

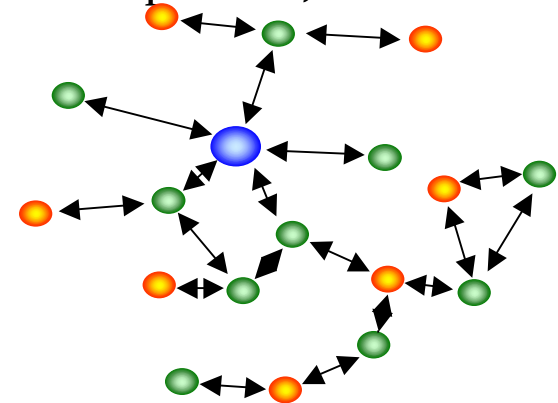
Diseño de Ultra Bajo Consumo

IV. Técnicas de reducción de consumo a nivel sistema. Ejemplos y tendencias.

Fernando Silveira

Instituto de Ingeniería Eléctrica, Universidad de la República,
Uruguay

CCC del Uruguay S.A.



Organización de las Presentaciones

- ◆ I. Modelado del transistor MOS para diseño de bajo consumo.
- ◆ II. Metodología de diseño de circuitos integrados analógicos MOS y operación bloques básicos.
- ◆ III. Consumo en circuitos digitales y analógicos: origen, límites teóricos y técnicas de circuito.
- ◆ **IV. Técnicas de reducción de consumo a nivel sistema. Ejemplos y tendencias.**

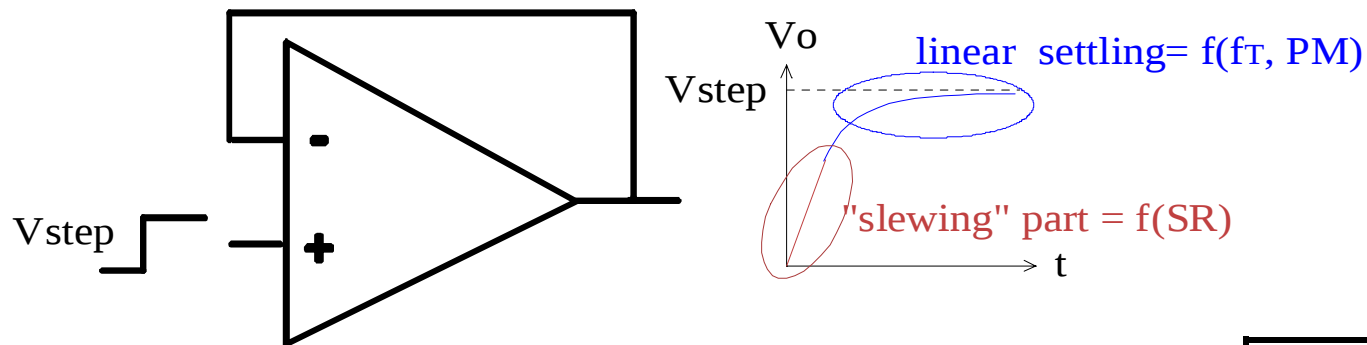
Agenda

- ◆ I. Técnicas a nivel de bloque analógico.
- ◆ II. Técnicas a nivel subsistema. Procesamiento analógico ULP.
- ◆ III. Idea y ejemplos a nivel sistema.
- ◆ IV. Conclusiones y tendencias.

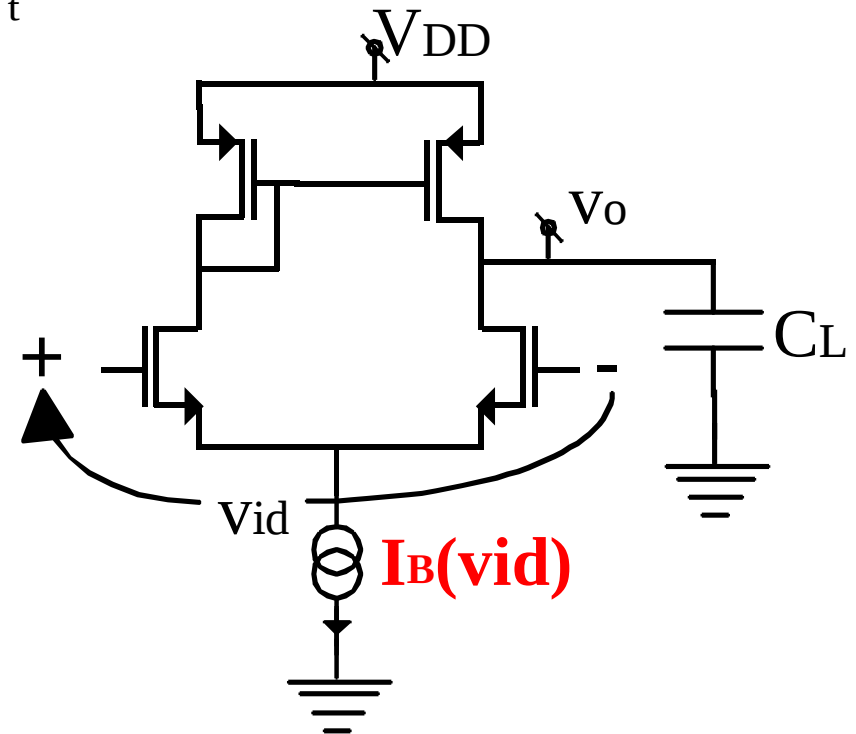
I. Orígenes del consumo en circuitos analógicos

Nivel Alto	Nivel Medio	Nivel Bajo
Velocidad (Tiempo de Settling Total)	Settling Lineal (f_T , PM)	g_m , I_D , (W/L), C_m
	Slew Rate	I_D , C_m , C_L
SNR, Ruido	Rangos de Tensión	I_D , (W/L)
	Ruido Térmico	g_m , C_m
	Ruido 1/f	g_m , W, L
Precisión Estática	Ganancia DC	g_m , I_D , L
	Voltaje de Offset	g_m , I_D

I. Bias adaptativo

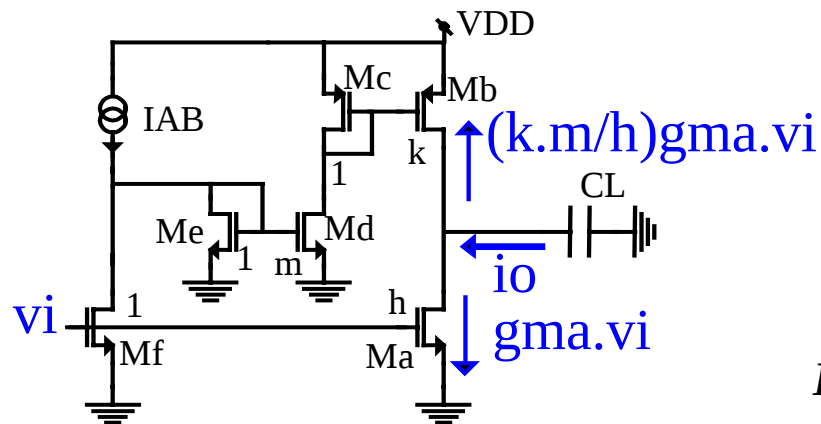


- ◆ Degrauwe et al, IEEE JSSC, 1982
- ◆ Tensión diferencial de entrada grande $\Rightarrow$ Slew-rate $\Rightarrow I_B$ grande
- ◆ Tensión diferencial de entrada chica $\Rightarrow$ zona lineal $\Rightarrow I_B$ chico para estabilidad



I. Etapa de salida clase AB

- ◆ total equivalent transconductance of this stage under class AB operation ($g_m = i_o/v_i$)



$$g_m = g_{m_a} \underbrace{\left(1 + \frac{km}{h}\right)}_{g_{mmult}} D(s)$$

$D(s)$: current mirrors freq. response

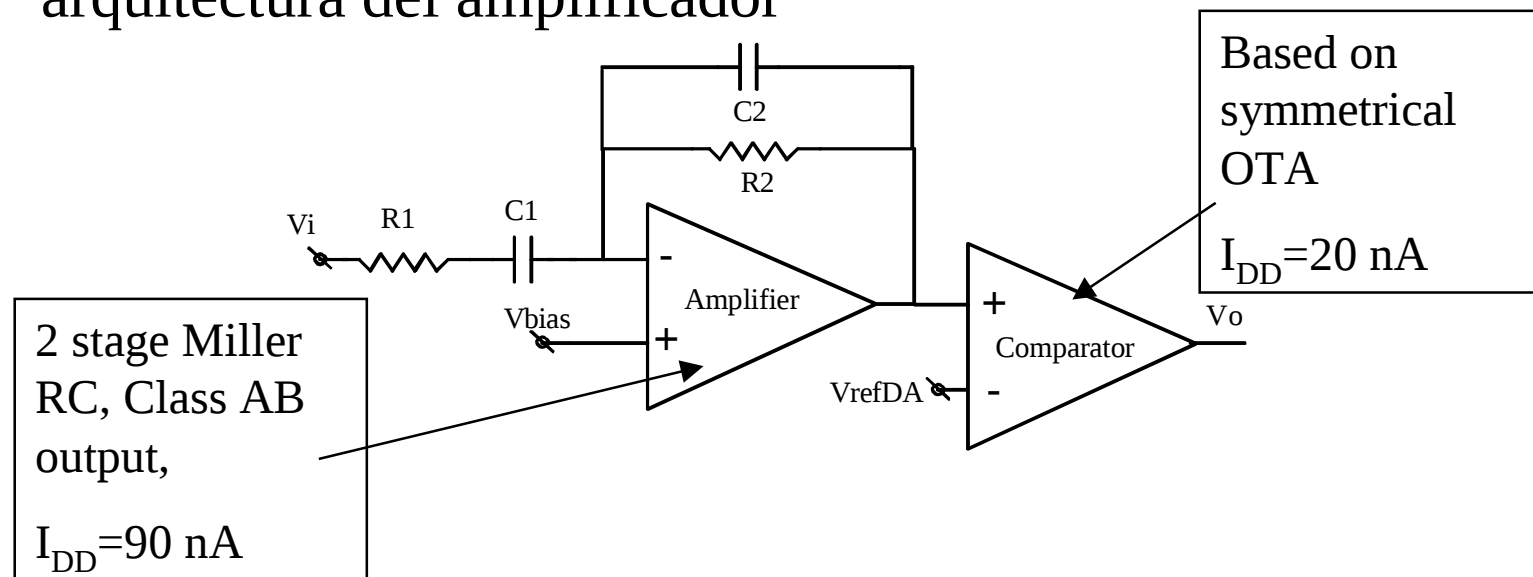
- ◆ $D(s)$: one doublet for each current mirror $\Rightarrow$ phase shift.
- ◆ This phase shift increases with g_{mmult} and sets maximum values for the g_{mmult} factor.

g_m x up to 25, g_m/I_D x up to 12

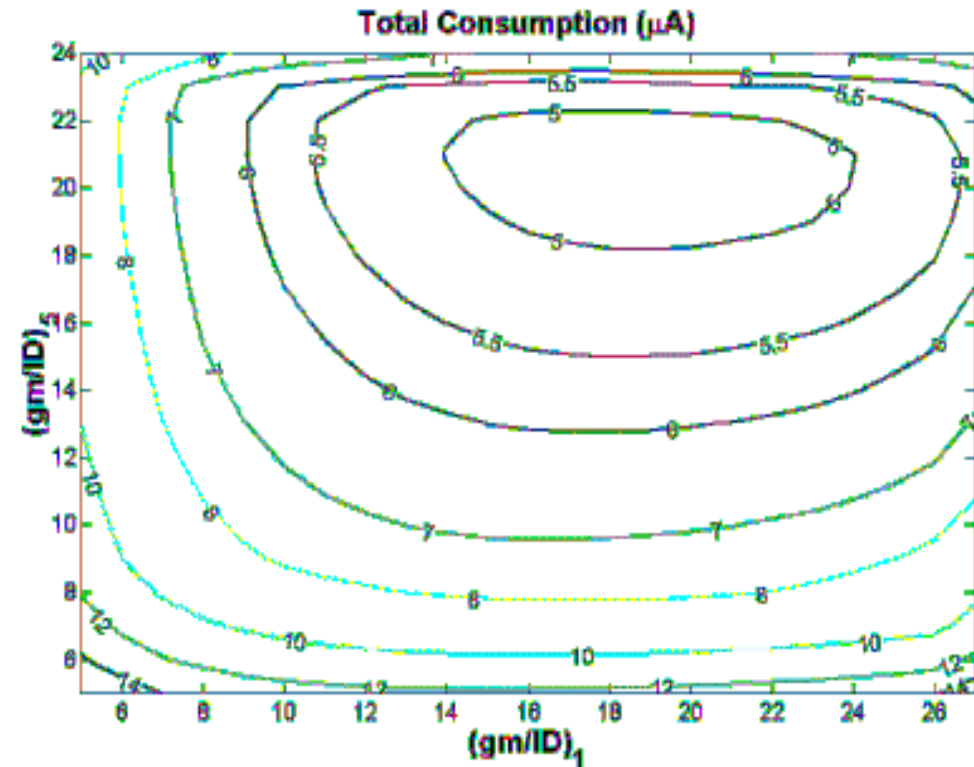
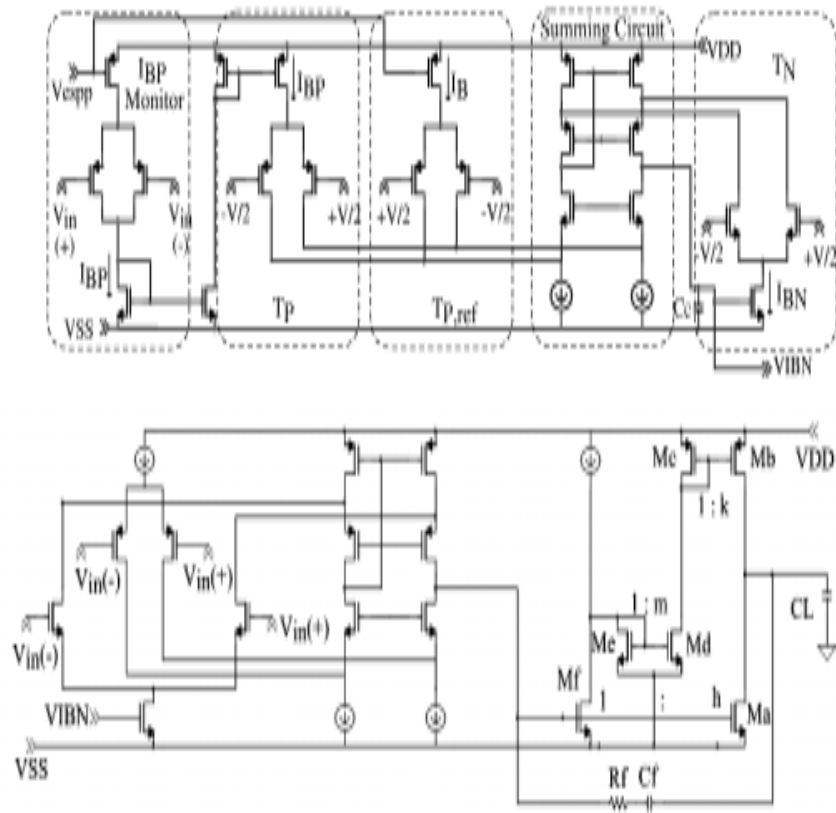
Silveira, SBCCI2000,
SBCCI2002, ISCAS 2002

I. Etapa de salida clase AB: usada en circuito de sensado para marcapasos

- ◆ Silveira, Flandre, ISCAS 2002, **Active-RC**, tecno FD-SOI 2 μ m, $I_{DD} = 110\text{nA}$.
- ◆ Reducción en consumo de un orden de magnitud respecto a otras implementaciones
- ◆ Mitad de la reducción debido a proceso SOI, mitad debido a arquitectura del amplificador

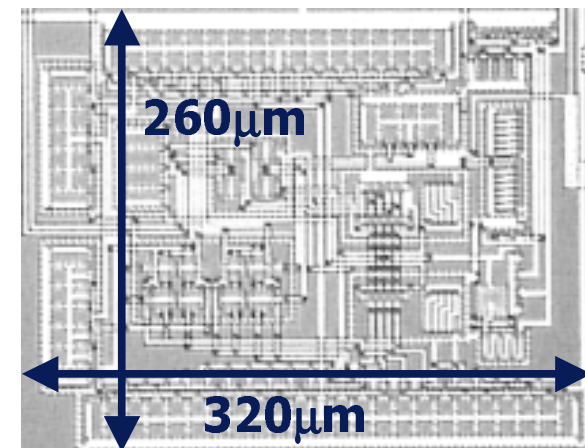
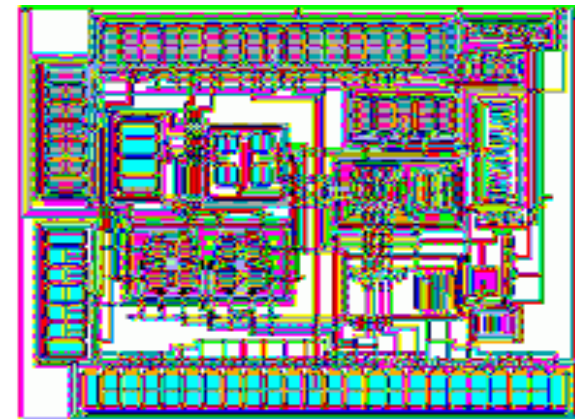
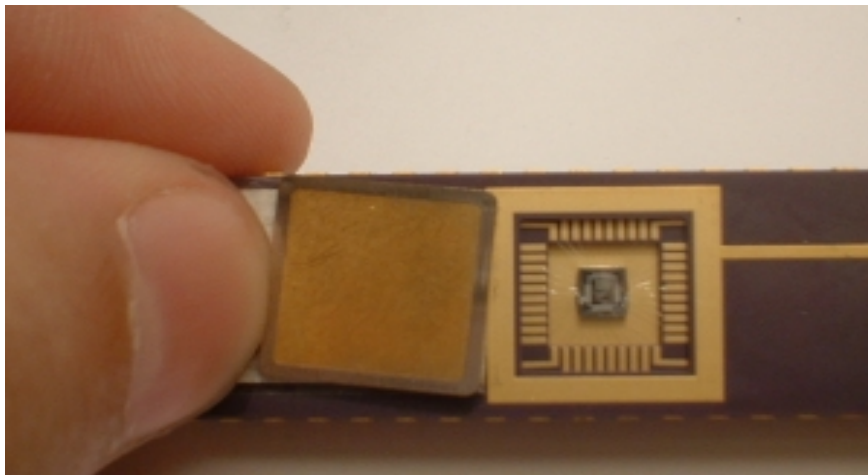


I. Amplificador Rail-to-rail completo con salida clase AB

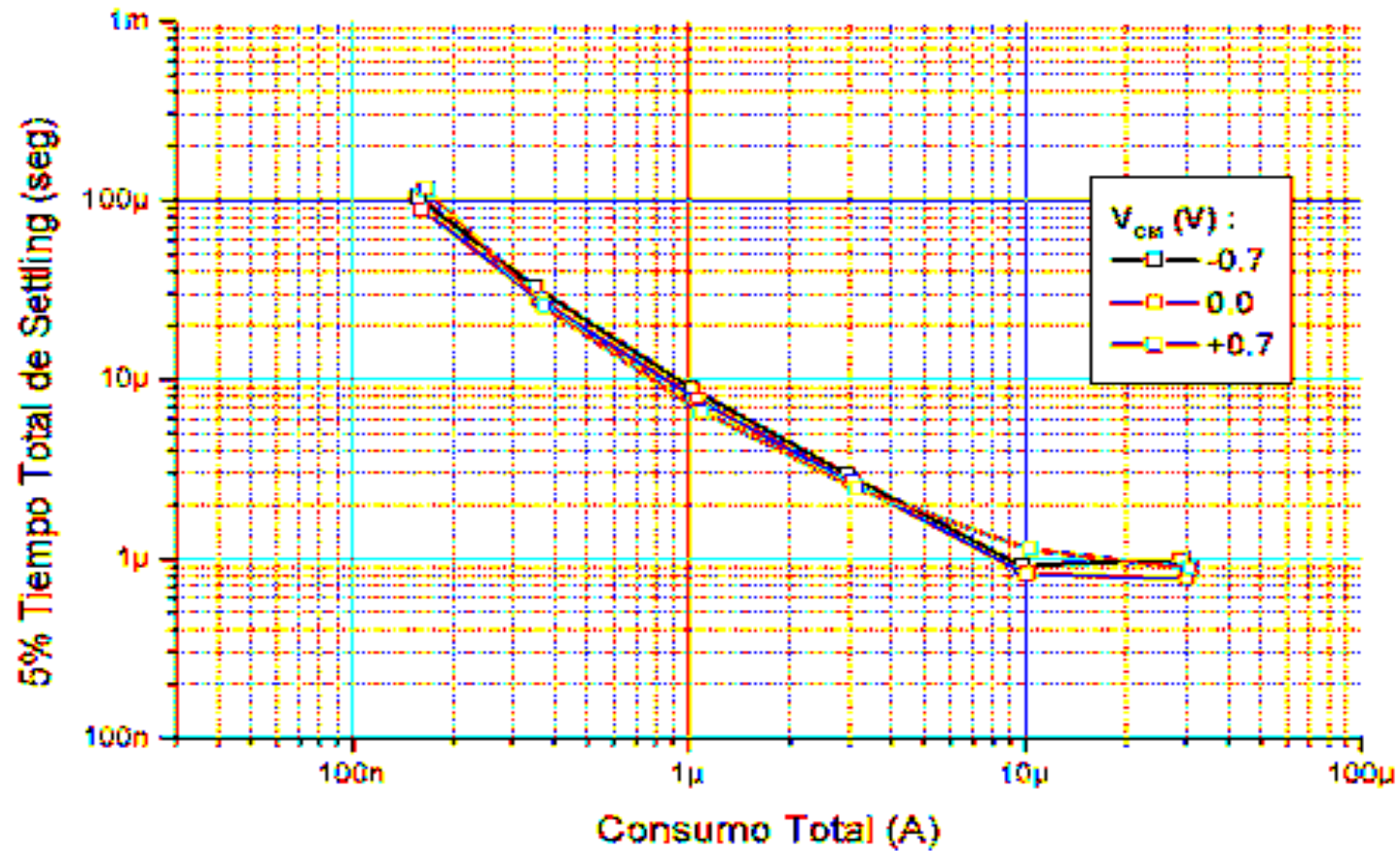


Aguirre, Silveira, SBCCI2003

I. Prototipo en CMOS 0.8 μm



I. Sintonización del Compromiso Consumo-Velocidad



I. Mejoras indirectas

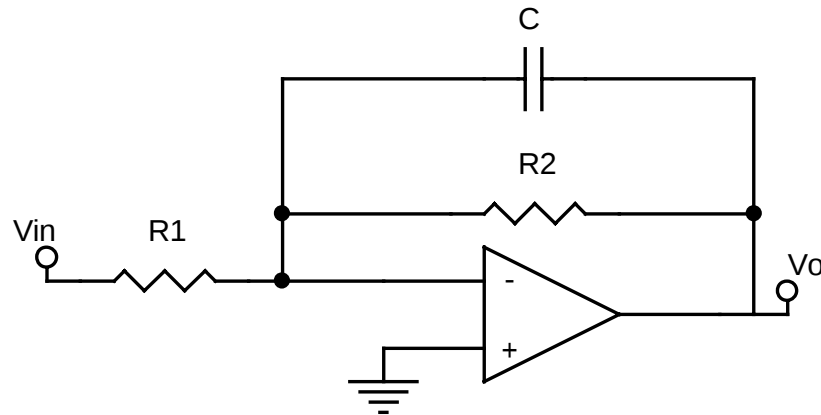
- ◆ Técnicas que mejoran desempeño sin incremento o con poco incremento de consumo es equivalente a reducir el consumo
 - Compensación de offset en circuitos a capacitores conmutados
 - Reducción de ruido $1/f$ usando un amplificador chopper.
 - Innumerables ejemplos en conversores A/D

Agenda

- ◆ I. Técnicas a nivel de bloque analógico.
- ◆ **II. Técnicas a nivel subsistema. Procesamiento analógico ULP.**
- ◆ III. Idea y ejemplos a nivel sistema.
- ◆ IV. Conclusiones y tendencias.

II. Procesamiento Analógico ULP:

1) Filtro RC Activo



Filtro pasa bajos

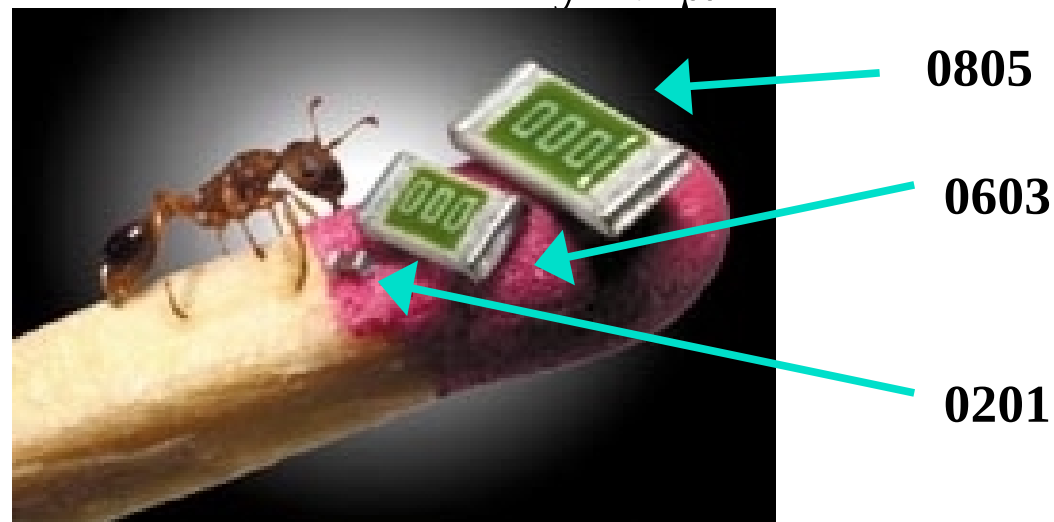
$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{R_2 / R_1}{(1 + R_2 \cdot C \cdot s)}$$

- ◆ Limitado por los valores que es posible integrar: hasta $k\Omega$ o $M\Omega$ (procesos especiales) y 100s pF.
- ◆ Gran dispersión en valores absolutos de componentes integrados (+/- 40 - 50 %)
- ◆ => Problema: necesidad de componentes externos ..., pero ...

II. Procesamiento Analógico ULP:

¿Los componentes externos deben evitarse siempre?

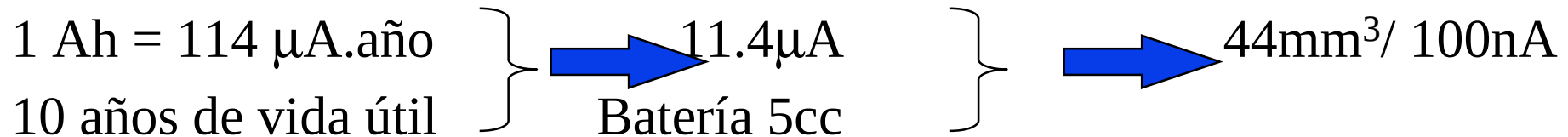
- ◆ La integración puede pagarse en términos de consumo para adaptarse a componentes menos precisos.
- ◆ En algunos casos se requieren para tener redundancia por tolerancia a falla.
- ◆ Componentes 0402 SMT hasta $10\text{M}\Omega$ y $1\mu\text{F}$
- ◆ Componentes 0201 SMT hasta $1\text{M}\Omega$ y $0.1\mu\text{F}$



II. Procesamiento Analógico ULP:

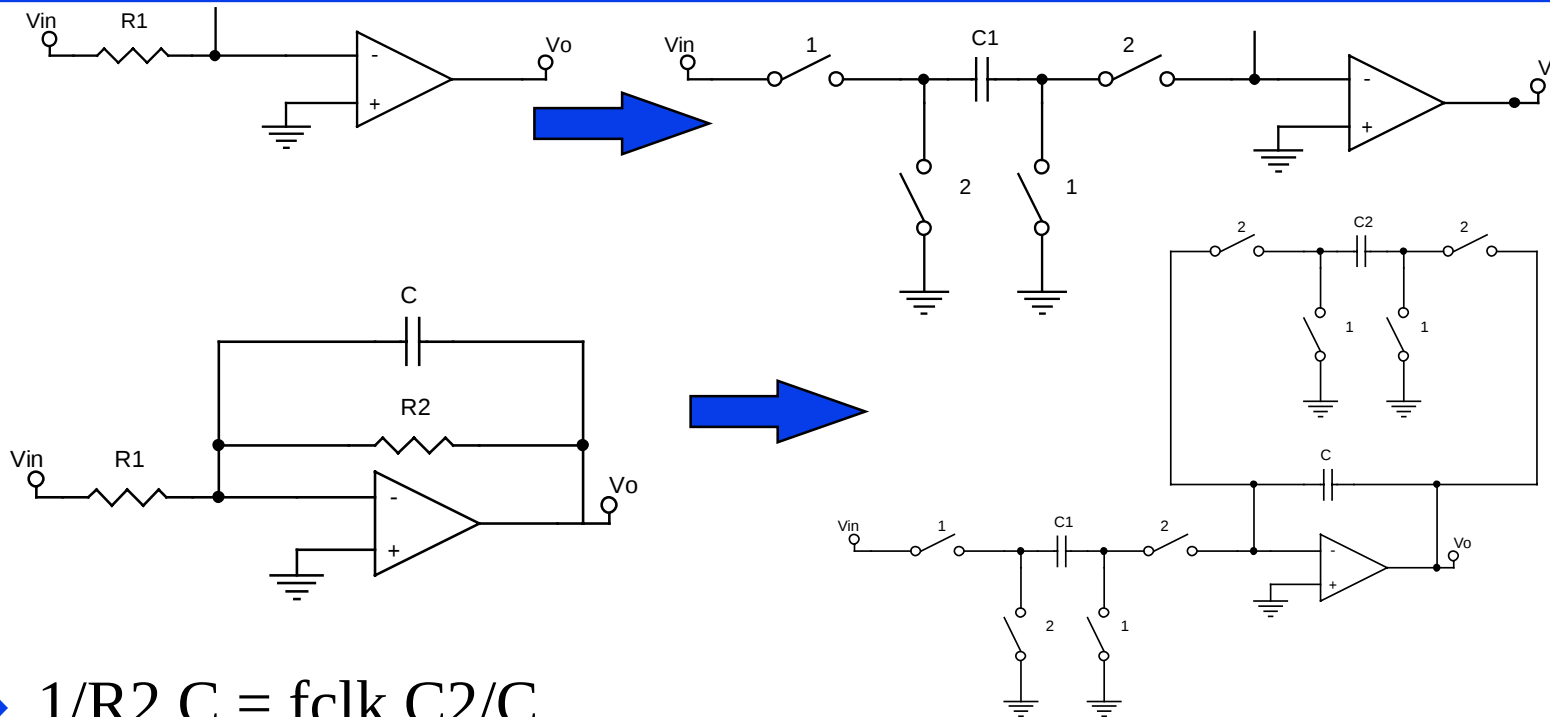
¿Los componentes externos deben evitarse siempre?

- ◆ 0402 SMT => $1\text{mm} \times 0.5\text{mm} \times 0.35\text{mm} = 0.18\text{mm}^3$
- ◆ Considerando PCB, pin del IC, enrutado => $2 - 5 \text{ mm}^3$
- ◆ **Tamaño y Consumo** están ligados a través del **Tamaño de la Batería**



II. Procesamiento Analógico ULP:

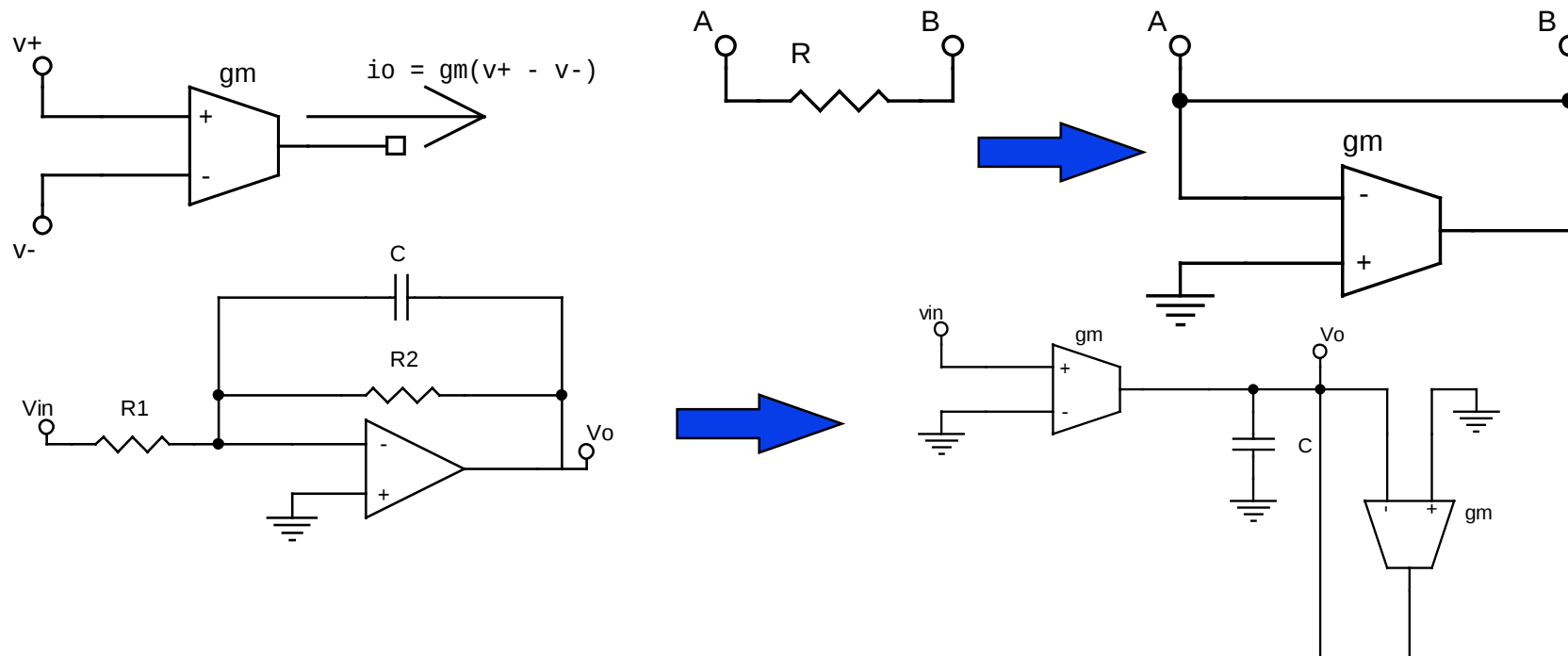
2) Filtros a capacitores conmutados



- ◆ $1/R2.C = f_{clk}.C2/C$
- ◆ + precisos, + grandes constantes de tiempo son posibles, + completamente integrados
- ◆ - consumo operacionales, - necesidad de antialiasing

II. Procesamiento Analógico ULP:

3) Filtros Gm-C de tiempo continuo



- ◆ $R=1/g_m \Rightarrow 1/R2.C = g_{m2}/C \Rightarrow$ dispersión $\Rightarrow$ **sintonización on-chip automática**
- ◆ + grandes constantes de tiempo posibles
- ◆ - rango lineal de entrada de los transconductores

Agenda

- ◆ I. Técnicas a nivel de bloque analógico.
- ◆ II. Técnicas a nivel subsistema. Procesamiento analógico ULP.
- ◆ **III. Idea y ejemplos a nivel sistema.**
- ◆ IV. Conclusiones y tendencias.

III. Primera medida: Apagado

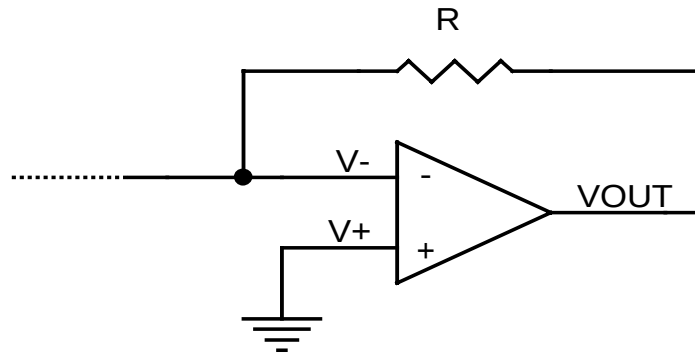
- ◆ Digital:
 - ◆ Apagado de relojes (clock gating)
 - ◆ Apagado completo ($V_{DD}=0$)
- ◆ Analógico:
 - ◆ Apagado de Ibias
 - ◆ Apagado completo ($V_{DD}=0$)
 - ◆ Compartir bloques: ej. Capacitores conmutados, un mismo operacional se comparte en dos bloques que evalúan en fases de reloj distintas (Castello).
- ◆ Atención a:
 - ◆ Tiempo de respuesta de bloques analógicos
 - ◆ Bloques digitales que quedan con entradas abiertas
 - ◆ Entre chips: bloques que se alimentan por entrada y diodos de protección.

III. Impedancias

- ◆ **C** que se carga y descarga a frecuencia **f**, con variación de tensión **V_{pp}** => corriente:

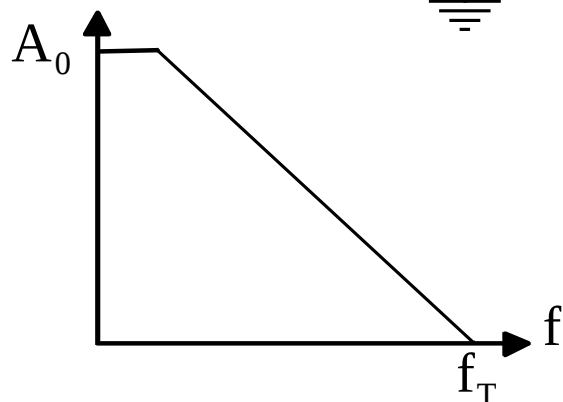
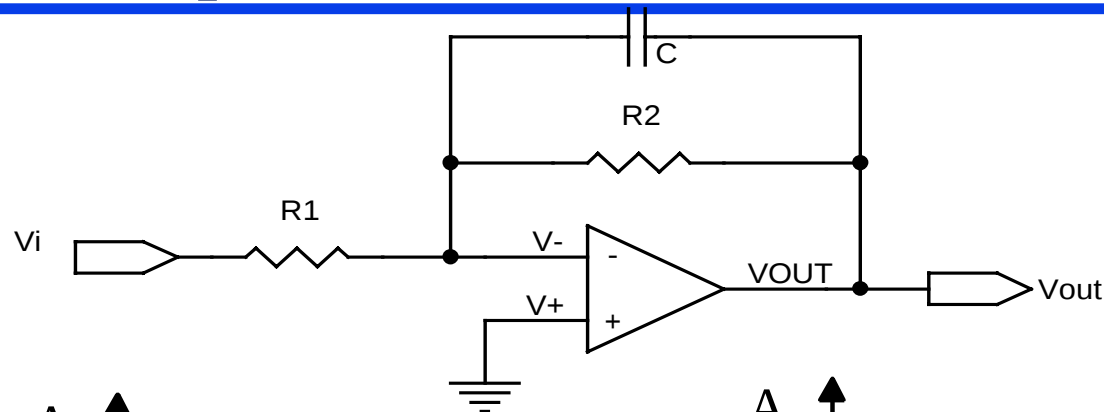
$$I = \frac{Q}{T} = f \cdot V_{pp} \cdot C$$

- ◆ Ej.: $C = 100\text{pF}$, $V_{pp} = 1\text{V}$, $f = 10\text{kHz} \Rightarrow I = 1\mu\text{A}$
=> Cuidado con nodos que excursionan a alta frecuencia.
- ◆ Valores resistencias

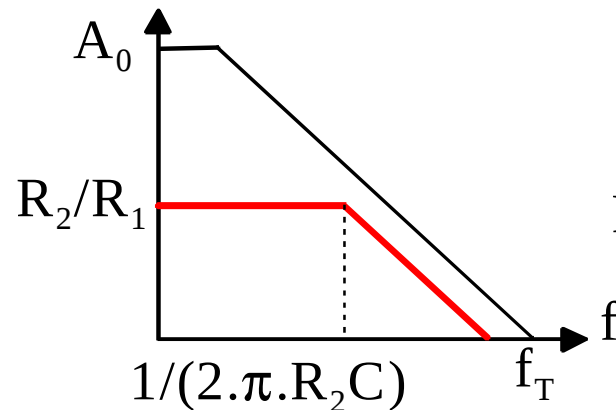


- ◆ Ej. $R = 1\text{M}\Omega$, si VOUT excursiona hasta VDD con $VDD = 3\text{V} \Rightarrow$ corriente por $R = 3\text{V} / 1\text{M}\Omega = 3\mu\text{A}$

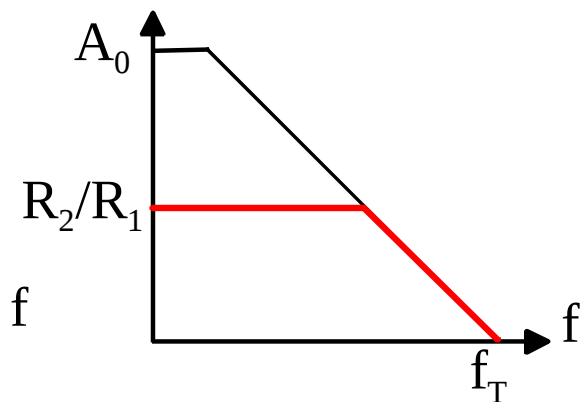
III. Optimización



Respuesta operacional



Con C



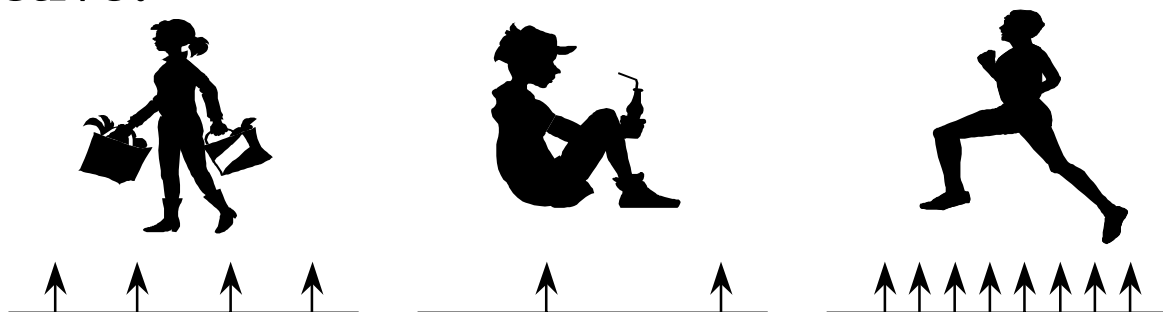
Sin C

- ◆ f_T necesario es menor
- ◆ Además polo no dominante operacional no precisa estar más allá de f_T sino de polo del sistema.

III. Ejemplo:

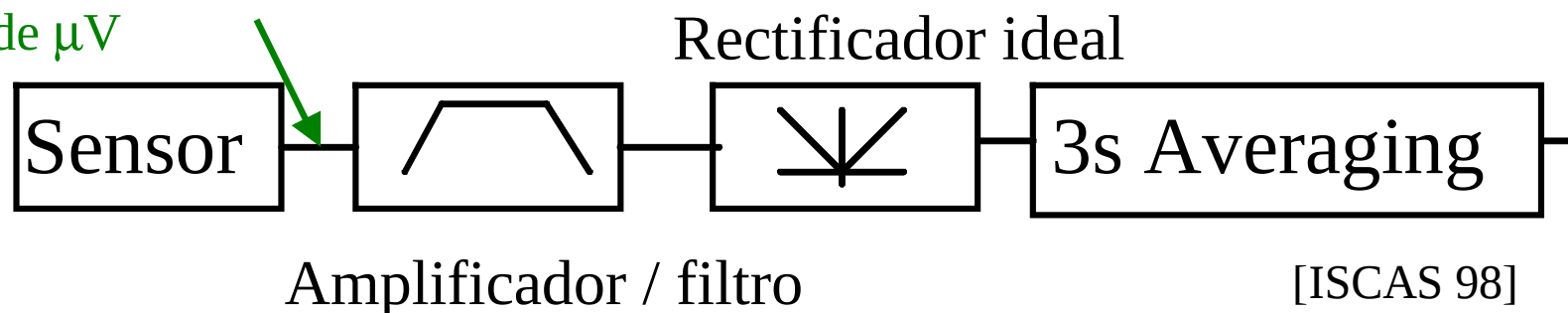
Sensado de Actividad en Marcapaso

◆ Objetivo:

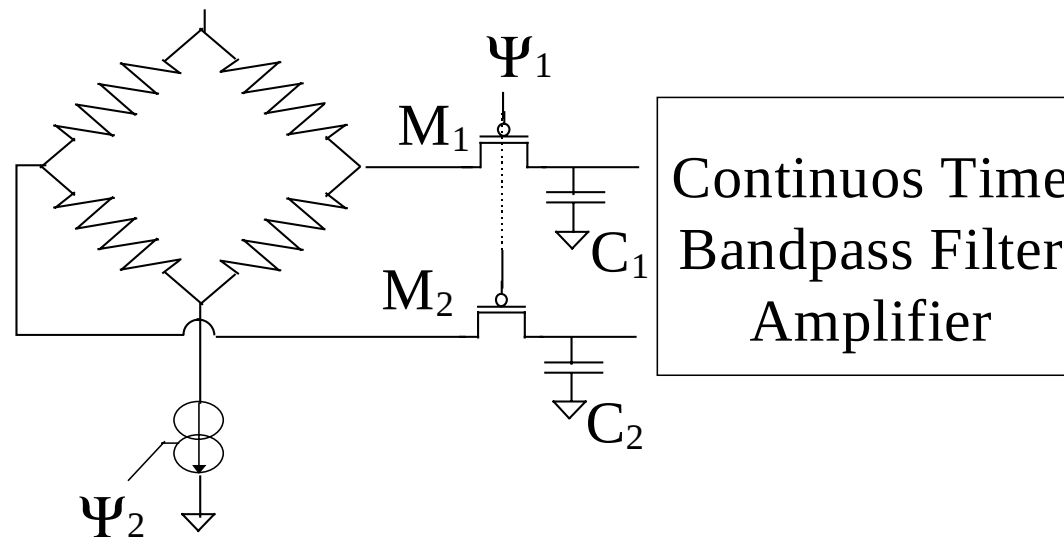


- ◆ Ej. Indicador de actividad: Promedio en 3s del valor absoluto de la aceleración en la banda de 0.5 - 7 Hz band.

Amplitud: decenas a centenas
de μV

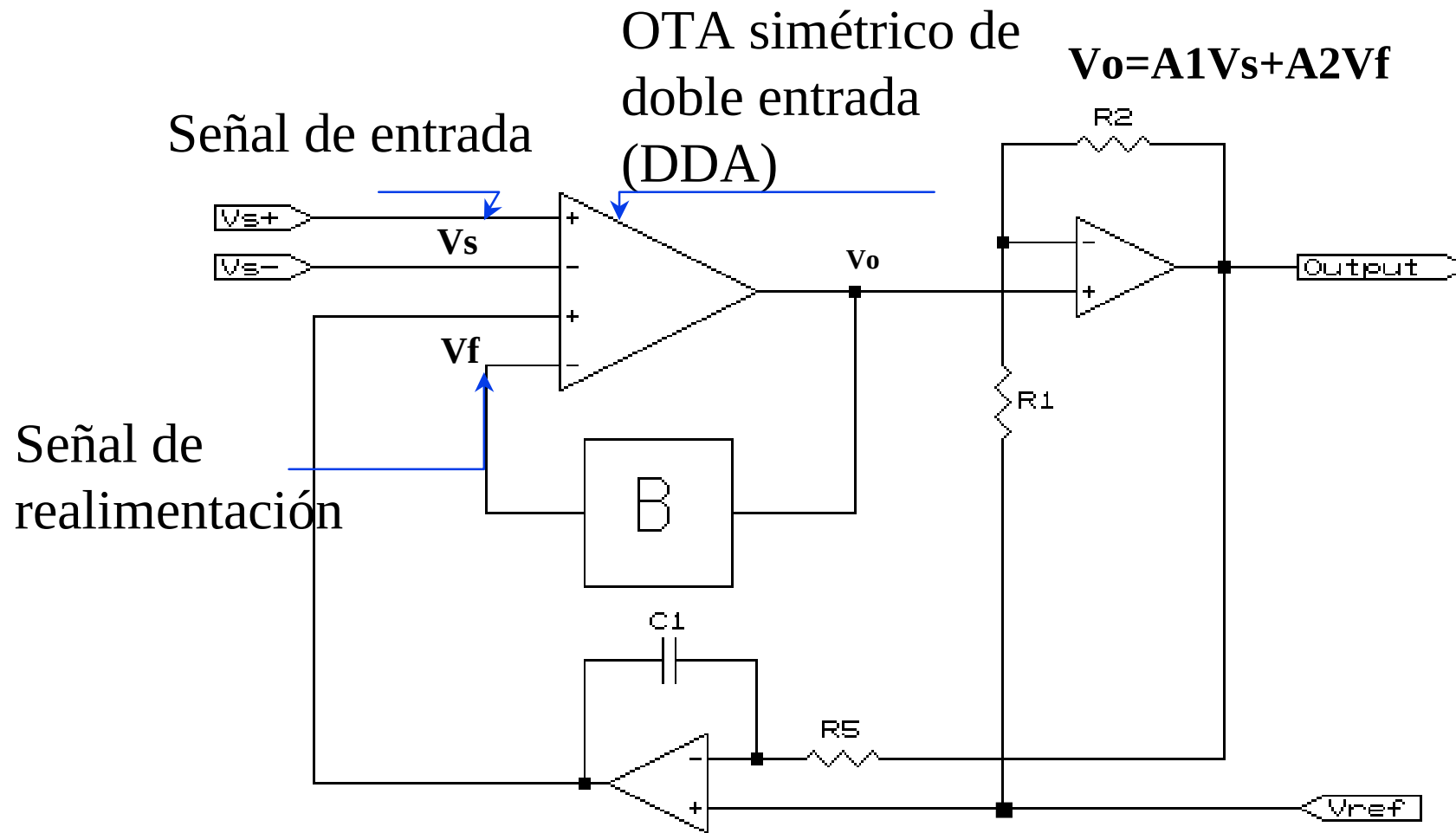


III. Acelerómetro: Interface de bajo consumo para el sensor

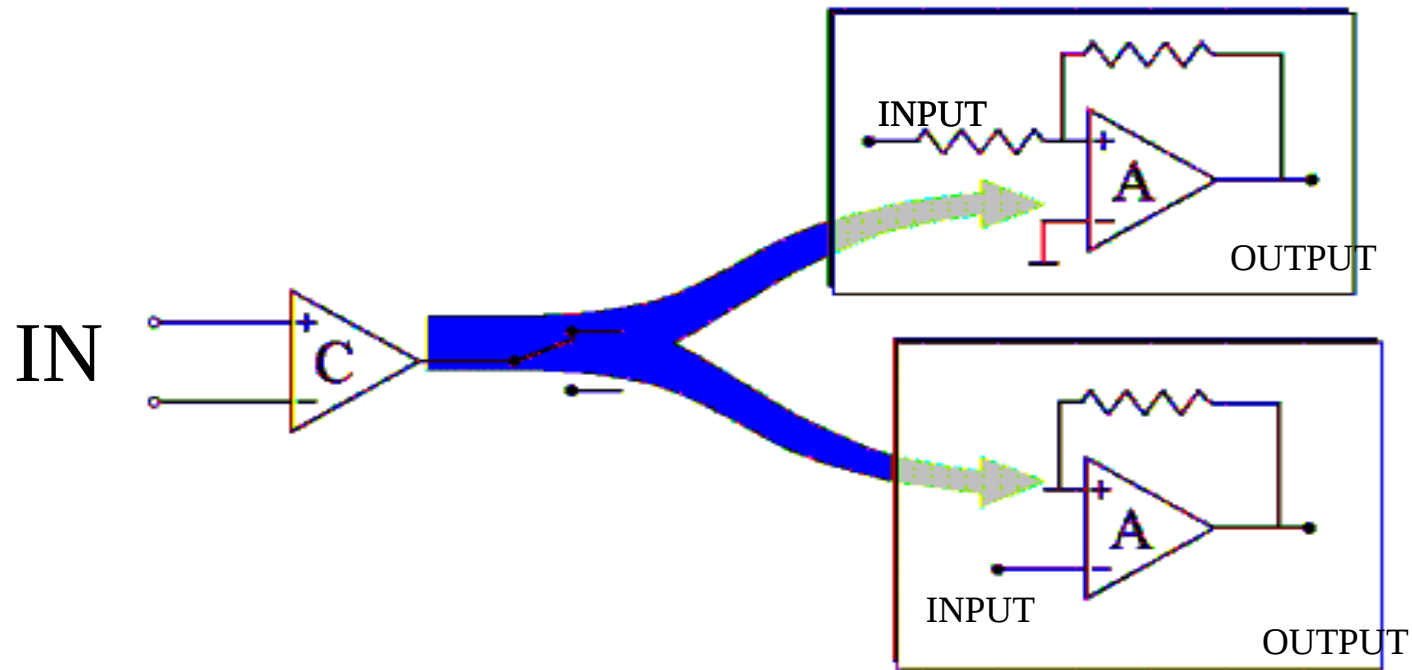


- ◆ El sensor se prende y apaga con sólo un ciclo de trabajo de 0.38% ($T_{ON}=31\mu s$, $f_{sampling}=125Hz$) $\rightarrow$ Consumo dividido por 260
- ◆ Se desarrolló una metodología para diseño del sample and hold, teniendo en cuenta los compromisos entre: resistencia, fugas, T_{sample} , T_{hold} , consumo y precisión.

III. Acelerómetro: Amplificador / Filtro Pasabanda

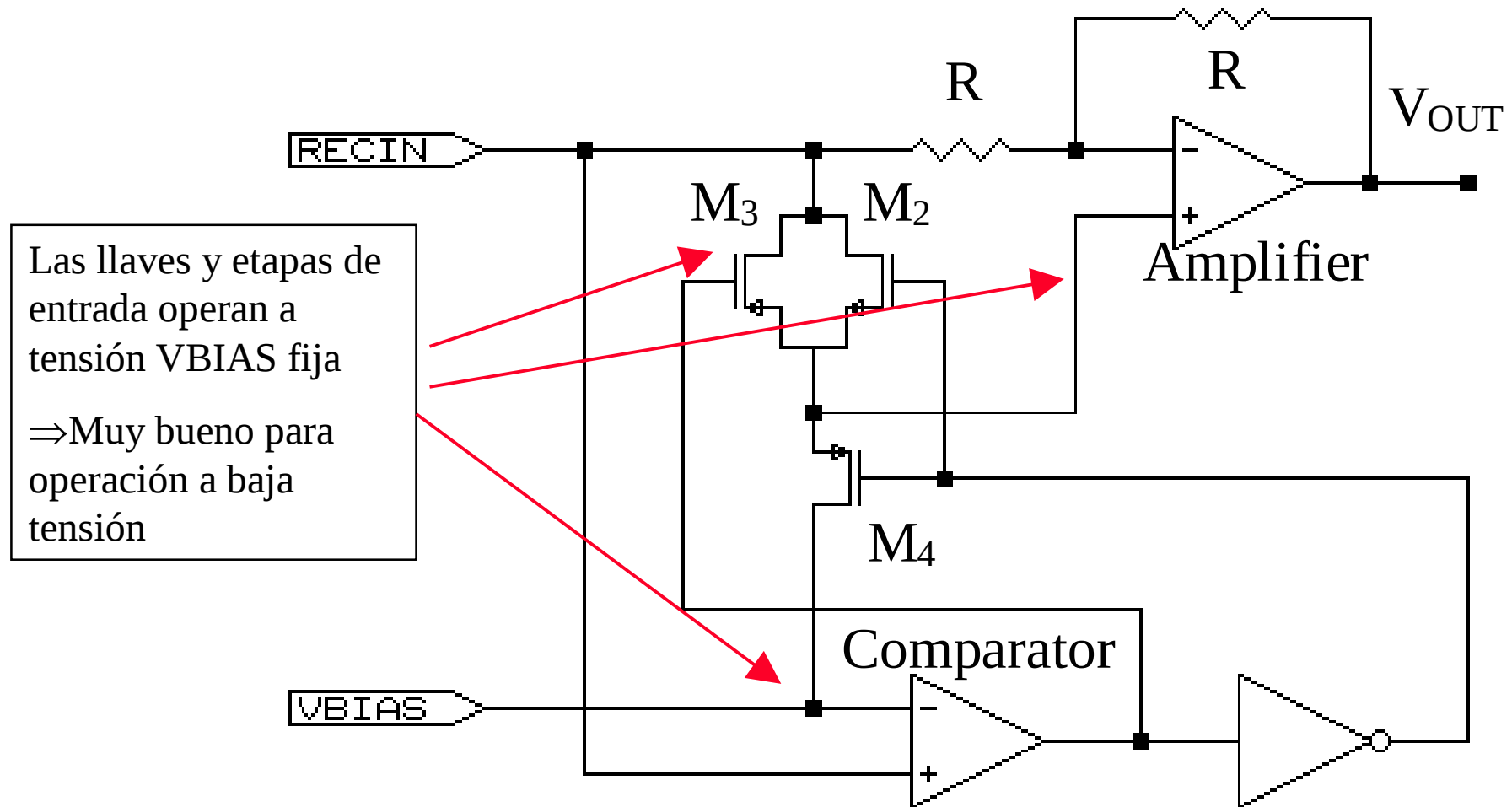


III. Acelerómetro: Rectificador Ideal: Idea Básica

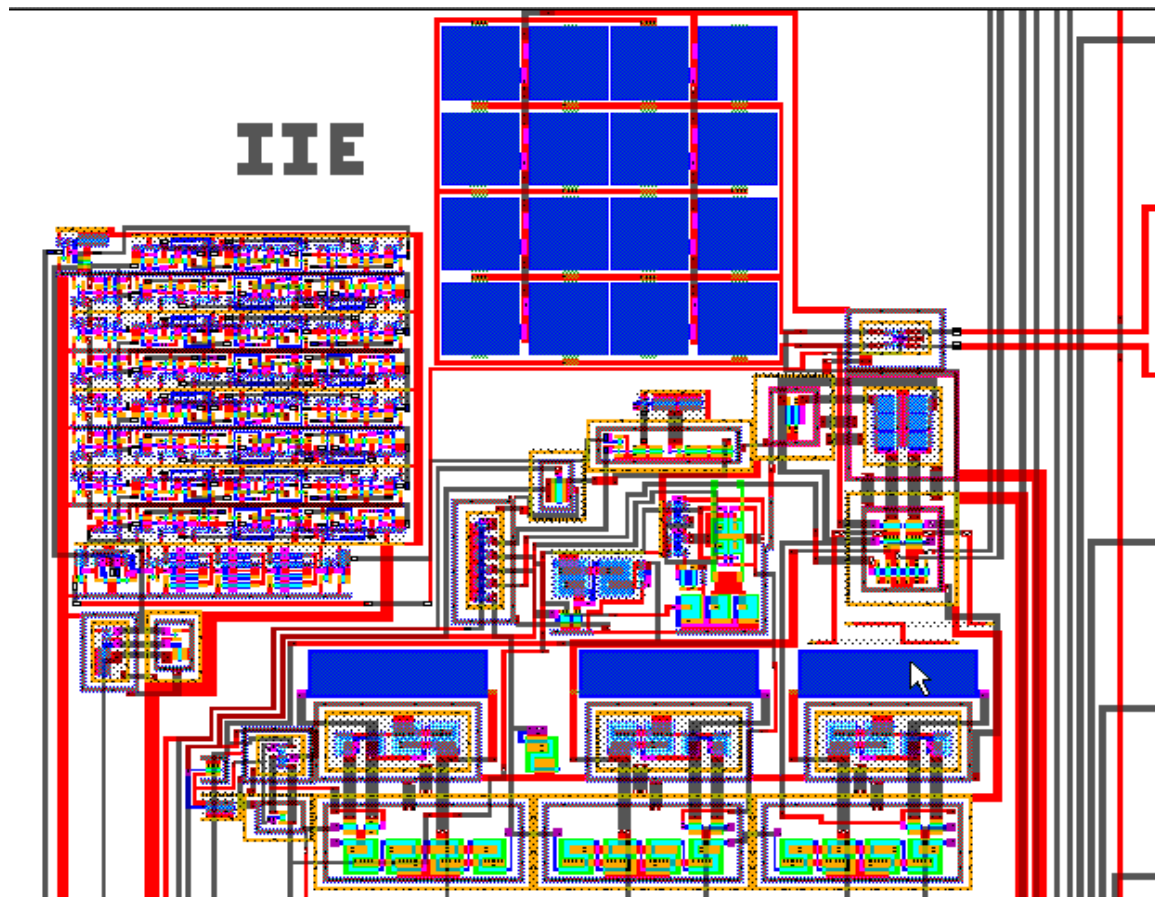


- ◆ Se controla, de acuerdo al signo de la entrada, la conexión de un amplificador como seguidor o inversor.

III. Acelerómetro: Rectificador Ideal

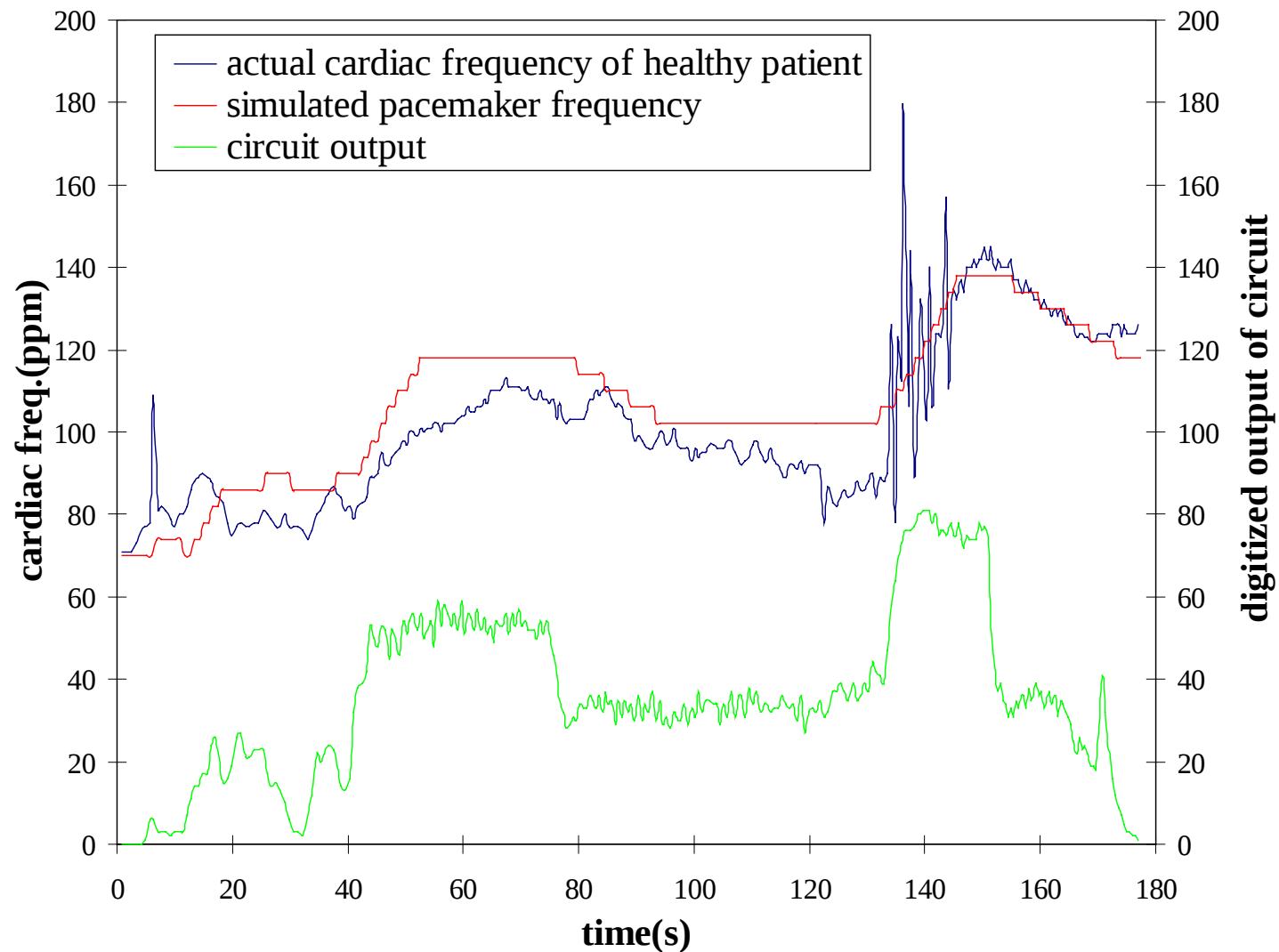


III. Acelerómetro: Layout y resultados



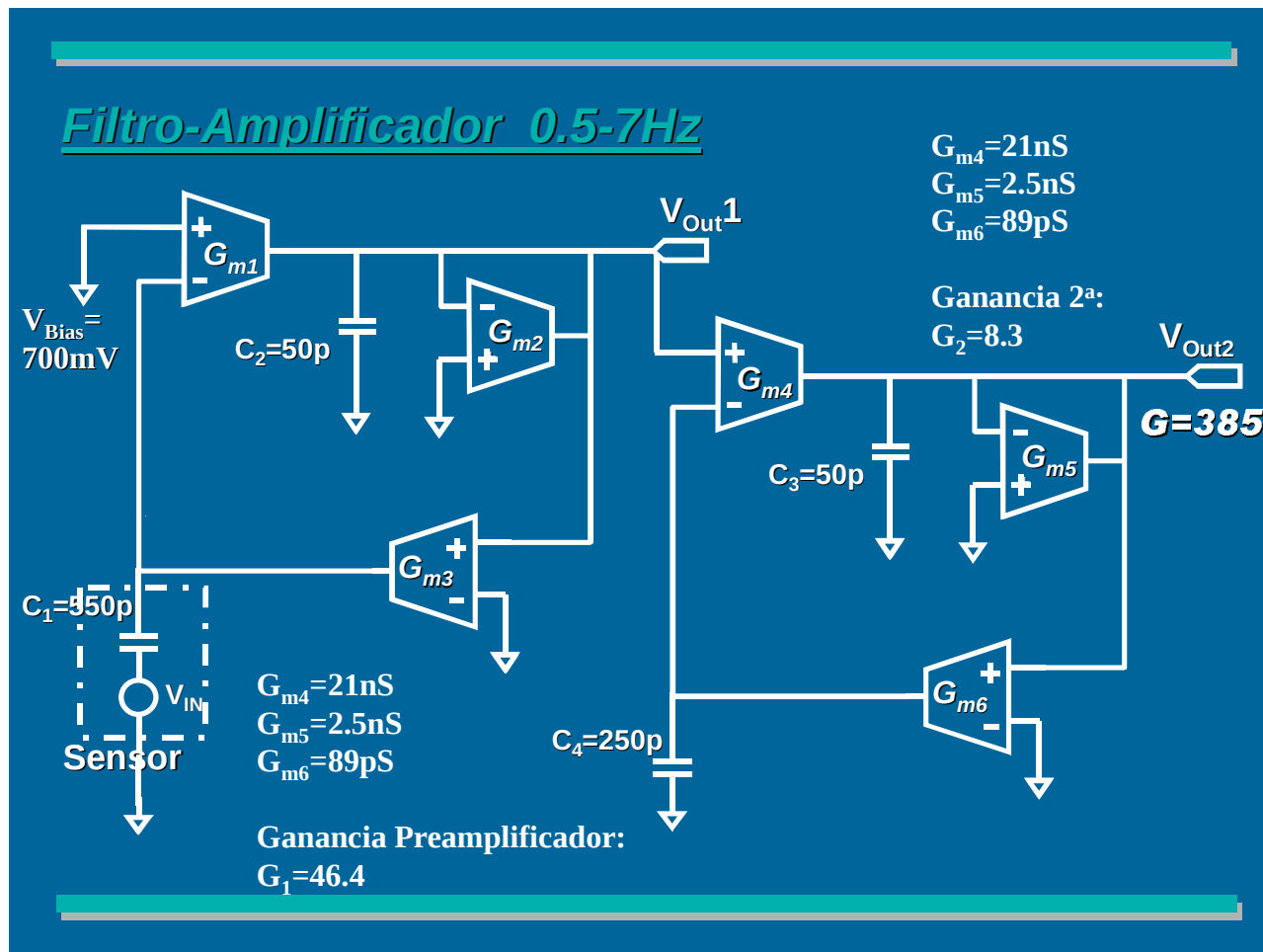
Gain	2900
Equivalent input noise (μVrms)	18
Consumption (μA)	3.4
Area (mm^2)	1.82

III. Acelerómetro: Resultados



III. Acelerómetro: Implementación Gm-C

A. Arnaud (UR), C. Galup (UFSC)



$$I_{DD} = 290nA$$

Ruido
Equivalente de
Entrada:
 $2.1\mu V_{rms}$

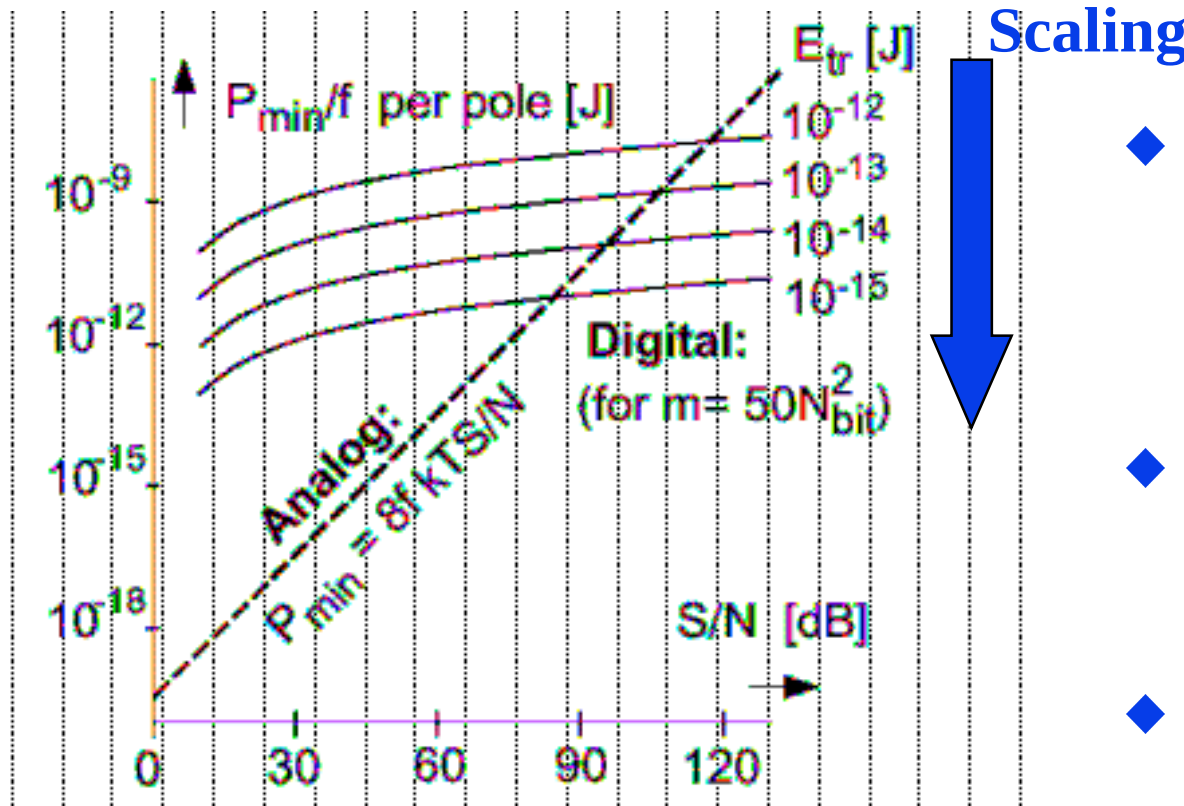
Ganancia: 390

Completamente
Integrado

Agenda

- ◆ I. Técnicas a nivel de bloque analógico.
- ◆ II. Técnicas a nivel subsistema. Procesamiento analógico ULP.
- ◆ III. Idea y ejemplos a nivel sistema.
- ◆ **IV. Conclusiones y tendencias.**

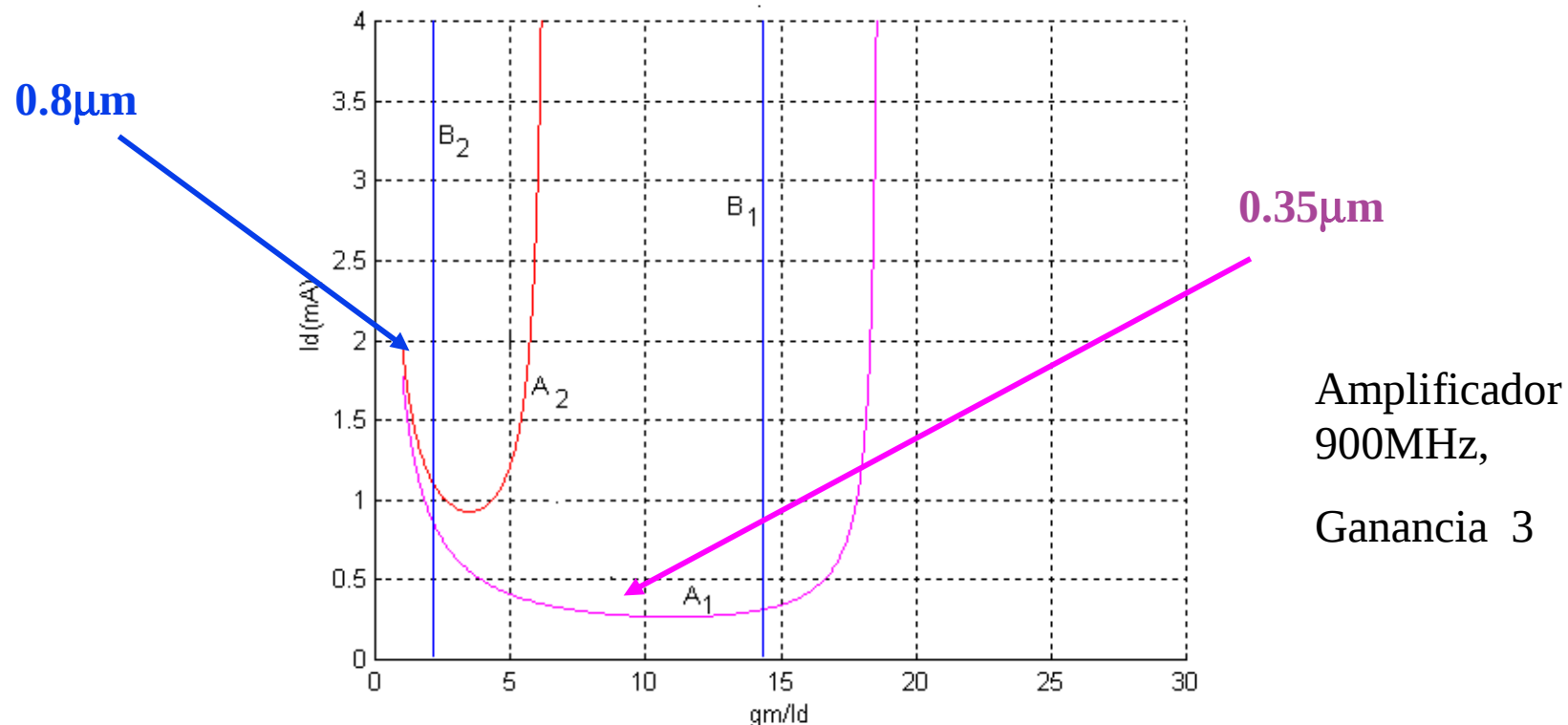
IV. Perspectivas: Digital vs. Analógico



Fuente: E. Vittoz

- ◆ Límites **teóricos** de consumo para procesamiento **Analógico y Digital**
- ◆ Analógico es mejor para relaciones S/N bajas, pero la frontera se está moviendo ...
- ◆ Marcapaso “digital” ya está presente al menos en marketing.

IV. Perspectivas: Radio Frecuencia



- ◆ Radio frecuencia (cientos de MHz) no es más “alta frecuencia” para procesos de $0.2\mu\text{m}$ y $0.1\mu\text{m}$, las técnicas ULP en inversión moderada y débil son aplicables.

IV. Conclusiones

- ◆ Circuitos ULP: Cada nA cuenta => **Metodología y Optimización**
- ◆ Entender fuentes y orígenes del consumo y atacarlas una a una.
- ◆ Campo en explosión por el aumento en las áreas tradicionales (ej. Dispositivos Médicos) más la irrupción de áreas nuevas (dispositivos “personales”, redes de sensores ...)

Agradecimientos

- ◆ A. Arnaud, M. Barú, G. Picún, O. de Oliveira, C. Rossi, P. Mazzara, H. Valdenegro, L. Reyes, P. Aguirre, L. Barboni, R. Fiorelli, **Grupo de Microelectrónica, Universidad de la República, Uruguay**
- ◆ P. Jespers, D. Flandre, **UCL, Bélgica**
- ◆ J. Arzuaga, P. Arzuaga, **CCC S.A.**

Más Información

iie.fing.edu.uy/vlsi

silveira@fing.edu.uy



¡ Gracias !