



## Tema 5

---

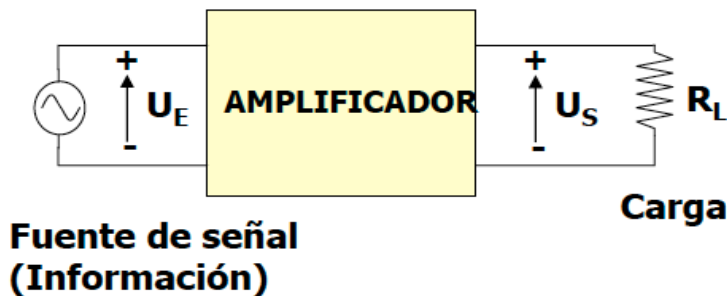
# El Amplificador Operacional

# Amplificación

## ¿Que es un amplificador?

Dispositivo capaz de elevar el nivel de potencia de una señal.

(En nuestro caso eléctrica: V o I)



### Objetivo ideal

$$P_E = 0$$

$$P_S = \infty$$

(Entiendase, la que se quiera)

La información en la fuente de señal puede estar presente en forma de tensión ( $V_E$ ) o en forma de corriente ( $I_E$ ).

A la salida (en la carga), la información se puede entregar (con mayor potencia) pero en forma de tensión ( $V_S$ ) o de corriente ( $I_S$ ).

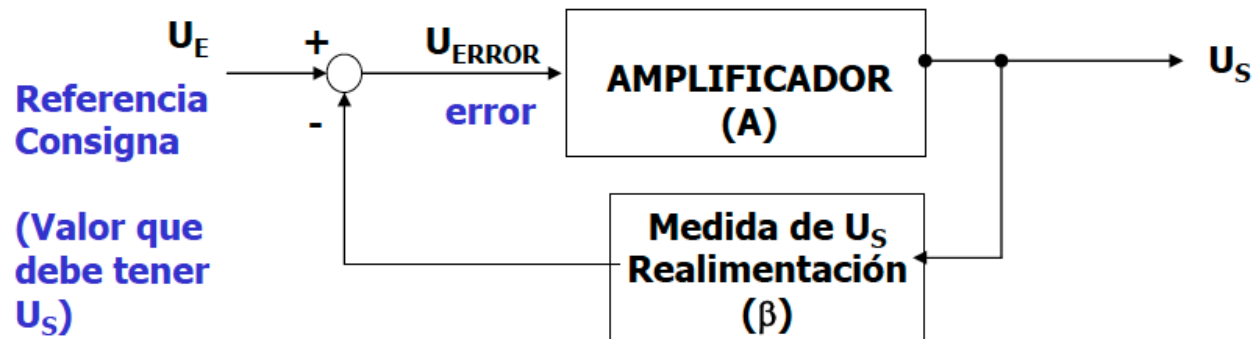
Las combinaciones se recogen en la siguiente tabla:

# Tipos de amplificadores



<u>Información de Entrada</u>		<u>Información de Salida</u>
Tensión ( $U_E$ )	Amplificador de tensión (V/V)	Tensión ( $U_S$ )
Tensión ( $U_E$ )	Amplificador de Trans-conductacia ( $I/V$ )	Corriente ( $I_S$ )
Corriente ( $I_E$ )	Amplificador de Trans-resistencia ( $V/I$ )	Tensión ( $U_S$ )
Corriente ( $I_E$ )	Amplificador de Corriente ( $I/I$ )	Corriente ( $I_S$ )

# Amplificadores realimentados



## ESTRUCTURA TÍPICA PARA UN AMPLIFICADOR REALIMENTADO

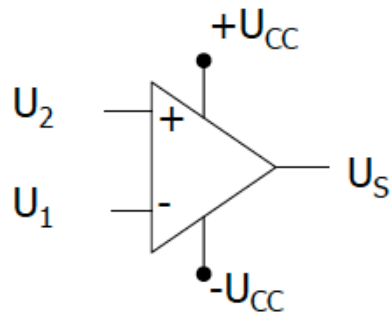
$$\frac{U_S}{U_E} = \frac{A}{1 + A \cdot \beta}$$

Si  $A$  es muy grande tenemos:

$$\frac{U_S}{U_E} \approx \frac{1}{\beta}$$

**Esta idea es la base del uso del amplificador operacional (AO)**

# Amplificador Operacional



La entrada  $U_2$  la denominaremos entrada no inversora.  
La entrada  $U_1$  la denominaremos entrada inversora.

Como elemento ideal consideraremos:

- 1.- La impedancia de entrada es  $\infty$ . Es decir despreciaremos las corrientes por las entradas.
- 2.- La impedancia de salida es cero. Es decir teóricamente puede aportar toda la corriente que haga falta.
- 3.- La ganancia diferencial es  $\infty$ .

$$U_S = A_d \cdot (U_2 - U_1) \quad A_d \longrightarrow \infty$$

# Amplificador Operacional: zonas de funcionamiento

Fijarse que al ser la ganancia  $A_d$  muy elevada si:

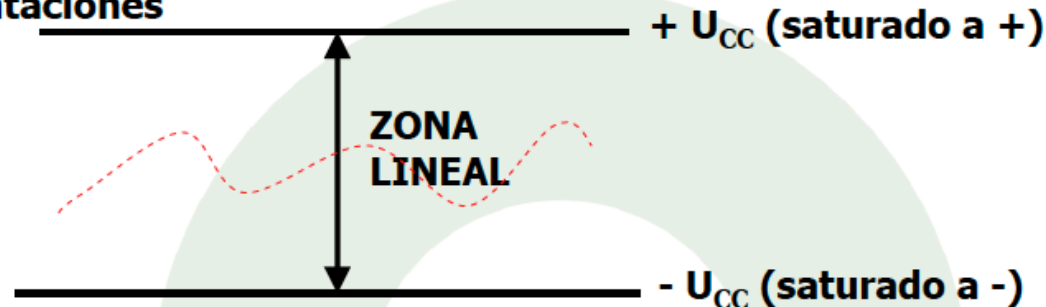
$U_2 > U_1$  entonces  $U_S = +\infty$  (a efectos prácticos  $U_S = +U_{CC}$ )

$U_2 < U_1$  entonces  $U_S = -\infty$  (a efectos prácticos  $U_S = -U_{CC}$ )

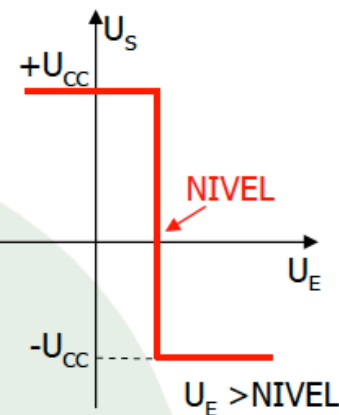
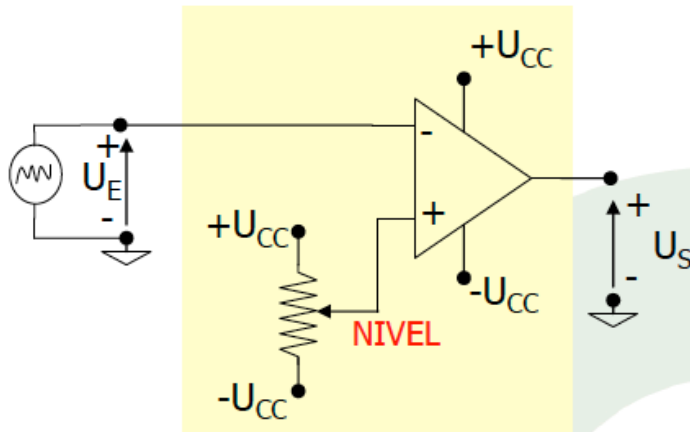
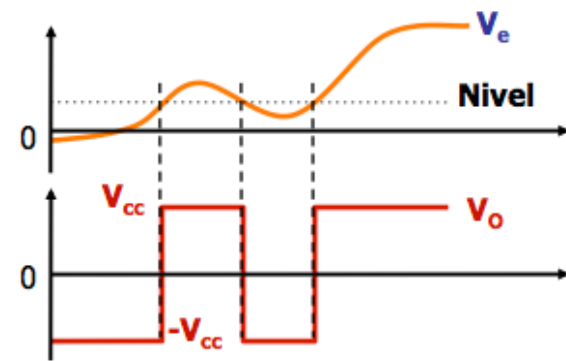
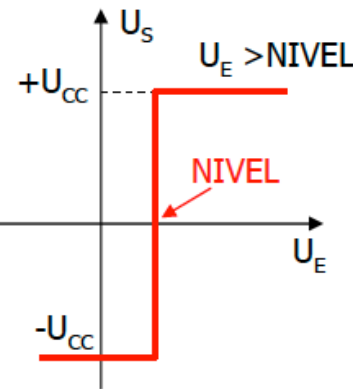
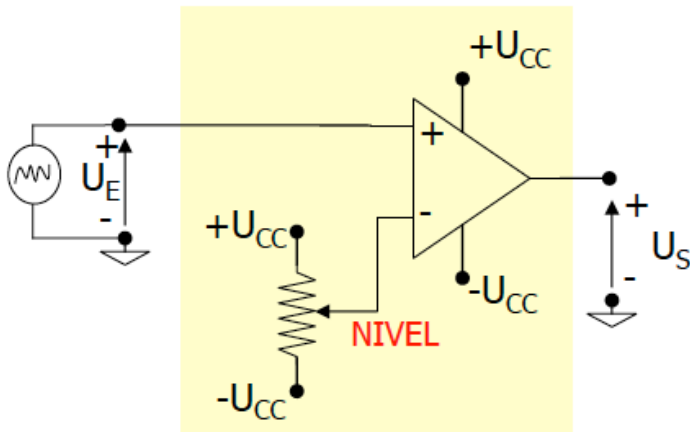
Se dice que el amplificador trabaja a saturación.

## ZONA LINEAL

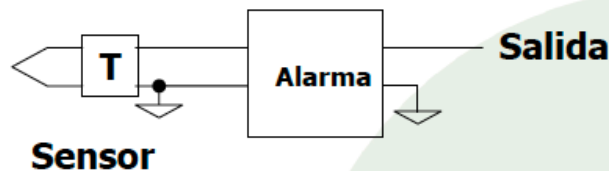
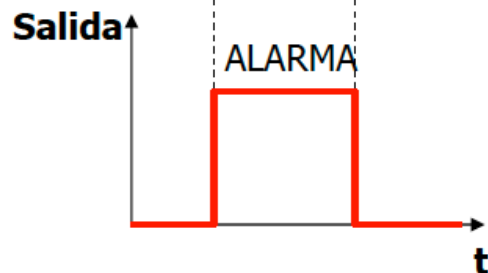
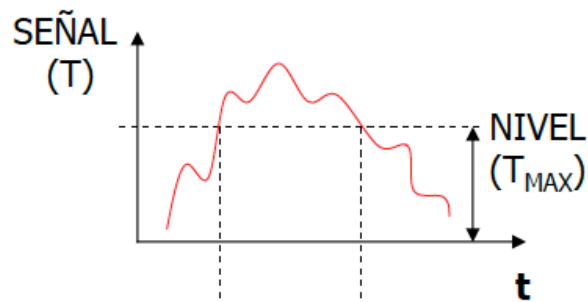
Solamente si conseguimos que  $U_2 = U_1$  (realimentación o regulación) podremos obtener tensiones de salida comprendidas entre las alimentaciones



# Aplicaciones del amplificador operacional: comparador.



# Aplicaciones del amplificador operacional: comparador.



Se puede incorporar una etapa amplificadora y/o normalizadora previa

- ✓ El AO trabaja en saturación.
- ✓ No precisa realimentación.
- ✓ No precisa alimentación simétrica.
- ✓ Conocer la tensión de alimentación es relevante.

## INTERFACE DE ALARMAS:

Pilotos avisadores

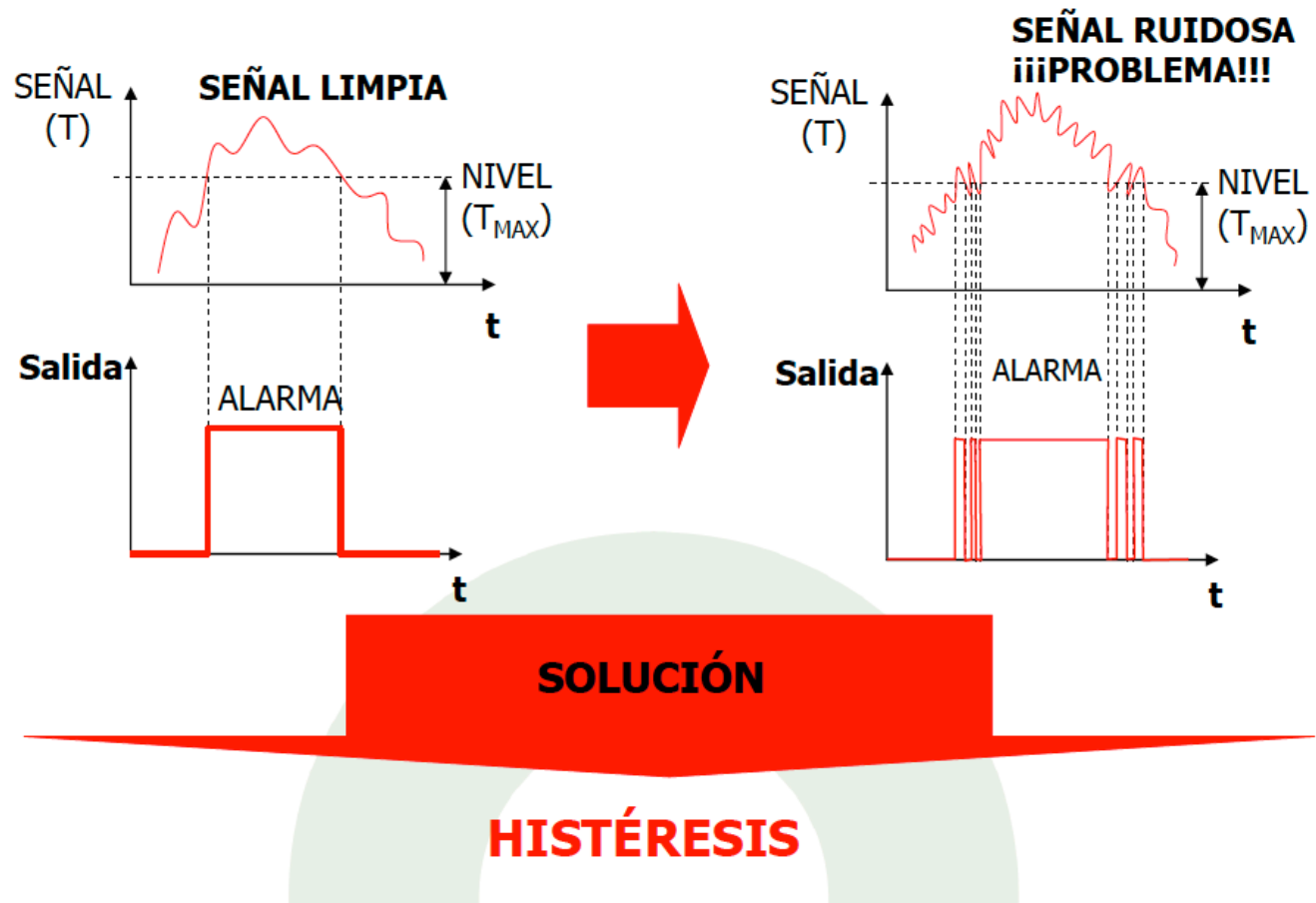
Bocinas

Relés

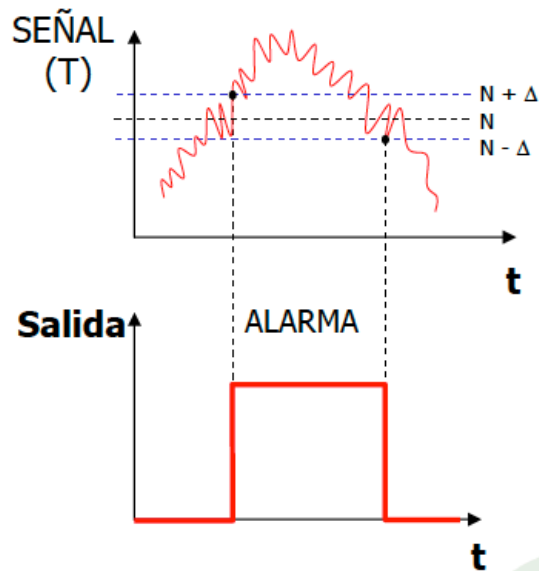
Salida digital



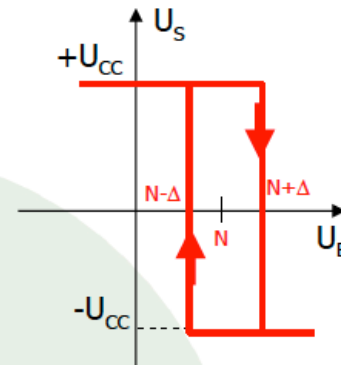
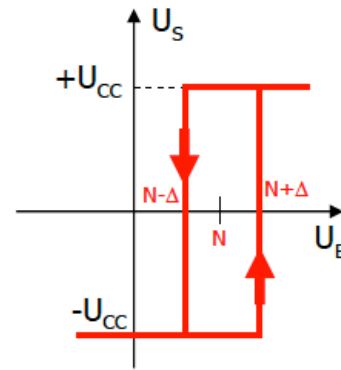
# Aplicaciones del amplificador operacional: comparadores con histéresis.



# Aplicaciones del amplificador operacional: comparadores con histéresis.



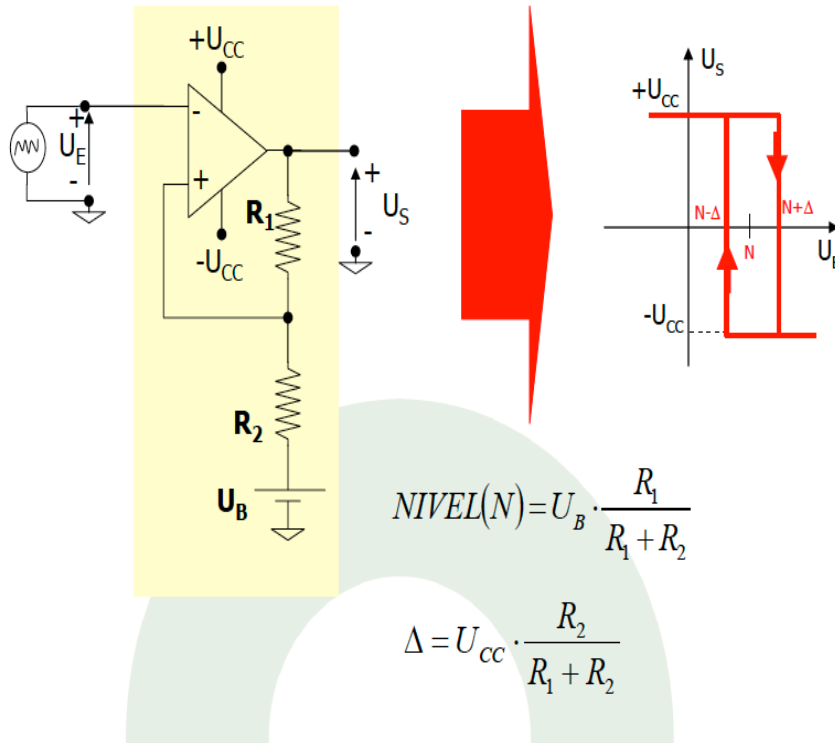
**Eliminación de ruidos  
mediante un comparador  
con histéresis**



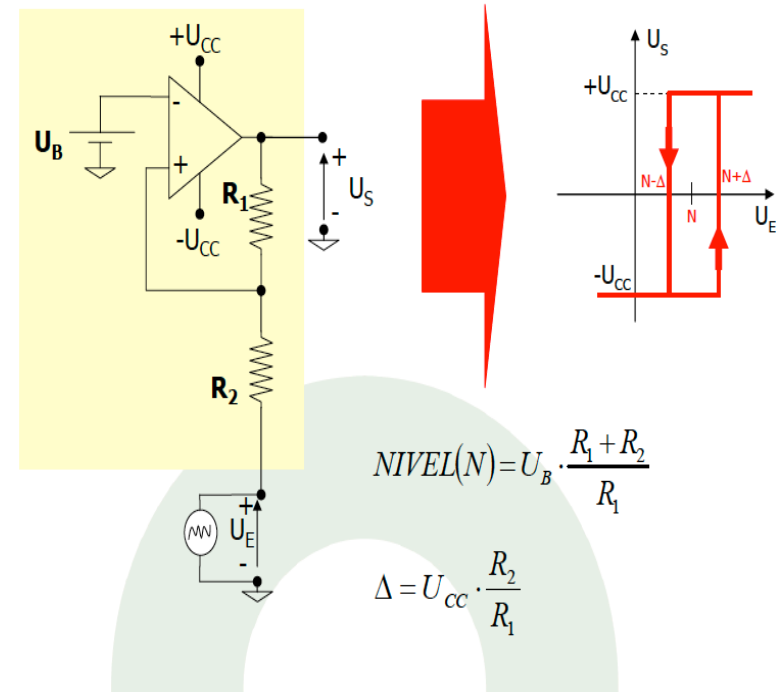
**TIPOS DE COMPARADORES  
CON HISTÉRESIS**

# Aplicaciones del amplificador operacional: comparadores con histéresis.

Los ciclos de histéresis en comparadores se consiguen mediante la inclusión de realimentación positiva

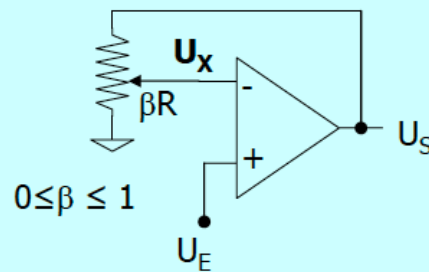


Los ciclos de histéresis en comparadores se consiguen mediante la inclusión de realimentación positiva



# Aplicaciones del amplificador: realimentación negativa

## Realimentación negativa



### NEGATIVA

Operación estable.

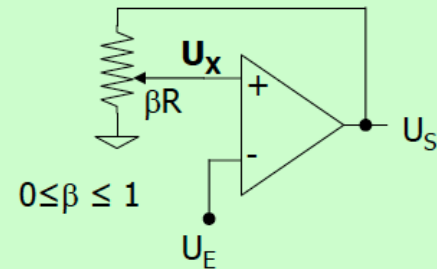
Si

$U_S$  aumenta  
entonces  $U_X$  aumenta  
entonces  $U_S$  disminuye

**EQUILIBRIO**



La realimentación positiva  
tiene aplicación en  
comparadores



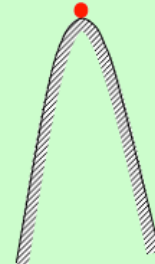
### POSITIVA

Operación inestable.

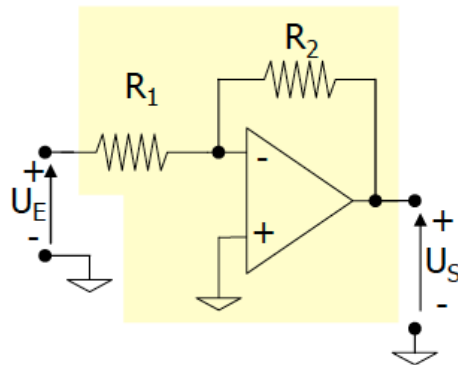
Si

$U_S$  aumenta  
entonces  $U_X$  aumenta  
entonces  $U_S$  aumenta

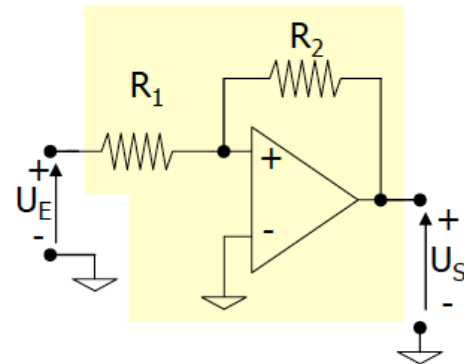
**ACABA SATURÁNDOSE**



# Aplicaciones del amplificador: realimentación negativa



**AMPLIFICADOR  
DE GANANCIA POSITIVA**

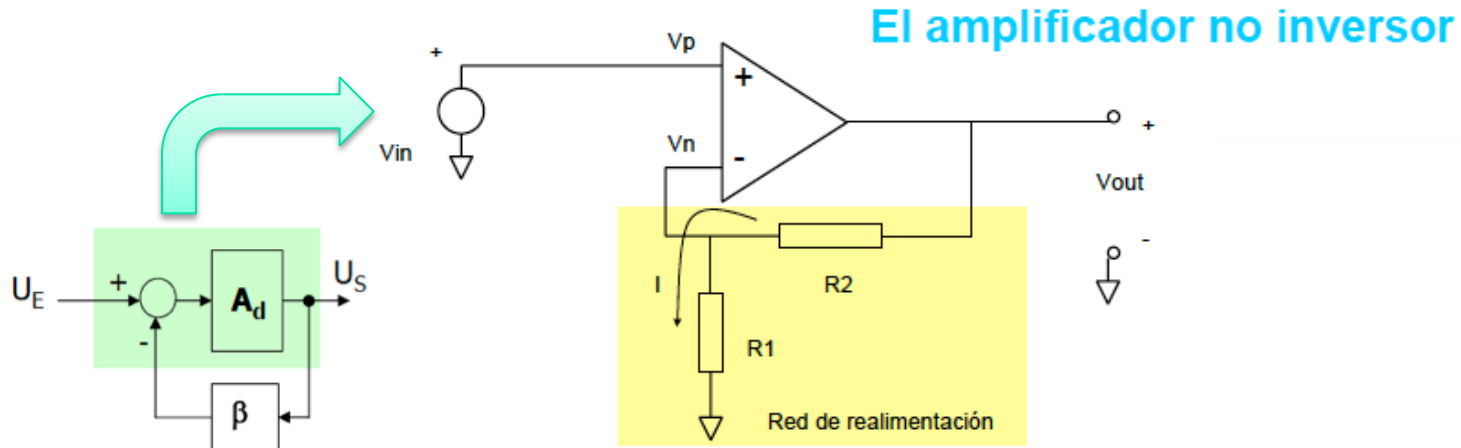


**COMPARADOR CON HISTÉRESIS**

**¡¡¡ CUIDADO !!!**

**Fijarse en la realimentación.  
La aplicación es radicalmente distinta.**

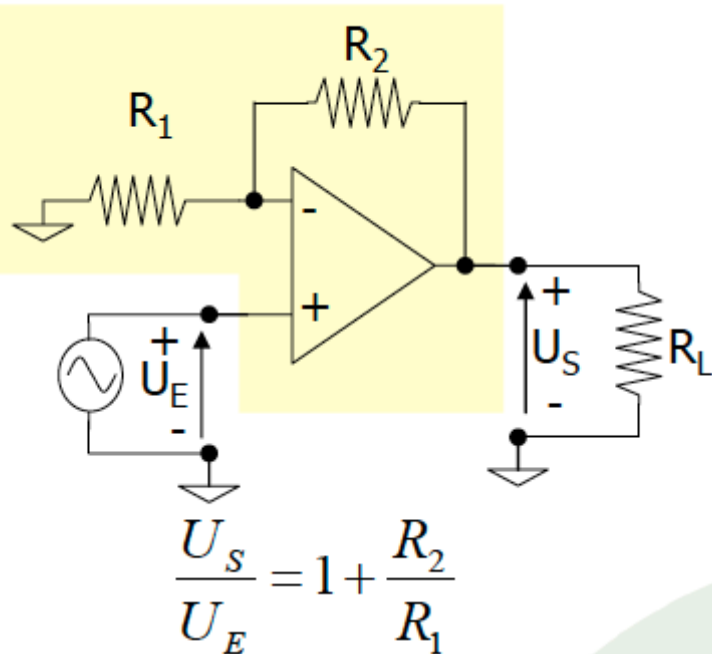
# Amplificador operacional: aplicaciones lineales



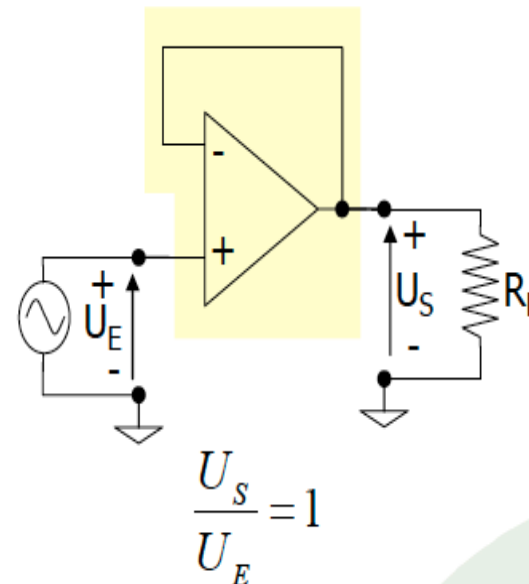
Aplicando el concepto de cortocircuito virtual entre  $V_p$  y  $V_n$

$$V_n = V_p = V_i \Rightarrow V_i = V_o \cdot R_1 / (R_1 + R_2) = V_o \beta \Rightarrow A = V_o / V_i = 1 / \beta = 1 + R_2 / R_1$$

# Amplificador operacional: aplicaciones lineales

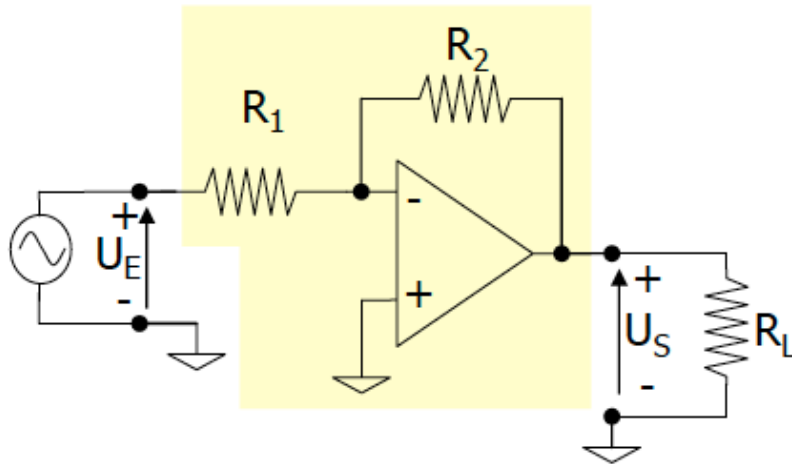


**AMPLIFICADOR DE  
GANANCIA POSITIVA  
(NO INVERSOR)**



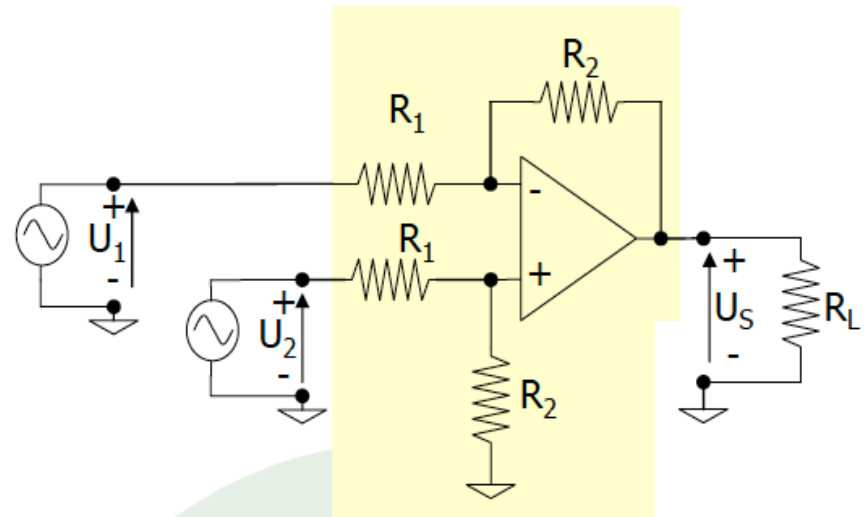
**AMPLIFICADOR DE  
GANANCIA UNIDAD  
(SEGUIDOR DE TENSIÓN)**

# Amplificador operacional: aplicaciones lineales



$$\frac{U_S}{U_E} = -\frac{R_2}{R_1}$$

**AMPLIFICADOR DE  
GANANCIA NEGATIVA  
(INVERSOR)**

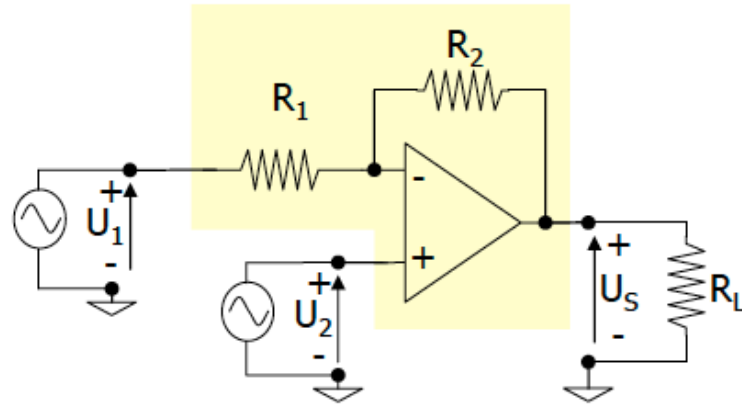


$$U_S = \frac{R_2}{R_1} \cdot (U_2 - U_1)$$

**AMPLIFICADOR DIFERENCIAL  
(RESTADOR - NORMALIZADOR)**



# Amplificador operacional: aplicaciones lineales



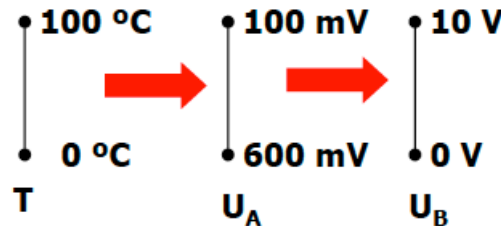
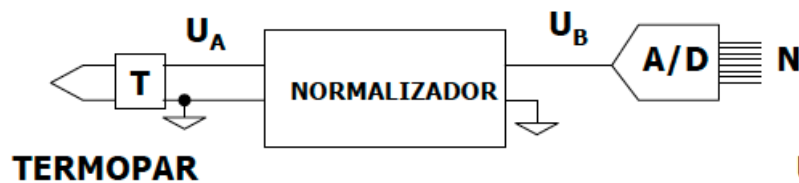
$$U_S = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot U_2 - \frac{R_2}{R_1} \cdot U_1$$

**AMPLIFICADOR  
NORMALIZADOR**

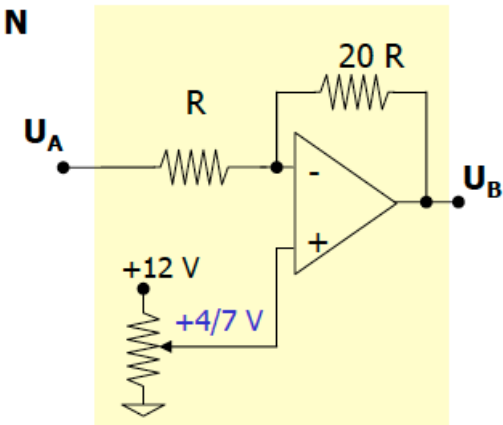
**NOTA:**

Este circuito y el anterior son especialmente interesantes para la función de normalizar rangos de tensiones

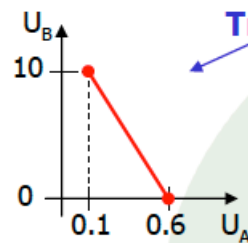
# Amplificador operacional: aplicaciones lineales



## Realización práctica



## Transformación lineal

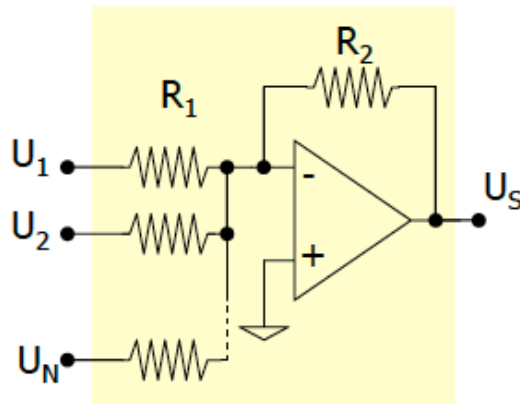


$$U_B = 12 - 20 \cdot U_A$$

## Circuito normalizador

$$U_S = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot U_2 - \frac{R_2}{R_1} \cdot U_1$$

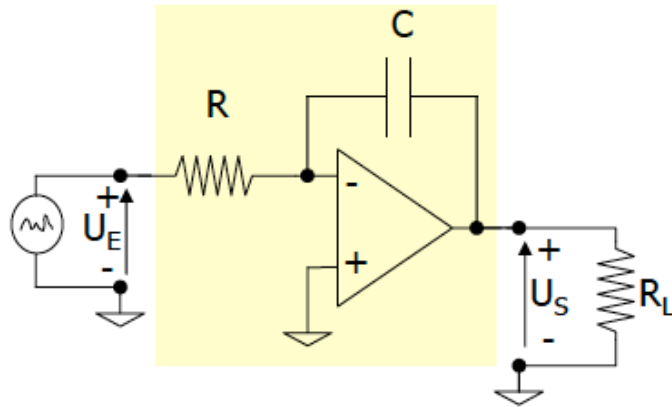
# Amplificador operacional: aplicaciones lineales



$$U_s = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \sum_{i=1}^N U_i$$

**SUMADOR ANALÓGICO**

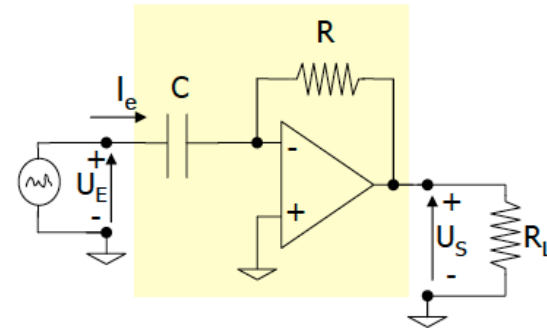
# Amplificador operacional: aplicaciones lineales



$$U_S(t) = U_S(0) - \frac{1}{RC} \cdot \int_{t=0}^{t=t} U_E(t) \cdot dt$$

Notar que:  $U_S(0) = -U_C(0)$

**INTEGRADOR ANALÓGICO**



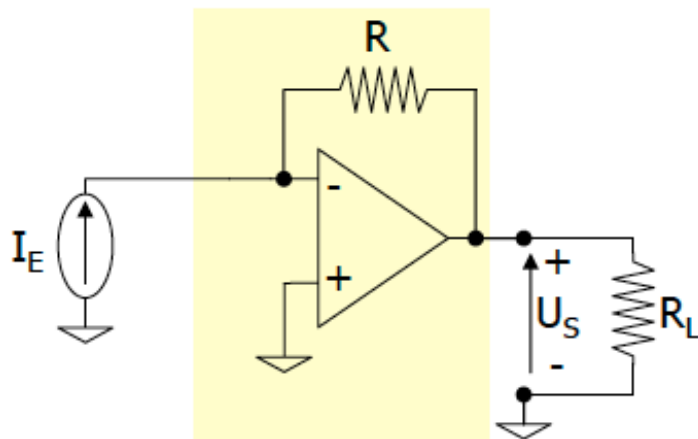
$$i_e(t) = C \cdot \frac{dU_e}{dt}$$
$$U_S = -R i_e$$



$$U_S = -R \cdot C \cdot \frac{dU_e}{dt}$$

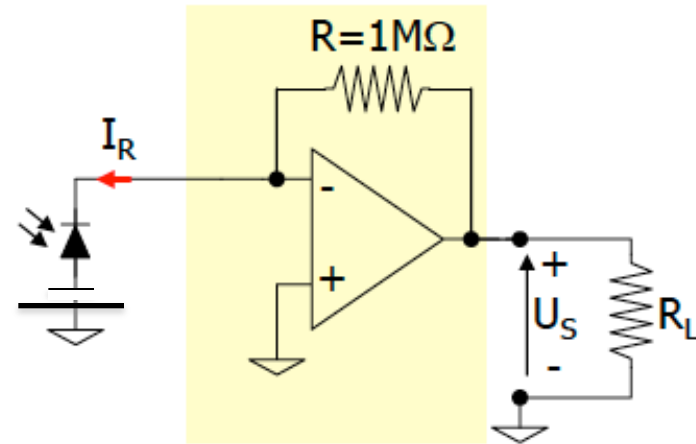
**DERIVADOR ANALÓGICO**

# Amplificador operacional: aplicaciones lineales



$$\frac{U_S}{I_E} = -R$$

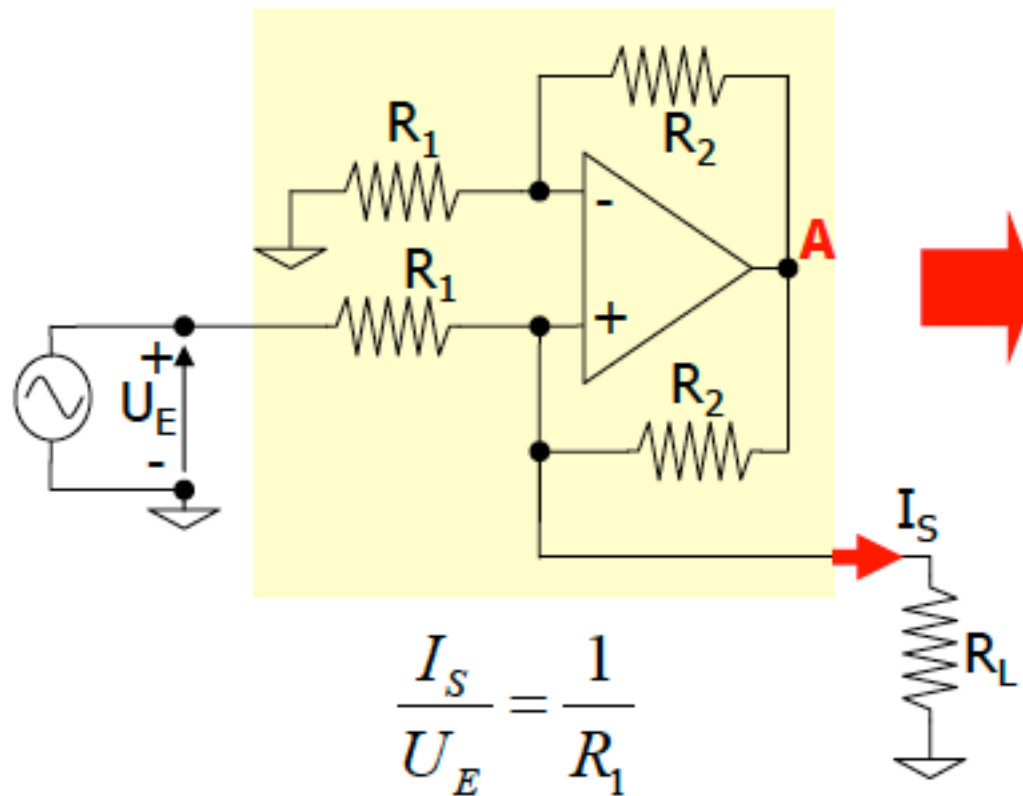
**CONVERSIÓN I/V**



**Fotodiodo  
BPW21**

Algo parecido puede hacerse con un diodo normal para medir temperatura.  
(Corriente de fugas de un diodo se duplica cada  $10^\circ\text{C}$ )

# Amplificador operacional: aplicaciones lineales



**Conversor V/I**

# Amplificador operacional:

## fabricantes

---

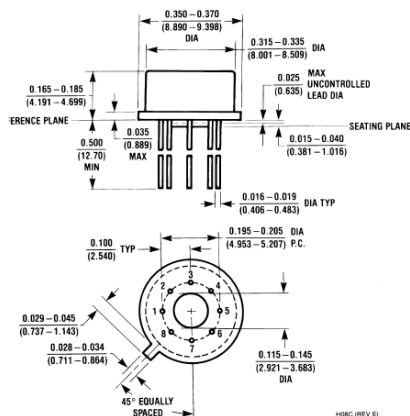
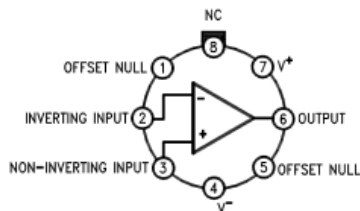
<b>LM</b>	<b>National Semiconductor</b> ( <a href="http://www.national.com">www.national.com</a> )
<b>TL</b>	<b>Texas Instruments</b> ( <a href="http://www.ti.com">www.ti.com</a> )
<b>uA</b>	<b>Fairchild</b> ( <a href="http://www.fairchildrf.com/home/default.asp">http://www.fairchildrf.com/home/default.asp</a> )
<b>NE/SE</b>	<b>Signetics</b> ( <a href="http://www.signetics.com">www.signetics.com</a> )
<b>XR</b>	<b>Exar</b> ( <a href="http://www.exar.com">www.exar.com</a> )
<b>MC</b>	<b>Motorola</b> ( <a href="http://e-www.motorola.com">e-www.motorola.com</a> )

# Amplificador operacional 741

## LM741



### LM741 Operational Amplifier



HMIC (REV C)

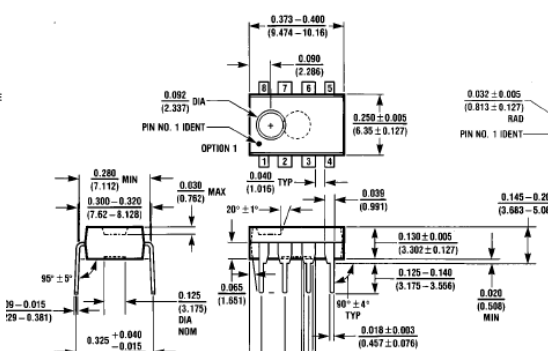
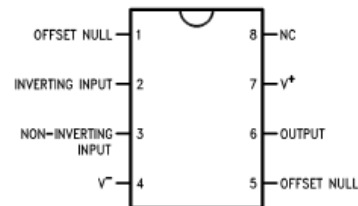
### General Description

The LM741 series are general purpose operational amplifiers which feature improved performance over industry standards like the LM709. They are direct, plug-in replacements for the 709C, LM201, MC1439 and 748 in most applications. The amplifiers offer many features which make their application nearly foolproof: overload protection on the input and

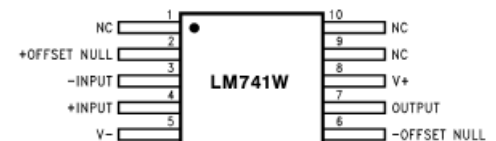
output, no latch-up when the common mode range is exceeded, as well as freedom from oscillations.

The LM741C is identical to the LM741/LM741A except that the LM741C has their performance guaranteed over a 0°C to +70°C temperature range, instead of -55°C to +125°C.

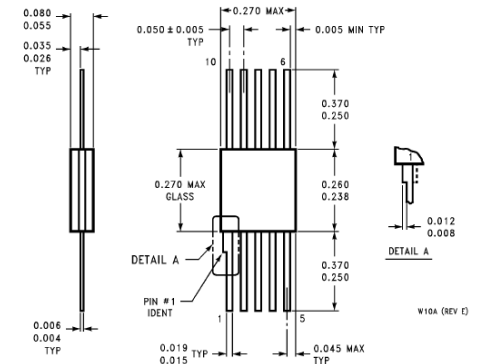
### Dual-In-Line or S.O. Package



### Ceramic Flatpak



00684106



W10A (REV C)