

[86.03/66.25] Dispositivos Semiconductores

1er Cuatrimestre 2020

# Amplificadores y Fuentes de Corriente

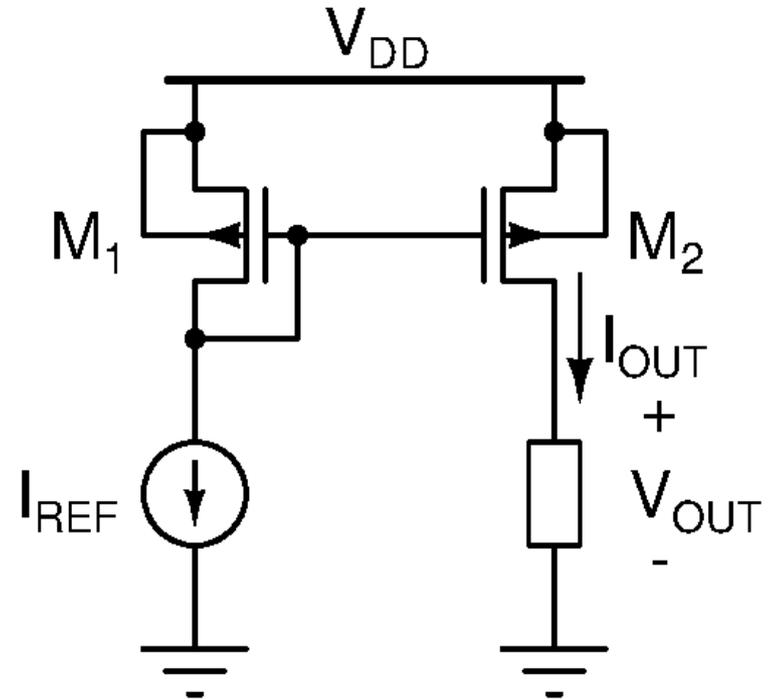
1. Cálculo de parámetros de un Amplificador Emisor Común
2. Cálculo de parámetros de un Amplificador Source Común
3. **Fuente de Corriente Espejo Simple.**

Una fuente de corriente en espejo está implementada con 2 MOSFET canal P con los siguientes parámetros:  
 $\mu C'_{ox} = 400 \mu\text{A}/\text{V}^2$ ;  $(W/L)_1 = 100$ ;  $(W/L)_2 = 125$ ;  
 $V_T = -0.8 \text{ V}$ ;  $\lambda = 0.05 \text{ V}^{-1}$ .

La tensión de alimentación de la misma es  $V_{DD} = 5 \text{ V}$ , y la corriente de referencia es  $I_{REF} = 800 \mu\text{A}$ .

Determinar el valor de la corriente de salida ( $I_{OUT}$ ) y el rango de tensión de salida de funcionamiento del circuito como fuente de corriente.

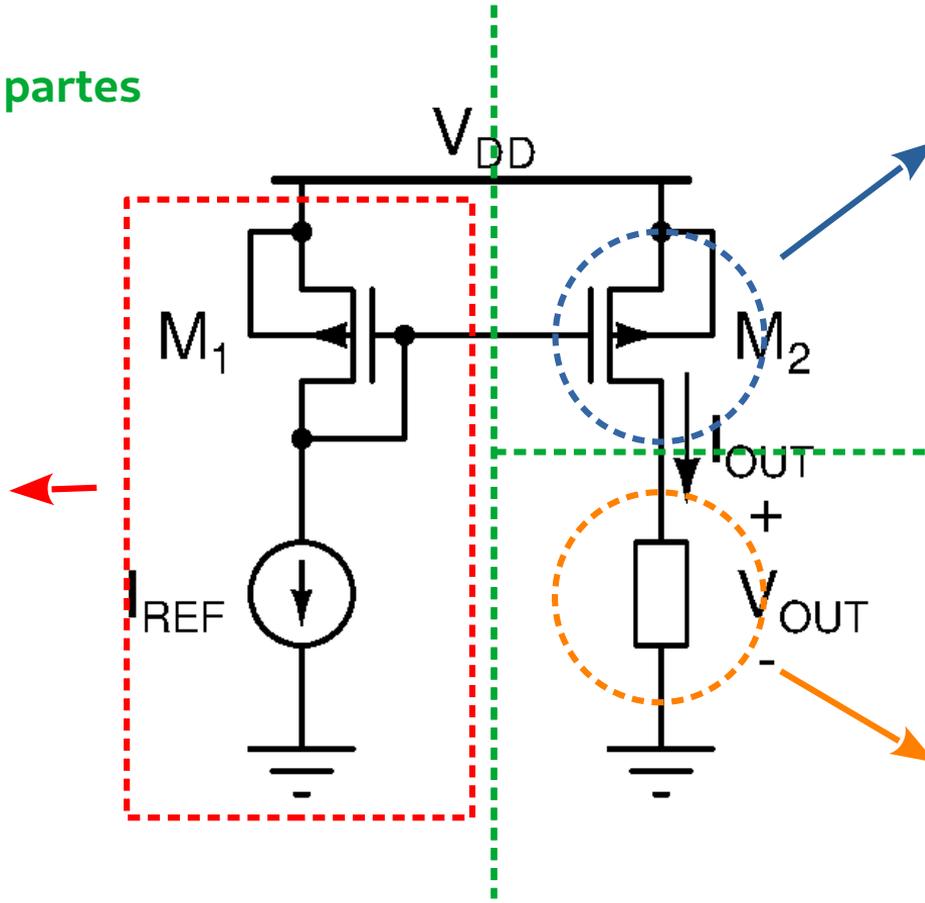
Antes de empezar...  
**¿Cómo funciona esta fuente de corriente?**



# Antes de empezar... ¿Cómo funciona esta fuente de corriente?

Podemos diferenciar 3 partes

**La referencia de tensión**  
Es un circuito encargado de fijar una tensión para que  $M_2$  fije la corriente deseada. Este circuito puede ser muy complejo.



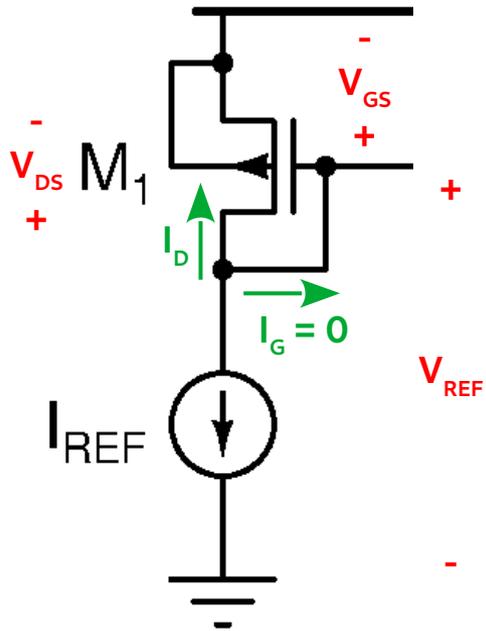
**La fuente de corriente**  
Es el transistor que fija la corriente en la rama de salida.

**La carga**  
Cualquier elemento que se conecte a la salida, por donde se fuerza la corriente. Puede ser una resistencia, o cualquier otro elemento/circuito

## Resolvamos la referencia de tensión...

Datos	
$\mu C'_{OX}$	$= 400 \mu A/V^2$
$(W/L)_1$	$= 100; (W/L)_2 = 125$
$V_T$	$= -0.8 V; \lambda = 0.05 V^{-1}$
$V_{DD}$	$= 5 V; I_{REF} = 800 \mu A$

Se trata de un transistor conectado en modo diodo al que se le fuerza una corriente  $I_{REF}$ .



**Modo diodo:**  $V_G = V_D \rightarrow V_{GS} = V_{DS} \rightarrow V_{DS} < V_{GS} - V_T$  *siempre*

- Si  $I_D = 0 \rightarrow$  Corte
- Si  $I_D \neq 0 \rightarrow$  Saturación

**Resolviendo el nodo de Drain:**

- $I_D + I_G + I_{REF} = 0 \rightarrow I_D = -I_{REF} \neq 0 \rightarrow$  Saturación

**Despreciando el efecto de modulación:**

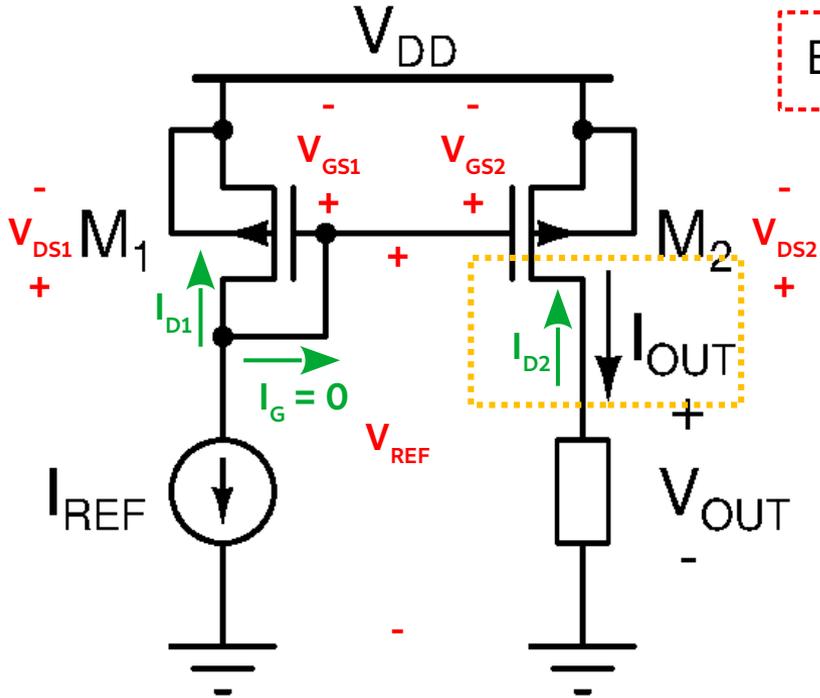
$$V_{GS} = V_T - \sqrt{\frac{I_{REF}}{\mu C'_{OX}} \left( \frac{L}{W} \right)_1} = -1 V \Rightarrow V_{REF} = V_{DD} + V_{GS} = 5 V - 1 V = 4 V$$

# ¿Cuál es la corriente de salida?

Referencia
$V_{GS1} = -1 \text{ V}$
$V_{REF} = 4 \text{ V}$

Datos
$\mu C'_{ox} = 400 \mu\text{A/V}^2$
$(W/L)_1 = 100; (W/L)_2 = 125$
$V_T = -0.8 \text{ V}; \lambda = 0.05 \text{ V}^{-1}$
$V_{DD} = 5 \text{ V}; I_{REF} = 800 \mu\text{A}$

Es fundamental notar que  $V_{GS1} = V_{GS2}$



*Transistores iguales con mismas tensiones, tienen mismas corrientes*

**M1 y M2 sólo difieren en la geometría (W/L)**

$$\frac{I_{D1}}{(W/L)_1} = \frac{I_{D2}}{(W/L)_2} = -\frac{\mu C'_{ox}}{2} (V_{GS} - V_T)^2 = -8 \mu\text{A}$$

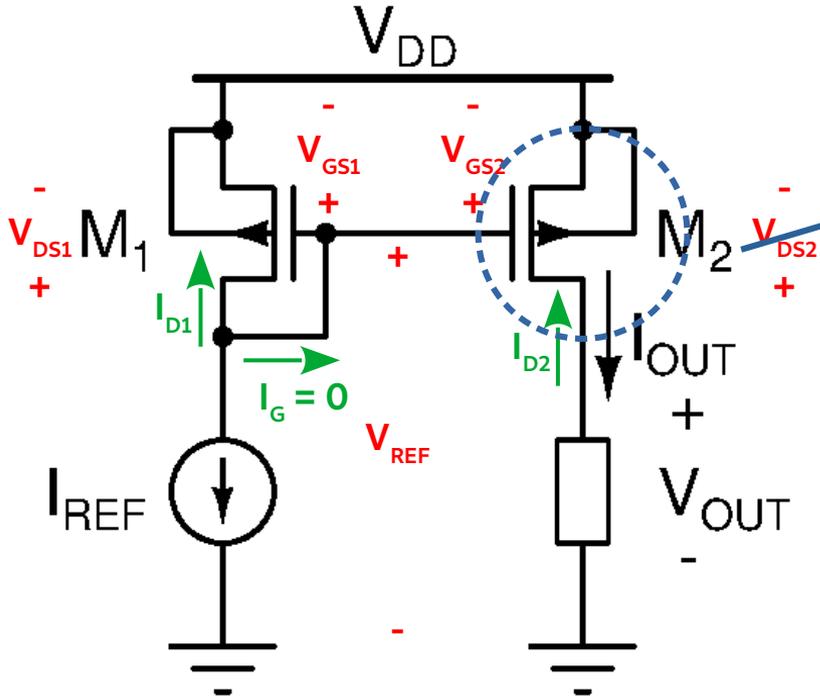
$$I_{D2} = (W/L)_2 \times \frac{I_{D1}}{(W/L)_1} = -125 \times 8 \mu\text{A} = -1 \text{ mA}$$

**Pero ojo que...**

- $I_{OUT} = -I_{D2}$

→  $I_{OUT} = 1 \text{ mA}$

# ¿Cuál es el rango de tensión de salida?



Referencia
$V_{GS1} = -1 \text{ V}$
$V_{REF} = 4 \text{ V}$
$I_{OUT} = 1 \text{ mA}$

Datos
$\mu C'_{ox} = 400 \mu\text{A/V}^2$
$(W/L)_1 = 100; (W/L)_2 = 125$
$V_T = -0.8 \text{ V}; \lambda = 0.05 \text{ V}^{-1}$
$V_{DD} = 5 \text{ V}; I_{REF} = 800 \mu\text{A}$

Para que la copia de corriente funcione,  $M_2$  debe trabajar en régimen de saturación

$$V_{DS2} = V_{OUT} - V_{DD} < V_{DS_{sat}} = V_{GS} - V_T = -0.2 \text{ V}$$

$$\Rightarrow V_{OUT} < V_{DD} + V_{DS_{sat}} = 5 \text{ V} - 0.2 \text{ V} = 4.8 \text{ V}$$

En este caso no existe un límite inferior impuesto por  $M_2$

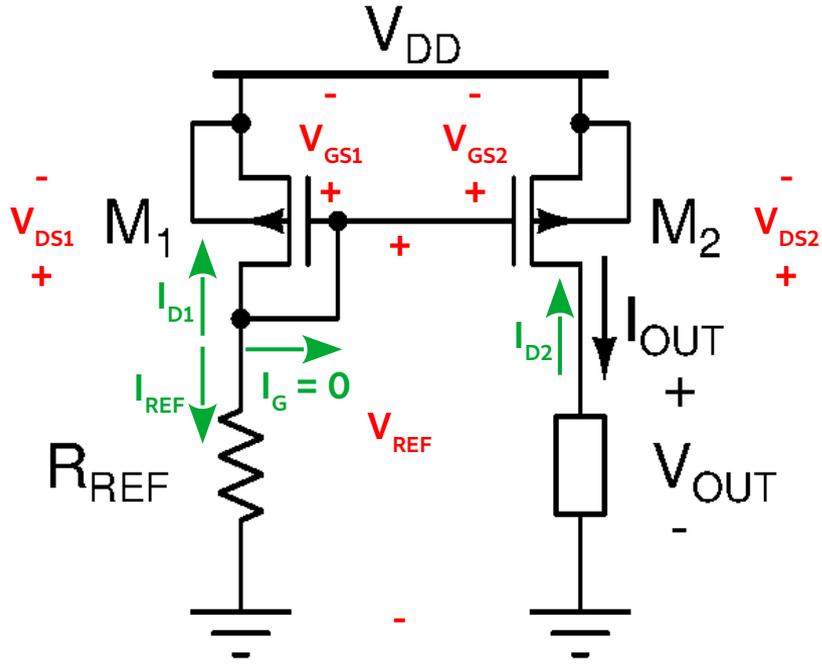
$$0 \leq V_{OUT} < 4.8 \text{ V}$$

Si la carga fuese una  $R$ , su valor máximo sería

$$R < \frac{V_{OUT, \max}}{I_{OUT}} = \frac{4.8 \text{ V}}{1 \text{ mA}} = 4.8 \text{ k}\Omega$$



## Bonus Track II: ¿Cómo implementar $I_{REF}$ ?



### Referencia

$$V_{GS1} = -1 \text{ V}$$

$$V_{REF} = 4 \text{ V}$$

$$I_{OUT} = 1 \text{ mA}$$

### Datos

$$\mu C'_{OX} = 400 \mu\text{A/V}^2$$

$$(W/L)_1 = 100; (W/L)_2 = 125$$

$$V_T = -0.8 \text{ V}; \lambda = 0.05 \text{ V}^{-1}$$

$$V_{DD} = 5 \text{ V}; I_{REF} = 800 \mu\text{A}$$

*La forma más sencilla es reemplazar la fuente por una resistencia.*

(aunque existen muchas formas distintas)

$$V_R = V_{REF} = R_{REF} \cdot I_{REF} \Rightarrow R_{REF} = \frac{V_{REF}}{I_{REF}} = \frac{4 \text{ V}}{800 \mu\text{A}} = 5 \text{ k}\Omega$$

Si no conocemos  $I_{REF}$ , hay que resolver la malla de referencia

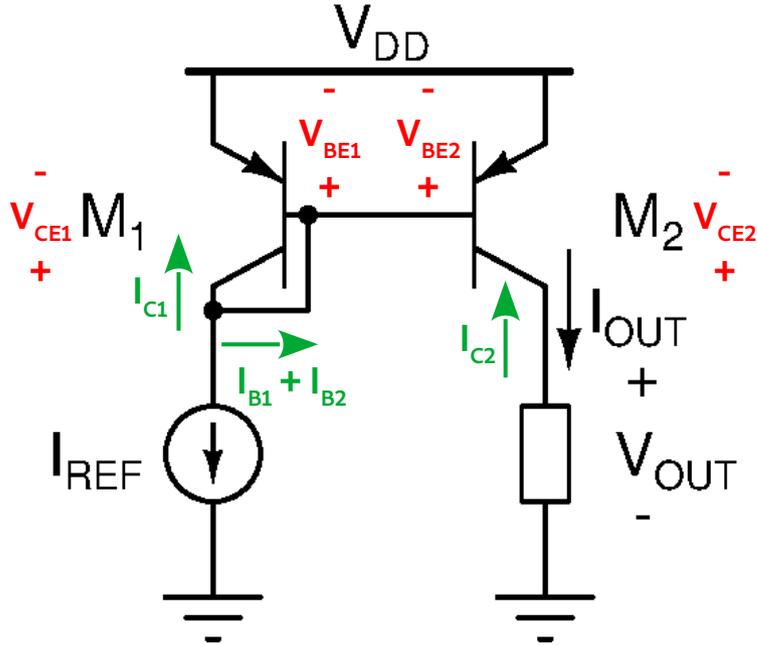
$$V_{DD} + V_{GS} - V_{REF} = 0$$

$$V_{DD} + V_{GS} - I_{REF} \cdot R_{REF} = 0$$

$$V_{DD} + V_{GS} + I_D \cdot R_{REF} = 0$$

$$I_D = -\frac{\mu C'_{OX}}{2} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_T)^2$$

## Bonus Track III: ¿Puedo hacerlo con TBJ?



- $V_{BE1} = V_{BE2} \rightarrow J_{C1} = J_{C2}$
- $I_C = A J_C$
- $I_{REF} + I_{C1} + I_{B1} + I_{B2} = 0$
- **En MAD:**  $I_C = \beta I_B$

$$I_{REF} + I_{C1} + I_{C1}/\beta + I_{C2}/\beta = 0$$

$$I_{C2} = A_2 J_C = A_2 I_{C1}/A_1$$

$$I_{REF} + I_{C1} \left( 1 + \frac{1}{\beta} \left( 1 + \frac{A_2}{A_1} \right) \right) = 0 \Rightarrow I_{C1} \approx I_{REF}$$