



Universidad
Carlos III de Madrid



Departamento
Tecnología
Electrónica

Fundamentos de Ingeniería Electrónica

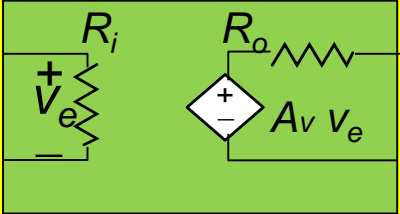
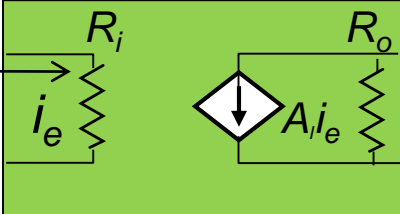
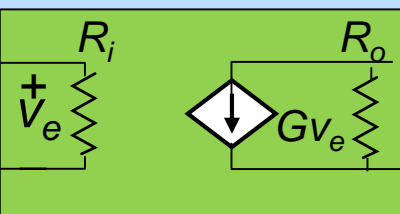
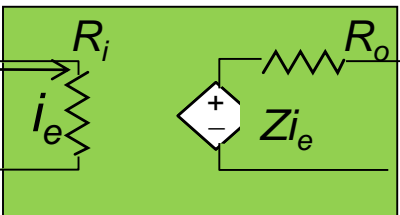
Sesión 5: Amplificadores (Continuación).

Sesión 5.

Amplificadores. Continuación

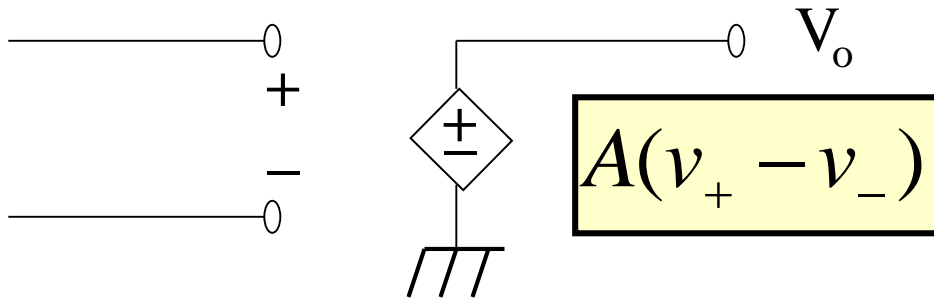
1. El amplificador operacional ideal
2. Parámetros del amplificador operacional ideal
3. Amplificador operacional comercial
4. El amplificador operacional en lazo abierto: comparador
 - a. Ejemplo básico: comparando dos señales
 - b. Problema 1: Control carga de batería (para casa)
5. El amplificador operacional con realimentación negativa
 - a. Ejemplos básicos: inversor, no inversor, buffer
 - b. Ejemplos avanzados: amplificador diferencial y de instrumentación.

Los tipos de amplificación

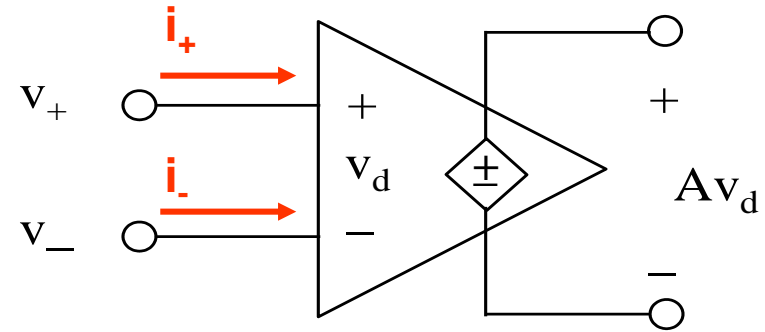
	Entra	Sale	Ganancia (unidades)	R_i	R_o	Modelo
Tensión	V	V	$A_V = V/V$	∞	0	
Corriente	I	I	$A_I = A/A$	0	∞	
Trans conductancia	V	I	$G = A/V$	∞	∞	
Trans impedancia	I	V	$Z = V/A$	0	0	

El Amplificador Operacional (A.O.) ideal: Modelo

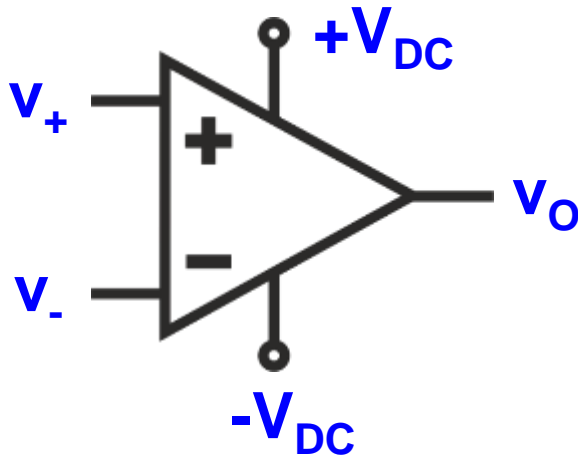
Modelo



Ideal: $i_+ = i_- = 0$



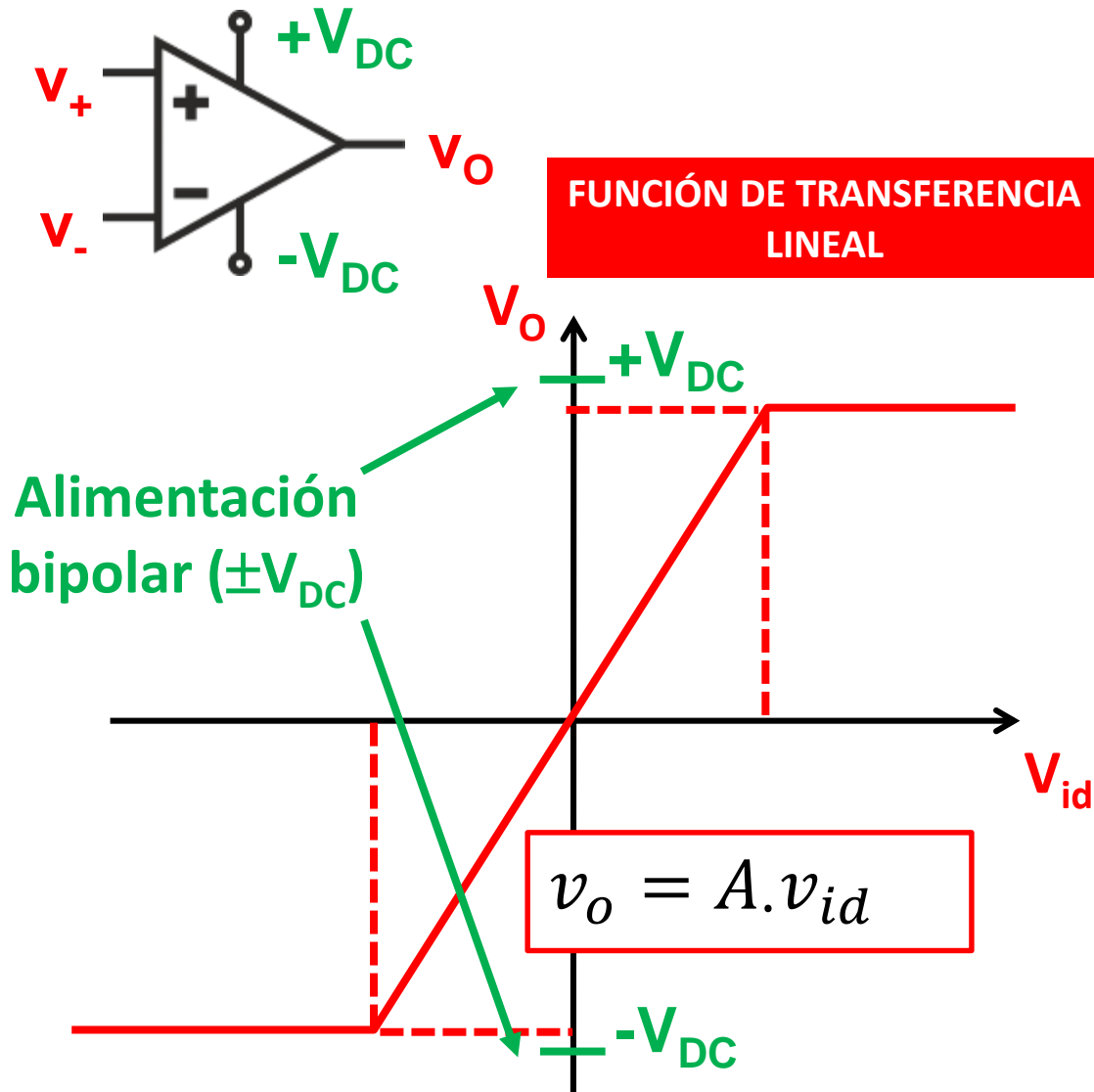
Símbolo y Terminales



Parámetros de AO ideal:

- ✓ Ganancia en lazo abierto (A_v) ∞
- ✓ Impedancia de entrada (R_i) ∞
- ✓ Corrientes entrada (polarización) 0
- ✓ Impedancia de salida (R_o) 0
- ✓ Ancho de banda (BW) ∞

El A.O. ideal: Función de transferencia



- Margen dinámico de salida:

$$-V_{DC} < v_o < +V_{DC}$$

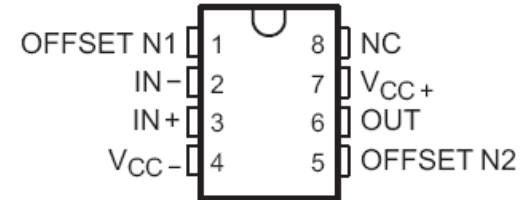


- Margen dinámico de entrada:

$$\frac{-V_{DC}}{A} < v_{id} < \frac{+V_{DC}}{A}$$

Ejemplo AO comercial (no ideal): TL081

TL081 and TL081x D, P, and PS Package
8-Pin SOIC, PDIP, and SO
Top View

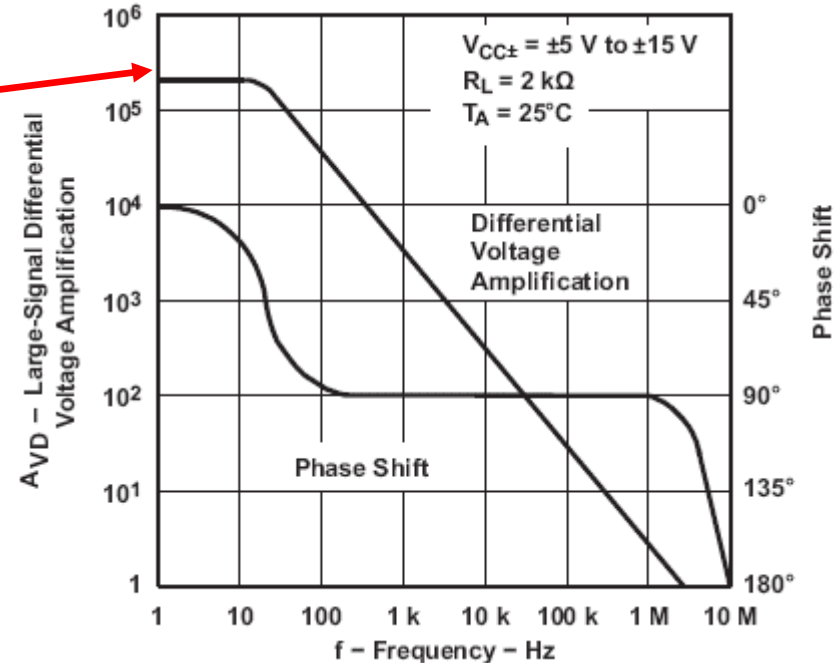


Datasheet (Hoja de características)

6.5 Electrical Characteristics

$V_{CC\pm} = \pm 15\text{ V}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	$T_A^{(1)}$	TL081C, TL082C, TL084C			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
A_v Large-signal differential voltage amplification	$V_O = \pm 10\text{ V}$, $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$	25°C	25	200		V/mV
		Full range	15			
B_1	Unity-gain bandwidth	25°C		3		MHz
R_i	Input resistance	25°C		10^{12}		Ω
CMRR	Common-mode rejection ratio $V_{IC} = V_{ICRmin}$, $V_O = 0$, $R_S = 50\ \Omega$	25°C	70	86		dB
$i_{+/-}$	Input bias current ⁽²⁾ $V_O = 0$	25°C		30	400	pA
		Full range			10	nA



Large-Signal Differential Voltage Amplification and Phase Shift vs Frequency

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	UNIT
SR (Slew Rate) Slew rate at unity gain	$V_I = 10\text{ V}$, $R_L = 2\text{ k}\Omega$, $C_L = 100\text{ pF}$, See Figure 19	8 ⁽¹⁾	13	V/ μ s
	$V_I = 10\text{ V}$, $R_L = 2\text{ k}\Omega$, $C_L = 100\text{ pF}$, $T_A = -55^\circ\text{C}$ to 125°C , See Figure 19	5 ⁽¹⁾		

<http://www.dte.uc3m.es>

Amplificador operacional comercial TL081

$+V_{DC}$

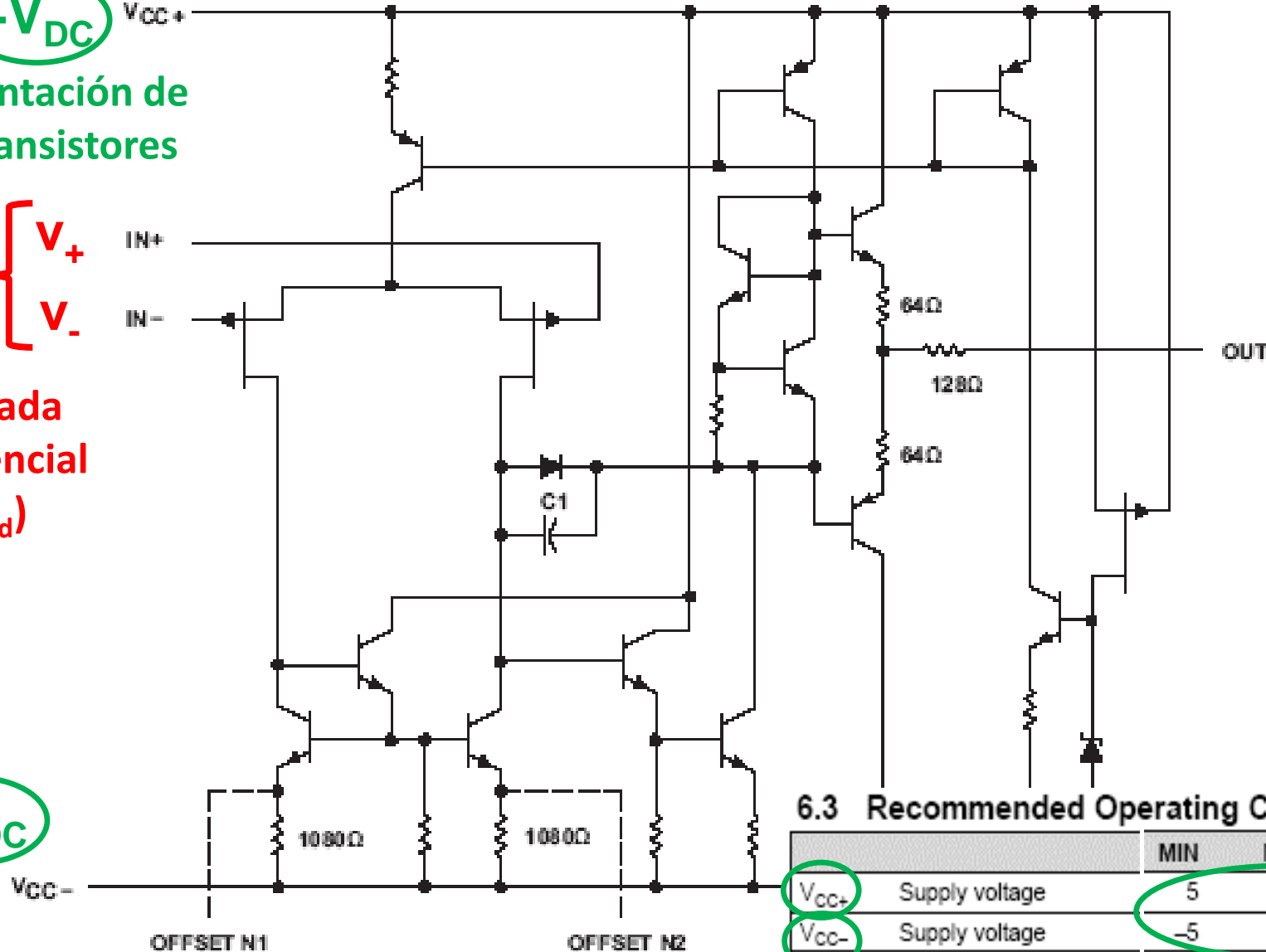
Alimentación de los transistores

V_+
 V_-

Entrada diferencial (v_{id})

$-V_{DC}$

Salida V_O



6.3 Recommended Operating Conditions

	MIN	MAX	UNIT
V_{CC+} Supply voltage	5	15	V
V_{CC-} Supply voltage	-5	-15	V

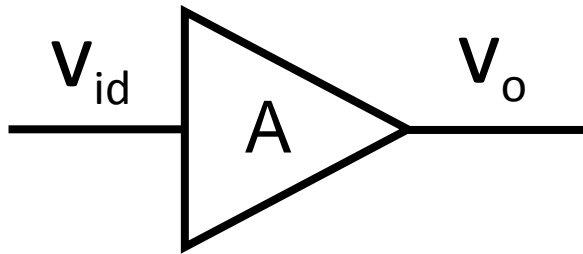
Aplicaciones del Amplificador Operacional

- En lazo abierto:
 - Comparador
- En lazo cerrado (Realimentación negativa):
 - Inversor / No inversor
 - Buffer
 - Sumador
 - Amplificador diferencial y de instrumentación
 - Integrador, derivador
 - ...

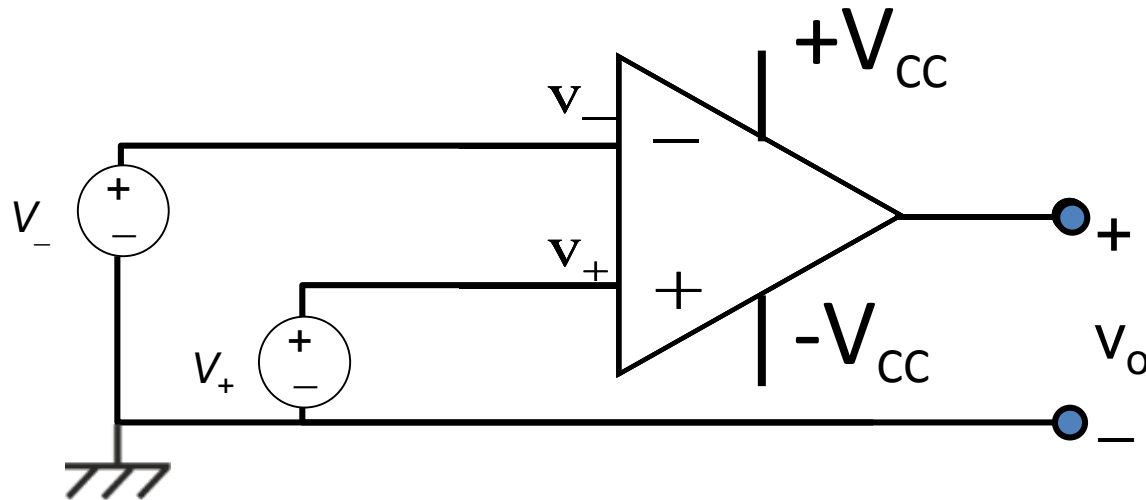
Aplicaciones del AO en el mundo real

- Otras innumerables funcionalidades:
 - Filtros activos
 - Comparadores con umbral e histéresis
 - Osciladores, relojes
 - Amplificadores logarítmicos
 - Acondicionamiento de señales
 - Reguladores de tensión
 - Moduladores para comunicaciones
 - ...

El AO en lazo abierto: El Comparador



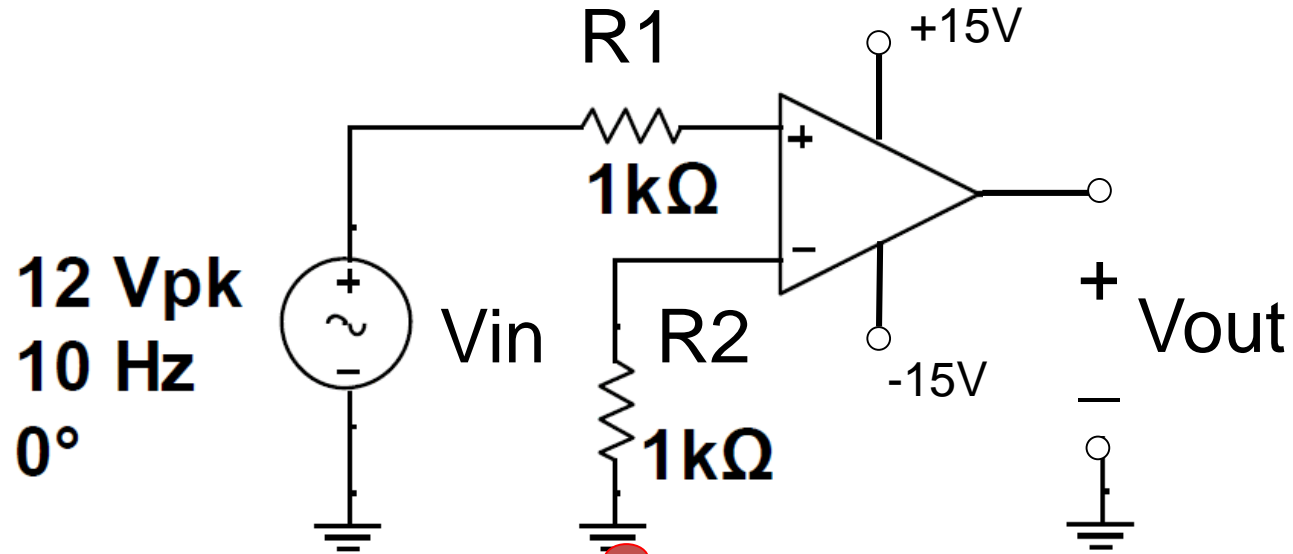
$$\begin{cases} v_o = A \cdot v_{id} \\ A \uparrow\uparrow \end{cases}$$



- Si $v_+ > v_- \Rightarrow v_o = A \cdot (v_+ - v_-) = +V_{CC}$
- Si $v_+ < v_- \Rightarrow v_o = A \cdot (v_+ - v_-) = -V_{CC}$

El AO en lazo abierto: El Comparador

Ejemplo básico: Comparando dos señales



1. Dibujar dos periodos de la salida del operacional.

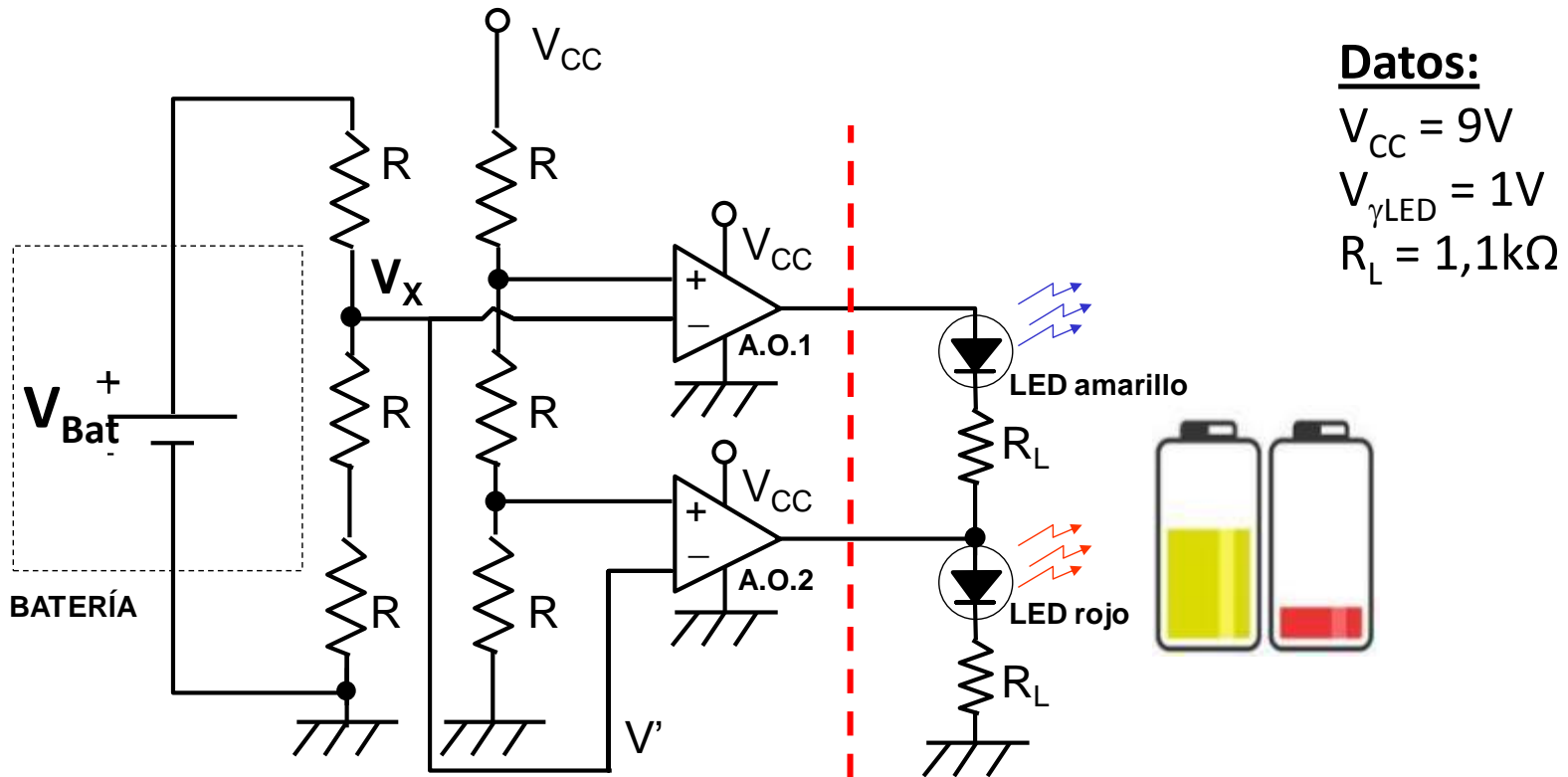
2. Dibujarlos otra vez si ponemos 6 V de continua en este punto, conectados a R2

Problema 1: Control carga de batería (para casa)

Un sistema de control de la carga de una batería avisa de su estado mediante dos diodos emisores de luz (LEDs), uno amarillo y otro rojo, que se encienden según su nivel de carga (a través de su tensión V_{Bat}) respecto a un nivel nominal V_{CC} .

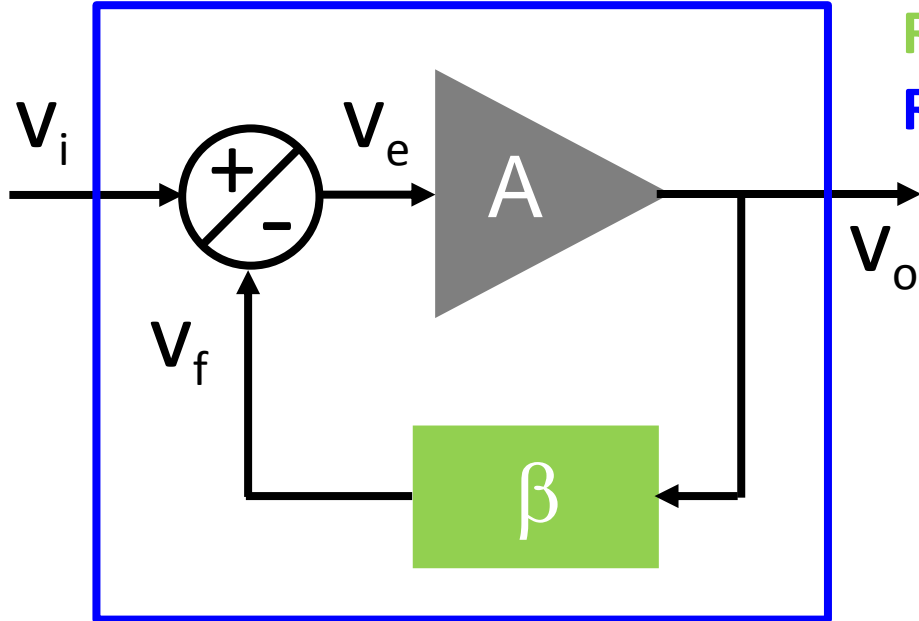
Se pide deducir los valores de tensión V_{Bat} a los que se enciende cada LED.

Razone en qué estado se encuentra cada LED cuando el otro esté encendido.



El AO en lazo cerrado: Realimentación negativa

Amplificador Realimentado



Red A: Amplificador sin realimentar
Red β : Red de realimentación pasiva
Red G: Amplificador realimentado

$$\begin{cases} v_e = v_i - v_f \\ v_f = \beta \cdot v_o \\ v_o = A \cdot v_e \end{cases}$$

$$v_o = A \cdot v_e = A \cdot (v_i - v_f) = A \cdot (v_i - \beta \cdot v_o)$$
$$v_o \cdot (1 + A \cdot \beta) = A \cdot v_i$$

$$G = \frac{v_o}{v_i} = \frac{A}{1 + A \cdot \beta} < A$$

El AO en lazo cerrado: Realimentación negativa

Amplificador realimentado:

$$G = \frac{v_o}{v_i} = \frac{A}{1 + A \cdot \beta} \quad \begin{array}{l} \xrightarrow{A \rightarrow \infty} \\ A \cdot \beta \gg 1 \end{array}$$

$$G \cong \frac{1}{\beta}$$

- La ganancia G sólo depende de la red β
- La ganancia es **LINEAL**

$$v_e = v_i - v_f \cong \beta \cdot v_o - \beta \cdot v_o = 0 \quad \xrightarrow{\quad}$$

$\frac{v_o}{v_i} \cong \frac{1}{\beta}$ \uparrow

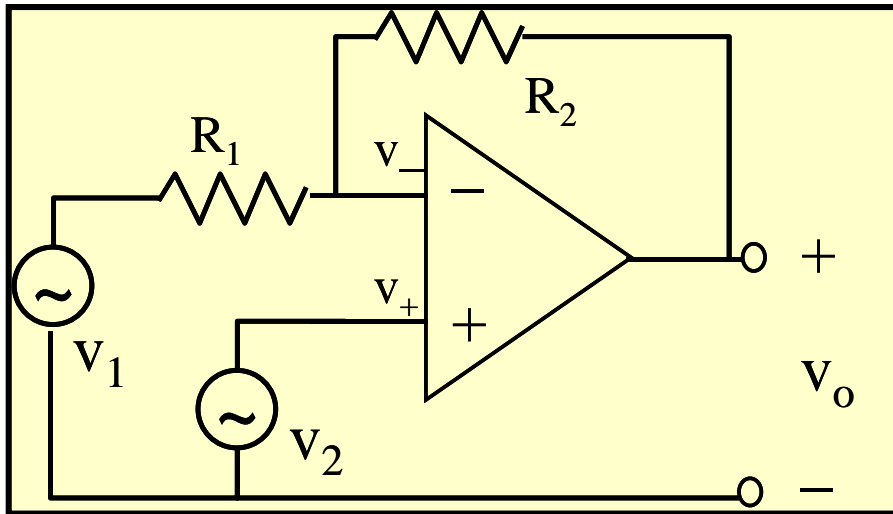
$$v_e = 0 \quad \downarrow$$

$$v_+ = v_-$$

- Principio de corto circuito virtual

El AO en lazo cerrado: Realimentación negativa

Ejemplo básico: Configuraciones inversora - no inversora



Recordando: Teorema de Superposición
(Aditividad en circuitos electrónicos)

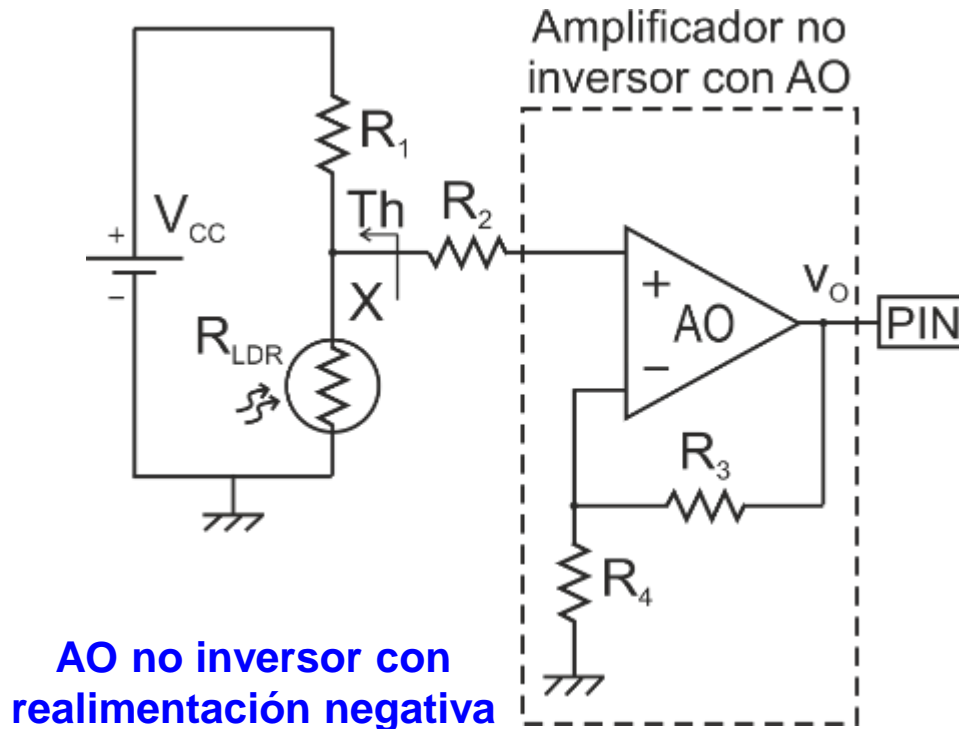
La corriente (I) ó tensión (V) a través de un elemento de una red lineal se calcula:

- ✓ **Sumando**
- ✓ las contribuciones de **cada una de las fuentes** independientes (de I ó V) en la señal de salida, con las demás **anuladas**
 - Anular una fuente de V es cortocircuitarla (V=0).
 - Anular una fuente de I es dejarla en circuito abierto (I=0).

$$v_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) v_2 - \frac{R_2}{R_1} v_1$$

Problema 2: Activación de encendido de luces (1/2)

Para el circuito de activación de encendido de luces de la figura, se pide:



Datos:

$$R_{LDR} = \frac{A}{L^\alpha} \quad \text{donde} \begin{cases} R_{LDR} = \text{Resistencia (k}\Omega\text{)} \\ L = \text{Luminancia (lux)} \\ A \text{ y } \alpha \text{ son constantes} \\ A = 60 \text{ y } \alpha = 0,62 \end{cases}$$

$$R_1 = 47\text{k}\Omega$$

$$R_2 = 1\text{k}\Omega$$

$$R_3 = 10\text{k}\Omega$$

$$R_4 = 1\text{k}\Omega$$

AO ideal:

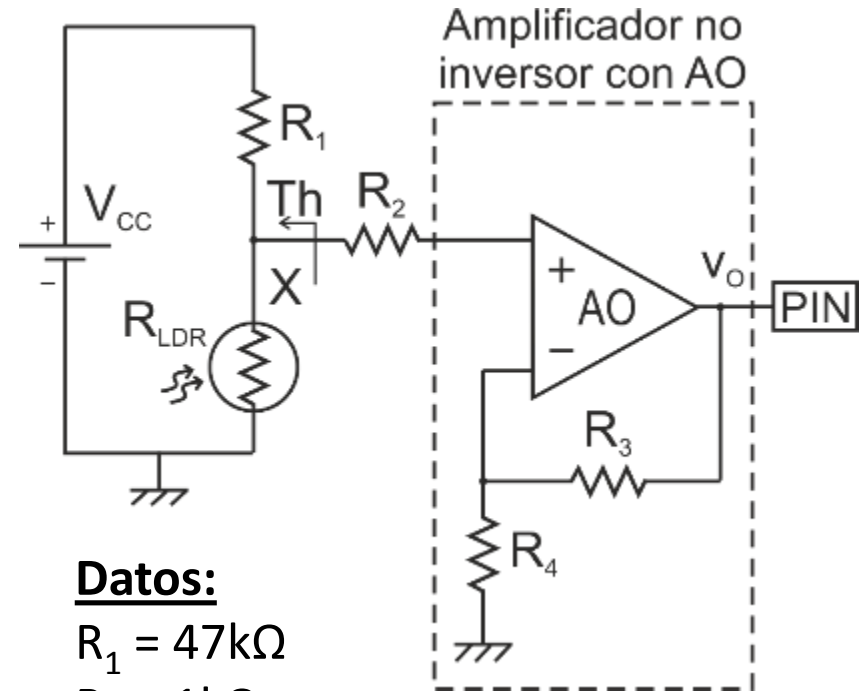
$$\pm V_{CC} = \pm 15\text{V}$$

- a) Obtenga la expresión de v_O en función únicamente de la fotorresistencia R_{LDR} . Calcule el equivalente de Thevenin en el punto X.

Problema 2: Activación de encendido de luces (2/2)

Para el circuito de activación de encendido de luces de la figura, se pide:

- b) Se conecta la salida del amplificador v_o , a un pin de entrada de un microcontrolador para activar el **encendido de las farolas de una calle**. La activación del encendido se realiza para una tensión mínima de 2,5V en el pin. ¿Se encenderán las farolas para una iluminación de **2000 lux**? ¿Y de **1000 lux**?
- c) ¿Hay problemas de acoplo entre ambas etapas? ¿Afecta R_2 en ello?



Datos:

$$R_1 = 47\text{k}\Omega$$

$$R_2 = 1\text{k}\Omega$$

$$R_3 = 10\text{k}\Omega$$

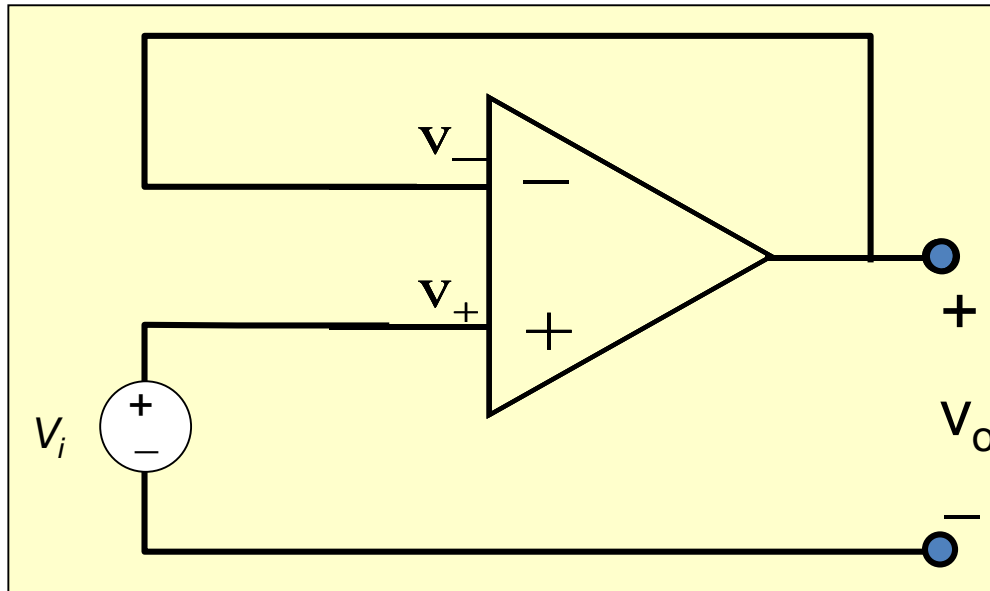
$$R_4 = 1\text{k}\Omega$$

AO ideal:

$$\pm V_{CC} = \pm 15\text{V}$$

El AO en lazo cerrado: Realimentación negativa

Ejemplo básico 2: el Buffer



$V_o = V_i$  Entonces, ¿para qué vale?

Problema 3: Guante con sensado de flexión (1/2)

Se dispone de un guante con sensado de flexión como el de la Figura 1. Cada sensor de flexión se modela como una resistencia cuyo valor varía en función de la curvatura del dedo de la mano (Fig 2); más curvatura implica más resistencia.

a) Demuestre que la tensión de salida v_o del circuito acondicionador del sensor invierte la señal de entrada, v_x (Fig 2). Calcule la expresión completa final de v_o .



Figura 1

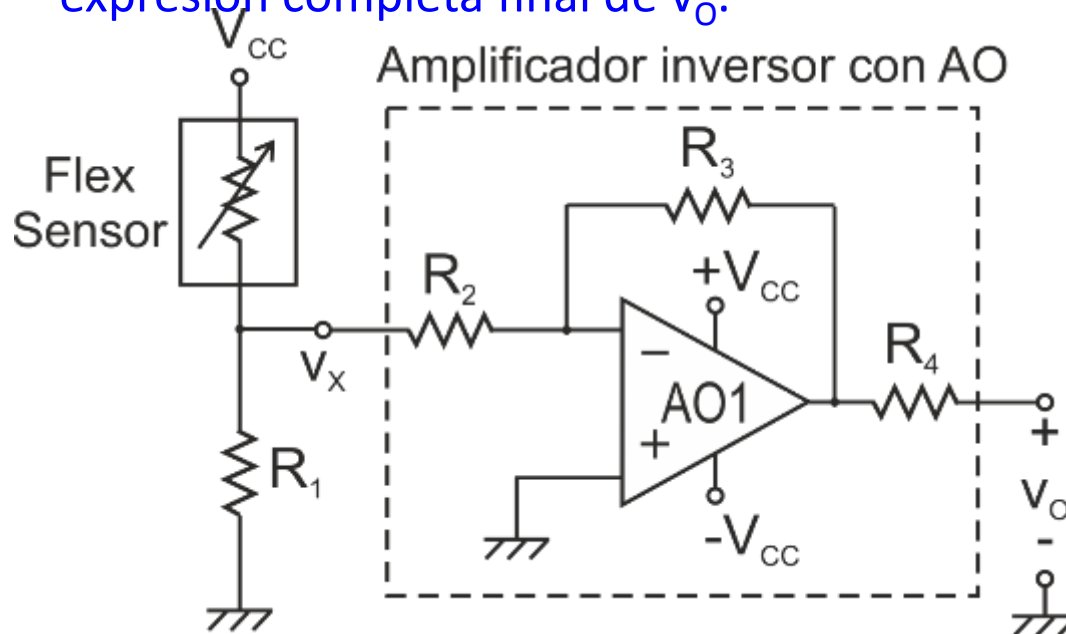


Figura 2

Datos:

$$V_{CC} = 10V$$

$$R_1 = 1k\Omega$$

$$R_2 = 1k\Omega$$

$$R_3 = 10k\Omega$$

$$R_4 = 470\Omega$$

<http://www.dte.uc3m.es>

Fundamentos de Ingeniería Electrónica.

Problema 3: Guante con sensado de flexión (2/2)

- b) ¿Es correcta la conexión directa del amplificador inversor al punto v_x ? Justifique la respuesta calculando las impedancias de entrada y salida de ambas etapas.
- c) Calcule la nueva tensión de salida v'_o del circuito acondicionador del sensor incluyendo la conexión del circuito seguidor de tensión (Fig 3). ¿Ha cambiado algo?
- d) ¿Afecta en la tensión de salida la conexión de R_4 en ambos circuitos?

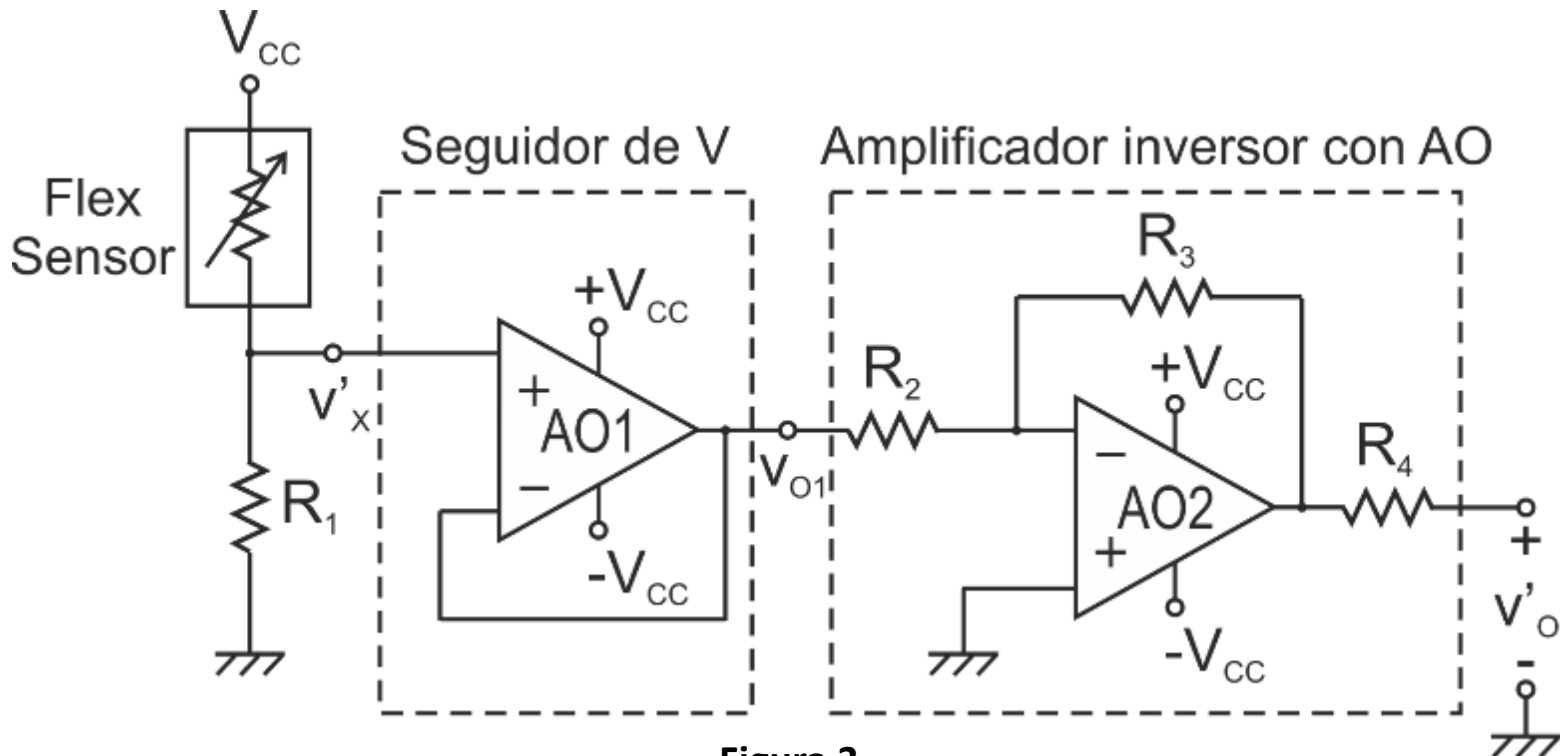


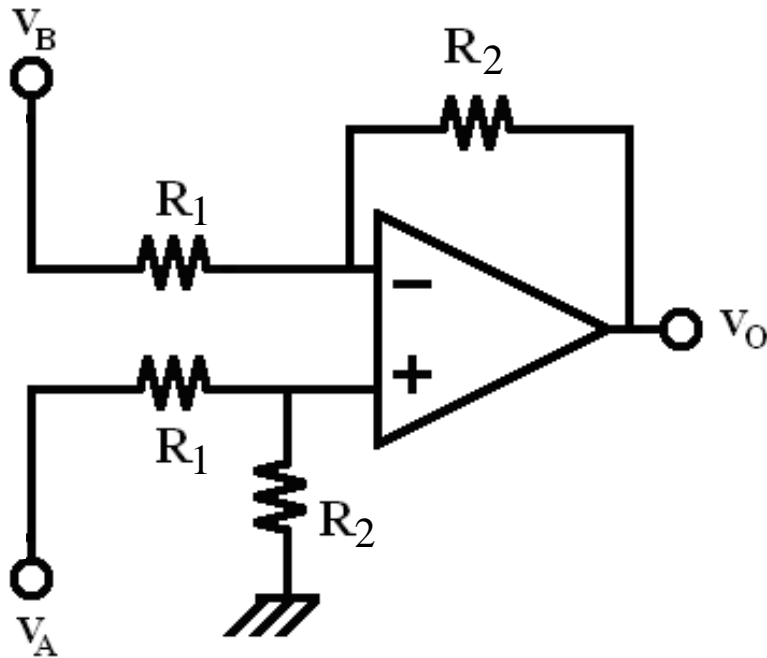
Figura 3

<http://www.dte.uc3m.es>

Fundamentos de Ingeniería Electrónica.

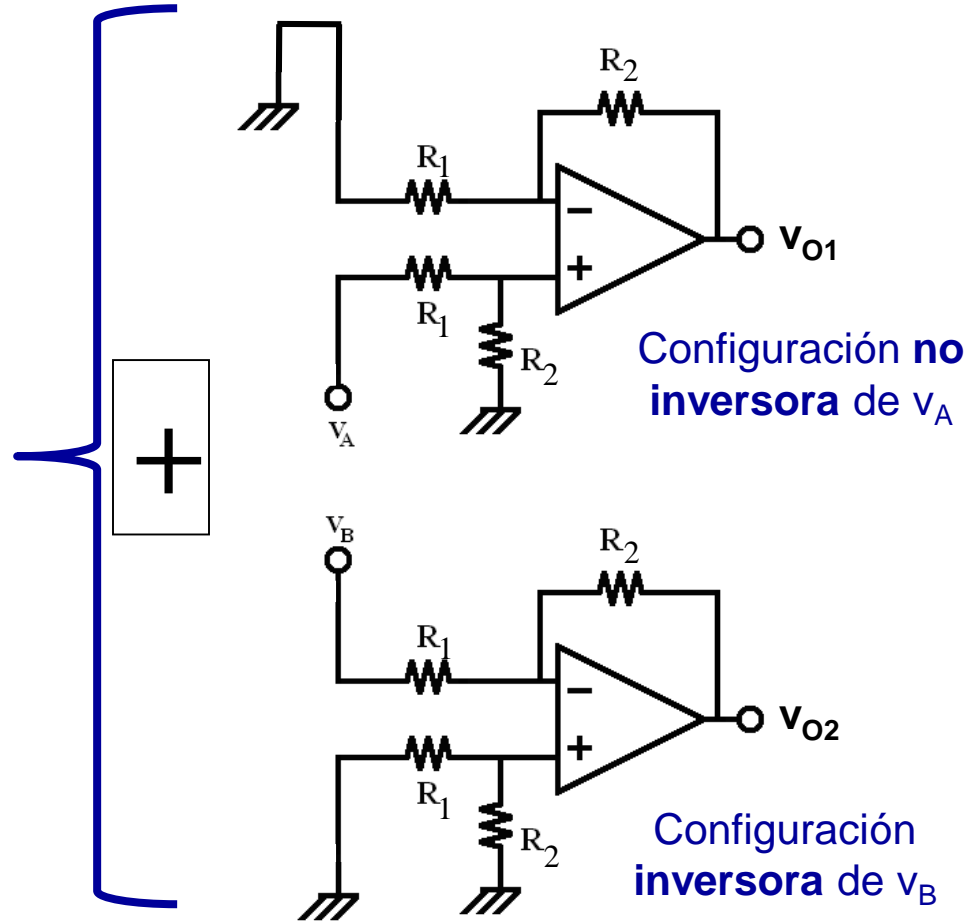
El AO en lazo cerrado: Realimentación negativa

Ejemplo avanzado: el amplificador diferencial



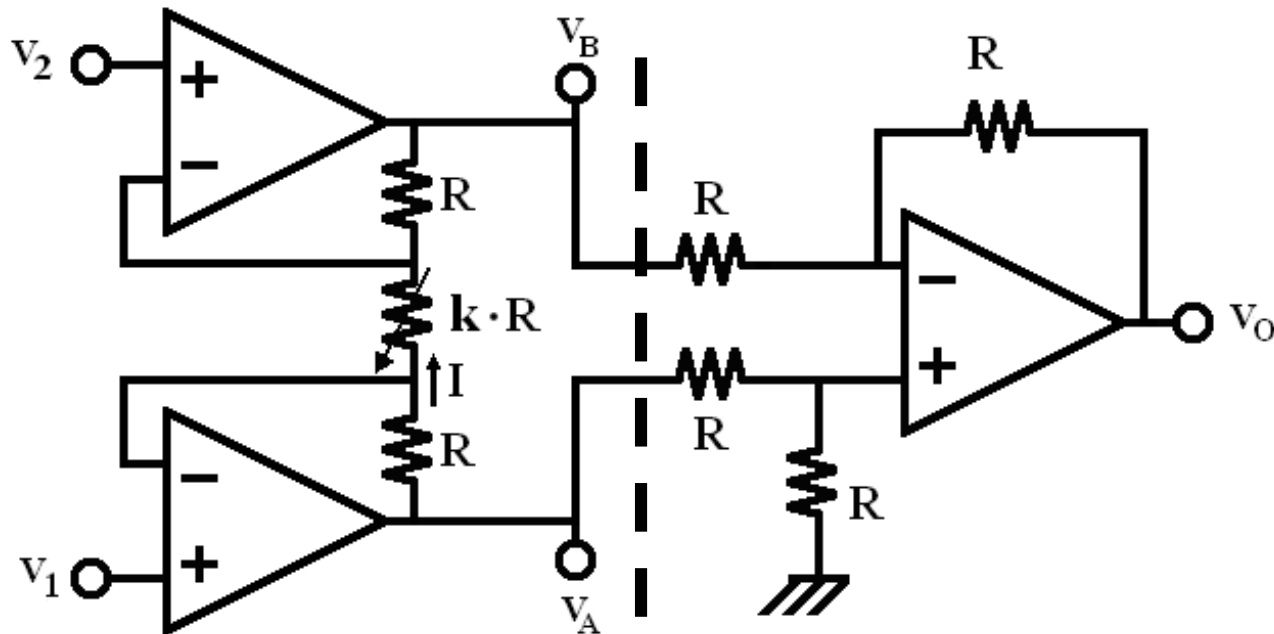
Principio de superposición

$$V_o = V_{o1} + V_{o2} = \frac{R_2}{R_1} (V_A - V_B)$$



El AO en lazo cerrado: Realimentación negativa

Ejemplo avanzado 2: el amplificador de instrumentación



A. diferencial salida diferencial

A. diferencial salida asimétrica

¿Cuál es la expresión de v_o en función de la diferencia $v_2 - v_1$?