

# FUNDAMENTOS DE AMPLIFICADORES OPERACIONALES

CARRERA: ISC

GRADO: 7 GRUPO: C

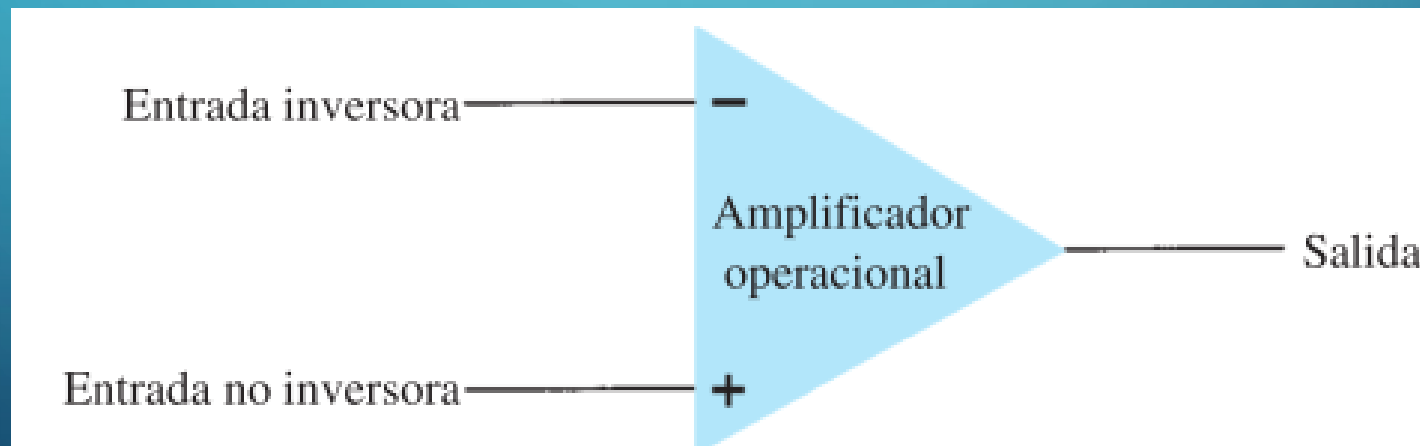
INTEGRANTES:

- ARACELI SOLEDAD CASILLAS
- ESAUL ESPARZA FLORES
- OMAR OSVALDO GARCÍA GUZMÁN



# AMPLIFICADOR OPERACIONAL

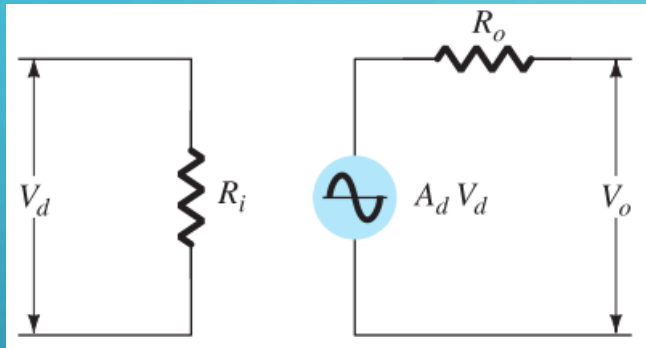
- Amplificador de alta ganancia, que tiene una impedancia de entrada muy alta (por lo general mega-ohms) y una impedancia baja (100 ohms).
- Su constitución básica se da por dos entradas (positiva y negativa) y por lo menos una salida.



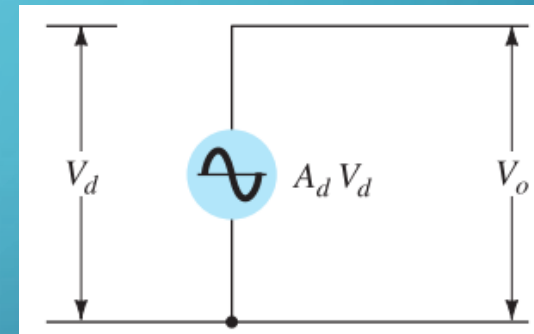
# ¿CÓMO FUNCIONA?

- La entrada (+) produce una salida que está en fase con la señal aplicada, en tanto que la entrada (-) produce una salida de polaridad opuesta.

Amplificador operacional práctico



Amplificador operacional ideal

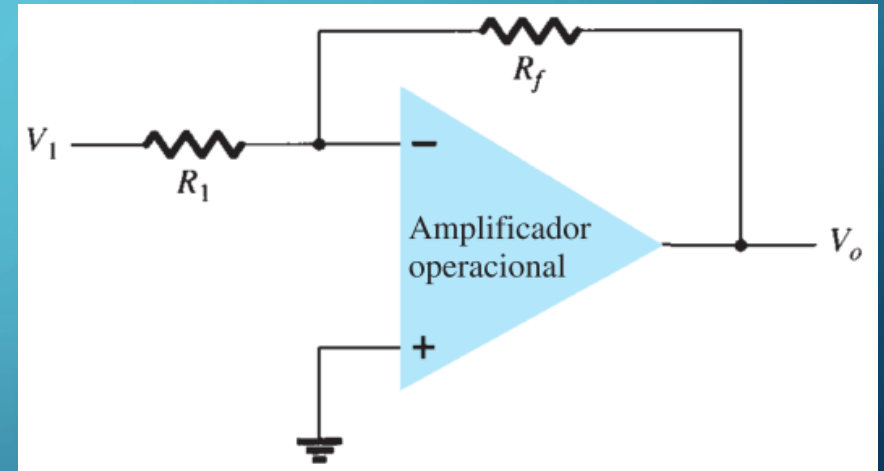


- La señal de entrada aplicada entre las terminales de entrada, experimenta una impedancia de entrada  $R_i$  que suele ser muy alta.
- El voltaje de salida debe ser la ganancia del amplificador por la señal de entrada tomada a través de una impedancia de salida  $R_o$ .
- En el Amplificador ideal la impedancia de entrada es infinita, la de salida es 0 y el voltaje de salida es infinito.

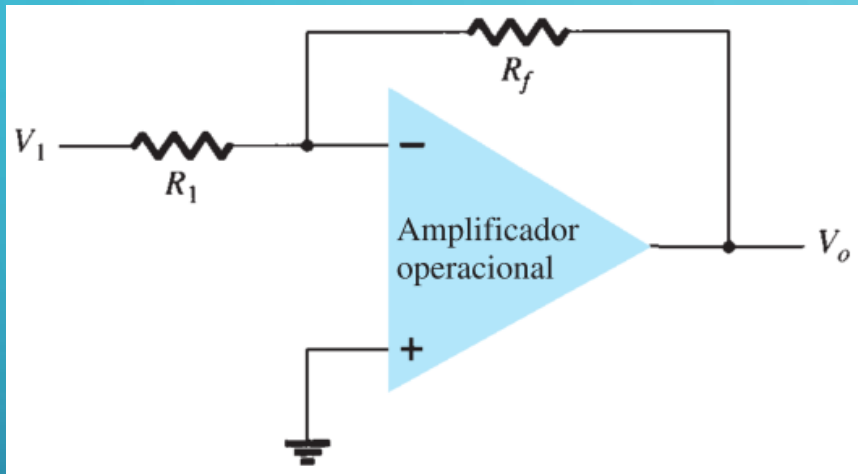
# AMPLIFICADOR OPERACIONAL BÁSICO

## MULTIPLICADOR DE GANANCIA CONSTANTE:

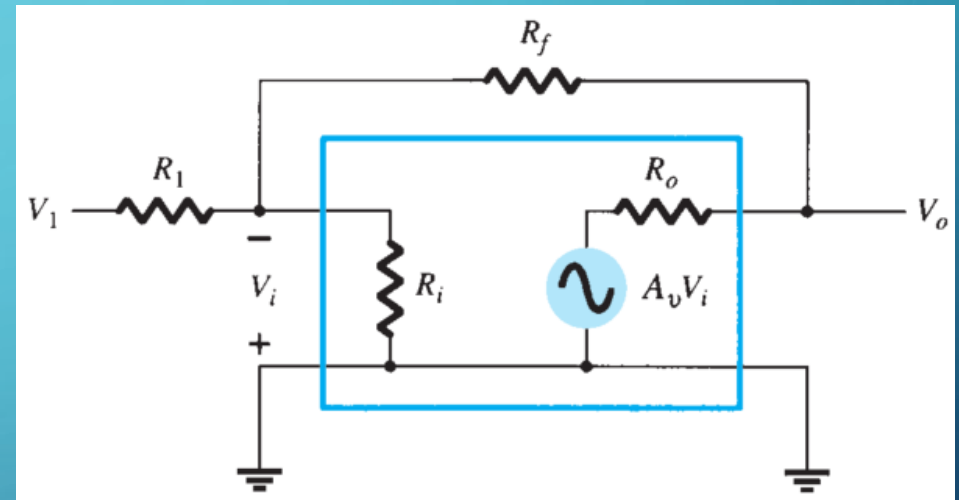
- Se aplica una señal de entrada  $V_1$  a través de un resistor  $R_1$  a la entrada negativa.
- La salida se conecta de nuevo a la misma entrada negativa por medio de un resistor  $R_f$ . La entrada positiva se conecta a tierra.
- Como la señal  $V_1$  se aplica esencialmente a la entrada negativa, la fase de la salida resultante es la opuesta a la de la señal de entrada.



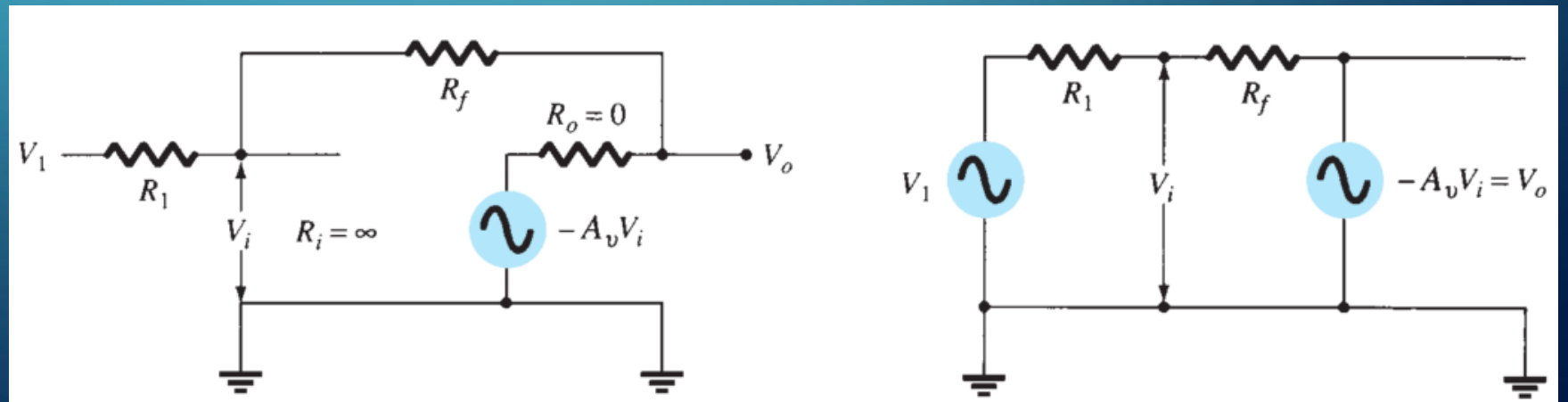
# MULTIPLICADOR DE GANANCIA CONSTANTE:



# CIRCUITO EQUIVALENTE DEL AMPLIFICADOR:



# EQUIVALENTE (IDEAL):



# CIRCUITO EQUIVALENTE IDEAL (MULTIPLICADOR DE GANANCIA CONSTANTE)

- Aplicando superposición se hace un análisis del circuito:

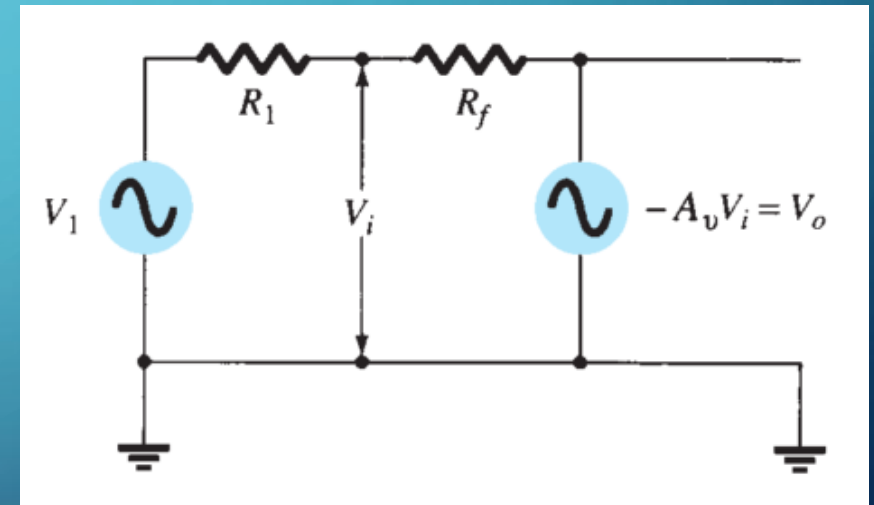
$$V_i = V_{i1} + V_{i2} = \frac{R_f}{R_1 + R_f} V_1 + \frac{R_1}{R_1 + R_f} (-A_v V_i)$$

- Si  $A_v \gg 1$  y  $A_v R_1 \gg R_f$

$$V_i = \frac{R_f}{A_v R_1} V_1$$

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{-A_v V_i}{V_i} = \frac{-A_v}{V_i} \frac{R_f V_1}{A_v R_1} = -\frac{R_f}{R_1} \frac{V_1}{V_i}$$

$$\frac{V_o}{V_1} = -\frac{R_f}{R_1}$$



- **GANANCIA UNITARIA:** El circuito proporciona una ganancia unitaria de voltaje con una inversión de fase de  $180^\circ$ .

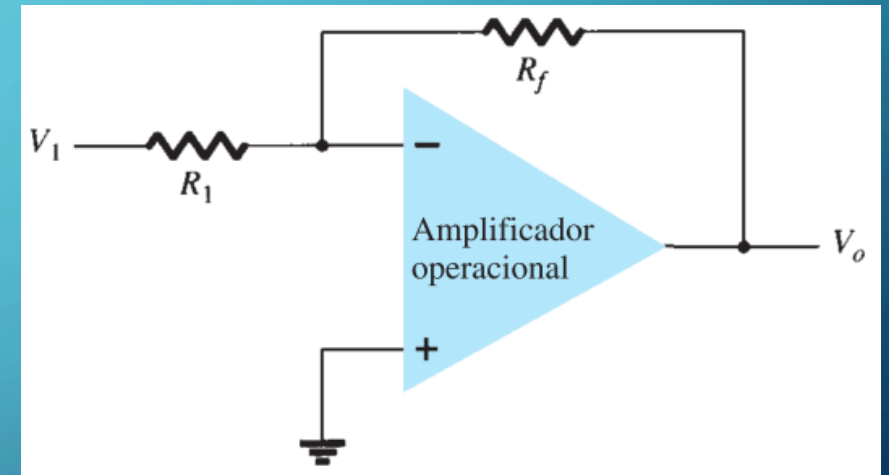
- Cuando  $R_f = R_1$

$$\text{Ganancia de voltaje} = -\frac{R_f}{R_1} = -1$$

- **Ganancia de magnitud constante:** El circuito proporciona una ganancia de voltaje constante, con una inversión de fase de  $180^\circ$  con respecto a la señal de entrada. Util debido a que se ve poco afectada por los cambios de temperatura.

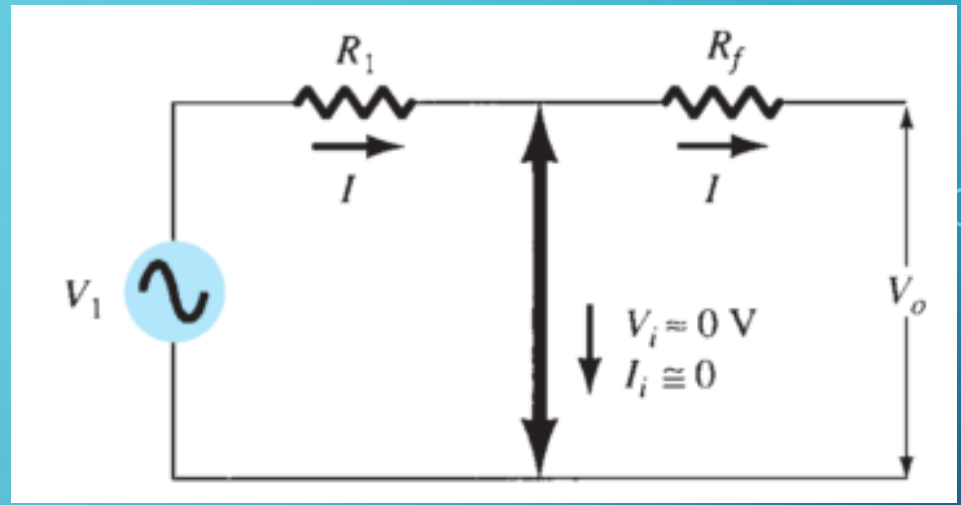
- Cuando  $R_f = 10R_1$

$$\text{Ganancia de voltaje} = -\frac{R_f}{R_1} = -10$$



## TIERRA VIRTUAL:

- El concepto de tierra virtual, depende de que  $A_v$  (ganancia de tensión) sea muy grande, permitiendo una solución simple para determinar la ganancia de voltaje total.
- Cuando  $A_v$  es muy grande,  $V_i$  (voltaje de entrada) tiende a ser cero, por lo que en la entrada del amplificador se convierte en un corto circuito y no fluye la corriente hacia la entrada (solo fluye a través de las resistencias).
- El concepto de tierra virtual da como resultado las siguientes expresiones:

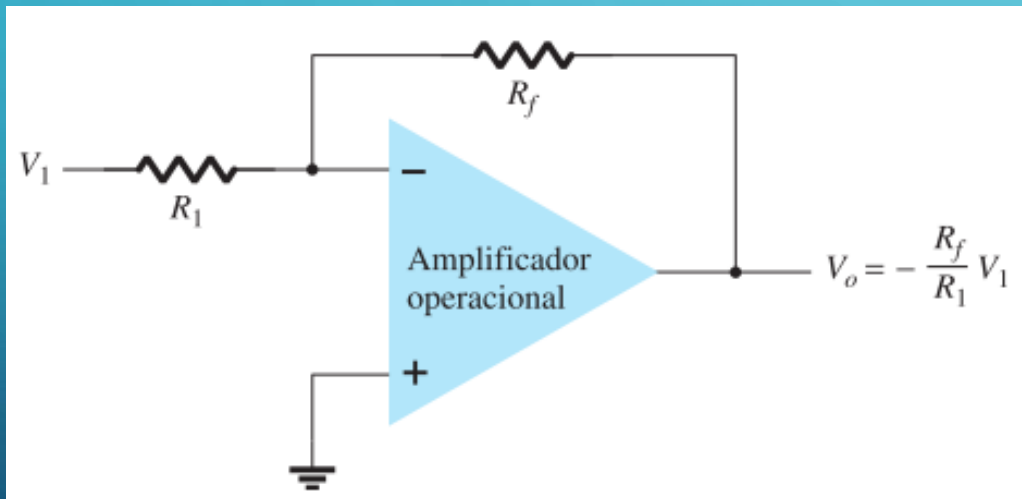


$$I = \frac{V_1}{R_1} = -\frac{V_o}{R_f}$$
$$\frac{V_o}{V_1} = -\frac{R_f}{R_1}$$



# CIRCUITOS PRÁCTICOS DE AMPLIFICADORES OPERACIONALES

- **AMPLIFICADOR INVERSOR:** Es un amplificador de ganancia constante. Su salida se obtiene al multiplicar la entrada por una ganancia fija, establecida por el resistor de entrada  $R_1$  y el resistor de retroalimentación  $R_f$ .



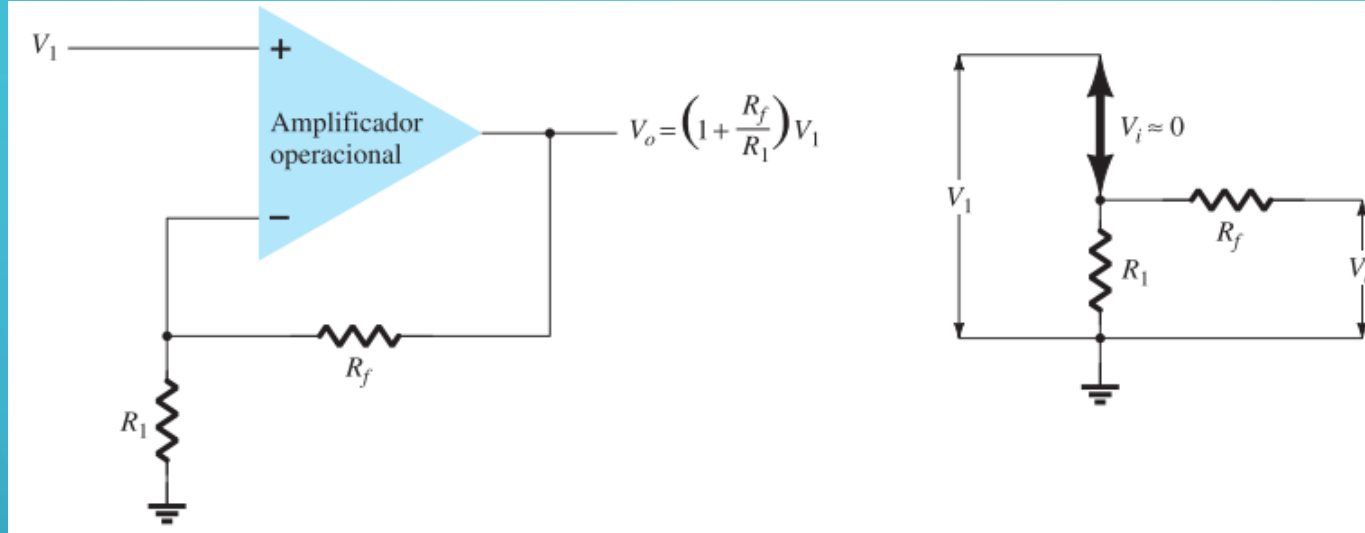
Ejemplo:

$R_1 = 100\text{k}\Omega$  y  $R_f = 500\text{k}\Omega$  y  $V_1 = 2\text{V}$ .

$V_o$  (salida) = ?

$$V_o = -\frac{R_f}{R_1} V_1 = -\frac{500\text{ k}\Omega}{100\text{ k}\Omega} (2\text{ V}) = -10\text{ V}$$

- AMPLIFICADOR NO INVERSOR:



- Ejemplo:

- $V_1 = 2\text{V}$
- $R_1 = 100\text{k}\Omega$
- $R_f = 500\text{k}\Omega$
- $V_o = ?$

$$V_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right)V_1$$

$$= \left(1 + \frac{500\text{ k}\Omega}{100\text{ k}\Omega}\right)(2\text{ V})$$

$$= 6(2\text{ V}) = +12\text{ V}$$

- El voltaje a través de  $R_1$  es  $V_1$ , puesto que  $V_i = 0$  (aproximadamente). Éste debe ser igual al voltaje de salida, a través de un divisor de voltaje de  $R_1$  y  $R_f$ , de modo que:

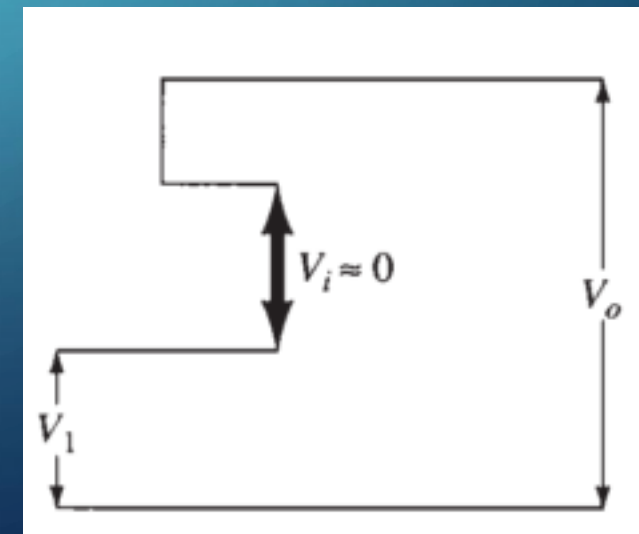
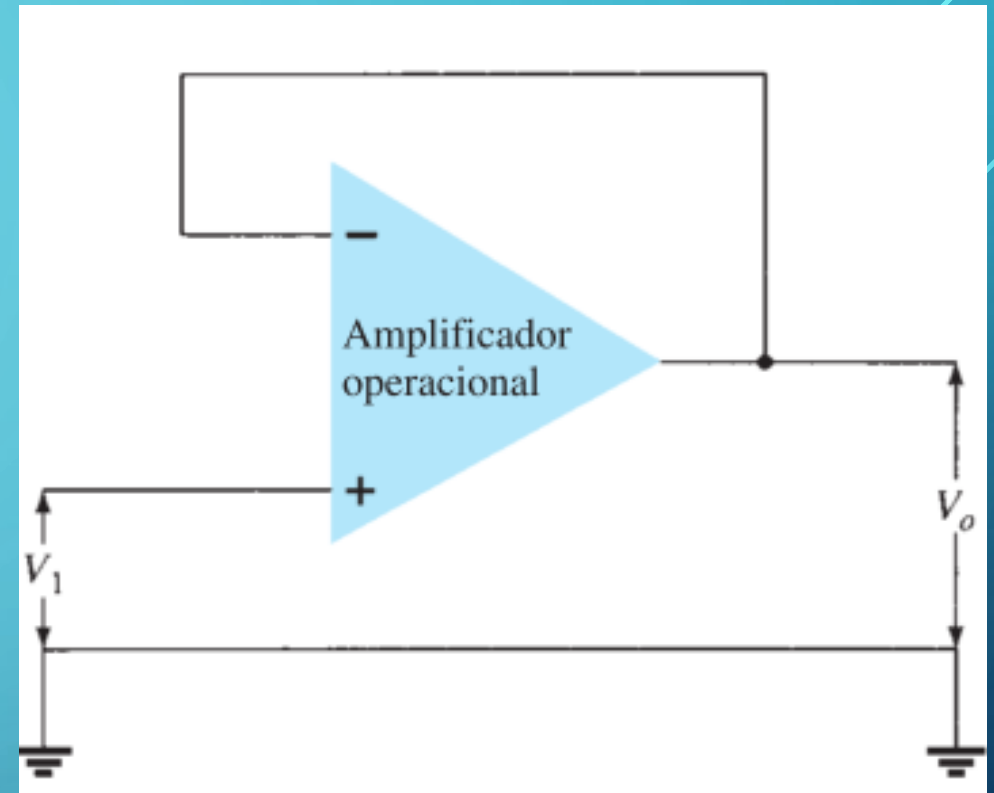
$$V_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_f}V_o$$

$$\frac{V_o}{V_1} = \frac{R_1 + R_f}{R_1} = 1 + \frac{R_f}{R_1}$$

- **SEGUIDOR UNITARIO:** Este circuito proporciona una ganancia unitaria, sin inversión de polaridad o fase.

$$V_o = V_1$$

- La salida es de la misma polaridad y magnitud que la entrada.
- El circuito opera como circuito emisor-seguidor(en fuente), pero la ganancia es exactamente unitaria.

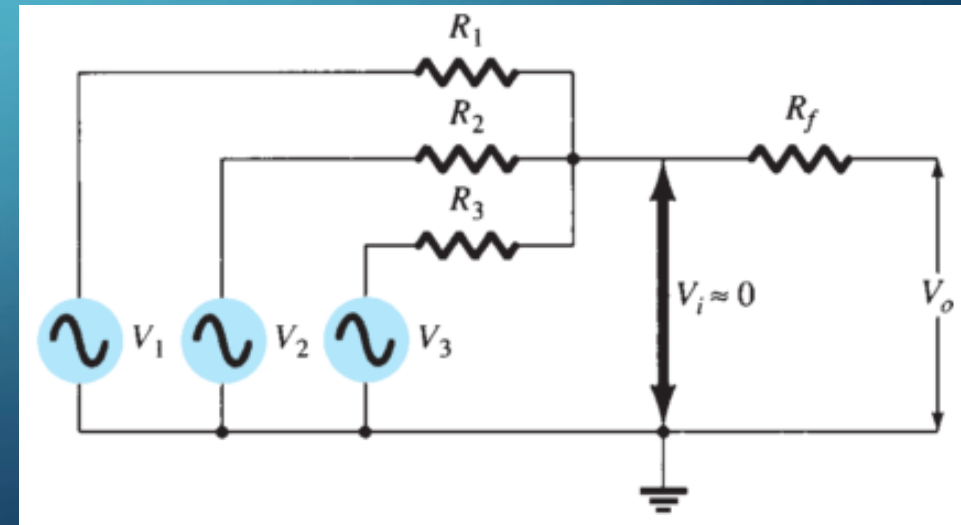
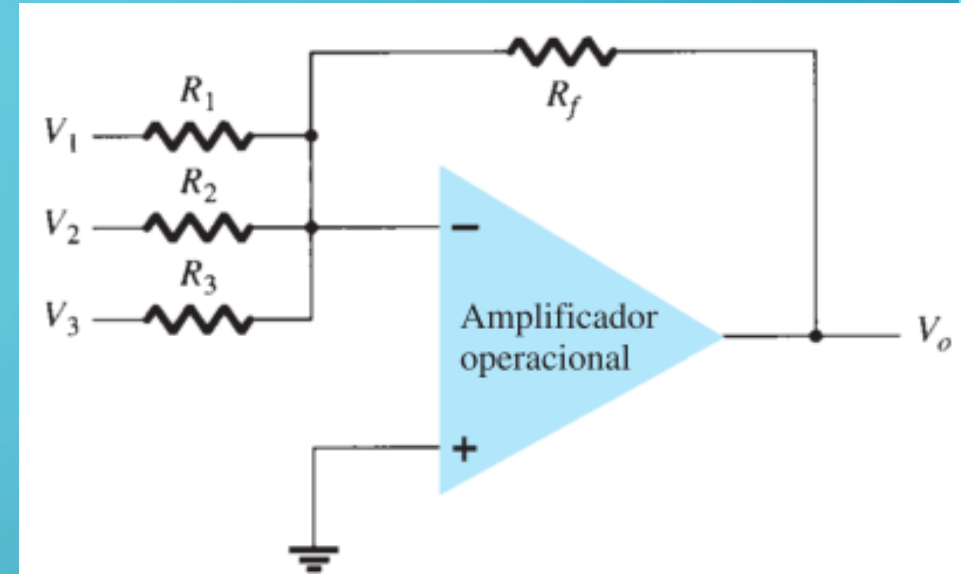


## AMPLIFICADOR SUMADOR:

- Circuito amplificador sumador de tres entradas, el cual permite sumar algebraicamente tres voltajes, cada uno multiplicado por un factor de ganancia constante.
- De acuerdo a la representación equivalente, el voltaje de salida se puede expresar como:

$$V_o = -\left(\frac{R_f}{R_1}V_1 + \frac{R_f}{R_2}V_2 + \frac{R_f}{R_3}V_3\right)$$

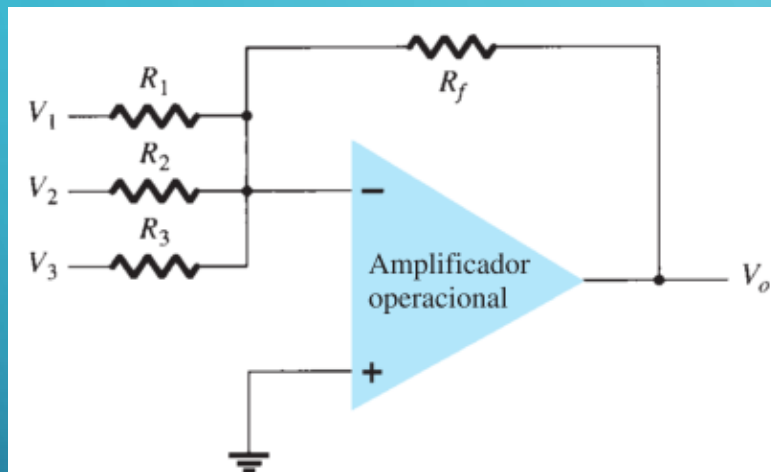
- Cada entrada agrega un voltaje a la salida, multiplicado por su multiplicador de ganancia constante distinta. Si se utilizan más entradas, cada una de ellas agrega un componente adicional a la salida.



# AMPLIFICADOR SUMADOR

Ejemplo: Calcular voltaje de salida ( $V_o$ ) con  $R_f = 1\text{ M}\Omega$  para todos los casos.

- a.  $V_1 = +1\text{ V}$ ,  $V_2 = +2\text{ V}$ ,  $V_3 = +3\text{ V}$ ,  $R_1 = 500\text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 1\text{ M}\Omega$ ,  $R_3 = 1\text{ M}\Omega$ .  
b.  $V_1 = -2\text{ V}$ ,  $V_2 = +3\text{ V}$ ,  $V_3 = +1\text{ V}$ ,  $R_1 = 200\text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 500\text{ k}\Omega$ ,  $R_3 = 1\text{ M}\Omega$ .



Ecuación:

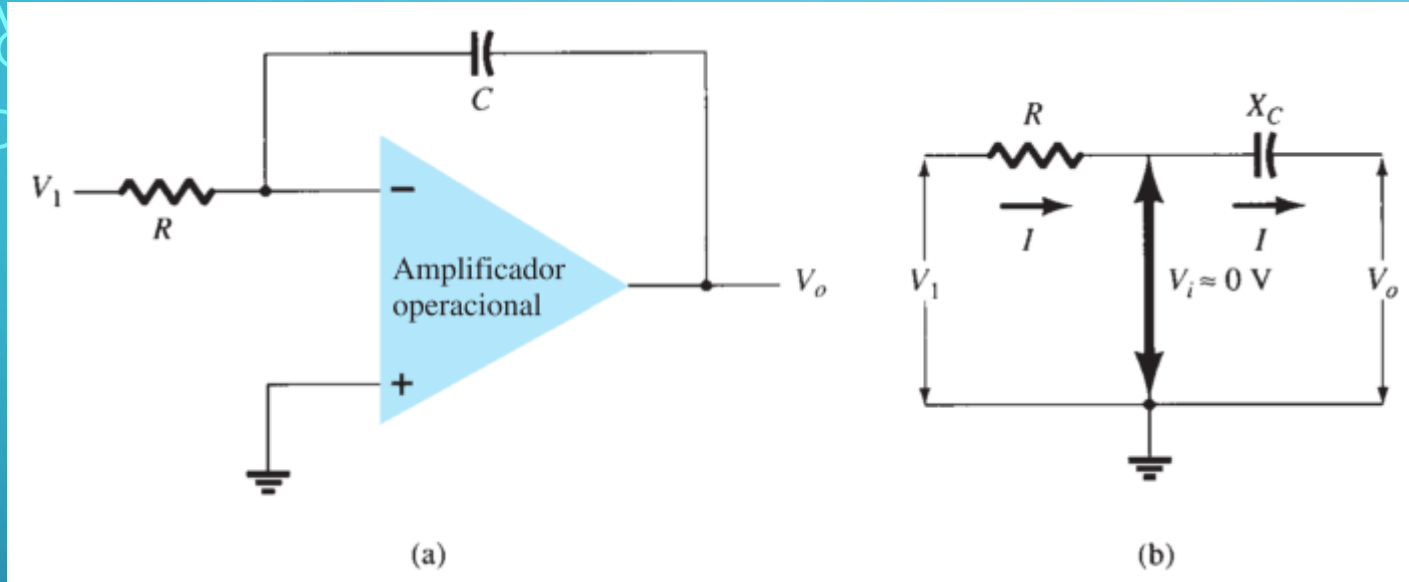
$$V_o = -\left(\frac{R_f}{R_1}V_1 + \frac{R_f}{R_2}V_2 + \frac{R_f}{R_3}V_3\right)$$

Resultado:

a. 
$$V_o = -\left[\frac{1000\text{ k}\Omega}{500\text{ k}\Omega}(+1\text{ V}) + \frac{1000\text{ k}\Omega}{1000\text{ k}\Omega}(+2\text{ V}) + \frac{1000\text{ k}\Omega}{1000\text{ k}\Omega}(+3\text{ V})\right]$$
$$= -[2(1\text{ V}) + 1(2\text{ V}) + 1(3\text{ V})] = -7\text{ V}$$

b. 
$$V_o = -\left[\frac{1000\text{ k}\Omega}{200\text{ k}\Omega}(-2\text{ V}) + \frac{1000\text{ k}\Omega}{500\text{ k}\Omega}(+3\text{ V}) + \frac{1000\text{ k}\Omega}{1000\text{ k}\Omega}(+1\text{ V})\right]$$
$$= -[5(-2\text{ V}) + 2(3\text{ V}) + 1(1\text{ V})] = +3\text{ V}$$

**INTEGRADOR:** Si el componente de realimentación utilizado es un capacitor, la conexión resultante se llama integrador.



Voltaje final a través del tiempo:

La operación de integración es una operación de suma. Si se aplica un voltaje fijo como entrada a un circuito integrador, la ecuación muestra que el voltaje de salida se incrementa durante un tiempo, produce un voltaje con forma de rampa y es de polaridad opuesta al voltaje de entrada y que está multiplicada por el factor  $1/RC$ .

$$X_C = \frac{1}{j\omega C} = \frac{1}{sC}$$

donde  $s = j\omega$  está en la notación de Laplace\*. Resolviendo para  $V_o/V_1$  resulta

$$I = \frac{V_1}{R} = -\frac{V_o}{X_C} = \frac{-V_o}{1/sC} = -sCV_o$$

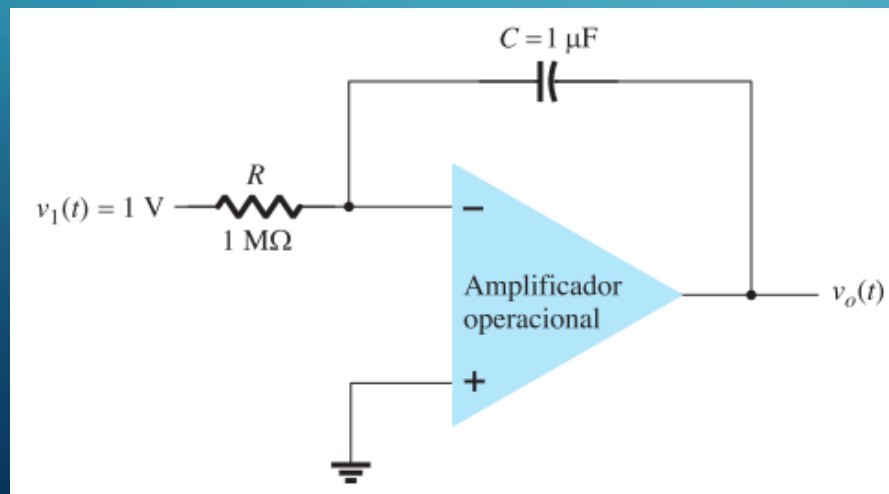
$$v_o(t) = -\frac{1}{RC} \int v_1(t) dt$$

Los siguientes ejemplos con voltaje de entrada fijo, tienen un resultado voltaje de salida de rampa.

### Ejemplo:

Como un ejemplo, considere un voltaje de entrada  $V_1 = 1\text{V}$  al circuito integrador de la figura. El factor de la escala es  $1/RC$

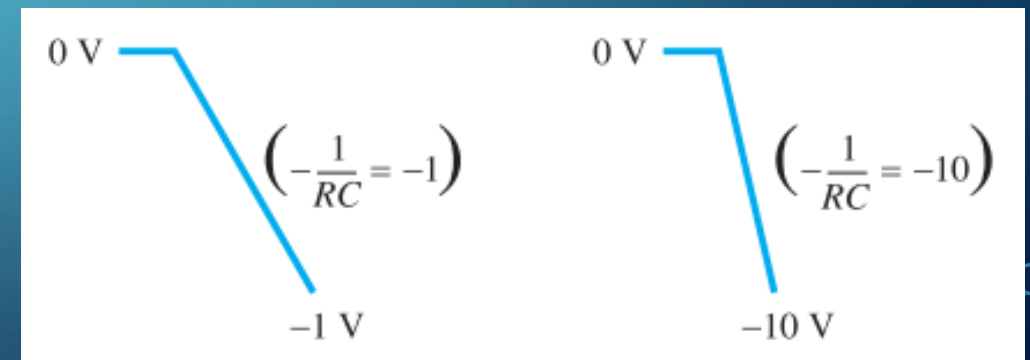
$$-\frac{1}{RC} = \frac{1}{(1\text{ M}\Omega)(1\ \mu\text{F})} = -1$$



Integrador con escala de escalón:

- La salida es un voltaje de rampa negativa.
- Si la resistencia  $R = 100\text{ k}\Omega$ , el voltaje sería una rampa más inclinada.

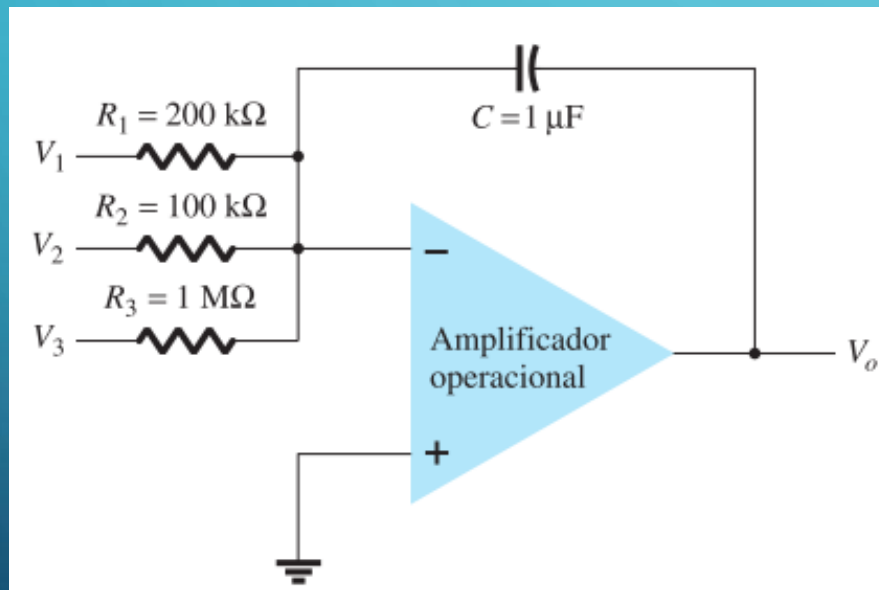
$$-\frac{1}{RC} = \frac{1}{(100\text{ k}\Omega)(1\ \mu\text{F})} = -10$$



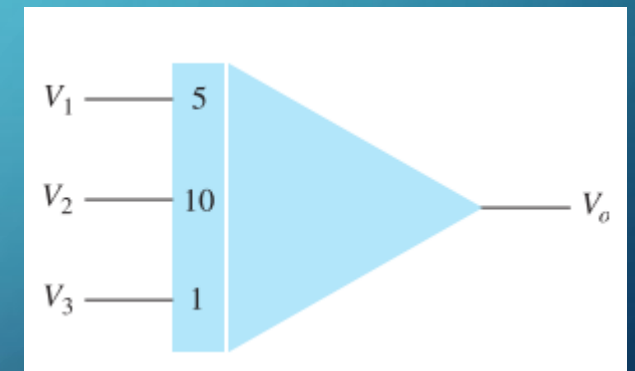
- Se puede aplicar más de una entrada al integrador.

$$v_o(t) = -\left[ \frac{1}{R_1 C} \int v_1(t) dt + \frac{1}{R_2 C} \int v_2(t) dt + \frac{1}{R_3 C} \int v_3(t) dt \right]$$

- Circuito integrador con tres entradas.



- Se puede representar las entradas como un factor escala, para manejar los datos en una computadora analógica.



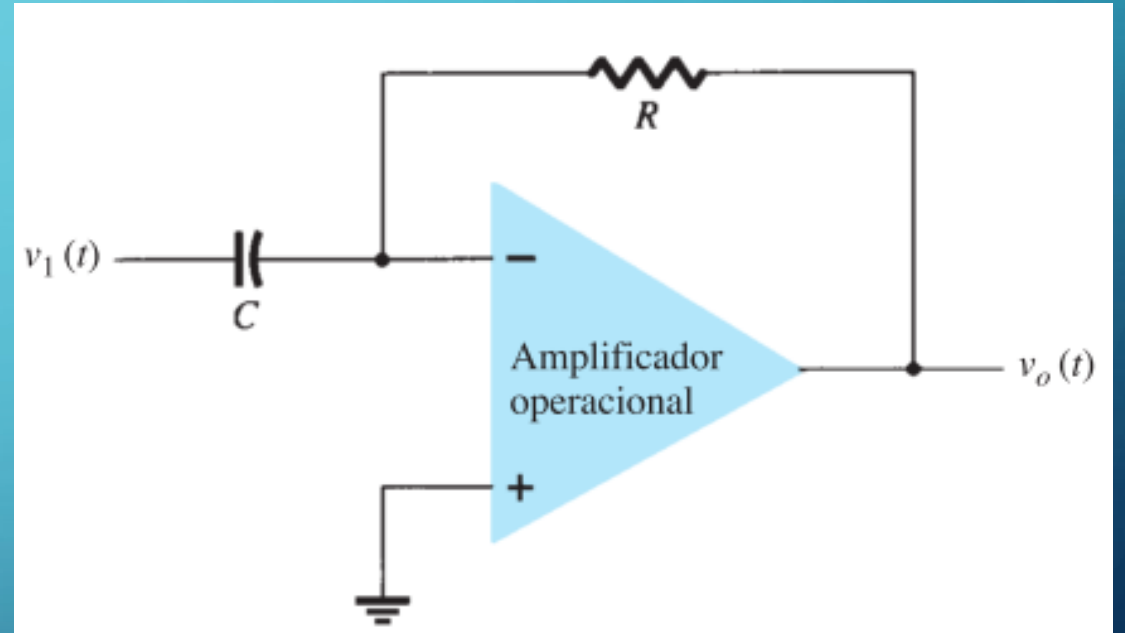


## DIFERENCIADOR:

- Es el menos útil de los amplificadores operacionales.

$$v_o(t) = -RC \frac{dv_1(t)}{dt}$$

- Circuito formado por:
  - Amplificador operacional (Dos entradas y una salida)
  - Capacitor
  - Resistencia



# REFERENCIAS

- Robert I. Boylestad, Louis Nashelsky, electrónica: teoría de circuitos y dispositivos electrónicos, décima edición, capítulo 10.4 y 10.5, páginas 607-6015.