



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
Escuela Superior de CÓMPUTO



ELECTRÓNICA ANALÓGICA
PLAN 2020

PRÁCTICA 5

CONFIGURACIONES BÁSICAS CON
AMPLIFICADORES
OPERACIONALES

Bernal Ramírez Brian Ricardo

Escalona Zuñiga Juan Carlos

Rojas Peralta Maximiliano

DR. OSCAR CARRANZA CASTILLO

CONFIGURACIONES BÁSICAS CON AMPLIFICADORES OPERACIONALES

1. INTRODUCCION

En el ámbito de la electrónica analógica, los amplificadores operacionales son uno de los componentes más fundamentales y versátiles. Su capacidad para realizar múltiples operaciones matemáticas y de procesamiento de señales los convierte en piezas clave en el diseño de circuitos electrónicos. Desde tareas simples como la amplificación de señales hasta aplicaciones más complejas como el filtrado, la integración y la derivación, los amplificadores operacionales son esenciales en una amplia variedad de campos, incluyendo telecomunicaciones, instrumentación y control industrial.

Esta práctica se centra en las configuraciones básicas de los amplificadores operacionales: inversor, no inversor, sumador, restador, integrador, derivador y seguidor de voltaje. Cada una de estas configuraciones tiene un papel único en el procesamiento de señales, y su comprensión es crucial para cualquier estudiante o profesional en electrónica. A través de esta práctica, se busca no solo entender cómo funcionan estas configuraciones, sino también observar y analizar su comportamiento en un entorno práctico.

Uno de los objetivos principales de esta práctica es reforzar los conocimientos teóricos adquiridos en clase y aplicarlos en un laboratorio. Por ejemplo, se explorará cómo un amplificador inversor puede cambiar la polaridad de una señal mientras amplifica su amplitud, y cómo un amplificador no inversor mantiene la misma polaridad mientras amplifica la señal de entrada. Además, los circuitos sumador y restador mostrarán cómo es posible realizar operaciones matemáticas directamente en el dominio eléctrico, lo que tiene aplicaciones importantes en sistemas de control y procesamiento de audio.

Por otro lado, los amplificadores integrador y derivador introducen conceptos más avanzados, como la relación entre el tiempo y el procesamiento de señales. Estos circuitos son esenciales en el diseño de filtros analógicos y sistemas de control, donde la integración y la derivación de señales son operaciones comunes. Además, se analizará el seguidor de voltaje, un circuito que proporciona aislamiento entre etapas sin alterar la amplitud de la señal, una característica esencial para evitar interferencias y pérdida de calidad en los sistemas electrónicos.

En esta práctica, se emplearán amplificadores operacionales LM741, uno de los modelos más utilizados en la enseñanza de la electrónica debido a su simplicidad y versatilidad. También se utilizarán resistencias, capacitores, un protoboard para el armado de circuitos y equipos de medición como multímetros, osciloscopios y generadores de funciones. Estos materiales y herramientas permitirán construir y analizar los circuitos, observando su comportamiento bajo diferentes condiciones.

Los amplificadores operacionales no solo son componentes esenciales para el diseño de circuitos analógicos, sino que también desempeñan un papel crucial en la conversión de señales analógicas a digitales y viceversa. Por ejemplo, son fundamentales en circuitos de acondicionamiento de señales que preparan las entradas para sistemas de adquisición de datos, donde se necesita precisión y un rango de señal adecuado.

Una característica importante de los amplificadores operacionales es su capacidad para trabajar con retroalimentación negativa, que permite un control preciso de la ganancia y minimiza las distorsiones

no lineales. Este principio es la base de muchas aplicaciones, desde la estabilización de voltajes en fuentes de alimentación hasta el diseño de osciladores y filtros activos de alta calidad.

Aunque la práctica se centra en configuraciones básicas, como el inversor y el no inversor, estas forman la base para diseños más avanzados. Por ejemplo, al combinar estas configuraciones con resistencias y capacitores adicionales, es posible crear filtros activos de diferentes tipos (pasa bajas, pasa altas, banda, etc.), los cuales son esenciales en sistemas de telecomunicaciones y procesamiento de señales.

Otra aplicación práctica es el diseño de circuitos comparadores, donde los amplificadores operacionales, en lazo abierto, pueden usarse para detectar cambios rápidos en señales de entrada y generar respuestas digitales. Esto es crucial en sistemas de control, como termostatos y circuitos de protección de sobrecarga.

En un entorno ideal, los amplificadores operacionales se describen con características como ganancia infinita, resistencia de entrada infinita y resistencia de salida nula. Sin embargo, en la práctica, estos valores están limitados. Factores como el desplazamiento de voltaje de entrada, el ruido y la velocidad de respuesta pueden afectar el rendimiento del circuito. Durante esta práctica, se podrán observar estas limitaciones en la comparación entre simulaciones y resultados experimentales.

Por ejemplo, el desplazamiento de voltaje puede causar errores en circuitos de alta precisión, como integradores y derivadores, si no se compensan adecuadamente. Del mismo modo, el ruido generado por componentes activos y pasivos puede afectar la calidad de la señal procesada.

Los amplificadores operacionales son una herramienta indispensable en la caja de herramientas de cualquier ingeniero electrónico. Desde diseñar fuentes de alimentación reguladas hasta construir sistemas complejos de control, estos dispositivos permiten a los estudiantes adquirir habilidades prácticas que serán fundamentales en su carrera. Además, el entendimiento de los principios detrás de su funcionamiento prepara a los estudiantes para explorar tecnologías más avanzadas, como circuitos integrados de propósito específico (ASICs) o sistemas basados en FPGA.

Esta práctica, al integrar teoría, simulación y experimentación, no solo enseña los fundamentos técnicos, sino que también fomenta la resolución de problemas y la creatividad en el diseño de sistemas electrónicos, habilidades esenciales en el ámbito profesional.

Un aspecto importante de esta práctica es la comparación entre los resultados experimentales y las simulaciones realizadas en software especializado. Las simulaciones ofrecen un entorno ideal donde los componentes son "perfectos", lo que permite establecer un punto de referencia para los resultados experimentales. Sin embargo, en un entorno real, los componentes tienen limitaciones como tolerancias en sus valores, ruido y variaciones en las señales. Comparar estos dos mundos ayuda a comprender cómo los factores del mundo real afectan el desempeño de los circuitos y cómo optimizar su diseño.

Durante el desarrollo de la práctica, los estudiantes también tendrán la oportunidad de trabajar con herramientas de medición avanzadas. El osciloscopio, por ejemplo, es esencial para visualizar las señales de entrada y salida, permitiendo analizar características como la amplitud, la frecuencia y el desfase entre las señales. El generador de funciones, por su parte, proporciona señales de prueba con características específicas, como ondas senoidales, cuadradas o triangulares, que son necesarias para estudiar el comportamiento de los circuitos.

Además, se espera que los estudiantes identifiquen y comprendan conceptos clave como la ganancia del amplificador, la inversión de fase, la saturación y el concepto de tierra virtual. Estos conceptos no solo

son fundamentales para entender cómo funcionan los amplificadores operacionales, sino que también tienen aplicaciones prácticas en el diseño y análisis de sistemas electrónicos.

Finalmente, esta práctica fomenta el desarrollo de habilidades esenciales para los futuros ingenieros, como la capacidad de analizar problemas, realizar mediciones precisas, interpretar datos y trabajar en equipo. A través de este enfoque práctico, los estudiantes pueden conectar la teoría con la práctica, desarrollando una comprensión más profunda y significativa de los amplificadores operacionales y su importancia en la electrónica moderna.

Esta práctica no solo es una introducción a las configuraciones básicas de los amplificadores operacionales, sino también una oportunidad para desarrollar habilidades técnicas y analíticas que serán esenciales en la carrera profesional de los estudiantes. La combinación de teoría, experimentación y análisis crítico proporcionará una base sólida para enfrentar retos más complejos en el diseño y análisis de sistemas electrónicos.

2. MATERIALES Y EQUIPOS

Material	Equipo
4 Amplificadores Operacionales LM741	1 Protoboard
10 Resistencias de 1 k Ω a ¼ W	1 Fuente de alimentación
2 Resistencias de 2.2 k Ω a ¼ W	1 Multímetro
4 Resistencias de 10 k Ω a ¼ W	1 Generador de funciones
3 Resistencias de 15 k Ω a ¼ W	1 Osciloscopio
5 Resistencias de 100 k Ω a ¼ W	
2 Resistencias de 150 k Ω a ¼ W	1 Cable BNC-Caimán
2 Resistencias de 220 k Ω a ¼ W	2 Cables para Osciloscopio
3 Resistencias de 330 k Ω a ¼ W	2 Puntas para multímetro
2 Resistencias de 4.7 M Ω a ¼ W	4 Cables banana-Caimán
2 Capacitor de 0.01 μ F	
2 Capacitor de 0.0022 μ F	
2 Capacitor de 100 pF	

Nota. La simbología empleada en los circuitos eléctricos está acorde a la norma ANSI Y32.2

3. DESARROLLO

3.1 Amplificador Inversor.

Armar el circuito de la Fig. 5.1, donde V3 es una fuente de voltaje senoidal con una amplitud pico a pico de 1.0 V y una frecuencia de 1 kHz.

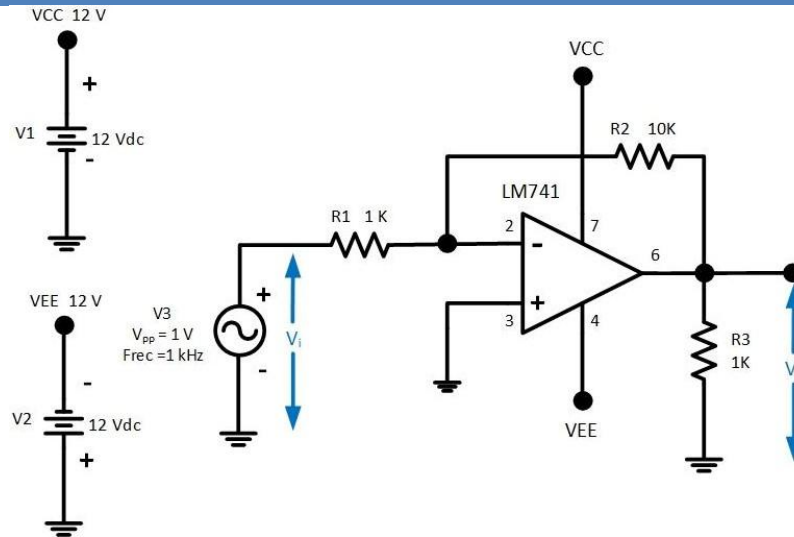
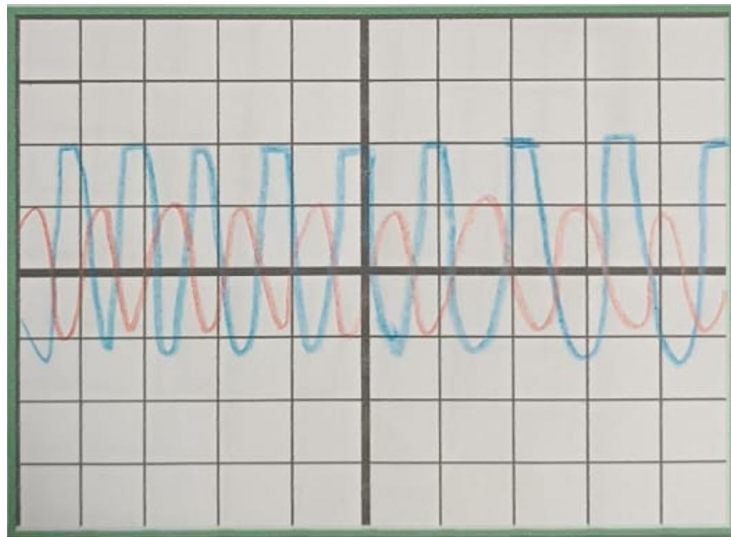


Fig. 5.1. Circuito del Amplificador Inversor.

En el osciloscopio observar el voltaje de entrada (V_i) en el canal 1 y el voltaje de salida (V_o) en el canal 2, comparar la fase del voltaje de entrada y del voltaje de salida, graficar las formas de ondas que se obtienen del circuito en la Fig. 5.2 y obtener los datos solicitados en la Tabla 5.1.



1V/div canal 1 5 V/div canal 2 1mseg/div

Fig. 5.2. Gráfica de las señales de entrada y de salida del circuito del Amplificador Inversor.

Tabla 5.1 Valores del Amplificador Inversor

Entrada (V_i)	Salida (V_o)	Ganancia
1.07	11v	10.28v

3.2 Amplificador No Inversor.

Armar el circuito de la Fig. 5.3, donde V3 es una fuente de voltaje senoidal con una amplitud pico a pico de 1.0 V y una frecuencia de 1 kHz.

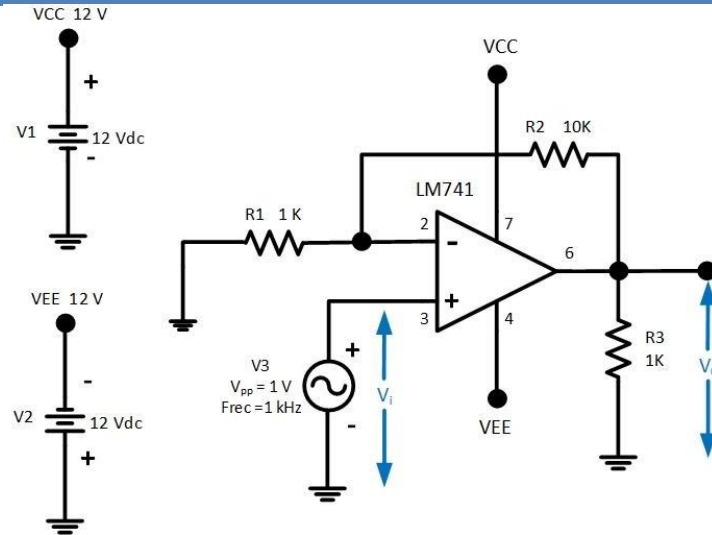
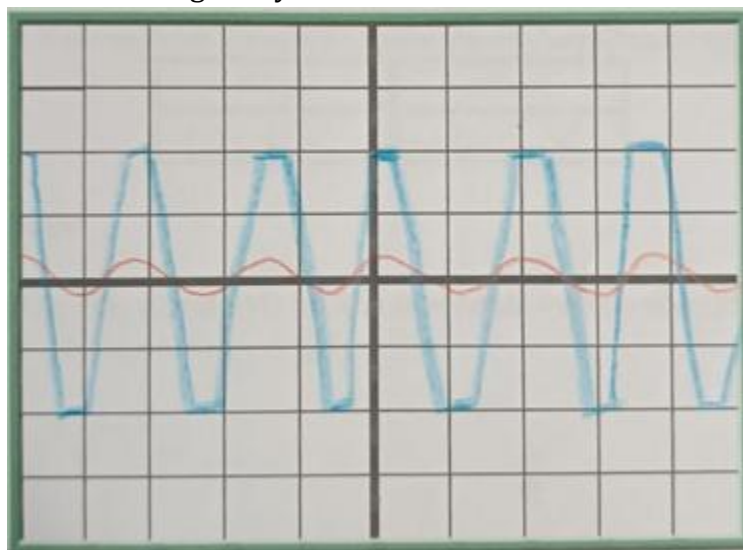


Fig. 5.3. Circuito del Amplificador No Inversor.

En el osciloscopio observar el voltaje de entrada (V_i) en el canal 1 y en el canal 2 el voltaje de salida (V_o), comparar la fase del voltaje de entrada y del voltaje de salida, graficar las formas de ondas que se obtienen del circuito en la Fig. 5.4 y obtener los datos solicitados en la Tabla 5.2.



5V/div canal 1 5 V/div canal 2 1mseg/div

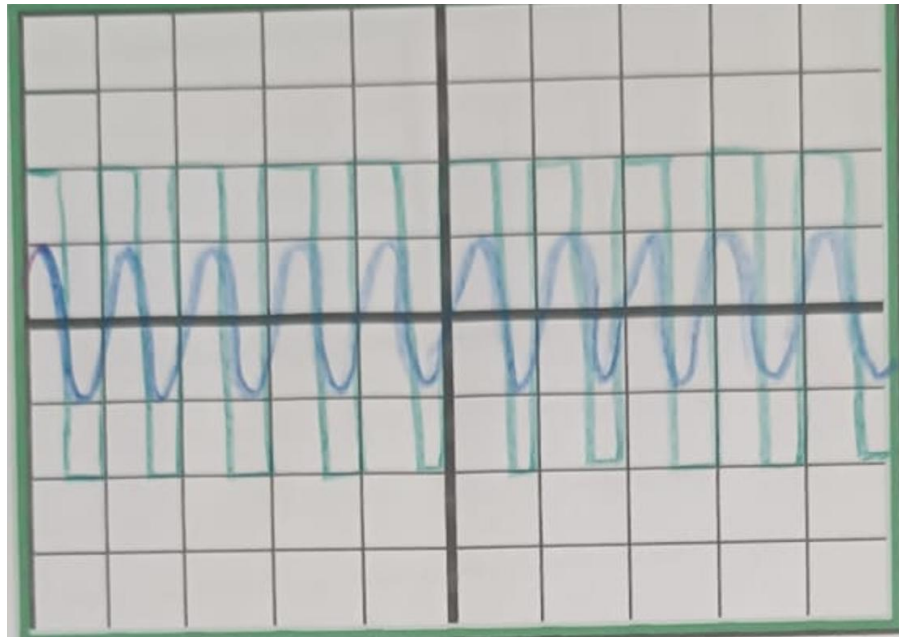
Fig. 5.4. Gráfica de las señales de entrada y de salida del circuito del Amplificador No Inversor.

Tabla 5.2. Valores del Amplificador No Inversor

Entrada (V_i)	Salida (V_o)	Ganancia
1.07	12.4v	11.58v

Aumentar la amplitud de la fuente de voltaje senoidal V3 a 5.0 V_{pp} a una frecuencia de 1 kHz (V_i).

En el osciloscopio observar el voltaje de entrada (V_i) en el canal 1 y el voltaje de salida (V_o) en el canal 2, graficar las formas de ondas que se obtienen del circuito en la Fig. 5.5 y obtener el voltaje de saturación positiva ($+V_{sat}$) y el voltaje de saturación negativa ($-V_{sat}$) en la Tabla 5.3.



5V/div canal 1 5V/div canal 2 1mseg/div

Fig. 5.5. Gráfica de las señales de entrada y de salida del circuito del Amplificador No Inversor Saturada.

Tabla 5.3. Valores de los voltajes de saturación del Amplificador Operacional.

$+V_{sat}$	$-V_{sat}$
10.4	-10.8

3.3 Seguidor de Voltaje

Armar el circuito de la Fig. 5.6, donde V3 es una fuente de voltaje senoidal con una amplitud pico a pico de 1.0 V y una frecuencia de 1 kHz.

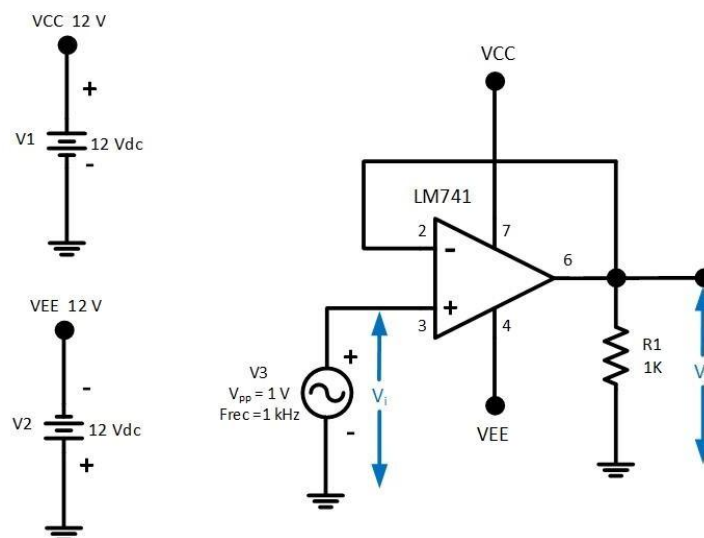
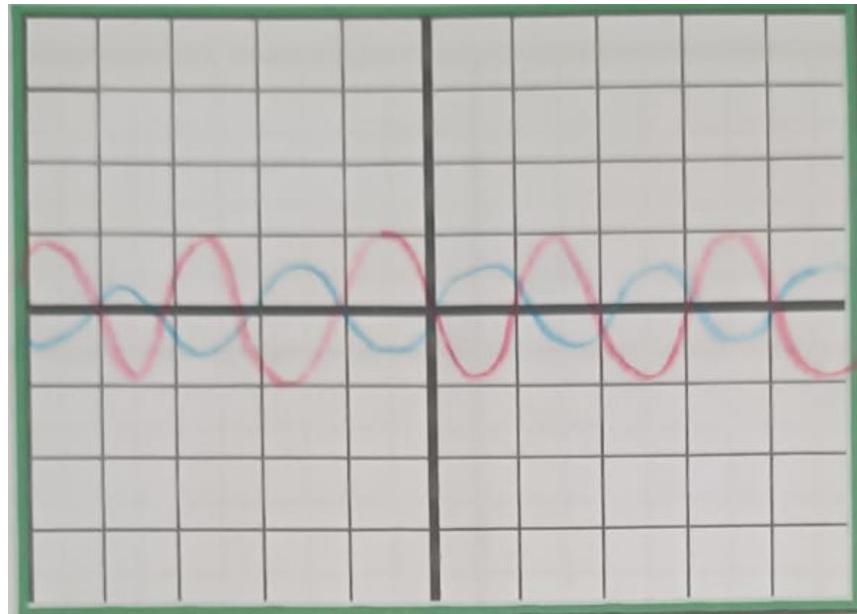


Fig. 5.6. Circuito del Seguidor de Voltaje.

En el osciloscopio observar el voltaje de entrada (V_i) en el canal 1 y el voltaje de salida (V_o) en el canal 2, comparar la fase del voltaje de entrada y de salida, graficar las formas de ondas que se obtienen del circuito en la Fig. 5.7 y obtener los datos solicitados en la Tabla 5.4.



0.2V/div canal 1 0.05 V/div canal 2 mseg/div

Fig. 5.7. Gráfica de las señales de entrada y de salida del circuito del Seguidor de Voltaje.

Tabla 5.4. Valores del Seguidor de Voltaje.

Entrada (V_i)	Salida (V_o)	Ganancia
1v	1.09	1.09v

3.4 Amplificador Sumador

Armar el circuito de la Fig. 5.8, donde V3 es una fuente de voltaje senoidal con una amplitud pico a pico de 1.0 V y una frecuencia de 1 kHz.

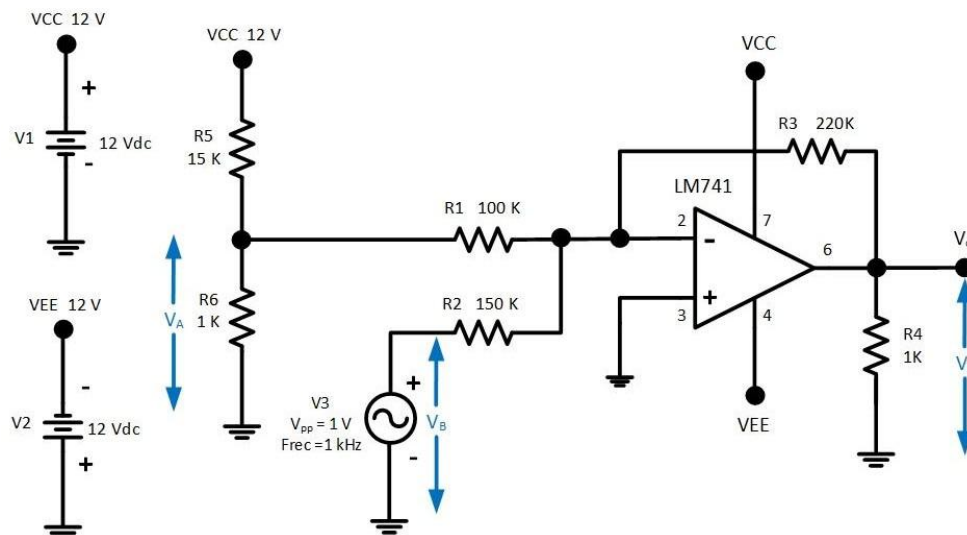
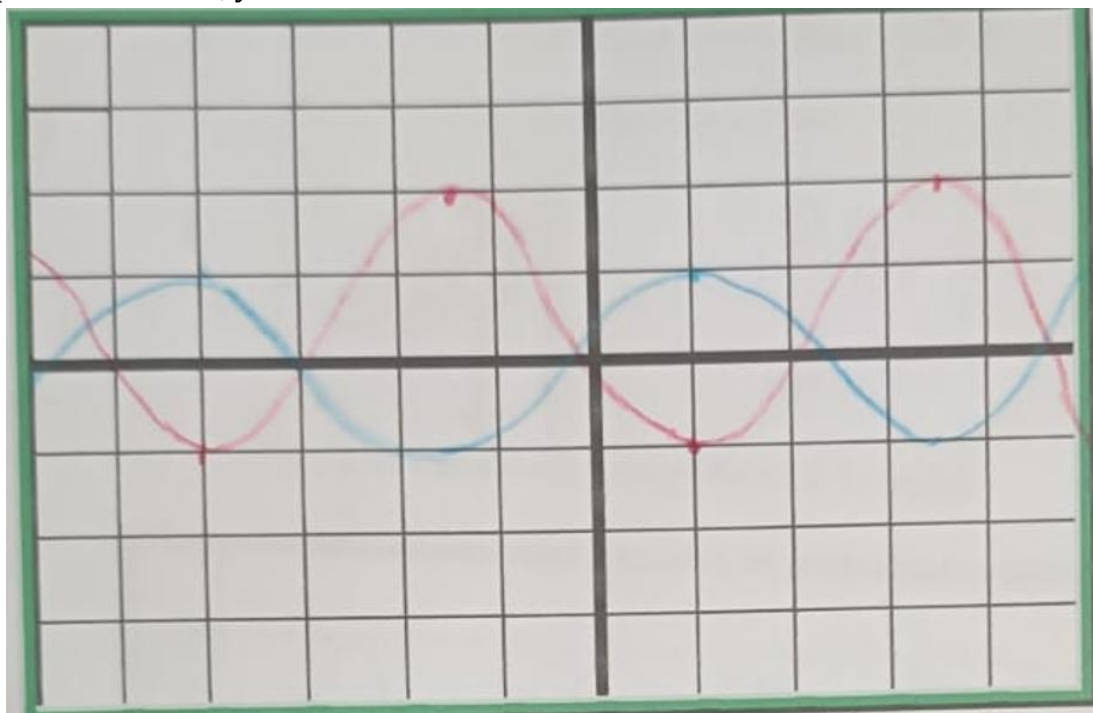


Fig. 5.8 Circuito del Amplificador Sumador.

Medir el voltaje de entrada (V_A) mediante el multímetro en la opción de DC, en el osciloscopio observar el voltaje de entrada (V_B) en el canal 1 y el voltaje de salida (V_O) en el canal 2, graficar las formas de ondas que se obtienen del circuito en la Fig. 5.9, considerando las entradas del Osciloscopio en modo CD, y obtener los datos solicitados en la Tabla 5.5.



0.5V/div canal 1 0.5V/div canal 2 200mseg/div

Fig. 5.9. Gráfica de las señales de entrada y de salida del circuito del Amplificador Sumador.

Tabla 5.5. Valores del Amplificador Sumador.

Entrada (V_A)	Entrada (V_B)	Salida (V_O)	Ganancia de (V_A)	Ganancia de (V_B)
0.748v	1.07v	1.54v	2.058v	1.43v

3.5 Amplificador Restador

Armar el circuito de la Fig. 5.10, donde V_3 es una fuente de voltaje senoidal con una amplitud pico a pico de 1.0 V, con un voltaje de offset de 1.5 V y una frecuencia de 1 kHz.

Medir el voltaje de entrada (V_A) mediante el multímetro en la opción de DC, en el osciloscopio observar el voltaje de entrada (V_B) en el canal 1 y el voltaje de salida (V_O) en el canal 2, graficar las formas de ondas que se obtienen del circuito en la Fig. 5.11, considerando las entradas del Osciloscopio en modo CD, y obtener los datos solicitados en la Tabla 5.6.

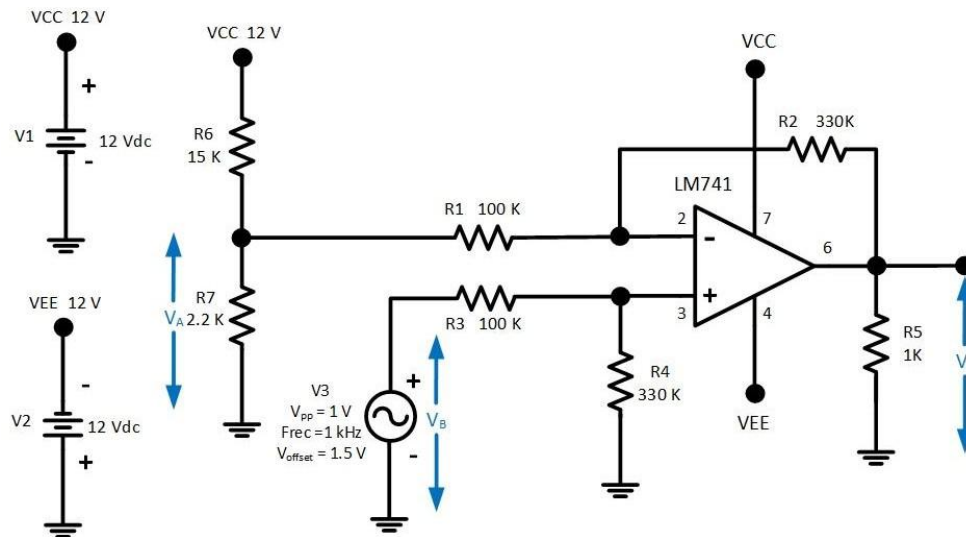
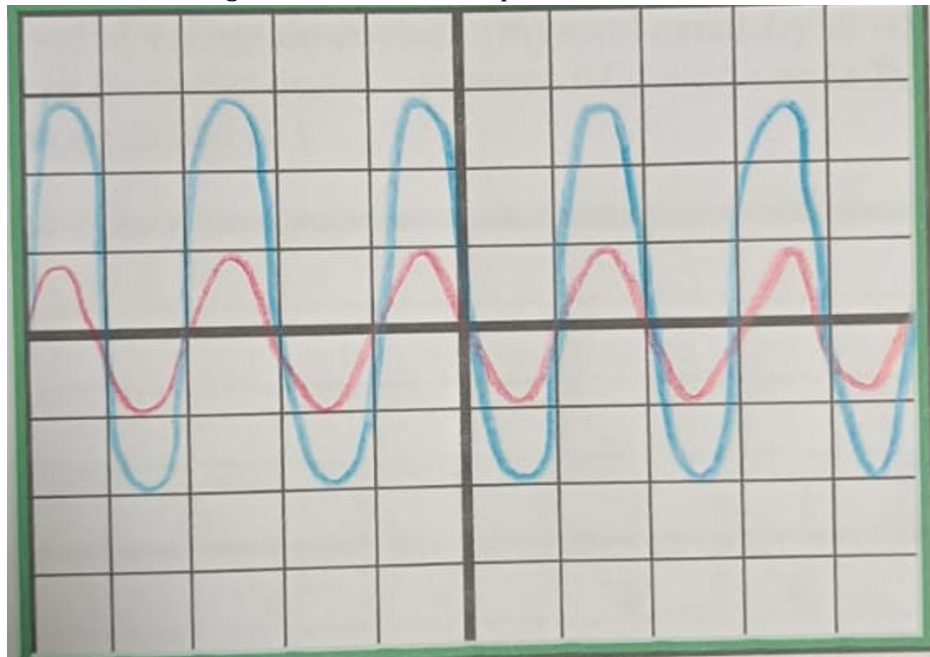


Fig. 5.10. Circuito del Amplificador Restador



_____ V/div canal 1 _____ V/div canal 2 _____ mseg/div

Fig. 5.11. Gráfica de las señales de entrada y de salida del circuito del Amplificador Restador

Tabla 5.6. Valores del Amplificador Restador

Entrada (V_A)	Entrada (V_B)	Salida (V_O)	Ganancia(V_A, V_B)
1.546v	1.24v	4.07v	2.63V, 3.28V

3.6 Integrador

Armar el circuito de la Fig. 5.12, donde V3 es una fuente de voltaje cuadrada con una amplitud pico a pico de 1.0 V y una frecuencia de 1 kHz.

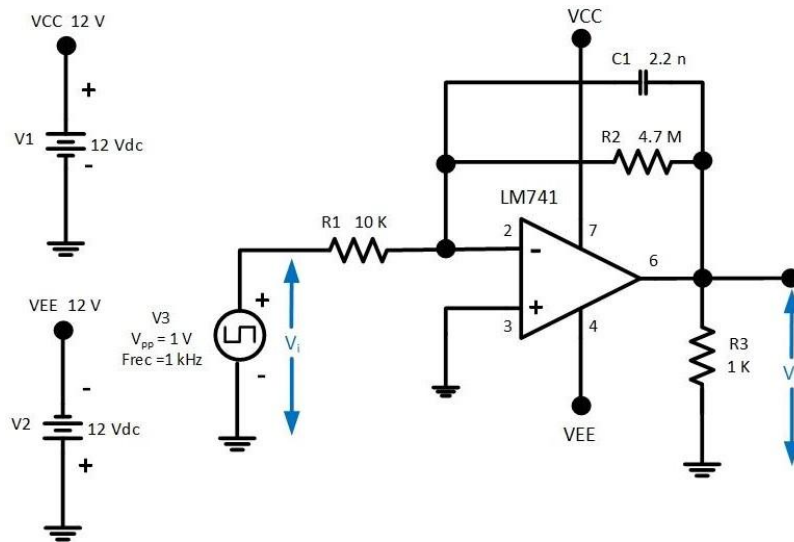
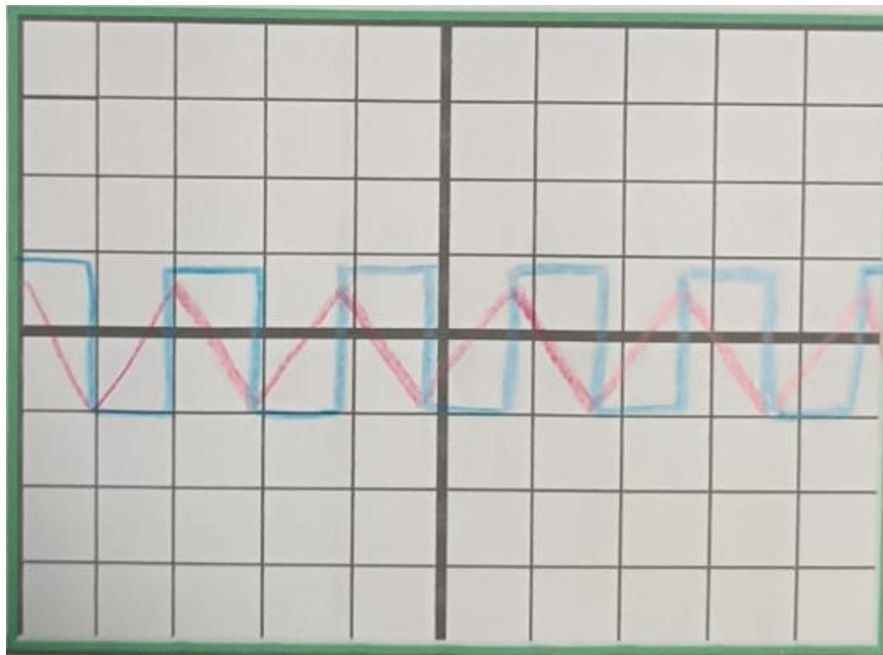


Fig. 5.12. Circuito del Integrador.

En el osciloscopio observar el voltaje de entrada (V_i) en el canal 1 y el voltaje de salida (V_o) en el canal 2, graficar las formas de ondas que se obtienen del circuito en la Fig. 5.13, considerando las entradas del Osciloscopio en modo CD.



0.05V/div canal 1 0.05V/div canal 2 500mseg/div

Fig. 5.13. Gráfica de las señales de entrada y de salida del circuito del Integrador

3.7 Derivador

Armar el circuito de la Fig. 5.14, donde V3 es una fuente de voltaje triangular con una amplitud pico a pico de 1.0 V y una frecuencia de 1 kHz.

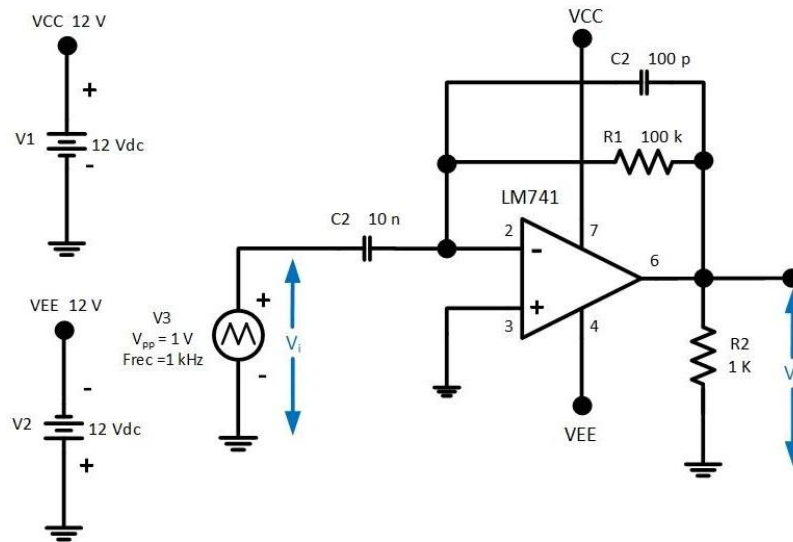
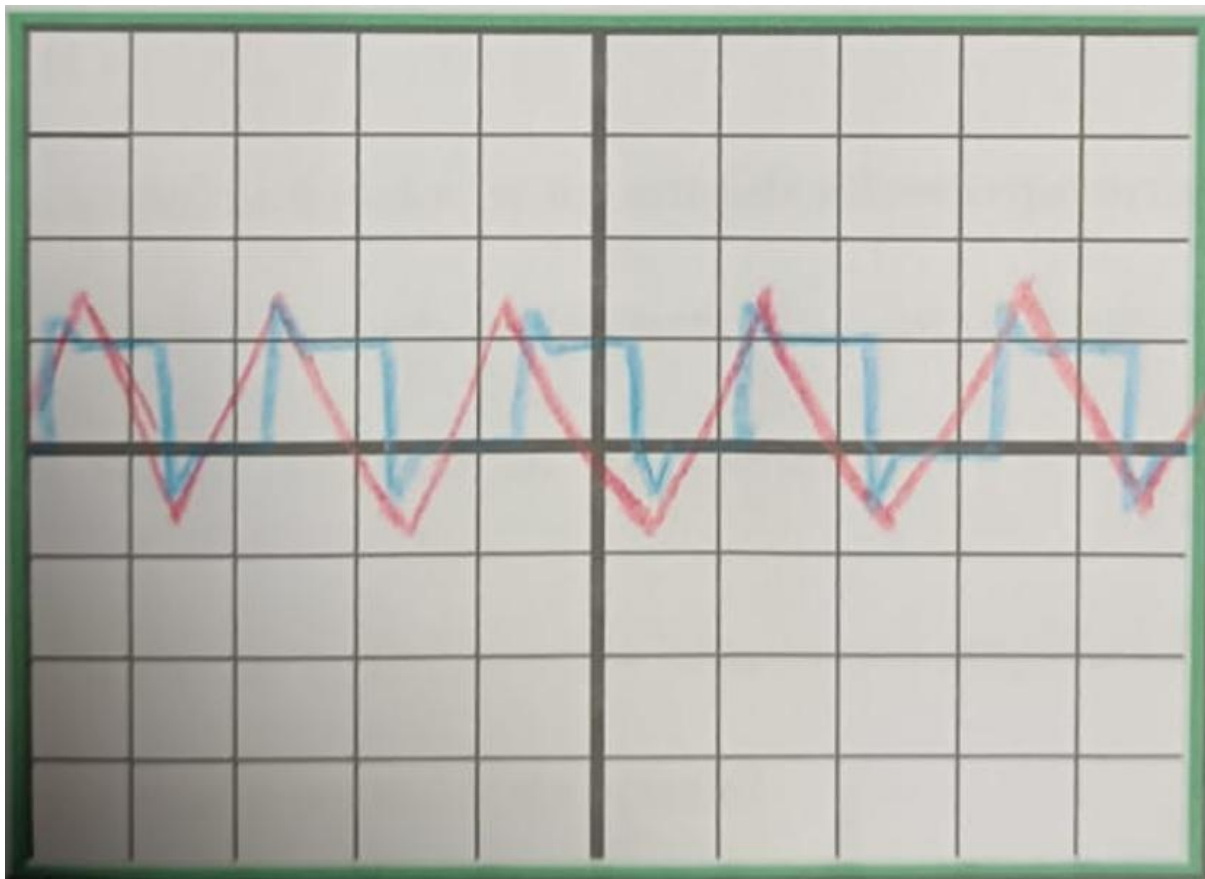


Fig. 5.14. Circuito del Derivador.

En el osciloscopio observar el voltaje de entrada (V_i) en el canal 1 y el voltaje de salida (V_o) en el canal 2, graficar las formas de ondas que se obtienen del circuito en la Fig. 5.15, considerando las entradas del Osciloscopio en modo CD.



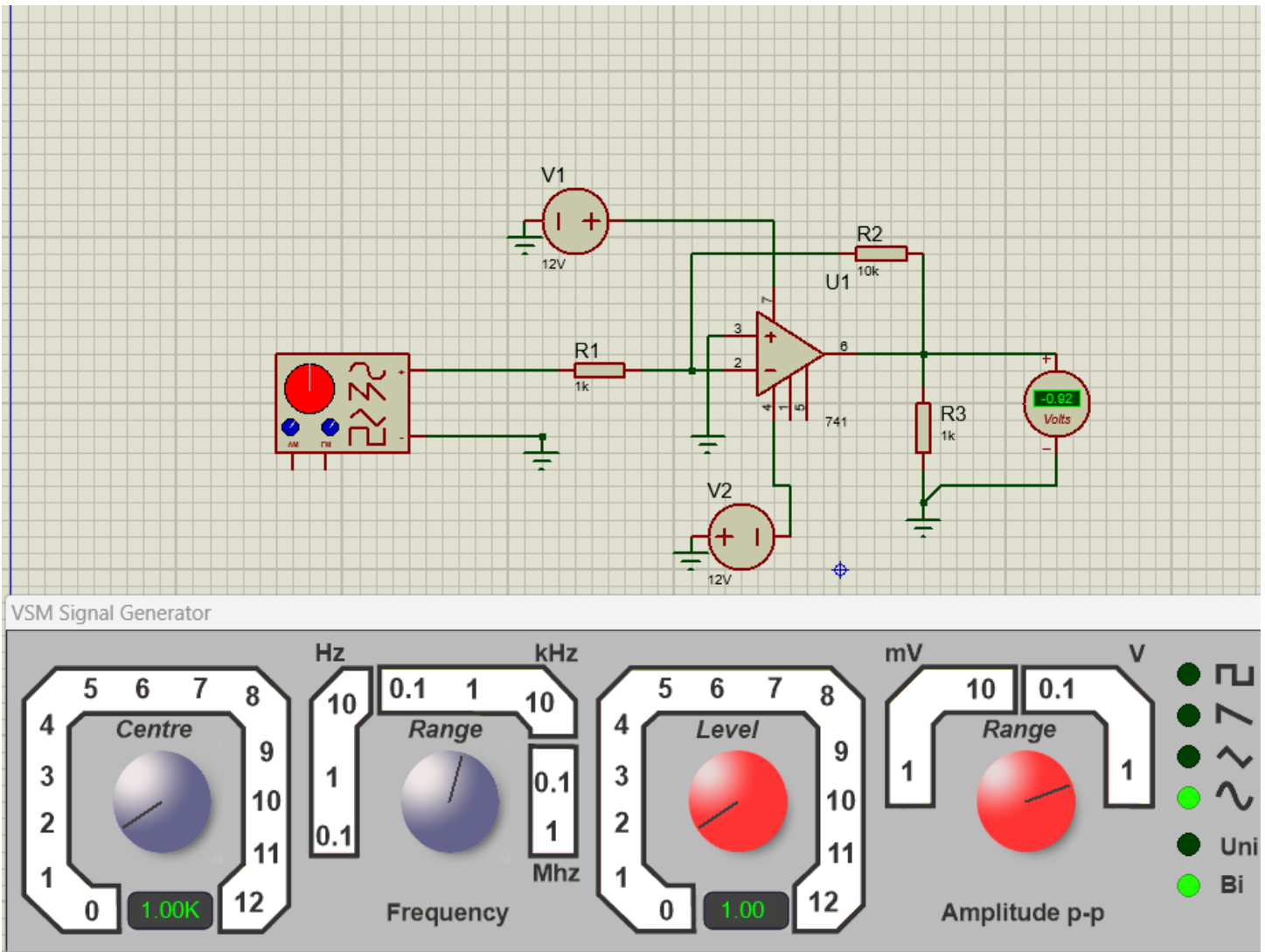
0.2V/div canal 1V/div canal 2 500mseg/div

Fig. 5.15. Gráfica de las señales de entrada y de salida del circuito del Derivador.

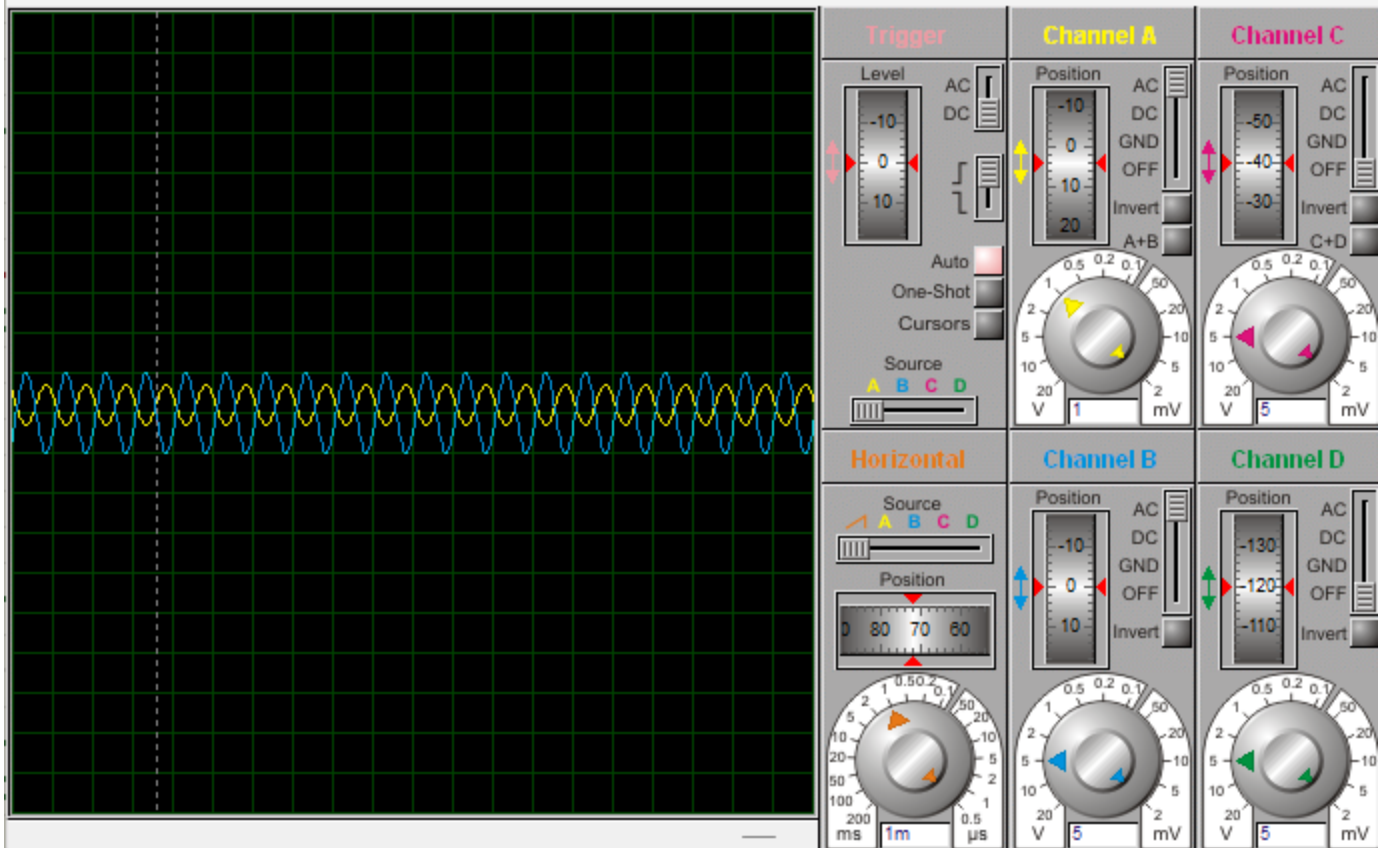
4. SIMULACIONES

Realizar todos los ejercicios desarrollados en el apartado 3 con la ayuda de un Programa de Simulación de Circuitos Electrónicos, registra todos los datos obtenidos de las simulaciones y realiza todas las gráficas de las señales que se obtienen de los circuitos simulados.

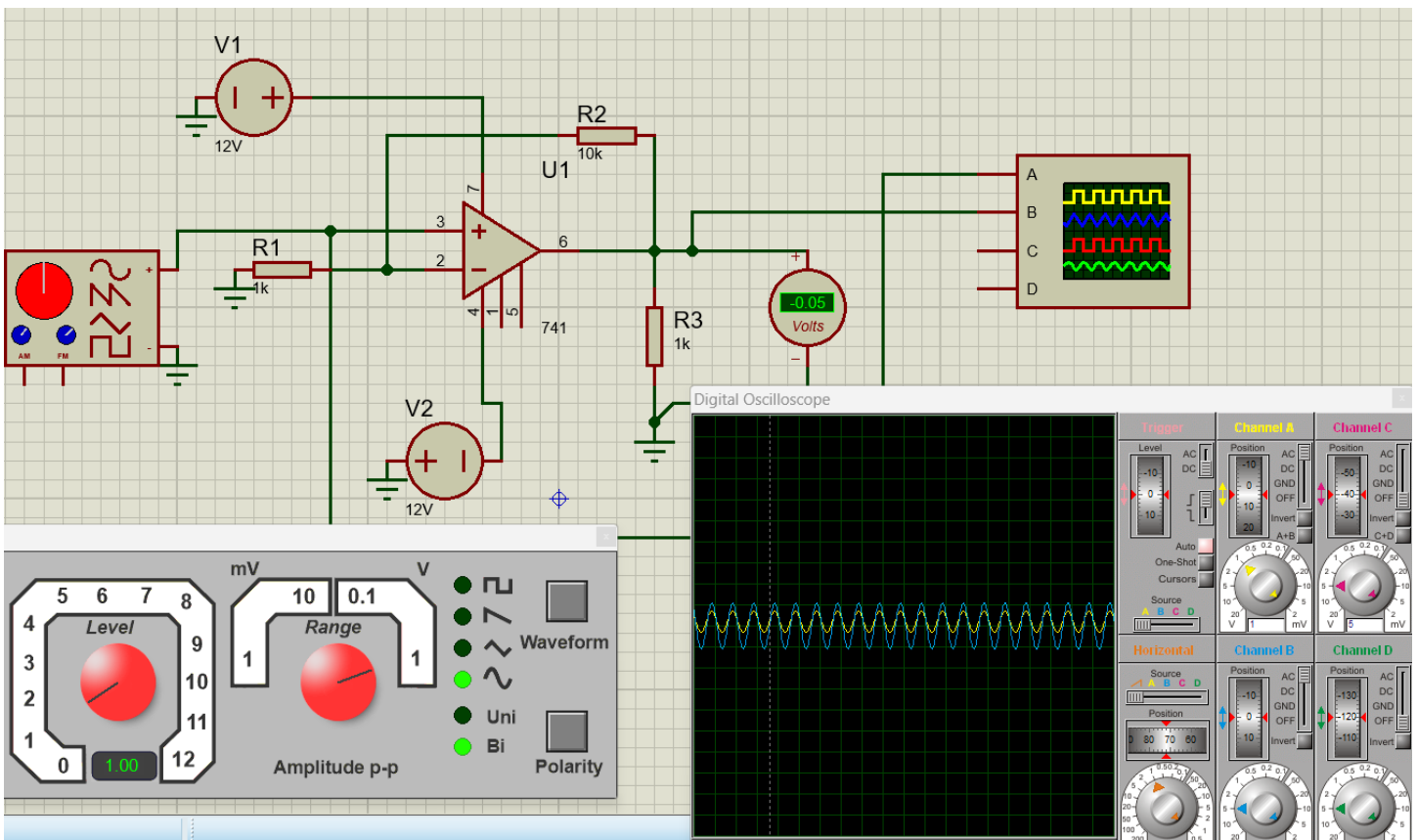
Amplificador Inversor



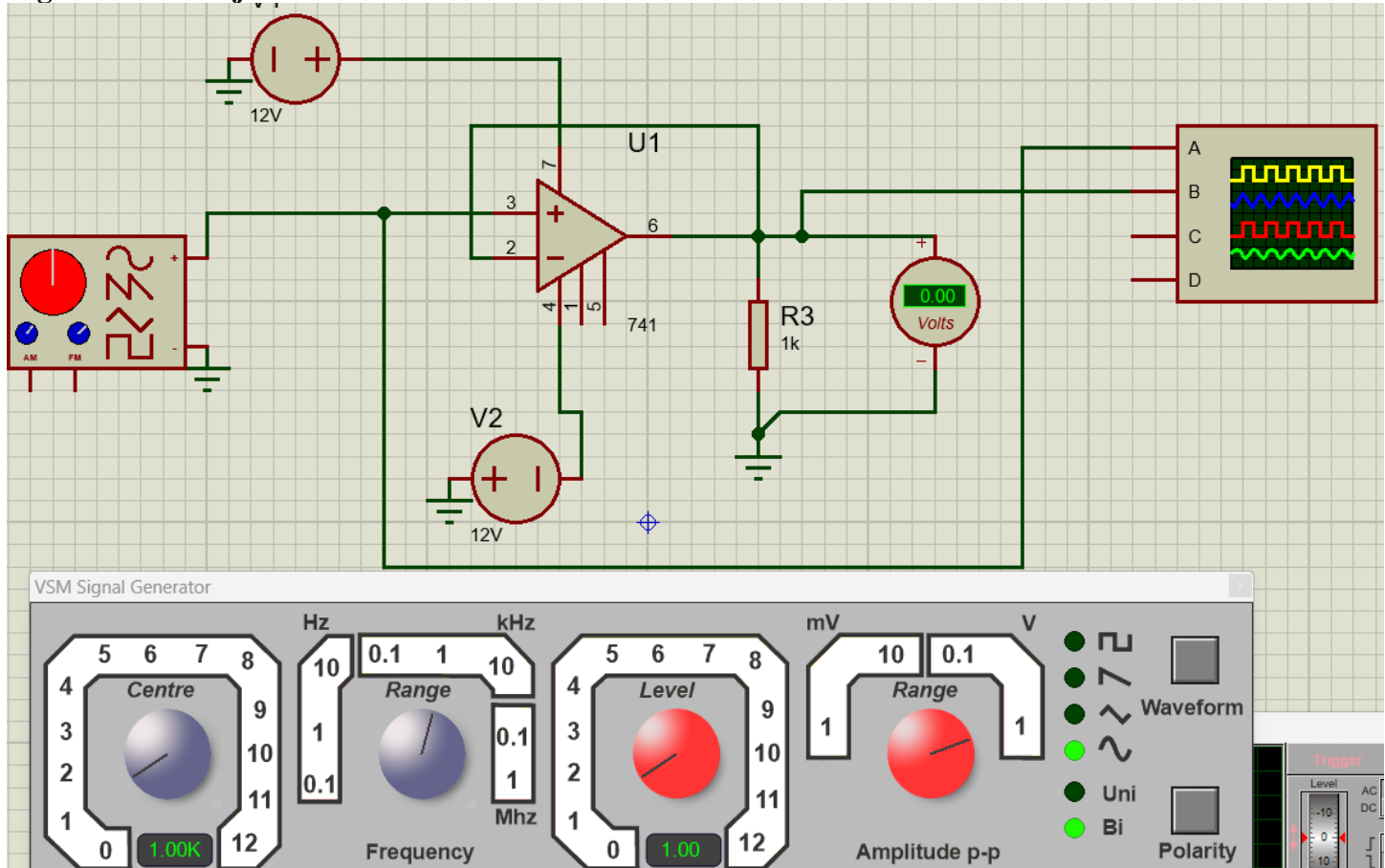
Digital Oscilloscope



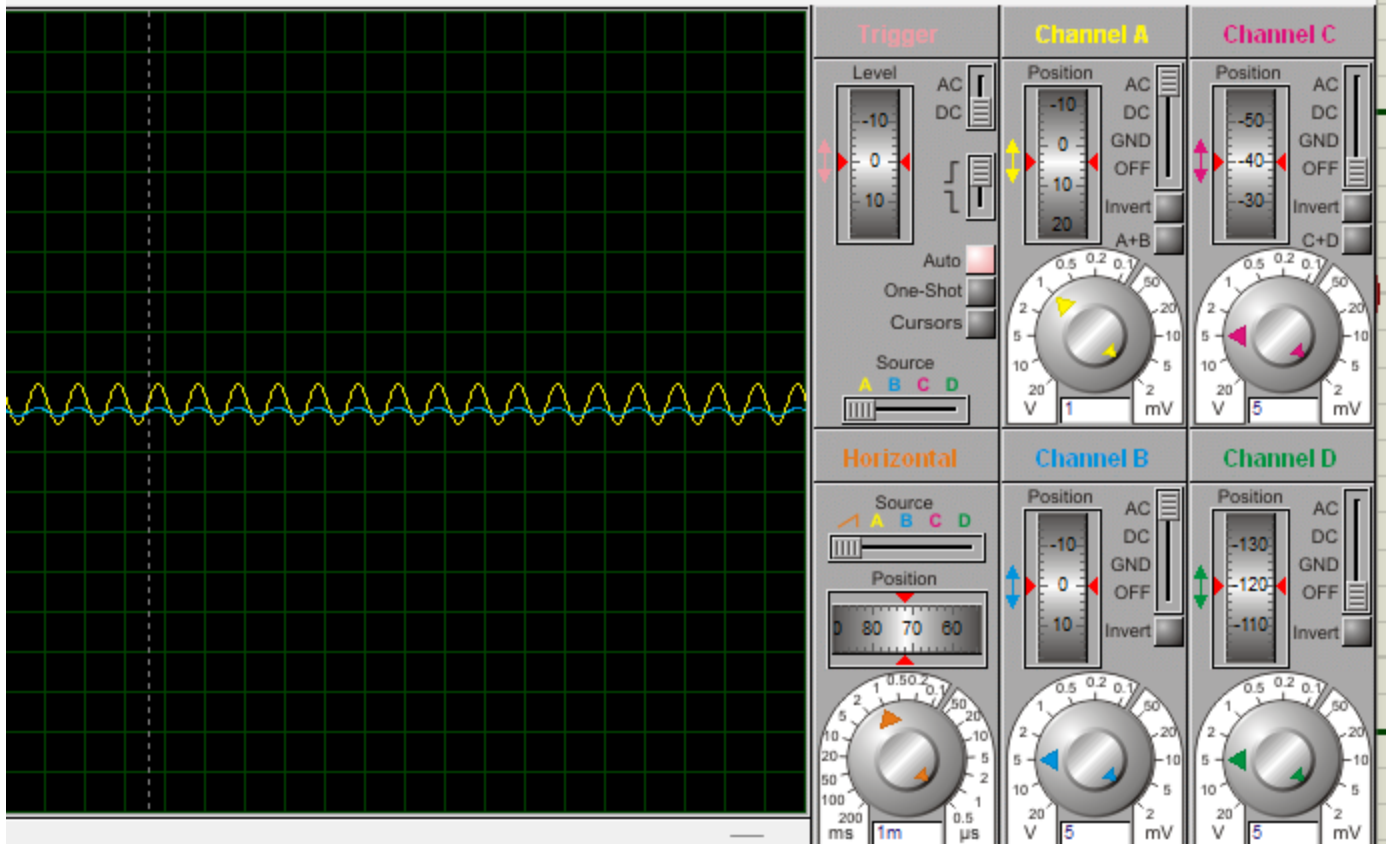
Amplificador no Inversor



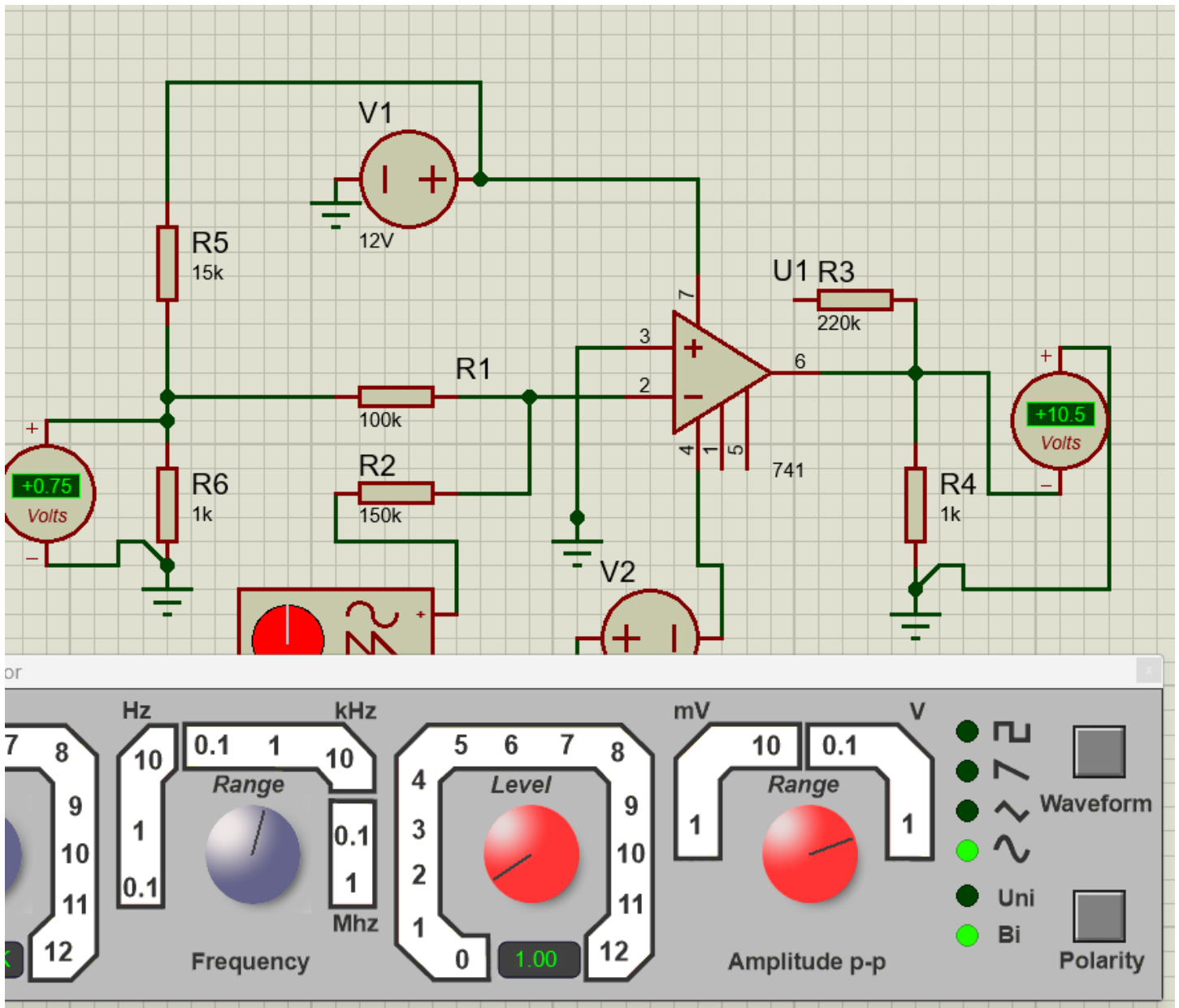
Seguidor de voltaje



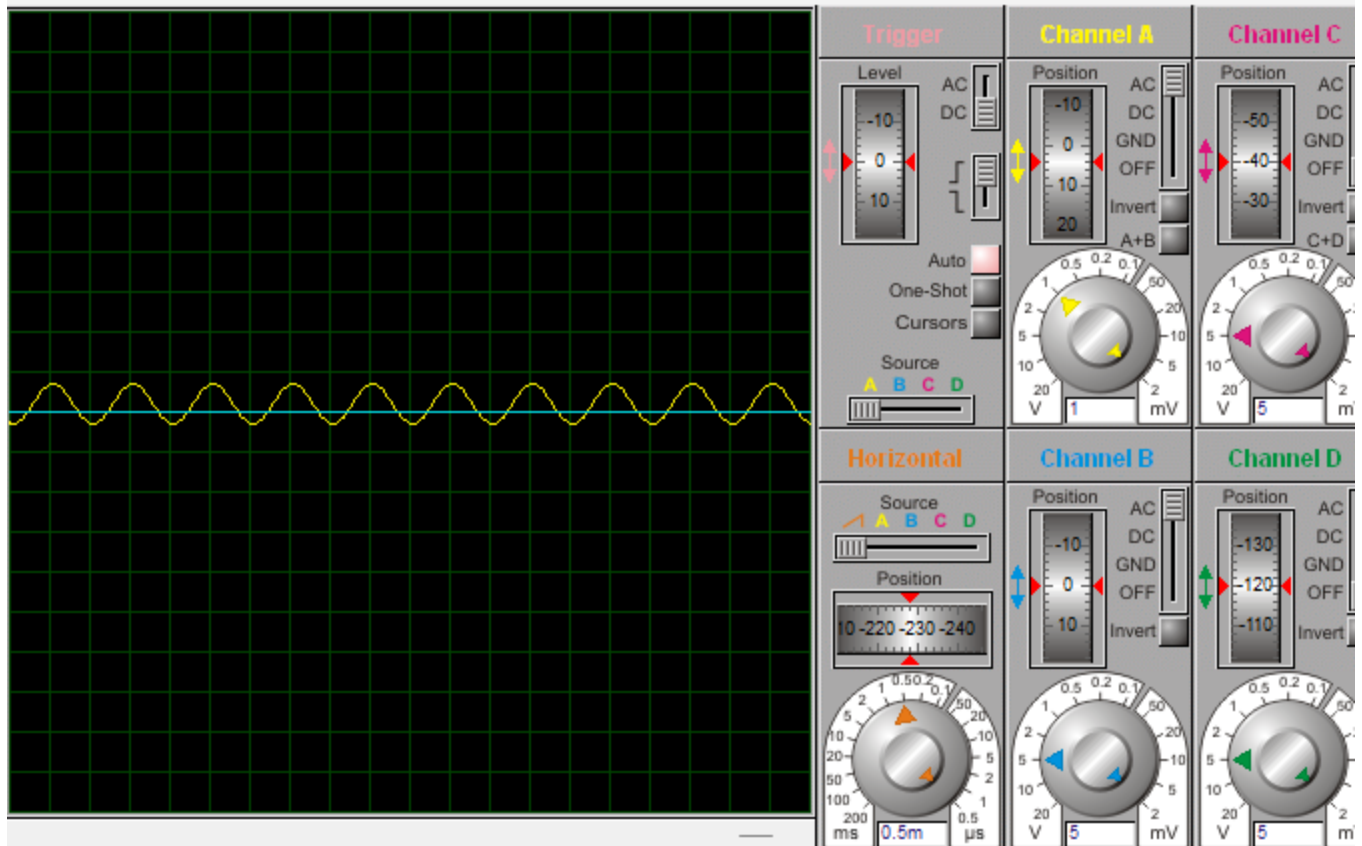
Digital Oscilloscope



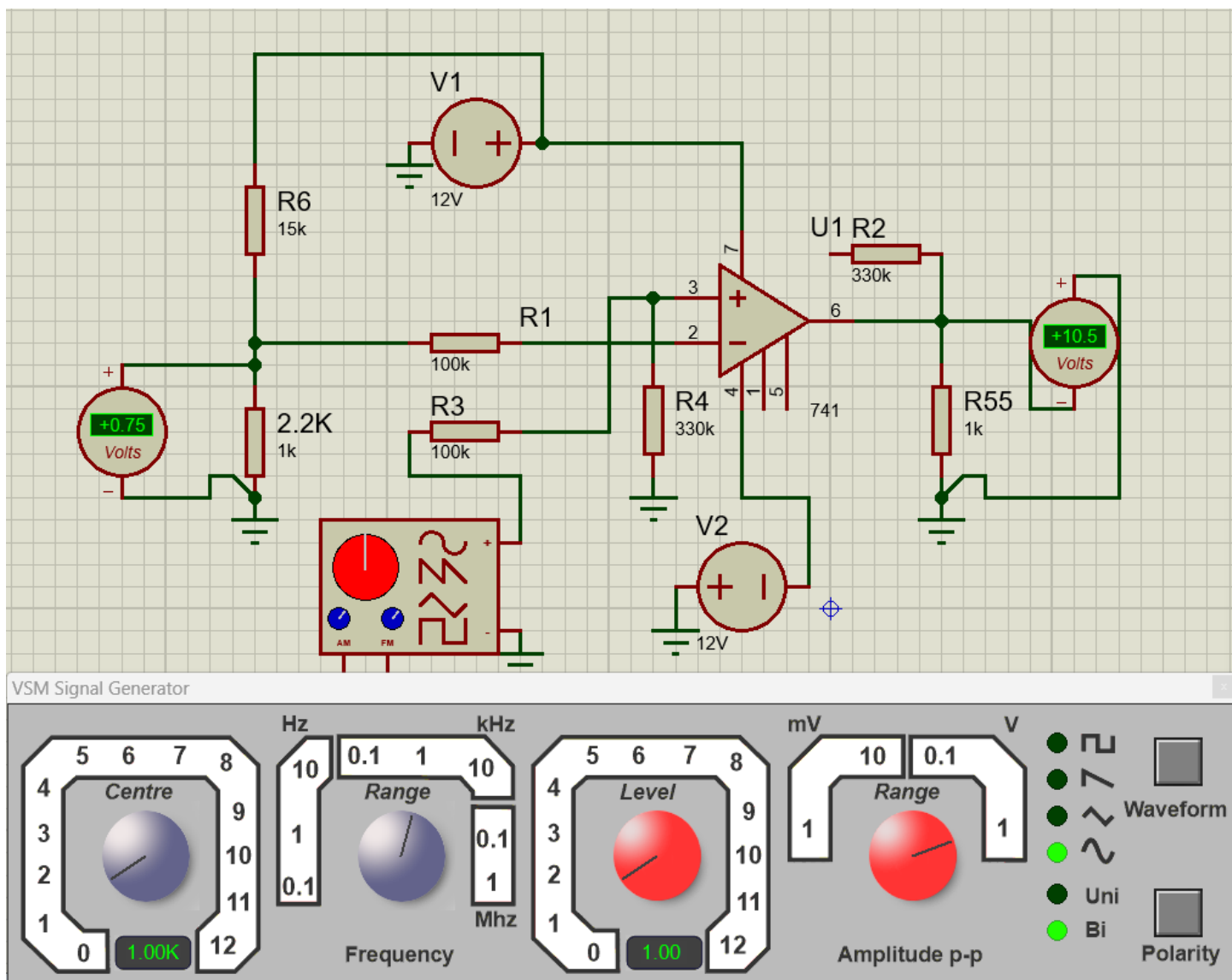
Amplificador Sumador



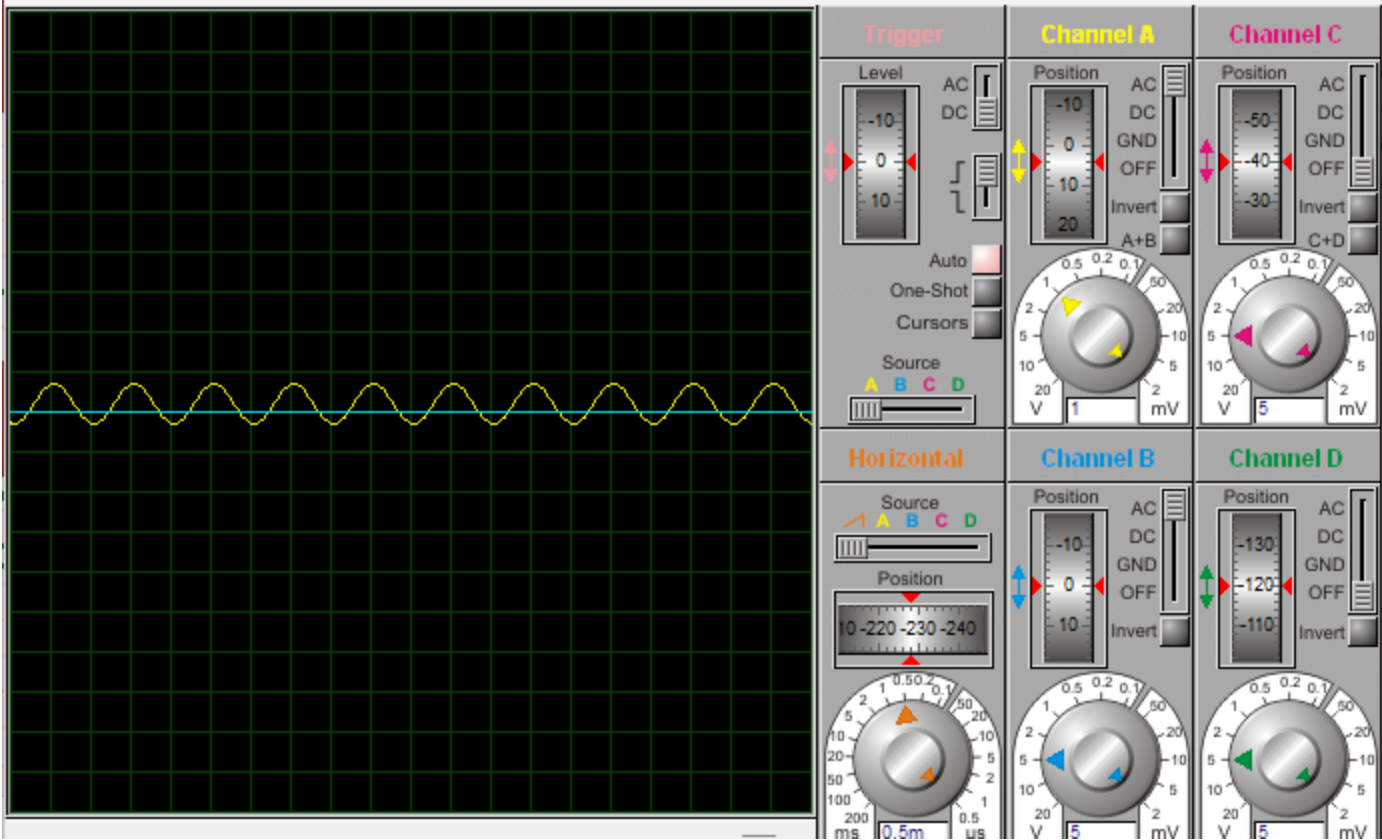
Digital Oscilloscope



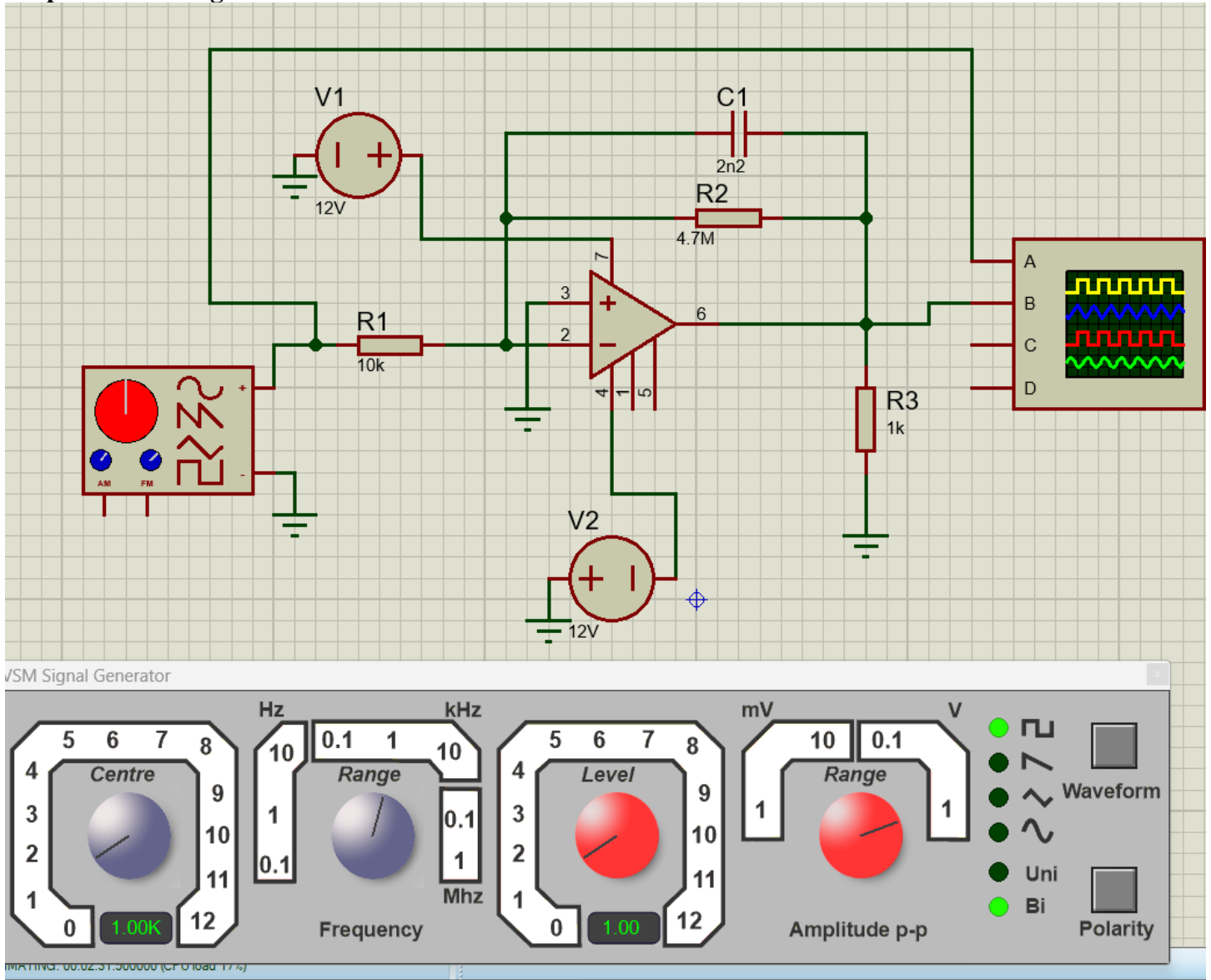
Amplificador Restador



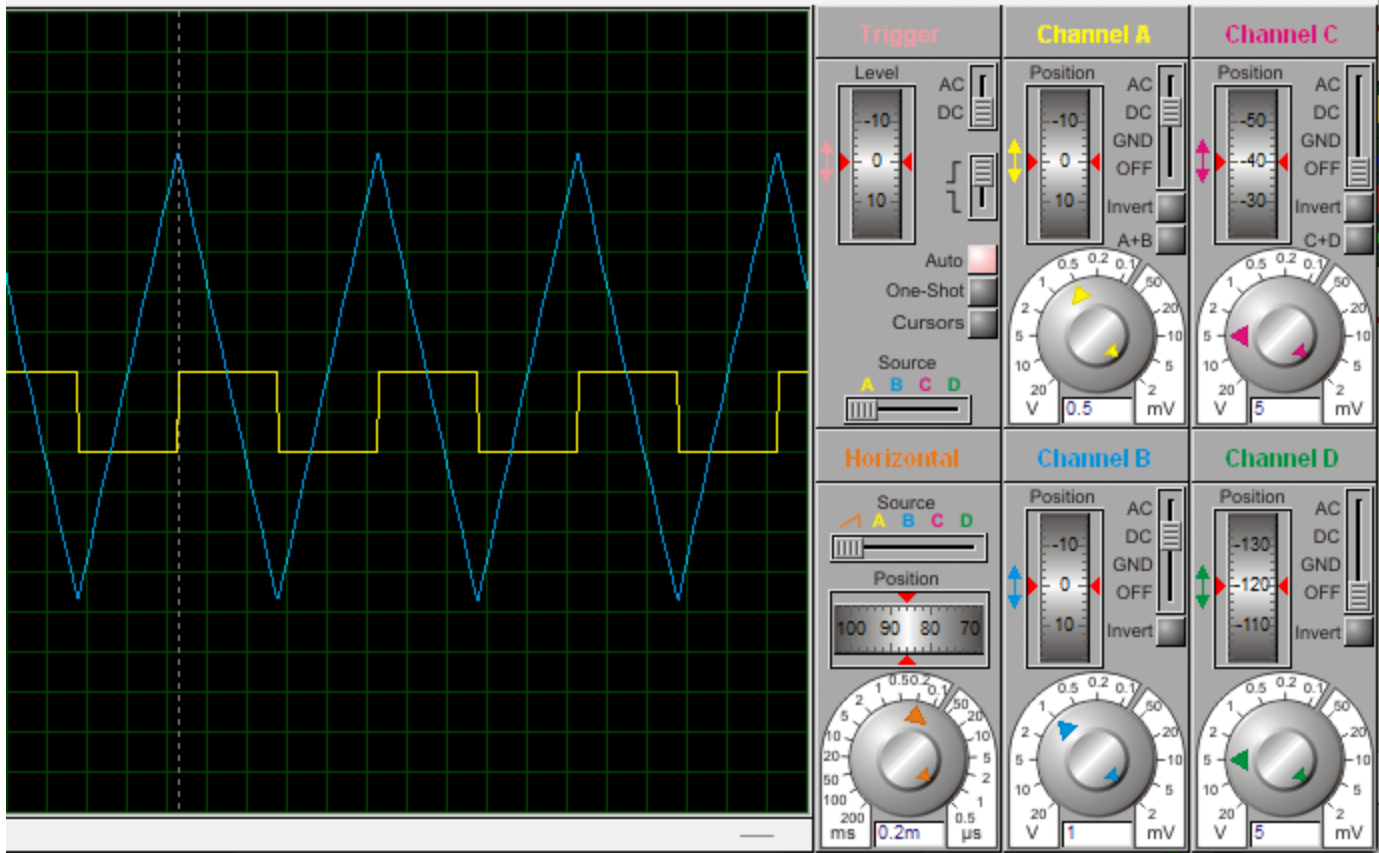
Digital Oscilloscope



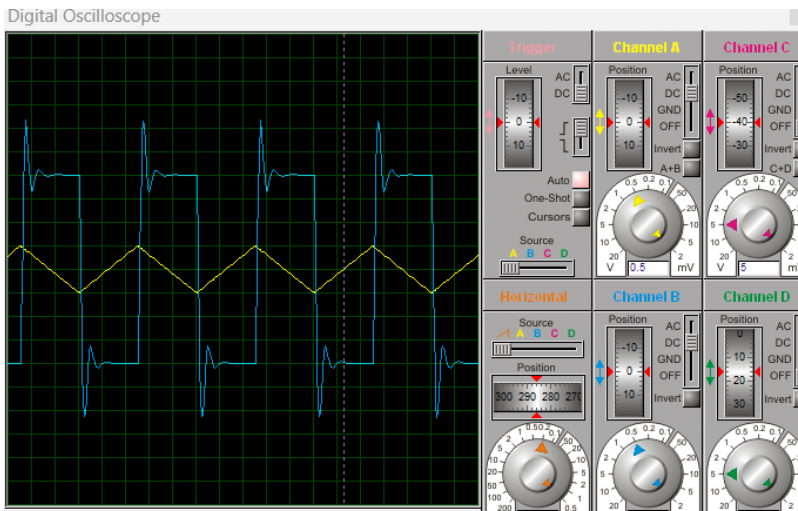
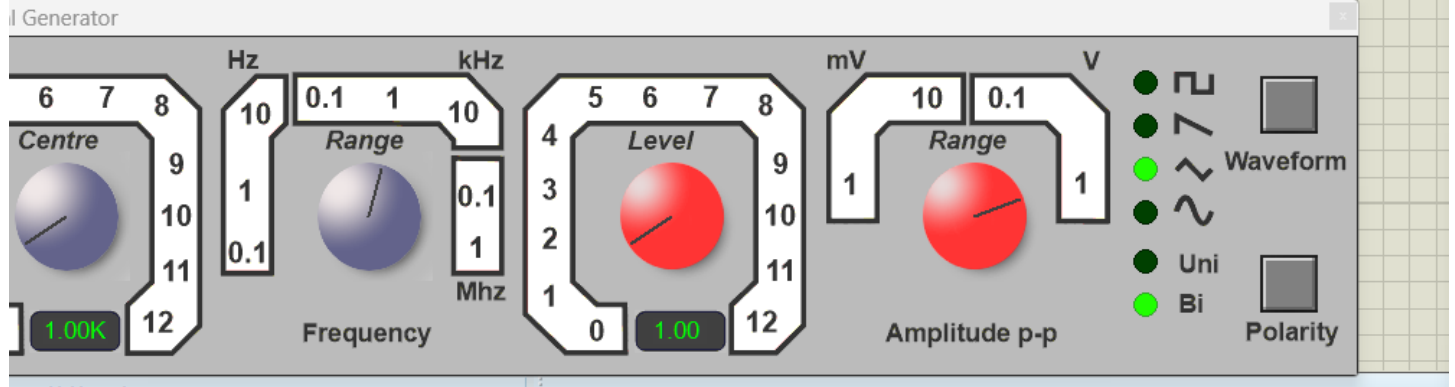
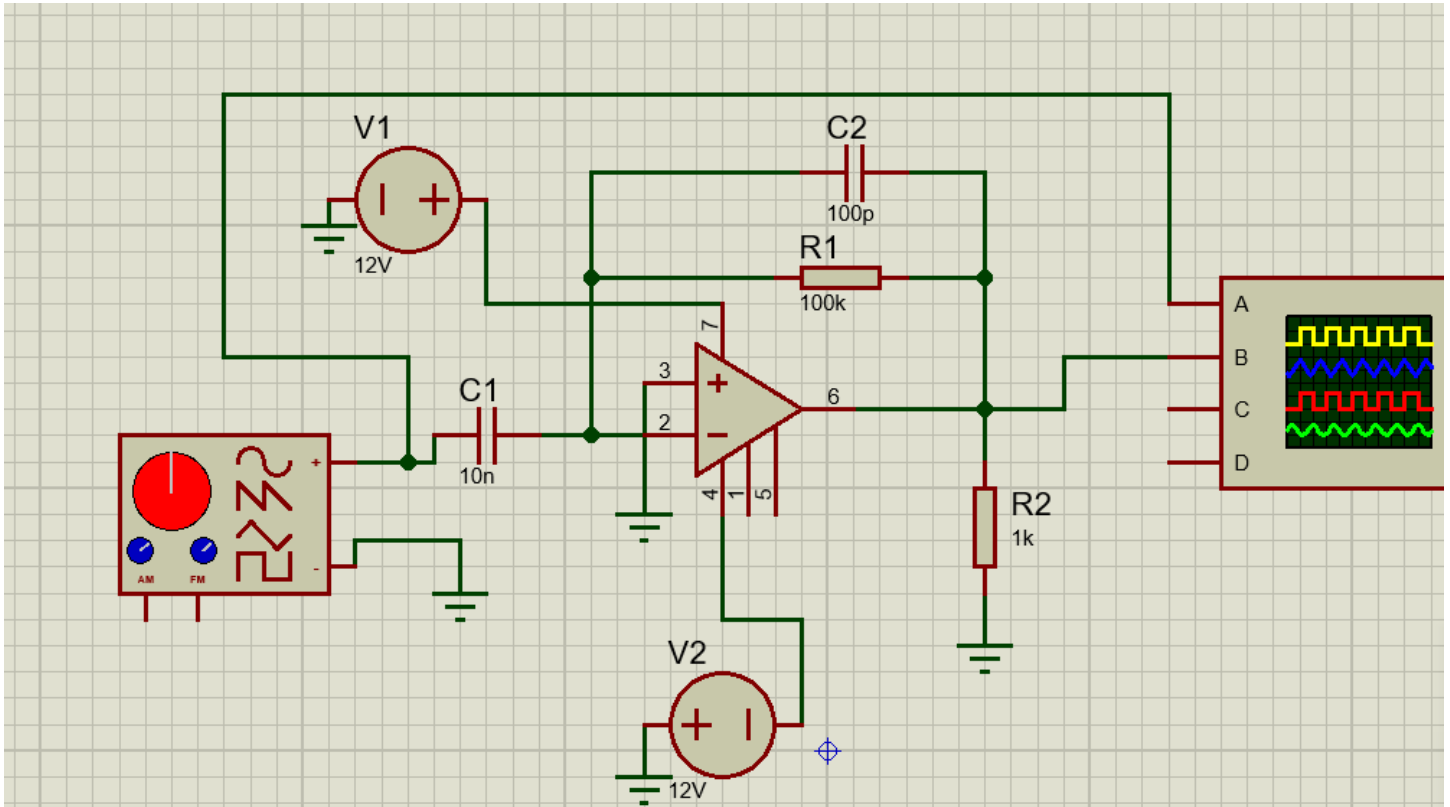
Amplificador Integrador



Digital Oscilloscope



Amplificador Derivador



5. ANÁLISIS TEÓRICO.

Amplificador Inversor

$$V_o = -\frac{R_2}{R_1} V_i$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_2}{R_1}$$

$$V_o = -\frac{10K}{1K} (1.07) = -10.07V$$

$$A_v = \frac{-10.07}{1.07} = -9.41V$$

Amplificador no Inversor

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

$$A_v = \frac{V_o}{V_i}$$

$$V_o = (1.07) \left(1 + \frac{10K}{1K}\right) = 11.77V$$

$$A_v = \frac{11.77}{1.07} = 11V$$

Seguidor de Voltaje

$$V_o = V_i$$

$$V_i = 1V = V_o$$

$$A_v = 1V$$

Amplificador Sumador

$$V_o = -R_F \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \dots + \frac{V_n}{R_n} \right)$$

$$V_o = -220K \left(\frac{0.748V}{100K} + \frac{1.07V}{150K} \right) = -3.2149V$$

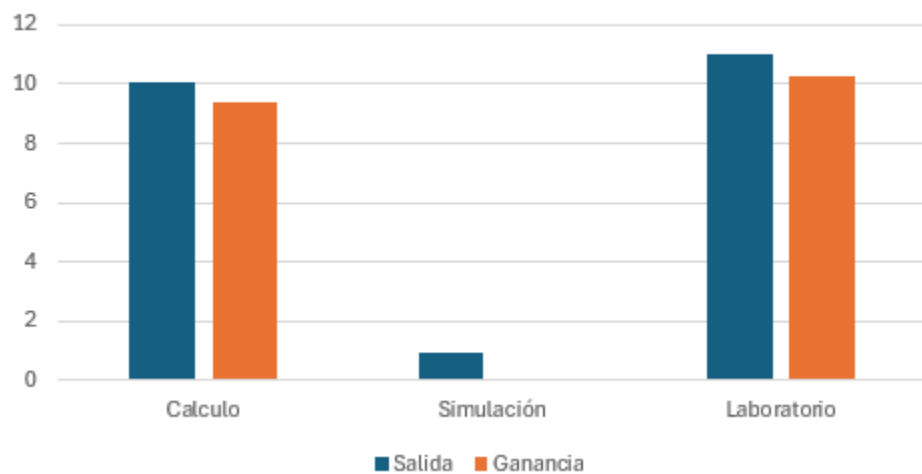
Amplificador Restador

$$V_o = \frac{R_2}{R_1} (V_2 - V_1)$$

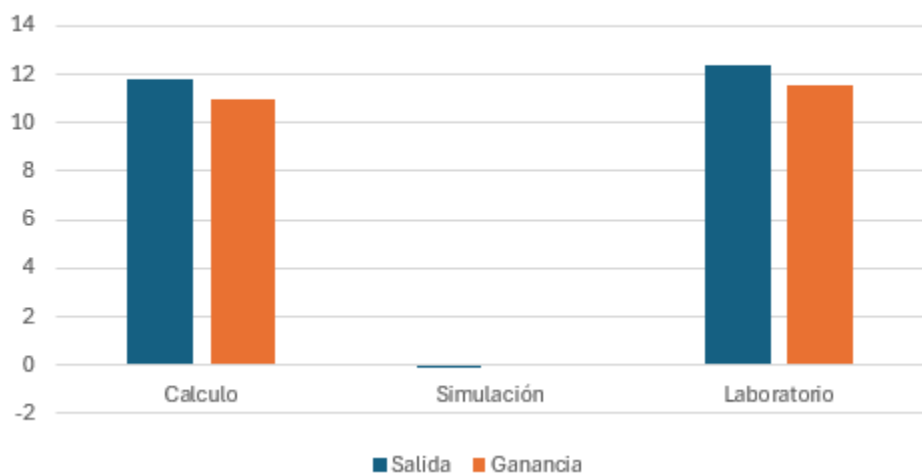
$$V_o = \frac{330K}{100K} (1.24V - 1.54V) = -0.99V$$

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

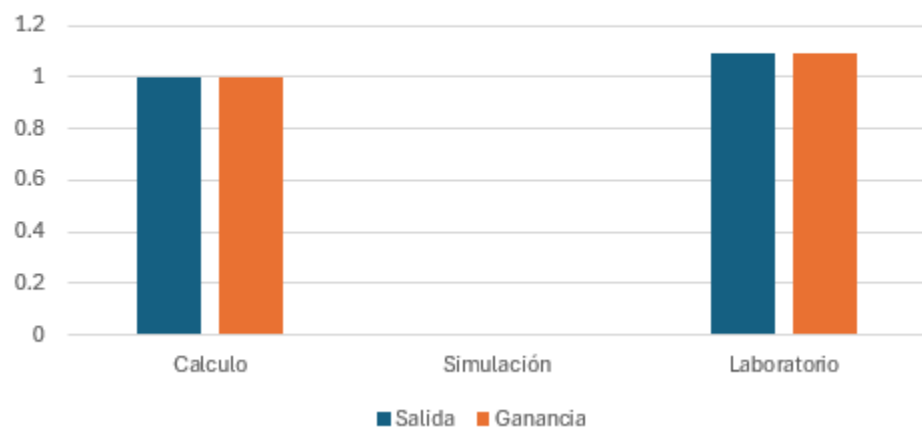
INVERSOR

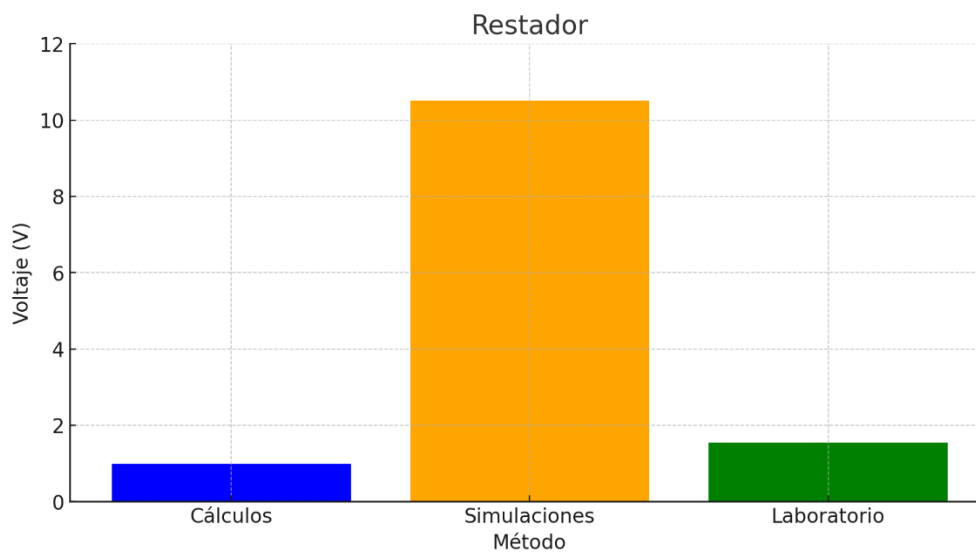
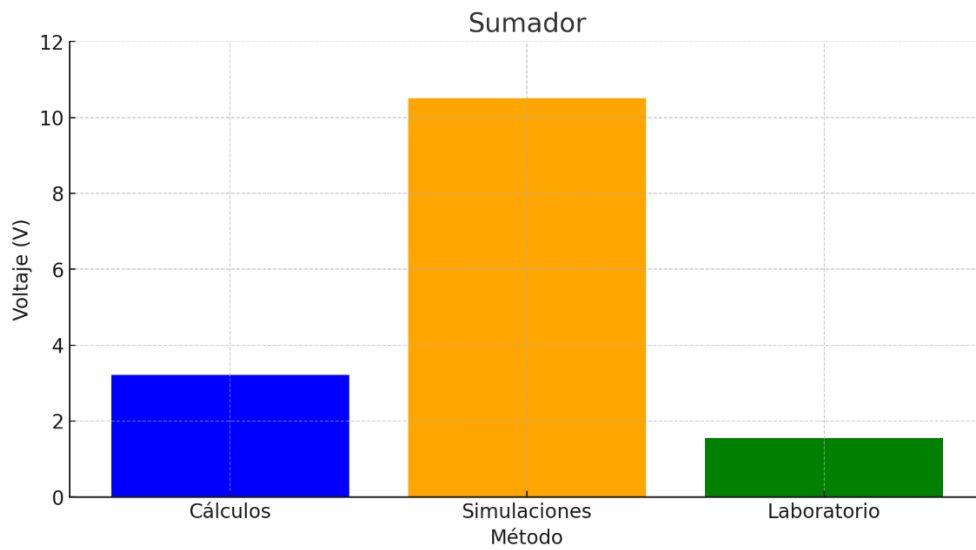


NO INVERSOR



SEGUIDOR DE VOLTAJE





Integrador y Derivador parecidos en Osciloscopio

7. CUESTIONARIO

1. ¿Cuáles son las características ideales de los amplificadores operacionales en lazo abierto?
Ganancia infinita, ancho de banda infinito, resistencia de entrada infinita, resistencia de salida cero.
2. ¿Qué determina la máxima respuesta en frecuencia del amplificador operacional?
El ancho de banda y la frecuencia de corte del amplificador.
3. ¿Qué representa el signo negativo en los circuitos: inversor, sumador, derivador e integrador?
Indica inversión de fase entre la entrada y la salida.
4. ¿Qué significa la tierra virtual en los arreglos básicos con amplificadores operacionales?
Punto de potencial constante cercano a 0 V en la entrada inversora, gracias a la retroalimentación.
5. ¿Qué función tiene el circuito seguidor de voltaje?
Proporciona aislamiento y evita carga al circuito previo, sin amplificar la señal.
6. ¿Cuál es la finalidad de agregarle una resistencia en paralelo al capacitor en el integrador y un capacitor en paralelo a la resistencia del derivador?
Que logran mejorar la estabilidad y limitan el efecto de ruido y deriva en alta frecuencia.
7. ¿Cuál es la condición que se debe de cumplir en el restador para que realice su función adecuadamente?
Las resistencias deben cumplir una relación específica para lograr diferencia exacta entre las señales de entrada.

8. CONCLUSIONES INDIVIDUALES

Bernal Ramírez Brian Ricardo

Esta práctica me permitió reforzar el cómo funcionan los amplificadores operacionales en diferentes configuraciones. Me parece interesante ver como los resultados experimentales se alinean un poco con las simulaciones, lo que valida tanto la teoría como la implementación práctica. Sin embargo, hubo diferencias menores atribuibles a errores de medición.

Escalona Zuñiga Juan Carlos

Fue útil ver la relación entre los cálculos teóricos y los datos reales, especialmente en el caso del amplificador inversor y no inversor. Noté que la saturación del amplificador ocurre rápido si se exceden los límites de entrada, lo cual es importante considerar en aplicaciones reales. También a la hora de hacer las simulaciones pude notar ciertas diferencias entre la practica y el simulador, algunas fueron en el osciloscopio y otras con el multímetro, sin embargo creo que se puede deber a variaciones con el entorno real o con algún bug de la aplicación de proteus.

Rojas Peralta Maximiliano

Aprendí a identificar cómo ajustar los parámetros de los circuitos para mejorar su estabilidad, como el uso de resistencias y capacitores en paralelo en el integrador y derivador. Además, me quedó claro el concepto de tierra virtual y su relevancia en las configuraciones con realimentación negativa.

9. REFERENCIAS

Reportar las referencias que se utilizaron para reforzar el desarrollo de la práctica.