



Instituto Politécnico Nacional

Escuela Superior de Cómputo



Práctica 5: CONFIGURACIONES BÁSICAS CON AMPLIFICADORES OPERACIONALES

Profesor: Ismael Cervantes de Anda

Grupo: 4CV2

Equipo:

- Ramírez Jiménez Itzel Guadalupe
- Colín Ramiro Joel
- Vázquez Giles Alejandro

I. OBJETIVO

En esta quinta práctica se comprobarán la configuración básica del diferentes tipos de amplificadores básicos por ejemplo Amplificador Inversor, amplificador no Inversor, Seguidor de Voltaje, Amplificador Sumador, Amplificador Sustractor, Amplificador Integrador y Amplificador Derivador

II. MATERIALES

Amplificador Operacional TL071 o LM741

Resistencias: $4.7\text{M}\Omega$, $220\text{k}\Omega$, 560Ω , $1\text{k}\Omega$, $100\text{k}\Omega$, $15\text{k}\Omega$, $10\text{k}\Omega$, $2.2\text{k}\Omega$.

Capacitor: 0.01 uF , 0.0022 uF , 100pF

III. INTRODUCCIÓN TEÓRICA

El **Amplificador Operacional** también llamado OpAmp, o Op-Amp es un circuito integrado. Su principal función es amplificar el voltaje con una entrada de tipo diferencial para tener una salida amplificada y con referencia a tierra. También dichos circuitos existen desde 1964 en donde los primeros modelos son el 702, 709 y 741 desarrollados por Fairchild, y 101 y 301 por National Semiconductor. La salida al mercado de los amplificadores operacionales solventó en gran medida la ardua tarea de amplificar señales con transistores. Actualmente, el uso de los amplificadores operacionales para aplicaciones suele ser más barato, más rápido, más pequeño en espacio que su contraparte en transistores, usualmente MOSFET. Algunas de estas aplicaciones pueden ser: amplificador de instrumentación, amplificador diferencial, convertidor de corriente a voltaje. Con un Amplificador Operacional, puedes realizar temporizadores, comparadores o detectores de voltaje, acondicionar señales para ADCs y mucho más.

Existen hoy en día amplificadores operacionales para diferentes tipos de aplicaciones, detallar en cada uno sería imposible. Te dejamos algunos de los más comunes para que con gusto revisen sus hojas de datos. Amplificador de instrumentación INA125, OpAmp LM258, Op-Amp MC1741, TL031, TL081, TL084 y el famoso LM741.

Diagrama o símbolo de un Amplificador Operacional

El diagrama o símbolo de un amplificador operacional (**fig 1**) incluye al conjunto de 2 entradas y una salida. Un Op-amp tiene una entrada positiva y una negativa. Por ejemplo, en su forma de comparador, si la entrada positiva supera en voltaje a la entrada negativa, la salida se va a su voltaje de saturación. Un Op-amp puede ser alimentado con fuentes diferenciales (voltaje positivo y negativo) o fuentes

simples (Voltaje positivo y GND). Un amp tiene distintas configuraciones por ejemplo, inversor, no-inversor, amplificador o sumador, entre otras.

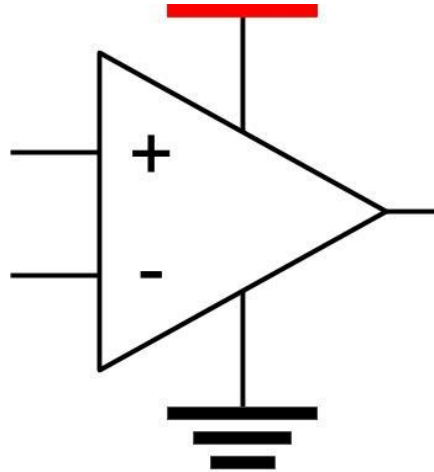


fig 1

Configuración del Amplificador Operacional en lazo abierto

La configuración del amplificador operacional en lazo abierto, es una de las más usadas. En esta configuración partimos de que la ganancia está ajustada a un valor muy alto (aproximadamente 200,000 veces). Esta ganancia el lazo abierto se le conoce como AOL y está en función a la diferencia de las entradas del Op-Amp. Las entradas, se les conoce como inversora y no inversora, o más y menos. En este caso vamos a nombrar la no inversora como E1 (+) y la inversora como E2 (-). **fig 2**

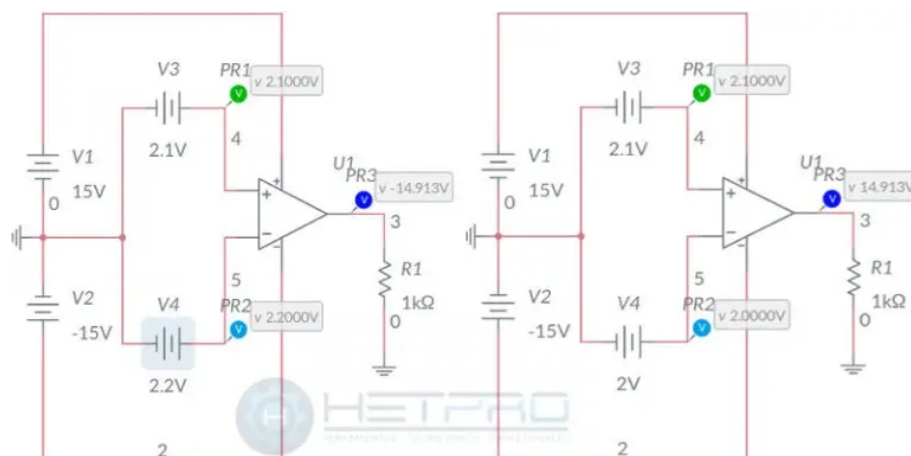


fig 2

La Ganancia en lazo abierto

La ganancia en lazo abierto es la salida máxima que se puede obtener del amplificador operacional. Por ejemplo, tomemos en consideración que el voltaje de salida calculado, no corresponde con el obtenido. Esto se debe a que el voltaje de salida está limitado por la fuente de alimentación, en este caso al ser de 15V el sistema no puede tener un voltaje de salida mayor a 15V. De hecho, este voltaje máximo es el voltaje de saturación. El voltaje de saturación en un amplificador operacional es un «poco» menor que el voltaje de la fuente. Esta caída de voltaje depende del fabricante.

Una de las aplicaciones más recurrentes de esta configuración es como comparador, en este caso se deja una de las entradas con un voltaje fijo. Usualmente, el voltaje está configurado con un divisor de voltaje para tener una referencia. Y la otra entrada conectada a la salida de un sensor. En este caso podemos tener un sistema que tenga una salida activada pasando este umbral. Esta configuración es muy útil ya que no depende de un sistema inteligente como un microcontrolador. En las figuras 2 y 3 podemos observar varias tarjetas de sensores con esta configuración y cómo es que podemos lograr mediante el divisor nuestra referencia de voltaje.

Configuración del Amplificador Operacional en lazo cerrado (ganancia controlada)

Un amplificador operacional u Op-amp en ganancia controlada, considera una retroalimentación de la salida respecto a la entrada. Las dos configuraciones más básicas son la del inversor y no inversor.

Configuración de un amplificador en modo no inversor

A continuación podemos observar la configuración del amplificador operacional en modo no inversor. La entrada a amplificar entra directamente a la entrada de voltaje E1 o «+». La entrada E2 o «-» está conectada con una retroalimentación de la salida en donde el voltaje se divide a través de las resistencias R1 y R2. La ganancia de voltaje de esta configuración depende de estas resistencias. La siguiente expresión define la ganancia.

$$A_V = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

$$V_o = A_V V_{in}$$

En donde la ganancia la multiplicamos por el voltaje de entrada y tenemos el voltaje de salida. **fig 3**

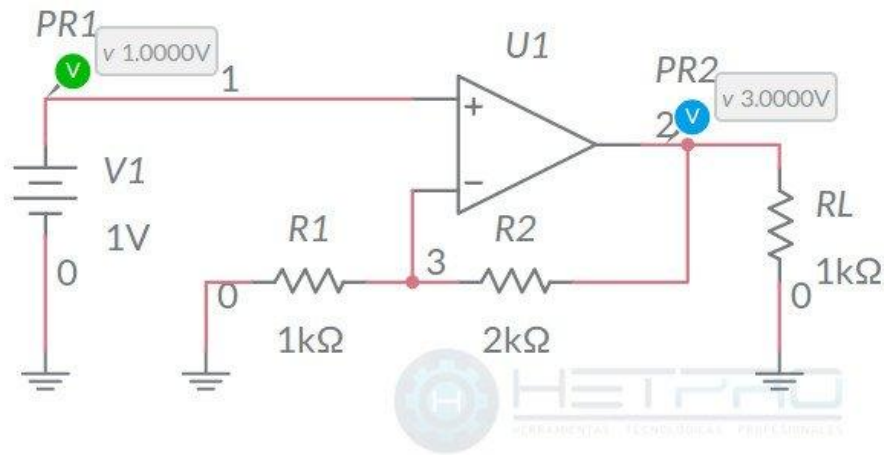


fig 3

Amplificador operacional Op-Amp en modo inversor

A continuación podemos observar la configuración del sistema operacional en modo inversor. La entrada a amplificar entra a través de la retroalimentación de la entrada E2 o «-». La entrada E1 o «+» se pone a tierra o GND. La ganancia de voltaje de esta configuración depende de la relación de R2 y R1. La siguiente expresión define la ganancia.

$$A_V = \left(-\frac{R_2}{R_1} \right)$$

$$V_o = A_V V_{in}$$

En donde la ganancia la multiplicamos por el voltaje de entrada y tenemos el voltaje de salida. **fig 4**

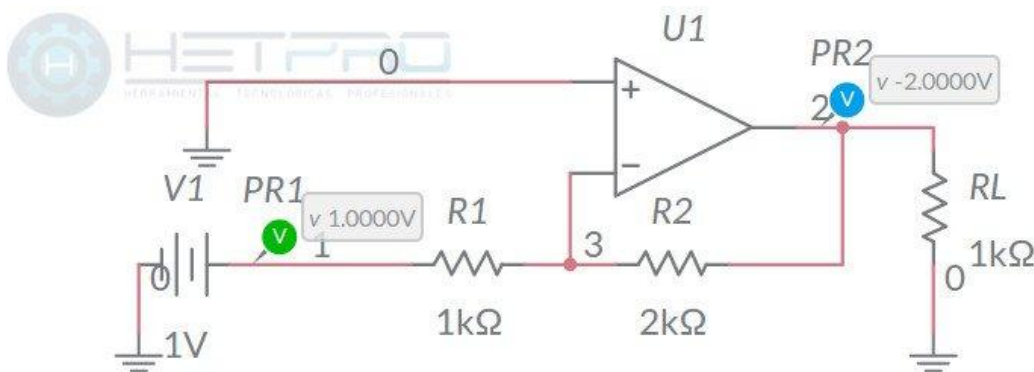


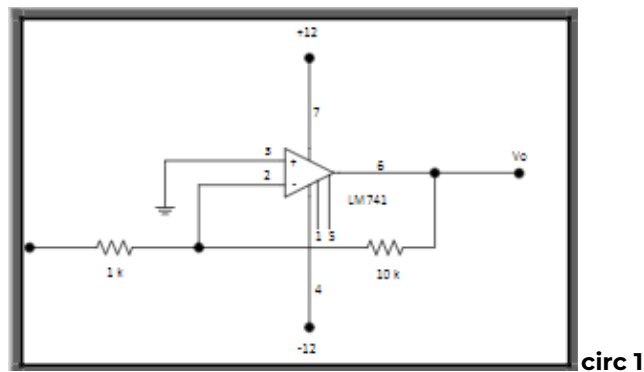
fig 4

IV. DESARROLLO

La realización de esta práctica, consistió en la conexión y simulación de 7 circuitos que implementan amplificadores operacionales.

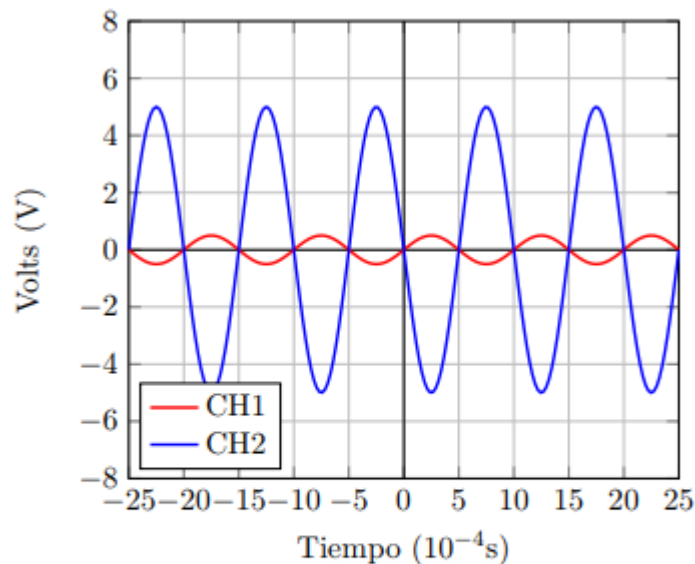
Nota: En todos los circuitos se empleó el amplificador operacional TL071 con $\pm 12\text{V}$ de alimentación, además de que los cálculos teóricos solicitados en cada circuito estarán en su respectiva sección.

Amplificador Inversor



Se armó el circuito que se encuentra en la imagen (**circ 1**). Se introdujo una señal senoidal con 1 Vpp a 1 Hz en la entrada del circuito (V_i).

Ya en el osciloscopio observamos la magnitud del voltaje pico a pico de entrada en el canal 1 y en el canal 2 el voltaje de salida, se comparó la fase, determinamos la ganancia (**tab 1**) y graficamos las formas de ondas obtenidas (**graf 1**).



graf 1

V/div canal 1 = 2 v

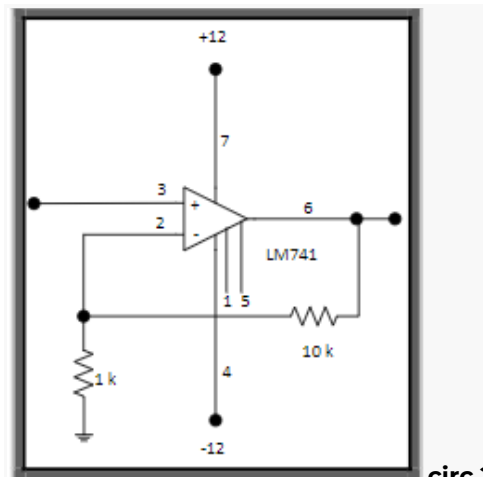
V/div canal 2 = 5 v

mseg/div = 0.5 m

	Entrada	Salida	Ganancia
Teórico	1 V_{pp}	-10 V_{pp}	-10
Práctico	1.12 V_{pp}	-11.1 V_{pp}	-9.91

tab 1

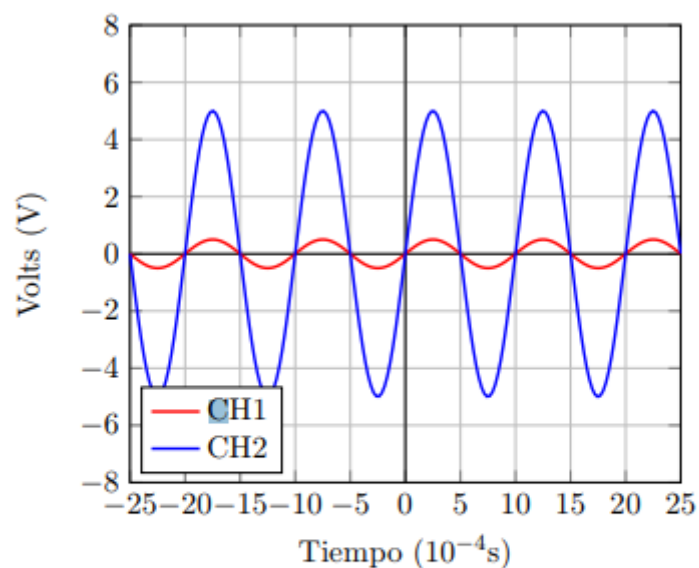
Amplificador NO Inversor



circ 2

Para el segundo circuito se conectó el de la figura **circ 2**. Se introdujo una señal senoidal con 1 V_{pp} a 1 Hz en la entrada del circuito (V_i).

Medimos el voltaje de entrada en el canal 1 y el voltaje de salida en el canal 2, además, determinamos la ganancia del amplificador (**tab 2**). También se graficaron en la **graf 2** las formas de onda obtenidas por el osciloscopio.



graf 2

$V/\text{div canal 1} = 2\text{ v}$
 $V/\text{div canal 2} = 5\text{ v}$
 $\text{mseg}/\text{div} = 0.5\text{ m}$

	Entrada	Salida	Ganancia
Teórico	$1 V_{pp}$	$10 V_{pp}$	10
Práctico	$1.12 V_{pp}$	$11.1 V_{pp}$	9.91

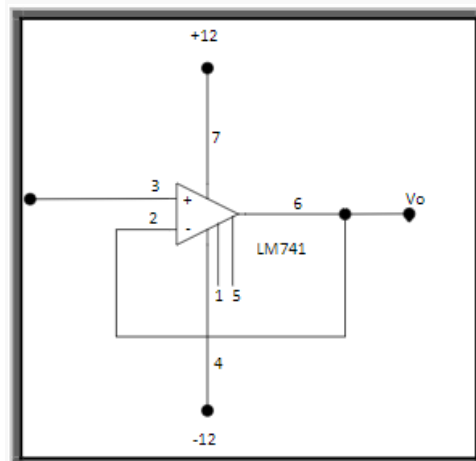
tab 2

Para concluir con este circuito, aumentamos la amplitud de la señal de entrada hasta que se observó una saturación de la salida y anotamos sus respectivos valores en la **tab 3**

	$V_{sat}(+)$	$V_{sat}(-)$
V_i	$3 V_{pp}$	$3 V_{pp}$

tab 3

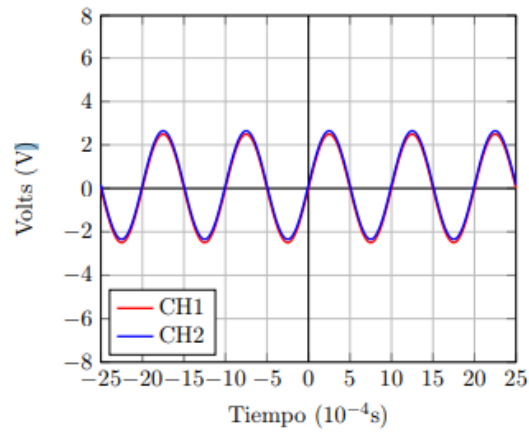
Seguidor de Voltaje



circ 3

Para este circuito (**circ 3**), se comprobó su funcionamiento mediante las mediciones de voltaje tanto de entrada como de salida. Se introdujo una señal senoidal con 5 Vpp a 1 Hz en la entrada del circuito (V_i).

Ya en el osciloscopio pudimos observar la magnitud del voltaje de entrada en el canal 1 y en el canal 2 la señal de salida, se comparó la fase (**tab 4**) y se dibujó en la **graf 3** las formas de ondas obtenidas.



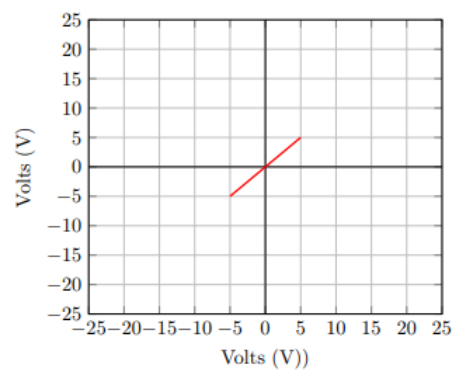
graf 4

V/div canal 1 = 5 v
V/div canal 2 = 5 v
mseg/div = 0.5 m

	Entrada	Práctico
Teórico	$5 V_{pp}$	$5 V_{pp}$
Práctico	$5.20 V_{pp}$	$5.40 V_{pp}$

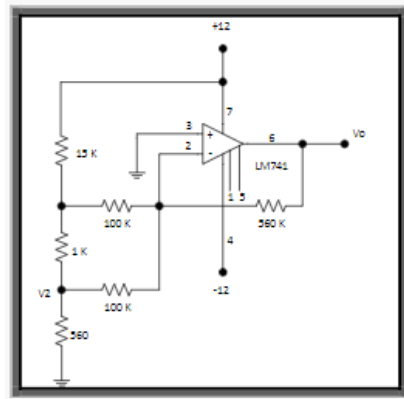
tab 4

Además antes de finalizar con este circuito se solicitó aplicar una señal senoidal de 5 Vpp con una frecuencia de 1 kHz al circuito anterior. Observamos la gráfica de transferencia en el osciloscopio en el modo X-Y y se dibujó en la **graf 5**.



graf 5

Amplificador Sumador



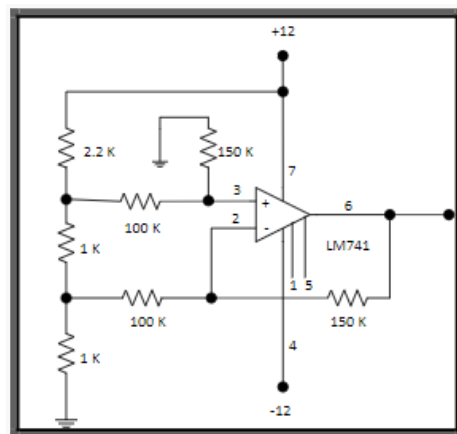
circ 4

En este cuarto circuito (**circ 4**), medimos los diferentes voltajes de entrada (V_1 y V_2) y el voltaje de salida V_0 con la ayuda del voltímetro, colocando los resultados de estas mediciones en la **tab 5**

	V_1	V_2	V_0
Teórico	1.13 V	0.405 V	-8.602 V
Práctico	1.13 V	0.404 V	-9.2 V

tab 5

Amplificador Sustractor



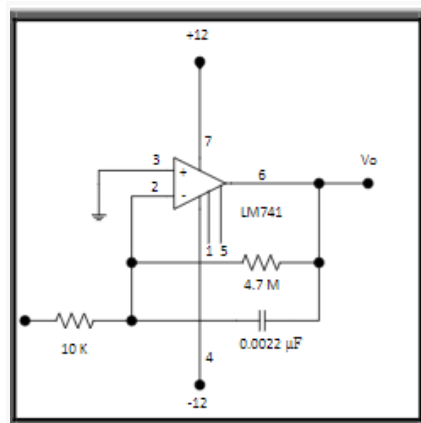
circ 5

En este quinto circuito (**circ 5**), se realizó un procedimiento similar al circuito anterior ya que medimos los diferentes voltajes de entrada (V_1 y V_2) y el voltaje de salida V_0 con la ayuda del voltímetro, colocando los resultados de estas mediciones en la **tab 6**.

	V_1	V_2	V_0
Teórico	5.714 V	2.857 V	4.28 V
Práctico	5.42 V	2.64 V	4.30 V

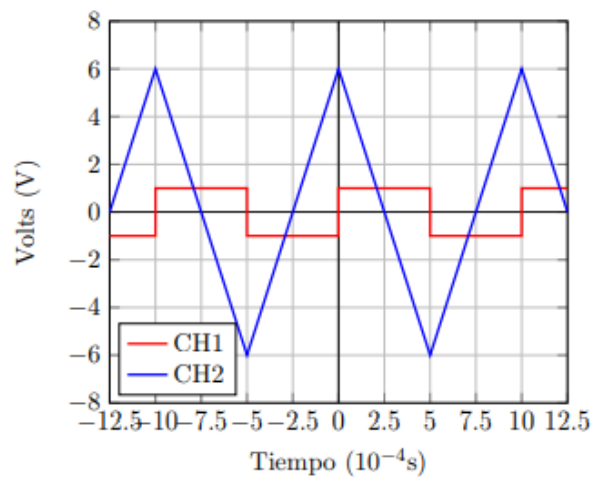
tab 6

Integrador



circ 6

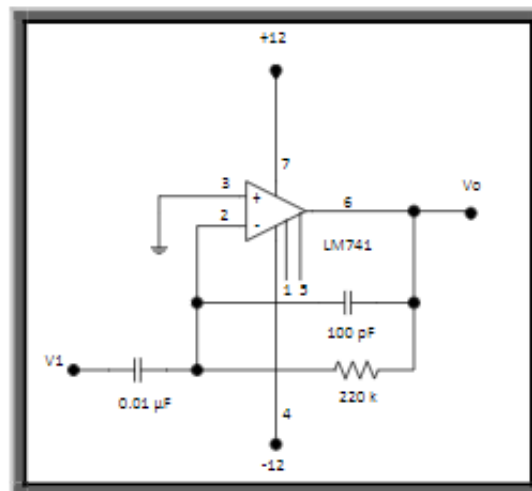
Para el penúltimo circuito (**circ 6**), se construyó la configuración de un integrador como en la figura, y se introdujo en el voltaje de entrada una señal cuadrada de 1 Vpp a 1 kHz y se midió la señal en el canal 1 y en el canal 2 se colocó la señal de salida. Las ilustraciones de las formas de onda se encuentran en la **graf 6**.



graf 6

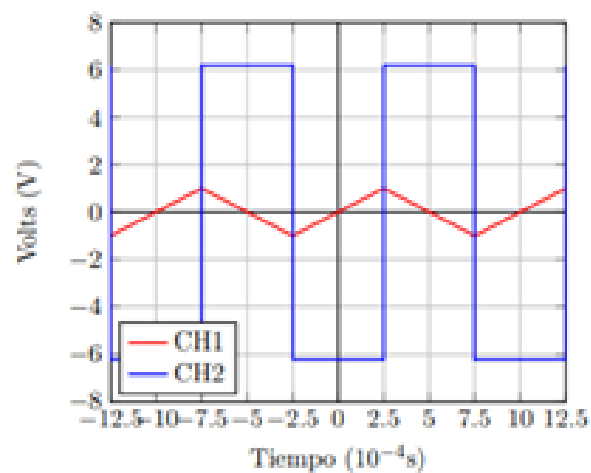
V/div canal 1 = 1 v
V/div canal 2 = 6 v
mseg/div = 0.5 m

Derivador



circ 7

Para el último circuito (**circ 7**), se introdujo un voltaje de entrada de una señal triangular a 1 Vpp y frecuencia de 1kHz, se midió el voltaje de entrada en el canal 1 y en el canal 2 el voltaje de salida, además se dibujaron las formas de onda obtenidas de la entrada y de la salida en la **graf 7**.



graf 7

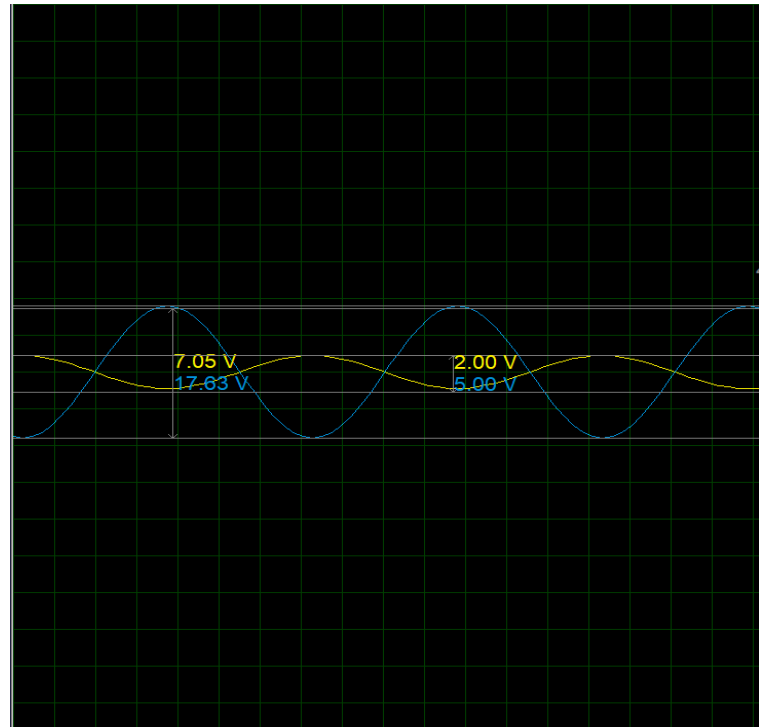
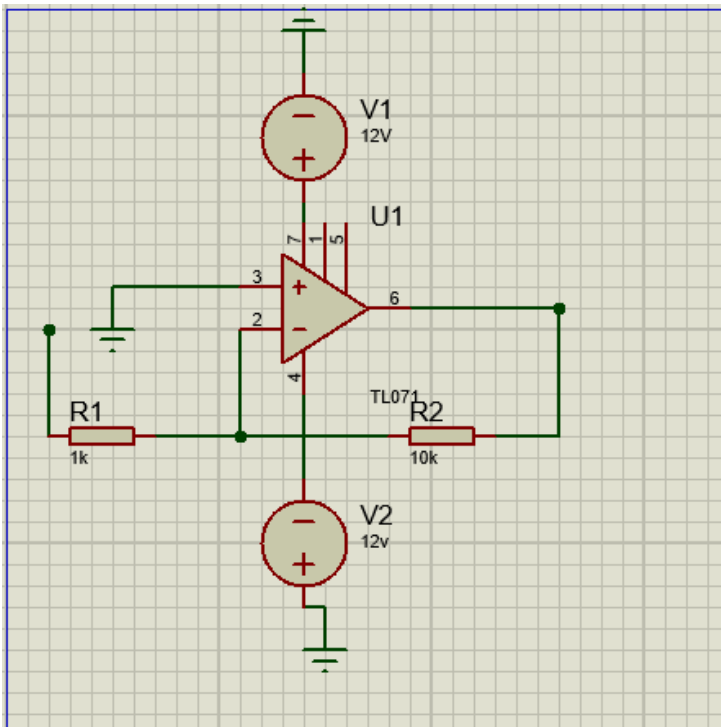
V/div canal 1 = 1 v
V/div canal 2 = 6 v
mseg/div = 0.5 m

V. SIMULACIONES

En esta sección se encuentran las capturas de pantalla de todas y cada una de las simulaciones de los circuitos, divididos por secciones.

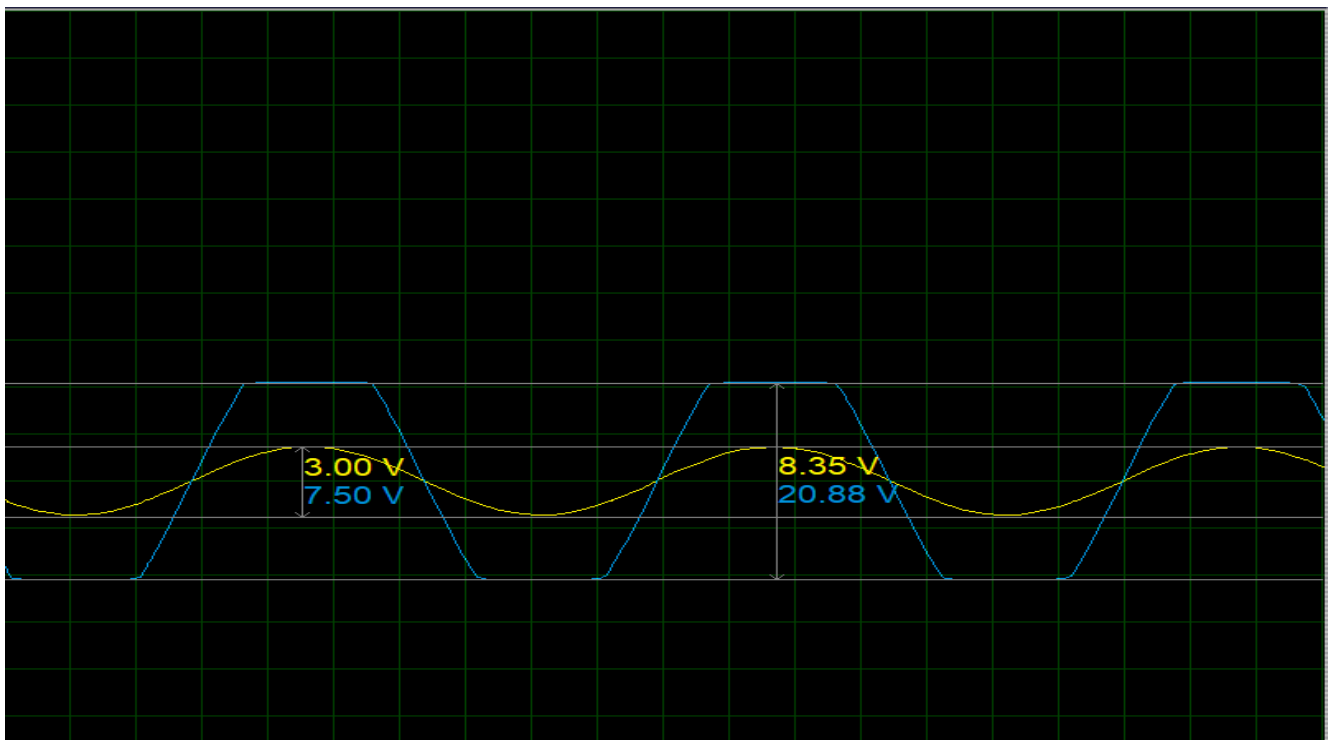
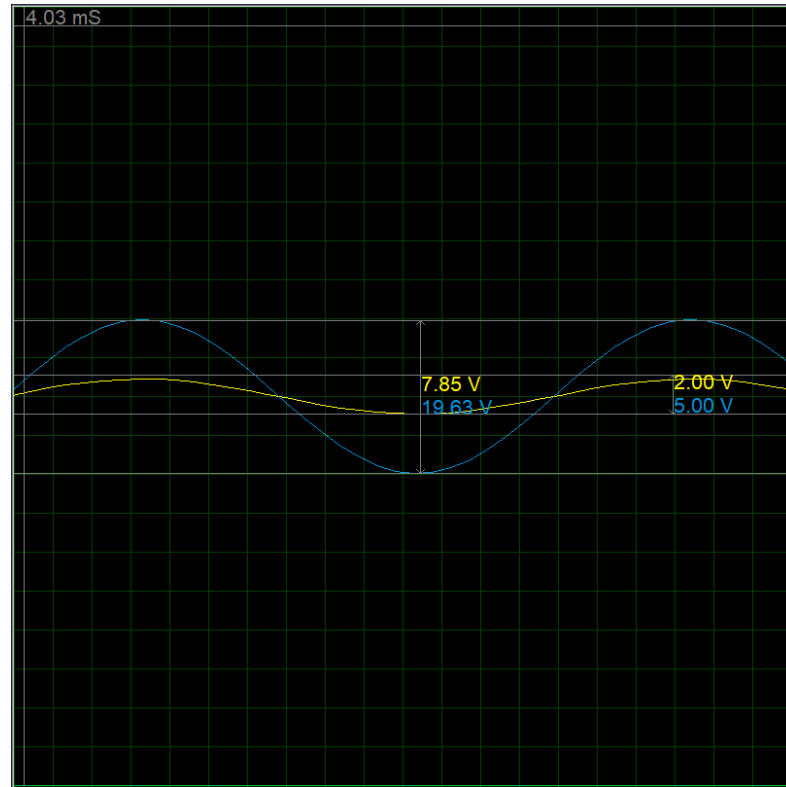
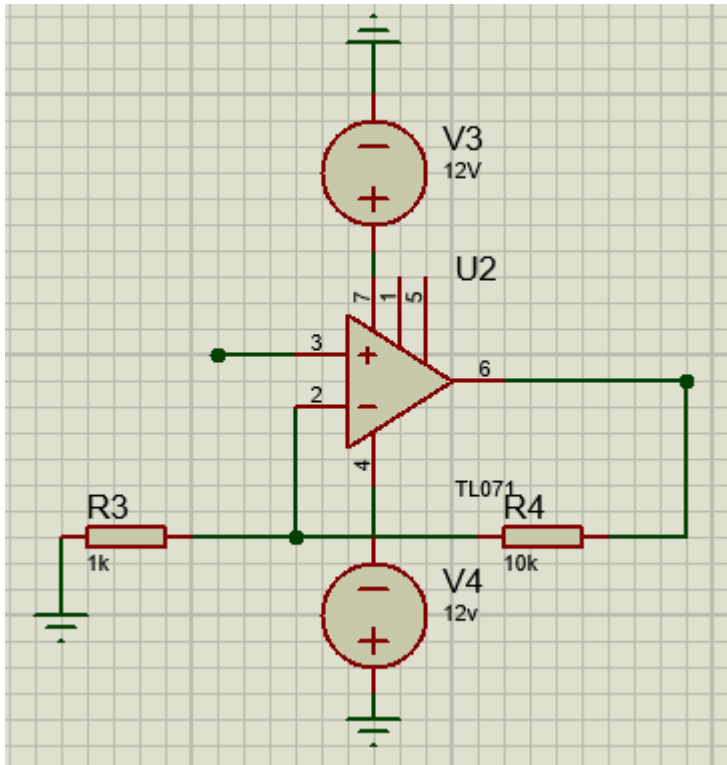
Nota: Los cálculos teóricos requeridos en cada circuito se encuentran expuestos en esta sección

Amplificador Inversor



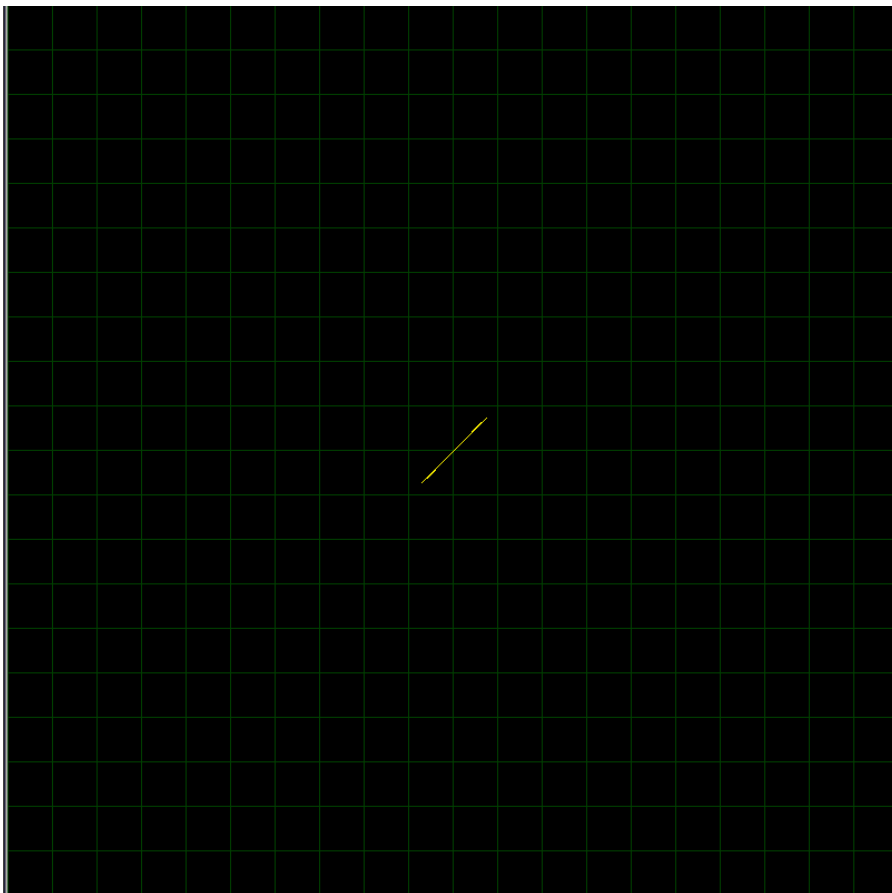
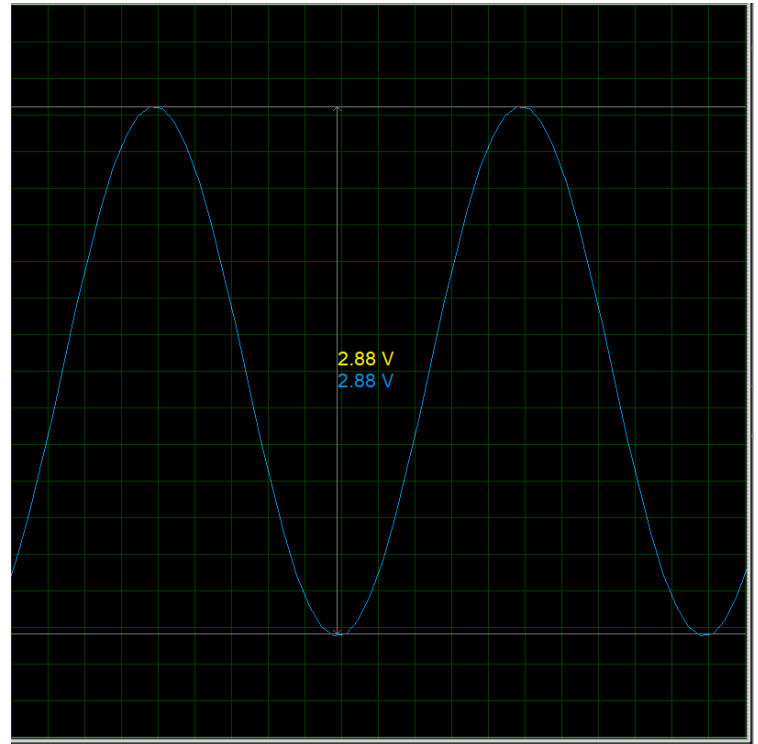
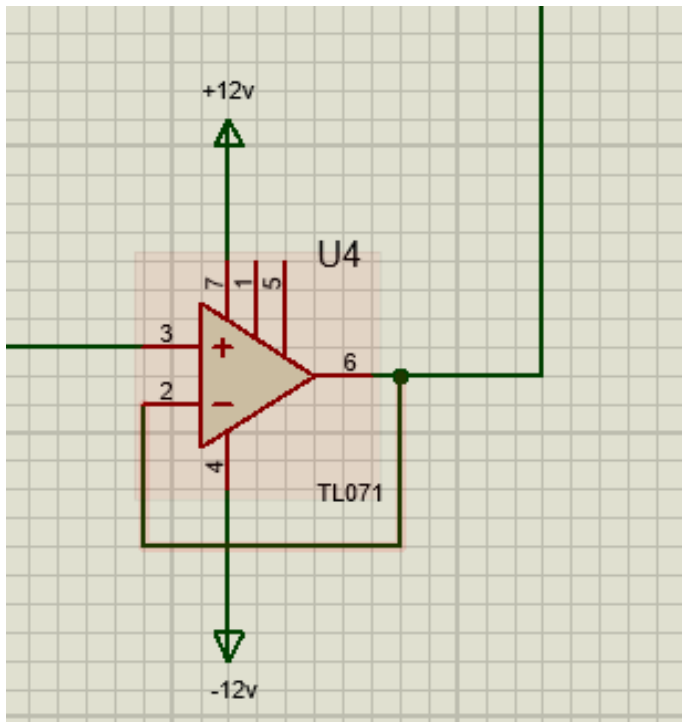
La ganancia es: $G = -\frac{R_2}{R_1} = -\frac{10k\Omega}{1k\Omega} = -10$, por lo tanto, $V_0 = V_i G = (1V_{pp})(-10) = -10V_{pp}$.

Amplificador NO Inversor



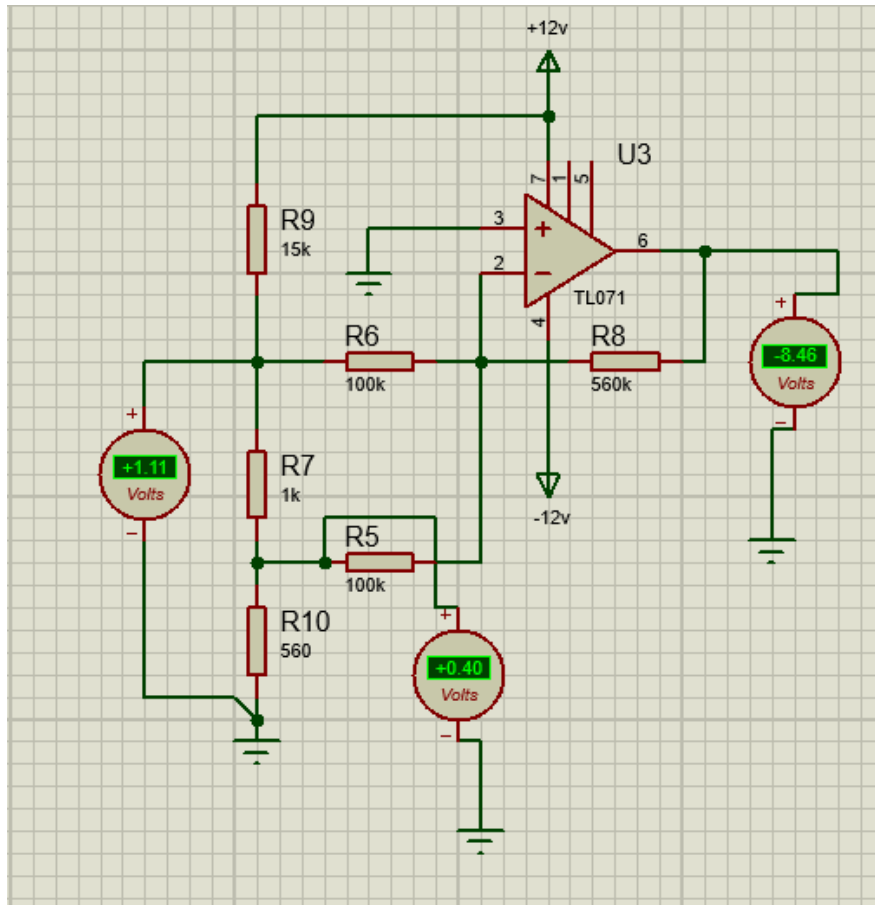
La ganancia es: $G = \frac{R_2}{R_1} = \frac{10k\Omega}{1k\Omega} = 10$, por lo tanto, $V_0 = V_i G = (1V_{pp})(10) = 10V_{pp}$.

Seguidor de Voltaje



$V_o = V_i = 5 \text{ V}_{pp}$ senoidal.

Amplificador Sumador



Por divisor de voltaje:

$$V_1 = \frac{V_{cc}(R_2 + R_3)}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{12V(1k\Omega + 560\Omega)}{15k\Omega + 1k\Omega + 560\Omega} = 1.13V$$

$$V_2 = \frac{V_{cc}(R_3)}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{12V(560\Omega)}{15k\Omega + 1k\Omega + 560\Omega} = 0.405V$$

Las ganancias son:

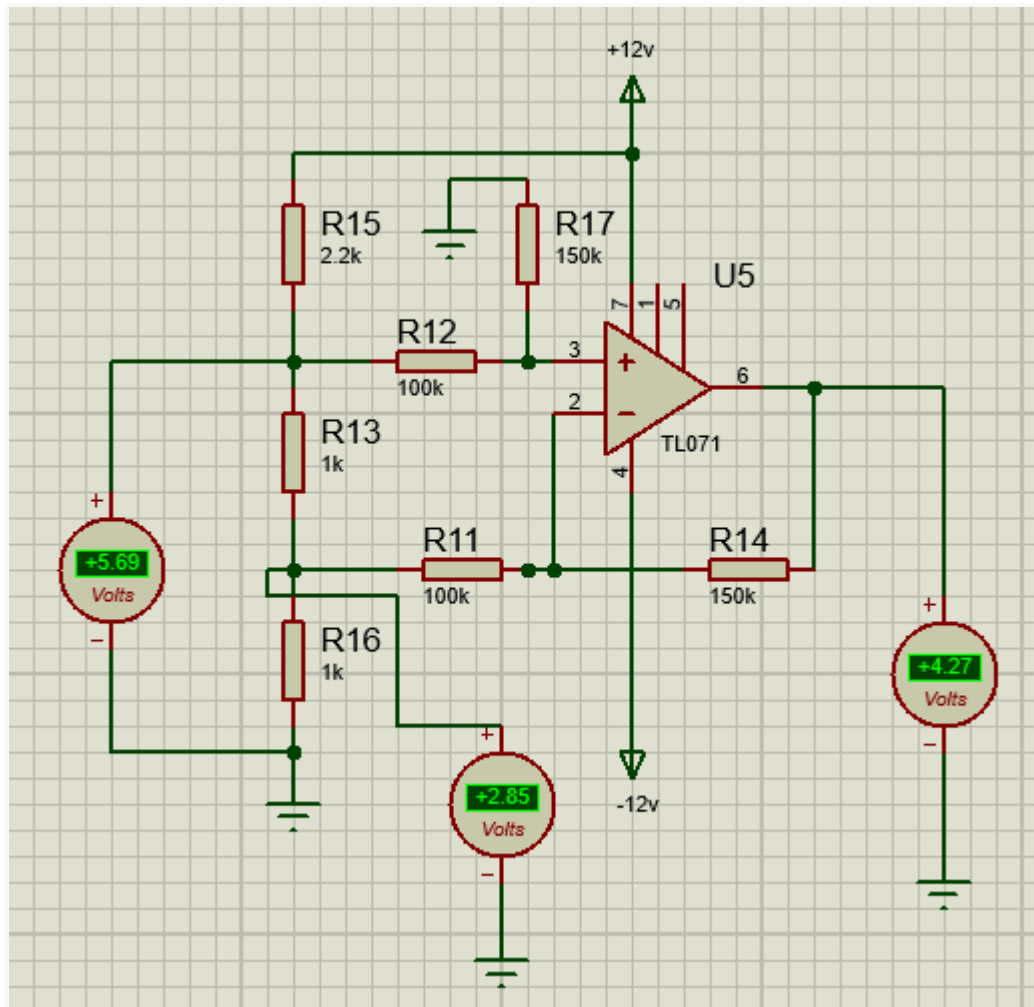
$$G_1 = -\frac{R_6}{R_4} = -\frac{560k\Omega}{100k\Omega} = -5.6$$

$$G_2 = -\frac{R_6}{R_5} = -\frac{560k\Omega}{100k\Omega} = -5.6$$

El voltaje de salida es:

$$V_0 = G_1 V_1 + G_2 V_2 = -5.6(1.13V) - 5.6(0.405V) = -8.602V$$

Amplificador Sustractor



Por divisor de voltaje:

$$V_1 = \frac{V_{cc}(R_2 + R_3)}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{12V(1k\Omega + 1k\Omega)}{2.2k\Omega + 1k\Omega + 1k\Omega} = 5.714V$$

$$V_2 = \frac{V_{cc}(R_3)}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{12V(1k\Omega)}{2.2k\Omega + 1k\Omega + 1k\Omega} = 2.857V$$

Las ganancias son:

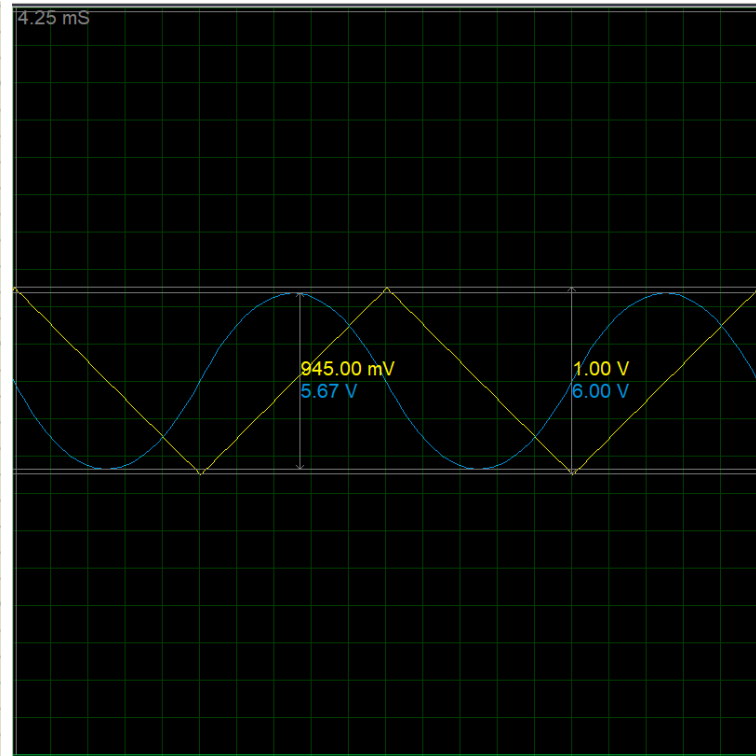
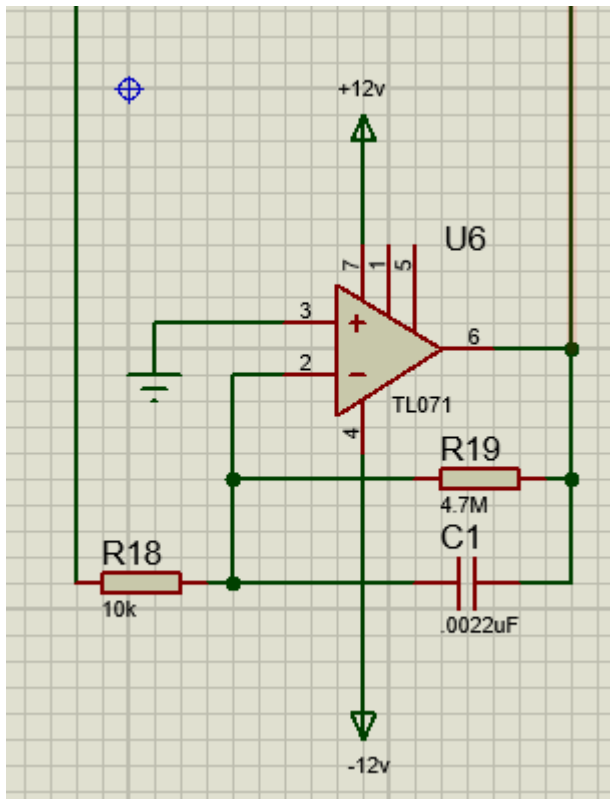
$$G_1 = \frac{R_7}{R_4} = \frac{150k\Omega}{100k\Omega} = 1.5$$

$$G_2 = \frac{R_7}{R_5} = \frac{150k\Omega}{100k\Omega} = 1.5$$

El voltaje de salida es:

$$V_0 = G_1 V_1 - G_2 V_2 = 1.5(5.714V) - 1.5(2.857V) = 4.28V$$

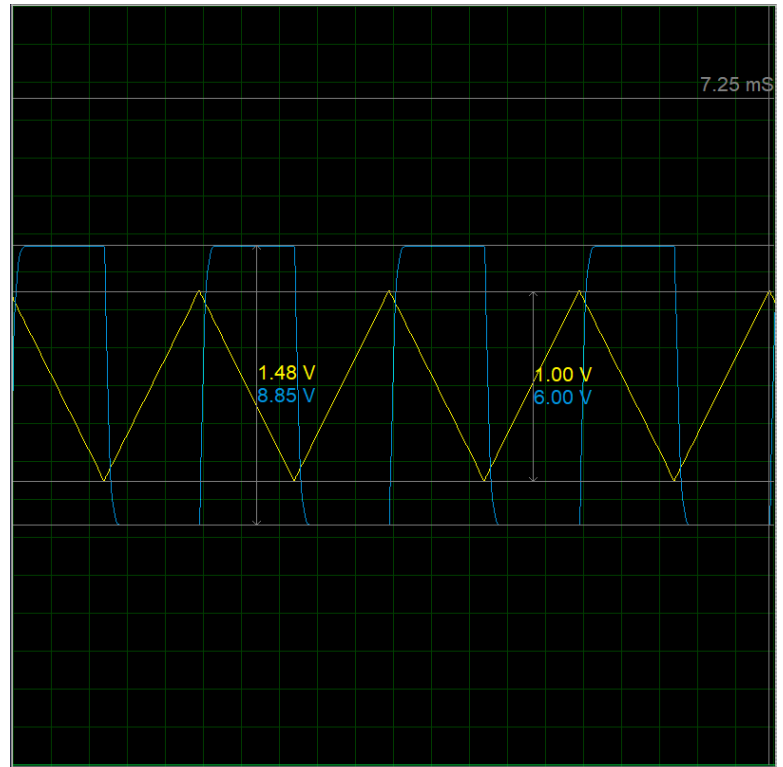
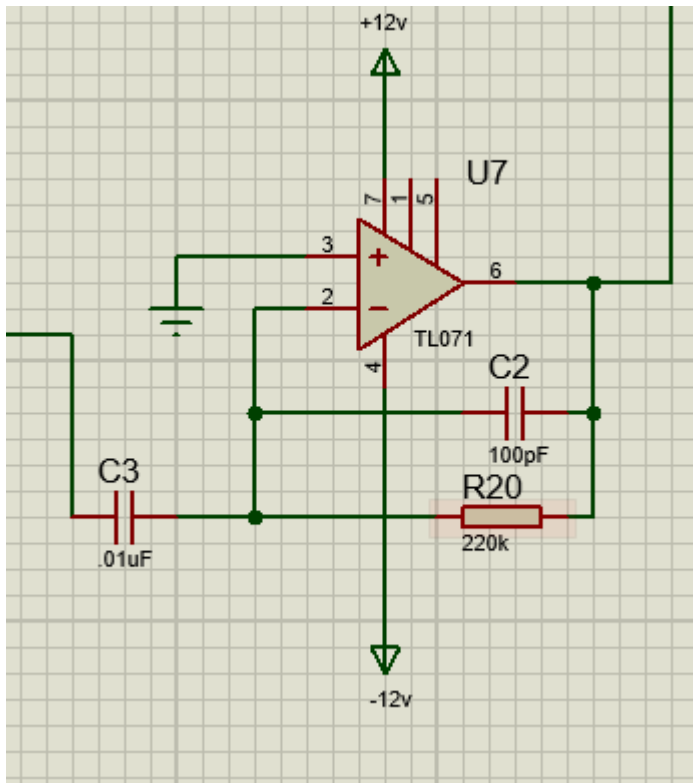
Integrador



El voltaje de entrada es $V_i = 1V_{pp}$, entonces el voltaje de salida será:

$$V_0 = -\frac{V_0 T}{R_1 C_1} = -\frac{1V_{pp}(0.5ms)}{10k\Omega(0.0022\mu F)} = -22.72V_{pp}, \text{ pero como } V_{cc} = 12V, \text{ solo obtendremos } V_0 = -12V_{pp}.$$

Derivador



$$V_o = \frac{V_o T}{R_1 C_1} = \frac{1 V_{pp}(0.5 \text{ ms})}{10 \text{ k}\Omega(0.0022 \mu\text{F})} = 22.72 V_{pp} \text{ y como } V_{CC} \\ = 12 \text{ v, solo obtenemos } V_o = 12 V_{pp}$$

VI. CUESTIONARIO

1. **¿Qué representa el signo negativo en los circuitos: inversor, sumador, derivador e integrador?**

Que el voltaje de salida se invierte respecto al voltaje de entrada, es decir, $V_o \propto -V_i$.

2. **Explica porque existe una diferencia entre el voltaje de salida teórico y práctico de los circuitos sumador y restador.**

Se debe a varios factores, como el voltaje de alimentación que recibe el amplificador operacional, el margen de error presente en los resistores usados, las impurezas en la composición del integrado que generan ruido, y las pequeñas pérdidas de voltaje presentes en los instrumentos de medición.

3. **¿Qué función tiene el circuito seguidor de voltaje?**

Un seguidor de voltaje proporciona a la salida la misma tensión que a la entrada. Esto es importante en la amplificación de señales que teniendo un buen nivel de tensión son de muy baja potencia y por tanto se atenuarían en el caso de que se conectaran a amplificadores de mediana o baja impedancia de entrada.

4. **Cual es la finalidad de agregarle una resistencia en paralelo al capacitor en el integrador y un capacitor en paralelo a la resistencia del derivador**

En el caso del integrador, el resistor en paralelo ayuda a que el capacitor se descargue de forma paulatina y a evitar que el amplificador operacional entre en saturación.

Y en el derivador, el capacitor en paralelo ayuda a estabilizar el circuito a altas frecuencias y reduce el efecto de ruido.

VII. CONCLUSIONES

Podemos decir que los amplificadores operacionales dentro del mundo de la electrónica son de propósito general para lograr diversos objetivos con los voltajes de entrada, como invertir un voltaje, amplificarlo, dejarlo igual, pero con más eficacia, sumarlos, restarlos, derivar e integrar señales de entrada respecto al tiempo, etc. En esta práctica se comprobaron varios de los usos que puede tener un amplificador operacional dentro de un circuito. Otorga mucha flexibilidad dado a que puede amplificar un voltaje de entrada simplemente ajustando el valor de las resistencias, y se puede decidir si invertir el voltaje o mantenerlo como la entrada, todo esto de una

forma eficiente y estable. Sin embargo, los voltajes de salida en cualquier configuración se ven limitados por el voltaje de alimentación V_{cc} del amplificador operacional.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

1. <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/amplificador-operacional/>
2. <http://www.electronicworld.com.mx/uncategorized/amplificadores-operacionales-configuraciones/>
3. <https://www.ingmecafenix.com/electronica/amplificador-operacional/>
4. <http://dea.unsj.edu.ar/elo2/apuntes/Capitulo%205.pdf>