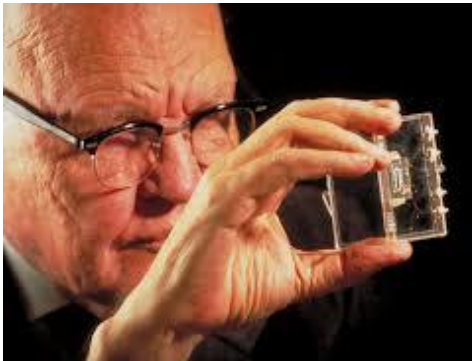
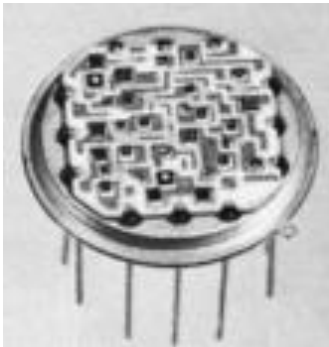
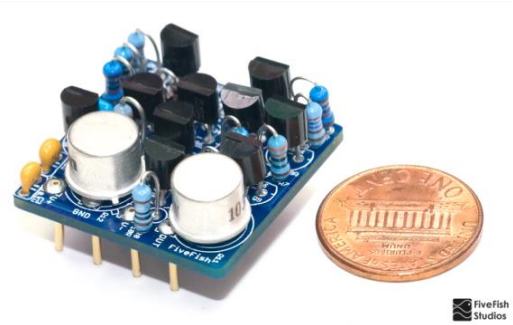
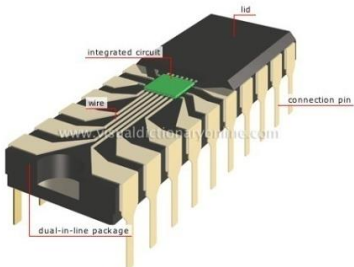
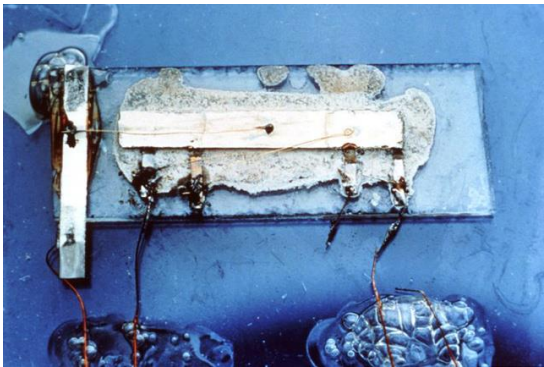
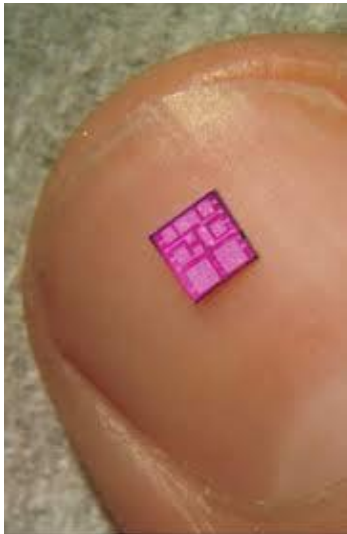




George Philbrick

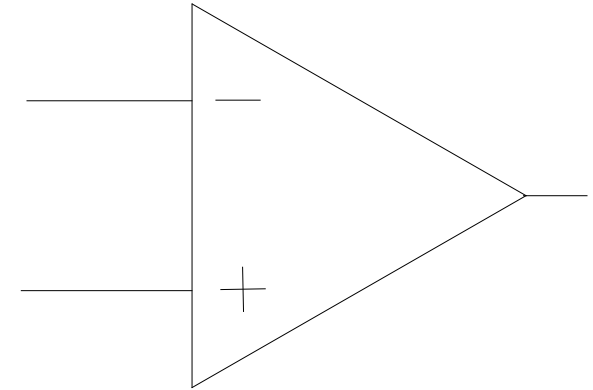


Jack Kilby

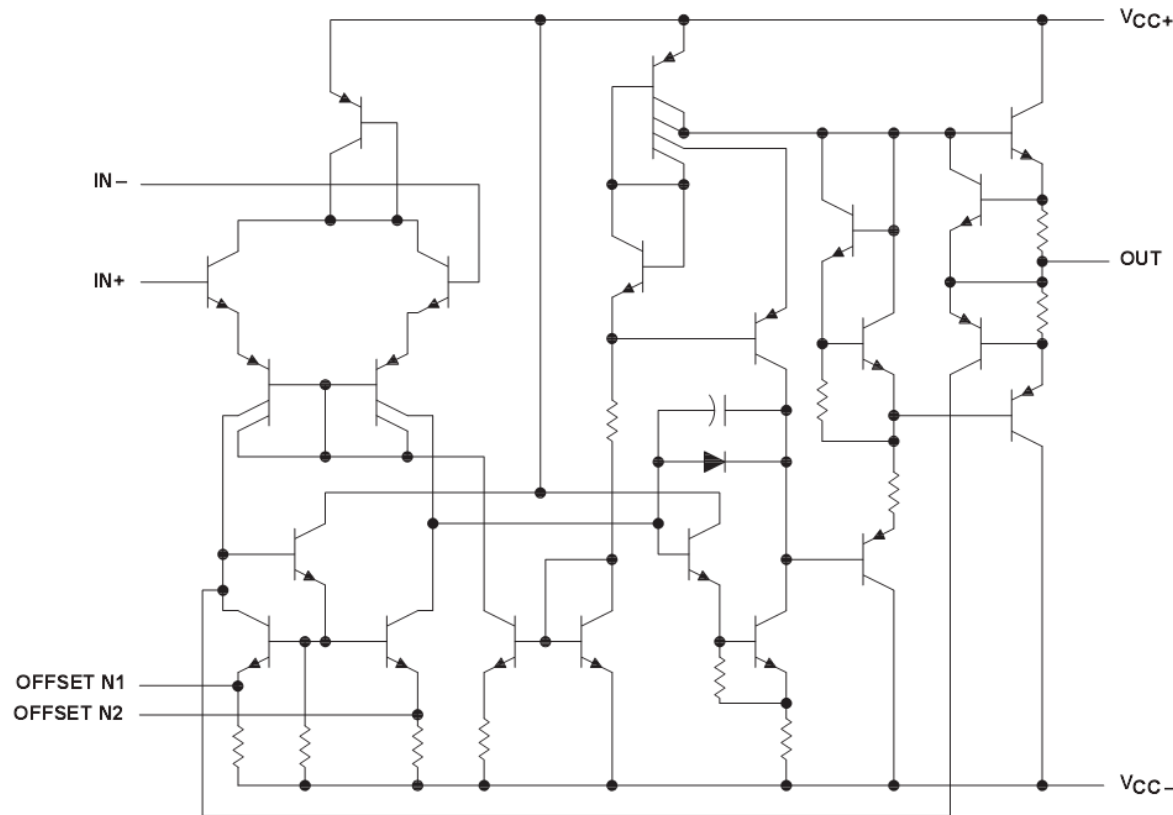


*Básicamente, es un dispositivo electrónico que posee dos terminales de entrada y uno de salida.*

*Un análisis detallado del mismo requiere la comprensión del funcionamiento de elementos tales como transistores...*



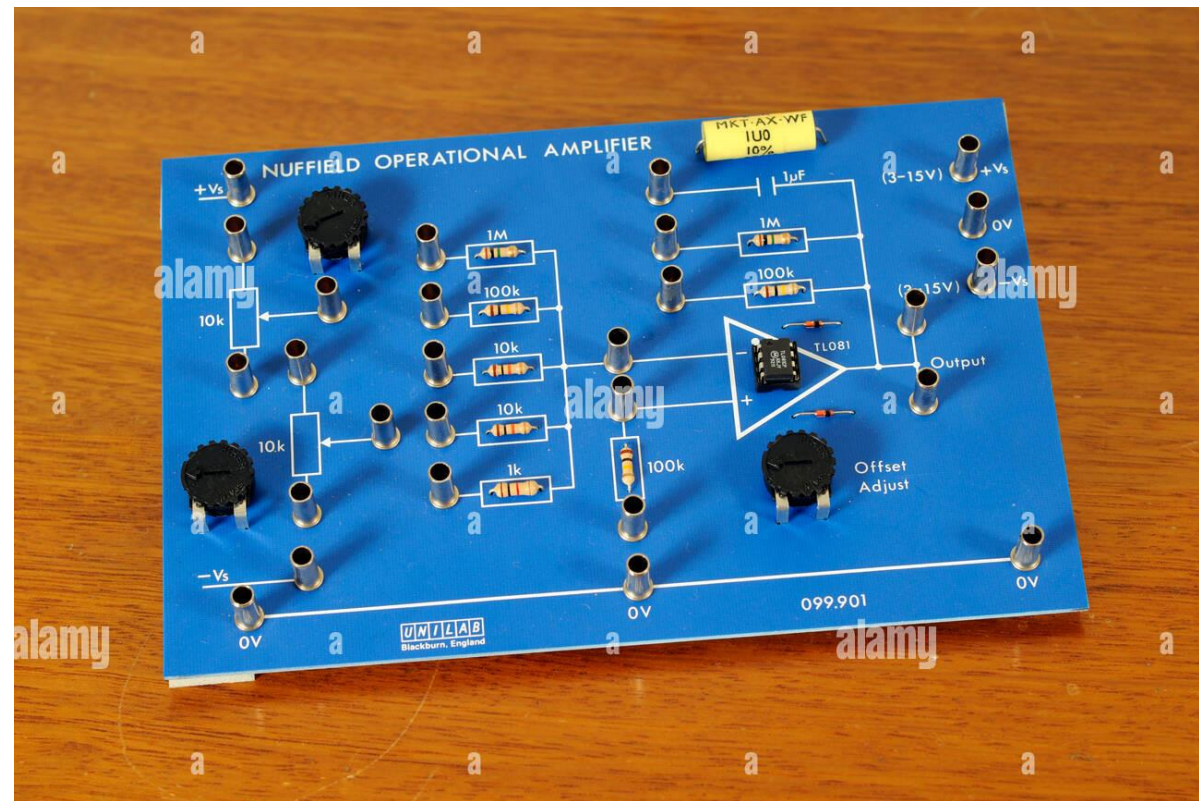
*...pero ésto no resulta completamente necesario.*



*Circuito real completo del amplificador operacional  $\mu A741$*



*Puede combinarse el AmpOp con resistores y capacitores para realizar operaciones matemáticas (de ahí su denominación).*

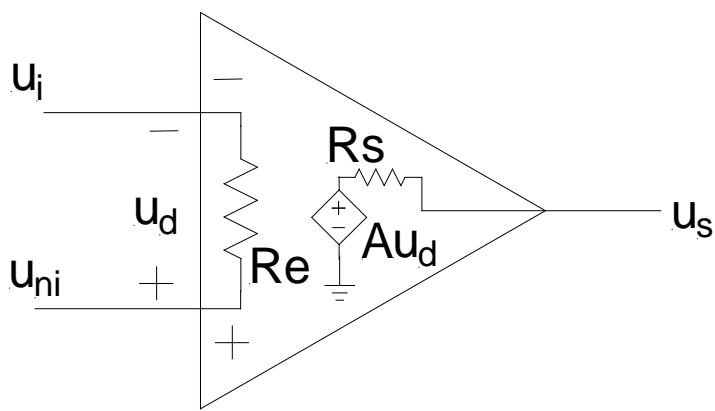


*Resulta perfectamente posible entender el modo en que puede usarse un amplificador operacional (AmpOp) como bloque componente de otros circuitos más complejos conociendo simplemente en el comportamiento que presenta en sus terminales.*

MODELO

→ Ideal

→ Real



$$u_d = u_{ni} - u_i$$

$$u_s = A \cdot u_d = A \cdot (u_{ni} - u_i)$$

A: Ganancia de tensión *en lazo abierto*

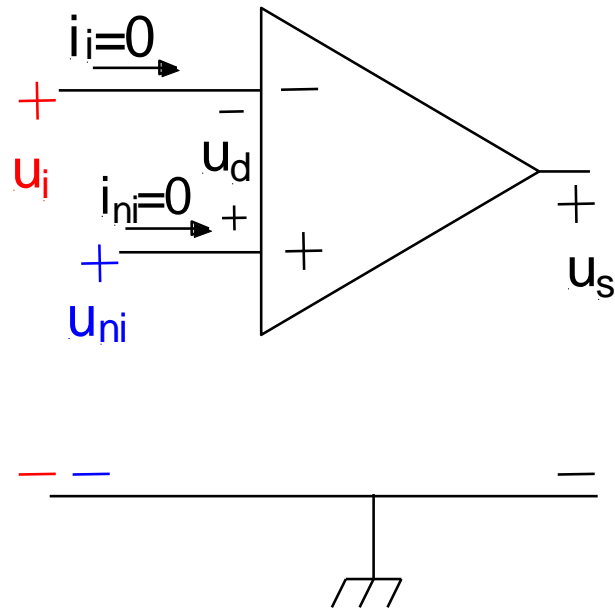
VALORES DE LOS PARÁMETROS DEL MODELO DE AMPLIFICADOR OPERACIONAL

Parámetro	Valores	
	Modelo ideal	Modelo real
Ganancia de lazo abierto, $A$	$\infty$	$10^5$ a $10^8$
Resistencia de entrada, $R_e$	$\infty$	$10^6$ a $10^{13} \Omega$
Resistencia de salida, $R_s$	$0$	$10$ a $100 \Omega$

Para el amplificador operacional  $\mu A741$ , los valores típicos de  $A$ ,  $R_e$  y  $R_s$  son  $10^5$ ,  $2\text{ M}\Omega$  y  $75\ \Omega$ , respectivamente.

A menos que se establezca lo contrario, los estudios se harán en base al AmpOp con parámetros del modelo ideal.

## ANÁLISIS DEL MODELO IDEAL



$$i_{ni} = 0 \quad e \quad i_i = 0 \quad \text{pues } R_e \rightarrow \infty$$

$$u_s = (u_{ni} - u_i) A \rightarrow \infty \quad \text{pues } A \rightarrow \infty$$

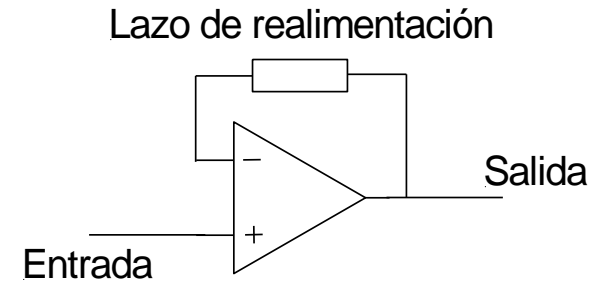
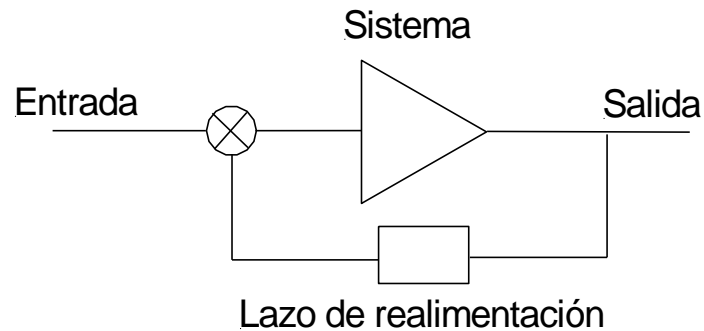
## REALIMENTACIÓN

*Es un concepto fundamental para entender el funcionamiento del AmpOp.*

*Se obtiene una **realimentación** cuando la salida de un sistema “alimenta” su propia entrada.*

*En un Amp Op una **realimentación negativa** se obtiene cuando la salida se vincula a su **terminal inversor**.*

*Cuando hay una trayectoria de realimentación de la salida hacia la entrada, la relación entre la tensión de salida y la de entrada recibe el nombre de **ganancia de lazo cerrado**.*



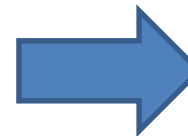
*Ventaja principal:*



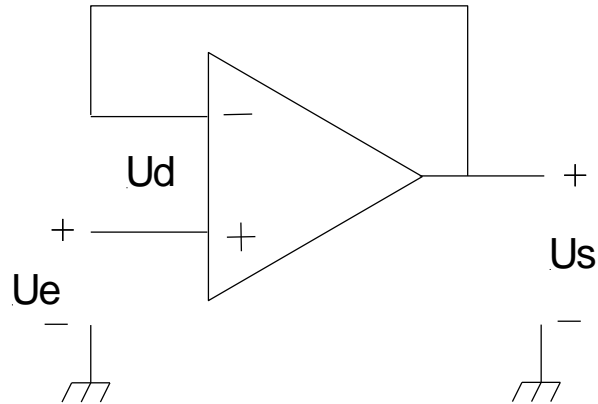
**ESTABILIDAD** del sistema



*Otra ventaja fundamental se muestra en el ejemplo siguiente*



## CONFIGURACIÓN BÁSICA



*Seguidor de tensión*

$$u_e = u_d + u_s$$

$$u_s = (u_{ni} - u_i) A = (u_e - u_s) A$$

y operando, resulta:

$$u_s = u_e A / (1 + A) \approx u_e \quad \text{pues } A \rightarrow \infty$$

*Surge el concepto de*

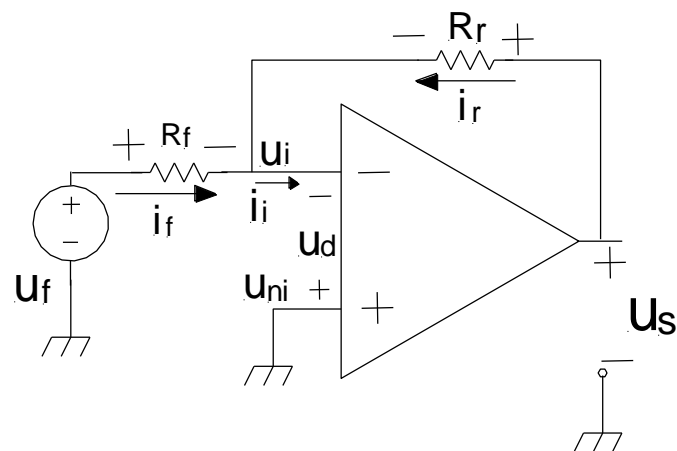


## CORTOCIRCUITO VIRTUAL

*Un análisis similar puede efectuarse para cualquier otra configuración de Amp Op realimentado negativamente, verificándose este concepto en cualquier caso.*



## Configuración INVERSOR



Si no se considera el concepto de cortocircuito virtual:

$$u_s = A \cdot u_d = A \cdot (u_{ni} - u_i) = A \cdot (-u_i)$$

$$\text{pues } u_{ni} = 0$$

Luego de analizar el circuito, mediante el modelo real, eliminando las incógnitas que conforman  $u_i$  y escribiendo en función de los datos ( $A$ ,  $R_f$ ,  $R_r$  y  $u_f$ ), resulta:

$$i_f + i_r = i_i$$

$$i_f = -i_r \quad \text{pues } i_i = 0$$

En base al concepto de cortocircuito virtual:

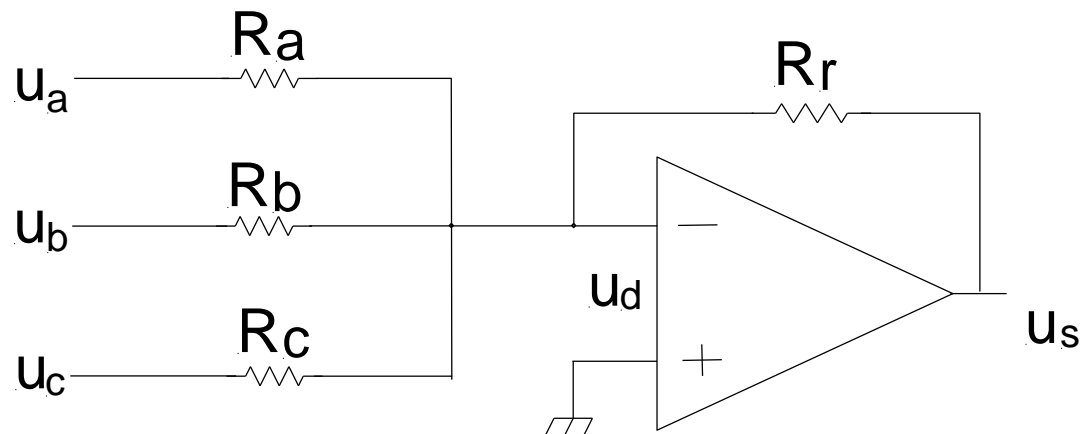
$$\left. \begin{aligned} u_f &= i_f R_f \\ u_s &= i_r R_r \end{aligned} \right\} \boxed{u_s = -\frac{R_r}{R_f} u_f}$$

$$u_s = - \frac{1}{R_f \left[ \left( \frac{1}{R_f} + \frac{1}{R_r} \right) \frac{1}{A} + \frac{1}{R_r} \right]} u_f \rightarrow 0 \text{ pues } A \rightarrow \infty$$

Obteniendo el mismo resultado anterior.



### Configuración SUMADOR

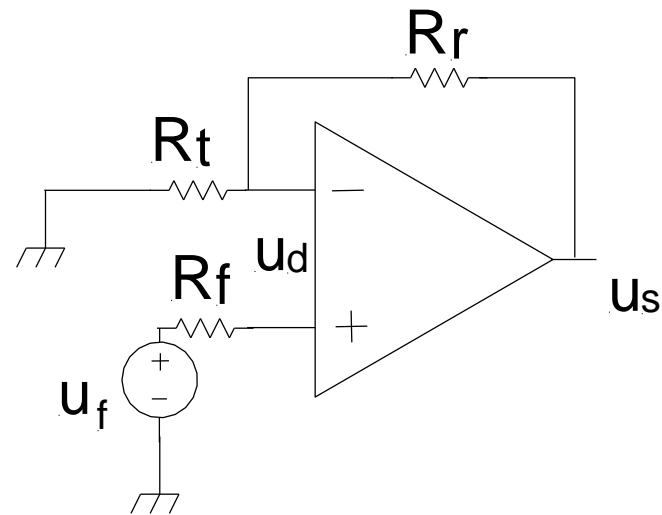


*En base al concepto de cortocircuito virtual, o a partir de la ecuación  $u_s = A \cdot u_d$ , se pueden plantear las corrientes en todos los resistores y aplicar LKC en el nodo común...*

*... o se puede aplicar superposición, suponiendo que se puede separar en tres circuitos observando que cada uno de ellos está en configuración inversor, resultando:*

$$u_s = - \left( \frac{R_r}{R_a} u_a + \frac{R_r}{R_b} u_b + \frac{R_r}{R_c} u_c \right)$$

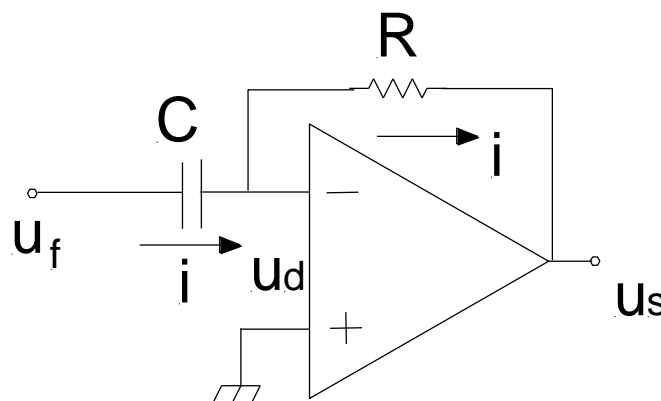
## *Configuración NO INVERSOR*



*En base al concepto de cortocircuito virtual o a partir de la ecuación  $u_s = A \cdot u_d$*

$$u_s = \frac{R_r + R_t}{R_t} u_f$$

### *Configuración DERIVADOR*

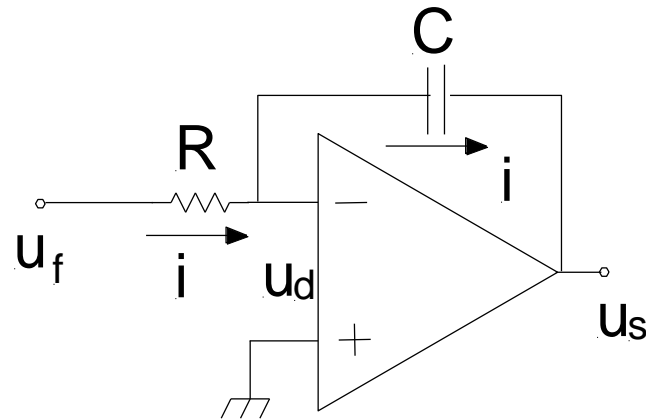


*En base al concepto de cortocircuito virtual o a partir de la ecuación  $u_s = A \cdot u_d$*

$$u_s = -RC \frac{du_f}{dt}$$

*Recordar que*  $i_c = C \frac{du_c}{dt}$

## Configuración INTEGRADOR

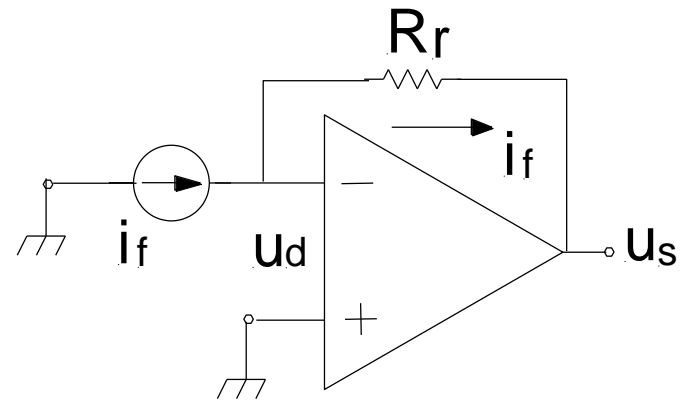


En base al concepto de cortocircuito virtual o a partir de la ecuación  $u_s = A \cdot u_d$

$$u_s = -\frac{1}{RC} \int u_f dt$$

Recordar que  $i_c = C \frac{du_c}{dt}$

## *Configuración CONVERSION CORRIENTE-TENSION*

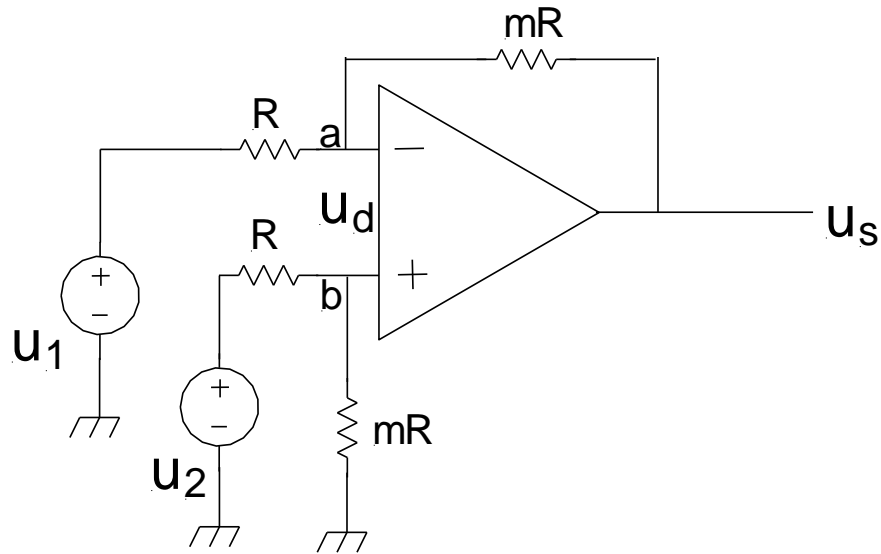


*En base al concepto de cortocircuito virtual o a partir de la ecuación  $u_s = A \cdot u_d$*

$$u_s = -i_f R_f$$



## Configuración AMPLIFICADOR DIFERENCIAL

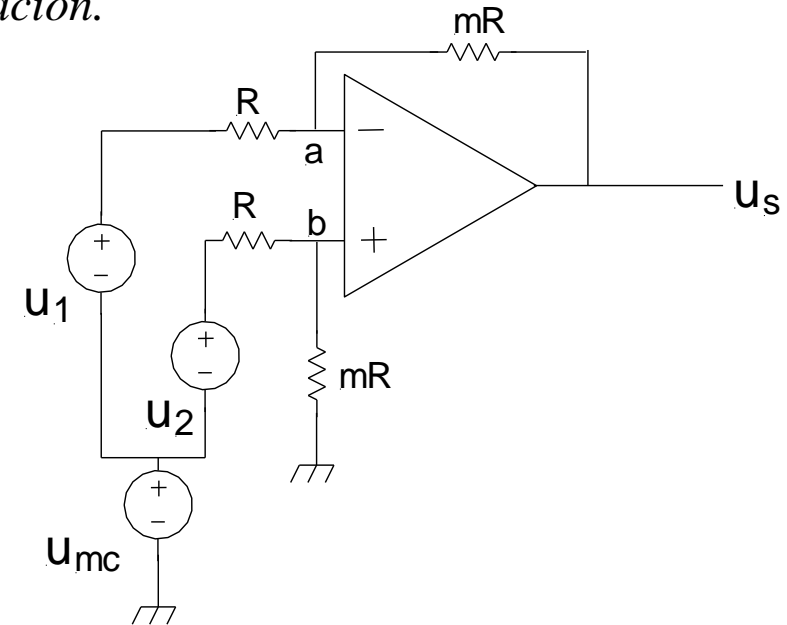


*Gran rechazo de modo común*  
*Bajo rechazo de modo diferencial*

Como ya se vio, el circuito se puede analizar tanto en base al concepto de cortocircuito virtual como a partir de la ecuación  $u_s = A \cdot u_d$  resultando:

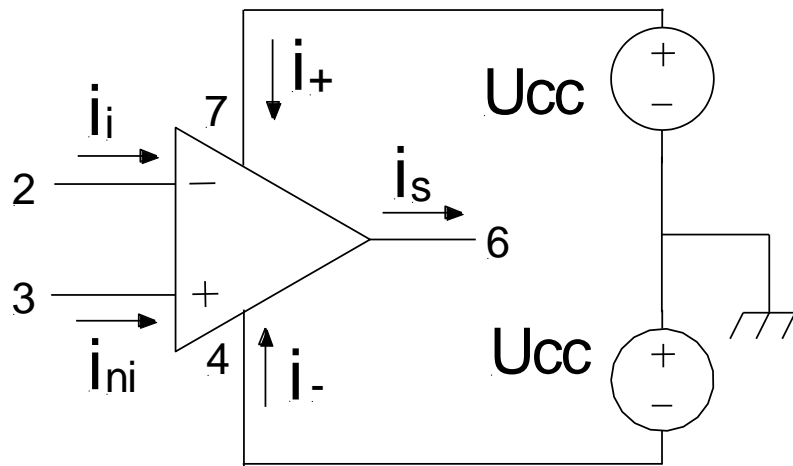
$$u_s = m(u_2 - u_1)$$

Este resultado justifica la denominación de la configuración.



## ALIMENTACIÓN DEL AMP OP

*El Amp Op real debe ser alimentado con energía externa para su funcionamiento:*



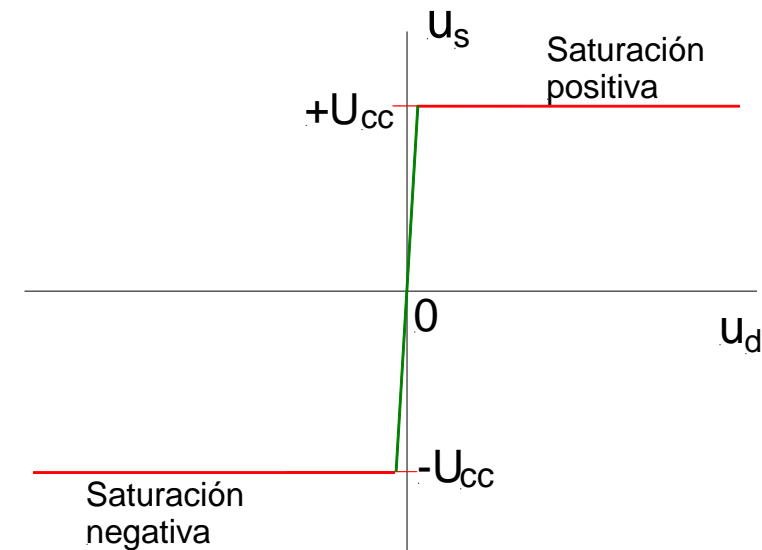
$$i_s = i_i + i_{ni} + i_+ + i_-$$



*Las leyes de Kirchhoff deben cumplirse siempre*

## SATURACIÓN

*Es una consecuencia de la necesidad de alimentación externa del Amp Op.*



*Saturación positiva:  $u_s = +U_{cc}$*

*Saturación negativa:  $u_s = -U_{cc}$*

*Región lineal:  $-U_{cc} \leq u_s \leq +U_{cc}$*

$$u_s = Au_d$$

## RESUMEN

- *Amplificador operacional real e ideal.*
- *Funcionamiento en lazo abierto y en lazo cerrado. Realimentación.*
- *Lazo cerrado y concepto de cortocircuito virtual.*
- *Configuraciones:*
  - *Seguidor de tensión*
  - *Inversor*
  - *No inversor*
  - *Sumador*
  - *Derivador*
  - *Integrador*
  - *Conversor de corriente en tensión*
  - *Diferencial*
- *Alimentación y concepto de saturación.*

## BIBLIOGRAFÍA

- *Circuitos eléctricos. Parte 2.* Morcelle-Deorsola. Cap 7.
- *Amplificadores operacionales.* P. Morcelle. Apuntes de la Cátedra.
- *Circuitos eléctricos.* Dorf. Cap 6.
- *Transducer interfacing handbook.* Analog Devices. Cap 4.
- *Guía para mediciones electrónicas y prácticas de laboratorio.* S. Wolf - R.F.M. Smith. Cap 15.
- *Circuitos eléctricos.* James W. Nilsson. Cap 6.
- *Análisis de circuitos en ingeniería.* Hayt-Kemmerly. Cap 1 y 2.
- *Principios y aplicaciones de ingeniería eléctrica.* G. Rizzoni. Cap 12.