

# Aplicaciones lineales del amplificador operacional

## Objetivos

Mostrar mediante ejemplos típicos, algunas de las aplicaciones lineales del amplificador operacional. Algunos de estos ejemplos son:

- ◆ El amplificador inversor
- ◆ El amplificador no inversor
- ◆ El amplificador como filtro paso alto.
- ◆ El amplificador como filtro paso bajo.
- ◆ El amplificador como integrador y diferenciador.

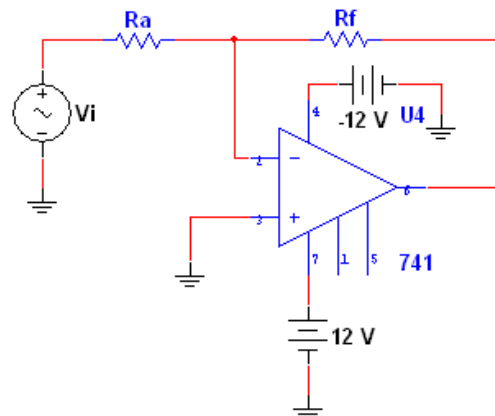
## Equipo

- |                     |                           |
|---------------------|---------------------------|
| ◆ Osciloscopio      | ◆ Resistencias            |
| ◆ Multímetro        | ◆ Amplificador 741        |
| ◆ Generador de onda | ◆ Fuente Dual de $\pm 8V$ |
| ◆ Cables            | ◆ Capacitores             |

## Introducción

### Amplificador Inversor

En la figura 1 se muestra un amplificador inversor con realimentación. Se desea despejar la tensión de salida  $V_o$ , en términos de la tensión de entrada  $V_i$ .



**Figura 1** Amplificador inversor con realimentación

a) La ecuación de nodos de Kirchoff en  $V_p$  da:

$$V_p=0$$

b) La ecuación de nodos de Kirchoff en  $V_n$  da:

$$\frac{v_i - v_n}{R_a} = \frac{v_n - v_o}{R_f}$$

c) La ganancia de lazo abierto está dada por:

$$A_v = \frac{v_o}{v_p - v_n} \Rightarrow v_n = -\frac{v_o}{A_v}$$

Despejando  $V_n$  del numeral a) tenemos:

$$v_n \left( \frac{1}{R_a} + \frac{1}{R_f} \right) = \frac{v_i}{R_a} + \frac{v_o}{R_f}$$

Ahora reemplazamos el valor de la ganancia en lazo abierto  $A_v$  dado por el numeral b) y obtenemos que la ganancia en lazo cerrado es:

$$-\frac{v_o}{A_v} \left( \frac{1}{R_a} + \frac{1}{R_f} \right) = \frac{v_i}{R_a} + \frac{v_o}{R_f} \Rightarrow -v_o \left[ \frac{1}{A_v R_a} + \frac{1}{A_v R_f} + \frac{1}{R_f} \right] = \frac{v_i}{R_a}$$

$$A = \frac{v_o}{v_i} = -\frac{1}{R_a \left( \frac{1}{A_v} \left[ \frac{1}{R_a} + \frac{1}{R_f} \right] + \frac{1}{R_f} \right)} = -\frac{R_f}{\left( \frac{1}{A_v} (R_f + R_a) + R_a \right)}$$

Como se puede ver en la ecuación anterior la ganancia del amplificador en lazo cerrado  $A$  es mucho menor que en lazo abierto.

$$\text{si } A_v \rightarrow \infty \Rightarrow A = -\frac{R_f}{R_a}$$

Note que la ganancia de lazo cerrado,  $v_o/v_i$ , depende de la relación de las resistencias,  $R_f/R_a$  y es independiente de la ganancia de lazo abierto,  $A_v$ . Este resultado deseable se debe a la utilización de realimentación de una porción de tensión de salida que se resta de la tensión de entrada.

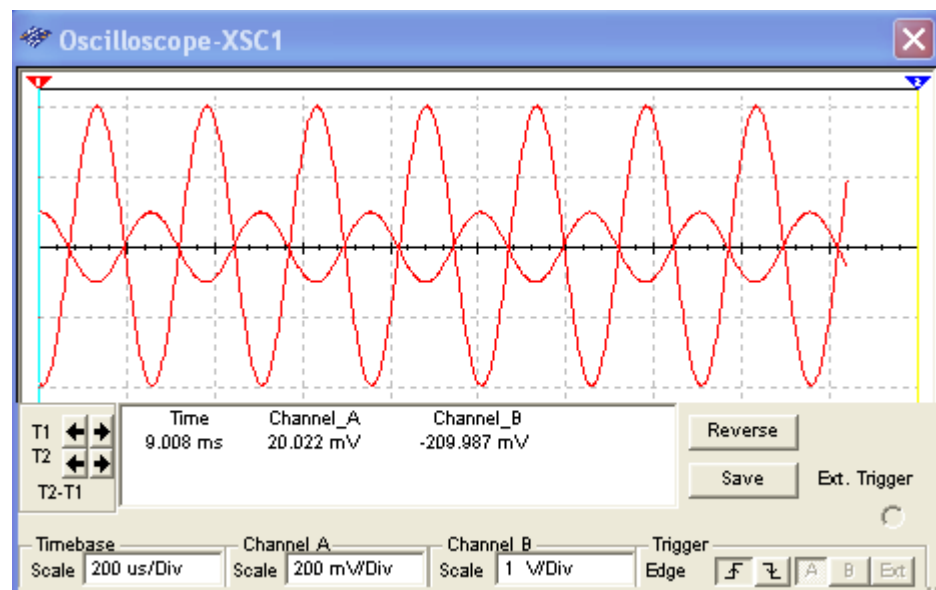
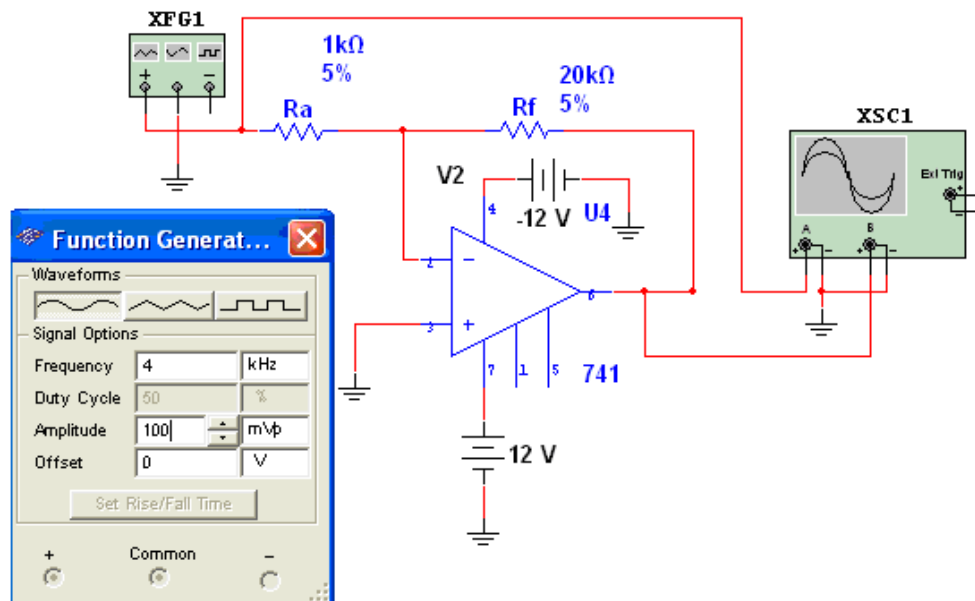
La realimentación de la entrada a través de  $R_f$  sirve para llevar la tensión diferencial  $V_i = V_p - V_n$ , a cero. Como la tensión de entrada no inversora,  $V_p$  es cero, la realimentación tiene el efecto de llevar  $V_n$  a cero. Por lo tanto, en la entrada del amplificador operacional se tiene:

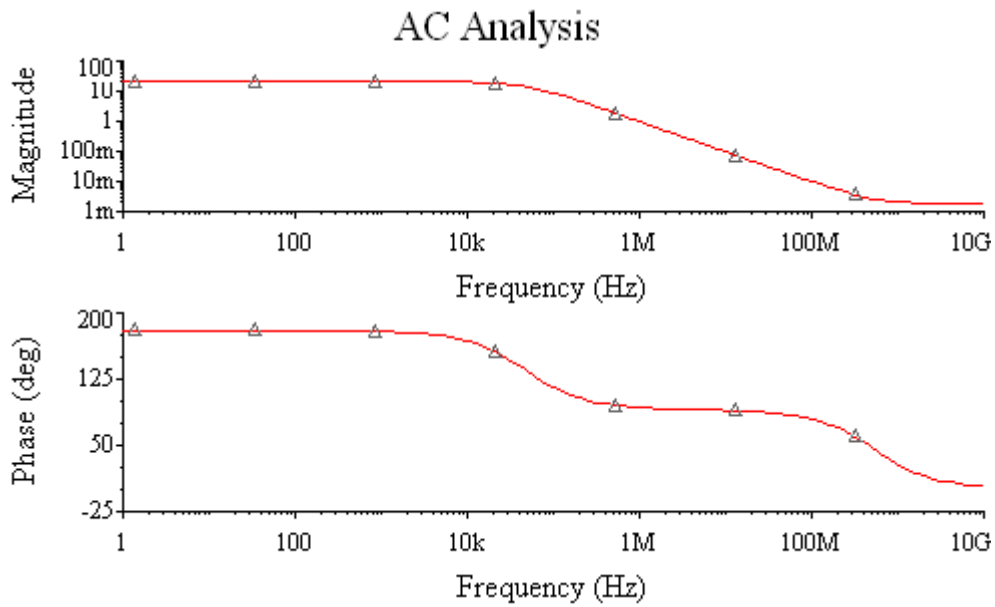
$$V_p = V_n = 0$$

y existe una tierra virtual en  $V_n$ . El término virtual significa que la tensión,  $V_n$ , es cero (potencial de tierra), pero no fluye ninguna corriente real en este cortocircuito, ya que no puede fluir ninguna corriente en los terminales inversora o no inversora. Sin importar que tan complejo pueda ser el circuito con un amplificador operacional ideal, siguiendo este procedimiento se puede empezar a analizar (y diseñar) muy pronto sistemas con amplificadores operacionales.

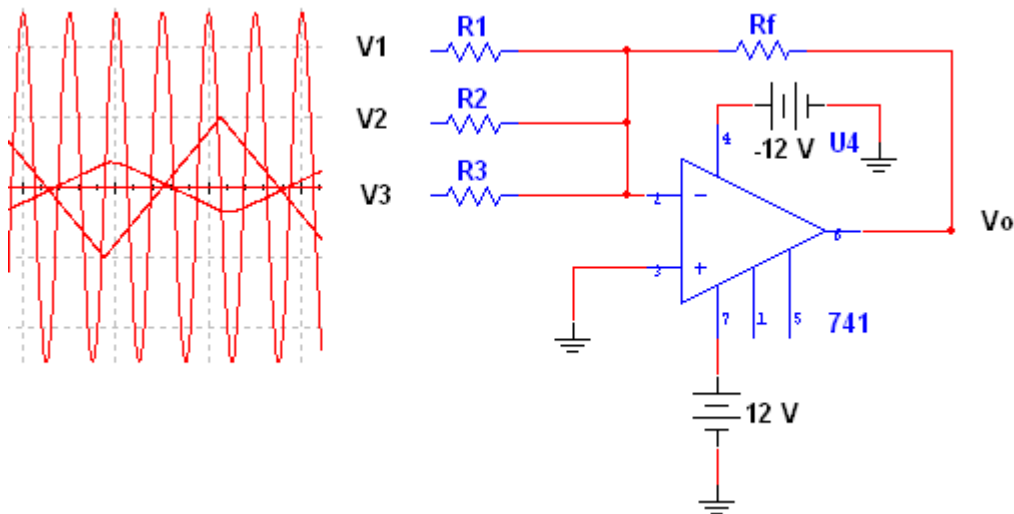
## Simulación Multisim

Como ejercicio complementario a la práctica realice la simulación de cada uno de los circuitos propuestos.





Se expande ahora este resultado al caso de entradas múltiples. El amplificador siguiente produce una salida negativa de varias tensiones de entrada. La ecuación de nodos en la entrada inversora está dada por:



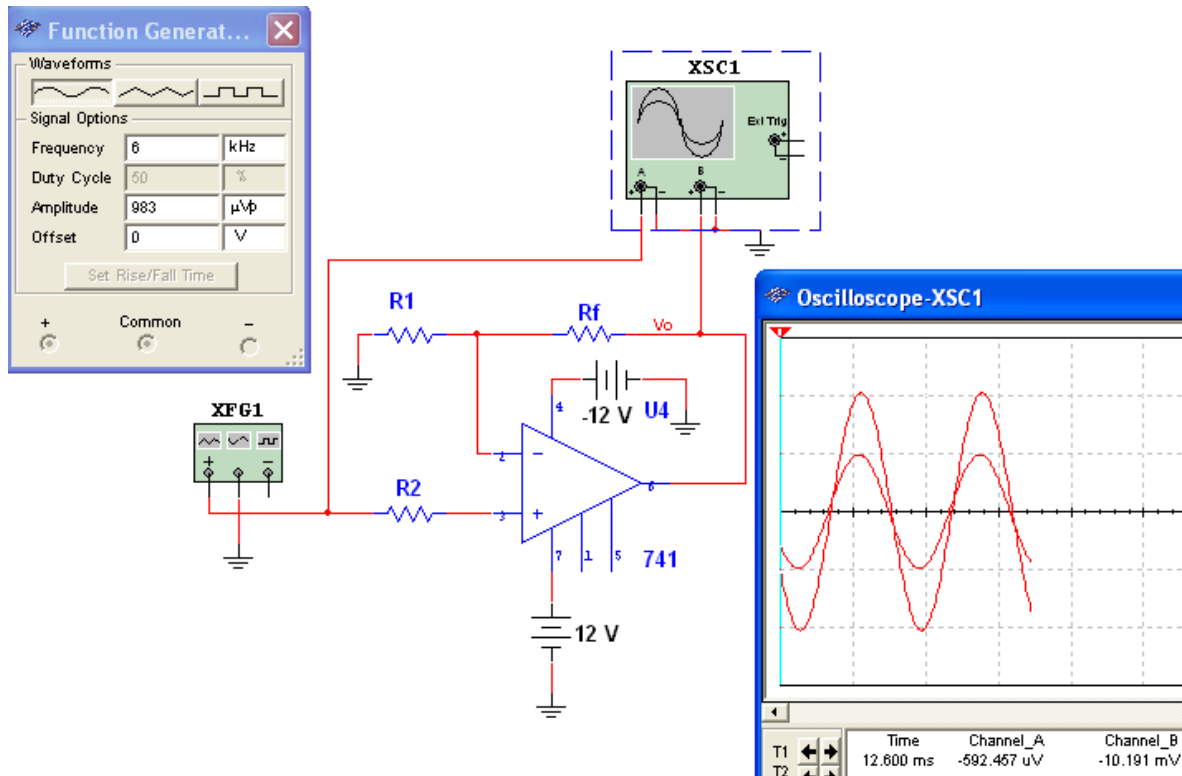
$$\frac{v_1 - v_n}{R_1} + \frac{v_2 - v_n}{R_2} + \frac{v_3 - v_n}{R_3} = \frac{v_n - v_0}{R_f}$$

Como  $V_p=0$  y  $V_n \approx V_p$ , resulta:

$$v_0 = -R_f \left[ \frac{v_1}{R_1} + \frac{v_2}{R_2} + \frac{v_3}{R_3} \right] \Rightarrow v_0 = - \sum_{j=1}^3 \left[ \frac{v_j}{R_j} \right]$$

## Amplificador no inversor

El amplificador operacional se puede configurar para que produzca ya sea una salida invertida o no invertida. En la siguiente figura vemos un circuito no inversor, su análisis se hace de forma idéntica a la del circuito inversor.



**Figura 2** Amplificadores operacionales en configuración no inversora.

La ecuación de los nodos en la entrada inversora está dada por:

$$\frac{0 - v_n}{R_1} = \frac{v_n - v_0}{R_f}$$

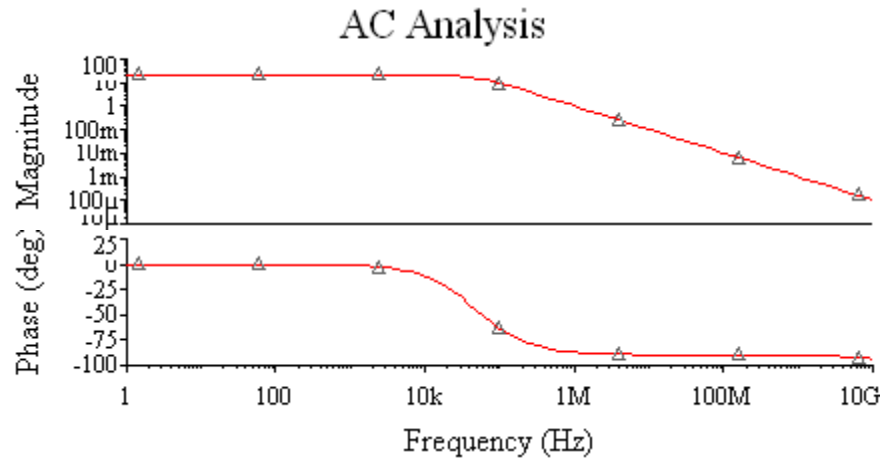
Para la entrada no inversora se tiene:

$$\frac{v_i - v_p}{R_1} = 0 \Rightarrow v_p = v_n$$

Teniendo presente que la ganancia el lazo abierto es muy grande, se concluye de estas dos ecuaciones que la salida del amplificador esta dada por:

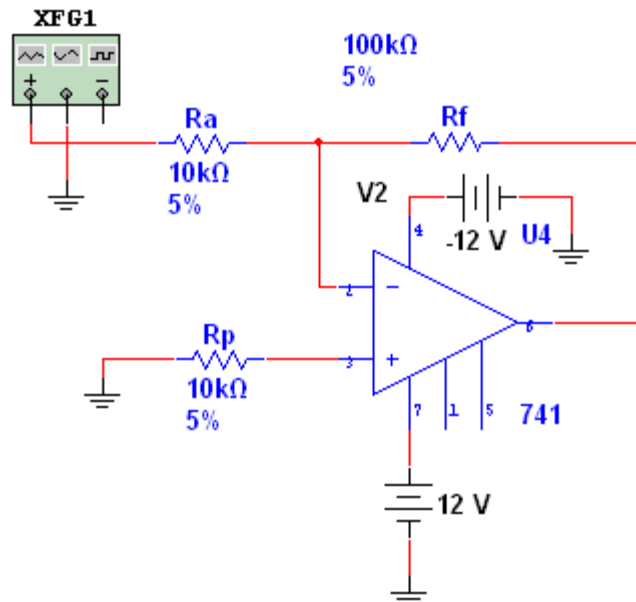
$$v_0 = v_n \left( 1 + \frac{R_f}{R_1} \right)$$

Análisis del circuito no inversor en AC de la simulación es



## Práctica

Monte el siguiente circuito.



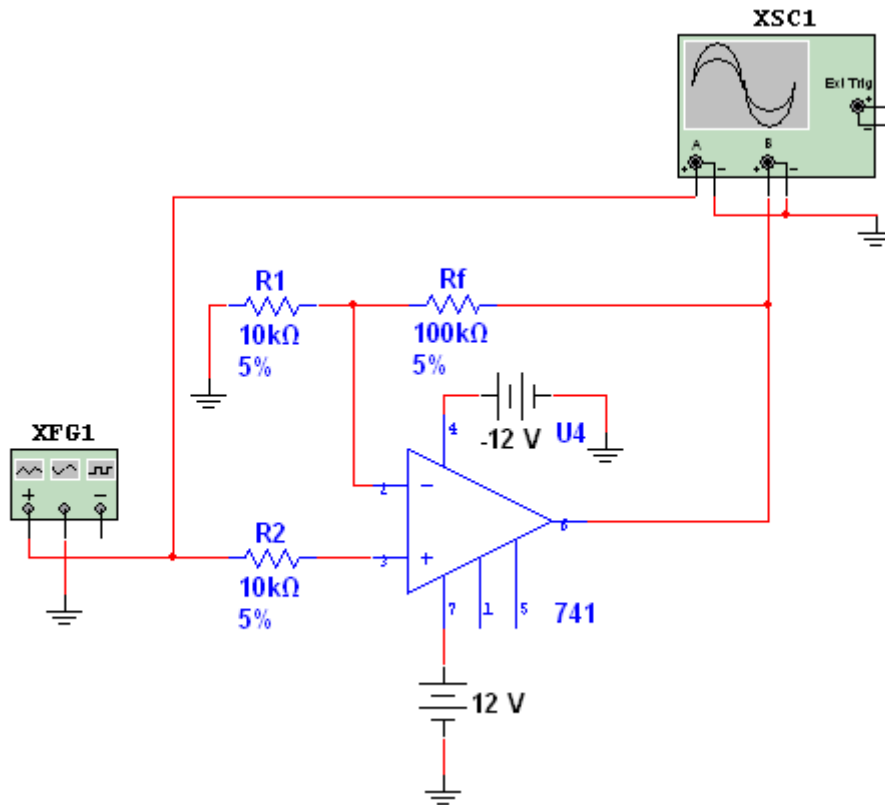
**Figura 3** montaje del amplificador operacional inversor .

## Procedimiento:

1. Introduzca una señal sinusoidal por  $V_i$  y observe simultáneamente la señal de entrada y la de salida  $V_o$  usando un osciloscopio de dos canales. Compruebe que la señal sale invertida, dibuje las señales para su informe.

2. Mida el voltaje de saturación del amplificador variando la amplitud de la onda de entrada.
3. Tome para la señal de entrada una amplitud menor al voltaje de saturación del amplificador y mantenga este valor durante toda la práctica.
4. Haga un gráfico en Excel del voltaje de salida versus frecuencia ( $V_o$  vs  $f$ ). Determine el intervalo de frecuencias en que el amplificador mantiene su salida más o menos constante. A este intervalo se le conoce como ancho de banda del amplificador.  $\cdot f$ .
5. Calcule la ganancia del circuito teóricamente, y compruebe si coincide con la medida en su circuito para una frecuencia que esté dentro del ancho de banda.
6. Simule su circuito y compare sus resultados. Haga cálculos de error.

### Circuito amplificador no inversor



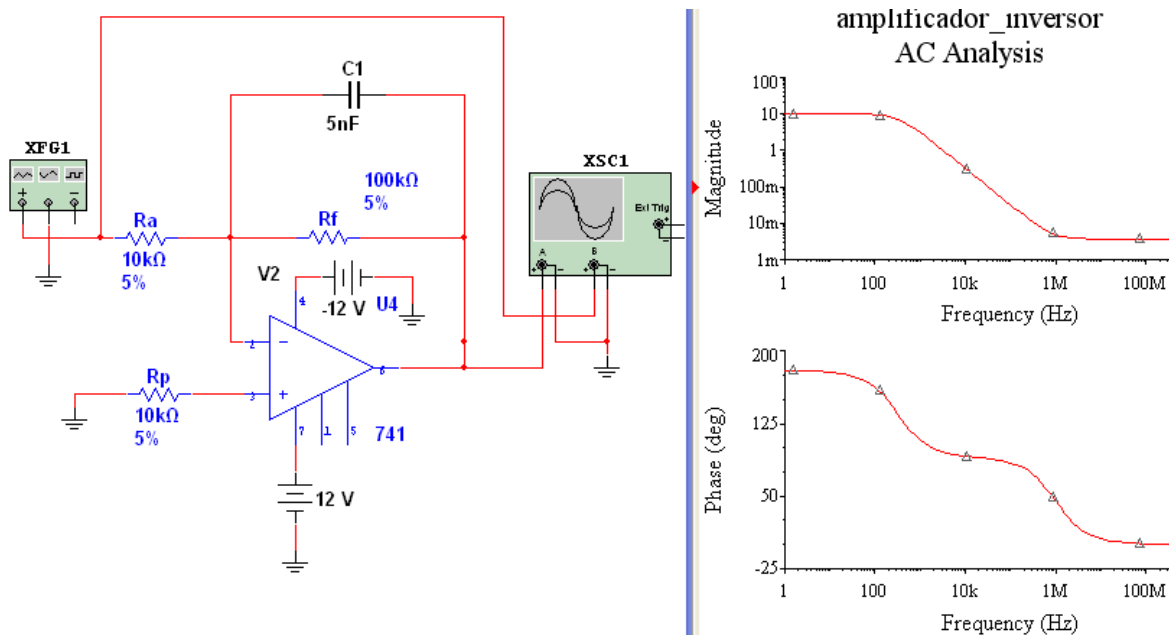
**Figura 4** Montaje del amplificador operacional no inversor

1. Introduzca una señal sinusoidal por  $V_i$  y observe simultáneamente la señal de entrada y la de salida  $V_o$  usando un osciloscopio de dos canales. Compruebe que la señal sale sin invertir, dibuje las señales para su informe.
2. Mida el voltaje de saturación del amplificador variando la amplitud de la onda de entrada.

3. Tome para la señal de entrada una amplitud menor al voltaje de saturación del amplificador y mantenga este valor para la práctica.
4. Calcule la ganancia del circuito teóricamente, y compruebe si coincide con la medida en su circuito para una frecuencia que esté dentro del ancho de banda.
5. Trate de medir la corriente de polarización de la entrada no inversora. Para ello mida con el osciloscopio la caída de tensión en  $R_p$ , y aplique la ley de Ohm.

## Circuito integrador (Filtro paso bajo)

Realice el siguiente montaje.



$$R_a = 10k\Omega$$

$$R_f = 100K\Omega$$

$$C = 0.005\mu F$$

$$R_p = R_a R_f / (R_a + R_f)$$

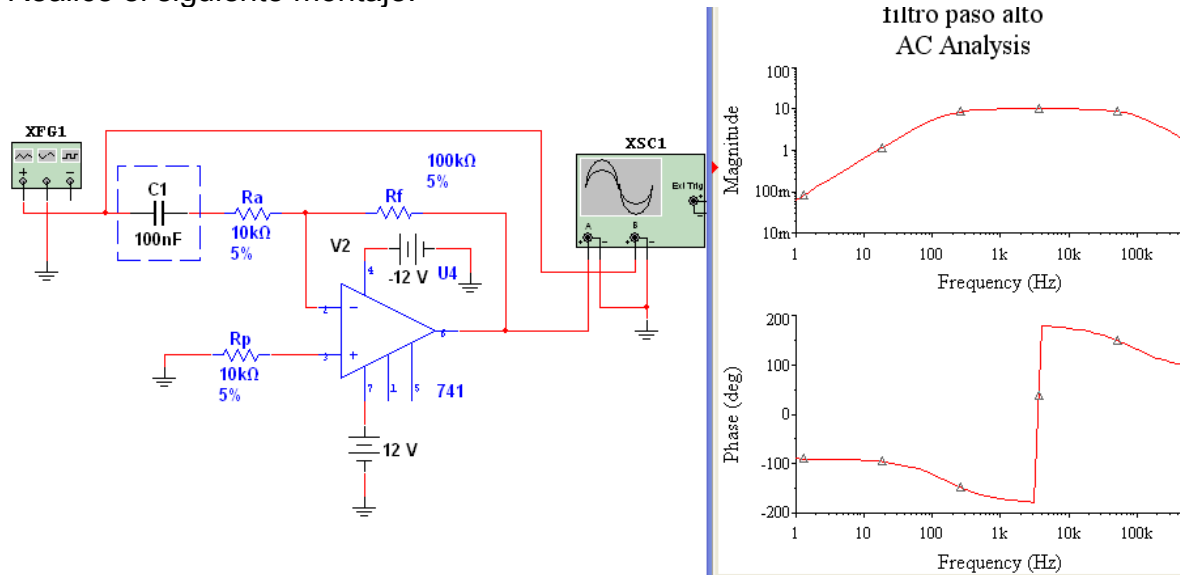
**Figura 5.** Amplificador operacional integrador.

1. Conecte como señal de entrada una onda sinusoidal y observe simultáneamente la señal de entrada y la de salida  $V_o$  usando un osciloscopio de dos canales.
2. Mida el voltaje de saturación del amplificador variando la amplitud de la onda de entrada.
3. Tome para la señal de entrada una amplitud menor al voltaje de saturación del amplificador y mantenga este valor para la práctica. Haga un gráfico de la señal de salida del circuito en función de la frecuencia de la onda.
4. En el gráfico anterior determine la frecuencia de corte y compárela con la obtenida en la simulación.

5. Sea ahora  $V_i$  una onda cuadrada, ajuste su amplitud de modo que no se sature la salida del amplificador operacional. Observe la señal de salida  $V_o$  en el osciloscopio en todo el rango de frecuencias del generador. Compare con los resultados de la simulación. Haga los comentarios correspondiente a esta observación en su informe.
6. Determine la frecuencia a la cual el circuito realiza la operación de integración de forma más exacta. Dibuje la señal de entrada y salida a esta frecuencia.

## Circuito diferenciador (filtro paso alto)

Realice el siguiente montaje.



**Figura 6.** Montaje del amplificador derivador.

Repita para este circuito los pasos anteriores.

## Informe

El informe de laboratorio debe incluir:

- Los gráficos de los circuitos montados.
- Las tablas con los datos de  $V_o$  vs.  $V_i$  medidos en todas las configuraciones de los amplificadores, con la ganancia y la fase correspondiente.
- El valor del voltaje de saturación del amplificador utilizado.
- El gráfico de la ganancia versus frecuencia en el rango de frecuencias considerado, señalando la frecuencia de corte.
- El ancho de banda del amplificador operacional.
- Los gráficos de las señales de entrada y salida para cada configuración.

- El cálculo teórico de la ganancia para cada configuración.
- Las simulaciones de todos los circuitos.
- El error relativo porcentual de las ganancias y las fases.
- Discusión y análisis de los resultados.
- Conclusiones.
- Causas de error.