



CURSO: ELECTRÓNICA ANALÓGICA

UNIDAD 2: EL AMPLIFICADOR OPERACIONAL

PROFESOR: JORGE ANTONIO POLANÍA

La electrónica analógica se ha visto enriquecida con la incorporación de un nuevo componente básico: el amplificador operacional (A.O.). Aunque realmente el A.O. es un circuito electrónico evolucionado, sus características de versatilidad, uniformidad de polarización, propiedades notables y disposición en circuito integrado, convierten al mismo en un nuevo elemento electrónico capaz de intervenir en la conformación de circuitos analógicos de mayor complejidad. La utilización del A.O. en circuitería presupone un adecuado conocimiento de sus características de funcionamiento con base en determinadas características proporcionadas por el fabricante. Se estudiará, el amplificador operacional ideal y sus configuraciones básicas.

Como es costumbre se explicará su teoría, se presentarán simulaciones y actividades prácticas de laboratorio.

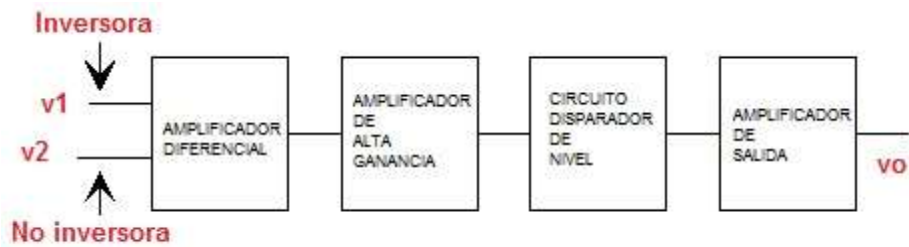
CURSO: ELECTRÓNICA ANALÓGICA

UNIDAD 2: EL AMPLIFICADOR OPERACIONAL - TEORÍA

El primer amplificador operacional monolítico, que data de los años 1960, fue el Fairchild μ A702 (1964), diseñado por Bob Widlar. Le siguió el Fairchild μ A709 (1965), también de Widlar, y que constituyó un gran éxito comercial. Más tarde sería sustituido por el popular Fairchild μ A741 (1968), de David Fullagar, y fabricado por numerosas empresas, basado en tecnología bipolar.

El A.O. ideal tiene una ganancia infinita, una impedancia de entrada infinita, un ancho de banda también infinito, una impedancia de salida nula, un tiempo de respuesta nulo y ningún ruido. Como la impedancia de entrada es infinita también se dice que las corrientes de entrada son cero.

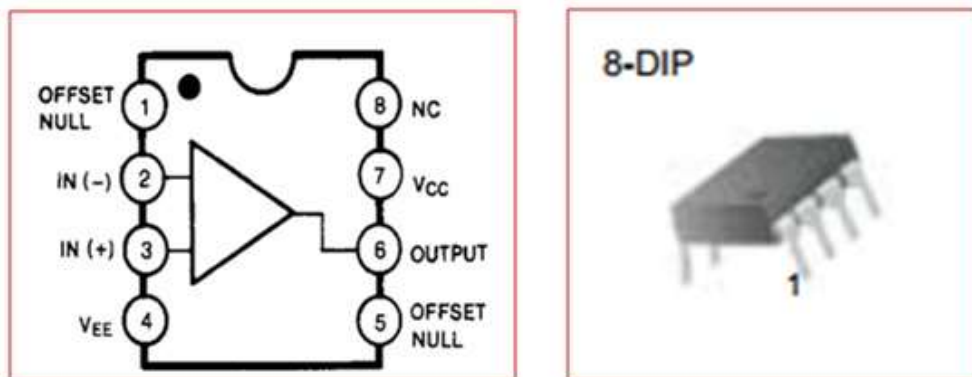
El operacional típico tiene cuatro bloques,



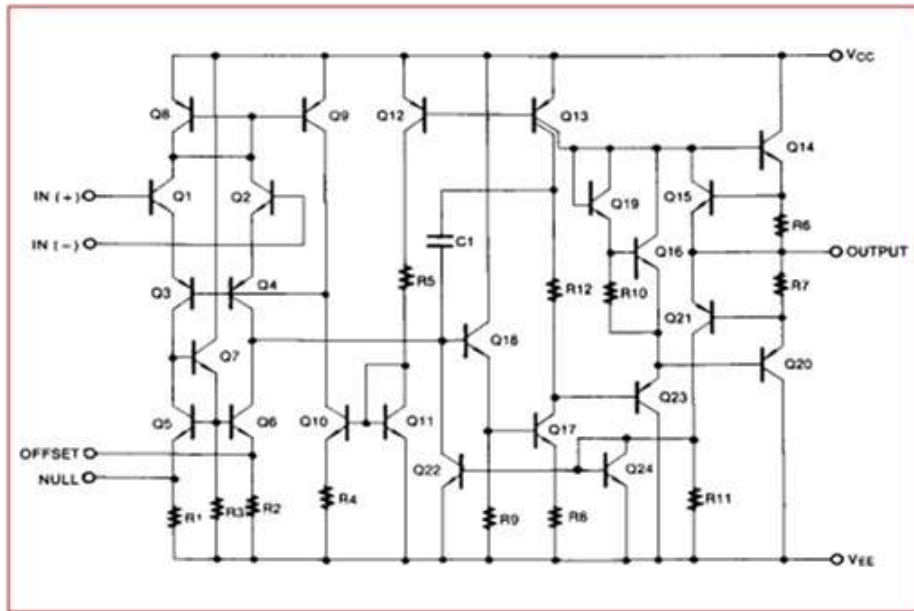
El primero es el amplificador diferencial, seguido de una etapa amplificadora lineal de alta ganancia, generalmente otro amplificador diferencial. Si la tensión de corriente continua existente en la salida del amplificador de alta ganancia, no es cero voltios cuando $v1=v2=0V$ se emplea un circuito desplazador de nivel tal como un amplificador cascode. La última etapa es un amplificador de salida, habitualmente uno de simetría complementaria.

1) LM741: UN SOLO AMPLIFICADOR OPERACIONAL

El amplificador operacional LM741 es el más popular y utilizado en circuitos relacionados con la electrónica analógica. Se presenta a continuación, su diagrama de pines y su configuración interna.



Estructura interna:

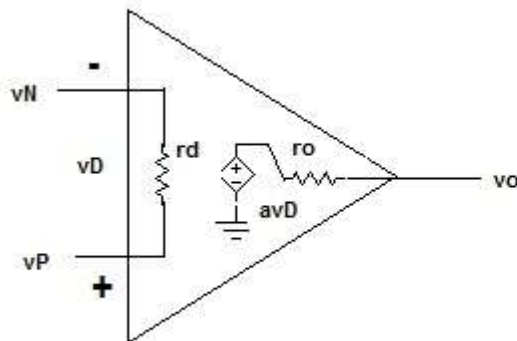


Rangos eléctricos máximos:

Absolute Maximum Ratings ($T_A = 25^\circ\text{C}$)

Parameter	Symbol	LM741	Unit
Supply Voltage	VCC	± 18	V
Differential Input Voltage	$V_I(\text{DIFF})$	30	V
Input Voltage	V_I	± 15	V
Output Short Circuit Duration	-	Indefinite	-
Power Dissipation	P_D	500	mW
Operating Temperature Range	TOPR	$0 \sim + 70$	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range	TSTG	$-65 \sim + 150$	$^\circ\text{C}$

Circuito equivalente:



Parámetros del operacional:

r_d : Resistencia de entrada diferencial

a_v : Ganancia de voltaje en lazo abierto

r_o : Resistencia de salida

v_D : Voltaje de entrada diferencial

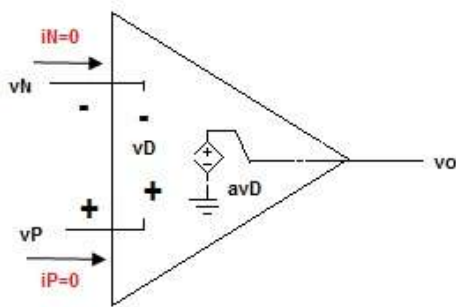
Ecuación básica:

$$v_d = v_P - v_N, \quad v_o = a v_d = a(v_P - v_N) \quad v_d = v_o / a$$

Por ejemplo, para el AO 741, $a=200.000$, si $v_o=6V$, entonces $v_d = 6/200.000=30\mu V$

El voltaje de entrada diferencial v_d es muy pequeño.

Amplificador operacional ideal:

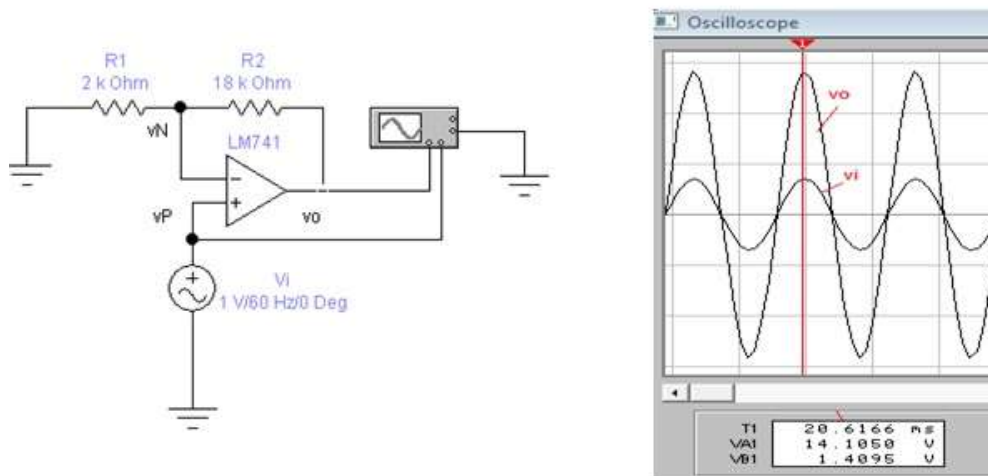


Un AO se considera ideal si:
 $a \rightarrow \infty, r_D \rightarrow \infty, r_o = 0, i_P = i_N = 0$
 $v_N = v_P, v_D = 0$

2) CONFIGURACIONES BÁSICAS DE AO

A) AMPLIFICADOR NO INVERSOR

En esta configuración la señal de entrada es por v_P (entrada no inversora, terminal +)



A: Amplificación de lazo cerrado a: Amplificación de lazo abierto

Ecuaciones:

$$A = \frac{v_o}{v_i} = \frac{1}{\frac{1}{a} + \frac{R_1 + R_2}{R_1}}, \quad A_{ideal} = \frac{R_1 + R_2}{R_1}, \quad \text{porque } a = \infty$$

Como la amplificación es positiva entonces el signo de la salida v_o es igual al signo de la señal de entrada v_i por lo tanto no invierte la polaridad, por eso se llama amplificador No inversor.

EJEMPLO

La señal de entrada $v_i=1V$, $R_1=2K$, $R_2=18K$, $a=10^4$ (o sea, 10.000) Hallar la salida real y la salida ideal.

$$A = \frac{v_o}{v_i} = \frac{1}{\frac{1}{10^4} + \frac{2}{2+18}} = 9,99 \quad A_{ideal} = \frac{2+18}{2} = 10$$

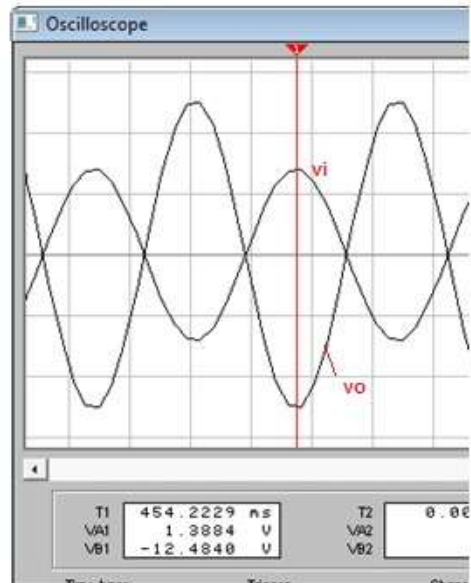
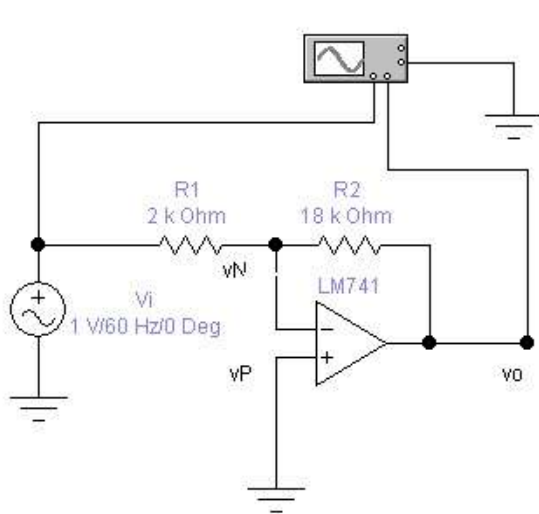
Se obtienen resultados muy aproximados. Observen la simulación.

$$A = \frac{14,1}{1,41} = 10$$

La amplificación es positiva, o sea, que la salida está en fase con la señal de entrada.

B) AMPLIFICADOR INVERSOR

En esta configuración la señal de entrada es por v_N (entrada inversora, terminal -)



Ecuaciones:

$$A = \frac{v_o}{v_i} = -\frac{R_2}{R_1 + \frac{R_1 + R_2}{a}}, \quad A_{ideal} = -\frac{R_2}{R_1}, \quad \text{porque } a = \infty$$

La amplificación ahora es negativa, lo que quiere decir que la polaridad de la salida es inversa a la de la entrada v_i (desfase de 180 grados), por tal razón se le llama Inversor.

EJEMPLO

La señal de entrada $v_i=1V$, $R_1=2K$, $R_2=18K$, $a=10^4$ (o sea, 10.000) Hallar la salida real y la salida ideal.

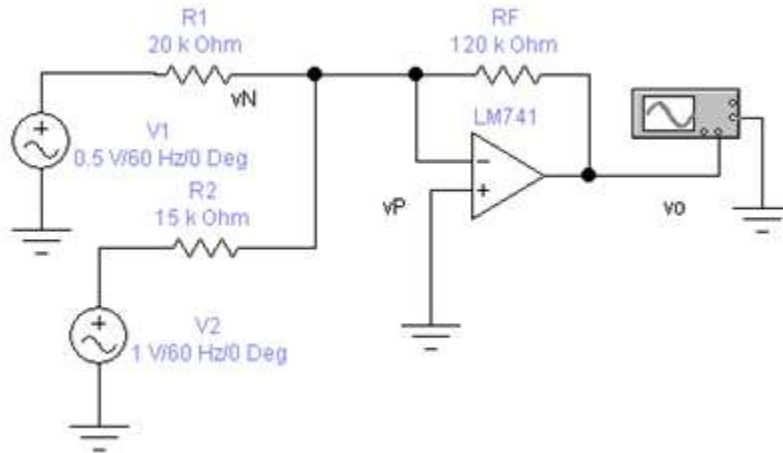
$$A = \frac{v_o}{v_i} = -\frac{18}{2 + \frac{2+18}{10^4}} = -8,99 \quad A_{ideal} = -\frac{18}{2} = -9$$

Observe la simulación

$$A = -\frac{12,48}{1,39} = -8,98$$

C) AMPLIFICADOR SUMADOR

Tiene dos o más entradas y una salida. Se utiliza para obtener a la salida una señal que es la suma ponderada de las entradas.



Ecuaciones:

$$v_o = -\frac{R_F}{R_1}v_1 - \frac{R_F}{R_2}v_2$$

La salida es una suma ponderada de las entradas.

EJEMPLO

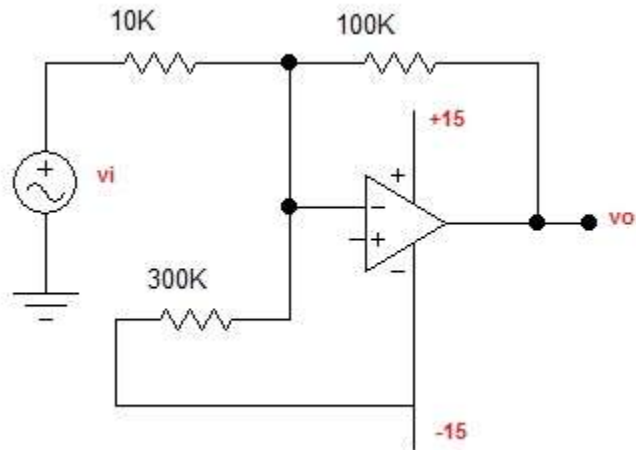
$R_1=20K$, $R_2=15K$, $R_F=120K$, $v_1=0.5V$, $v_2=1.0V$

$$v_o = -\frac{120}{20}v_1 - \frac{120}{15}v_2 = -6v_1 - 8v_2, \text{reemplazando los voltajes de entrada}$$

$$v_o = -\frac{120}{20}(0,5) - \frac{120}{15}(1,0) = -6(0,5) - 8(1,0) = -3,0 - 8,0 = -11,0V$$

EJEMPLO. Aplicación del sumador

Dar un offset DC de 5V a una señal de entrada v_i .



$$v_o = -\frac{100}{10} v_i - \frac{100}{300} (-15)$$

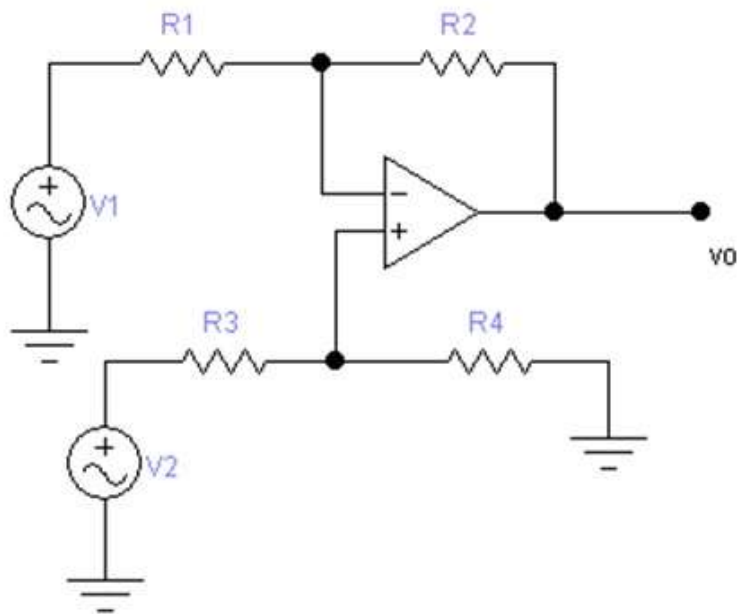
$$v_o = -10v_i - \frac{1}{3} (-15)$$

$$v_o = -10v_i + 5$$

D) AMPLIFICADOR DE DIFERENCIAS

Tiene una salida y dos entradas. Una se aplica a la entrada No inversora y la otra a la entrada Inversora. La salida es la diferencia de las entradas ponderadas.

$$v_o = -k_1 v_1 + k_2 v_2$$



Ecuación:

$$\text{Salida debida a } v_1, \quad v_{o1} = -\frac{R_2}{R_1} v_1$$

$$\text{Salida debida a } v_2, \quad v_{o2} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} * \frac{R_4}{R_3 + R_4} v_2$$

Por superposición, la salida es igual a:

$$v_o = v_{o1} + v_{o2} = -\frac{R_2}{R_1} v_1 + \frac{R_1 + R_2}{R_1} * \frac{R_4}{R_3 + R_4} v_2$$

EJEMPLO

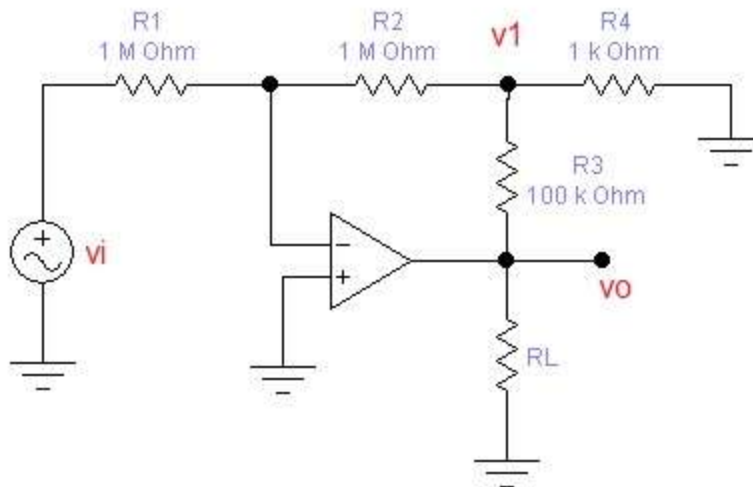
$R_1 = 100K$, $R_2 = 300K$, $R_3 = 75K$, $R_4 = 25K$, Hallar la salida del amplificador

$$v_o = -\frac{300}{100} v_1 + \frac{100 + 300}{100} * \frac{25}{25 + 75} v_2$$

$$v_o = -3v_1 + 4 * 0,25v_2, \quad v_o = -3v_1 + v_2$$

EJEMPLO

Hallar la amplificación o ganancia del siguiente amplificador.



$$v_1 = -\frac{R_2}{R_1} v_i \quad \text{Nodo } v_1: \quad v_1 \left[\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \right] - v_o \left[\frac{1}{R_3} \right] = 0$$

Con estas ecuaciones se tiene:

$$A = \frac{v_o}{v_i} = -\frac{R_2}{R_1} \left[1 + \frac{R_3}{R_2} + \frac{R_3}{R_4} \right] = -\frac{1M}{1M} \left[1 + \frac{100K}{1M} + \frac{100K}{1} \right]$$

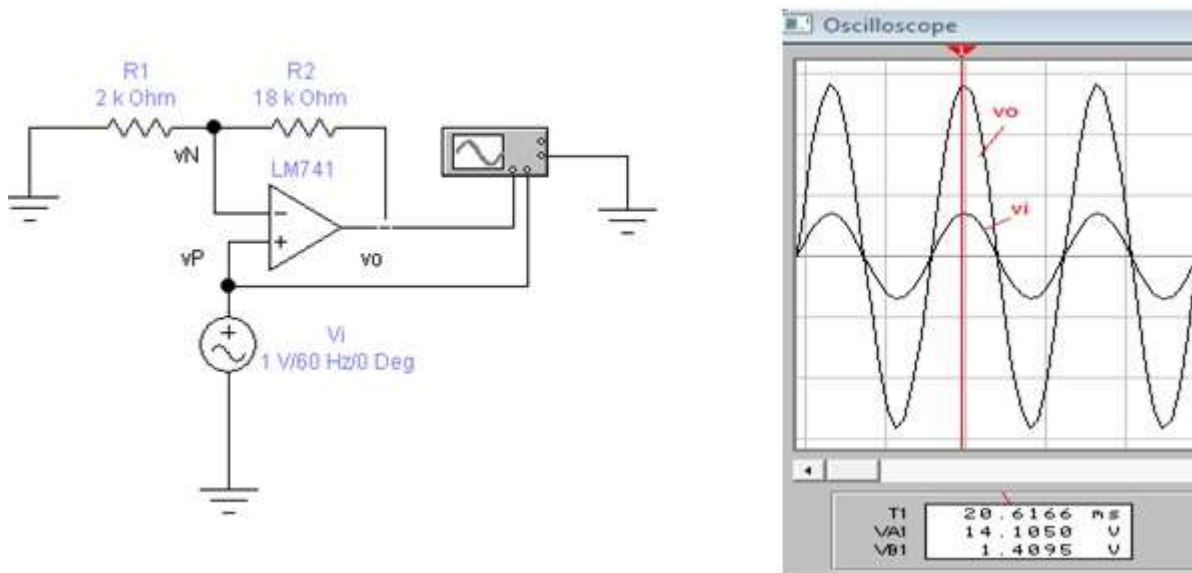
$$A = -1(1 + 0,1 + 100) = -101,1$$

CURSO: ELECTRÓNICA ANALÓGICA

UNIDAD 2: AMPLIFICADOR OPERACIONAL - SIMULACIÓN

PASO 1: AMPLIFICADOR OPERACIONAL NO-INVERSOR

Utilizando el simulador Worbench, simule el circuito de la figura.



Según lo observado de las señales que nos muestra el osciloscopio, la amplificación es igual a:

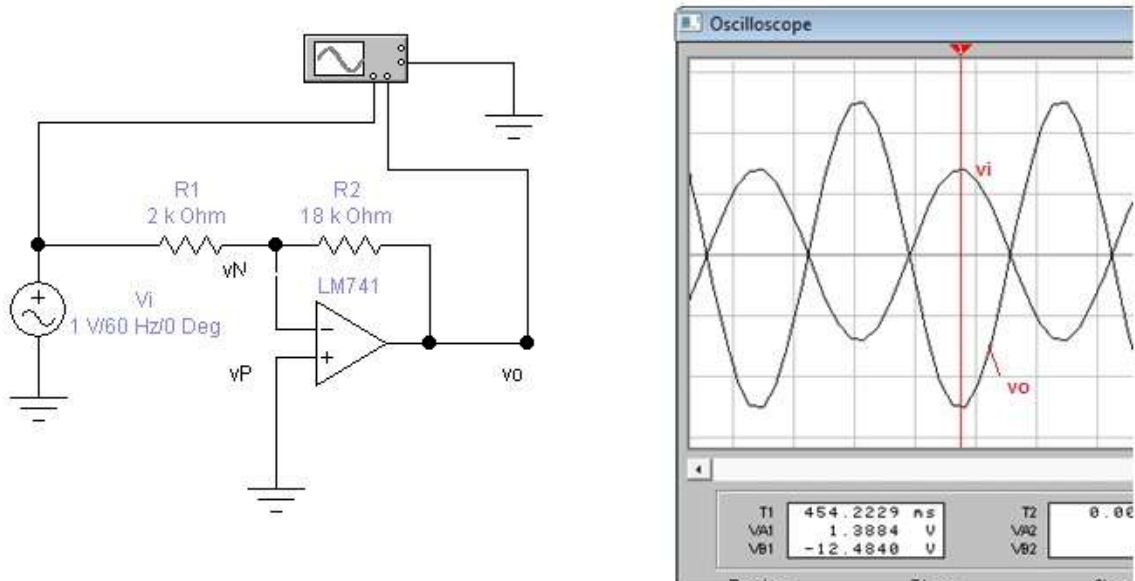
$$A_v = v_o / v_i = 14.1\text{V} / 1.4\text{V} = 10$$

Observe que la salida está en fase con la entrada.

Compruebe este resultado teóricamente.

PASO 2: AMPLIFICADOR OPERACIONAL INVERSOR

Simule el amplificador inversor de la figura y obtenga la amplificación.



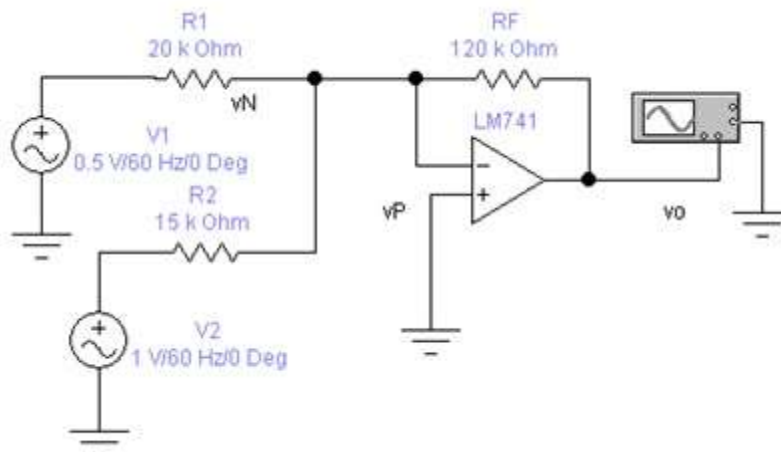
Según gráfica dada por el osciloscopio simulado, la amplificación es:

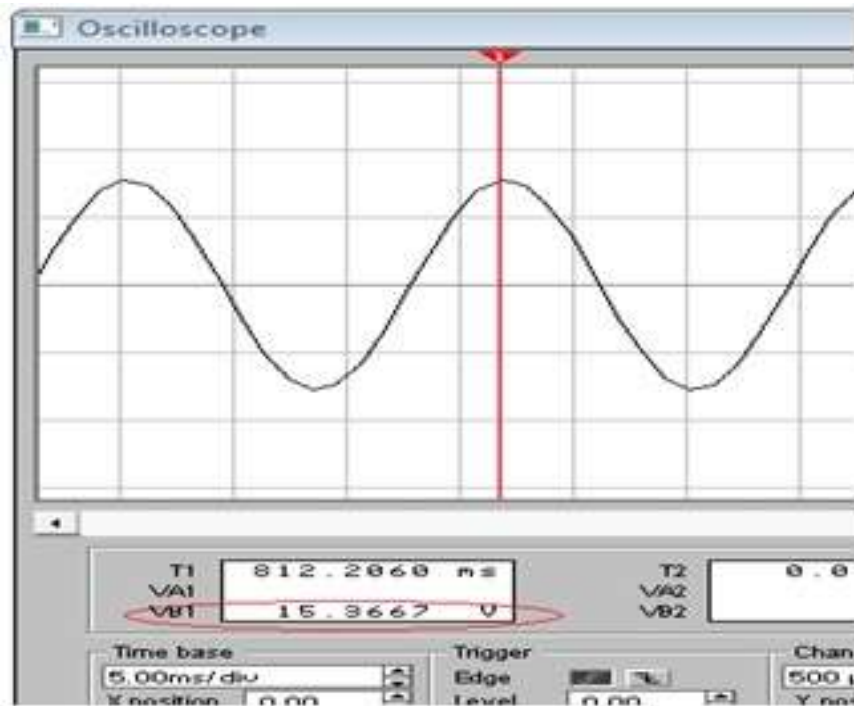
$$A_v = v_o / v_i = -12.48V / 1.38V = -9.04$$

La salida está desfasada 180 grados con respecto a la entrada (observe la gráfica) por esa razón es que la amplificación es negativa y se llama amplificador inversor.

PASO 3: AMPLIFICADOR OPERACIONAL SUMADOR

Simule el circuito de la figura. Encuentre la señal de salida vo, si v1=0.5V y v2=1.0V





De la figura se observa que la salida es aproximadamente de 15.4 V_p. Compruebe este resultado.

CURSO: ELECTRÓNICA ANALÓGICA

UNIDAD 2: AMPLIFICADOR OPERACIONAL - LABORATORIO

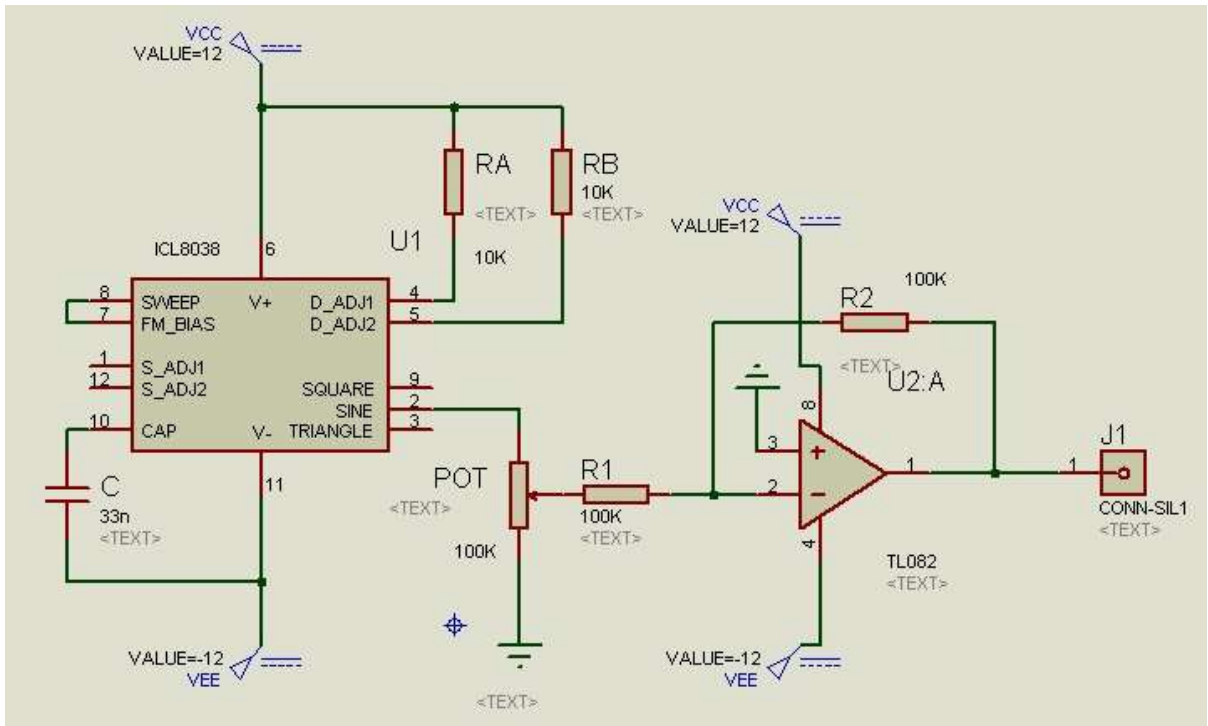
En esta práctica primero vamos a implementar el generador de señales senoidales usando el circuito integrado ICL8038 y el amplificador operacional TL082. Implementado y probado el generador se realizarán los montajes para el Amplificador No inversor, el Amplificador Inversor y el Amplificador Sumador. Este laboratorio tiene como objetivo aprender a diseñar estos amplificadores y probar la teoría que los rige después de haber comprobado su funcionamiento en las simulaciones realizadas.

EQUIPO Y MATERIAL NECESARIO

- Osciloscopio
- Generador de señales
- Fuente de $\pm 12V$
- Multímetro
- Protoboard
- Circuitos integrados: ICL8038, 741
- Potenciómetro de $100K\Omega$
- 1 condensador de $33nF$
- Resistencias a $1/4W$ de: $1K\Omega$, $5.1K$, $3x10K$, $2x100K$
- Conectores

1. GENERADOR DE SEÑAL SENO.

Realice el montaje del siguiente circuito para la generación de la señal senoidal que se va a utilizar en las prácticas. El potenciómetro permite variar la amplitud de la señal.



2. AMPLIFICADOR NO INVERSOR

En este amplificador usando el operacional 741 se aplica la señal por la entrada no inversora (+) y la ganancia se define por las resistencias R1 y R2 en la entrada inversora (-). Implemente el circuito en el protoboard con alimentación de $\pm 12V$.

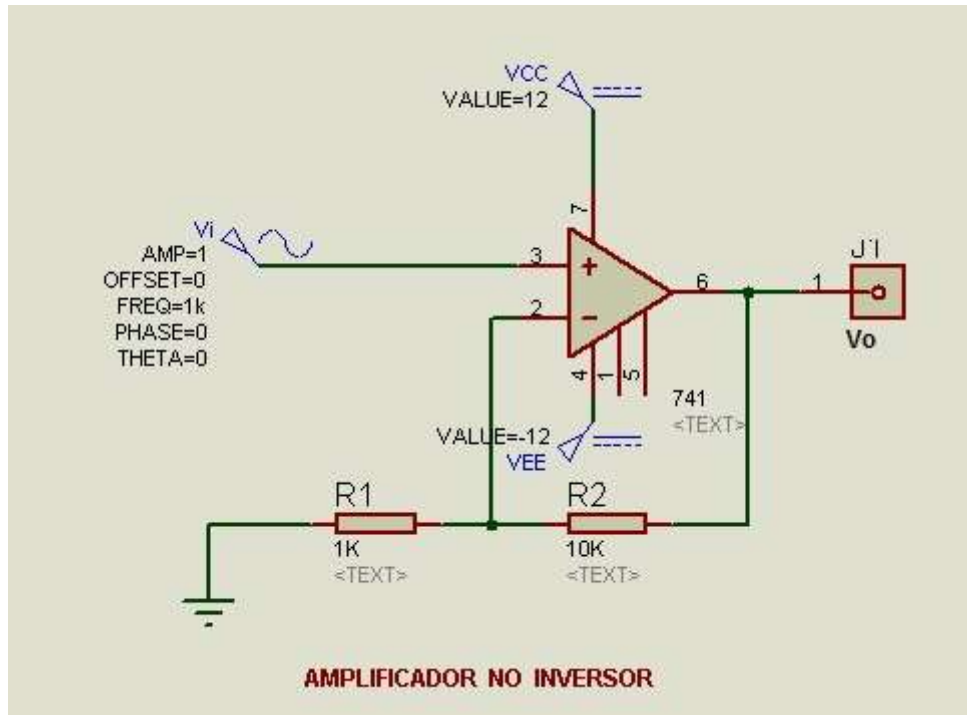
Inyecte la señal de entrada y mida su amplitud pico a pico con el osciloscopio. Ahora mida la señal de salida V_o y calcule la ganancia del amplificador.

$V_i =$ _____

$V_o =$ _____

$A_v =$ _____

Compruebe los resultados teóricamente.



3. AMPLIFICADOR INVERSOR

En este amplificador usando el operacional 741 se aplica la señal por la entrada inversora (-) y la ganancia se define por las resistencias R1 y R2. La entrada no inversora (+) se conecta a tierra. Implemente el circuito en el protoboard con alimentación de $\pm 12V$.

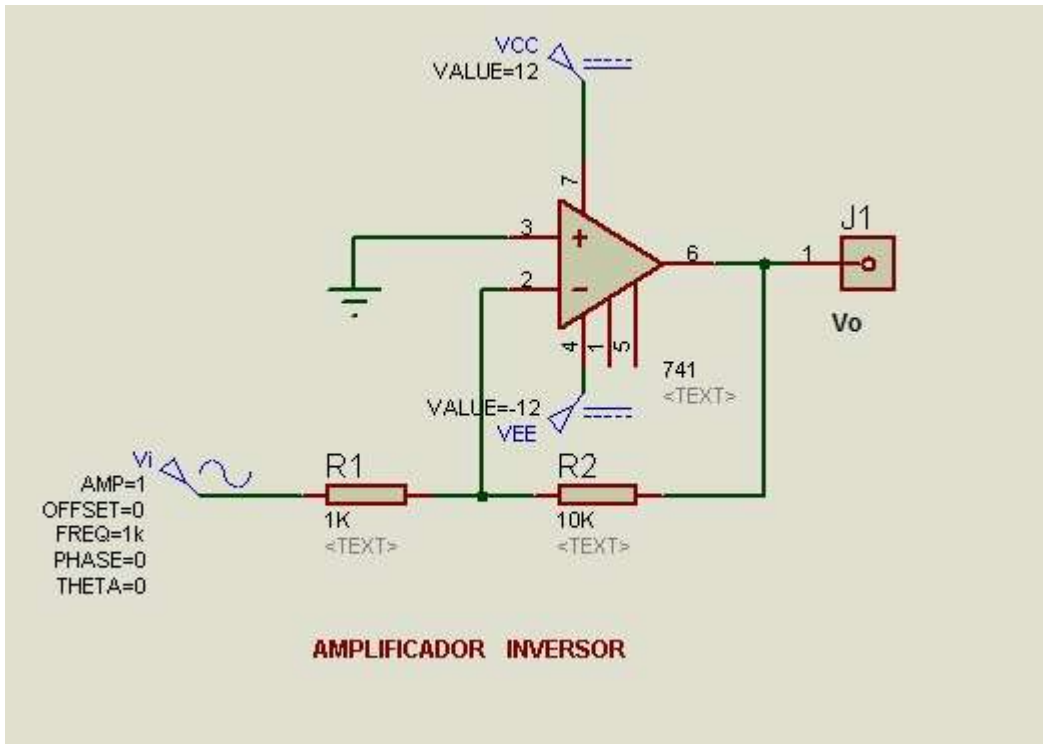
Inyecte la señal de entrada y mida su amplitud pico a pico con el osciloscopio. Ahora mida la señal de salida V_o y calcule la ganancia del amplificador.

$V_i =$ _____

$V_o =$ _____

$A_v =$ _____

Compruebe los resultados teóricamente.



4. AMPLIFICADOR SUMADOR

En este amplificador usando el operacional 741 se aplican las señales V1 y V2 por la entrada inversora (-) y las ganancias se definen por las resistencias R1, R2 y RF. La entrada no inversora (+) se conecta a tierra. Implemente el circuito en el protoboard con alimentación de $\pm 12V$.

Por simplificación del circuito inyecte la misma señal de entrada $V1=V2$ y mida su amplitud pico a pico con el osciloscopio. Ahora mida la señal de salida V_o y calcule la ganancia del amplificador.

V1 = _____

V2 = _____

V_o = _____

A_v = _____

Compruebe los resultados teóricamente.

