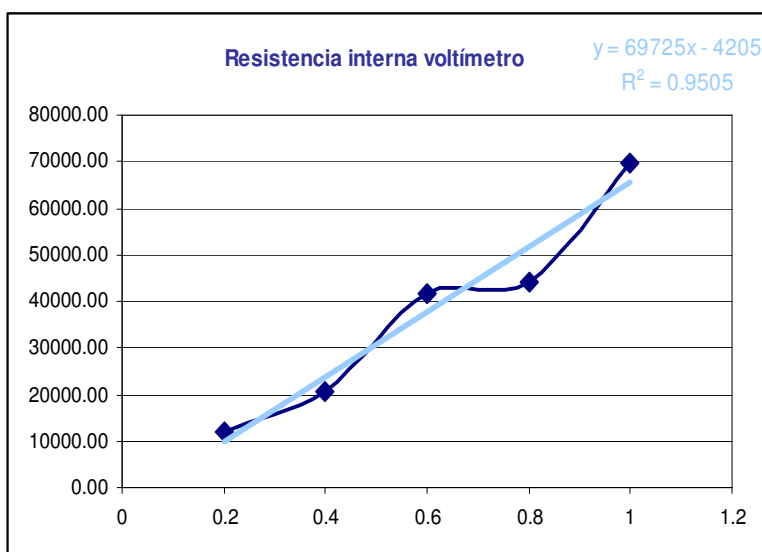
## U. GUÍA DE LABORATORIO INSTRUCTOR: VOLTÍMETRO

1. Laboratorio. Para el voltímetro se registraron los siguientes datos con los que se determino la resistencia interna del circuito.

Cuadro U-1. Mediciones de la resistencia interna del voltímetro

$V_{\text{fuente}}$	$V_1$	$V_2$	$R_1$	$R_v$
3.0 v	3.0	2.5	11.80 k	59000
3.5 v	3.5 v	2.5	20.75 k	51875
4.0 v	4.0 v	2.5	41.60 k	69333.3333
4.5 v	4.5 v	2.5	44.2 k	55250
5.0 v	5.0 v	2.5	69.8 k	69800

$R_v$  Promedio = 61051.6667



Cuadro U-2. Resumen datos del a resistencia interna del voltímetro

$(v_1 - v_2) / v_2$	$R_1$
0.2	11800.00
0.4	20750.00
0.6	41600.00
0.8	44200.00
1	69800.00

Figura U-1. Curva de regresión de la resistencia interna del voltímetro

Según la gráfica de regresión la resistencia interna del multímetro es:  $R_v = 69.7 \text{ k}\Omega$ .

$$R_v = \frac{V_{\text{fondo de escala del voltímetro}}}{I_{\text{fondo de escala del mA}}} - r_i = \frac{-17.55}{\text{mA}} \Omega$$

Sin embargo esta resistencia  $R_v$  que calculamos no es tan importante, porque lo que necesitamos es una resistencia que nos genere corriente, por lo que en realidad no debe ser un valor exacto.

Cuadro U-3. Mediciones del fondo de escala del voltímetro

Va	Ia
0.5	8 m
1.0	16 m
1.5	24 m
2.0	32 m
2.5	42 m
3.0	54 m
3.5	64 m
4.0	74 m
4.5	84 m
5.0	100 m

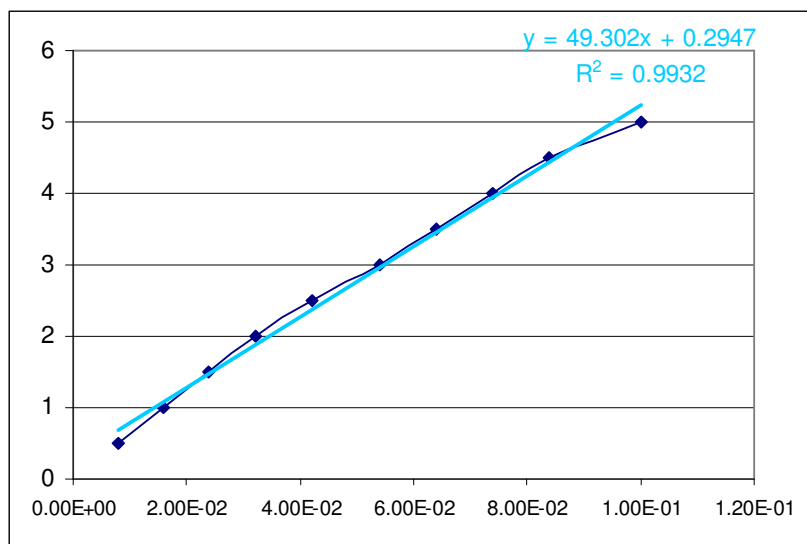


Figura U-2. Curva del fondo de escala del voltímetro

$$K (V/A) = \underline{49.3}$$

¿Cómo se ha de conectar un voltímetro en un circuito, en serie o en paralelo? En paralelo. Explique cómo ha de ser su resistencia interna. Muy grande, ya que si es cercana a la resistencia sobre la cual deseamos medir el voltaje, entonces consumen corrientes cercanas por lo que la medición es incorrecta.

## V. GUÍA DE LABORATORIO INSTRUCTOR: ZENER

1. Laboratorio. Para los circuitos de polarización para el diodo tener, se registro el siguiente comportamiento.

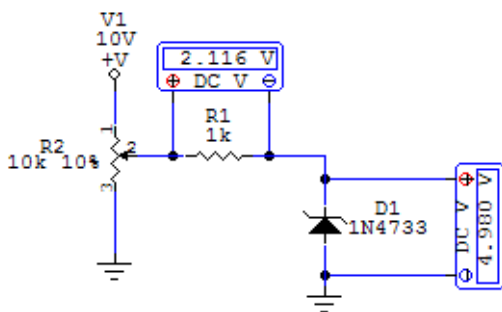


Figura V-1. Circuito del diodo zener en polarización inversa

Cuadro V-1. Mediciones de voltaje del zener en polarización inversa

VOLTAJE			
% R1	Diodo (V)	R1 (mV)	R1 (mA)
2	0.2	0.001997	0.001997
4	0.4	0.003994	0.003994
6	0.6	0.00602	0.00602
8	0.8	0.007987	0.007987
10	1	0.01001	0.01001
20	2	0.02003	0.02003
30	3	0.03004	0.03004
40	4	0.03982	0.03982
50	4.873	36.39	36.39
60	4.929	315.1	315.1
70	4.948	661.8	661.8
80	4.963	1168	1168
90	4.980	2116	2116

Cuadro V-2. Mediciones de voltaje del zener en polarización inversa

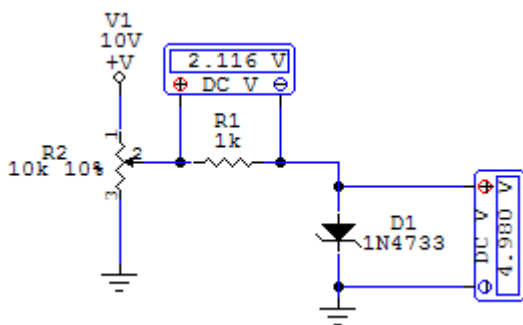


Figura V-2. Circuito del diodo zener en polarización directa

VOLTAJE			
% R1	Diodo (V)	R1 (mV)	R1 (mA)
2	0.2	0.001997	0.001997
4	0.4	0.007659	0.007659
6	0.5908	5.863	5.863
8	0.6589	81.27	81.27
10	0.678	169.5	169.5
20	0.7062	497.6	497.6
30	0.7165	736.6	736.6
40	0.7236	963.6	963.6
50	0.730	1220	1220
60	0.7364	1548	1548
70	0.7437	2018	2018
80	0.7527	2787	2787
90	0.7655	4334	4334

Cuadro V-3. Resumen de los datos del  
Comportamiento del zener

Diodo (V)	R1 (uA)
-4334	-0.7655
-2787	-0.7527
-2018	-0.7437
-1548	-0.7364
-1220	-0.73
-963.6	-0.7236
-736.6	-0.7165
-497.6	-0.7062
-169.5	-0.678
-81.27	-0.6589
-5.863	-0.5908
-0.007659	-0.4
-0.001997	-0.2
0.001997	0.2
0.003994	0.4
0.00602	0.6
0.007987	0.8
0.01001	1
0.02003	2
0.03004	3
0.03982	4
36.39	4.873
315.1	4.929
661.8	4.948
1168	4.963
2116	4.98

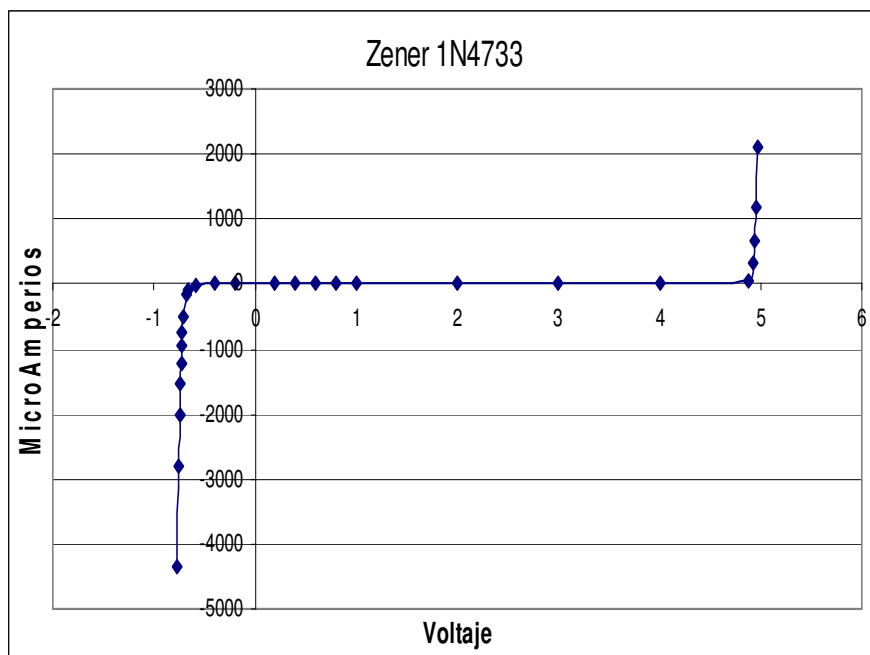


Figura V-3. Gráfica del comportamiento del zener polarizado

Para el circuito limitador con diodos zener se observo el siguiente comportamiento.

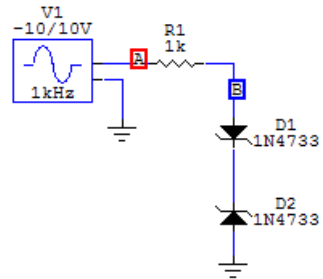


Figura V-4. Circuito del limitador con diodo zener

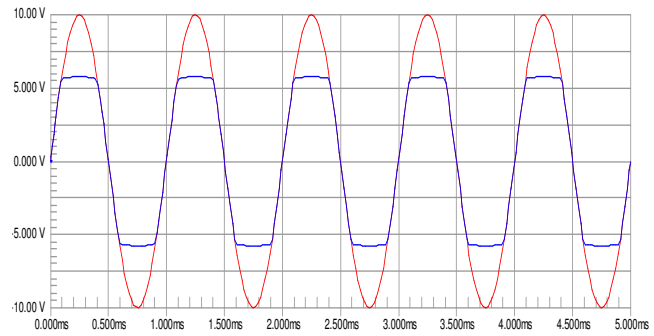


Figura V-5. Gráfica del comportamiento del limitador con diodo zener