

# ELECTRÓNICA Y AUTOMATISMOS

2º Curso de Instalaciones Electromecánicas Mineras

*Tema 2: Electrónica Analógica*  
**Amplificadores operacionales**

Profesor: *Javier Ribas Bueno*



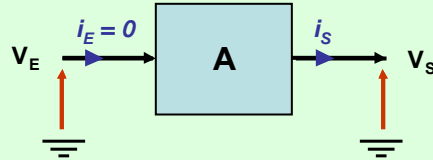
## Electrónica analógica: Conceptos generales de amplificación

- **Introducción**
- **El amplificador operacional ideal**
- **El amplificador operacional con realimentación negativa**
  - *Aplicaciones lineales de los amplificadores operacionales*
- **Características del amplificador operacional real**
- **El amplificador operacional con realimentación positiva**
  - *Aplicaciones **no** lineales de los amplificadores operacionales*



**Introducción**

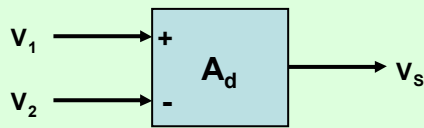
El amplificador ideal de tensión



$$V_S = A \cdot V_E$$

*Impedancia de entrada infinita:  
 $i_E = 0$*

El amplificador *diferencial* de tensión

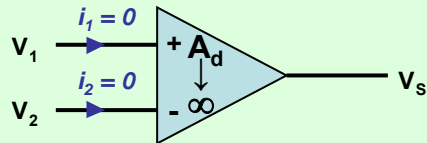


$$V_S = A_d \cdot (V_1 - V_2)$$



**El amplificador operacional ideal**

El amplificador diferencial de tensión



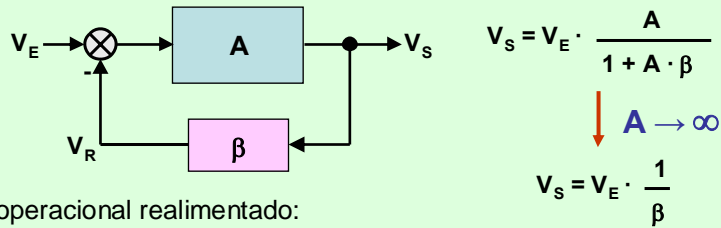
**Amplificador operacional ideal**

*¿Para qué sirve un amplificador que para cualquier entrada no nula tiene salida infinita?*

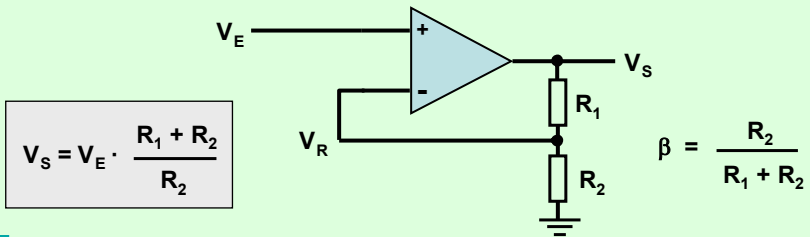


### El amplificador operacional con realimentación negativa

Sistema realimentado:

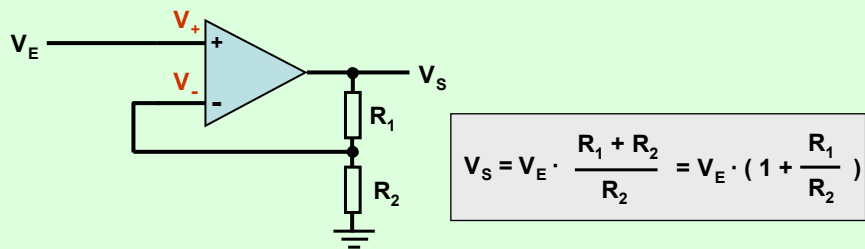


Amplificador operacional realimentado:



### Aplicaciones lineales de los amplificadores operacionales

Amplificador de ganancia positiva:



Se cumple la relación:  $V_+ = V_-$

$$V_S = A_d \cdot (V_+ - V_-)$$

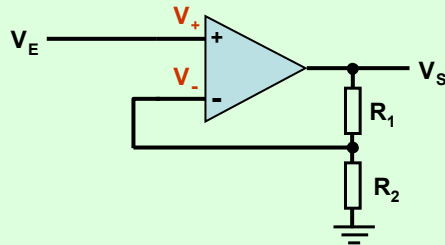
Valor finito  $\rightarrow$   $A_d \rightarrow \infty$   $\rightarrow$  CERO

Siempre que hay realimentación negativa, la tensión de salida sube o baja hasta igualar estas dos tensiones.



**Aplicaciones lineales de los amplificadores operacionales**

Amplificador de ganancia positiva:



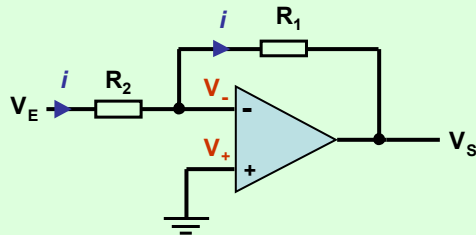
La ganancia se puede calcular empleando la relación  $V_+ = V_-$ .

$$\left. \begin{aligned} V_+ &= V_E \\ V_- &= V_S \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \end{aligned} \right\} \xrightarrow{V_+ = V_-} V_E = V_S \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \rightarrow V_S = V_E \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_2}$$



**Aplicaciones lineales de los amplificadores operacionales**

Amplificador de ganancia negativa:



$$i = \frac{V_E - V_S}{R_1 + R_2}$$

$$V_- = V_S + i \cdot R_2$$

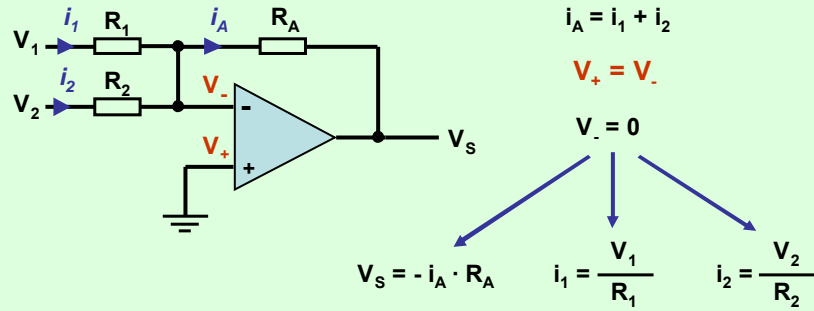
$$V_- = V_S + R_1 \cdot \frac{V_E - V_S}{R_1 + R_2}$$

$$\left. \begin{aligned} V_- &= V_S \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} + V_E \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} \\ V_+ &= 0 \end{aligned} \right\} \xrightarrow{V_+ = V_-} V_S = V_E \cdot \frac{-R_1}{R_2}$$



Aplicaciones lineales de los amplificadores operacionales

Sumador inversor:

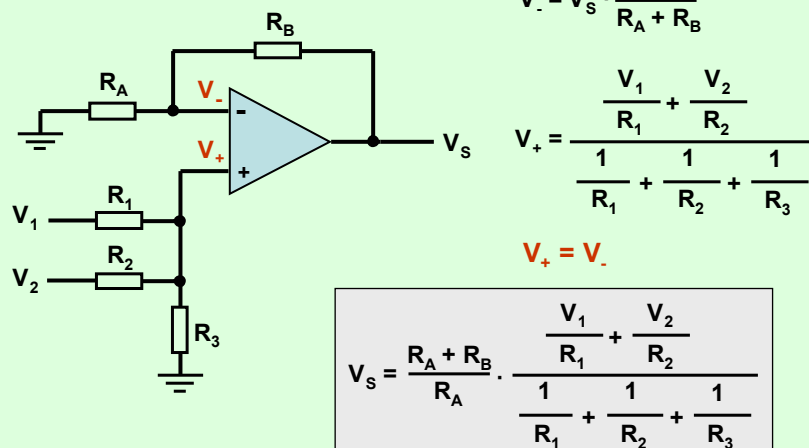


$$V_S = -R_A \cdot \left( \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} \right)$$



Aplicaciones lineales de los amplificadores operacionales

Sumador no inversor:

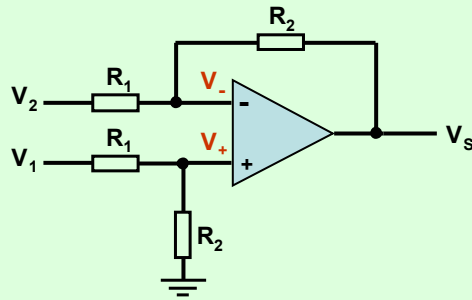


$$V_S = \frac{R_A + R_B}{R_A} \cdot \frac{\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$



Aplicaciones lineales de los amplificadores operacionales

Amplificador diferencial (restador):



$$V_+ = V_1 \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

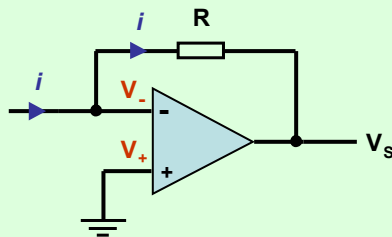
$$V_- = \frac{\frac{V_2}{R_1} + \frac{V_s}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}$$

$$V_- = \frac{V_2 \cdot R_2 + V_s \cdot R_1}{R_1 + R_2}$$

$V_+ = V_- \rightarrow V_s = \frac{R_2}{R_1} \cdot (V_1 - V_2)$

Aplicaciones lineales de los amplificadores operacionales

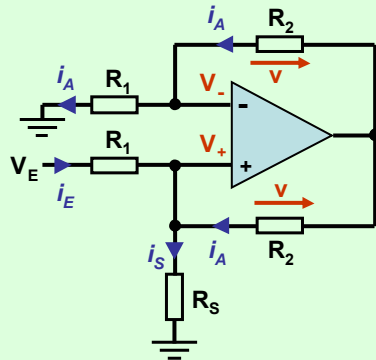
Convertor I-V:



$V_+ = V_-$   
 $V_- = 0 \rightarrow V_s = -R \cdot i$

Aplicaciones lineales de los amplificadores operacionales

Convertor V-I:



$$V_+ = V_-$$

$$i_A = \frac{V_-}{R_1}$$

$$i_E = \frac{V_E - V_+}{R_1}$$

$$i_S = i_E + i_A$$

$$i_S = \frac{V_E - V_+}{R_1} + \frac{V_-}{R_1}$$

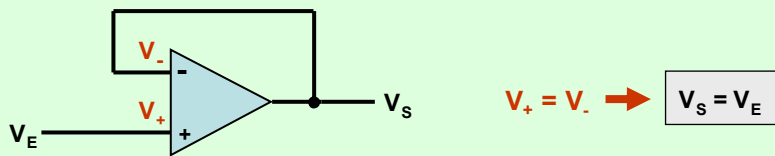
$$i_S = \frac{V_E}{R_1}$$

La corriente de salida no depende de  $R_S$

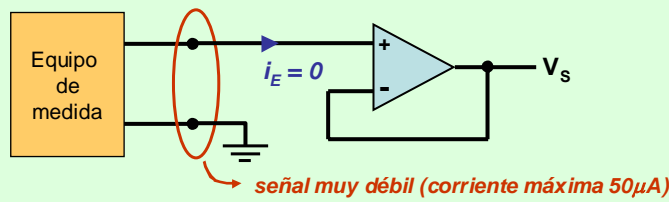


Aplicaciones lineales de los amplificadores operacionales

Seguidor de emisor:

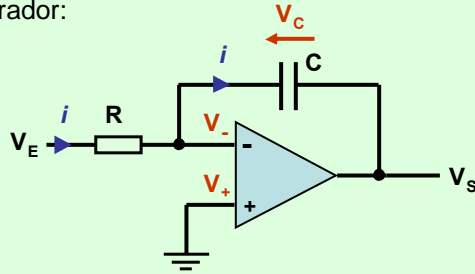


Este circuito se emplea para adaptar impedancias



Aplicaciones lineales de los amplificadores operacionales

Integrador:



$$i = \frac{V_E}{R}$$

$$i = C \cdot \frac{dV_C}{dt}$$

$$V_C = V_C(t=0) + \frac{1}{C} \int_0^t i \cdot dt$$

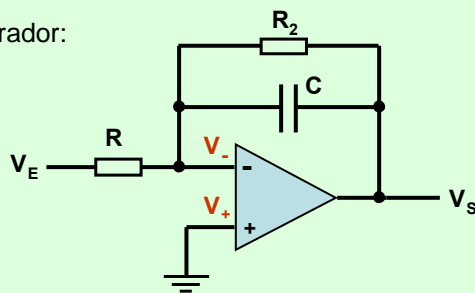
$$V_S = -V_C$$

$$V_S = V_S(t=0) - \frac{1}{C \cdot R} \int_0^t V_E \cdot dt$$



Aplicaciones lineales de los amplificadores operacionales

Integrador:



*La integral de una tensión constante es una rampa que tiende a infinito. En un circuito práctico es imposible evitar que exista una cierta componente de continua en las señales que maneja el operacional. Por lo que se suele añadir una resistencia de valor elevado en paralelo con el condensador.*

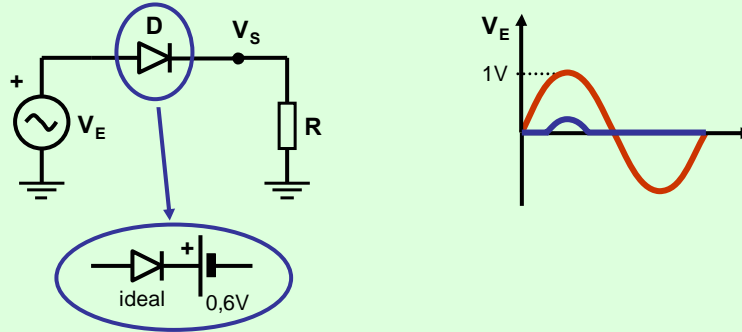




**Aplicaciones lineales de los amplificadores operacionales**

Rectificador de precisión:

*En ocasiones puede ser necesario rectificar una señal de baja amplitud.*

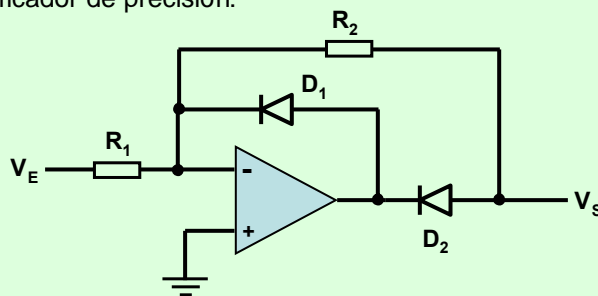


*Con un diodo no se pueden rectificar señales de baja amplitud. Es necesario emplear un rectificador de precisión.*



**Aplicaciones lineales de los amplificadores operacionales**

Rectificador de precisión:



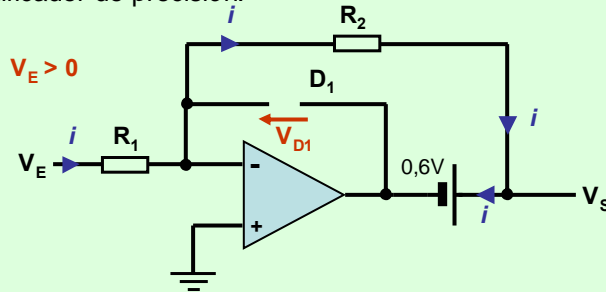
En función del signo de la tensión de entrada conduce  $D_1$  o  $D_2$ :

- Si  $V_E > 0$  conduce  $D_2$  y  $D_1$  está en bloqueo
- Si  $V_E < 0$  conduce  $D_1$  y  $D_2$  está en bloqueo



Aplicaciones lineales de los amplificadores operacionales

Rectificador de precisión:



$$i = \frac{V_E}{R_1}$$

$$V_S = -i \cdot R_2$$

$$V_S = V_E \cdot \frac{-R_2}{R_1}$$

$$V_{D1} = 0,6 - V_S$$

$$V_{D1} > 0$$

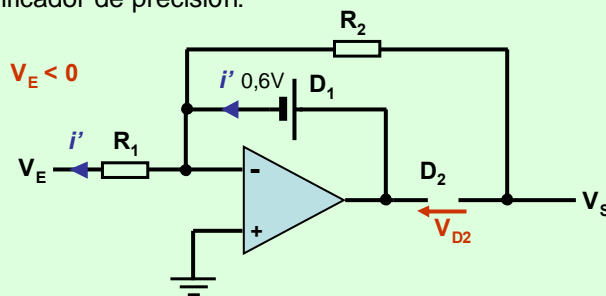
Comprobamos el estado de los diodos D<sub>1</sub> y D<sub>2</sub>:

- D<sub>2</sub> conduce la corriente i
- D<sub>1</sub> está en bloqueo



Aplicaciones lineales de los amplificadores operacionales

Rectificador de precisión:



$$i' = \frac{-V_E}{R_1}$$

$$V_S = 0$$

$$V_{D2} = 0,6$$

$$V_{D2} > 0$$

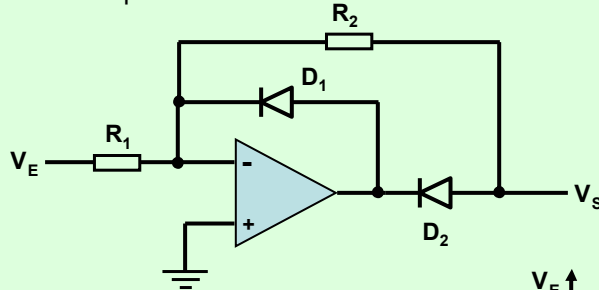
Comprobamos el estado de los diodos D<sub>1</sub> y D<sub>2</sub>:

- D<sub>1</sub> conduce la corriente i'
- D<sub>2</sub> está en bloqueo



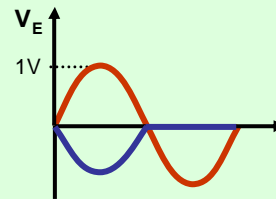
Aplicaciones lineales de los amplificadores operacionales

Rectificador de precisión:



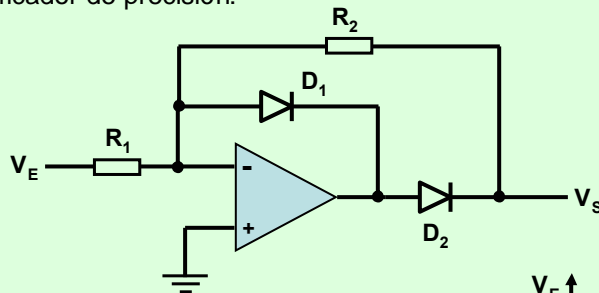
Conclusión:

- Si  $V_E > 0$  se cumple:  $V_S = V_E \cdot \frac{-R_2}{R_1}$
- Si  $V_E < 0$  se cumple:  $V_S = 0$



Aplicaciones lineales de los amplificadores operacionales

Rectificador de precisión:



Cambiando la orientación de ambos diodos:

- Si  $V_E > 0$  se cumple:  $V_S = 0$
- Si  $V_E < 0$  se cumple:  $V_S = V_E \cdot \frac{-R_2}{R_1}$

