

---

## PRÁCTICA 4: AMPLIFICADOR OPERACIONALES

Sebastián De Valdenebro  
e-mail: sebasdeval@javerianacali.edu.co  
Jaime Andrés Iriarte  
e-mail: iriarte@javerianacali.edu.co  
Juan Felipe Penagos Angrino  
e-mail: juanfepa0105@javerianacali.edu.co

**RESUMEN:** En el siguiente informe de laboratorio se ha llevado a cabo el diseño y montaje de tres amplificadores, los cuales se clasifican en modo inversor, modo sumador y modo comparador, para los cuales se utilizaron integrados LM741. Durante la práctica se hallan los valores de ganancia de voltaje para los amplificadores en modo inversor y modo sumador, mientras que para el amplificador en modo comparador utilizado para el diseño de la alarma se halla el punto de activación del LED. Con los datos obtenidos en los instrumentos de lectura, así como los arrojados por procedimientos teóricos y de simulación mediante el software PSPICE, se ha realizado una comparación entre los resultados, hallando porcentajes de error y llegando a múltiples conclusiones.

**ABSTRACT:** In the following laboratory report, the design and assembly of three amplifiers has been carried out, which are classified in inverter mode, adder mode and comparator mode, for which the integrated LM741 is used. During practice, the voltage gain values for the amplifiers in inverter mode and adder mode are found, while for the amplifier in comparator mode used for the alarm design, the activation point of the LED is found. With the data obtained in the reading instruments, as well as those obtained by theoretical and simulation procedures using the PSPICE software, a comparison has been made between the results, finding error rates and reaching multiple conclusions.

**Palabras clave:** Ganancia de voltaje, amplificadores operacionales, LM741 e inversor.

**keywords:** Voltage gain, operational amplifiers, LM741 and investor.

### Objetivos

Como objetivo del laboratorio, se plantea implementar y comprobar el desempeño de los circuitos con amplificadores operacionales como sumador, inversor y comparador, que son fundamentales para el diseño electrónico y para la comprensión de esquemas más complejos. Con esto, se desea obtener destreza y conocimiento de los valores reales de funcionamiento de los materiales y componentes usados en la práctica.

### Introducción

En este informe de laboratorio se incluye un marco teórico referente a los amplificadores operacionales en modo sumador, inversor y comparador, así como los resultados en términos de ganancia de voltaje arrojados por la práctica, los métodos teóricos y las simulaciones realizadas en PSPICE.

### Marco teórico

Los amplificadores operacionales en modo sumador están diseñados de forma que a la salida del circuito se obtenga una señal resultante de la suma de las señales de entrada, multiplicado por un factor de ganancia que se obtiene gracias a los valores de las resistencias implementadas en el circuito. Con frecuencia, estos amplificadores operacionales en la configuración de sumador son utilizados como mezcladores de audio o en convertidores de digital a análogo, siendo estos últimos implementados en microcontroladores o microprocesadores que intervienen en sistemas de monitoreo en tiempo real.

Los amplificadores operacionales en modo inversor son los circuitos de ganancia más ampliamente utilizados. El voltaje de salida de esta configuración se obtiene al multiplicar el voltaje de entrada por un factor de ganancia fijo, producto del cálculo entre las resistencias implementadas en el circuito. Presentan un desfase de  $180^\circ$  con respecto a la señal de entrada, de ahí su nombre y son utilizados con frecuencia como cambiadores de fase, equilibradores de señales o integradores.

Los amplificadores operacionales en modo comparador se utilizan para determinar cuál de las dos señales de entrada es mayor. Al ser una señal un poco mayor que la otra, se causa una salida máxima del amplificador operacional. Su ganancia comúnmente es de lazo abierto y no hace uso de resistencias para su diseño básico.

### Procedimiento

Para el montaje del amplificador operacional en modo inversor se hizo uso del circuito integrado LM741 con alimentación de 10 Vdc en cada terminal

(V+ y V-), así como de 3 resistencias (R1, R2 y Rf) con valores de 1 k $\Omega$ , 1 k $\Omega$  y 5 k $\Omega$  respectivamente. La Figura 1. presenta el diseño propuesto del montaje, así como las conexiones entre los diferentes materiales y componentes de laboratorio. El voltaje de entrada Vin fue de 1 Vac con una frecuencia de 1 kHz.

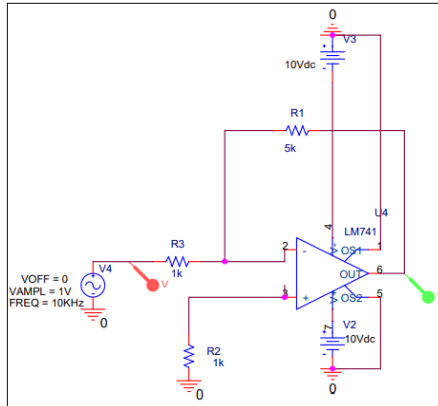


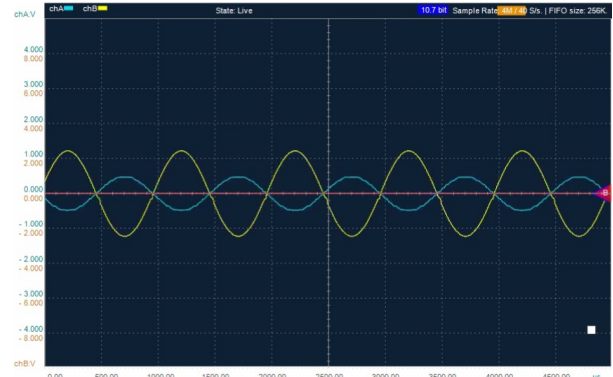
Figura 1. Diseño circuital del amplificador en modo inversor

Algunas consideraciones tenidas en cuenta antes de llevar a cabo la prueba del montaje induciendo una corriente a través de él es que si bien en la Figura 1. se presenta el montaje con una frecuencia de 10 kHz, se decidió trabajar con 1 kHz para una mejor lectura del osciloscopio OSC48XX, incluido dentro de los kits de laboratorio brindado por la universidad. Además, es importante mencionar que como el amplificador diseñado se hizo con el propósito de trabajar en modo inversor con una ganancia negativa, la señal de voltaje de entrada debe de ingresar por el terminal negativo del amplificador. Los resultados obtenidos al momento de la práctica se encuentran contenidos en la Tabla 1.

Tabla 1. Resultados prácticos del montaje 1

<b>Av</b>	-4.99
<b>Vs</b>	0.982 Vpp
<b>Vo</b>	4.901 Vpp

En la Gráfica 1. se muestra la gráfica de Vs y Vo con respecto al tiempo arrojada como lectura del osciloscopio OSC48XX, donde Vs es la señal del generador y Vo es la señal de salida del amplificador operacional en modo inversor.



Gráfica 1. Vs (azul) y Vo (amarilla) vs tiempo - Amplificador en modo inversor

En la Gráfica 1. las divisiones del eje y para el canal A (Vs) tienen un valor de 1 V, mientras que para el canal B (Vo) tiene un valor de 2 V.

Para el montaje del amplificador operacional en modo suamndor se hizo uso del circuito integrado LM741 con alimentación de 10 Vdc en cada terminal (V+ y V-), así como de 4 resistencias (R1, R2, Rf y Rx) con valores de 10 k $\Omega$ , 10 k $\Omega$  y 20 k $\Omega$  y 5 k $\Omega$  respectivamente. La Figura 2. presenta el diseño propuesto del montaje, así como las conexiones entre los diferentes materiales y componentes de laboratorio. El voltaje de entrada Vin fue de 2 Vac aproximadamente con una frecuencia de 1 kHz.

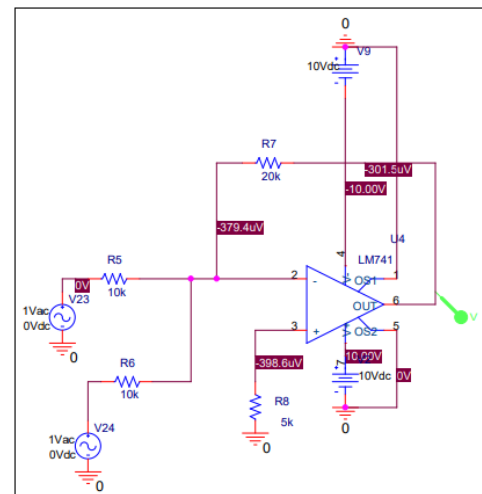


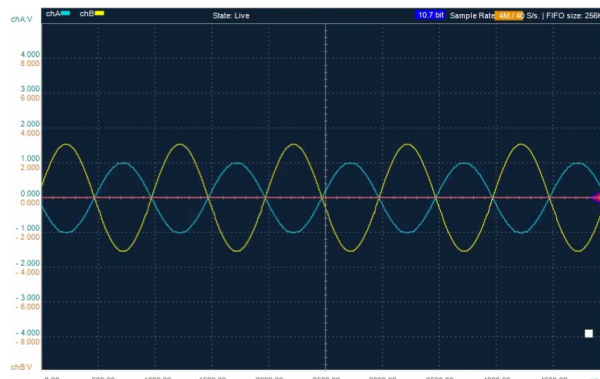
Figura 2. Diseño circuital del amplificador en modo sumador

Algunas consideraciones tenidas en cuenta antes de llevar a cabo la prueba del montaje induciendo una corriente a través de él es que como el amplificador diseñado se hizo con el propósito de trabajar en modo sumador con una ganancia negativa, la señal de voltaje de entrada debe de ingresar por el terminal negativo del amplificador. Los resultados obtenidos al momento de la práctica se encuentran contenidos en la Tabla 2.

Tabla 2. Resultados prácticos del montaje 2

<b>Av</b>	-2.04
<b>Vs</b>	2.015 Vpp
<b>Vo</b>	6.178 Vpp

En la Gráfica 2. se muestra la gráfica de Vs y Vo con respecto al tiempo arrojada como lectura del osciloscopio OSC48XX, donde Vs es la señal del generador y Vo es la señal de salida del amplificador operacional en modo sumador.



Gráfica 2. Vs (azul) y Vo (amarilla) vs tiempo - Amplificador en modo sumador

En la Gráfica 2. las divisiones del eje y para el canal A (Vs) tienen un valor de 1 V, mientras que para el canal B (Vo) tiene un valor de 2 V.

Para el montaje del amplificador operacional en modo comparador se hizo uso del circuito integrado LM741 con alimentación de 5 Vdc en V-, un LED y una resistencia R de 100  $\Omega$ . La Figura 3. presenta el diseño propuesto del montaje, así como las conexiones entre los diferentes materiales y componentes de laboratorio. El voltaje de entrada Vref por el terminal negativo fue de 2 Vdc, mientras que el voltaje Vin varía entre 1 y 3 Vdc.

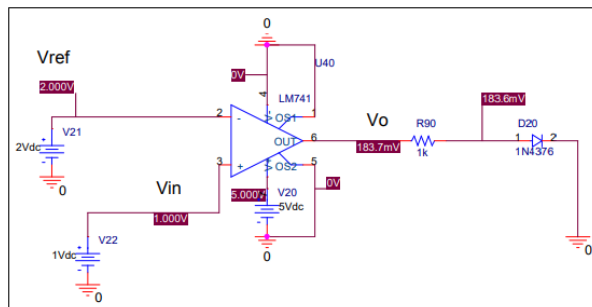


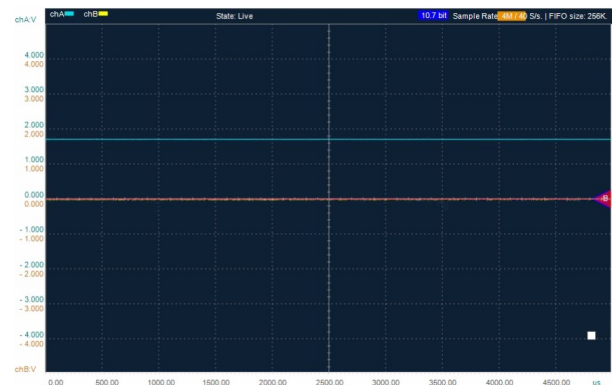
Figura 3. Diseño circuital del amplificador en modo comparador

Algunas consideraciones tenidas en cuenta antes de llevar a cabo la prueba del montaje induciendo una corriente a través de él es que el voltaje Vref debe de entrar por el terminal negativo del amplificador operacional, mientras que el voltaje Vin debe de entrar por el terminal positivo. Además, es importante mencionar que no se utilizaron exactamente 2 Vdc para Vref debido a la exactitud de la salida de la fuente DC utilizada para la práctica, ya que la fuente utilizada fue la brindada por la universidad en el kit de laboratorio. Los resultados obtenidos al momento de la práctica se encuentran contenidos en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultados prácticos del montaje 3

<b>Vref</b>	2.23 V
<b>Vo para Vin &lt; Vref</b>	-0.051 V
<b>Vo para Vin = 3 Vdc</b>	3.319 V

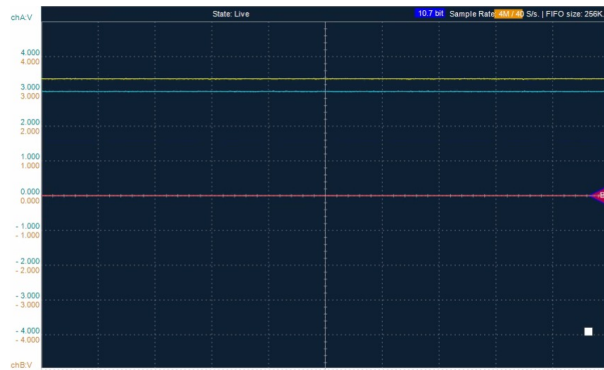
En la Gráfica 3. se muestra la gráfica de Vin con respecto al tiempo arrojada como lectura del osciloscopio OSC48XX, donde Vin es la señal de entrada del terminal positivo del amplificador menor a 2.23 Vdc.



Gráfica 3. Vin < Vref - Amplificador en modo comparador

En la Gráfica 3. las divisiones del eje y para el canal A (Vin) tienen un valor de 1 V.

En la Gráfica 4. se muestra la gráfica de Vin y Vo con respecto al tiempo arrojada como lectura del osciloscopio OSC48XX, donde Vin es la señal de entrada del terminal positivo del amplificador mayor a 2.23 Vdc y Vo es la señal de salida del amplificador operacional en modo comparador.



Gráfica 4.  $V_{in} > V_{ref}$  - Amplificador en modo comparador

En la Gráfica 4. las divisiones del eje y para el canal A ( $V_{in}$ ) y el canal B ( $V_o$ ) tienen un valor de 1 V.

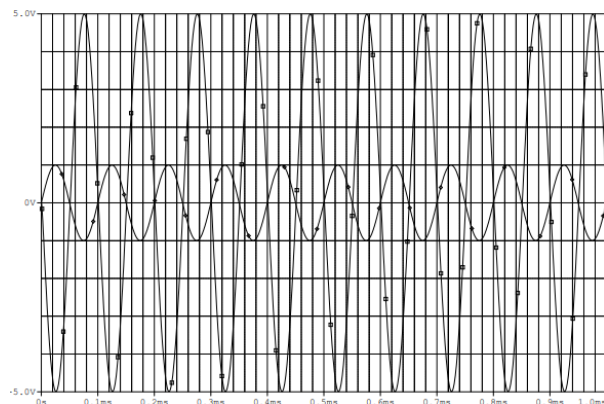
## Resultados y análisis

Para la simulación del circuito presentado en la Figura 1. se utilizó el software de simulación PSPICE, acudiendo a las librerías necesarias para la obtención de todos los componentes del montaje. Los datos obtenidos por simulación se encuentran contenidos en la Tabla 4.

Tabla 4. Resultados simulados del montaje 1

<b><math>A_v</math></b>	-5
<b><math>V_s</math></b>	1 V
<b><math>V_o</math></b>	-5 V

Es importante mencionar que el valor del voltaje de salida  $V_o$  es negativo debido al desfase de  $180^\circ$  generado por el diseño del circuito. A continuación se presenta la gráfica resultante de las simulación para la Figura 1, con la cual se hallaron los valores simulados.



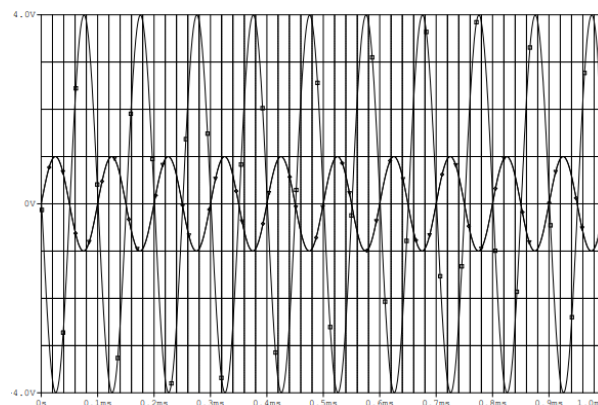
Gráfica 5.  $V_s$  vs.  $V_o$  simulado del montaje 1

Para la simulación del circuito presentado en la Figura 2. se utilizó el software de simulación PSPICE, acudiendo a las librerías necesarias para la obtención de todos los componentes del montaje. Los datos obtenidos por simulación se encuentran contenidos en la Tabla 5.

Tabla 5. Resultados simulados del montaje 2

<b><math>A_v</math></b>	-2
<b><math>V_s</math></b>	2 V
<b><math>V_o</math></b>	-6 V

Es importante mencionar que el valor del voltaje de salida  $V_o$  es negativo debido al desfase de  $180^\circ$  generado por el diseño del circuito. A continuación se presenta la gráfica resultante de las simulación para la Figura 2, con la cual se hallaron los valores simulados.



Gráfica 6.  $V_s$  vs.  $V_o$  simulado del montaje 2

Para la simulación del circuito presentado en la Figura 3. se utilizó el software de simulación PSPICE, acudiendo a las librerías necesarias para la obtención de todos los componentes del montaje. Los datos obtenidos por simulación se encuentran contenidos en la Tabla 6.

Tabla 6. Resultados simulados del montaje 3

<b><math>V_{ref}</math></b>	2 V
<b><math>V_o</math> para <math>V_{in} &lt; V_{ref}</math></b>	0.184 V
<b><math>V_o</math> para <math>V_{in} = 3 \text{ Vdc}</math></b>	4.814 V

Una vez obtenidos los datos que se requieren para obtener un análisis completo de los montajes de los amplificadores operacionales en sus distintos modos,, se procede con la comparación entre los valores simulados y prácticos para así obtener los porcentajes de error y poder desarrollar un análisis y

posteriormente las respectivas conclusiones. En la Tabla 7. se presentan las comparaciones entre los valores arrojados por simulación y los obtenidos en la práctica para el montaje 1, en la Tabla 8. se presentan las comparaciones entre los valores arrojados por simulación y los obtenidos en la práctica para el montaje 2 y en la Tabla 9. se presentan las comparaciones entre los valores arrojados por simulación y los obtenidos en la práctica para el montaje 3.

*Tabla 7. Comparación entre los resultados prácticos y simulados del montaje 1*

	Práctica	Simulación	% error
<b>Av</b>	-4.99	-5	0.002
<b>Vs</b>	0.982	1	0.018
<b>Vo</b>	4.901	5	0.02

*Tabla 8. Comparación entre los resultados prácticos y simulados del montaje 2*

	Práctica	Simulación	% error
<b>Av</b>	-2.04	-2	0.02
<b>Vs</b>	2.105	2	0.05
<b>Vo</b>	6.178	6	0.029

*Tabla 9. Comparación entre los resultados prácticos y simulados del montaje 3*

	Práctica	Simulación	% error
<b>Vref</b>	2.23	2	0.103
<b>Vin &lt; Vref</b>	0.051	0.184	2.608
<b>Vin &gt; Vref</b>	3.319	4.814	0.45

De las Tablas 7. y 8. se puede apreciar que ningún porcentaje de error sobrepasa el 5 %, por lo que los cálculos hallados en simulación se asemejan mucho con los obtenidos en la práctica. Por otra parte, la Tabla 9. presenta porcentajes de error mínimo del 10 % y solo con respecto a Vref que como se explicó algunos apartados atrás, se debe a la precisión de la fuente DC utilizada durante el montaje. También se debe mencionar que no se excluye la posibilidad de presentar errores de precisión al momento de tomar las medidas con los instrumentos utilizados durante el laboratorio.

## Conclusiones

En la práctica y durante el proceso de redacción del informe respectivo, se logró con éxito la implementación y comprobación de desempeño de los amplificadores operacionales como sumadores, inversores y comparadores. También se comprobó de primera mano que las ganancias de voltaje corresponden a la configuración de resistencias que se implementen en el circuito, principalmente las de entrada y las de realimentación, con las cuales al momento de diseño es preferible trabajar con valores comerciales o fáciles de obtener mediante sus montajes en serie o paralelo.

## Referencias

- [1] Mi Electrónica Fácil, (s.f.). Amplificador Operacional Inversor [En línea]. Disponible en <https://mielelectronicafacil.com/analogica/amplificador-inversor/#diagrama-del-circuito>
- [2] Mi electrónica Fácil, (s.f.). Amplificador Sumador Inversor [En línea]. Disponible en <https://mielelectronicafacil.com/analogica/amplificador-sumador-inversor/#formula-voltaje-de-salida-funcion-de-transferencia>
- [3] Electrónica Unicrom, (s.f.). Comparador con Amplificador Operacional [En línea]. Disponible en <https://unicrom.com/comparador-con-amplificador-operacional/>