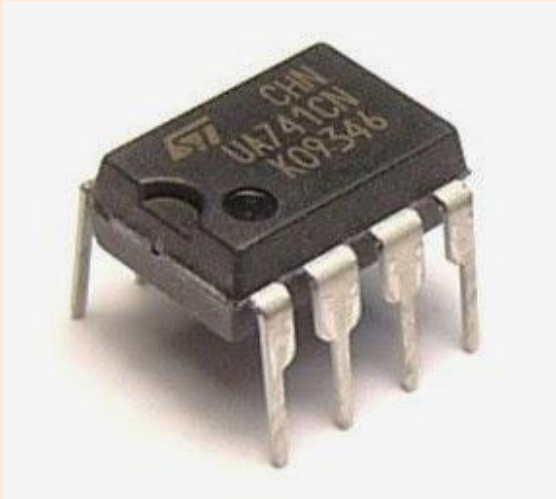
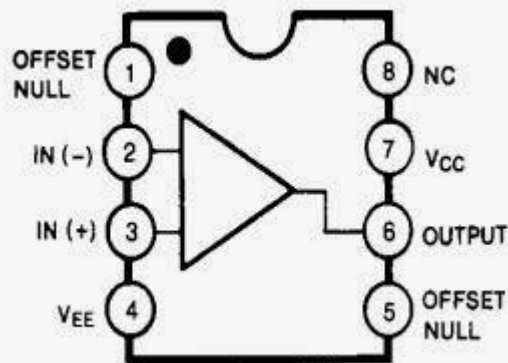


AMPLIFICADOR OPERACIONAL

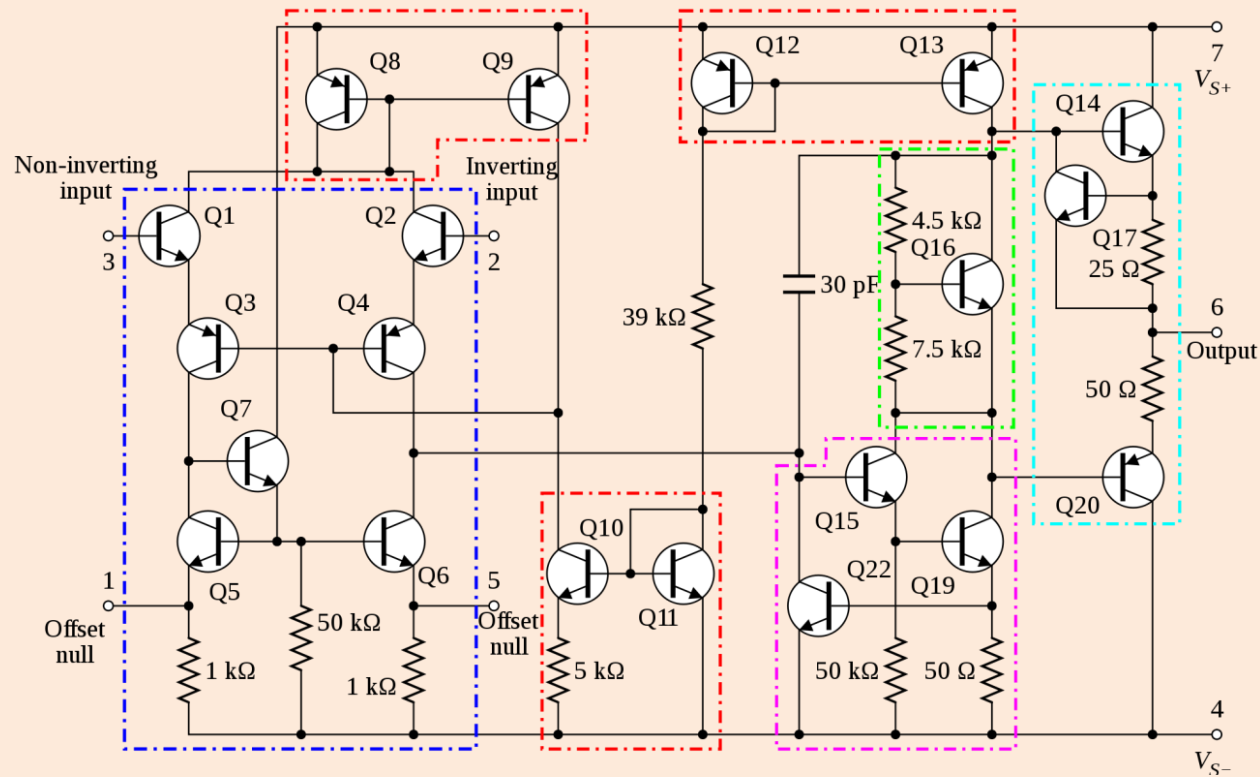
Un **amplificador operacional** es un elemento de circuito **activo**, diseñado para realizar operaciones matemáticas de : suma, resta, multiplicación, división, diferenciación e integración. Estos son muy utilizados en la instrumentación electrónica.



Forma comercial del 741



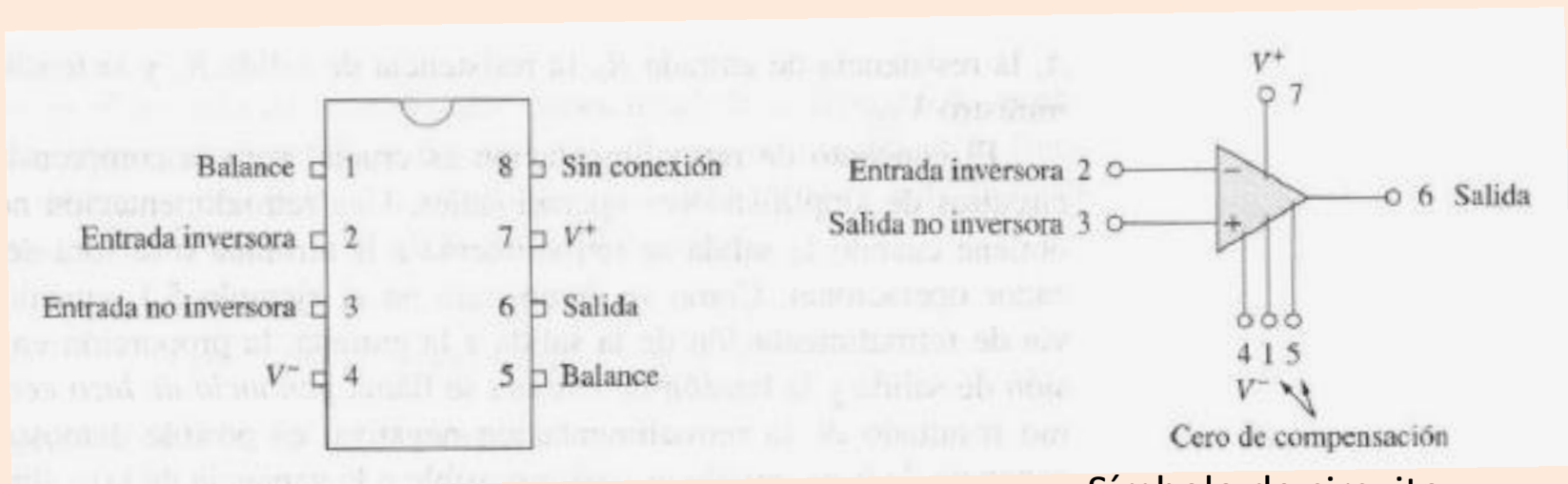
Disposición de terminales



Esquema del circuito interno

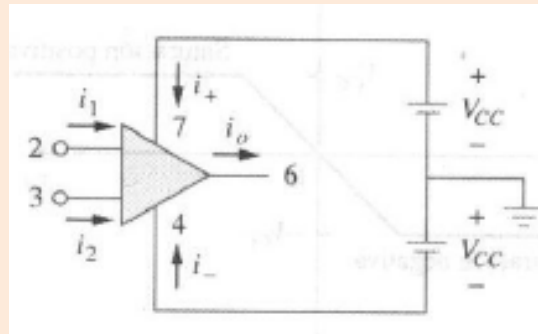
AMPLIFICADOR OPERACIONAL

- La entrada inversora, terminal 2.
- La entrada no inversora, terminal 3.
- La salida, terminal 6.
- El suministro de potencia V^+ , terminal 7.
- El suministro de potencia V^- , terminal 4.



Configuración de terminales

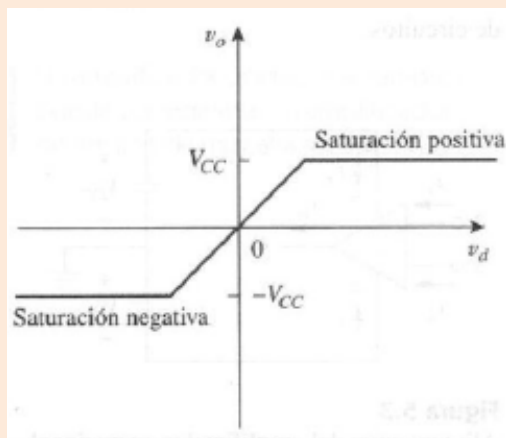
Símbolo de circuito



Alimentación del amplificador

Gamas habituales de parámetros del amplificador operacional

Parámetro	Rango típico	Valores ideales
Ganancia de lazo abierto, A	10^5 a 10^8	∞
Resistencia de entrada, Ri	10^5 a $10^{13} \Omega$	$\infty \Omega$
Resistencia de salida, Ro	10 a 100Ω	0Ω
Tensión de suministro, Vcc	5 a 24 V	



1. Saturación positiva, $v_o = V_{CC}$.
2. Región lineal, $-V_{CC} \leq v_o = Av_d \leq V_{CC}$.
3. Saturación negativa, $v_o = -V_{CC}$.

$$-V_{CC} \leq v_o \leq V_{CC}$$

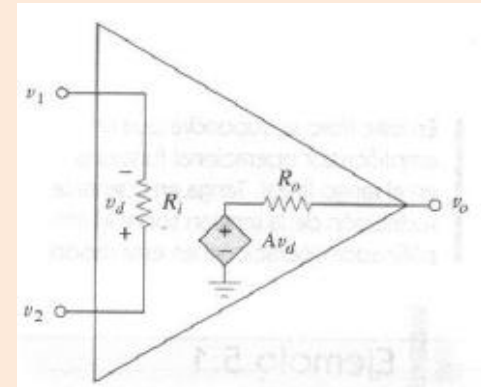
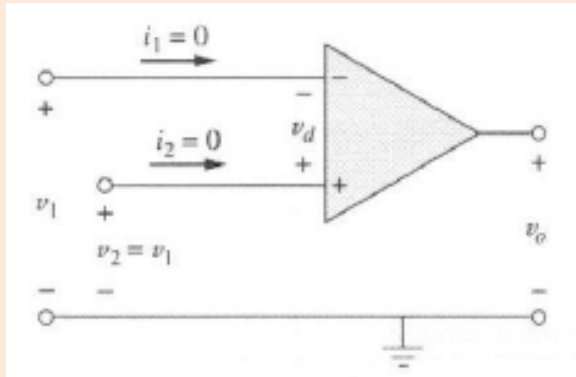
AMPLIFICADOR OPERACIONAL

En el estudio del funcionamiento, se supondrá que los Amplificadores Operacionales son ideales, para lo cual se tendrá presente las siguientes características:

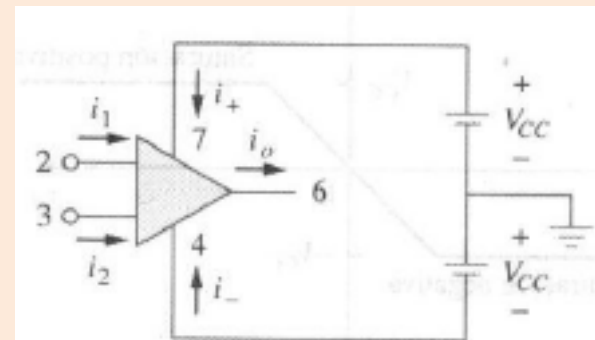
1. Ganancia Infinita de Lazo Abierto, $A = \infty$
2. Resistencia de entrada Infinita, $R_i = \infty$
3. Resistencia de salida cero, $R_o = 0$

$$v_d = v_2 - v_1$$

$$v_o = Av_d = A(v_2 - v_1)$$

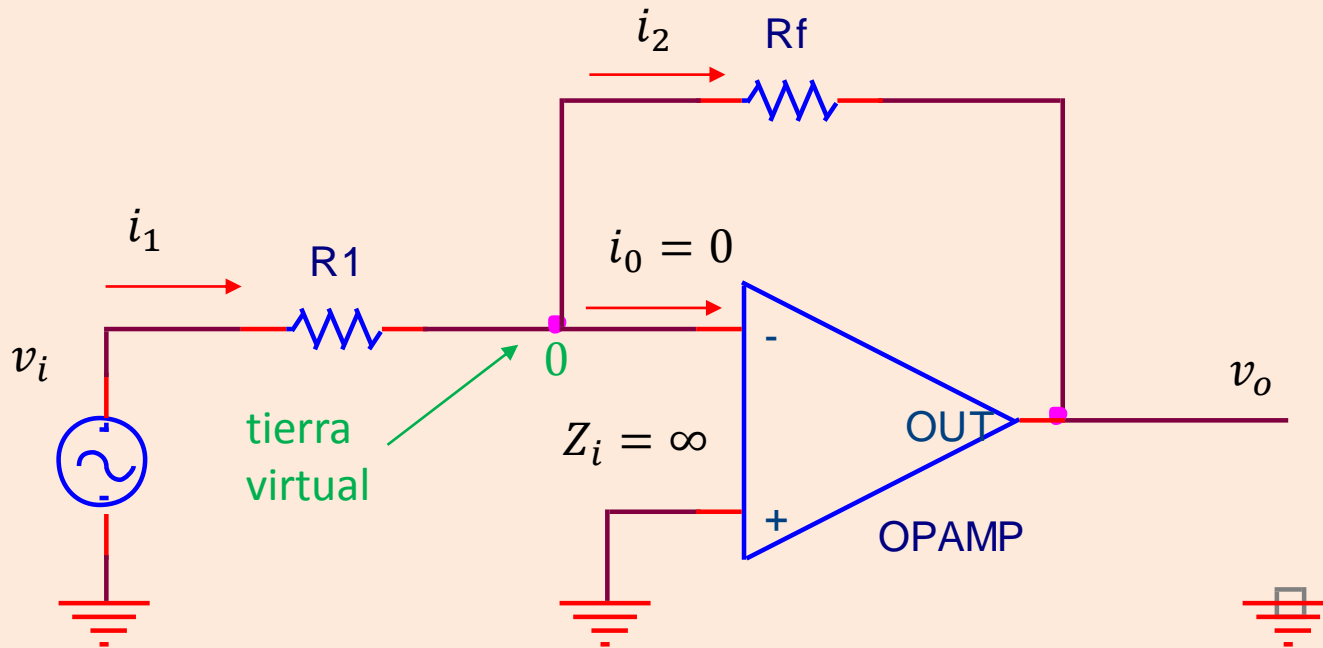


Modelos, circuito equivalente



$$i_o = i_1 + i_2 + i_+ + i_-$$

AMPLIFICADOR OPERACIONAL



$$i_1 = \frac{v_i - 0}{R_1}$$

$$i_2 = \frac{0 - v_o}{R_f}$$

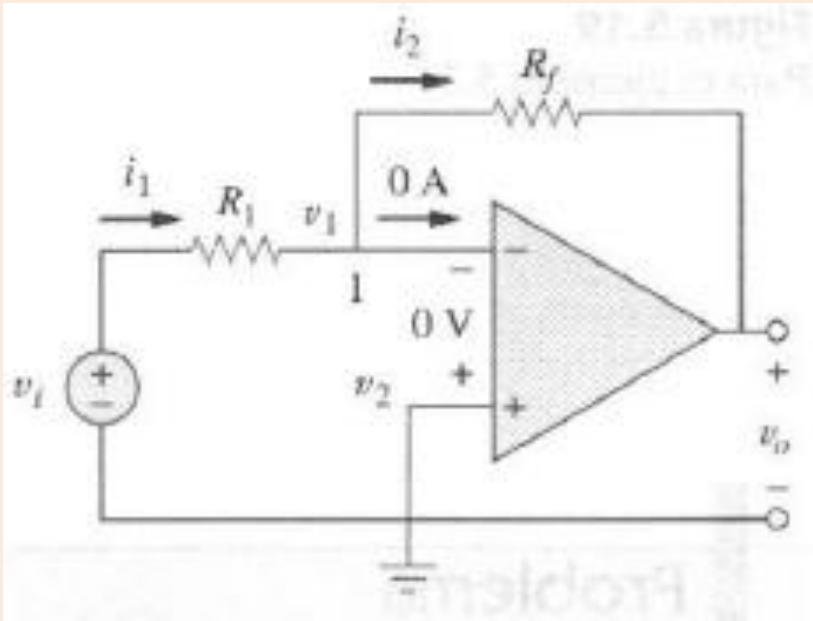
$$i_1 = i_2$$

$$\frac{v_i - 0}{R_1} = \frac{0 - v_o}{R_f}$$

$$\frac{v_o}{v_i} = - \left(\frac{R_f}{R_1} \right)$$

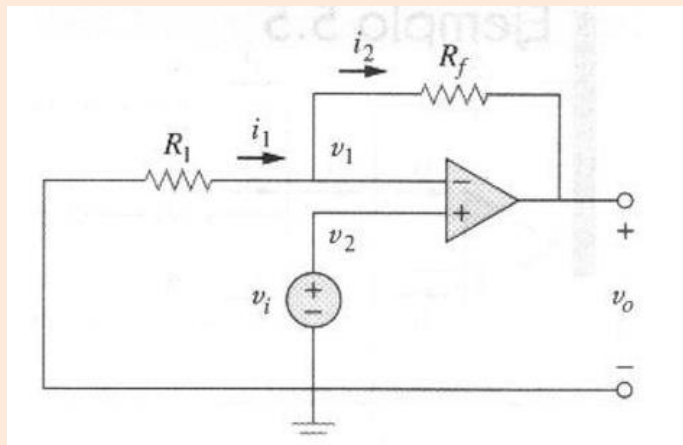
Amplificador inversor:

Es un circuito de amplificador operacional diseñado para suministrar una ganancia de tensión negativa. Invierte la señal de entrada.

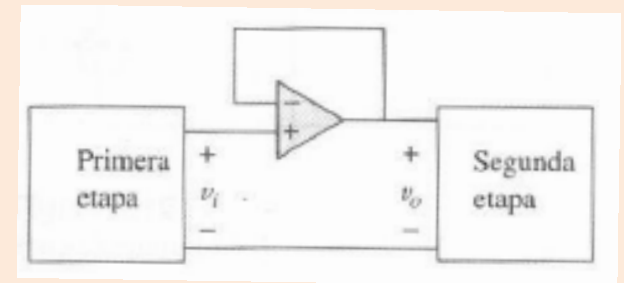
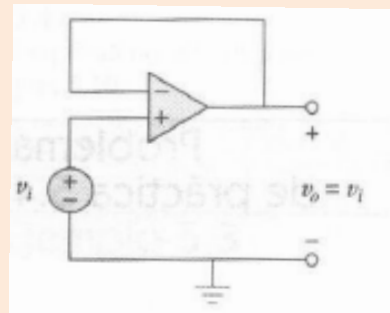


Amplificador no inversor:

Es un circuito de amplificador operacional diseñado para suministrar una ganancia de tensión positiva.



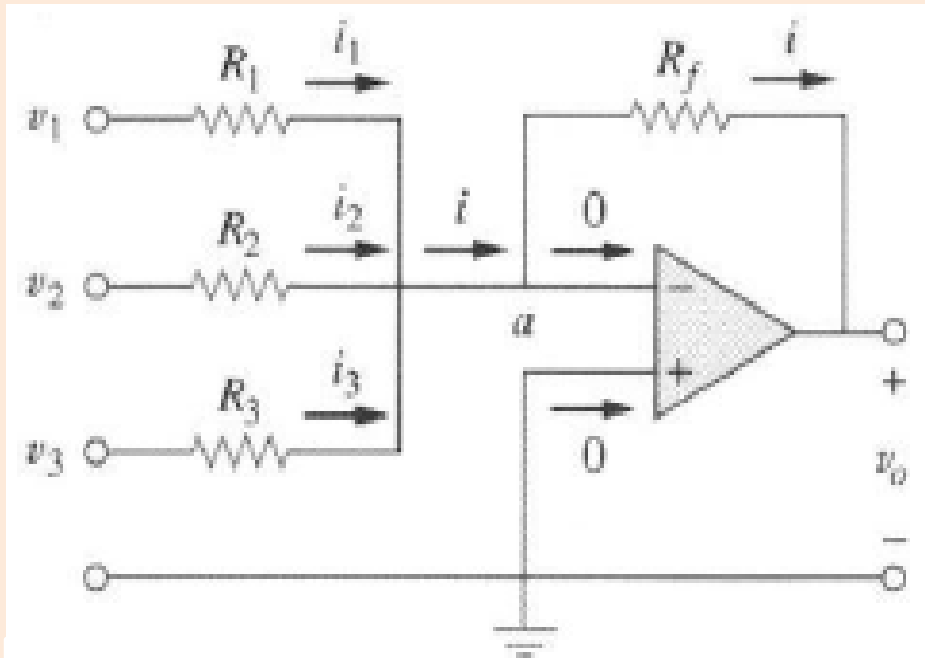
$R_f = 0$ (cortocircuito) o $R_1 = \infty$
La ganancia se convierte en 1
($V_o = V_i$)



Seguidor de tensión
(aísla etapas en cascada)

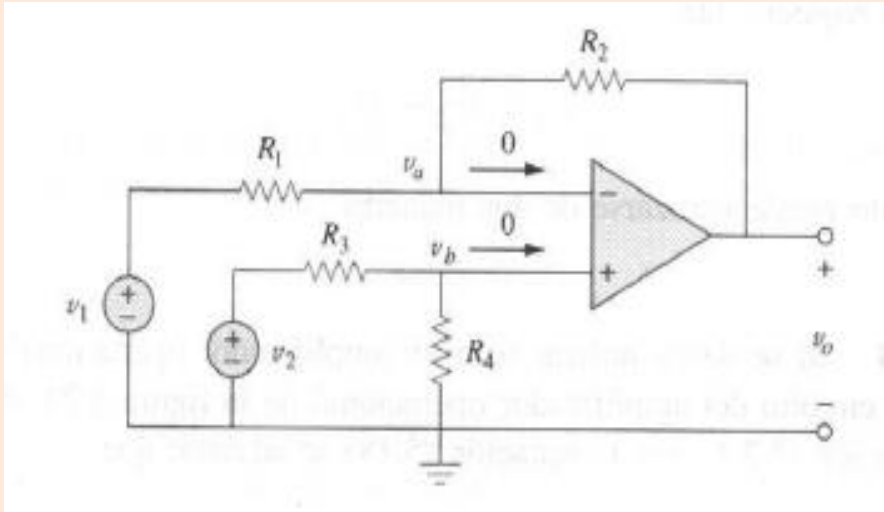
Amplificador sumador:

En esta configuración, la salida del Amplificador Operacional, es la suma las señales de entrada y además la invierte.



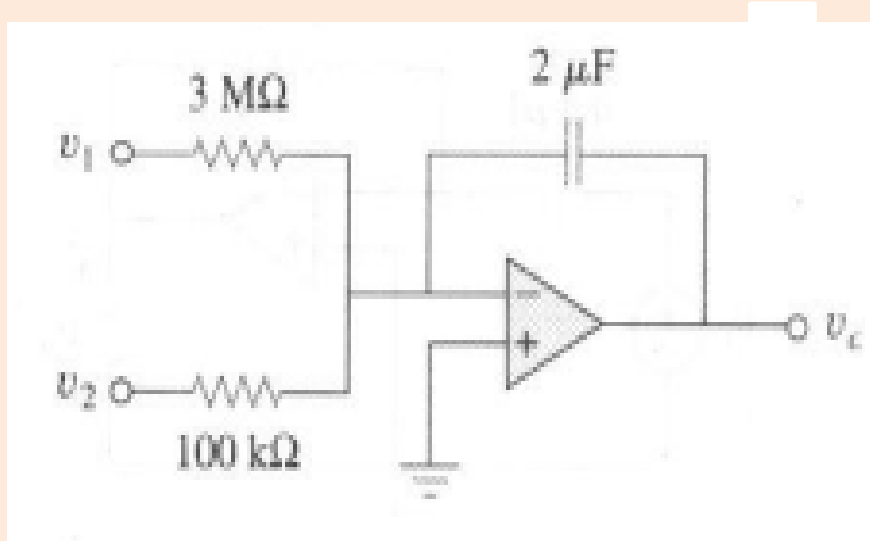
Amplificador diferencial:

Amplifica la diferencia entre las señales de entrada. Son muy utilizados para la instrumentación.



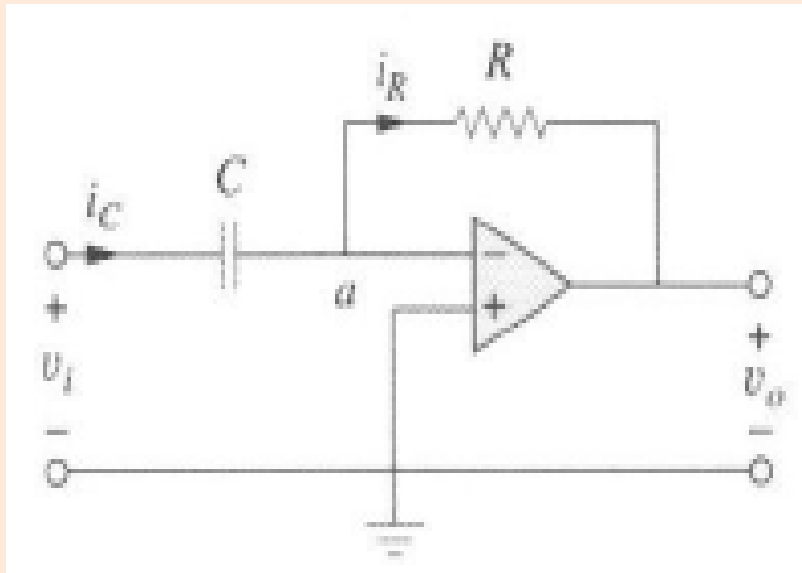
Amplificador Integrador:

Es un circuito del Amplificador Operacional cuya salida es proporcional a la integral de señal de entrada.



Amplificador Derivador:

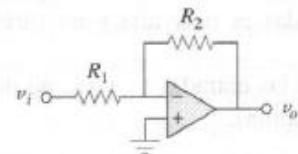
Es un circuito del Amplificador Operacional cuya salida es proporcional a la velocidad de cambio de la señal de entrada.



AMPLIFICADOR OPERACIONAL

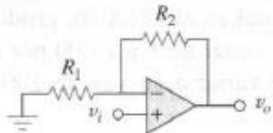
TABLA 5.3 Resumen de circuitos de amplificador operacional básicos.

Circuito del amplificador **Nombre/relación de salida-entrada**



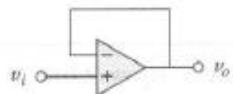
Amplificador inversor

$$v_o = -\frac{R_2}{R_1}v_i$$



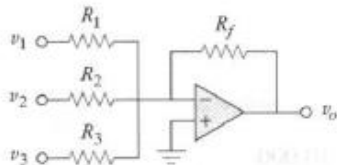
Amplificador no inversor

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



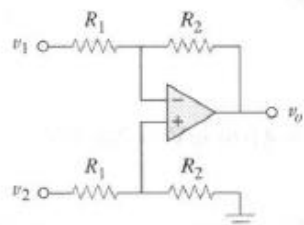
Seguidor de tensión

$$v_o = v_i$$



Sumador

$$v_o = -\left(\frac{R_f}{R_1}v_1 + \frac{R_f}{R_2}v_2 + \frac{R_f}{R_3}v_3\right)$$



Amplificador de diferencia

$$v_o = \frac{R_2}{R_1}(v_2 - v_1)$$

3. Un amplificador operacional ideal tiene una resistencia de entrada infinita, una resistencia de salida cero y una ganancia infinita.
4. En un amplificador operacional ideal, la corriente por cada una de sus dos terminales de entrada es de cero y la tensión entre las terminales de entrada es despreciable.
5. En un amplificador inversor, la tensión de salida es un múltiplo negativo de la entrada.
6. En un amplificador no inversor, la salida es un múltiplo positivo de la entrada.
7. En un seguidor de tensión, la salida sigue a la entrada.
8. En un amplificador sumador, la salida es la suma ponderada de las entradas.
9. En un amplificador diferencial, la salida es proporcional a la diferencia de las dos entradas.
10. Los circuitos del amplificador operacional pueden disponerse en cascada sin alterar sus relaciones de entrada-salida.
11. *PSpice* puede usarse para analizar un circuito de amplificador operacional.
12. Las aplicaciones usuales de los amplificadores operacionales considerados en este capítulo incluyen el convertidor digital-analógico y el amplificador de instrumentación.

Ejemplo 1

Remítase al amplificador operacional de la figura 5.12. Si $v_i = 0.5$ V, calcule: a) la tensión de salida v_o y b) la corriente en el resistor de $10\text{ k}\Omega$.

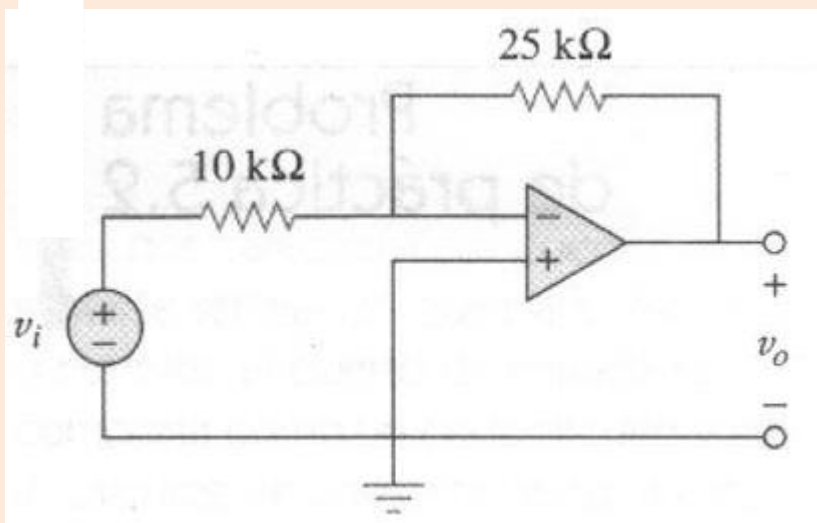


Figura 5.12

Ejemplo 2

Halle v_o e i_o en el circuito del amplificador operacional que se muestra en la figura 5.23.

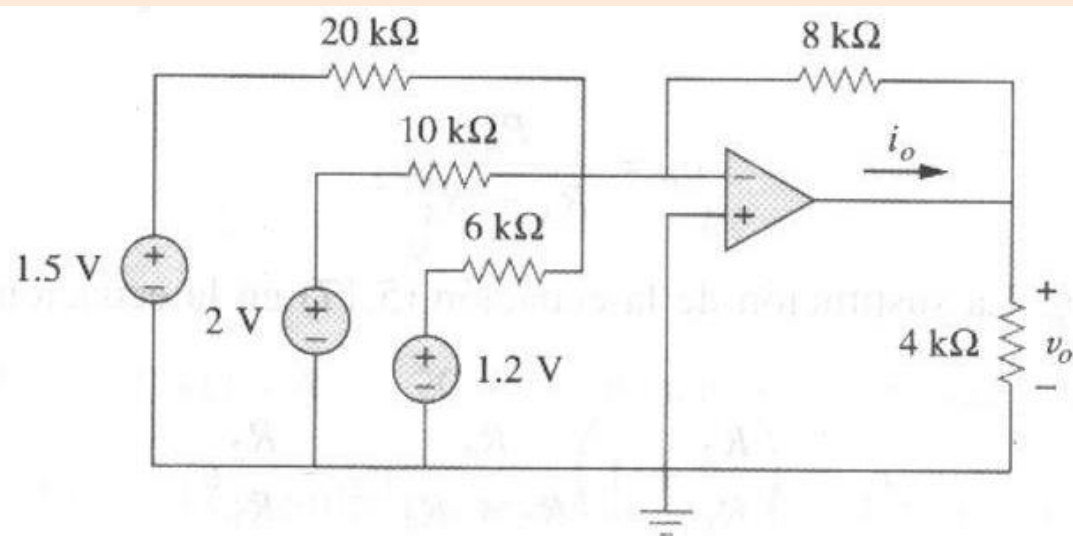


Figura 5.23

COMPUTADORA ANALOGICA

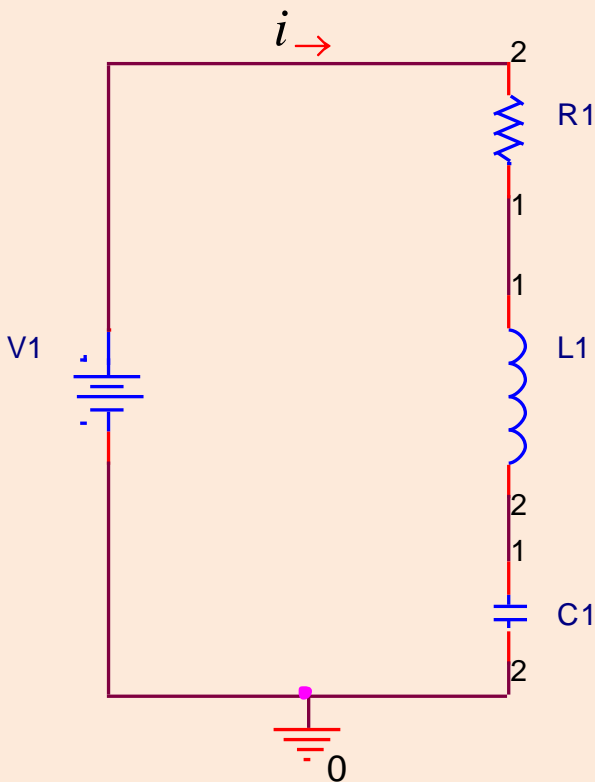
En una importante herramienta para el ingeniero que se dedica a la investigación, por que esta puede convertirse en un modelo flexible del modelo físico que se está estudiando.

La importancia de la utilización del computador analógico es predecir el comportamiento de un sistema físico, resolviendo las ecuaciones integrodiferenciales por medio de la utilización de amplificadores operacionales configurados para realizar dichas operaciones matemáticas.

COMPUTADORA ANALOGICA

Ejemplo 1

Diseñar un programa que resuelva la ecuación integrodiferencial del circuito.



Aplicando LKV

$$V = iR + L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int i dt$$

derivamos

$$0 = R \frac{di}{dt} + L \frac{d^2i}{dt^2} + \frac{i}{C}$$

Despejamos la derivada de mayor orden

$$\frac{d^2i}{dt^2} = - \left(\frac{R}{L} \frac{di}{dt} + \frac{i}{LC} \right)$$

El programa debe resolver esta ecuación diferencial

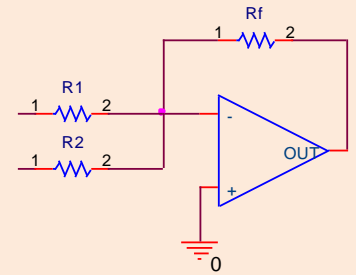
$$\frac{d^2 i}{dt^2} = - \left(\frac{R}{L} \frac{di}{dt} + \frac{i}{LC} \right)$$



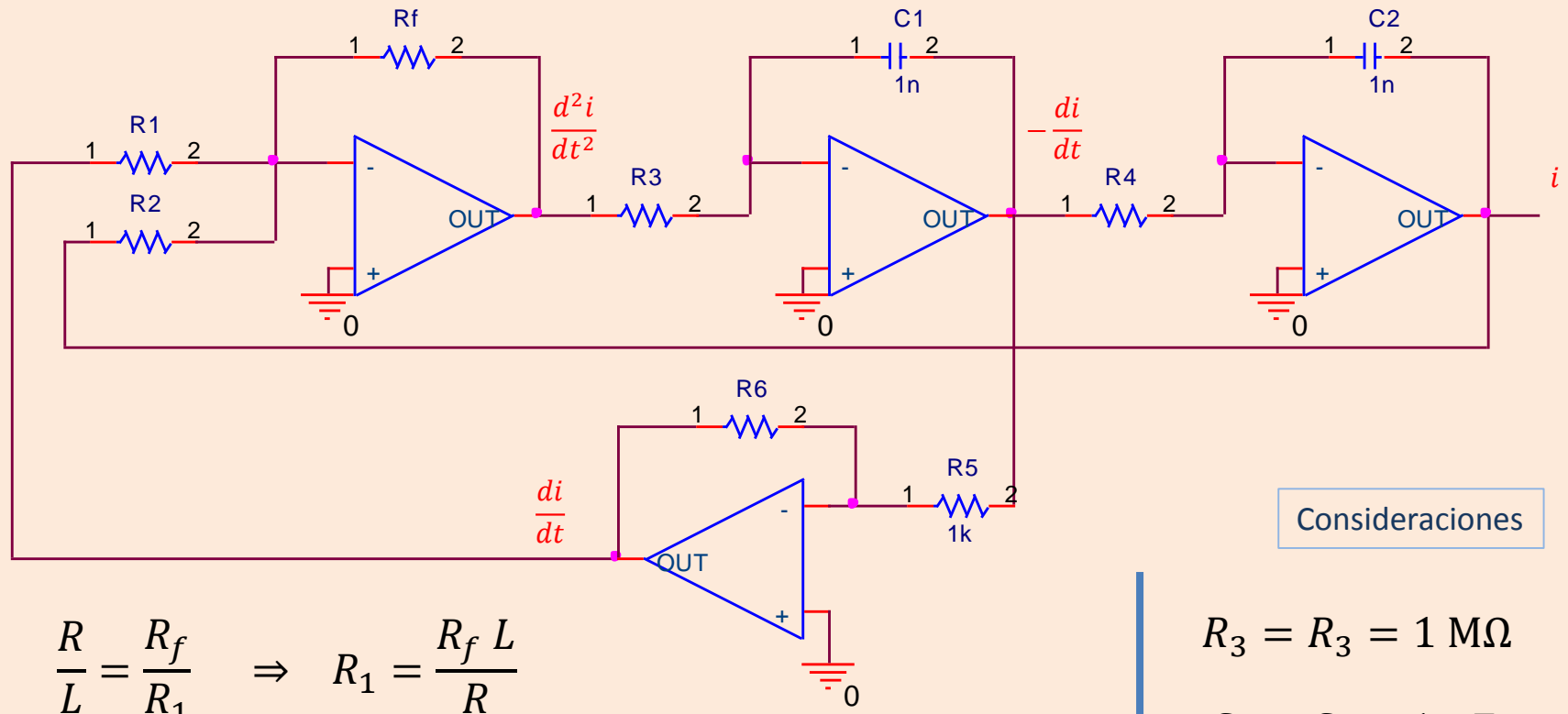
$$V_0 = - \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} \right) R_f$$



Sumador inversor



• Programa propuesto



Consideraciones

$$\frac{R}{L} = \frac{R_f}{R_1} \Rightarrow R_1 = \frac{R_f L}{R}$$

$$\frac{1}{LC} = \frac{R_f}{R_2} \Rightarrow R_2 = LCR_f$$

$$R_3 = R_3 = 1 \text{ M}\Omega$$

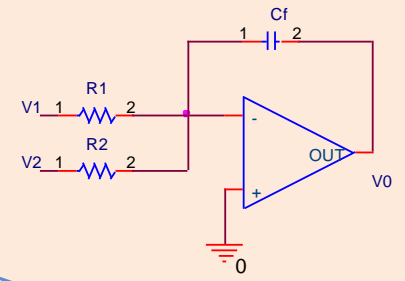
$$C_1 = C_2 = 1 \mu\text{F}$$

$$RC = 1$$

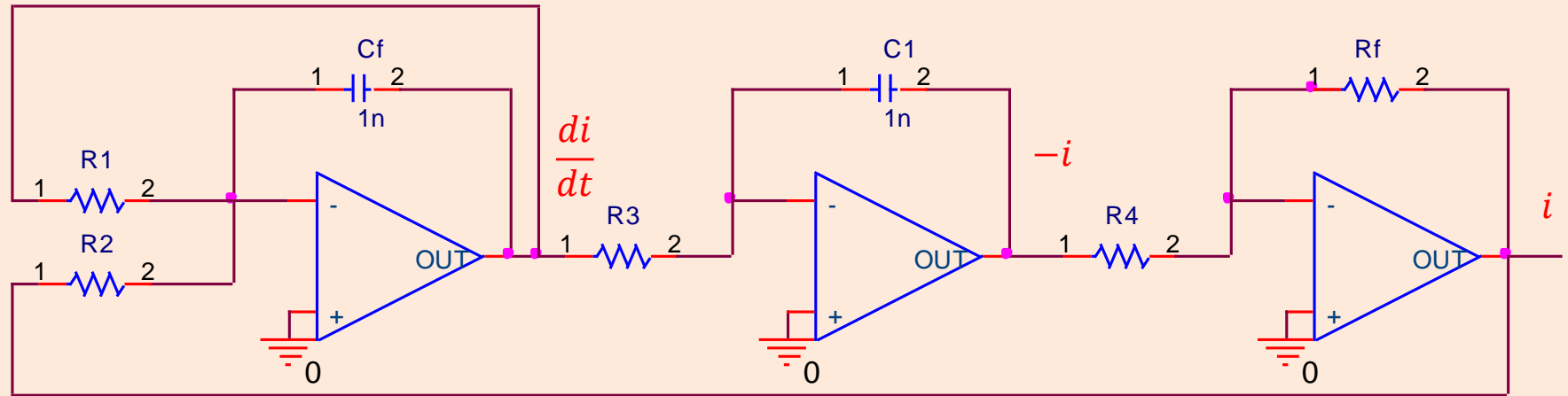
Solución del problema anterior con un amplificador menos.

Sumador integrador inversor

$$\int \frac{d^2 i}{dt^2} = - \int \left(\frac{R}{L} \frac{di}{dt} + \frac{i}{LC} \right) dt \Rightarrow \frac{di}{dt} = - \int \left(\frac{R}{L} \frac{di}{dt} + \frac{i}{LC} \right) dt \Rightarrow$$



$$V_0 = - \left(\frac{V_1}{C_f R_1} + \frac{V_2}{C_f R_2} \right) dt$$



$$\frac{R}{L} = \frac{R_f}{C_f R_1} \Rightarrow R_1 = \frac{L}{R C_f}$$

$$\frac{1}{LC} = \frac{1}{C_f R_2} \Rightarrow R_2 = \frac{LC}{C_f}$$

$$R_f = R_3 = R_4 = 1 \text{ M}\Omega$$

$$C_1 = 1 \mu\text{F}$$

