

# Amplificadores Operacionales

Emmanuel Naranjo Blanco, Adrián Dittel Retana  
naranjo760emm@estudiantec.cr adriandittel19@estudiantec.cr

Área académica de Ingeniería Mecatrónica  
Instituto Tecnológico de Costa Rica

**Resumen**—Actualmente los amplificadores operacionales tienen un rol esencial en el mundo de la electrónica. Por sus siglas en inglés, los Op Amp son dispositivos capaces de cumplir múltiples funciones dentro de un circuito, donde su función principal es aumentar la amplitud de señales. En este informe se estudia el comportamiento de 3 circuitos con amplificadores: amplificador inversor, amplificador mezclador y amplificador no inversor con el objetivo de comprender su funcionamiento. Además, se realiza un análisis de los resultados experimentales y se comparan con los datos teóricos para verificar la validez del experimento.

**Palabras clave**—Amplificador, inversor, no inversor, mezclador, corto virtual

## I. INTRODUCCIÓN

Un amplificador ideal posee una impedancia de entrada infinita, una impedancia de salida nula y un factor de ganancia infinito. No obstante, debido a que es complicado que un solo amplificador cumpla con todos los parámetros, se trabaja con una serie de amplificadores colocados en cascada o en bloques donde cada uno permite determinar los criterios ideales por separado y así obtener mejores resultados. Este conjunto de elementos se conoce como Amplificador Operacional u Op Amp (en inglés).

Según Malvino (2007), el amplificador operacional es un dispositivo compacto de muy alta ganancia que se encarga de amplificar las señales de entrada de un sistema. Su símbolo esquemático con sus entradas no inversora e inversora y una salida asimétrica se presenta en la figura 1, sin embargo, en la figura 2 se observa el dispositivo en realidad [1].

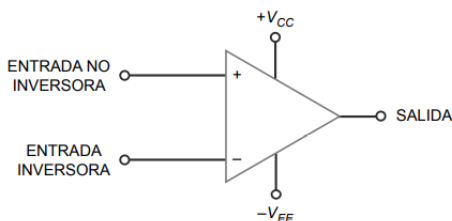


Figura 1. Símbolo esquemático del amplificador operacional [1].

En este laboratorio se trabajó bajo el ambiente de simulación Multisim con el Op Amp LM741, probablemente el amplificador más utilizado en múltiples aplicaciones. Según su hoja de datos, algunos parámetros de interés son: la impedancia de entrada ( $2\text{ M}\Omega$ ), la ganancia de voltaje ( $200\text{ V/mV}$ ) y la impedancia de salida ( $50\text{ }\Omega$ ) [2]. Aunque es un amplificador operacional simple y de bajo costo, sus características permiten introducir el concepto de cortocircuito virtual para simplificar

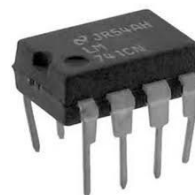


Figura 2. Amplificador operacional LM741.

el análisis de la ganancia. Esto consiste en que, debido a la alta impedancia de entrada, la corriente entre las terminales inversora y no inversora tiende a cero y provoca que la tensión en la patilla inversora sea aproximadamente igual a la tensión en la patilla no inversora. Esta idea se tomará en cuenta para los análisis teóricos.

Los modos de operación del amplificador se distinguen según la forma en la que se conectan las entradas del componente. La figura 3 muestra las distintas patillas del LM741. Las patillas más importantes son las 2 y 3, las cuales consisten en la patilla inversora y no inversora respectivamente. Además, las patillas 4 y 7 son utilizadas para alimentar el amplificador. En este experimento se alimenta el Op Amp con tensiones de  $+12\text{ V}$  y  $-12\text{ V}$  y se dice que un amplificador está saturado cuando la tensión de entrada amplificada supera el valor de estas fuentes, y como consecuencia el valor máximo de la señal de salida será el de estas fuentes. Por último, la patilla 6 consiste en la salida del componente. De este modo, algunas de las configuraciones que se pueden obtener son para cumplir funciones como atenuadores, unitarios, inversores, no inversores; entre otros.

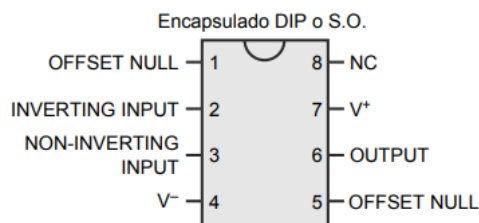


Figura 3. Encapsulado del amplificador operacional LM741 [1].

Por un lado, según Boylestad (2008), el amplificador inversor de la figura 4 funciona como un multiplicador de ganancia constante donde se aplica una señal a través del resistor R1 conectado en la entrada negativa, se conecta la tierra en la terminal positiva y la salida en la entrada negativa por medio del resistor R2.

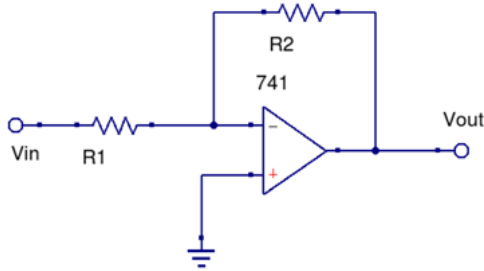


Figura 4. Amplificador inversor con R1=1 kΩ y R2=2 kΩ.

Al utilizar el concepto de tierra virtual, se puede obtener una expresión de la ganancia de tensión que solo depende esencialmente de los resistores (ecuación 1) [3].

$$\frac{V_o}{V_{in}} = -\frac{R_2}{R_1} \quad (1)$$

En este experimento, para comprobar que en efecto la tierra virtual existe se conectó en la entrada una fuente de tensión directa con un valor de 2 V para medir la tensión en las resistencias R1=1 kΩ y R2=2 kΩ (ecuaciones 2 y 3). Además, para observar el comportamiento de la señal de salida, se intercambió la fuente por una onda senoidal con amplitud de -2 V y luego por una de 6 Vp. Así, la ganancia teórica tiene un valor de 2 (ecuación 4) y para Vin=2 Vp, Vo=4 Vp (ecuación 5); y para Vin=6 Vp, Vo= 12 Vp (ecuación 6).

$$V_{R1} = 2 - 0 = 2V \quad (2)$$

$$V_{R2} = -2V_{in} = -4V \quad (3)$$

$$\frac{V_o}{V_{in}} = -2 \quad (4)$$

$$V_o = -2V_{in} = -2V \quad (5)$$

$$V_o = -2V_{in} = -12V \quad (6)$$

En esta configuración, la señal resultante de salida presenta un desfase de 180 grados debido a que la señal de entrada Vin se aplica en la patilla inversora [3]. Las figuras 5 y 6 muestran las gráficas de las tensiones de entrada y salida del amplificador operacional inversor estudiado en este experimento.

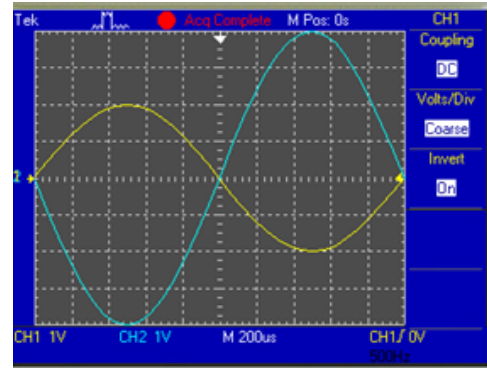


Figura 5. Curva de entrada y salida teórica para el amplificador inversor con Vin=2 Vp.

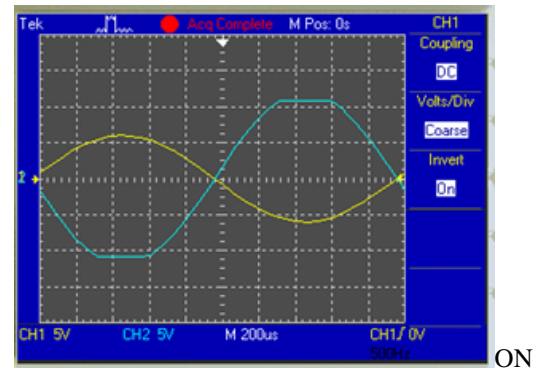


Figura 6. Curva de entrada y salida teórica para el amplificador inversor con Vin=6 Vp.

Por otro lado, el circuito de la figura 7 muestra un Op Amp sumador, el cual permite sumar algebraicamente dos voltajes donde cada uno es multiplicado por un factor de ganancia constante. En esta configuración se conectan dos señales de entrada en R1 y R2 que están referenciadas con la patilla inversora [3].

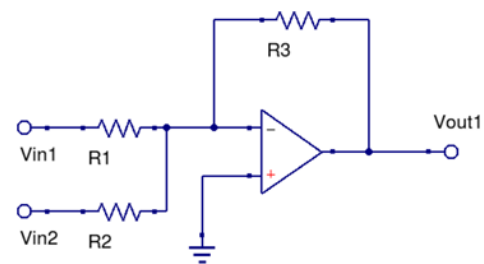


Figura 7. Amplificador mezclador con R1=1 kΩ, R2=1 kΩ y R3=1 kΩ.

Al utilizar el modelo ideal e implementar el cortocircuito virtual, el voltaje de salida se puede expresar como en la ecuación 7 [3]. Además, como la salida está conectada a la terminal negativa por medio del resistor 3, la tensión de salida presentará un desfase de 180 grados. Esto justifica la implementación del menos en la ecuación.

$$V_o = -\left(\frac{R_3}{R_1}V_{in} + \frac{R_3}{R_2}V_{in}\right) \quad (7)$$

En este experimento se tomaron dos fuentes distintas para Vin1 y una fuente alterna de 3 Vp para Vin2 y las resistencias R1=1 kΩ, R2=1 kΩ, R3=1 kΩ. En primer lugar, se tomó una fuente de CD de 5V para obtener las gráficas teóricas de entrada y salida de las figuras 8 y 9. Después, se conectó Vin1 a la salida “Sync” del generador de funciones para obtener la gráfica de Vin1, Vin2 y Vo (figura 10).

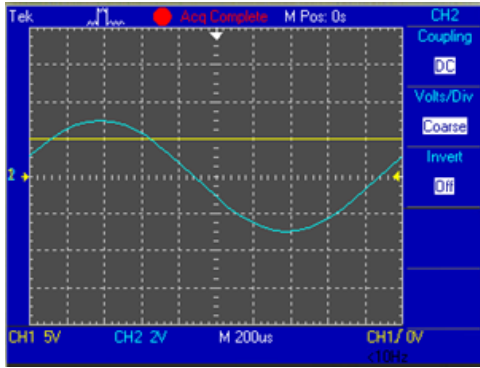


Figura 8. Señales teóricas de entrada Vin1=5Vdc (amarillo) y Vin2=3Vp (verde) del amplificador mezclador.

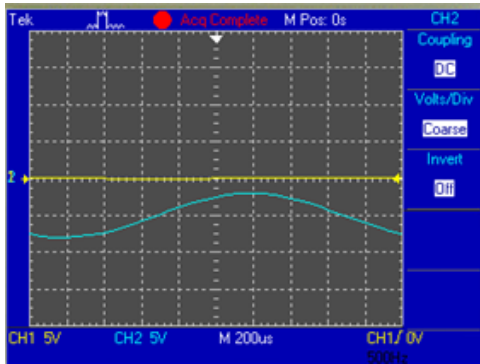


Figura 9. Señal teórica de salida (verde) del amplificador mezclador con Vin1=5Vdc y Vin2=3Vp.

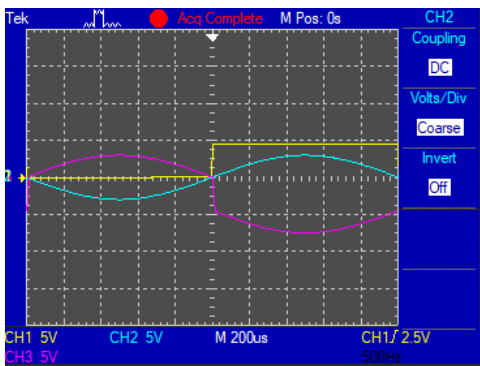


Figura 10. Señales teóricas de entrada y salida del mezclador con ambas señales de entrada conectadas al generador. Vin1(amarillo), Vin2(azul), Vo(morado).

Por último, el amplificador no inversor de la figura 11 es otra configuración básica que funciona como multiplicador de ganancia constante. Se caracteriza por tener una tensión de entrada que excita la terminal positiva o no inversora del Op Amp que se amplifica para generar una tensión de salida en fase [1].

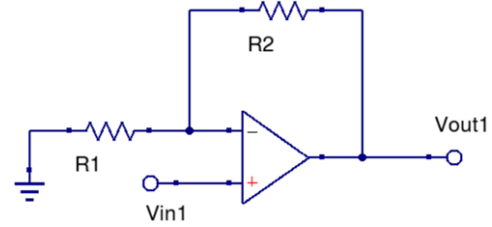


Figura 11. Amplificador no inversor con R1=1 kΩ y R2=2 kΩ.

Así como en los circuitos anteriores, la aproximación de la ganancia de voltaje se muestra en la ecuación 8. Al igual que en el amplificador inversor, se aplicó una entrada de CD de 2 V para medir la tensión en las resistencias y comprobar la existencia del corto virtual (ecuaciones 10 y 11). Además, como la ganancia es de 3 (ecuación 9), para Vin=2 Vp se tiene que Vo=6 Vp (ecuación 12); y para Vin=6 Vp Vo es de 12 Vp debido a que se entra en saturación (ecuación 13).

$$\frac{V_o}{V_{in}} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad (8)$$

$$\frac{V_o}{V_{in}} = 3 \quad (9)$$

$$V_{R1} = 2 - 0 = 2V \quad (10)$$

$$V_{R2} = 3 \cdot 2 - 2 = 4V \quad (11)$$

$$V_o = 3V_{in} = 6V \quad (12)$$

$$V_o = 2V_{in} = 12V \quad (13)$$

Como complemento a los resultados teóricos, las figuras 12 y 13 presentan las señales de entrada y salida del amplificador no inversor para las dos fuentes utilizadas.

Finalmente, en las siguientes secciones se analizarán los circuitos expuestos con el fin de satisfacer el objetivo general de esta práctica: comprender el funcionamiento de los amplificadores operacionales en distintas configuraciones.

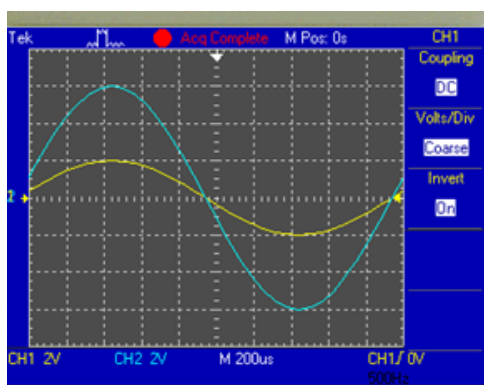


Figura 12. Curva de entrada y salida teórica para el amplificador no inversor con  $V_{in}=2$  Vp.

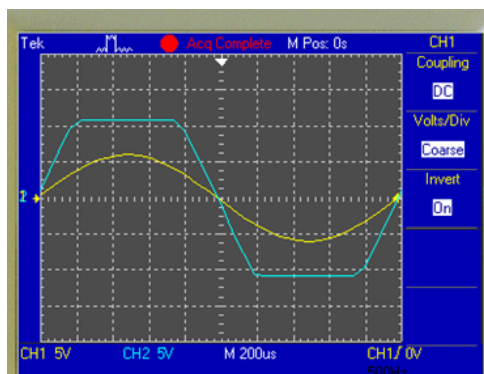


Figura 13. Curva de entrada y salida teórica para el amplificador no inversor con  $V_{in}=6$  Vp.

## II. RESULTADOS EXPERIMENTALES

En esta sección se presentan los resultados obtenidos de las mediciones realizadas en el experimento.

Con el objetivo de corroborar el uso de los componentes necesarios, se realizaron mediciones en cada uno de ellos. En el cuadro I se presentan los valores experimentales de las resistencias en los resistores de  $1k(\Omega)$  y  $2k(\Omega)$ . Cabe destacar que los valores reportados son el promedio de 3 mediciones.

Cuadro I  
VALORES DE LOS COMPONENTES UTILIZADOS.

Elemento	Valor teorico	Valor Exp Promedio
Resistor ( $k\Omega$ )	1	(0.9948 $\pm$ 0.0164)
Resistor ( $k\Omega$ )	2	(2.0065 $\pm$ 0.0193)
Impedancia entrada LM741 ( $k\Omega$ )	2000	(499.9690 $\pm$ 0.0001)

En el cuadro II se continúa la información del cuadro I, donde se muestra el porcentaje de error entre los datos teóricos y experimentales.

Cuadro II  
PORCENTAJE DE ERROR ENTRE LOS COMPONENTES UTILIZADOS Y SU VALOR TEÓRICO (CONTINUACIÓN).

Elemento	% de error
Resistor ( $k\Omega$ )	0.52
Resistor ( $k\Omega$ )	0.325
I. Entrada LM741 ( $k\Omega$ )	75

En el análisis experimental de los circuitos 1, 2 y 3 se utilizaron los mismos valores de entrada según las condiciones que indicaba la plantilla del experimento. Para el amplificador inversor se utilizaron dos fuentes de entrada, una fuente de CD de 2V y el generador de funciones que se ajustó con una tensión de amplitud de 2Vp y luego a 6Vp junto con una frecuencia de 500 Hz. Este mismo procedimiento se repitió en el análisis del circuito Amplificador no inversor. De igual forma, se conectaron dos entradas distintas en el circuito mezclador, una fuente de CD de 5V y el generador de funciones a 3Vp y 500Hz.

En el cuadro III se encuentra la información de las mediciones experimentales de voltaje en los elementos del Circuito 1 (Figura 4)

Cuadro III  
VALORES MEDIDOS EN LOS ELEMENTOS.

Elemento	Valor Teórico	Valor experimental	% de error
Resistencia $1k\Omega$ (V)	2	(2.0090 $\pm$ 0.0001)	0.45
Resistencia $2k\Omega$ (V)	4	(4.0774 $\pm$ 0.0001)	1.935
$\Delta V$ entre entradas (V)	0	(0.0010 $\pm$ 0.0001)	0.1

Por un lado, las figuras 14 y 15 corresponden al circuito de medición 1 (figura 4), donde el eje vertical representa la tensión (1 V / Div) en ambas señales y el eje horizontal es la base de tiempo (200  $\mu s$ ) para la figura 14 y de (5 V / Div) y (200  $\mu s$ ) para la figura 15. La figura 14 corresponde a la gráfica de las señales de entrada y de salida con el generador con 2Vp, cuyo valor de tensión alcanza los 3.9 V máximos y -3.9 V mínimos. Así, la señal de entrada y de salida con el generador de funciones a 6Vp se presenta en la figura 15, donde alcanza una tensión máxima de 11.8 V y una mínima de -11.8 V.

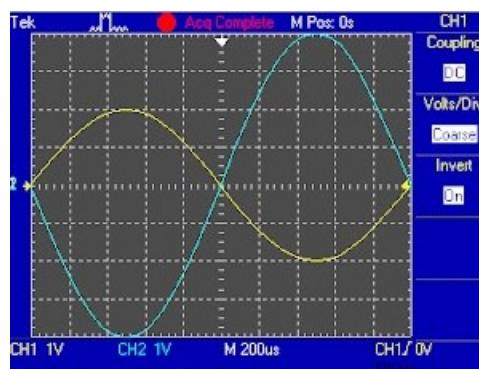


Figura 14. Medición experimental de la señal de entrada y salida del circuito 1 con 2Vp.

Por otro lado, las figuras 16 y 17 corresponden al circuito de medición 2 (figura 7), donde el eje vertical representa la tensión (5 V/Div) en la figura 16 para ambas señales, en la figura 17 se tiene (1 V/Div) para la señal de entrada y (2 V/Div) en la señal de salida y el eje horizontal es la base de tiempo (200  $\mu s$ ) en ambas figuras. Donde en la figura 16 la entrada al ser de dos fuentes, una de CD de 5V, y una senoidal de 3Vp, se observa casi como una fuente CD, y la salida va a oscilar entre -2.6V y -8.7V, de igual forma en la figura 17 la entrada tiene una señal casi constante, la cual solo varía cada



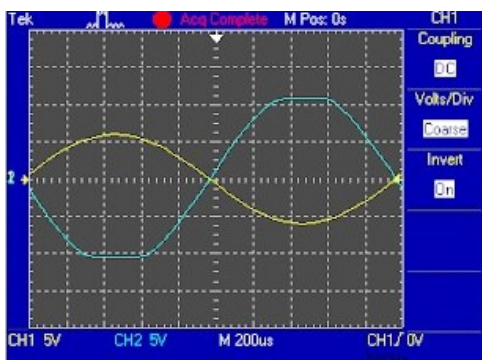


Figura 15. Medición experimental de la señal de entrada y salida del circuito 1 con 6Vp.

100  $\mu$ s llegando a valores de -1.4V y 1.4V, y la salida va a tener un valor mínimo de -7.8V y un máximo de 3.2V.

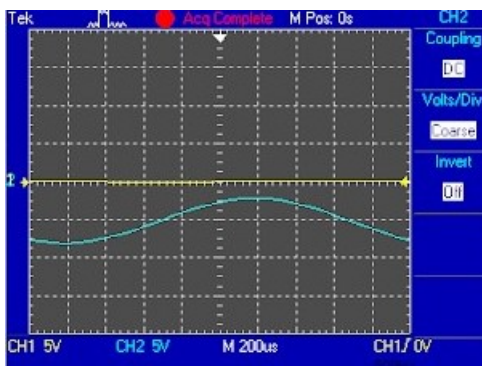


Figura 16. Medición experimental de la señal de entrada y salida del circuito mezclador con dos entradas.

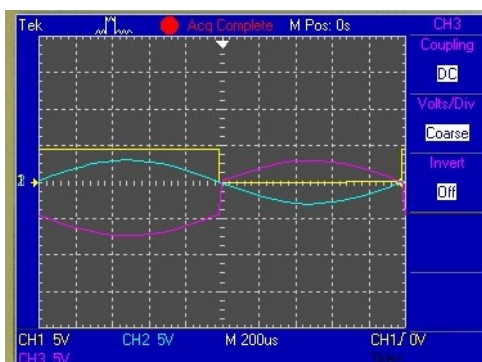


Figura 17. Medición experimental de la señal de entrada y salida del circuito mezclador con conexión al SYNC del generador.

De la misma forma que el circuito 1, en el cuadro IV se encuentra la información de las mediciones experimentales de voltaje en los elementos del Circuito 3 (Figura 11)

Cuadro IV  
VALORES MEDIDOS EN LOS ELEMENTOS.

Elemento	Valor Teórico	Valor experimental	% de error
Resistencia 1k $\Omega$ (V)	2	(1.9744 $\pm$ 0.0001)	1.28
Resistencia 2k $\Omega$ (V)	4	(3.9868 $\pm$ 0.0001)	0.33
$\Delta V$ entre entradas (V)	0	(0.0010 $\pm$ 0.0001)	0.1

Por último, las gráficas de entrada y salida del circuito amplificador no inversor (figura 11) se muestran en las figuras 18 y 19, con valores de entrada en el generador de 2Vp y 6vp respectivamente. En estas gráficas la tensión en el eje vertical es de 2 V/Div y la base de tiempos es de (200  $\mu$ s) en el eje horizontal, para la figura 18, y de 5 V/Div con (200  $\mu$ s) para la figura 19. Para la configuración del circuito con 2Vp, se tiene que se tiene un valor mínimo de -5.9V y un máximo de 5.9V en la salida, sin embargo para la configuración con 6Vp, la salida tiene un valor máximo de 11.8V y un mínimo de -11.8V.

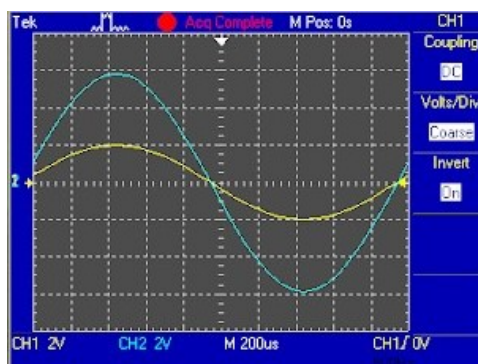


Figura 18. Medición experimental de la señal de entrada y de salida del circuito 3 con 2Vp.

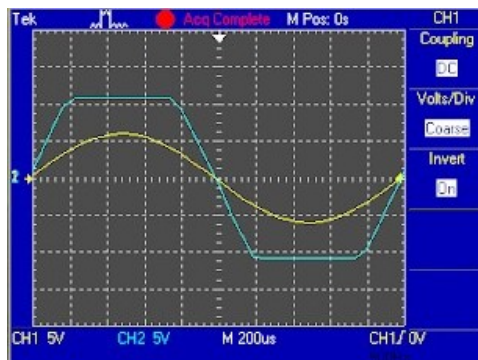


Figura 19. Medición experimental de la señal de entrada y de salida del circuito 3 con 6Vp.

### III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En esta sección se contrasta la teoría expuesta en la introducción con los datos experimentales del experimento.

Con el objetivo de comprobar el buen funcionamiento de los componentes, estos fueron medidos con el multímetro del simulador. En los cuadros I y II se presentan las mediciones obtenidas. El valor promedio de la resistencia experimental de  $1\text{k}\Omega$  es de  $0.9948\text{ k}\Omega$  con una incertidumbre de  $0.0164\text{ k}\Omega$ . Al comparar este valor con el dato teórico se obtuvo un porcentaje de error de  $0.52\%$ , lo cual permite concluir que las mediciones se realizaron de forma correcta. En el caso de la resistencia de  $2\text{k}\Omega$ , se obtuvo un valor de  $2.0065\text{ k}\Omega$  con una incertidumbre de  $0.0193\text{ k}\Omega$ . De la misma forma, la medición experimental de la impedancia del amplificador LM741, es de  $499.969\text{ k}\Omega$ , con una incertidumbre de  $0.0001\text{ k}\Omega$  que al compararse con el valor teórico de  $2\text{M}\Omega$ , se tiene un porcentaje de error de  $75\%$ , el cuál es sumamente grande por lo que se podría pensar que es erróneo, sin embargo, se requiere que haya una impedancia muy grande en la entrada lo cuál se está cumpliendo para lograr que haya corto virtual. Además, al trabajar en un simulador, el ambiente de trabajo es distinto de igual forma la medida de  $2\text{M}\Omega$  es un valor máximo por lo que puede variar y ser menor, siempre y cuando cumpla las condiciones para lograr el corto virtual, las cuáles se cumplen en la medición experimental.

#### III-A. Circuito Amplificador Inversor.

Como se mencionó en la introducción, el circuito amplificador Inversor se encarga de ampliar la señal de entrada, creando una señal de salida amplificada pero al ser inversor le crea un desfase de  $180$  grados, por lo que cuando la entrada alcanza su máximo, la salida llega a su mínimo y viceversa. Al hacer el análisis de este circuito con  $2\text{Vp}$  en el generador de entrada, como se observa en la figura 5, y en la figura 14 podemos observar al compararlos entre sí que la salida teórica y experimental son muy similares, lo que quiere decir que la medición es muy precisa además vemos que el voltaje pico de salida teórico es de  $4\text{Vp}$ , que al compararlo con los  $3.8\text{Vp}$  que se obtienen experimentalmente, la cuál presenta un porcentaje de error del  $5\%$  se puede afirmar nuevamente que la medición es altamente precisa. Por lo que se puede concluir que el resultado es correcto.

De igual forma como se describe en la introducción, se busca que entre las entradas inversora y no inversora se logre un cambio de voltaje de  $0\text{V}$ , para que la ganancia sólo dependa de los valores de tensión en la resistencia 1 y 2 (basado en la figura 4) según se indica en la ecuación 1, pues al analizar teóricamente se llega a dichos resultados, donde el voltaje en la resistencia 1 es de  $2\text{V}$ , al compararlo con los  $2.0090\text{ V}$  experimentales hay un error de  $0.45\%$ , lo cual indica que la medida es correcta; de igual forma en la resistencia 2 se tiene un voltaje teórico de  $4\text{V}$ , se mide experimental  $4.0774$ , lo que representa un porcentaje de error de  $1.935$ , esto es indicador de una medida precisa, por último, el valor más importante que se cumpla es el corto virtual donde teóricamente debe haber  $0\text{V}$ , y experimentalmente se miden  $0.0010\text{V}$  lo que señala un

error de  $0.1\%$ , dicho porcentaje es minúsculo, por lo que la medición es correcta y el corto se cumple.

Al analizar este circuito aumentando el voltaje pico de  $2\text{V}$  a  $6\text{V}$ , se vuelve a tener el efecto del desfase de  $180$  grados, claramente dado por su naturaleza inversora, si se compara la figura 6, con la figura 15, se ve que ambas mediciones son prácticamente iguales, de esta forma se puede observar también que la señal de salida se achata al llegar a valores cercanos a los  $12\text{Vp}$ , el cual precisamente es el valor teórico al que se llega, en contraste con los  $11.8\text{Vp}$  que se obtienen experimentalmente, esto indica un porcentaje de error de  $1.66\%$ , por lo que según la teoría es una medición correcta, de igual forma cabe destacar que el achatamiento se debe a que se acerca al valor con que se alimenta el amplificador y es un limitante.

#### III-B. Circuito Amplificador Mezclador.

Este circuito se encarga de sumar señales donde serán multiplicadas por una ganancia, de manera que si se analiza el gráfico de la figura 8, se puede observar que al comprarse con el gráfico de la figura 16, se puede observar como de la entrada que consiste de una fuente CD y un generador de funciones, se aumenta y se desfase  $180$  grados, como se indica en la introducción, de igual forma si se comparan los valores alcanzados, por la onda desfasada se tiene que teóricamente debería oscilar entre  $-2.5\text{V}$  y  $-8.5\text{V}$ ; de igual forma se obtienen valores muy similares de forma experimental, los cuales son  $-2.6\text{V}$  y  $-8.7\text{V}$ , lo que representa porcentajes de error de  $4\%$  y  $2.35\%$ , lo que indica buena precisión.

Del mismo modo al analizar el otro grupo de gráficas correspondiente al segundo análisis de este circuito, se tiene que se cumple nuevamente el desfase de  $180$  grados, del mismo modo al comparar las figuras 10 y 17, se tiene que ambas gráficas son muy similares, es importante recalcar que debido a la conexión de la salida SYNC del osciloscopio al circuito se logra la forma de la onda en ambas gráficas. Al comparar los valores de voltaje en ambas salidas, teóricamente tiene un valor mínimo de  $-7.8\text{V}$  y máximo de  $3.5\text{V}$ , si se compara con los  $-7.8\text{V}$  y  $3.2\text{V}$  experimentales se tiene un porcentaje de error de  $0$  y de  $8.57\%$  respectivamente. De las mismas figuras se puede observar como la señal de entrada teórica tiene como valores máximo y mínimo,  $2.5\text{V}$  y  $-2.5\text{V}$  respectivamente, dichos valores son iguales en la medición experimental por lo que no existe porcentaje de error, de igual forma al analizar la entrada que se obtiene por la conexión al SYNC, es decir la onda cuadrada que tiene valores de  $0\text{V}$  o de  $5\text{V}$ , a la hora de medirlo teóricamente tiene un valor de  $0.1\text{V}$  y  $4.9\text{V}$ , esto en comparación a los valores experimentales de  $0.1\text{V}$  y  $4.8\text{V}$  corresponde a porcentajes de error de  $0\%$  y  $2.04\%$  respectivamente.

#### III-C. Circuito Amplificador No Inversor

Según la explicación brindada en la introducción, este circuito amplifica la señal pero no crea el desfase que genera el amplificador inversor, por lo que su salida será mayor la cantidad de veces de la ganancia, esto en fase con la entrada, de forma que al alcanzar la entrada valores máximos

o mínimos lo hace igualmente la salida. Por lo que cuando se analiza el circuito con un voltaje pico de 2V suministrado por el generador se obtiene la gráfica experimental de la figura 18, que al compararla con la figura 12 se ve como ambas gráficas son muy similares y al comparar los valores teóricos en la salida de 6Vp, en comparación con 5.9Vp, dichos valores representan un porcentaje de error de 1.66 %, lo que indica una medición muy precisa.

En una forma análoga al análisis con el circuito 1 (figura 15), la salida teórica al igual que la experimental se achata al llegar a valores cercanos a los 12V, nuevamente esto ocurre por la fuente que se conecta al amplificador que es de 12V, que limita esta salida, y al comparar los valores teóricos que se extraen de la figura 13 y los experimentales de la figura 19, se tiene que al ser 12V la salida teórica y 11.8V la salida experimental, esto indicado en valores de voltaje pico, se tiene un error de 1.66 %, y como se ha indicado anteriormente este valor refleja una medición correcta.

Por último en esta configuración se desea lograr el ya antes mencionado en la introducción corto circuito virtual en donde la diferencia de voltaje entre la entrada inversora y no inversora sea prácticamente 0, por lo que dicha medición se realizó, obteniendo un cambio de voltaje de 0.0010V esto en relación con los 0V que indica la teoría presenta un margen de error de 0.1 %, ahora al saber esto se tiene que la ganancia dependerá de las resistencias y el valor de voltaje en ellas, por lo que al medir el voltaje en la resistencia de 1k $\Omega$ , indica 1.9744V, en contraste con los 2V teóricos, es un error de 1.28 %, de la misma forma se mide el voltaje en la resistencia de 2k $\Omega$ , dicha medición arroja un resultado de 3.9868V, los cuales al poner en comparación con los 4V teóricos, se llega a un porcentaje de error de 0.33 %; tomando en cuenta todos los aspectos, además de que la teoría concuerda con los experimentos, se puede afirmar que la medición es acertada.

#### IV. CONCLUSIONES

1. Para que exista un cortocircuito virtual se requiere que la impedancia de entrada del amplificador sea muy grande para que la corriente entre las terminales positiva y negativa tienda a cero y por lo tanto la diferencia de potencial sea cero. En este experimento se encontró una impedancia de entrada de aproximadamente 500 k $\Omega$ , el cual provoca una tensión de (0.0010 $\pm$ 0.0001) V en esta área. Estos resultados son lo suficientes para concluir que en efecto la tierra virtual está presente.

2. La amplificación de la señal de entrada que resulta en la señal de salida, está relacionada y limitada por la fuente que alimenta el amplificador y el valor máximo de voltaje que pueda soportar el amplificador. En este caso, el amplificador es alimentado con +12 V y -12 V, por lo que sin importar qué tan grande sea el valor de entrada, la salida amplificada tendrá un valor máximo de voltaje de 12 Vp.

3. Se necesita que se alcance el corto virtual para poder lograr un valor de ganancia que permita la amplificación de la onda, sino se genera interferencia y no se llega al valor amplificado deseado.

4. Los amplificadores operacionales permiten realizar múltiples funciones en un circuito como amplificar la amplitud de

señales en fase, amplificar señales desfasadas 180 grados y sumar señales de entrada.

5. El valor de las resistencias en las tres distintas configuraciones permiten obtener valores de ganancia distintos y por tanto valores de salida distintos.

#### REFERENCIAS

- [1] Malvino, A. Bates, D. Principios de Electrónica. 7ma edición. McGraw-Hill. México, 2007.
- [2] LM741 Operational Amplifier datasheet. Disponible en [shorturl.at/rtOQ1](http://shorturl.at/rtOQ1)
- [3] Boylestad, R. Naschelsky, L. Electrónica: Teoría de circuitos. 10ma edición. Pearson – Prentice Hall. México, 2008.