

# LECCIÓN 6 AMPLIFICADORES OPERACIONALES

*Amplificadores diferenciales*

*Amplificadores operacionales. El AO ideal*

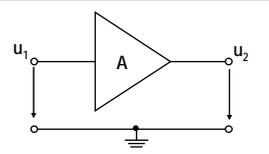
*Aplicaciones lineales de los AOs*

*Aplicaciones no lineales de los AOs*

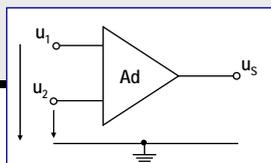
*Características reales de los AOs*

## Amplificadores diferenciales

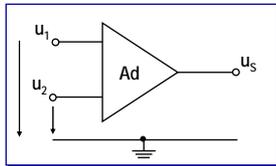
Los amplificadores, analizados en la lección anterior, tienen como entrada una sola tensión medida respecto a una tensión de referencia (masa).



Los AMPLIFICADORES DIFERENCIALES tienen dos entradas y dan una salida proporcional a la diferencia de las tensiones aplicadas a las entradas.



## Amplificadores diferenciales



**Tensión en modo común**  
Tensión común a ambas entradas

$$u_{mc} = \frac{u_1 + u_2}{2}$$

**Tensión en modo diferencial**

$$u_d = u_1 - u_2$$

**Rechazo en modo común**

Capacidad del amplificador de rechazar señales en modo común

**Ganancias**

Modo común:  $A_{mc}$   
Diferencial:  $A_d$  }  $A_{mc} \ll A_d$

**Real**

$$u_s = A_d \cdot u_d + A_{mc} \cdot u_{mc}$$

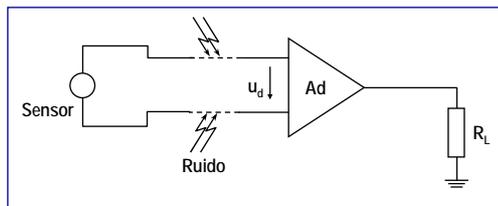
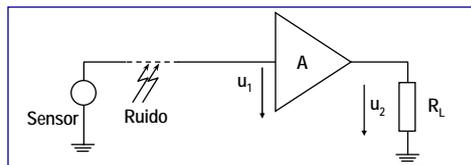
**Ideal**

$$u_s = A_d \cdot u_d$$

## Amplificadores diferenciales

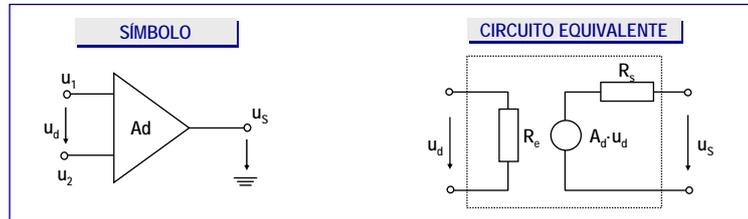
**Ventaja**

Son más inmunes al ruido y no tenemos que referir las señales a masa



El amplificador diferencial no amplifica el ruido con lo que a  $R_L$  no le llega ruido

## Amplificadores diferenciales

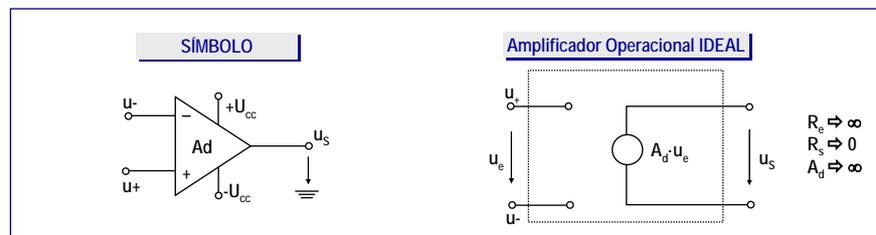


Razón de rechazo en modo común

$$RRMC = \frac{|A_d|}{|A_{mc}|}$$

## Amplificador Operacional

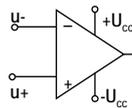
- Es un amplificador diferencial que se integra en un circuito y se caracteriza por tener:
  - ☞ **Ganancia de tensión muy alta**
  - ☞ **Alta impedancia de entrada**
  - ☞ **Baja impedancia de salida**
  - ☞ **Amplifica tensión y potencia**



## Aplicaciones lineales de los AOs

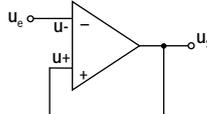
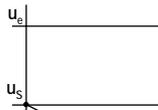
- Una aplicación lineal se tiene cuando se realimenta negativamente el amplificador

En bucle abierto



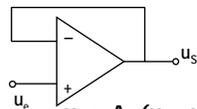
$$\begin{aligned} \text{Si } u_- > u_+ &\rightarrow u_s = -U_{cc} \\ \text{Si } u_- < u_+ &\rightarrow u_s = +U_{cc} \\ u_s &= A_d (u_+ - u_-) = A_d u_d \end{aligned}$$

Con realimentación positiva

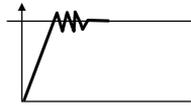


$$\begin{aligned} \text{Si } u_+ \uparrow &\rightarrow u_s \uparrow \\ &\text{se magnifica el efecto} \\ u_s &= A_d (u_s - u_e) \end{aligned}$$

Con realimentación negativa



$$\begin{aligned} u_s &= A_d (u_e - u_s) \text{ como } A_d \rightarrow \infty \\ u_e &= u_s \text{ equilibrio} \end{aligned}$$



Si inicialmente  $u_s = 0$

## Aplicaciones lineales de los AOs

- Se suelen considerar características ideales:
  - ☞  $R_e = \infty$  . . . la corriente de entrada al AO es cero
  - ☞  $R_s = 0$  . . . se comporta como una fuente ideal de tensión
  - ☞ Con realimentación negativa  $u_+ = u_-$  para que la salida sea distinta de  $\pm U_{cc}$

**Amplificador inversor**

**Integrador**

**Derivador**

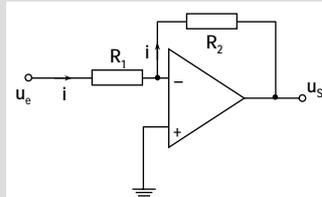
**Sumador**

**Amplificador de ganancia positiva**

**Amplificador diferencial**

## Aplicaciones lineales de los AOs

### Amplificador inversor

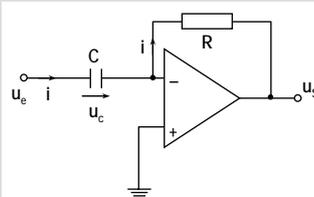


$$u_- = u_+ = 0V$$

$$\frac{u_e - 0}{R_1} = \frac{0 - u_s}{R_2}$$

$$u_s = -\frac{R_2}{R_1} u_e$$

### Derivador



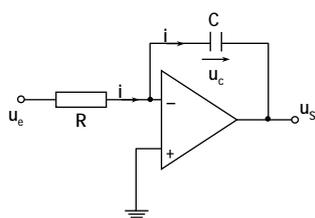
$$u_- = u_+ = 0V$$

$$i = C \frac{du_e}{dt} = \frac{-u_s}{R}$$

$$u_s = -CR \frac{du_e}{dt}$$

## Aplicaciones lineales de los AOs

### Integrador



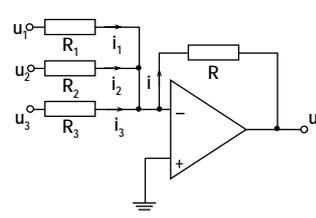
$$u_- = u_+ = 0V$$

$$i = \frac{u_e - 0}{R} = C \frac{du_c}{dt} = -C \frac{du_s}{dt}$$

$$\frac{du_s}{dt} = \frac{-1}{RC} u_e$$

$$u_s(t) - u_s(0) = \frac{-1}{RC} \int_0^t u_e dt$$

### Sumador



$$u_- = u_+ = 0V$$

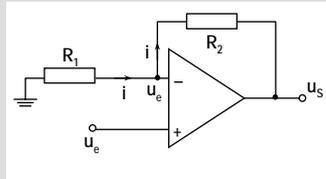
$$i = i_1 + i_2 + i_3$$

$$-\frac{u_s}{R} = \frac{u_1}{R_1} + \frac{u_2}{R_2} + \frac{u_3}{R_3}$$

$$u_s = -R \left( \frac{u_1}{R_1} + \frac{u_2}{R_2} + \frac{u_3}{R_3} \right)$$

## Aplicaciones lineales de los AOs

### Amplificador de ganancia positiva

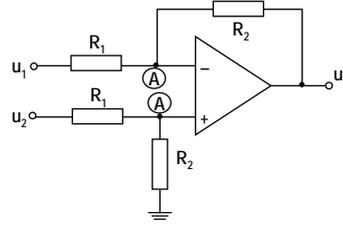


$$u^- = u^+ = u_e$$

$$\frac{0 - u_e}{R_1} = \frac{u_e - u_s}{R_2}$$

$$u_s = u_e \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

### Amplificador diferencial



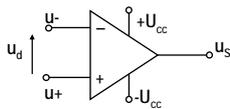
$$u^- = u^+ = u_A = u_2 \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$\frac{u_1 - u_A}{R_1} = \frac{u_A - u_s}{R_2}$$

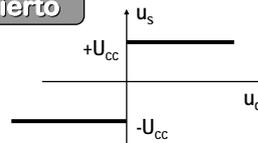
$$u_s = \frac{R_2}{R_1} (u_2 - u_1)$$

## Aplicaciones no lineales de los AOs

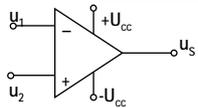
### Realimentación positiva o bucle abierto



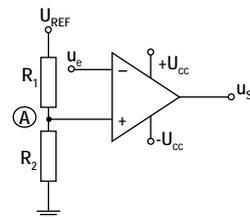
Si  $u^- > u^+ \rightarrow u_s = -U_{CC}$   
 Si  $u^- < u^+ \rightarrow u_s = +U_{CC}$



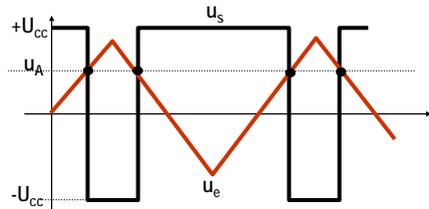
### Comparador



$u_s \begin{cases} u_1 > u_2 \rightarrow u_s = -U_{CC} \\ u_1 < u_2 \rightarrow u_s = +U_{CC} \end{cases}$

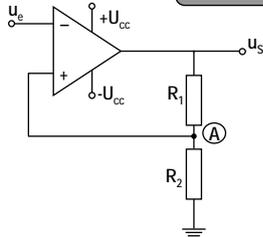


$u_e > u_A \rightarrow u_s = -U_{CC}$   
 $u_e < u_A \rightarrow u_s = +U_{CC}$   
 $u_A = U_{REF} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$



## Aplicaciones no lineales de los AOs

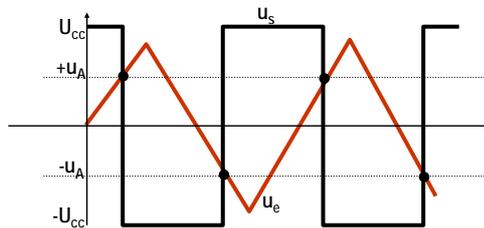
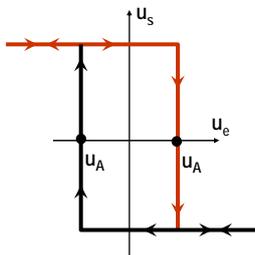
### Comparador con histéresis



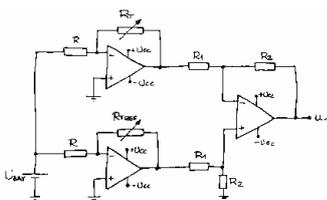
$$u_A = u_s \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \pm U_{CC} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$\text{Si } u_s = +U_{CC} \quad u_{\text{comp}} = u_A = +U_{CC} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$\text{Si } u_s = -U_{CC} \quad u_{\text{comp}} = u_A = -U_{CC} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$



## Problema



$$R(T) = R_0(1 + \alpha T)$$

$$R_0 = 100\Omega$$

$$\alpha = 4 \cdot 10^{-3} (\text{C}^\circ)^{-1}$$

$$T \text{ en } ^\circ\text{C}$$

$$T_{REF} = 25^\circ\text{C}$$

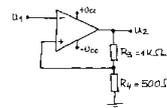
$$U_{BAT} = 5\text{V}$$

$$R = 200\Omega$$

$$R_1 = 2000\Omega$$

$$R_2 = 2000\Omega$$

$$U_{cc} = \pm 15\text{V}$$



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

$$R_4 = 500\Omega$$

Figura 1

Figura 2

Se quiere medir la temperatura en un proceso industrial utilizando una PRT. Esta se sitúa en el interior del horno y se coloca otra a una temperatura constante  $T_{REF}$  de  $25^\circ\text{C}$ . Se propone el circuito de la figura 1 para realizar la medida:

- Calcule la relación entre  $u_1$  y  $T$  (temperatura a medir).
- Calcule el margen de temperaturas a las que la medida es fiable (margen de medida).
- Calcule la sensibilidad del proceso de medida e indique cómo podría mejorarse.

Si a la salida  $u_1$  se conecta un circuito (como el mostrado en la figura 2) para encender una refrigeración cuando se supere una temperatura dada, dibuje la curva que relaciona  $u_2$  con la temperatura y comente el funcionamiento del sistema suponiendo que la refrigeración se conecta cuando  $u_2 = -15\text{V}$ .