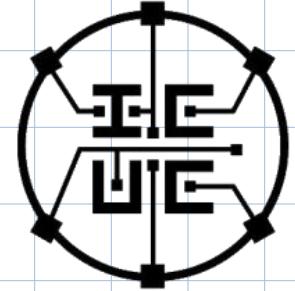




2.01



INTEGRATED CIRCUITS
UNIVERSIDAD CATÓLICA

El opamp como elemento circuital ideal

Dependencias:

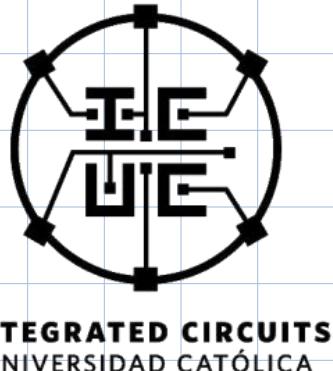
angel@uc.cl

Electrónica en cápsulas

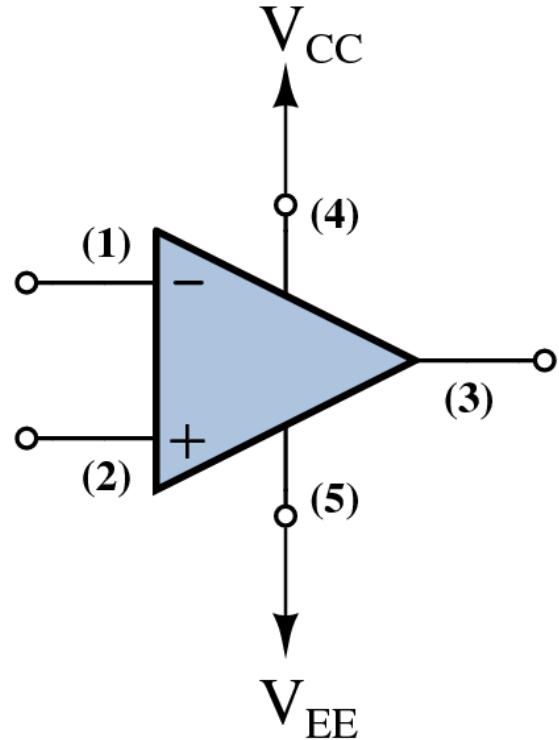
Intro

El amplificador operacional (*operational amplifier*, opamp) es un amplificador de alta ganancia y acoplamiento DC, de propósito general.

Es utilizado ampliamente en la implementación de circuitos discretos e integrados. Configurado correctamente mediante una red de realimentación, permite implementar con gran facilidad amplificadores de ganancia arbitraria, filtros, operadores matemáticos, etc. Como se comporta como un elemento casi ideal con baja impedancia de salida, permite diseñar bloques circuitales modulares de fácil interconexión, codificando las señales como voltajes, minimizando la atenuación por efecto de la carga.

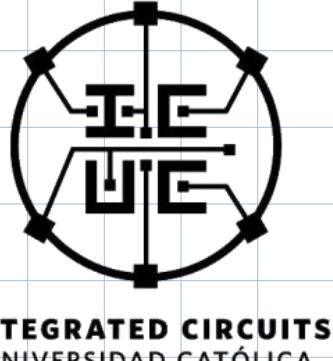


Terminales de un opamp



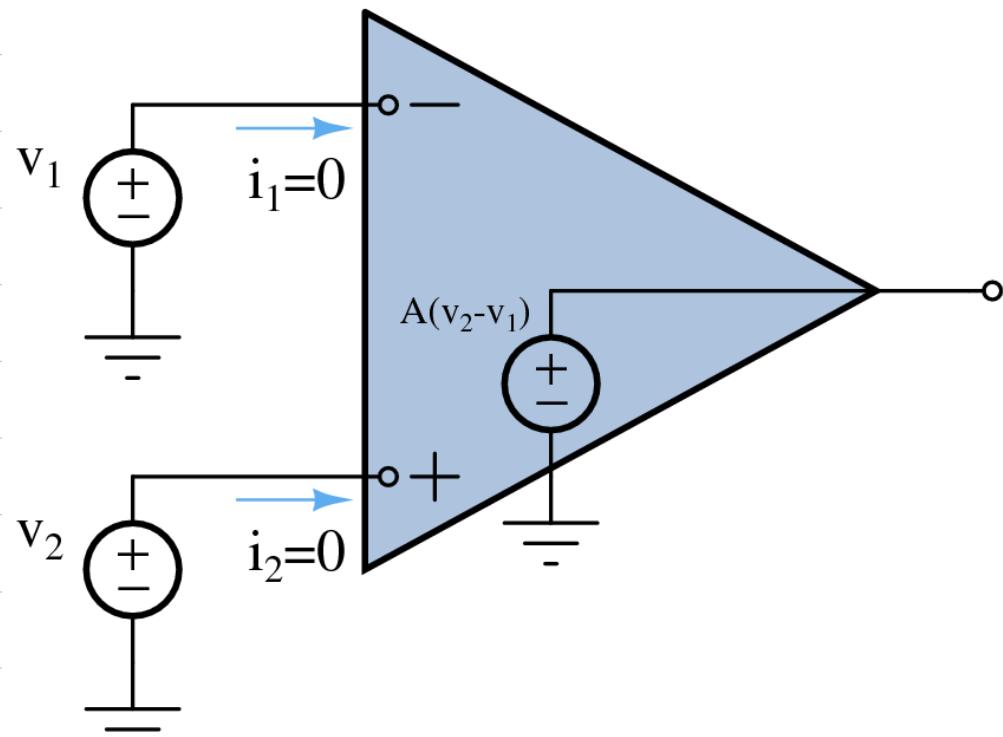
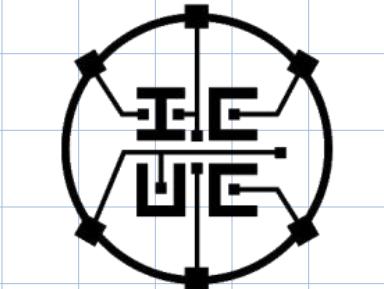
1. Entrada inversora
2. Entrada no inversora
3. Salida
4. Alimentación, riel superior
5. Alimentación, riel inferior

Opamps integrados: single (un opamp en un chip), dual (dos opamps en un chip), quad (cuatro opamps en un chip), todos comparten los rieles de alimentación



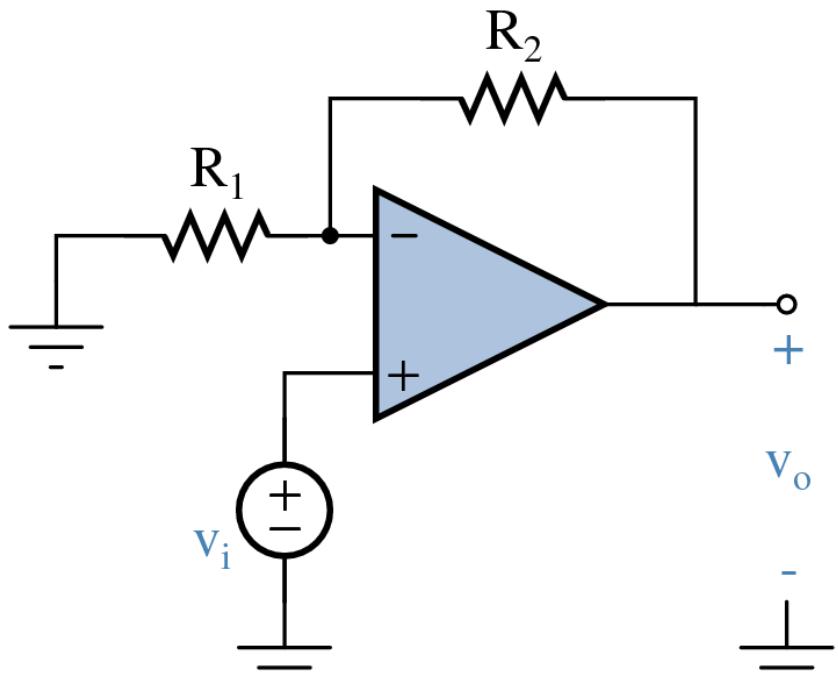
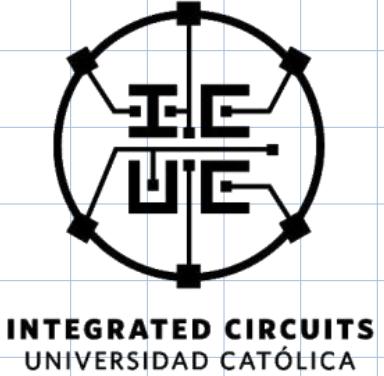
El opamp ideal

- Impedancia de entrada ∞
 - Corriente de entrada nula
- Impedancia de salida cero
- Ganancia en lazo abierto ∞
- Ancho de banda ∞
- Ganancia de modo común nula
 - Rechazo de modo común ∞



Solución de circuitos con opamps ideales

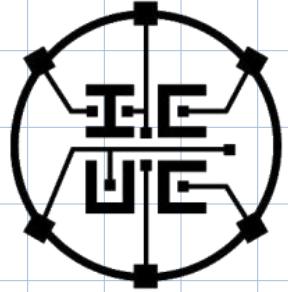
- Verificar que haya realimentación negativa (2.02)
- Asumir “cortocircuito virtual, es decir, que la entrada inversora y la entrada no inversora están al mismo voltaje
- Resolver empleando leyes circuitales
- Ejemplo:



El resultado es **ratiométrico**



2.02



INTEGRATED CIRCUITS
UNIVERSIDAD CATÓLICA

Concepto de realimentación

Dependencias:

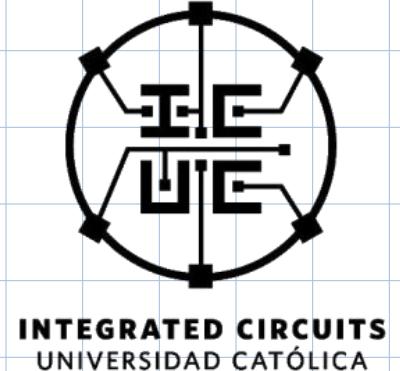
- 2.01 El opamp como elemento circuitual ideal

angel@uc.cl

Electrónica en cápsulas

¿Realimentación o retroalimentación?

- La realimentación permite des-sensibilizar el desempeño de un circuito ante cambios en los parámetros de algunos de sus componentes
- Es el mismo concepto que se emplea en control automático:
 - Medimos el error respecto de una referencia
 - Aplicamos una acción correctora para minimizar el error
- El objetivo de un controlador es minimizar el error, logrando en la práctica un cortocircuito virtual

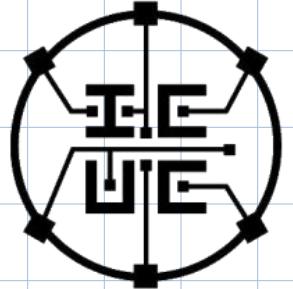
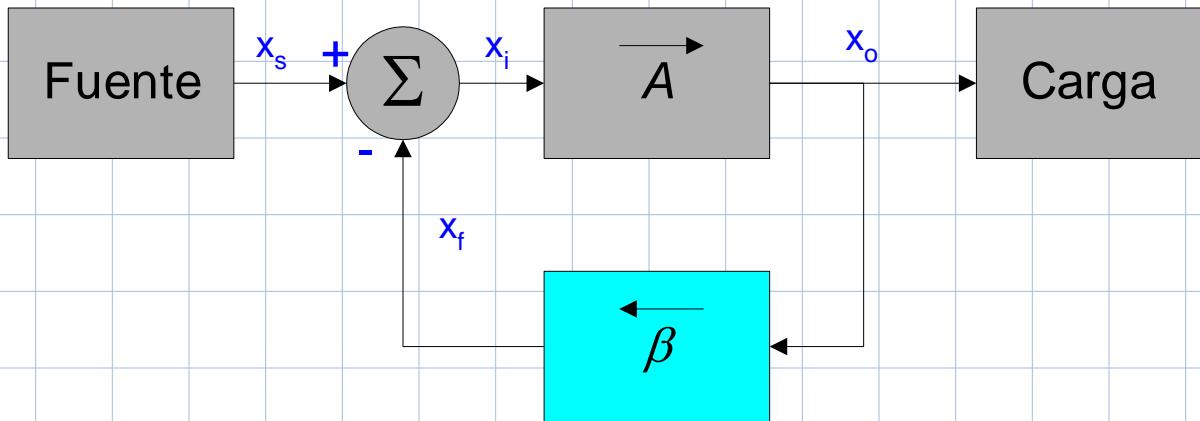


El opamp es un controlador electrónico para señales, que pretende que el error entre la salida deseada y la salida obtenida sea nulo

Si hay realimentación negativa, el opamp hará todo lo posible para que exista cortocircuito virtual entre sus entradas

Topología con realimentación negativa es condición necesaria, pero no suficiente, para que exista cortocircuito virtual

Realimentación y cortocircuito virtual

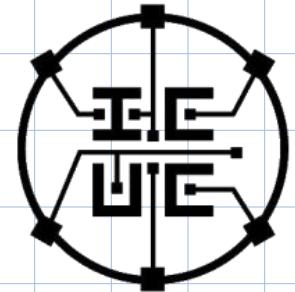


INTEGRATED CIRCUITS
UNIVERSIDAD CATÓLICA

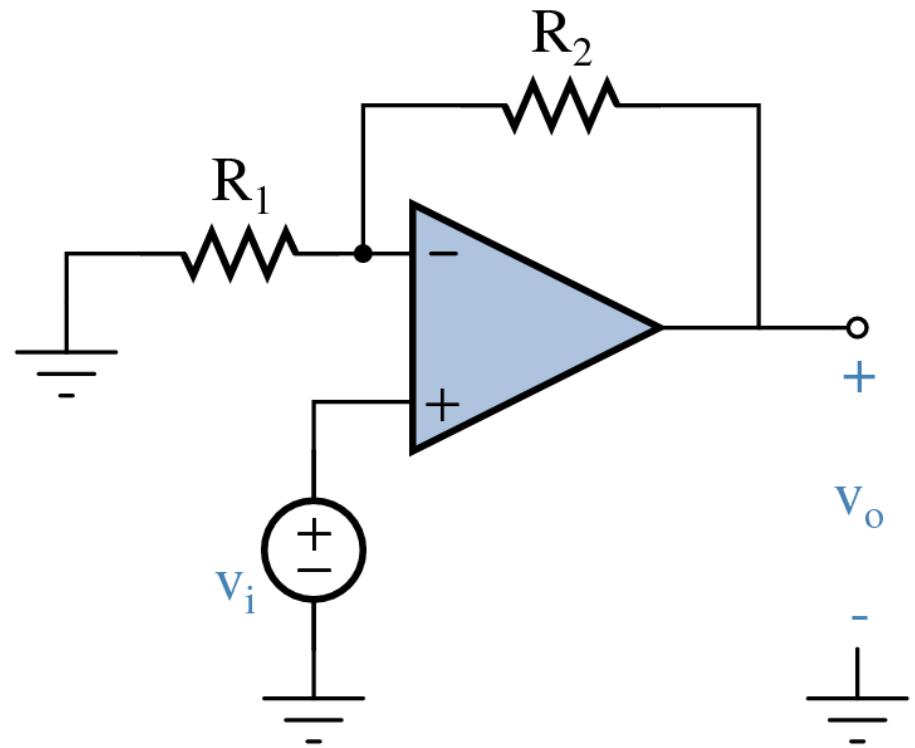
Es posible demostrar que la realimentación reduce la ganancia en un factor $1+A\beta$ respecto de su valor en lazo abierto A , aumenta el ancho de banda en la misma proporción, y altera de igual forma impedancias de nodo. Con algunas configuraciones no es tan evidente.

¿Realimentación y cortocircuito virtual?

Resolvamos para $R_2 = 20k$, $R_1 = 10k$, A arbitraria

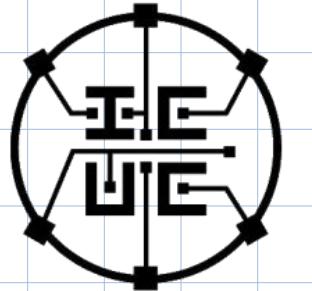


INTEGRATED CIRCUITS
UNIVERSIDAD CATÓLICA



Próximas cápsulas

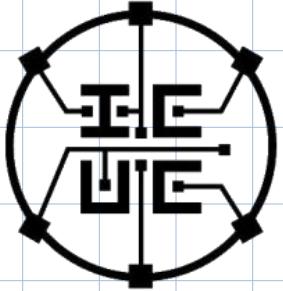
- Amplificador no inversor
 - Caso especial: seguidor de voltaje
- Amplificador inversor
- Amplificador sumador ponderado
- Amplificador diferencial
- Amplificador de instrumentación
- Fuentes dependientes
- Etc.



INTEGRATED CIRCUITS
UNIVERSIDAD CATÓLICA



2.03



INTEGRATED CIRCUITS
UNIVERSIDAD CATÓLICA

Amplificador no inversor y amplificador inversor

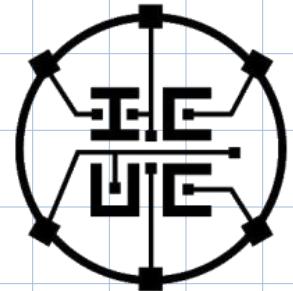
Dependencias:

- 2.02 Concepto de realimentación

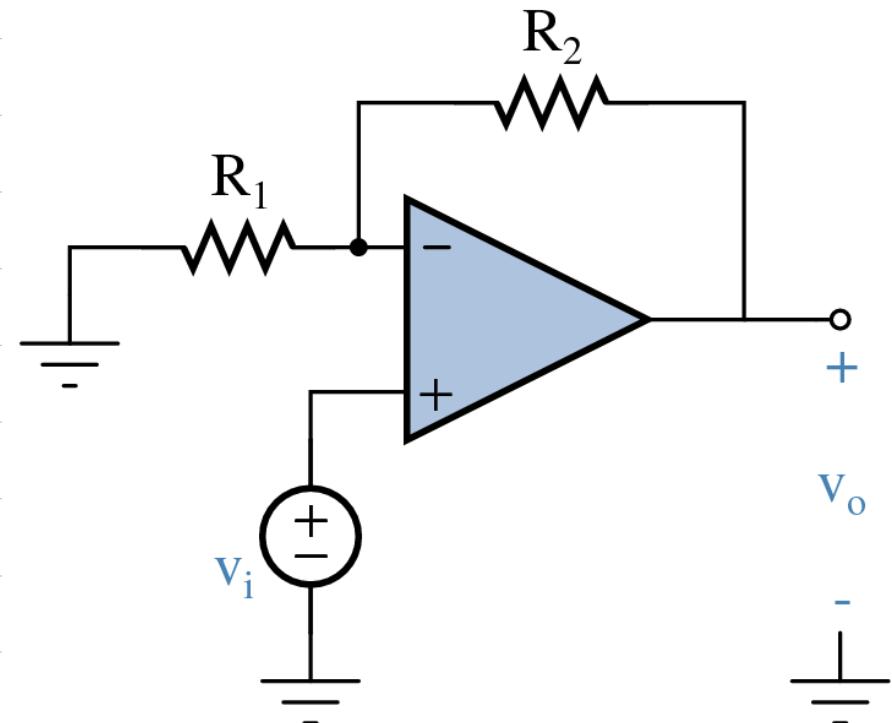
angel@uc.cl

Electrónica en cápsulas

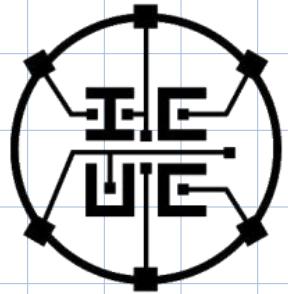
Amplificador no inversor ¡Otra vez!



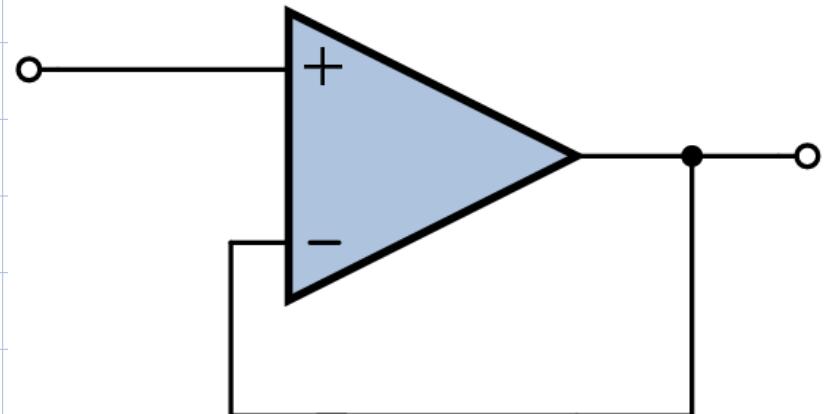
INTEGRATED CIRCUITS
UNIVERSIDAD CATÓLICA



Caso especial: seguidor de voltaje

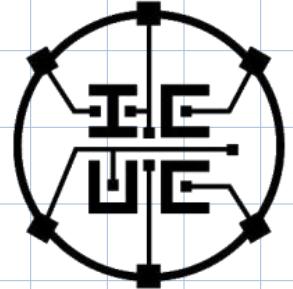


INTEGRATED CIRCUITS
UNIVERSIDAD CATÓLICA

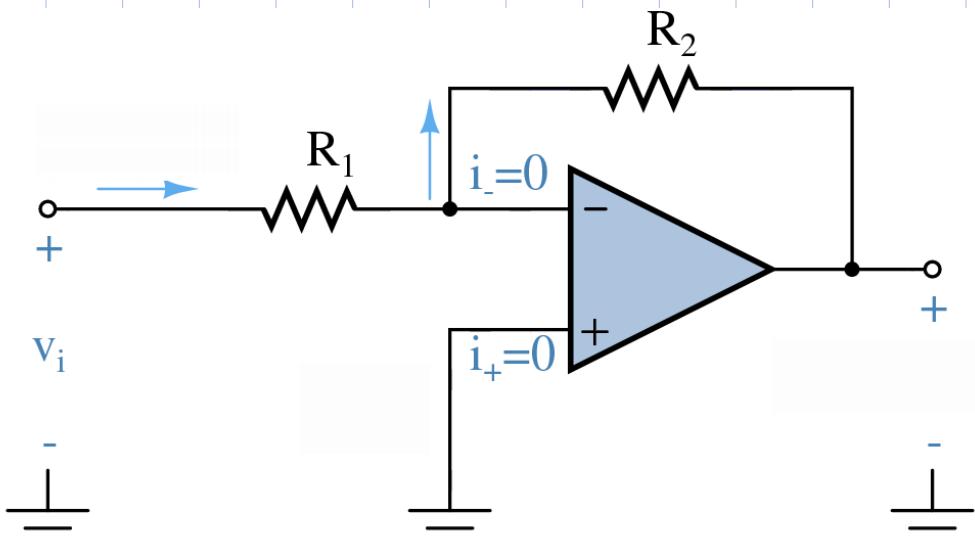


Ojo con la estabilidad – ver (2.12)

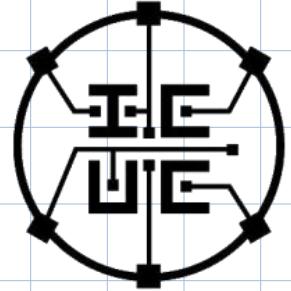
Amplificador inversor



¿Cuál es la impedancia del nodo de la entrada inversora?

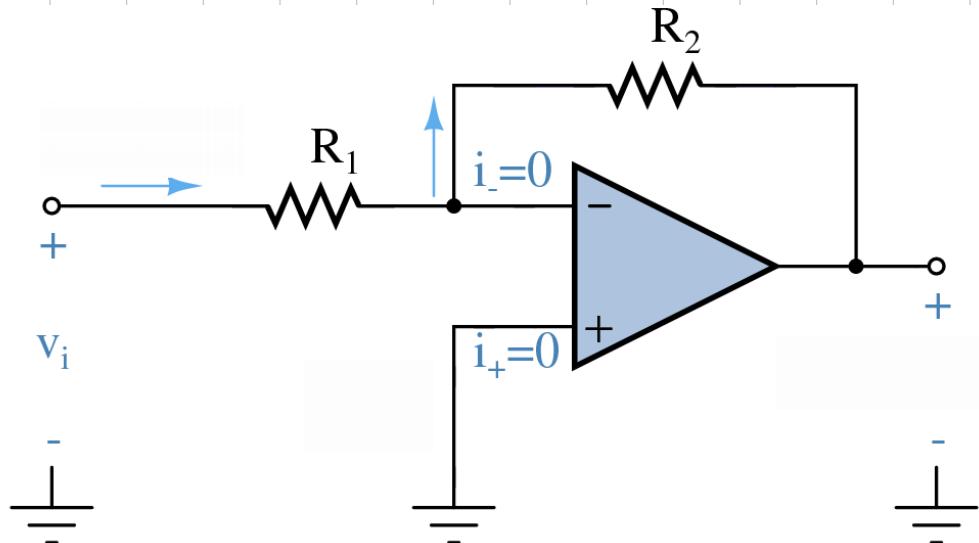


El nodo de la realimentación es un sumidero de corriente



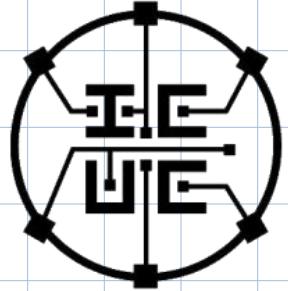
INTEGRATED CIRCUITS
UNIVERSIDAD CATÓLICA

Ahora hagamos un análisis
en dos partes:
 $V \rightarrow I$ y luego $I \rightarrow V$





2.04



INTEGRATED CIRCUITS
UNIVERSIDAD CATÓLICA

Sumador, restador et al

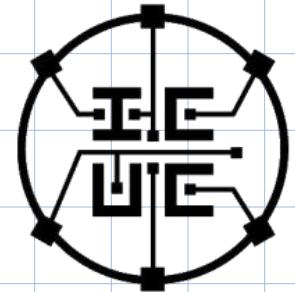
Dependencias:

- 2.03 Amplificador no inversor y amplificador inversor

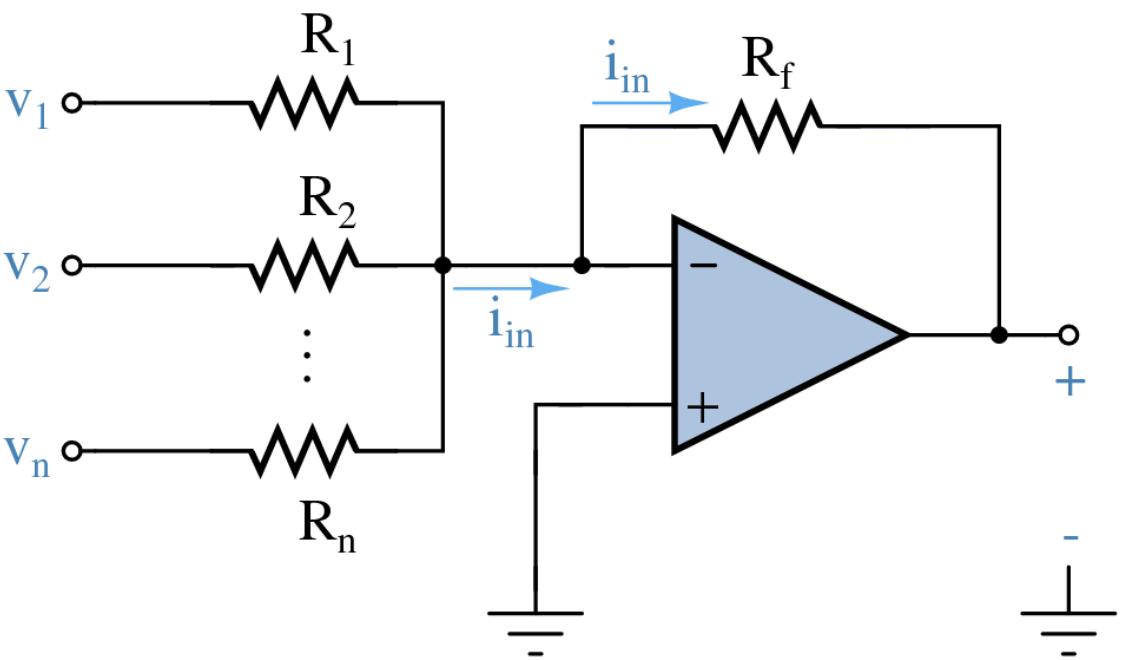
angel@uc.cl

Electrónica en cápsulas

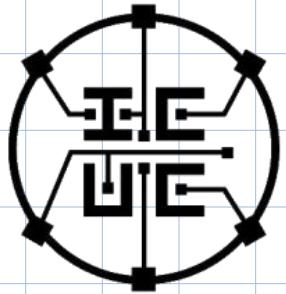
Sumador ponderado: suma corrientes en nodo de baja impedancia



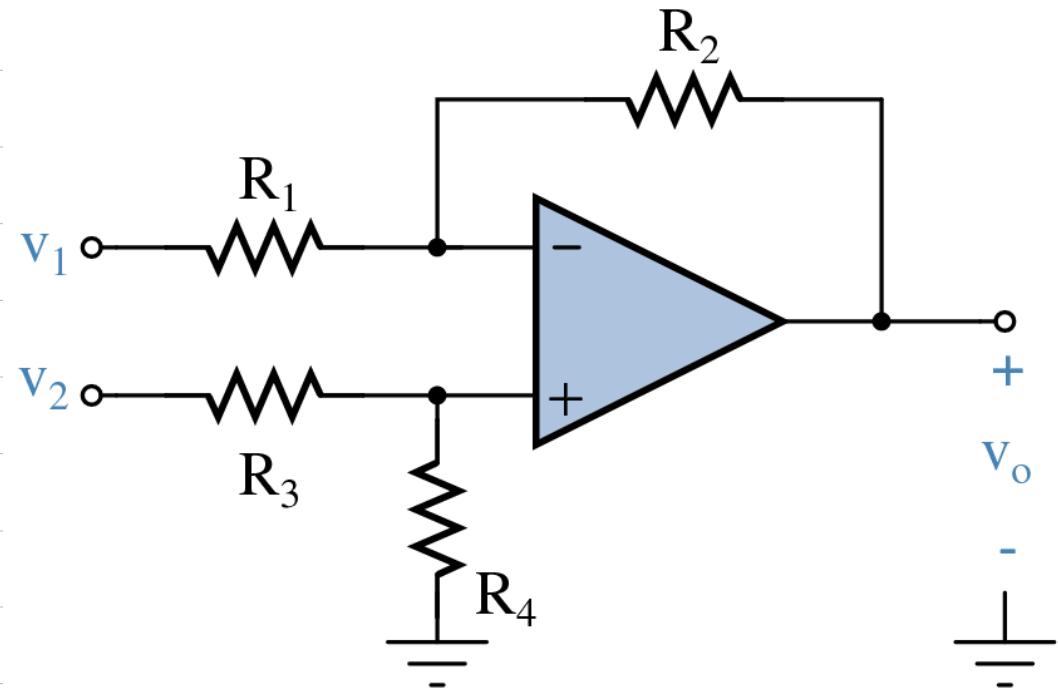
INTEGRATED CIRCUITS
UNIVERSIDAD CATÓLICA



Amplificador restador, superposición de amplificador inversor y no inversor

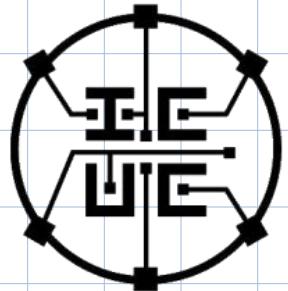


INTEGRATED CIRCUITS
UNIVERSIDAD CATÓLICA

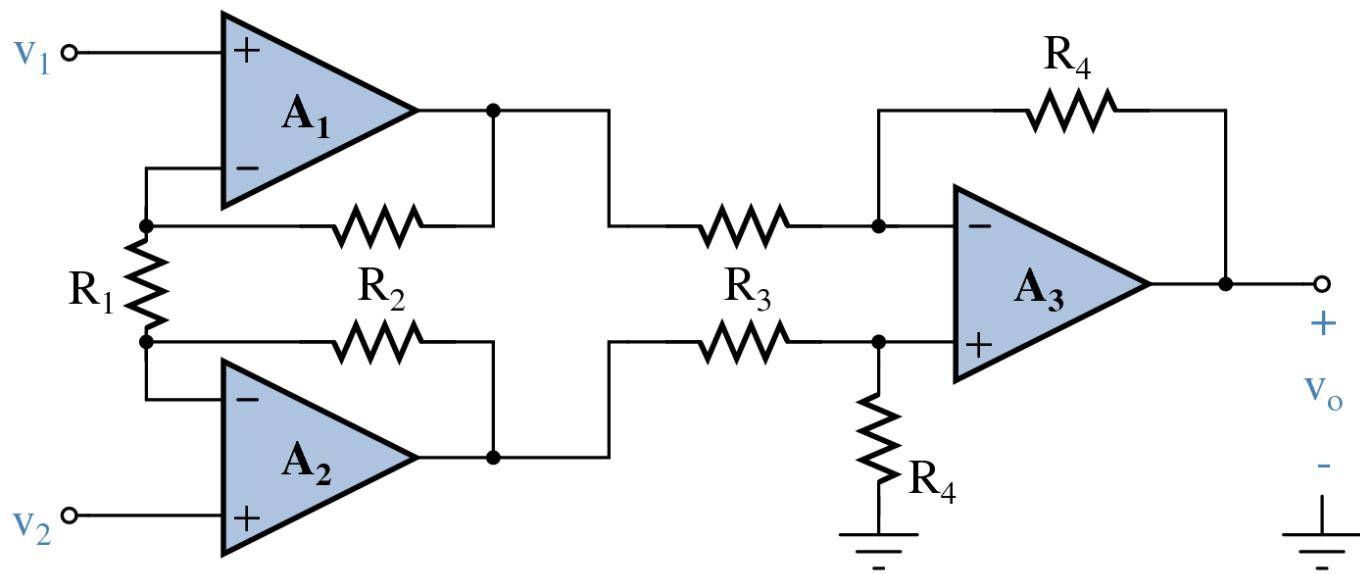


Amplificador de instrumentación

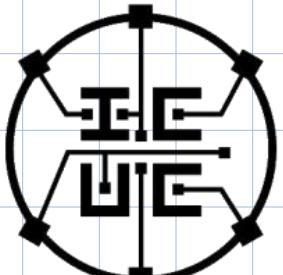
- Amplificador de entrada diferencial, salida referida a tierra
- Alta impedancia de entrada
- Ganancia ajustable
- Muy usado en instrumentos de medición



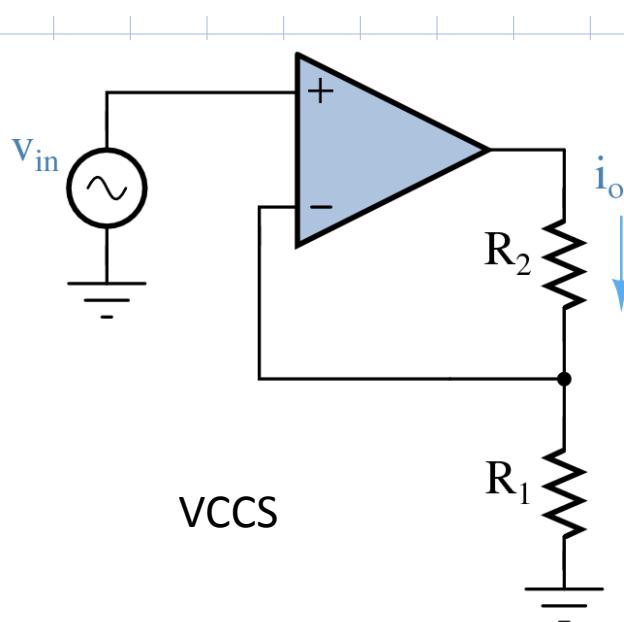
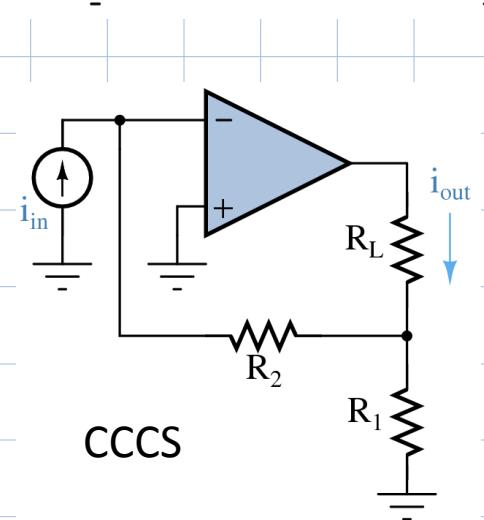
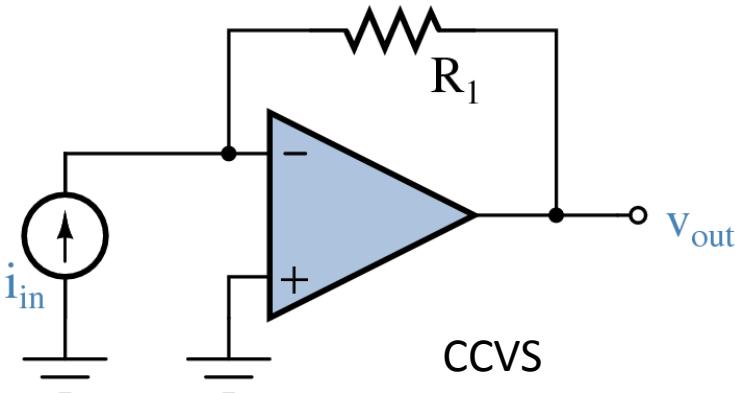
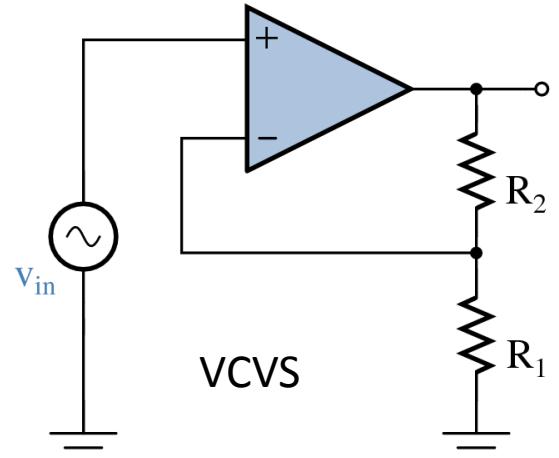
INTEGRATED CIRCUITS
UNIVERSIDAD CATÓLICA



Fuentes dependientes mediante opamps

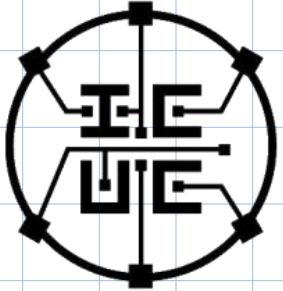


INTEGRATED CIRCUITS
UNIVERSIDAD CATÓLICA





2.05



INTEGRATED CIRCUITS
UNIVERSIDAD CATÓLICA

Integrador y diferenciador

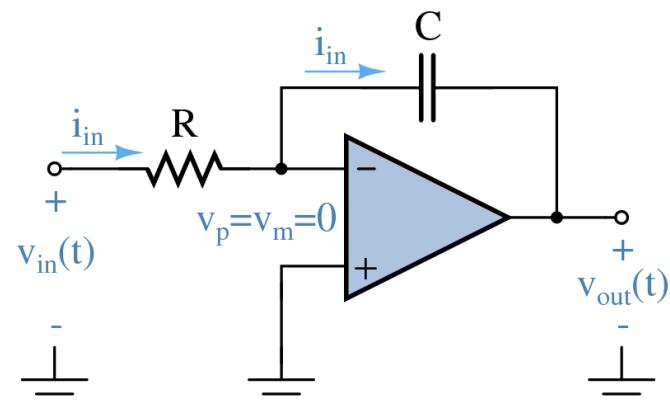
Dependencias:

- 2.03 Amplificador no inversor y amplificador inversor

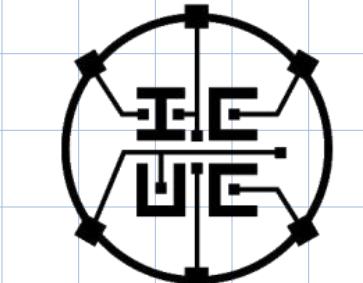
angel@uc.cl

Electrónica en cápsulas

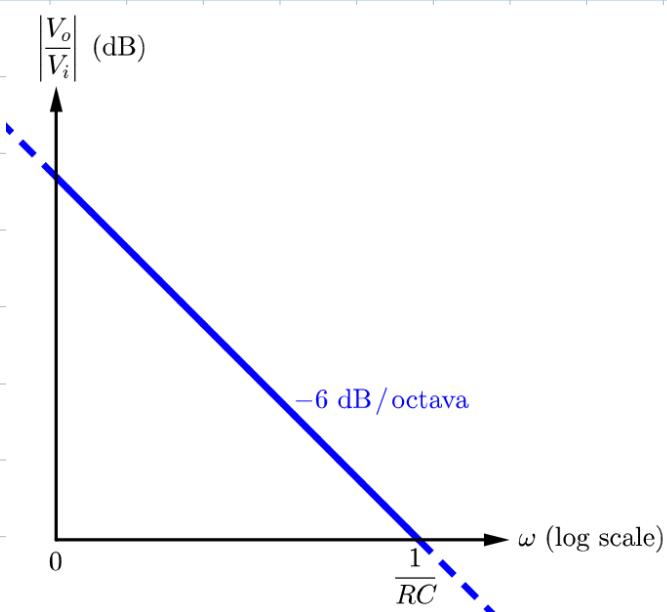
Amplificador integrador



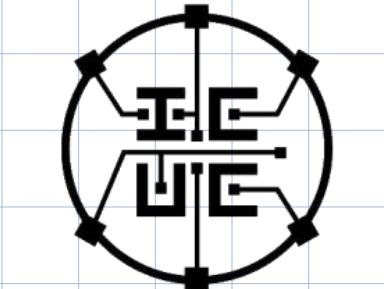
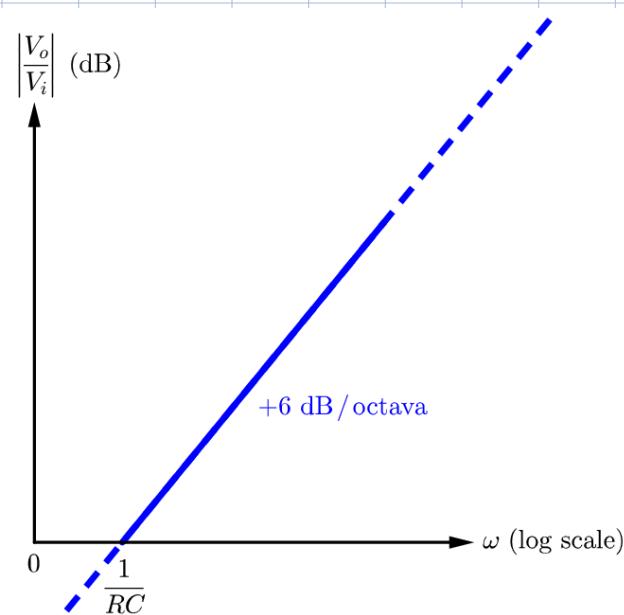
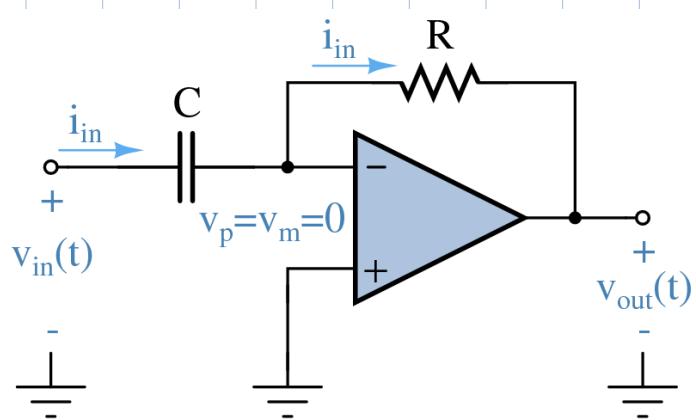
Integrador Miller o Integrador Inversor



INTEGRATED CIRCUITS
UNIVERSIDAD CATÓLICA



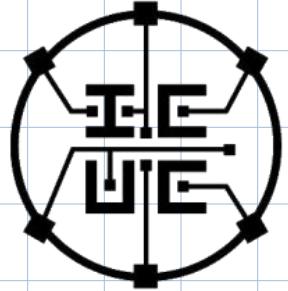
Amplificador diferenciador



INTEGRATED CIRCUITS
UNIVERSIDAD CATÓLICA



2.06



INTEGRATED CIRCUITS
UNIVERSIDAD CATÓLICA

Filtros activos

Dependencias:

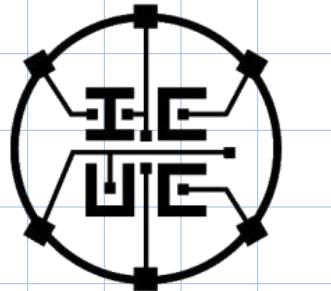
- 2.01 El opamp como elemento circuitual ideal
- 1.18 Diagramas de Bode: Introducción
- 1.19 Bode: orden 0
- 1.20 Bode: orden 1
- 1.21 Bode: orden 2

angel@uc.cl

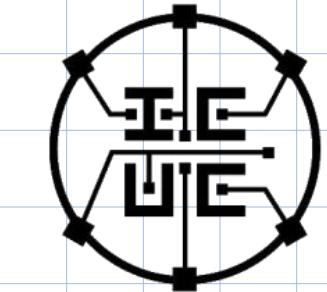
Electrónica en cápsulas

Intro

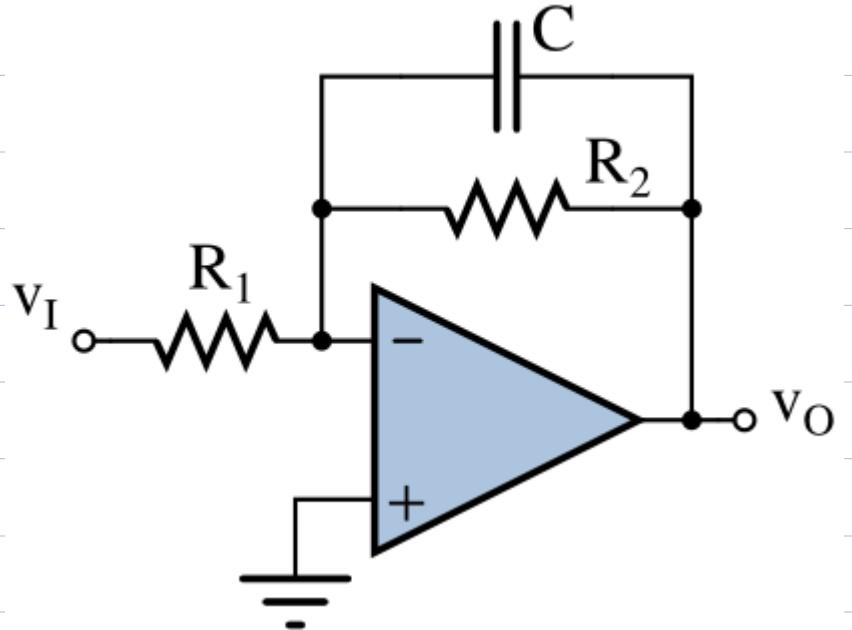
- Los filtros electrónicos son circuitos que alteran los componentes de frecuencias de una señal, atenuando algunos y realzando otros
- Existen filtros pasivos, como los pasabajos o pasaaltos que hemos visto, y existen filtros activos, más fáciles de diseñar pero que sufren de mayor ruido y consumo, y en general, menor desempeño
- Esta cápsula muestra de manera descriptiva algunas ideas de filtros activos **de voltaje**, que pueden ser implementados mediante opamps
- Esta cápsula no es una cátedra de filtros



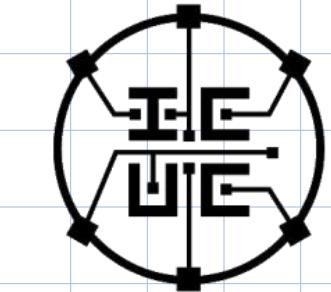
Filtro pasabajos



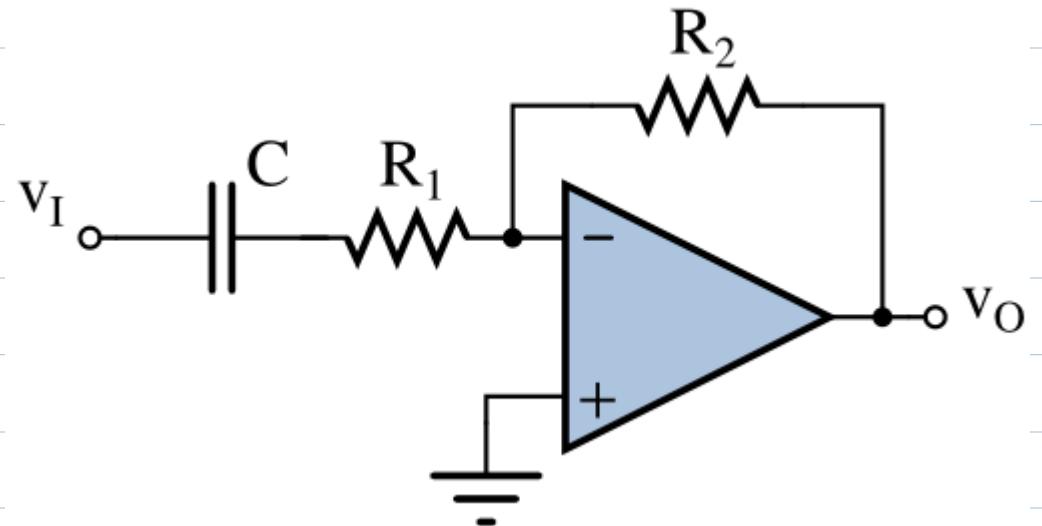
INTEGRATED CIRCUITS
UNIVERSIDAD CATÓLICA



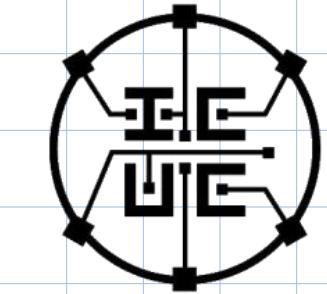
Filtro pasaaltos



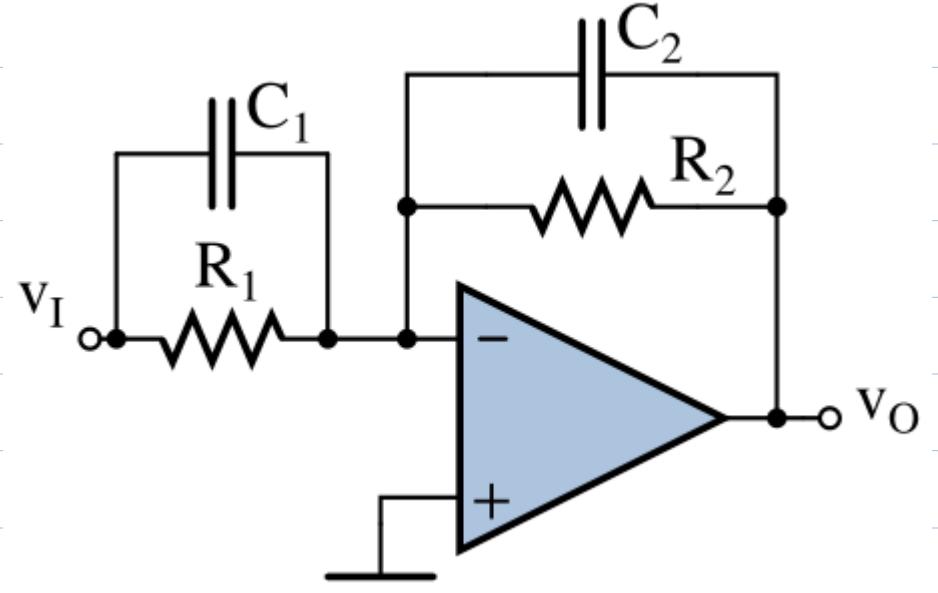
INTEGRATED CIRCUITS
UNIVERSIDAD CATÓLICA



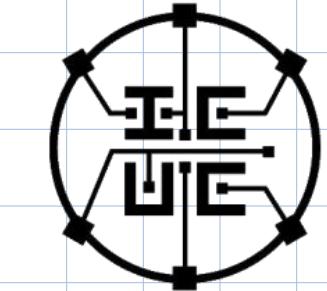
Filtro de un polo y un cero



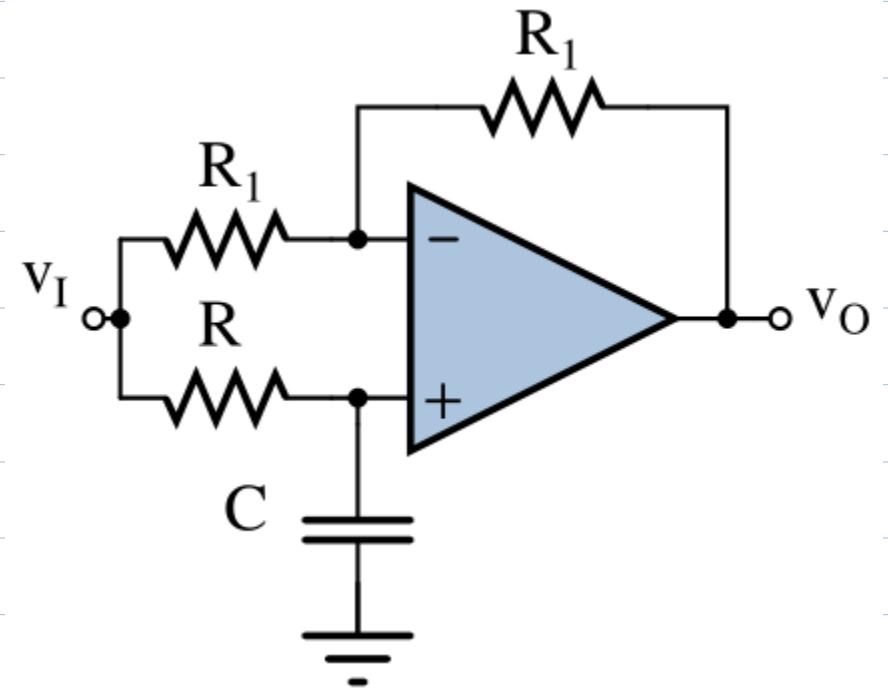
INTEGRATED CIRCUITS
UNIVERSIDAD CATÓLICA



Filtro pasatodo

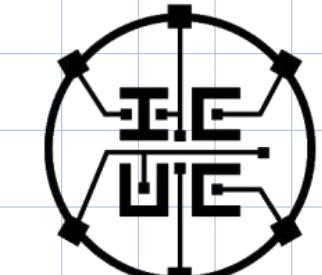


INTEGRATED CIRCUITS
UNIVERSIDAD CATÓLICA

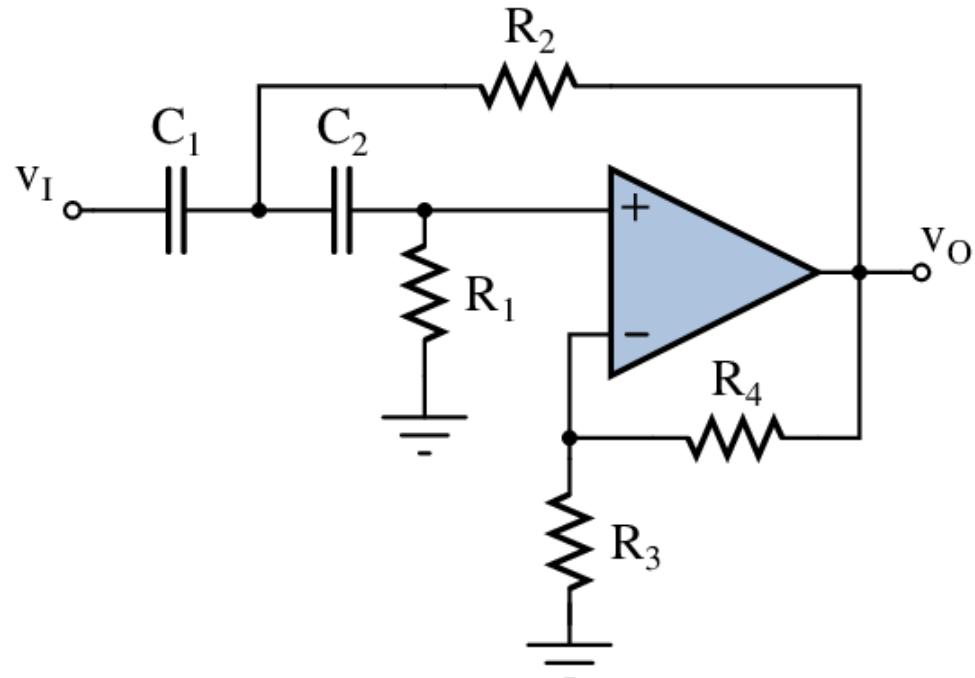


Filtro con topología Sallen-Key

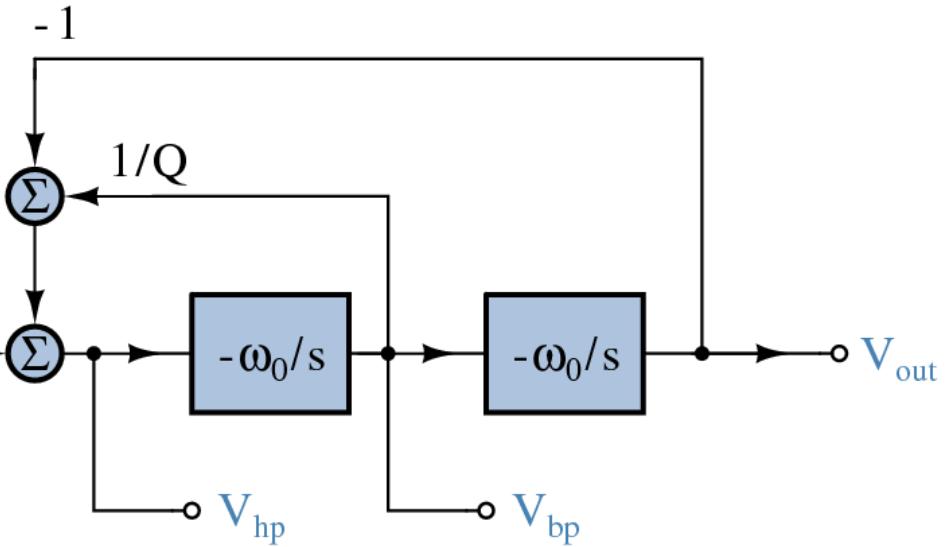
En general R1, R2, C1 y C2 son impedancias



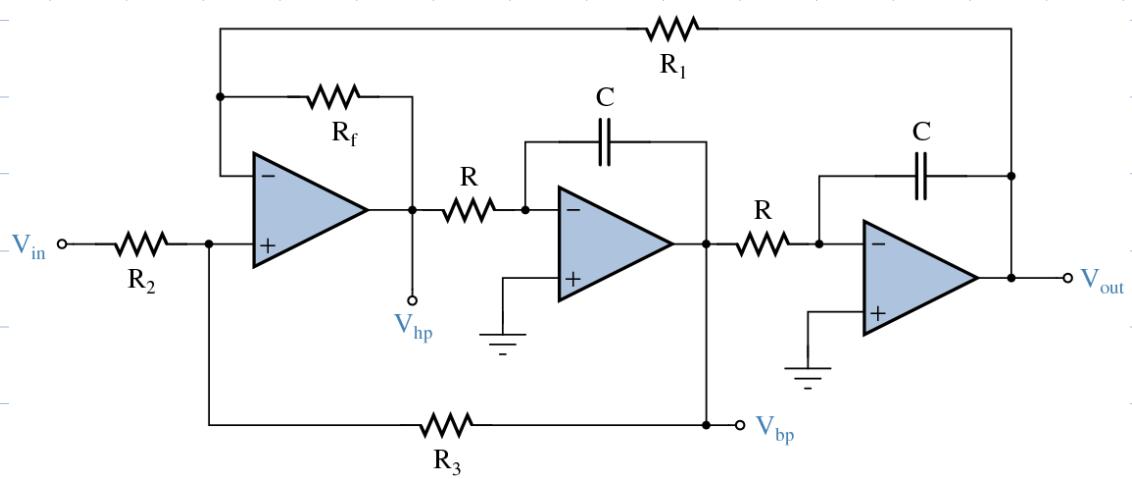
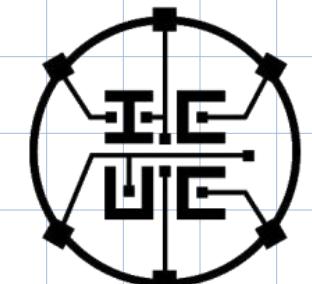
INTEGRATED CIRCUITS
UNIVERSIDAD CATÓLICA



Filtro biquad KHN

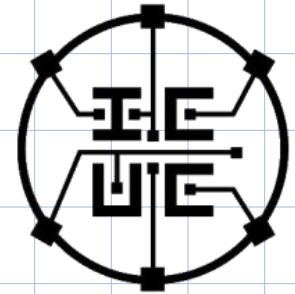


¿De qué orden es este filtro?





2.07



INTEGRATED CIRCUITS
UNIVERSIDAD CATÓLICA

DAC

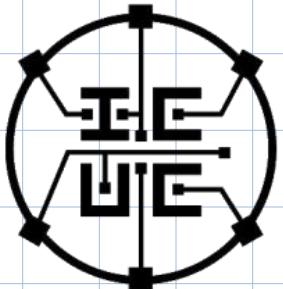
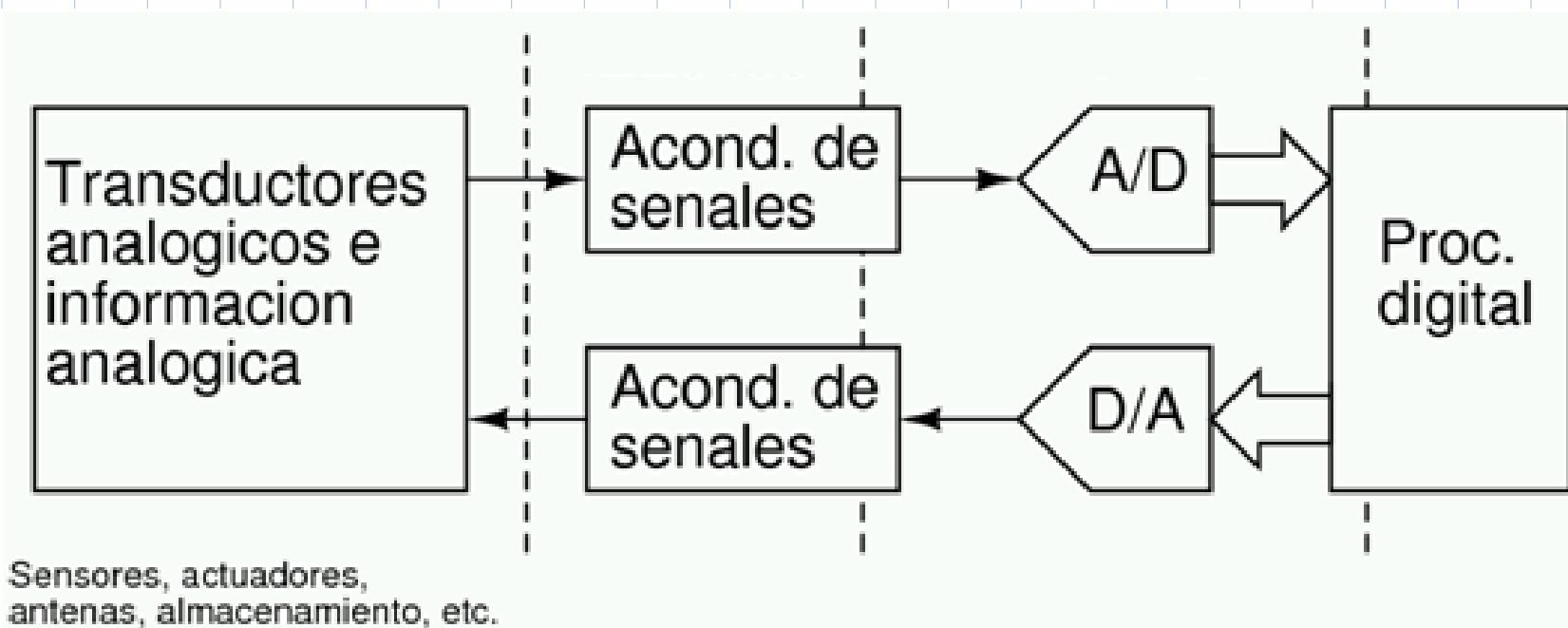
Dependencias:

- 2.04 Sumador, restador et al

angel@uc.cl

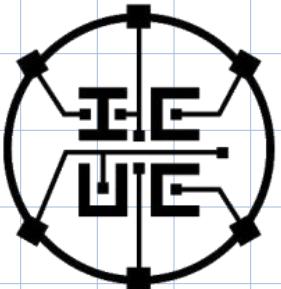
Electrónica en cápsulas

Procesamiento digital en un mundo analógico

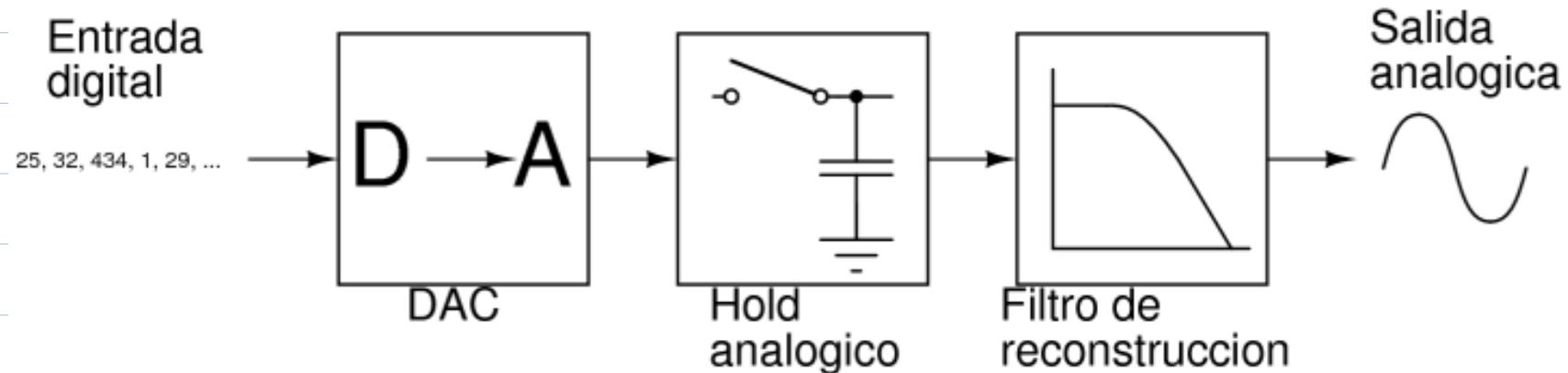
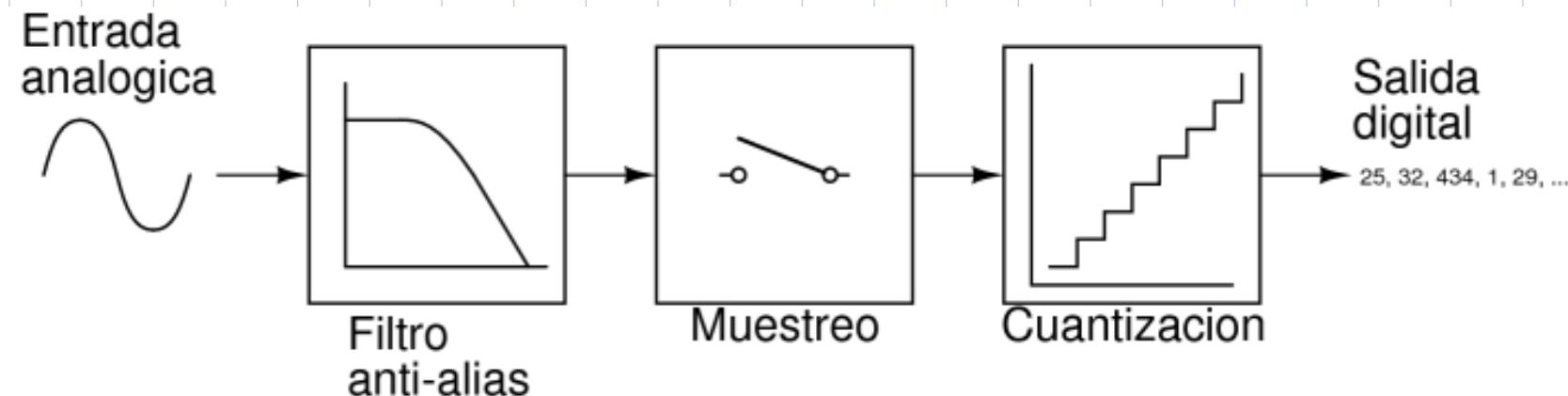


INTEGRATED CIRCUITS
UNIVERSIDAD CATÓLICA

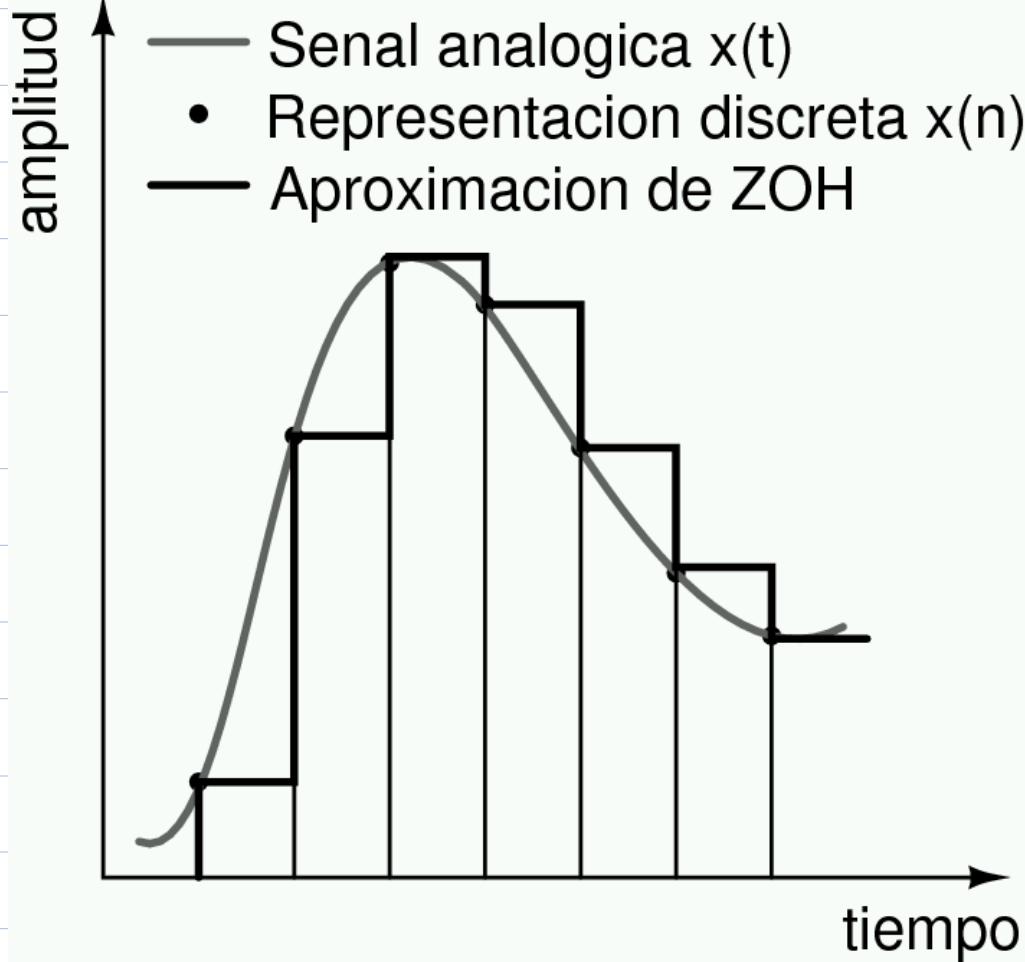
Conversores de datos – motivación



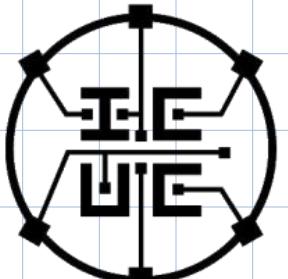
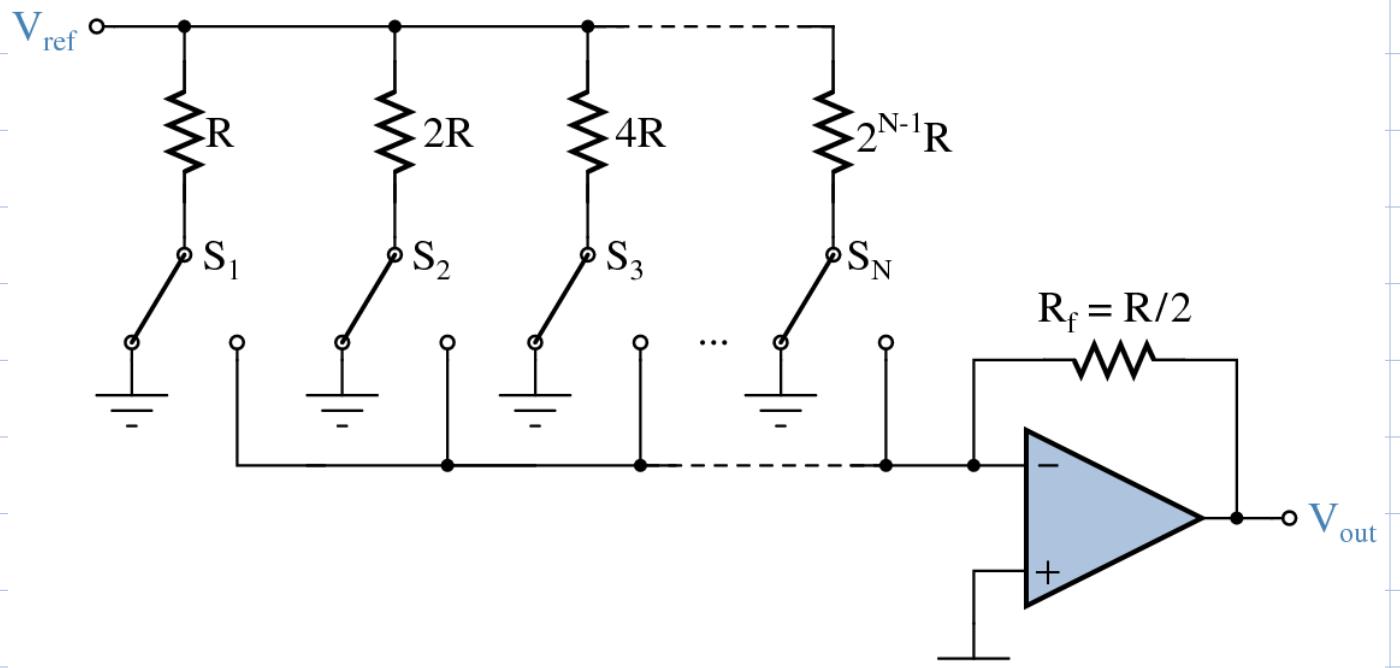
INTEGRATED CIRCUITS
UNIVERSIDAD CATÓLICA



DAC – conversor análogo-digital



Ejemplo: DAC de escalera binaria

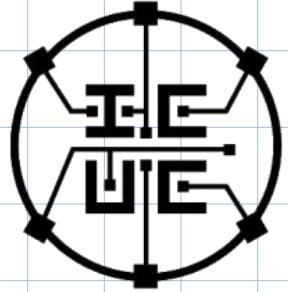


INTEGRATED CIRCUITS
UNIVERSIDAD CATÓLICA

Existen muchos tipos de DACs: termómetro o binarios, de voltaje, corriente o carga, etc.



2.08



INTEGRATED CIRCUITS
UNIVERSIDAD CATÓLICA

Opamp real: ABW finito

Dependencias:

- 2.02 Concepto de realimentación

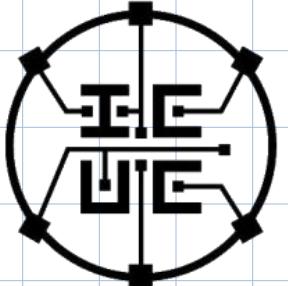
angel@uc.cl

Electrónica en cápsulas

Op-amps reales

Características no ideales típicas

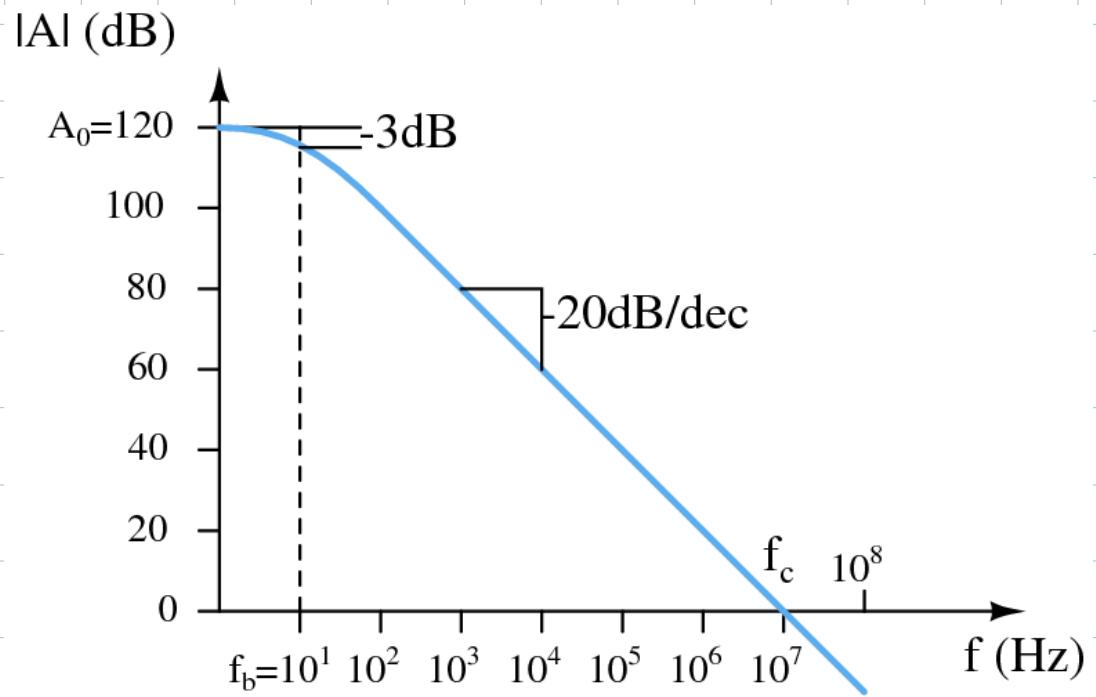
- Producto ganancia-ancho de banda finito
- Slew rate (SR)
- Saturación
- Voltaje de desnivel de entrada (offset)
- Corrientes de polarización de entrada
- Operación con fuente unipolar
- Operación como buffer



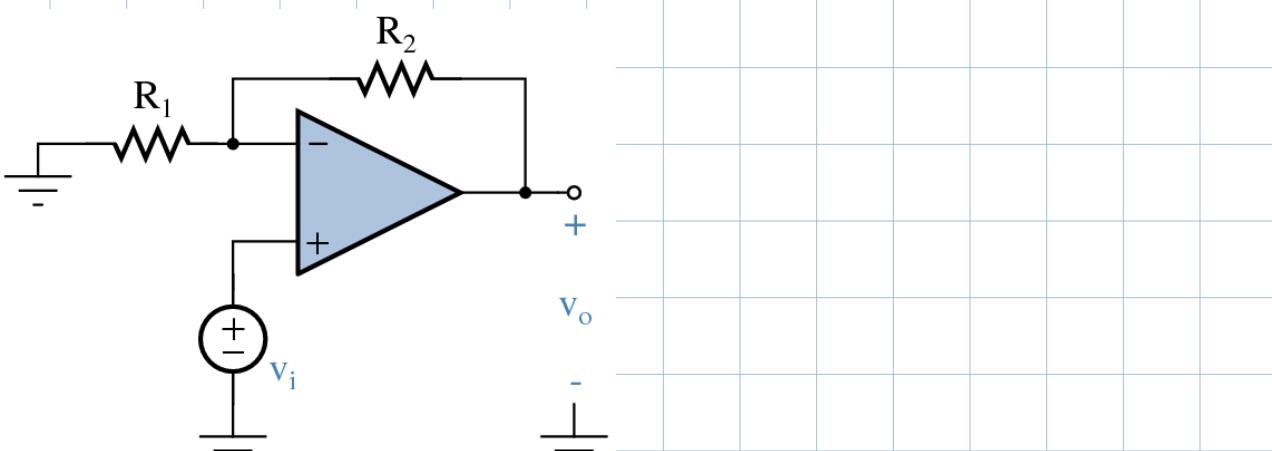
INTEGRATED CIRCUITS
UNIVERSIDAD CATÓLICA

Producto ganancia-ancho de banda

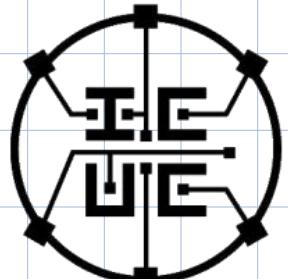
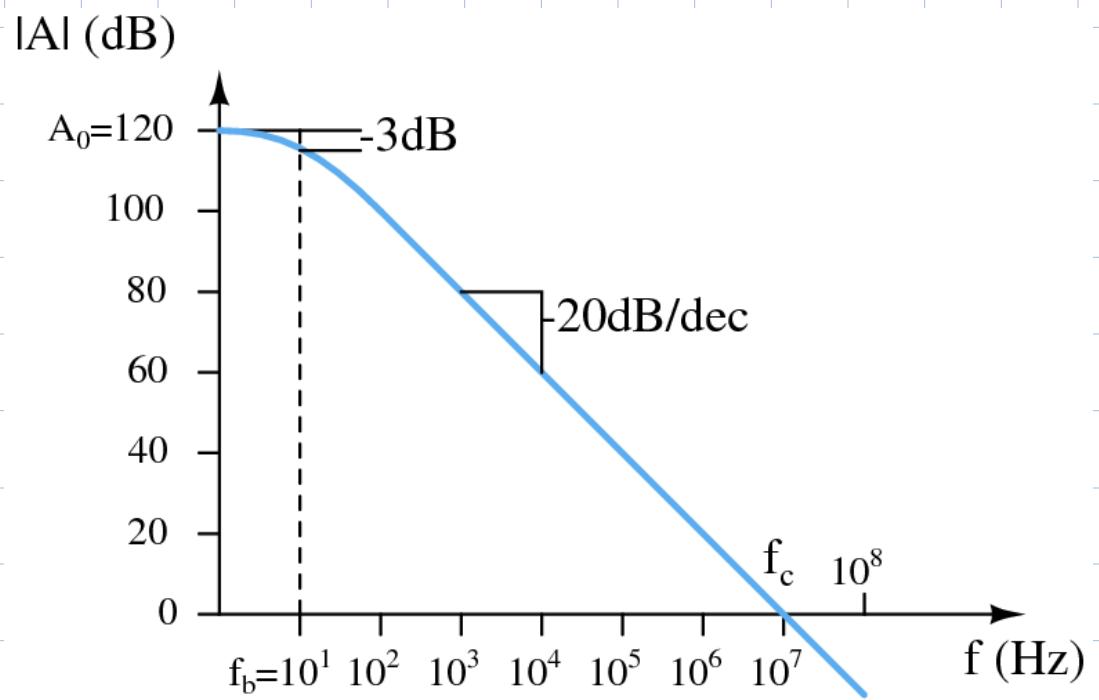
- En lazo abierto, un opamp está diseñado para actuar como un circuito con un solo polo
- Así como la ganancia en lazo abierto es absurdamente grande, su ancho de banda es pequeño
- Como cifra de desempeño, es más importante el **producto entre la ganancia y el ancho de banda**



$A \cdot BW$ en lazo cerrado

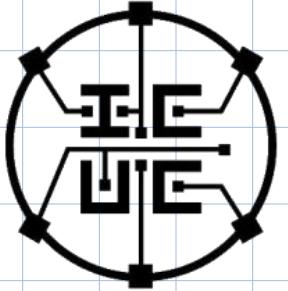


En lazo cerrado el producto $A \cdot BW$ es constante. Esto es evidente en varias configuraciones, mientras que en otras resulta más sutil.





2.09



INTEGRATED CIRCUITS
UNIVERSIDAD CATÓLICA

Opamp real: offset

Dependencias:

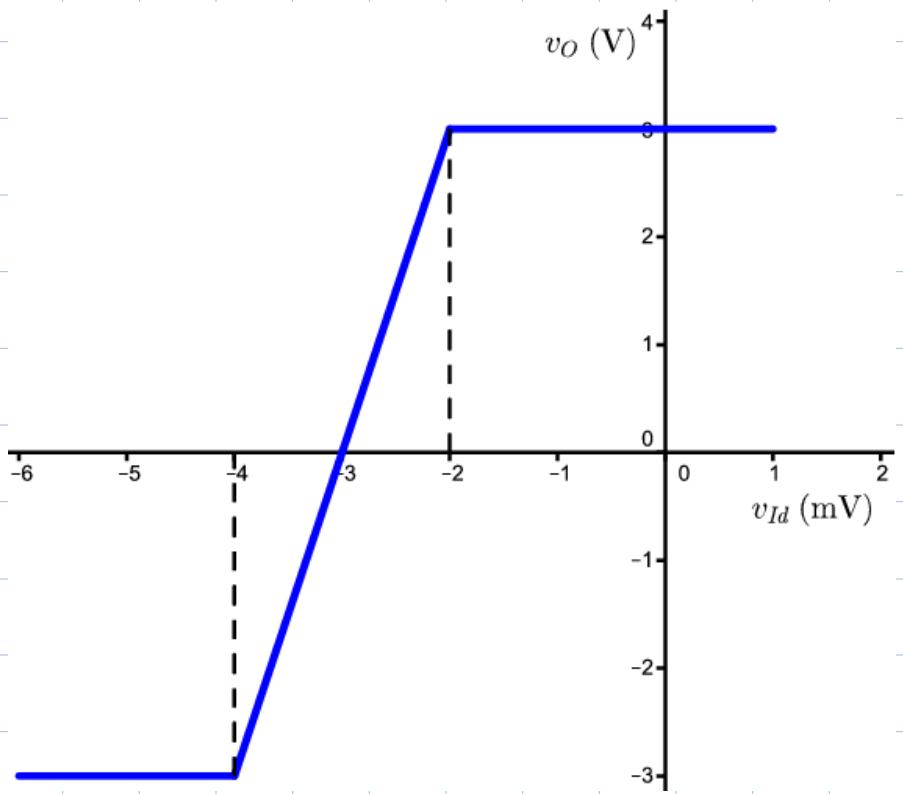
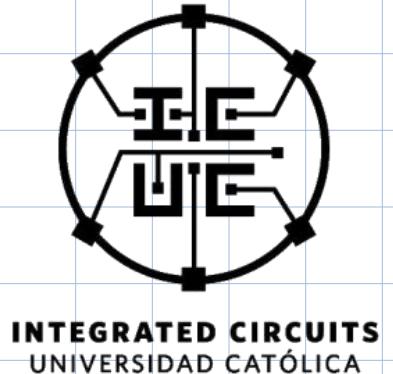
- 2.01 El opamp como elemento circuitual ideal

angel@uc.cl

Electrónica en cápsulas

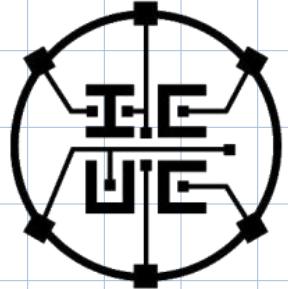
Concepto de offset o desnivel

- Idealmente y en ausencia de realimentación, **cuando la entrada diferencial del opamp es nula, la salida también debiera ser nula**
 - Pero no siempre es así debido a causas sistemáticas (diseño) o causas aleatorias (fabricación)
- El offset afecta la exactitud del opamp en realimentación
- El offset referido a la entrada es el voltaje que tengo que poner en la entrada del opamp en lazo abierto, para que su salida sea 0V

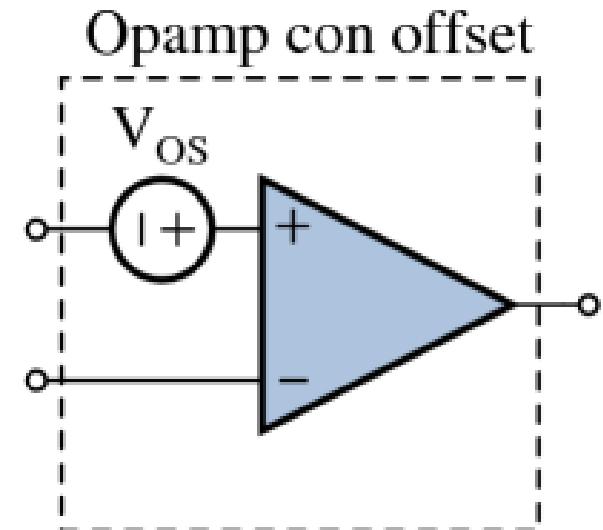


Modelamiento del offset

- El offset de voltaje puede ser modelado como una fuente de voltaje en serie con alguna de las entradas
 - No importa cuál; tampoco importa el signo
- En la práctica, el offset es una **variable aleatoria** que además depende de la temperatura, del modo común de entrada, y de otras variables
- ¿Cómo nos afecta el offset? Ejemplo

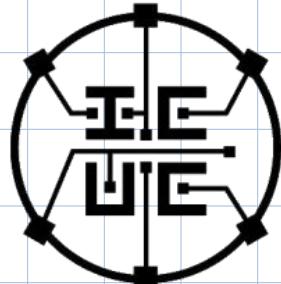


INTEGRATED CIRCUITS
UNIVERSIDAD CATÓLICA

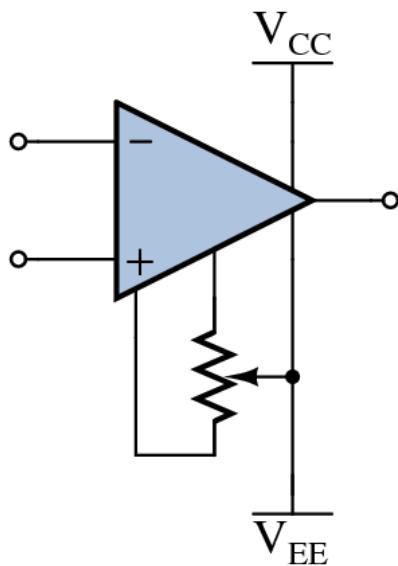


Anulación del offset

Existen opamps que permiten **anular el offset** (offset null) mediante el ajuste de un potenciómetro externo

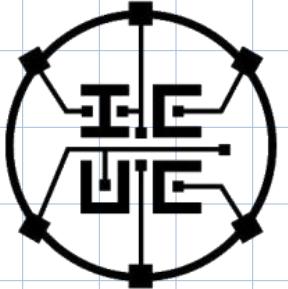


INTEGRATED CIRCUITS
UNIVERSIDAD CATÓLICA

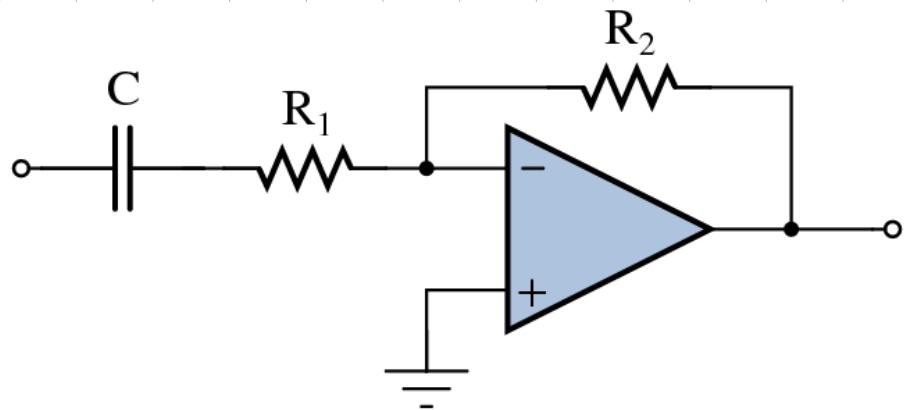


¿Más técnicas de anulación de offset?

- Existen varias técnicas de reducción o anulación de offset: chopper, autozero, acoplamiento ac
- Esta última suele ser efectiva pero no permite amplificar señales dc

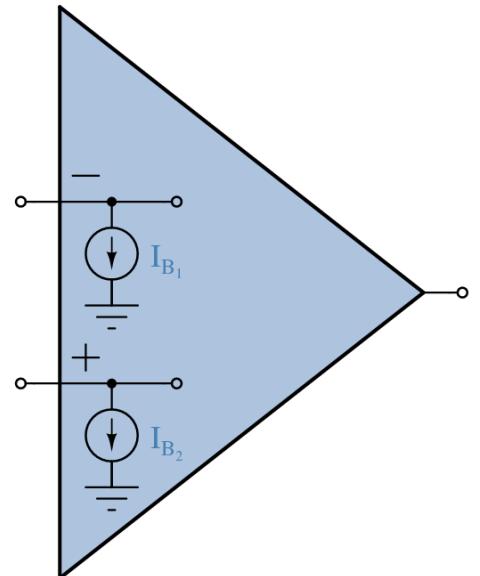
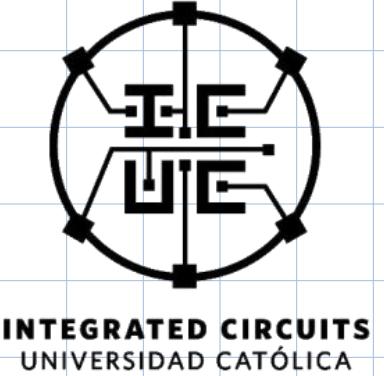


INTEGRATED CIRCUITS
UNIVERSIDAD CATÓLICA



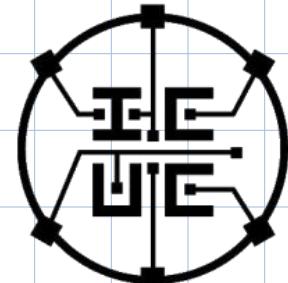
También existe el offset de corriente

- Algunos opamps tienen corriente no despreciable en sus entradas
- Cuando esas corrientes son diferentes, aparece un offset debido a esa disparidad

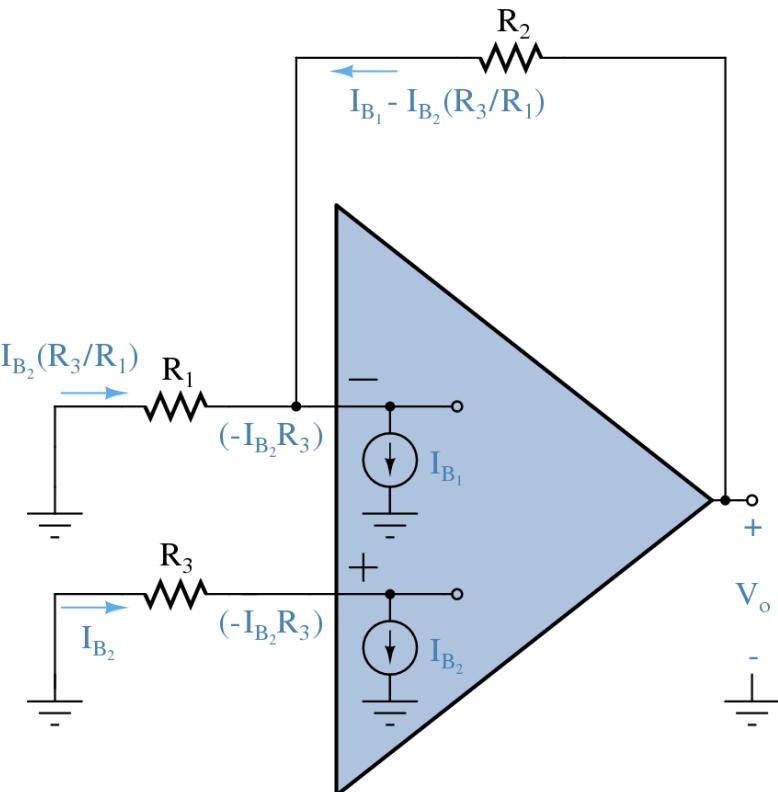


Reducción del offset de corriente

En ciertas configuraciones de opamp, es posible reducir el efecto del offset de corriente mediante un resistor a tierra

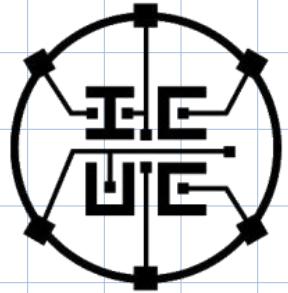


INTEGRATED CIRCUITS
UNIVERSIDAD CATÓLICA





2.10



INTEGRATED CIRCUITS
UNIVERSIDAD CATÓLICA

Opamp real: slew rate

Dependencias:

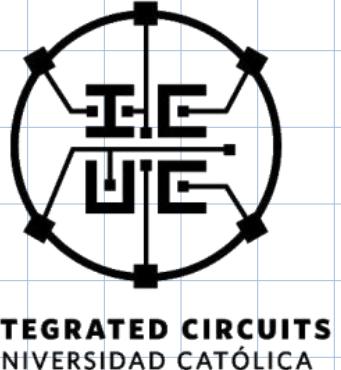
angel@uc.cl

Electrónica en cápsulas

¿Qué significa slew rate?

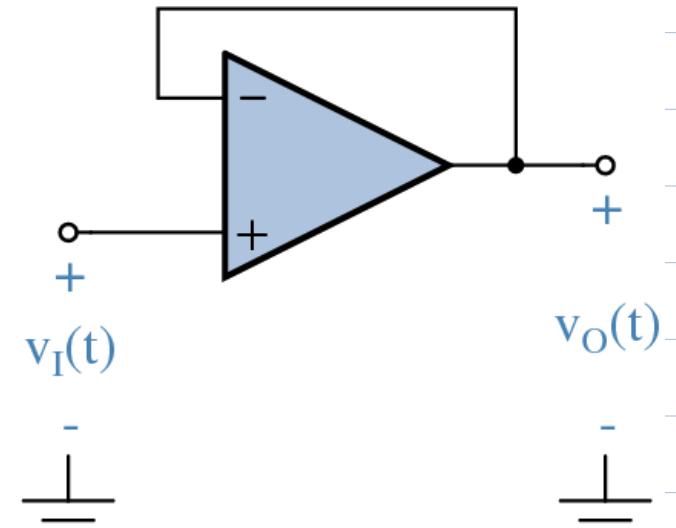
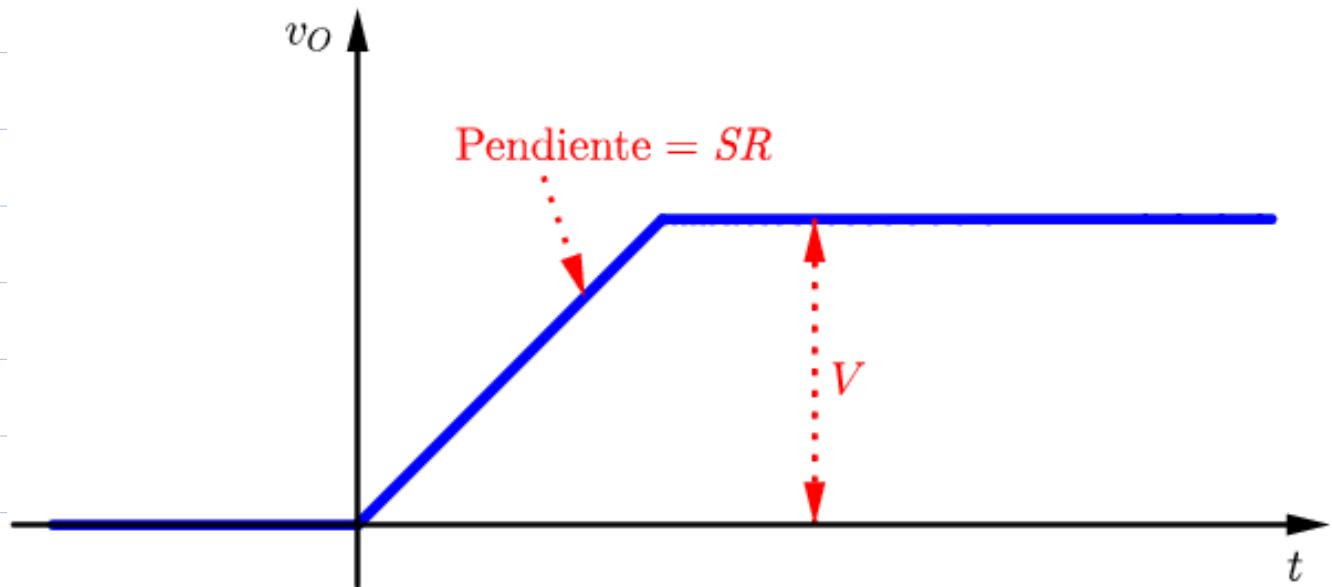
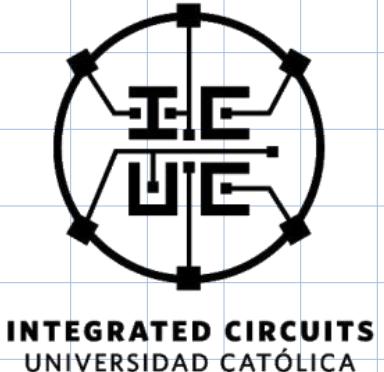
- Sucede que los opamps no pueden cambiar su voltaje de salida instantáneamente
- De hecho, existe una tasa máxima a la que el voltaje de salida puede cambiar, limitada por el diseño interno del opamp
- Entonces el slew rate SR es la máxima tasa de variación de voltaje de salida en un tiempo determinado

$$SR = \max \left(\frac{dv_O}{dt} \right)$$



Peor caso para slew rate: opamp conectado como buffer

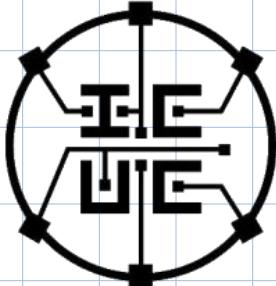
Ante un escalón en la entrada, la salida entra en régimen de slewing



Durante el régimen de slewing, ¿tenemos cortocircuito virtual en las entradas del opamp?

¿Por qué se produce slewing?

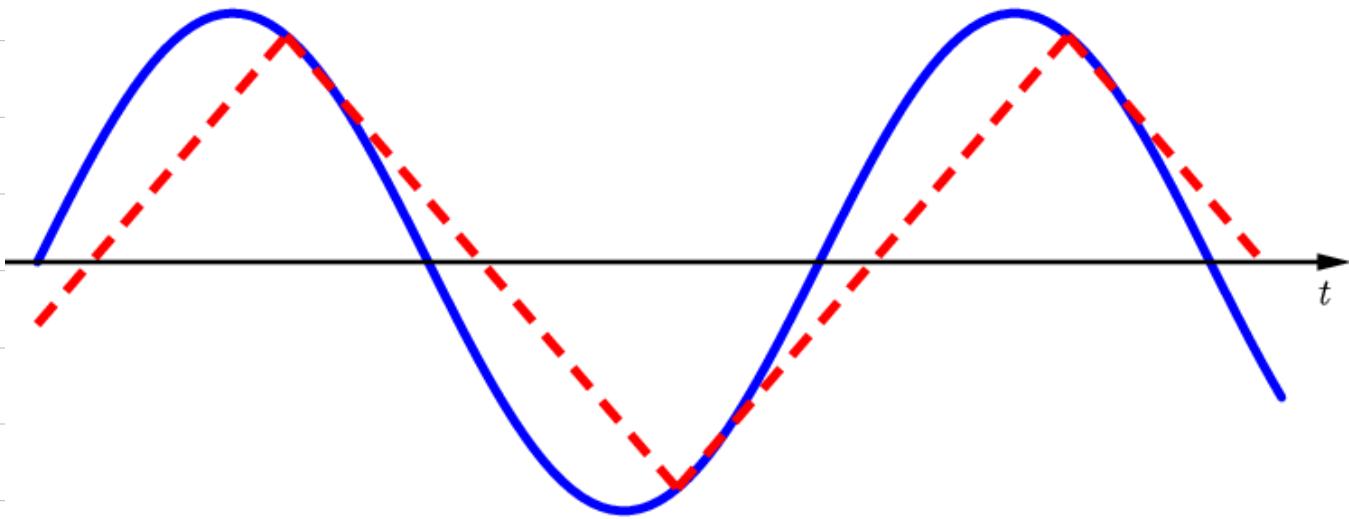
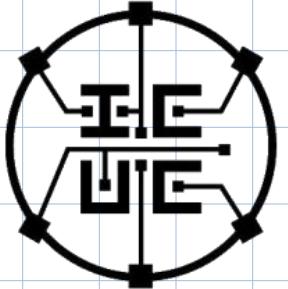
- Internamente el opamp tiene fuentes de corriente dependientes, cuyo valor máximo está limitado por otra fuente de corriente
- Internamente, esas fuentes de corriente cambian el voltaje de un nodo de alta impedancia que además tiene una capacitancia shunt asociada
- ¿Cómo cambia el voltaje de un capacitor con corriente constante?



INTEGRATED CIRCUITS
UNIVERSIDAD CATÓLICA

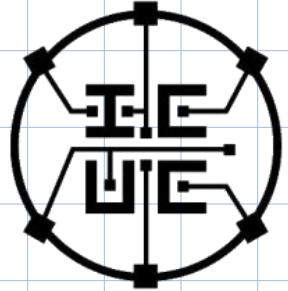
Consecuencias del slewing

- Durante slewing
 - La realimentación negativa no es capaz de mantener el cortocircuito virtual en las entradas
 - El opamp se comporta de manera no lineal





2.11



INTEGRATED CIRCUITS
UNIVERSIDAD CATÓLICA

Opamp real: alimentación bipolar y saturación

Dependencias:

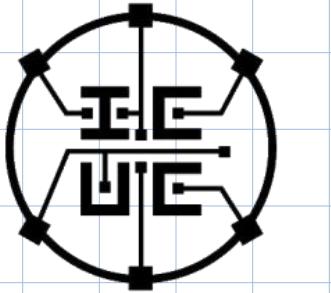
- 2.01 El opamp como elemento circuital ideal

angel@uc.cl

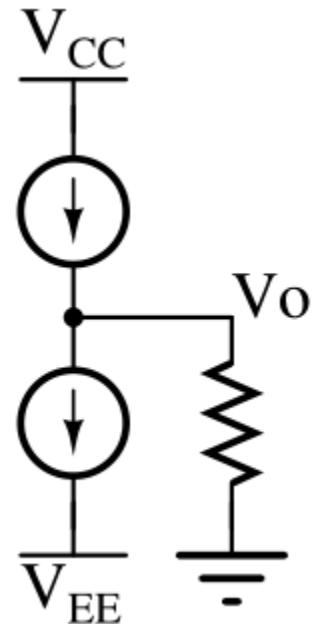
Electrónica en cápsulas

Etapa de salida del opamp

- En la etapa de salida, el opamp tiene fuentes de corriente controladas, colgadas de los rieles de alimentación, que inyectan corriente en el nodo de salida
- Esas fuentes de corriente no son capaces de inyectar corriente en el nodo de salida cuando su voltaje se acerca al riel correspondiente
- Consecuencia: la salida de un opamp queda restringida a los rieles de alimentación, y generalmente, a ~ 1 V de los rieles
 - La **excursión de salida** (output swing) queda limitada a la diferencia de voltaje de los rieles

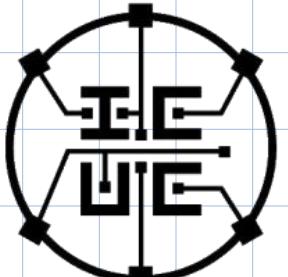


INTEGRATED CIRCUITS
UNIVERSIDAD CATÓLICA

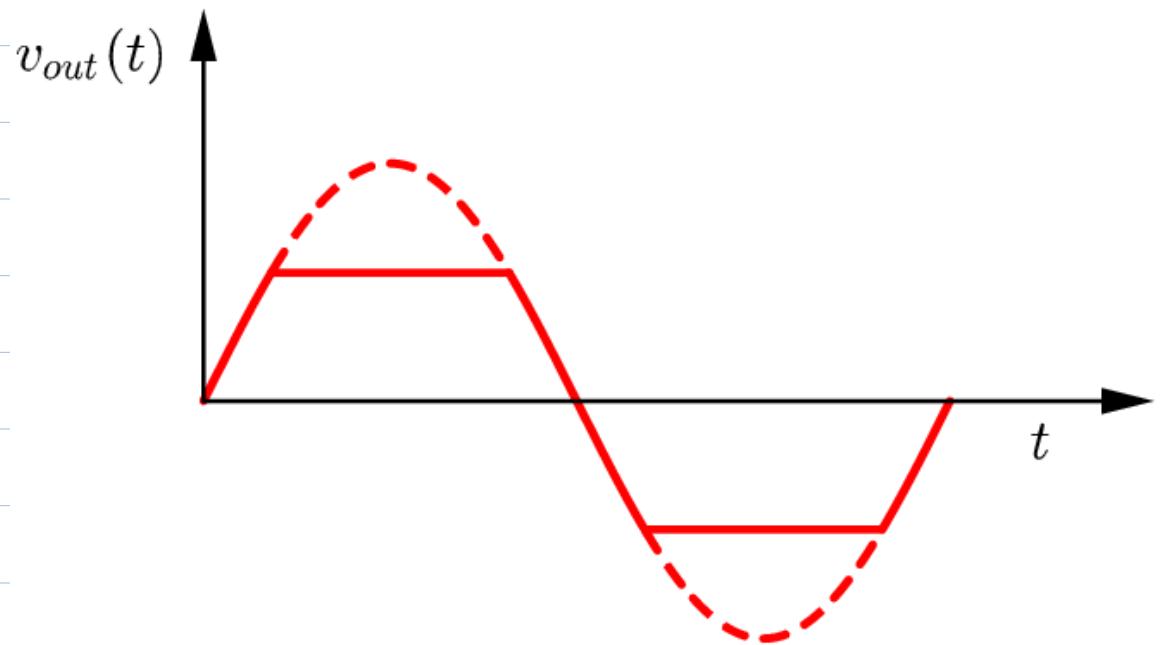


Saturación de la salida

Decimos que la salida satura en los rieles cuando queda limitada por éstos



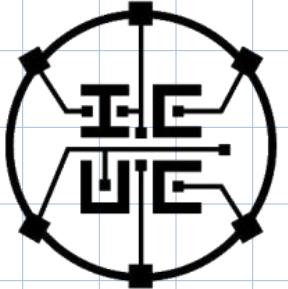
INTEGRATED CIRCUITS
UNIVERSIDAD CATÓLICA



Cuando la salida de un opamp satura en los rieles, ¿todavía tenemos cortocircuito virtual en las entradas?

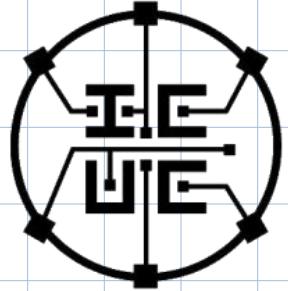
Otras especificaciones de los opamps

- Voltaje de entrada de modo común
 - ¿Cuánto varía el modo común en las diferentes configuraciones?
 - ¿Por qué es mejor usar configuración inversora cada vez que sea posible?
- Excusión de salida
- Capacitancia de entrada
- CMRR
- Sensibilidad a voltaje de alimentación (PSRR)
- Resistencia de salida
- Corriente de salida de cortocircuito
- Temperatura de operación
- etc...





2.12



INTEGRATED CIRCUITS
UNIVERSIDAD CATÓLICA

Opamp real: alimentación unipolar

Dependencias:

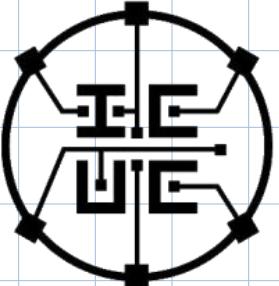
- 2.11 Opamp real: alimentación bipolar y saturación

angel@uc.cl

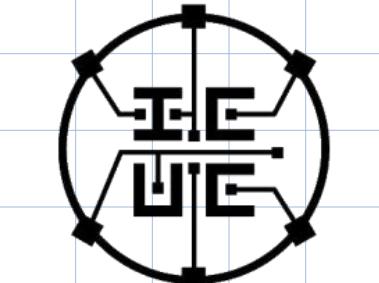
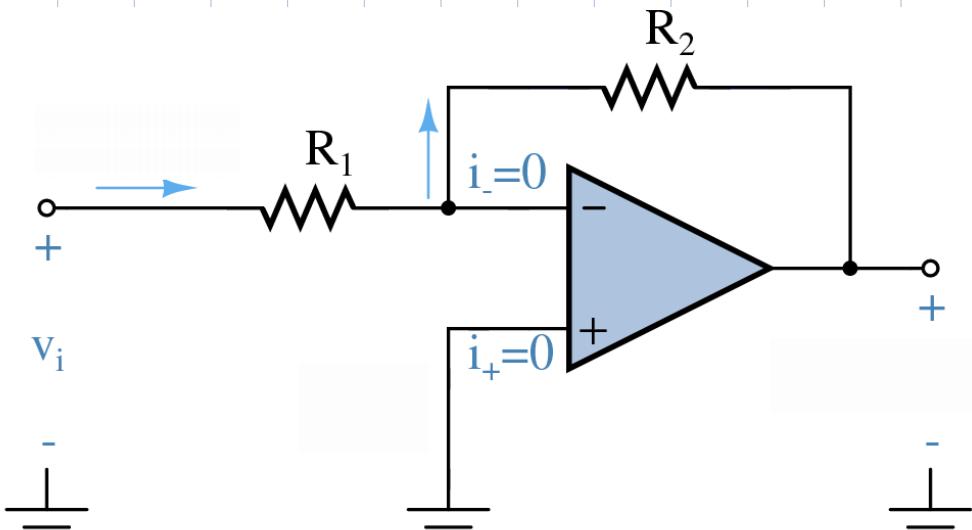
Electrónica en cápsulas

Operación con alimentación unipolar

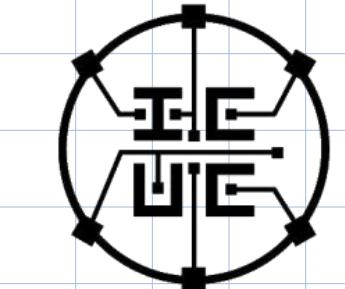
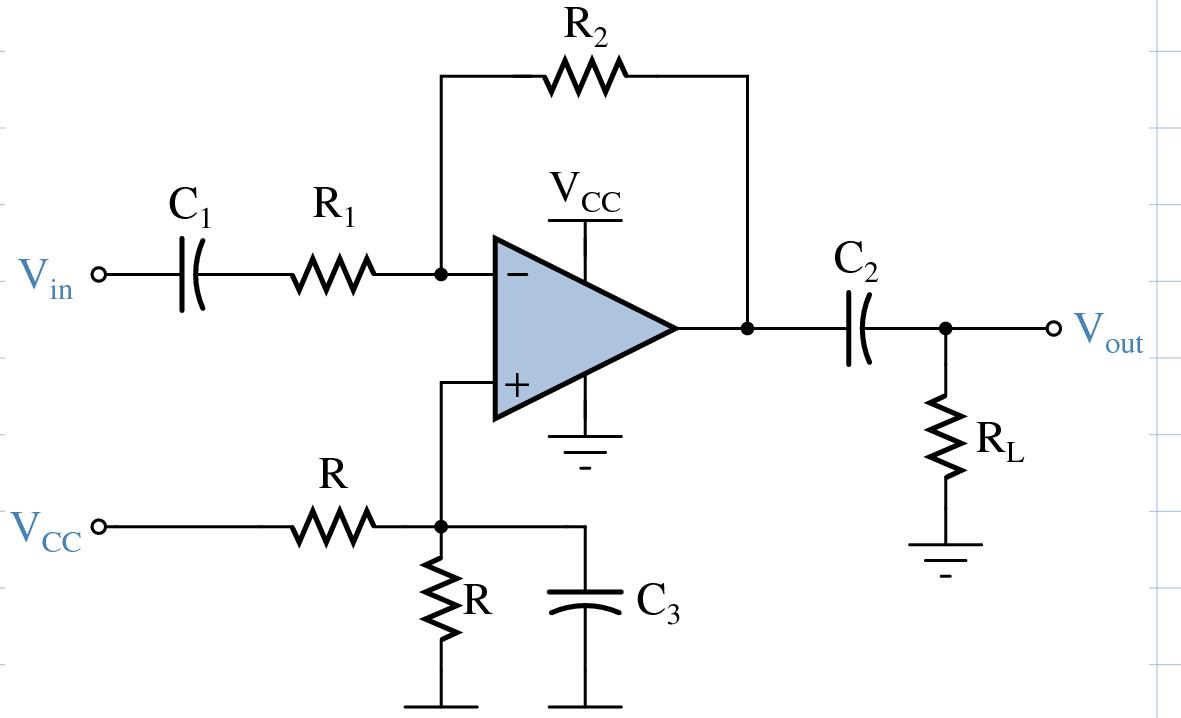
- Ninguno de los pines del opamp es tierra...
- ¿Cómo adivina el opamp internamente cuál es la tierra del circuito?
 - no tiene idea, pero no importa
- El opamp puede operar con alimentación unipolar siempre que se respete:
 - Rango de entrada de modo común
 - Límites de excursión de salida



Una configuración inversora generalmente no puede operar con alimentación unipolar

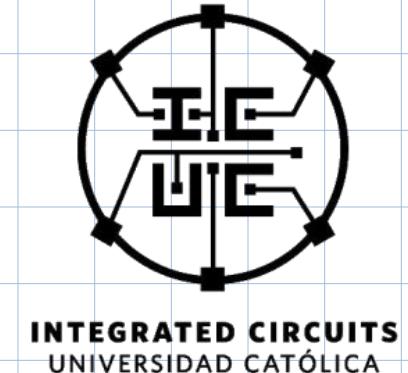
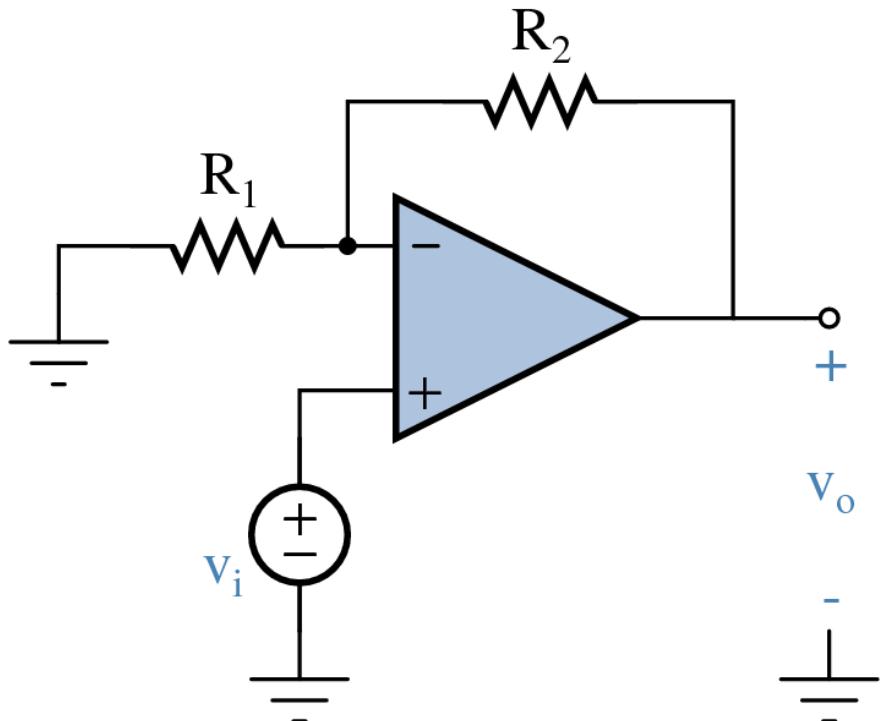


Una posible solución con acoplamiento ac



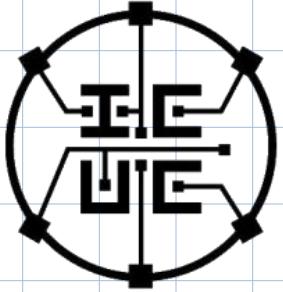
INTEGRATED CIRCUITS
UNIVERSIDAD CATÓLICA

Una configuración no inversora podría operar con alimentación unipolar





2.13



INTEGRATED CIRCUITS
UNIVERSIDAD CATÓLICA

Opamp real: Operación como buffer

Dependencias:

- 2.03 Amplificador no inversor y amplificador inversor

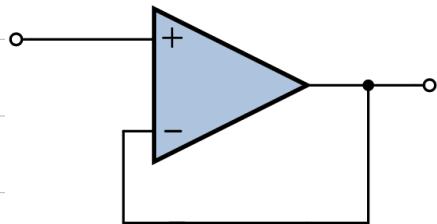
angel@uc.cl

Electrónica en cápsulas

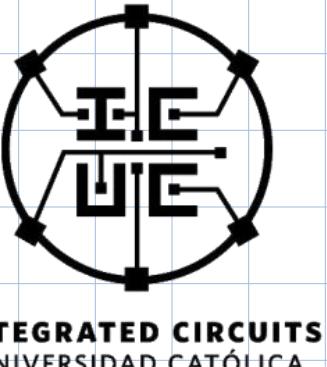
Opamp como buffer

No es precisamente la configuración más cómoda para el opamp:

- **¿Qué pasa con el modo común de entrada?**

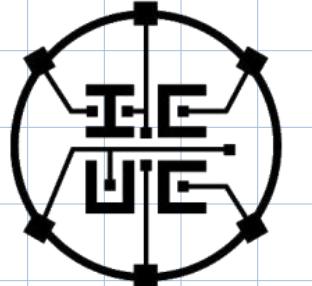


- ¿Qué sucede con la estabilidad cuando hay carga capacitiva?
 - Depende de la ganancia de ruido...



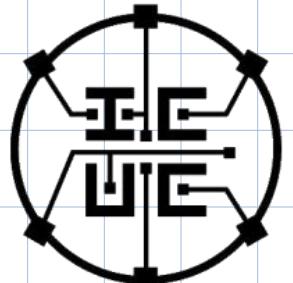
¿Ganancia de ruido?

- La ganancia de ruido (noise gain) es la ganancia a la que se ve sometido el voltaje de desnivel referido a la entrada
- También coincide con la ganancia a la que se ve sometido el ruido referido a la entrada
- Cuando esa ganancia es alta, el opamp es más estable, pero tiene más ruido a la salida y mayor efecto del offset
- Ver <http://www.analog.com/media/en/training-seminars/tutorials/MT-033.pdf>

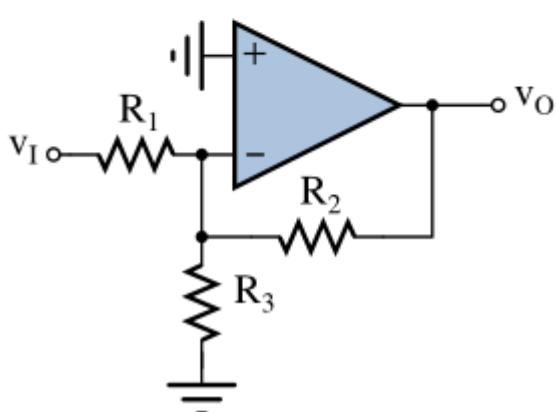
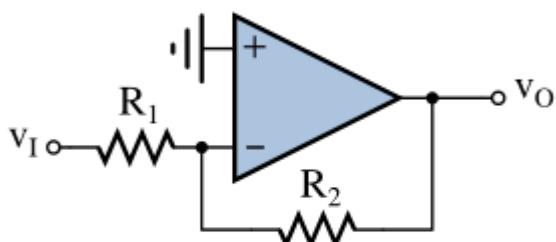
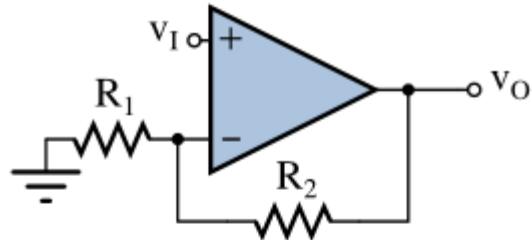


¿Cómo mejorar la estabilidad del opamp?

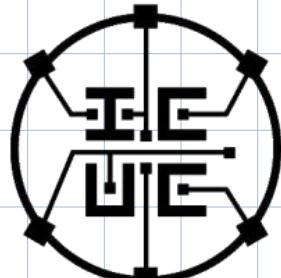
- Hay opamps que no están diseñados para ser estables al realimentarlos como buffers de voltaje
- Es posible aumentar la ganancia de ruido sin aumentar la ganancia en lazo cerrado
 - Eso mejora la estabilidad
 - Pero resulta en un amplificador más ruidoso y más lento
 - Vamos a ver algunos ejemplos



Calculemos ganancia de señal y ganancia de ruido

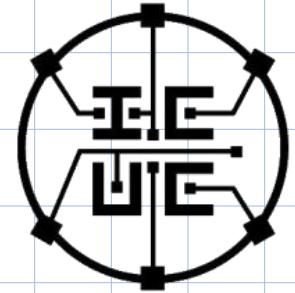


¿Cuál es más estable?





2.14



INTEGRATED CIRCUITS
UNIVERSIDAD CATÓLICA

Comparador de voltaje

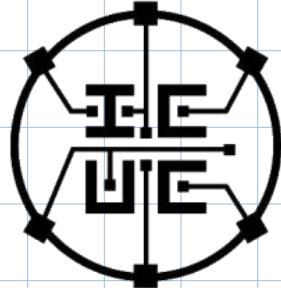
Dependencias:

angel@uc.cl

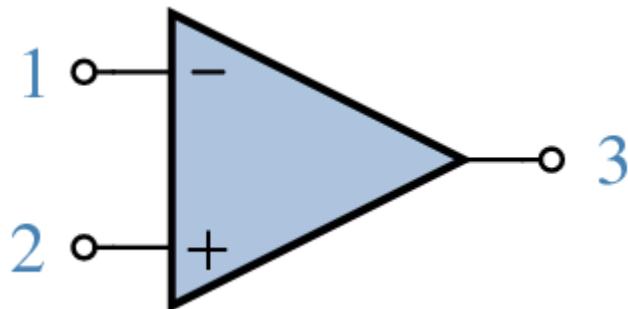
Electrónica en cápsulas

Circuitos que toman decisiones

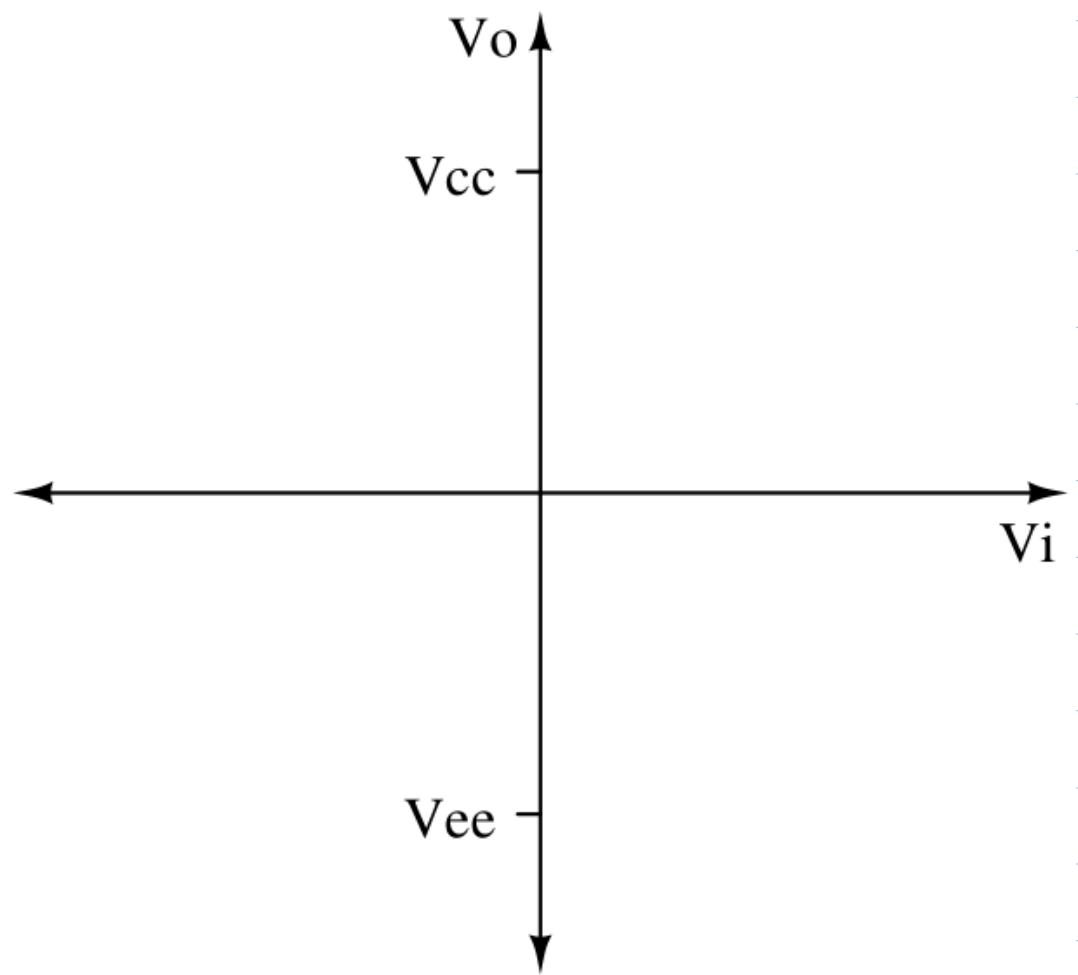
- Entregan una salida de voltaje saturada (útil para circuitos digitales), que depende de la comparación (mayor que o menor que) de los voltajes en la entrada
- Los comparadores NO SON opamps
 - están diseñados para irse a los rieles
 - No operan mediante realimentación negativa
 - pero en casos excepcionales y de emergencia pueden funcionar ~ok con realimentación negativa
- algunos requieren un reloj para funcionar, otros operan continuamente
- ejemplo de comparador: LM311
- Veamos ejemplos de circuitos con comparadores



INTEGRATED CIRCUITS
UNIVERSIDAD CATÓLICA

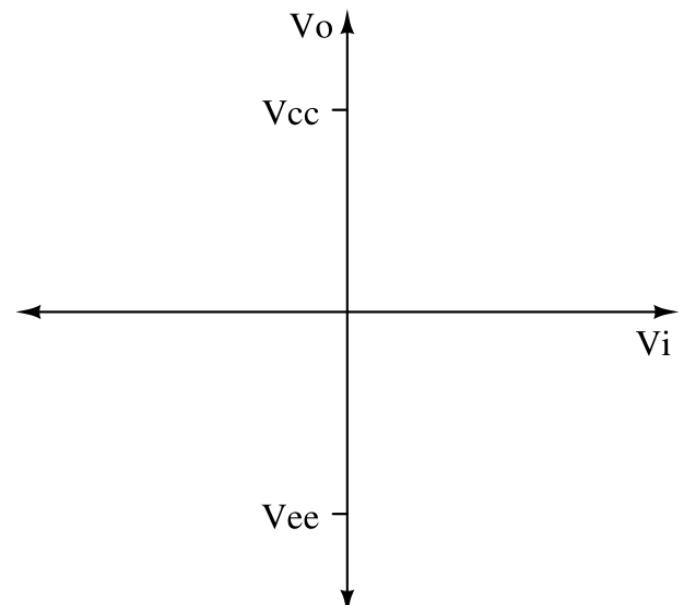
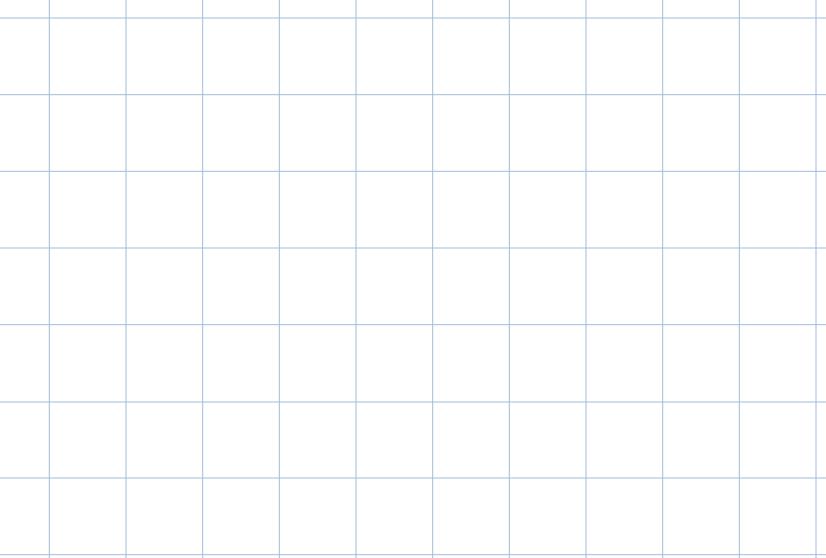
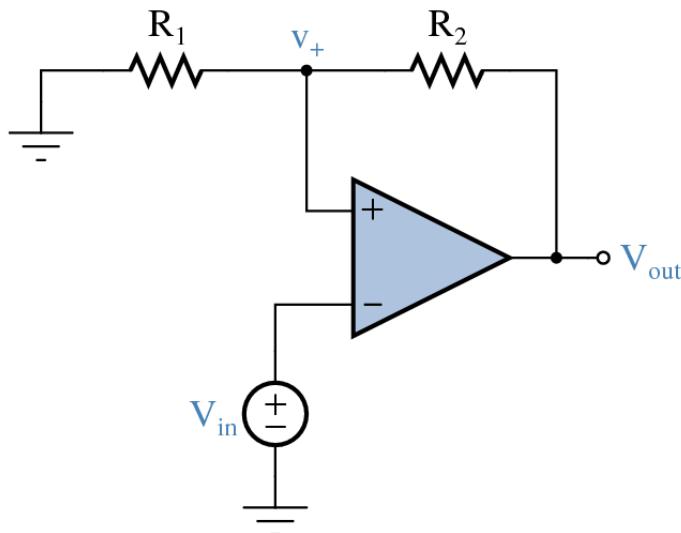
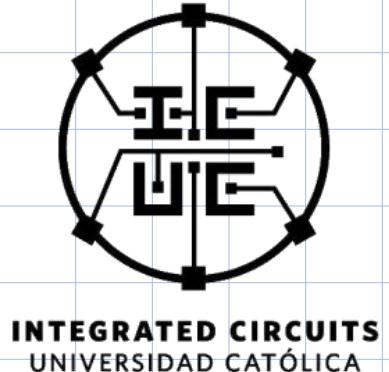


Curva de transferencia estática



Comparador con histéresis (Schmitt trigger)

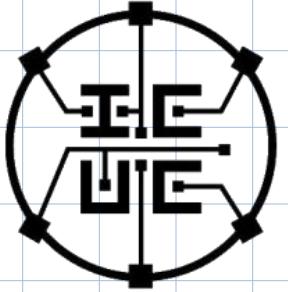
- El Schmitt trigger es un circuito con salida digital, que tiene menor sensibilidad al ruido que un comparador convencional
 - La entrada tiene que variar mucho para producir un cambio en la salida



<https://www.national.com/an/AN/AN-74.pdf>



2.15



INTEGRATED CIRCUITS
UNIVERSIDAD CATÓLICA

Oscilador de relajación

Dependencias:

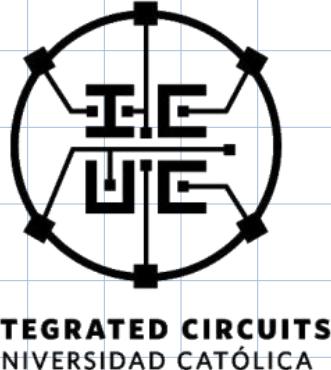
- 2.14 Comparador de voltaje

angel@uc.cl

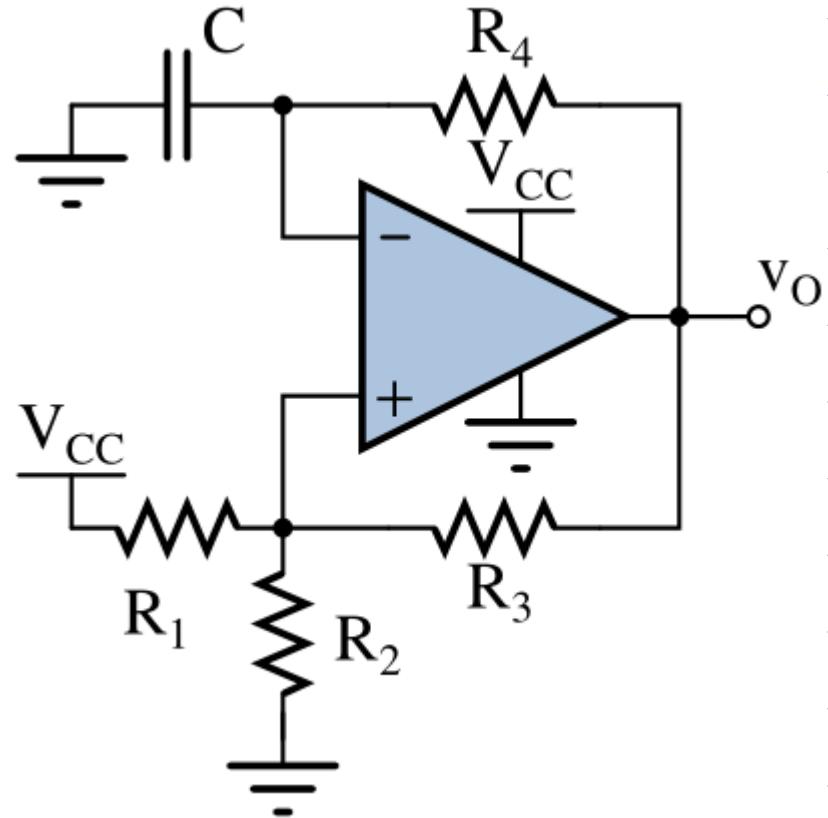
Electrónica en cápsulas

Osciladores

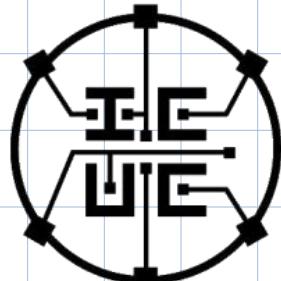
- Los osciladores son circuitos cuya salida oscila a una frecuencia determinada
- Existen osciladores de frecuencia regulable o fija, y osciladores controlados por voltaje (VCO)
- Ahora estudiaremos un tipo de oscilador basado en un comparador con histéresis
 - Su frecuencia de oscilación depende de la constante de tiempo de un circuito RC
- En el cap. 6 estudiaremos otros tipos de osciladores



Oscilador de relajación

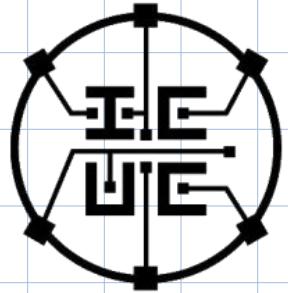


<https://www.national.com/an/AN/AN-74.pdf>





2.16



INTEGRATED CIRCUITS
UNIVERSIDAD CATÓLICA

ADC

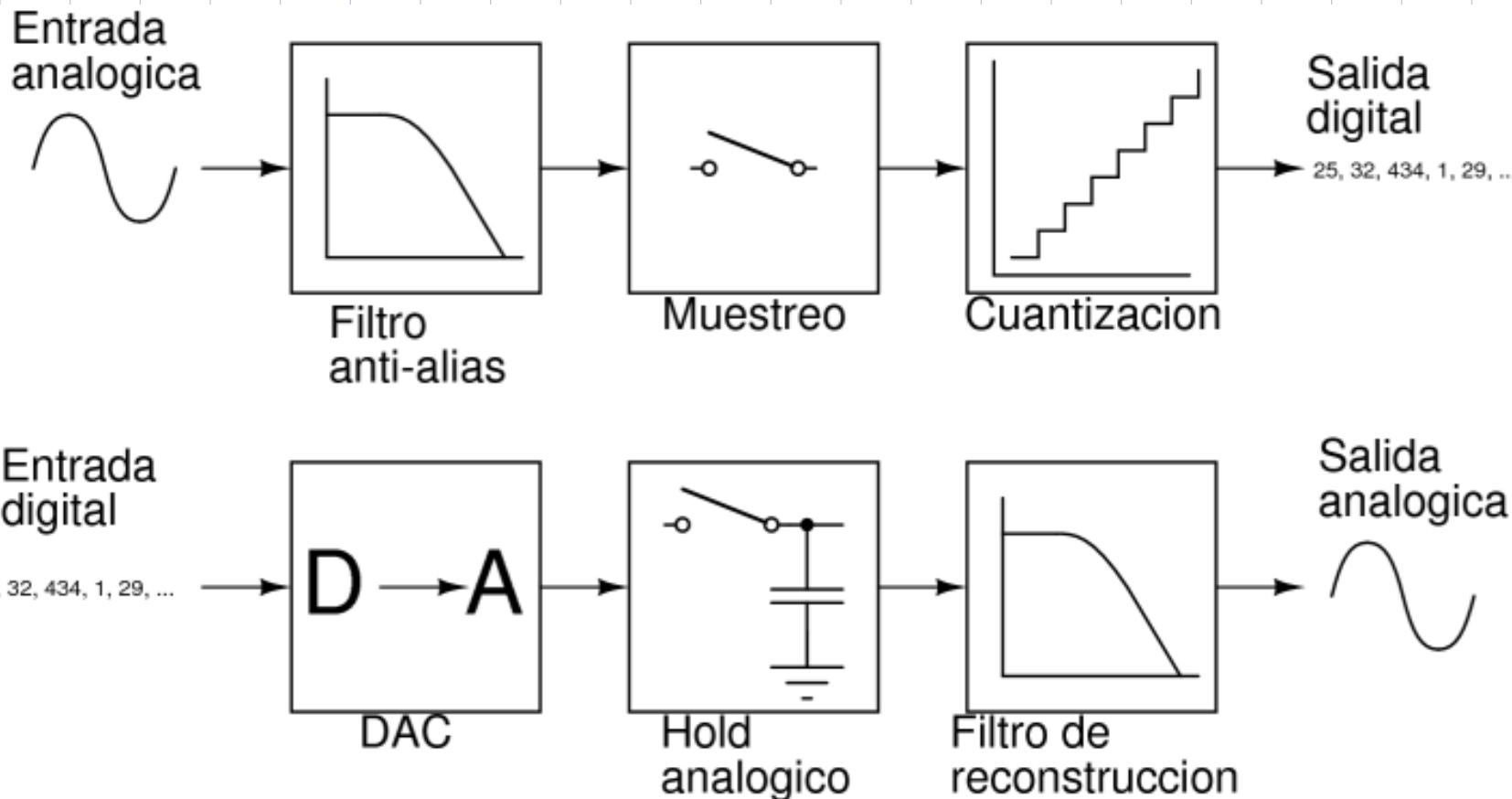
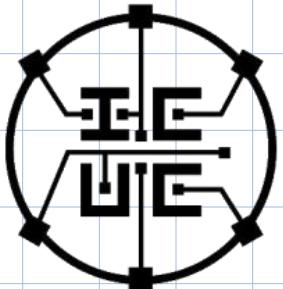
Dependencias:

- 2.07 DAC

angel@uc.cl

Electrónica en cápsulas

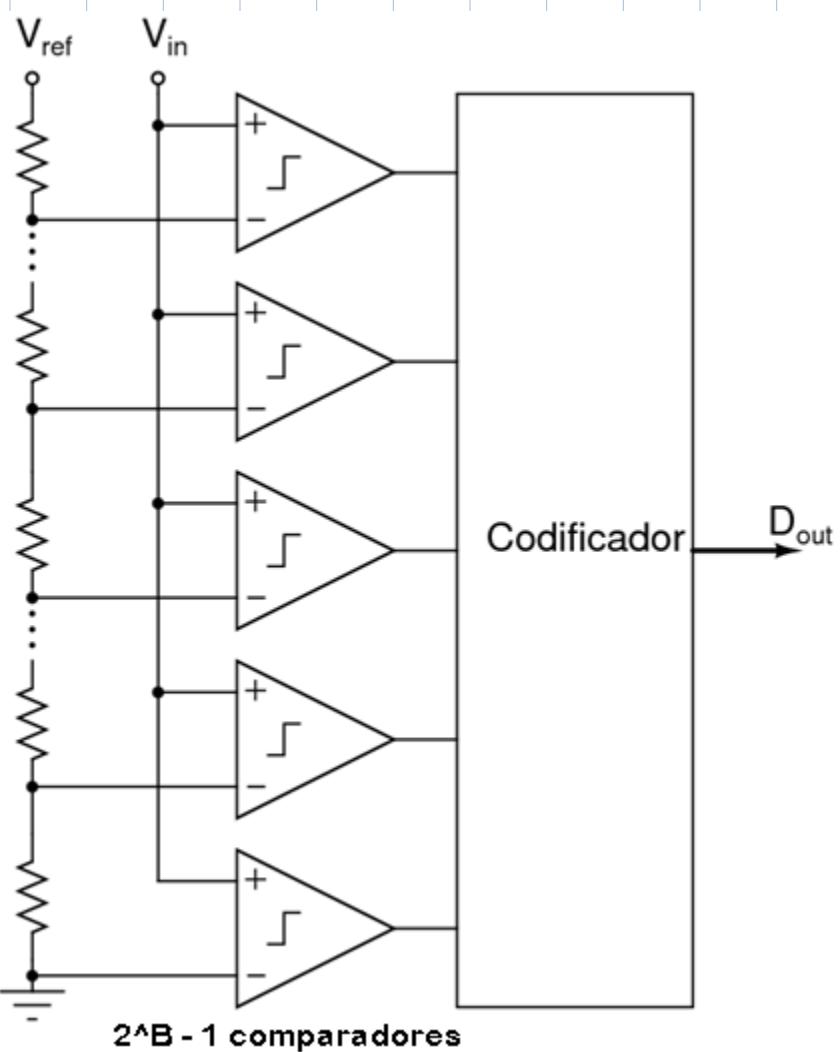
Recordemos: DAC y ADC (2.07)



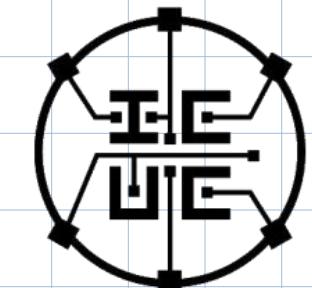
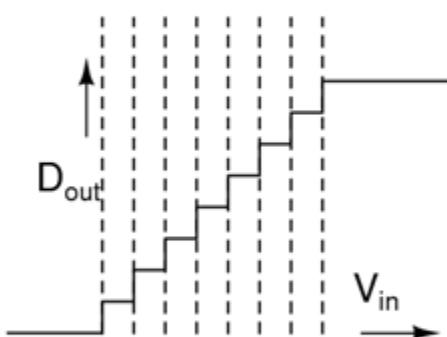
Un ADC
muestra y
cuantiza una
señal continua

Hoy veremos algunos ejemplos de ADC en forma descriptiva

ADC Flash

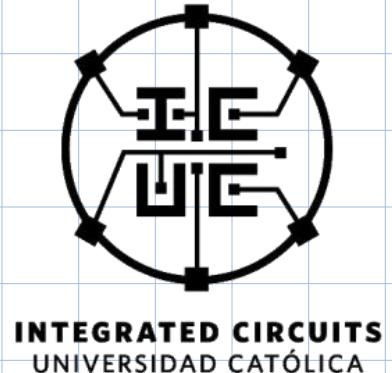
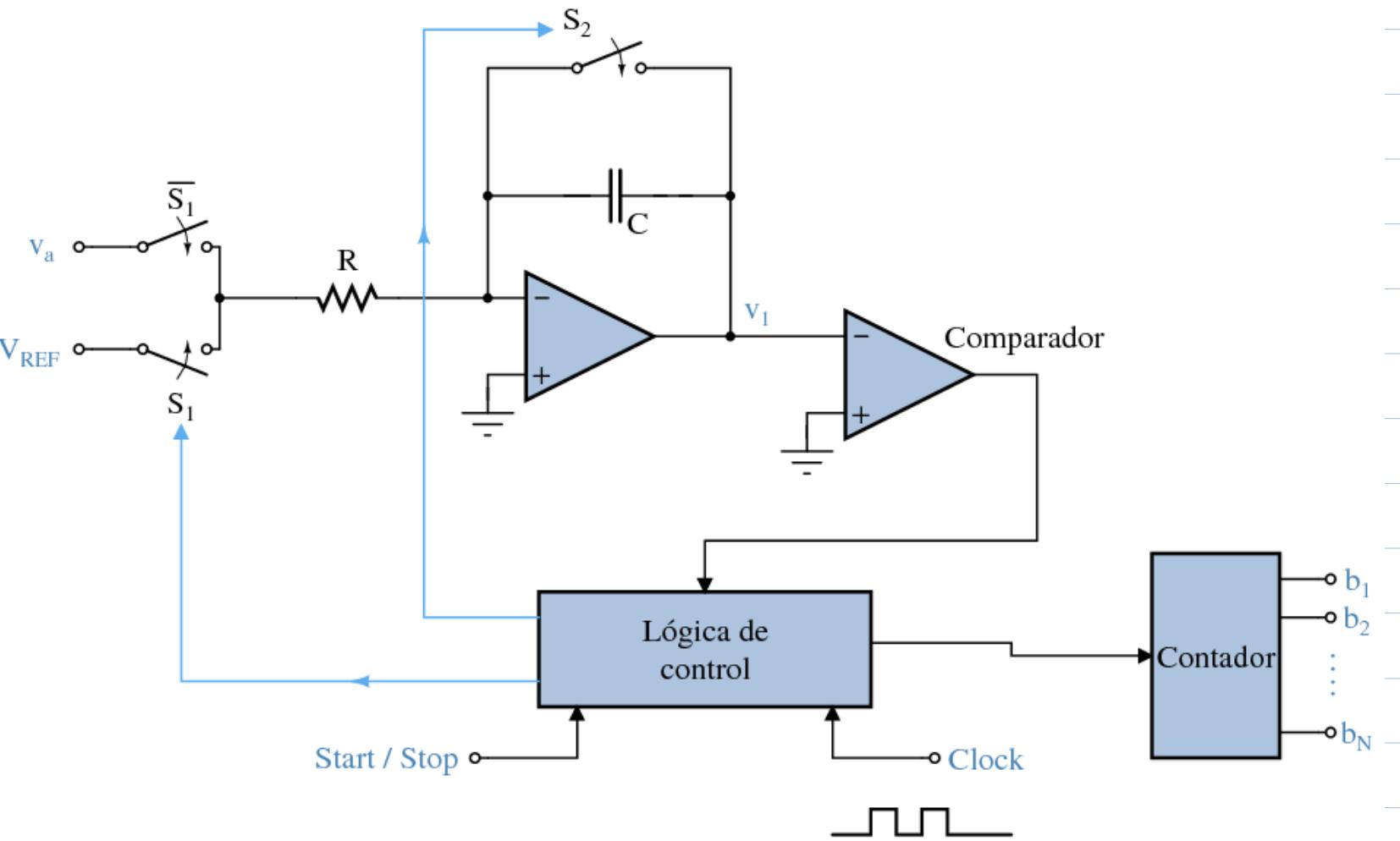


2^B - 1 niveles de decisión



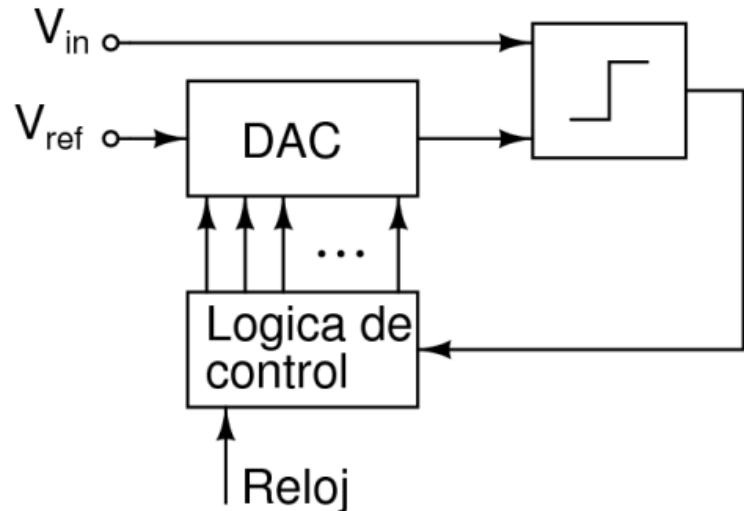
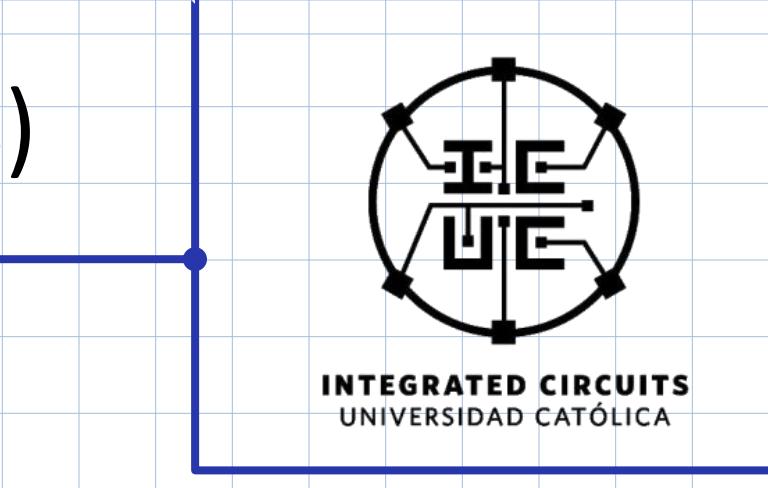
INTEGRATED CIRCUITS
UNIVERSIDAD CATÓLICA

ADC de doble pendiente

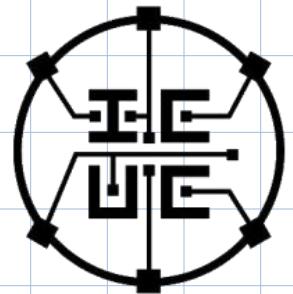


ADC SAR (aproximaciones sucesivas)

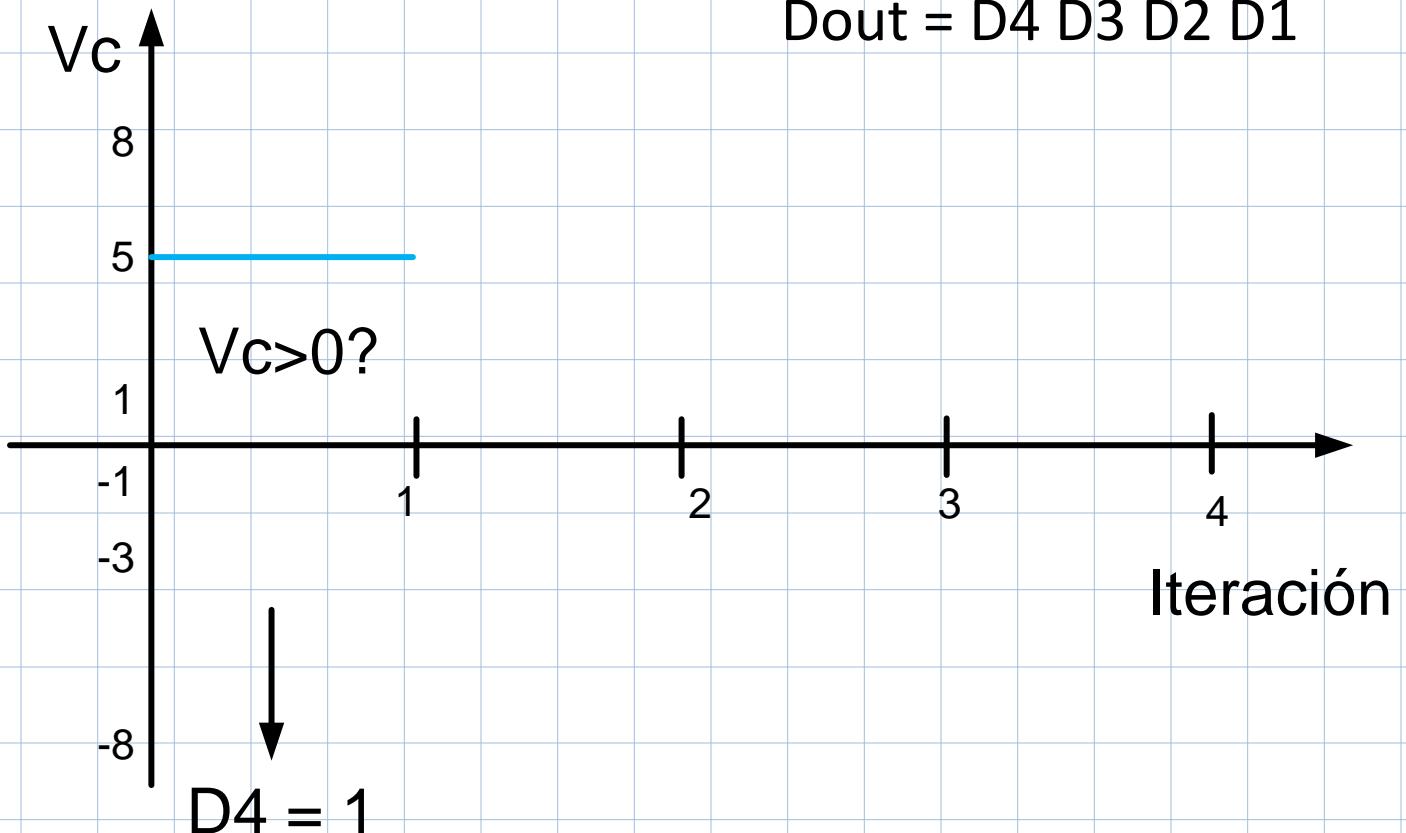
- Búsqueda binaria, tratando de igualar la entrada con la salida de un DAC
 - Un esquema alternativo consiste en comenzar con la entrada y restarle la salida del DAC para tratar de llegar a cero (siguientes láminas)
- Es posible lograr gran exactitud (16 bits o más) gracias al uso de un comparador muy preciso
- Velocidad de conversión media (del orden pocos o decenas de MHz, dependiendo de resolución)
- Muy bajo consumo de potencia



Algoritmo (1/4)

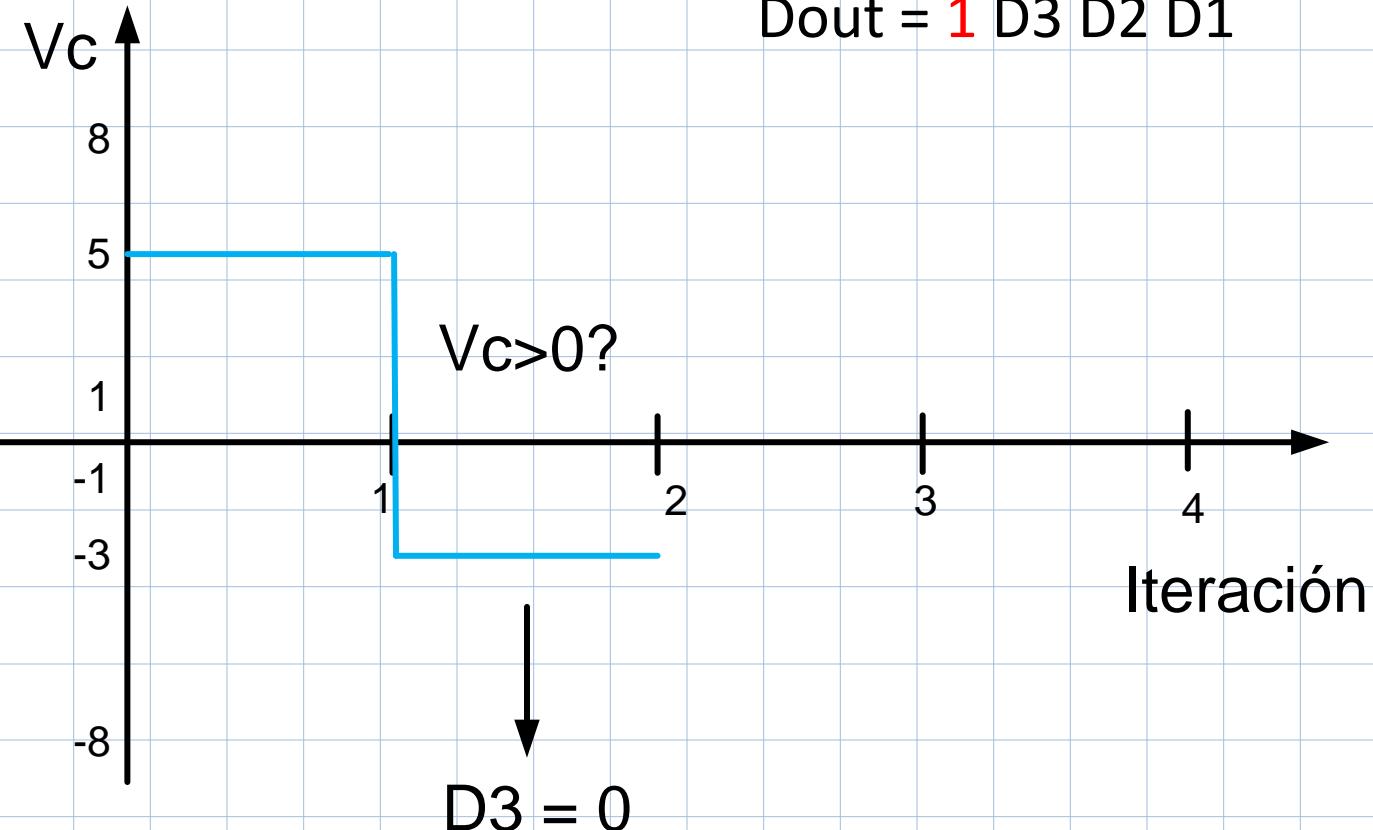


INTEGRATED CIRCUITS
UNIVERSIDAD CATÓLICA

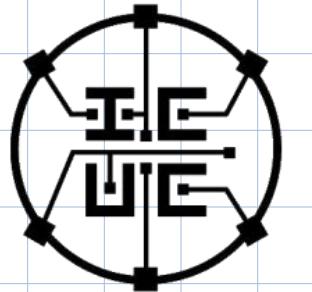


[Enrique Álvarez, charla de inv. DIE, 7-2012]

Algoritmo (2/4)

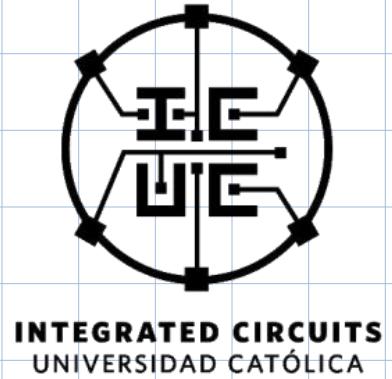
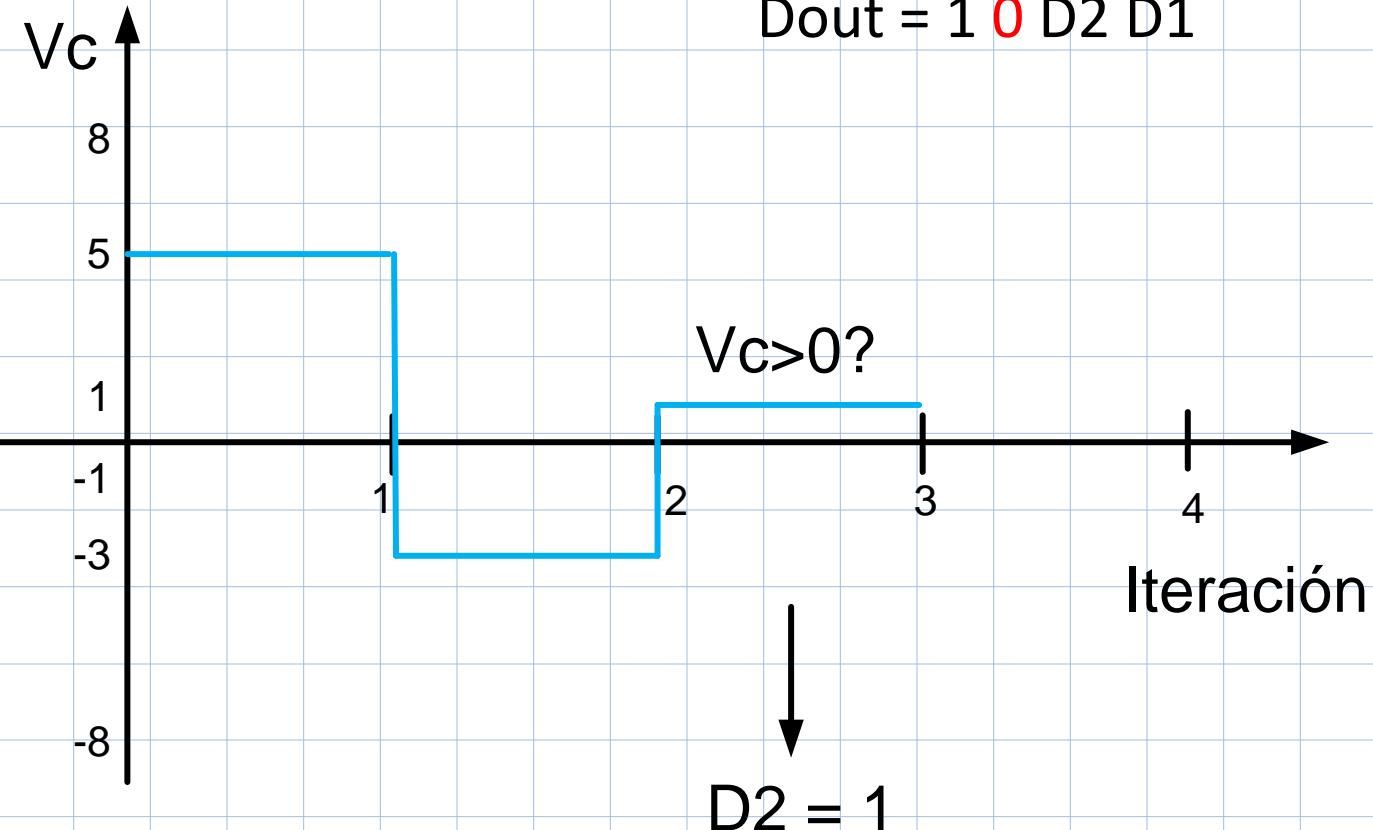


[Enrique Álvarez, charla de inv. DIE, 7-2012]



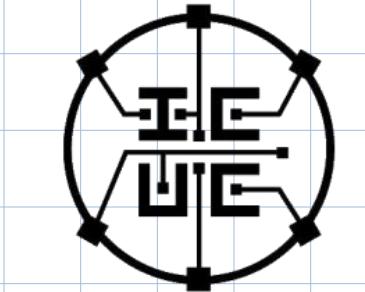
INTEGRATED CIRCUITS
UNIVERSIDAD CATÓLICA

Algoritmo (3/4)

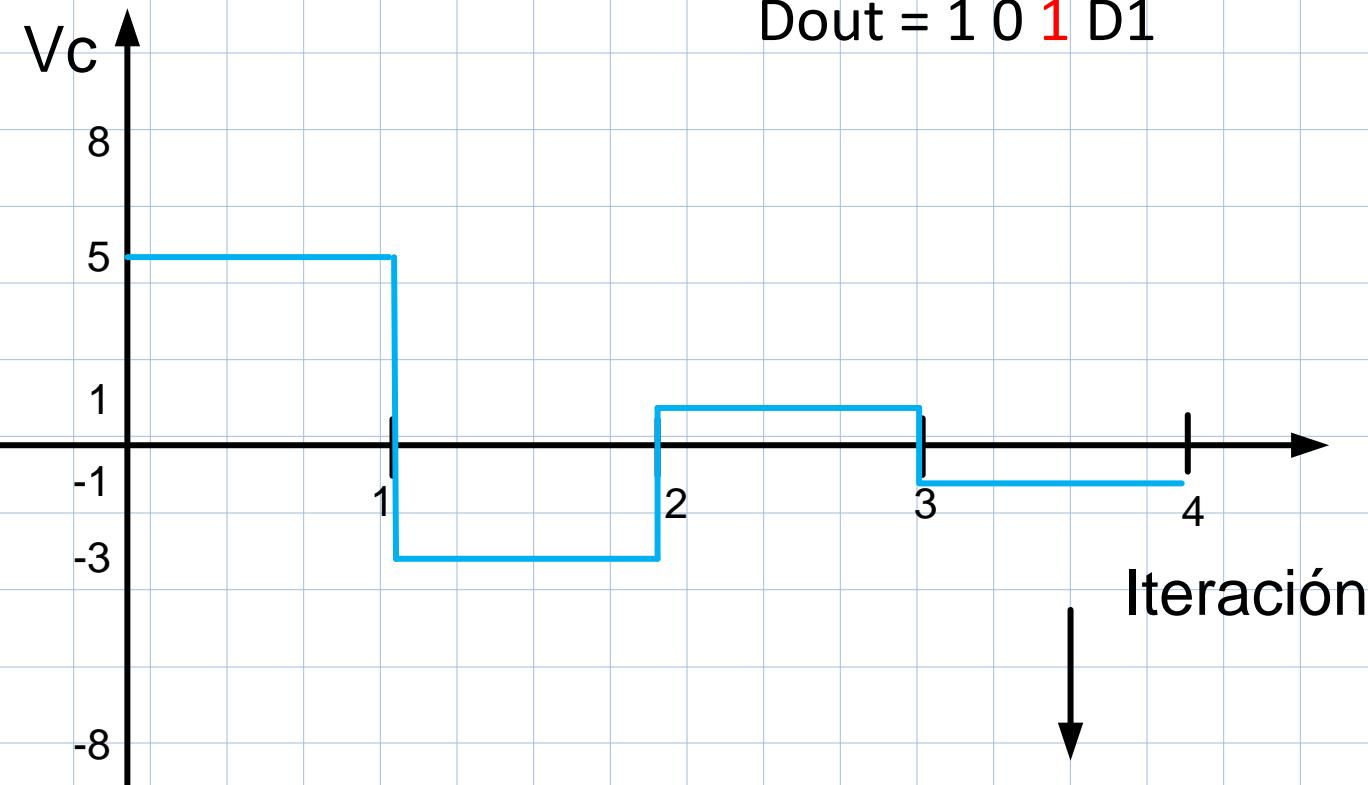


[Enrique Álvarez, charla de inv. DIE, 7-2012]

Algoritmo (4/4)



INTEGRATED CIRCUITS
UNIVERSIDAD CATÓLICA

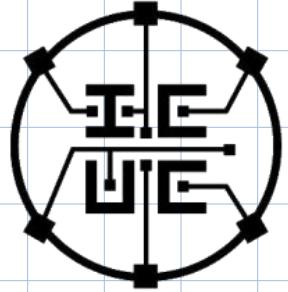


[Enrique Álvarez, charla de inv. DIE, 7-2012]



2.16

ADC



INTEGRATED CIRCUITS
UNIVERSIDAD CATÓLICA

Gracias por su atención

angel@uc.cl

Electrónica en cápsulas