

Ciclos Formativos de Grado Medio

# Electrónica

## Capítulo 8: Amplificadores operacionales

# Índice

- Amplificador
- Amplificador diferencial
- Características del amplificador operacional
- Circuitos con amplificadores operacionales
- Filtros activos
- Convertidores I-V y V-I

# Índice

- Amplificador
- Amplificador diferencial
- Características del amplificador operacional
- Circuitos con amplificadores operacionales
- Filtros activos
- Convertidores I-V y V-I



# Amplificador

- Los primeros amplificadores operacionales se utilizaban principalmente para realizar operaciones como suma, resta, integración y derivación, motivo por el cual recibieron el nombre de “operacionales”.
- Actualmente es uno de los circuitos integrados más comúnmente usados en electrónica analógica.

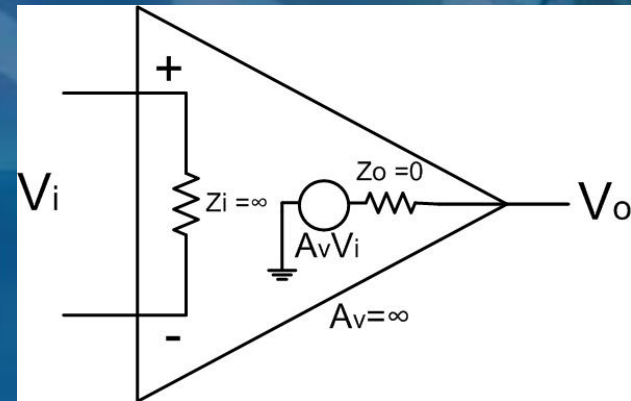
# Amplificador

- En un amplificador operacional el terminal de salida tiene un voltaje ( $V_o$ ) igual a la ganancia del amplificador operacional ( $A_v$ ) multiplicada por el voltaje de entrada del operacional ( $V_i$ ), considerando este voltaje de entrada como la diferencia de voltaje entre la entrada no inversora y la entrada inversora.

$$V_o = A_v \cdot V_i$$

# Amplificador

- Idealmente, un amplificador operacional tiene las siguientes características:
  - Ganancia de voltaje infinita.
  - Impedancia de entrada infinita.
  - Ancho de banda infinito.
  - Impedancia de salida nula.



Representación interna de un amplificador operacional ideal.



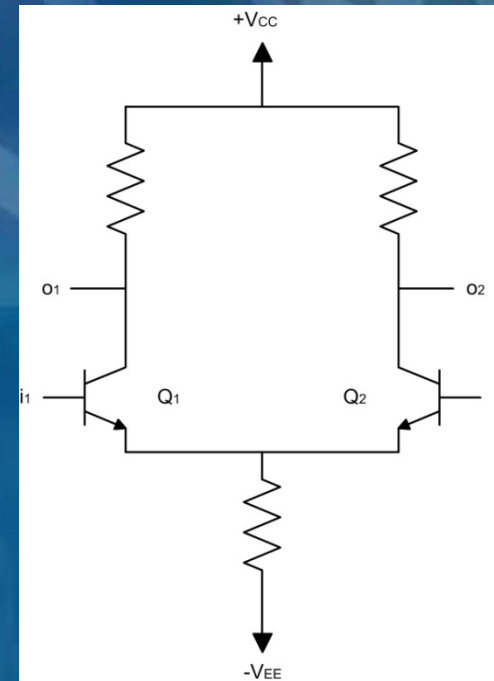
# Índice

- Amplificador
- Amplificador diferencial
- Características del amplificador operacional
- Circuitos con amplificadores operacionales
- Filtros activos
- Convertidores I-V y V-I

# El amplificador diferencial

- Internamente un amplificador operacional está formado por dos o más etapas de un tipo de amplificador que se conoce como amplificador diferencial.

Circuito básico de amplificador diferencial, formado por dos transistores idénticos, una resistencia de colector por cada transistor y una resistencia de emisor común a los dos transistores:





# El amplificador diferencial

- Suponiendo que inicialmente ambas entradas están conectadas a tierra (0 V), los emisores de ambos transistores estarán a -0.7 V. Como ambos transistores son idénticos, sus corrientes de emisor serán también idénticas.
- Estas dos corrientes de emisor se combinan a través de la resistencia de emisor, por tanto:

$$I_{E1} = I_{E2} = \frac{I_{RE}}{2}$$

# El amplificador diferencial

- Siendo la intensidad por la resistencia de emisor: 
$$I_{RE} = \frac{V_E - V_{EE}}{R_E}$$
- Si se aplica un voltaje  $V_B$  positivo en la entrada 1 (que es la base del transistor  $Q_1$ ) manteniendo la entrada 2 a tierra, sucede que ese aumento de voltaje en la base de  $Q_1$  hace que también aumente la corriente  $I_{C1}$  y también el voltaje de emisor hasta  $V_E = V_B - 0.7$ .
- Este cambio en  $V_E$  hace que se reduzca la polarización en directa del transistor  $Q_2$  por lo que disminuirá la corriente  $I_{C2}$ . El resultado global es que el aumento de  $I_{C1}$  produce un decremento de  $V_{C1}$ , y el decremento de  $I_{C2}$  produce un aumento de  $V_{C2}$ .

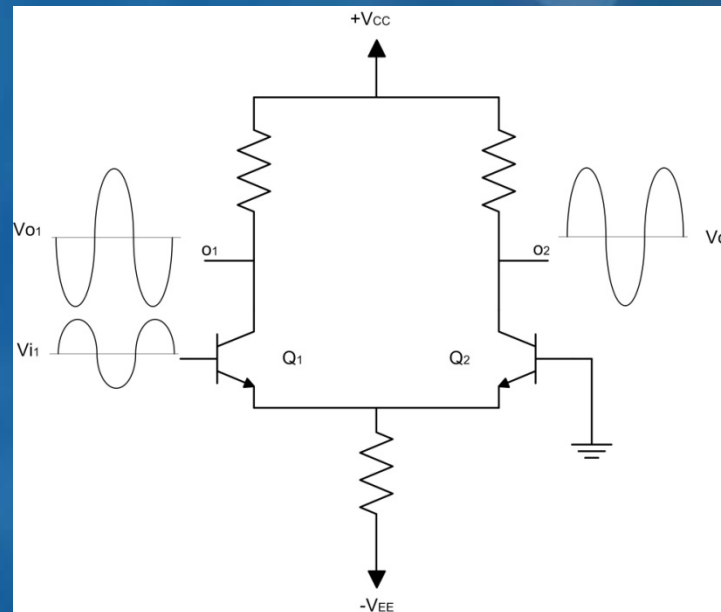
# El amplificador diferencial

- Cuando el amplificador diferencial opera con señal puede hacerlo de tres formas diferentes:
  - Entrada de terminal simple.
  - Entrada diferencial.
  - Entrada común.
- El modo de entrada de terminal simple se da cuando una de las entradas se conecta a tierra y por la otra se introduce la señal a amplificar. El resultado es que en una de las salidas (la opuesta a la entrada) aparecerá la señal amplificada y por la otra salida aparecerá la señal amplificada y desfasada  $180^\circ$ .



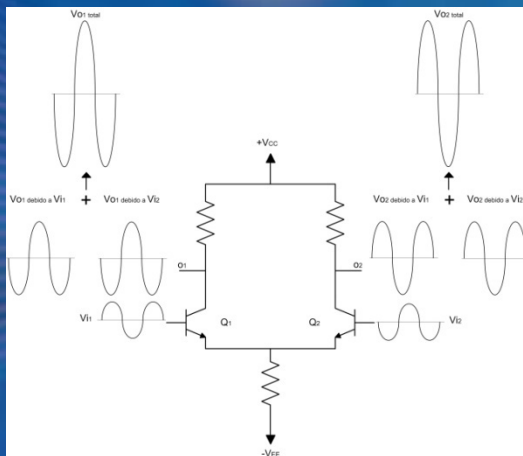
# El amplificador diferencial

- En la Figura se muestra un ejemplo: si se introduce señal por la entrada 1 y se mantiene la entrada 2 a tierra, en la salida 1 se tiene la señal amplificada y desfasada  $180^\circ$  y en la salida 2 se tiene la señal amplificada. El funcionamiento es simétrico si se mantiene la entrada 1 a tierra y se introduce la señal por la entrada 2.

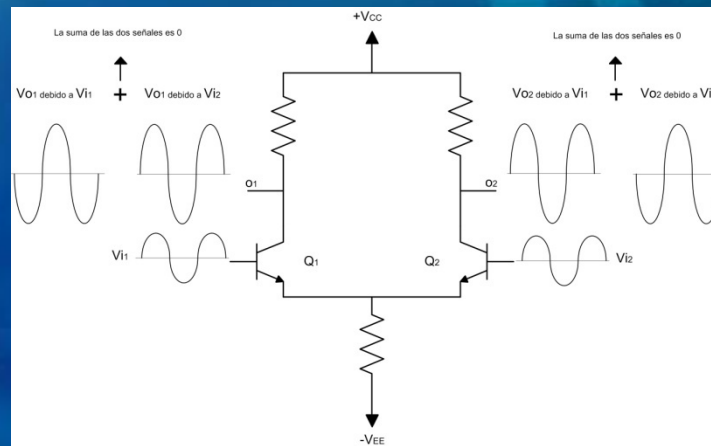


# El amplificador diferencial

- El modo de entrada diferencial se da cuando en las dos entradas se aplican dos señales de polaridad opuesta (desfasadas  $180^\circ$ ).
- El tercer modo de funcionamiento, entrada en modo común, se da cuando en las dos entradas se introduce la misma señal.



Diferencial



Común

# Índice

- Amplificador
- Amplificador diferencial
- Características del amplificador operacional
- Circuitos con amplificadores operacionales
- Filtros activos
- Convertidores I-V y V-I



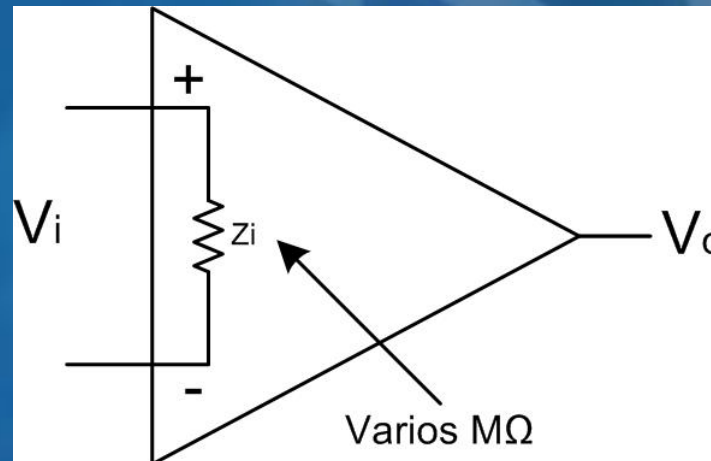
# Características del amplificador operacional

- Un amplificador operacional tiene una serie de características ideales como impedancia de entrada infinita, ganancia infinita, etc.
- Un amplificador operacional real tiene unas características que no son ideales, pero que se pueden asumir como ideales a la hora de utilizar algunas técnicas para simplificar el análisis de circuitos basados en amplificador operacional.

# Características del amplificador operacional

## Impedancias de entrada y salida:

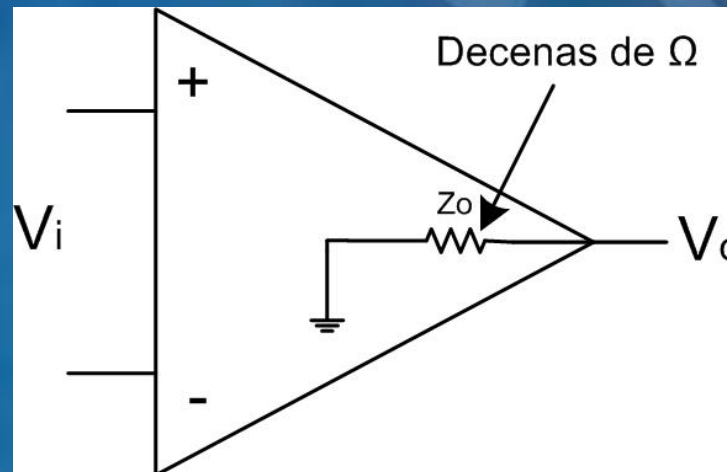
- La impedancia de entrada de un amplificador operacional es la resistencia total existente entre la entrada inversora y la entrada no inversora.



# Características del amplificador operacional

## Impedancias de entrada y salida:

- La impedancia de salida de un amplificador operacional es la resistencia que hay entre el terminal de salida y tierra.





# Características del amplificador operacional

## Ganancia en lazo abierto:

- La ganancia en lazo abierto de un amplificador operacional es la ganancia del amplificador cuando no hay ningún tipo de realimentación de la salida a la entrada.
- La ganancia de un amplificador con varias etapas en cascada se obtiene multiplicando las ganancias de cada una de ellas.

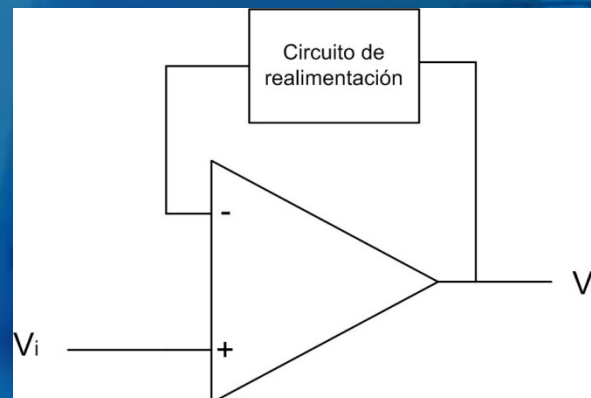
# Índice

- Amplificador
- Amplificador diferencial
- Características del amplificador operacional
- Circuitos con amplificadores operacionales
- Filtros activos
- Convertidores I-V y V-I

# Circuitos con amplificadores operacionales

## Realimentación negativa:

- La realimentación negativa en un circuito con amplificador operacional se da cuando una parte del voltaje de salida del amplificador vuelve hacia la entrada inversora a través de un camino de realimentación.





# Circuitos con amplificadores operacionales

## Configuración no inversora:

- Se dice que un amplificador operacional está en configuración no inversora cuando hay realimentación negativa y la entrada de señal se hace por la entrada no inversora.
- Se define la ganancia en lazo cerrado para este amplificador como:

$$A_{LC} = \frac{V_o}{V_i} .$$

# Circuitos con amplificadores operacionales

## Configuración no inversora:

- Como la impedancia de entrada del amplificador operacional es muy grande (idealmente infinita), se puede asumir que por la entrada inversora no entra corriente luego las resistencias  $R_1$  y  $R_2$  forman un divisor de tensión para  $V_o$ , y por tanto  $V_-$  es:

$$V_- = V_o \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

La ganancia en lazo cerrado es independiente de la ganancia en lazo abierto, y solo depende de la red de alimentación.

# Circuitos con amplificadores operacionales

## Configuración inversora:

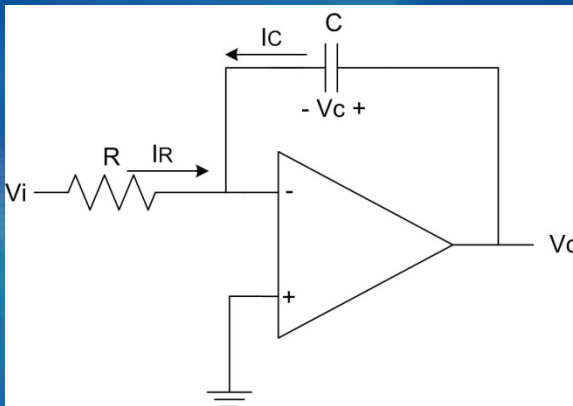
- Un amplificador operacional está en configuración inversora cuando hay realimentación negativa y la entrada de señal se hace por la entrada inversora del operacional.
- Una aplicación de la configuración inversora es el sumador de señales. Es un circuito que permite sumar dos o más señales ponderadas por constantes.



# Circuitos con amplificadores operacionales

## Otras aplicaciones:

- Otra de las aplicaciones que se pueden realizar utilizando operacionales son circuitos integradores o derivadores. Ambos basan su funcionamiento en el uso de un condensador además del amplificador operacional.
- Circuito integrador:



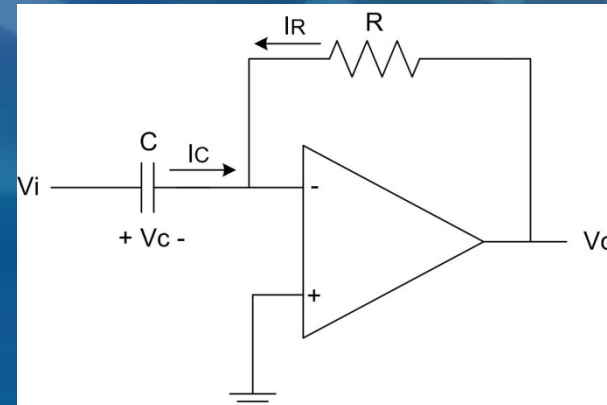
La tensión de salida es la integral de la tensión de entrada multiplicada por una constante.

# Circuitos con amplificadores operacionales

## Otras aplicaciones:

### — Circuito derivador

La salida es la derivada de la entrada multiplicada por una constante.



# Índice

- Amplificador
- Amplificador diferencial
- Características del amplificador operacional
- Circuitos con amplificadores operacionales
- Filtros activos
- Convertidores I-V y V-I

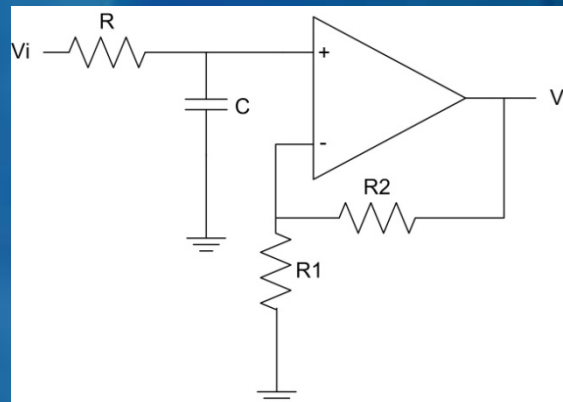


## Filtros activos

- Los filtros activos se diferencian de los filtros comunes en que además de resistencias, bobinas y condensadores, los filtros activos también incluyen componentes activos como transistores o amplificadores operacionales.
- El modo de funcionamiento aunque similar, también tiene diferencias: en un filtro pasivo la salida siempre va a ser menor que la entrada, en uno activo la salida puede ser mayor que la entrada ya que el elemento activo introduce una amplificación.

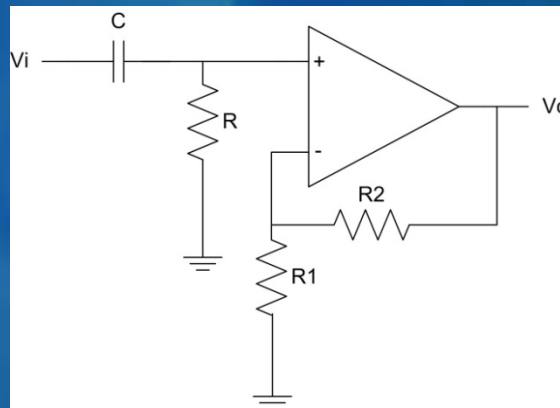
# Filtros activos

- Paso bajo
  - Un filtro paso bajo es un filtro que amplifica las bajas frecuencias hasta una determinada frecuencia de corte, y atenúa el resto de frecuencias por encima de esa frecuencia de corte.
  - Se considera como frecuencia de corte aquella frecuencia para la cual la amplitud de la salida es  $\frac{1}{\sqrt{2}}$  veces la amplitud máxima de la salida.



# Filtros activos

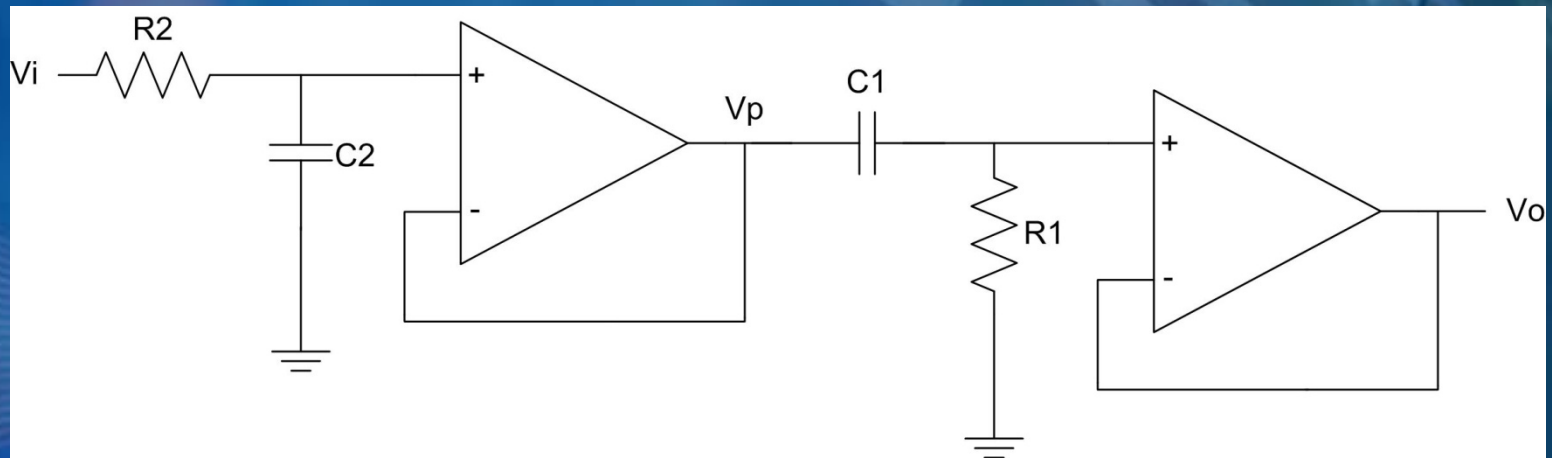
- Paso alto
  - Un filtro paso alto es un filtro que amplifica las altas frecuencias hasta una determinada frecuencia de corte, y atenúa al resto de frecuencias por debajo de esa frecuencia de corte.
  - Se considera como frecuencia de corte aquella frecuencia para la cual la amplitud de la salida es  $\frac{1}{\sqrt{2}}$  veces la amplitud máxima de la salida.





# Filtros activos

- Paso banda
  - Un filtro paso banda es un filtro que amplifica las señales de frecuencias comprendidas entre una frecuencia de corte inferior y una frecuencia de corte superior, y atenúa el resto de frecuencias.



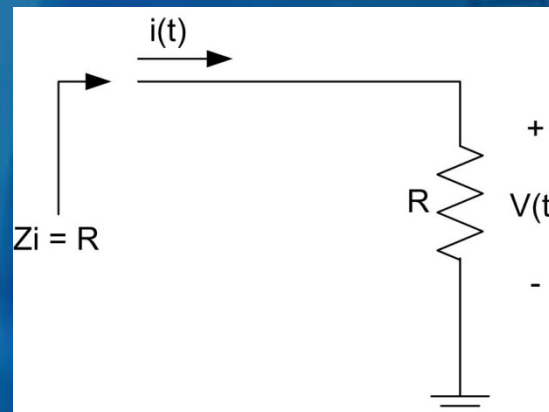
# Índice

- Amplificador
- Amplificador diferencial
- Características del amplificador operacional
- Circuitos con amplificadores operacionales
- Filtros activos
- Convertidores I-V y V-I

# Convertidores $I$ - $V$ y $V$ - $I$

- Los circuitos convertidores corriente-tensión ( $I$ - $V$ ) tienen como objetivo obtener una tensión  $V(t)$  proporcional a una corriente  $i(t)$ .
- El circuito más básico que se podría pensar para convertir una corriente en una tensión es una simple resistencia:

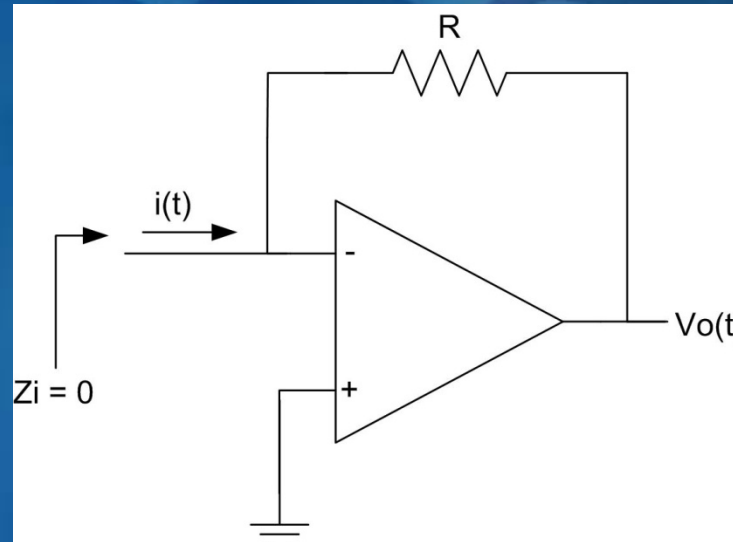
En ese circuito, la tensión en la resistencia es proporcional a la corriente que entra en el circuito.





# Convertidores $I$ - $V$ y $V$ - $I$

- Un convertidor  $I$ - $V$  basado en operacional



# Convertidores $I$ - $V$ y $V$ - $I$

- El segundo tipo de convertidores que se van a presentar son los convertidores tensión-corriente ( $V$ - $I$ ).
- Estos convertidores tienen como objetivo obtener una corriente  $i(t)$  proporcional a una tensión de entrada  $V(t)$ .

Ciclos Formativos de Grado Medio

# Electrónica

## Capítulo 8: Amplificadores operacionales