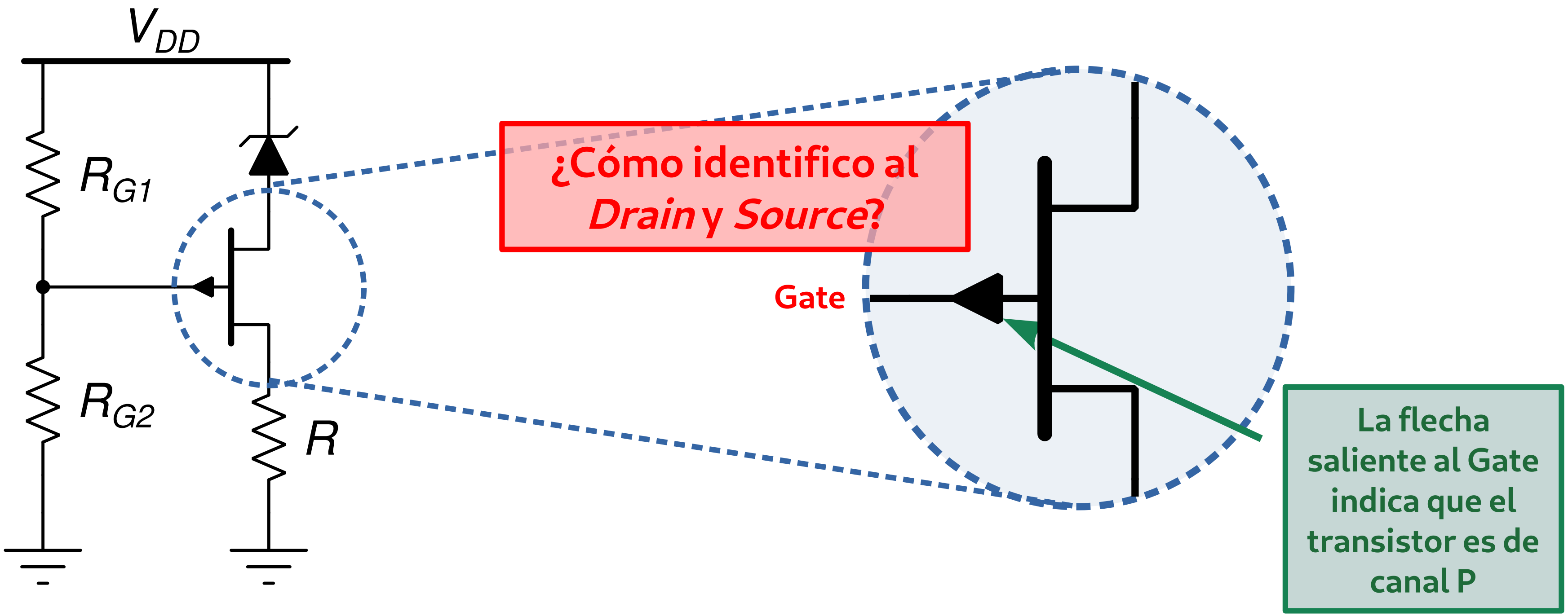
[86.03/66.25] Dispositivos Semiconductores

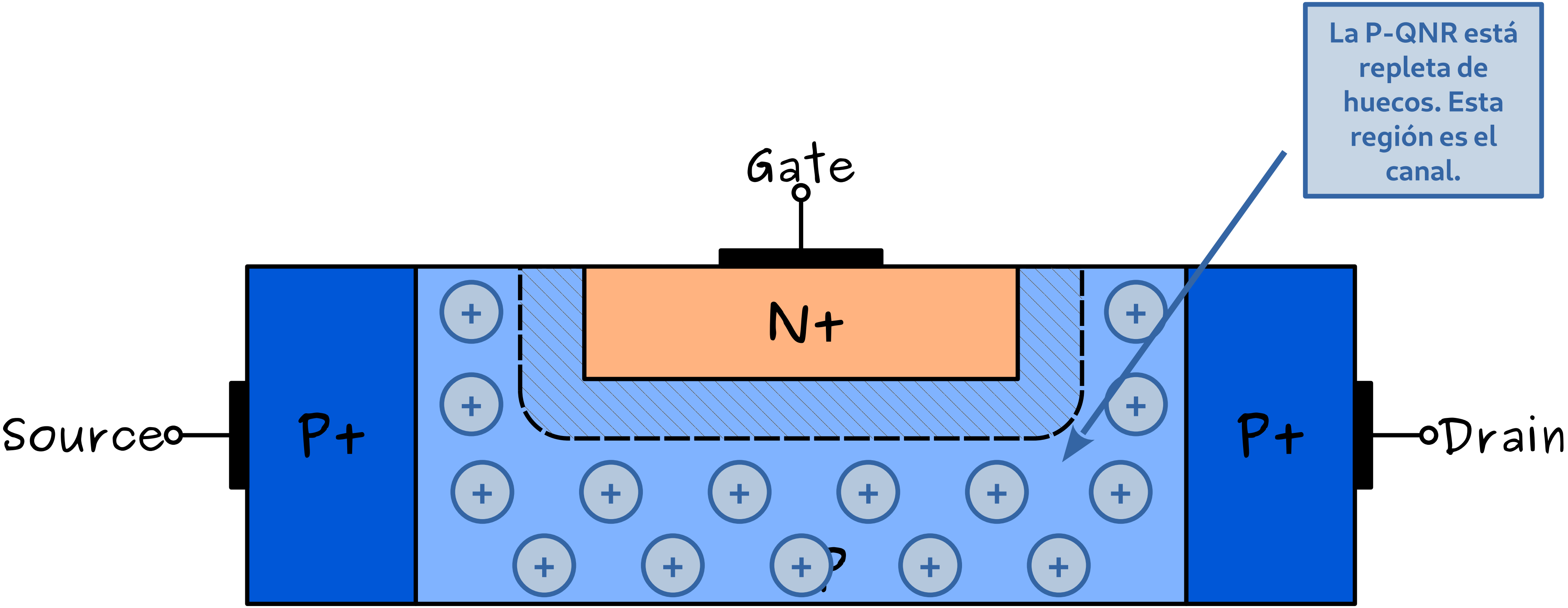
Transistor JFET

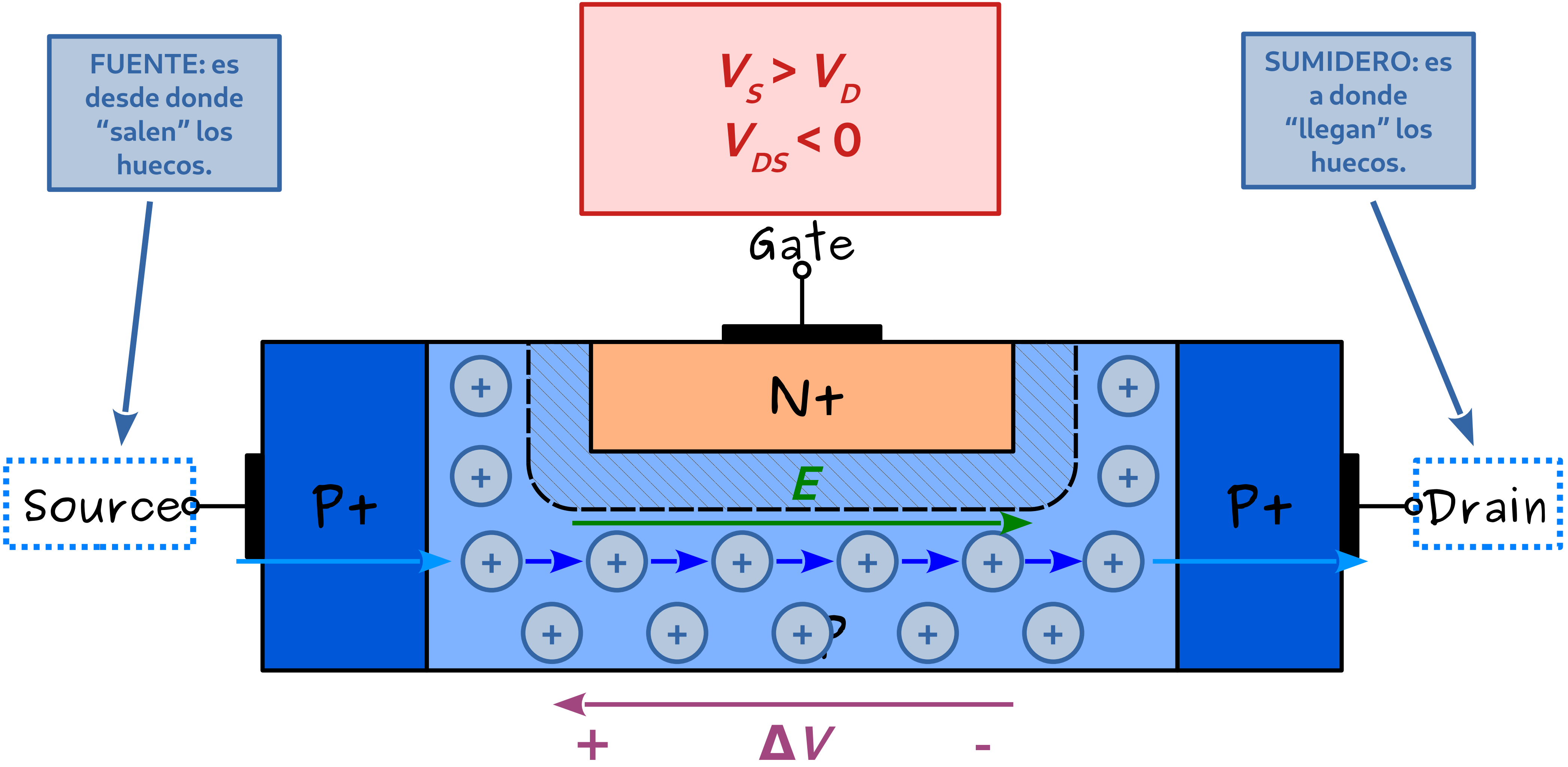
Transistor Canal P: Polarización

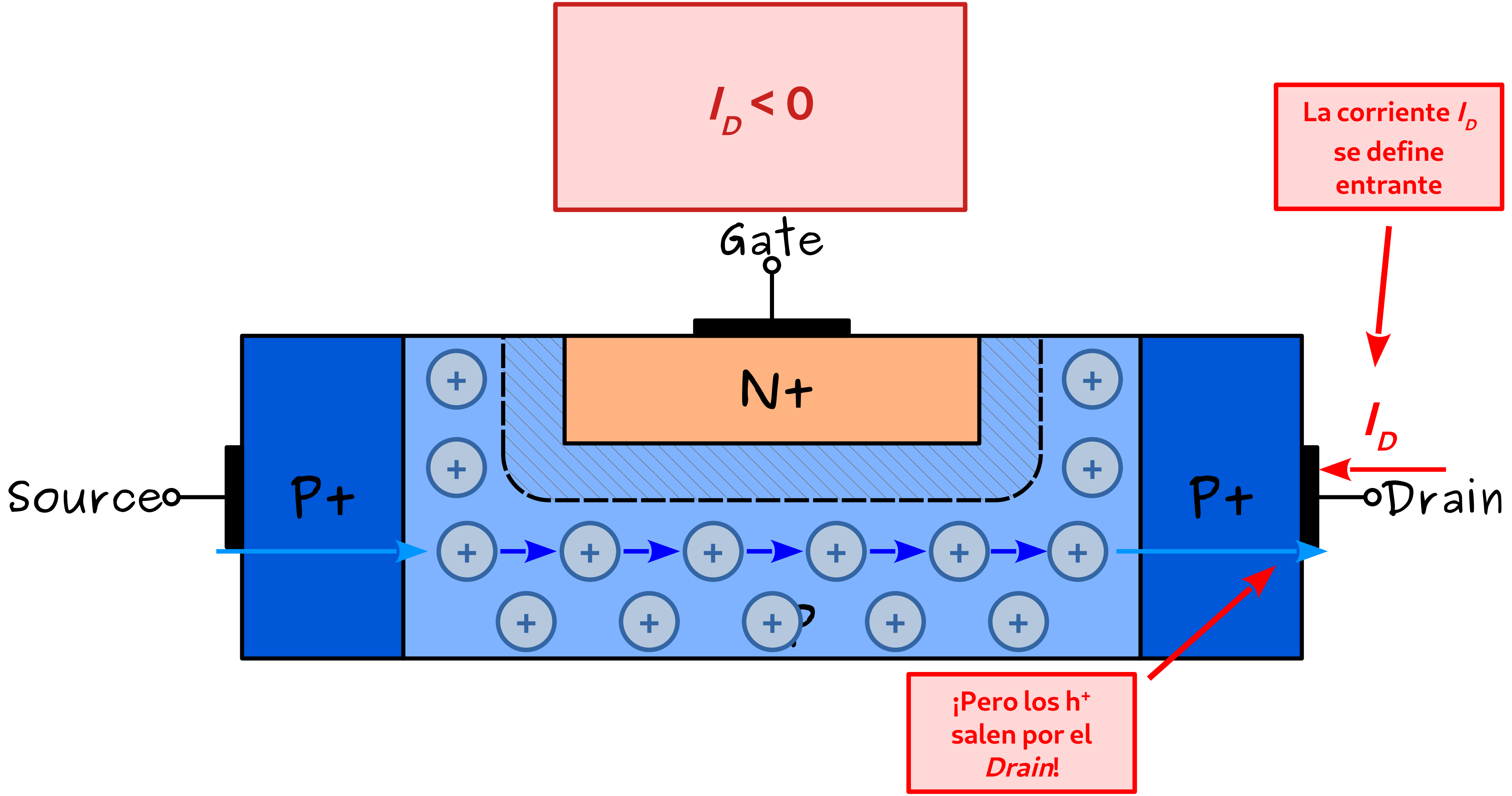
Un transistor JFET de canal P con parámetros V_P = 1,5 V; I_{DSS} = 10 mA; y λ = 0,02 V^{-1}; forma parte del siguiente circuito donde V_{DD} = 5 V; R_{G1} = 1 MΩ; R_{G2} = 2 MΩ y R = 500 Ω. El diodo Zener del circuito tiene una tensión V_Z = 2,4 V con I_{Zmin} = 10µA y I_{Zmax} = 400mA.

- Hallar el punto de polarización del transistor.

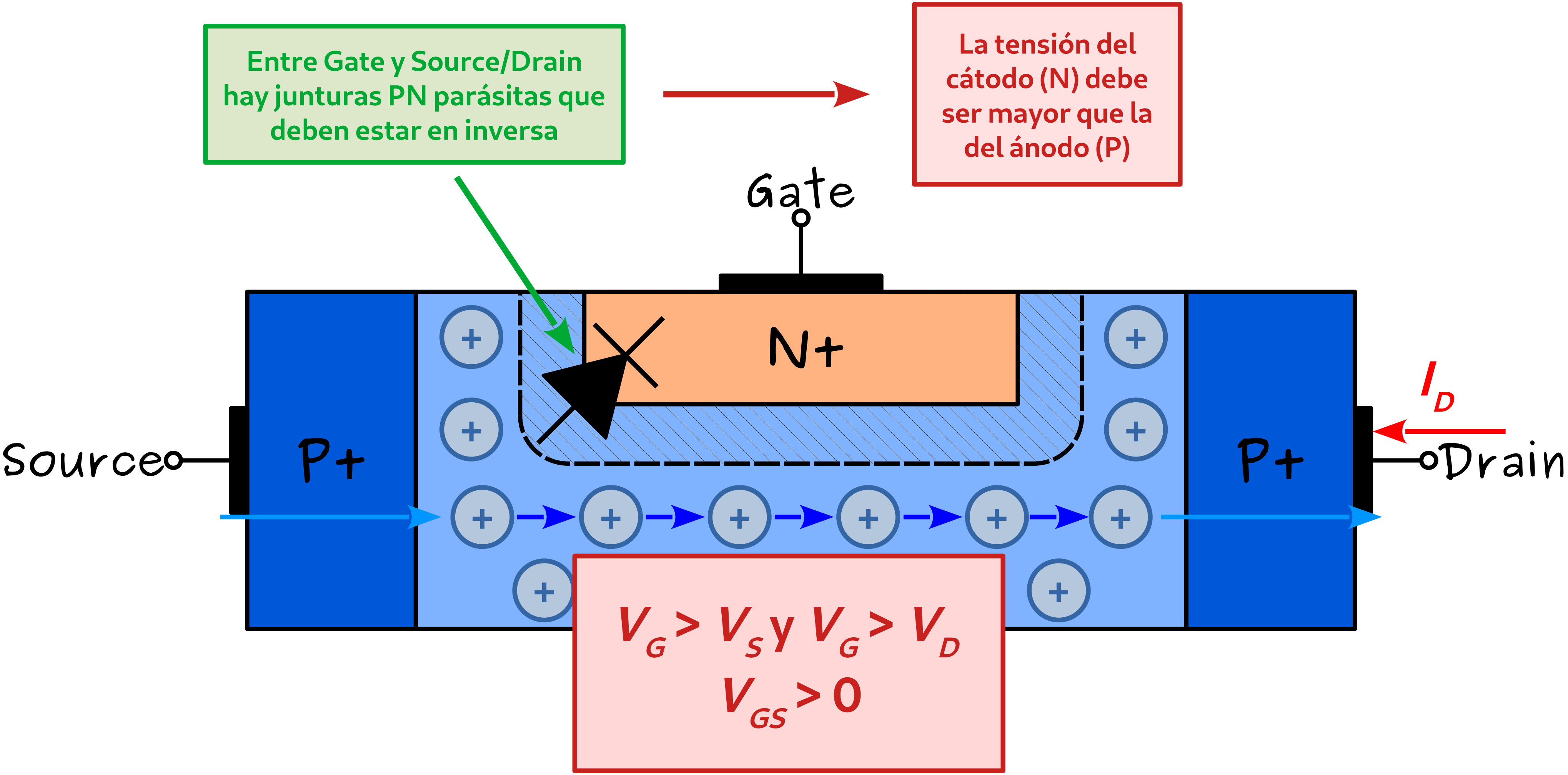


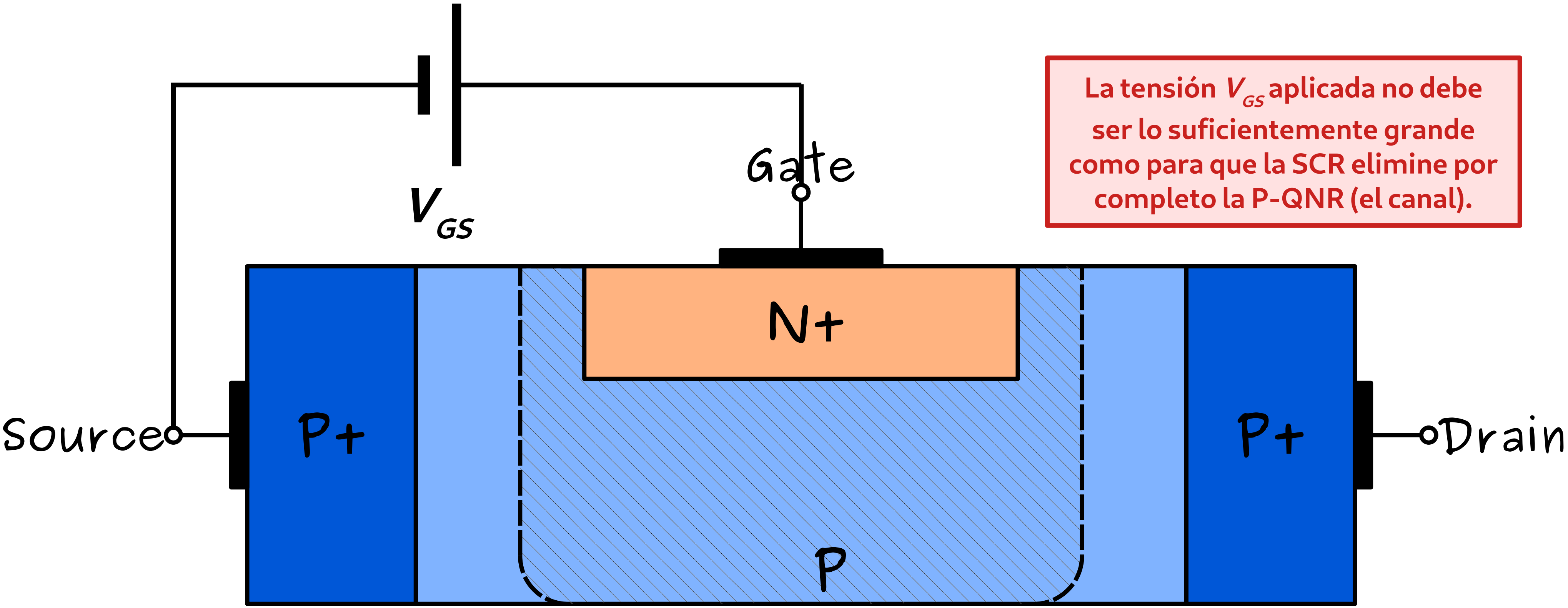

La P-QNR está repleta de huecos. Esta región es el canal.
Gate
N+
Source
P+
P+
Drain


FUENTE: es desde donde "salen" los huecos.
$V_S > V_D$
$V_{DS} < 0$
SUMIDERO: es a donde "llegan" los huecos.
Gate
Source
Drain
P+
N+
E
P+
P
+
ΔV
-

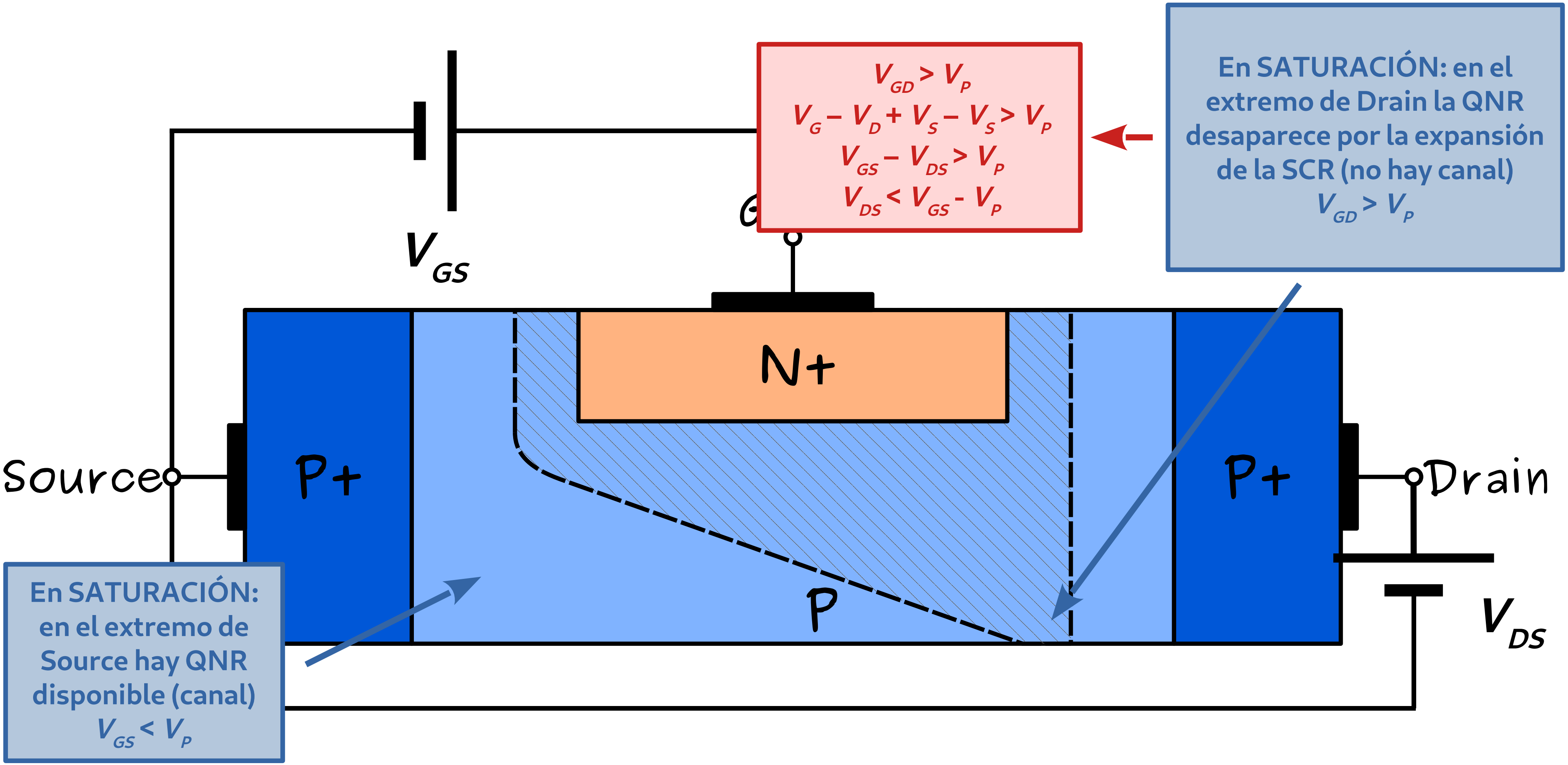


$I_D < 0$
La corriente I_D se define entrante
Gate
N+
P+
P+
Source
Drain
I_D
¡Pero los h^+ salen por el *Drain*!


Entre Gate y Source/Drain hay junturas PN parásitas que deben estar en inversa
La tensión del cátodo (N) debe ser mayor que la del ánodo (P)
Gate
N+
Source
P+
P+
Drain
I_D
$V_G > V_S$ y $V_G > V_D$
$V_{GS} > 0$

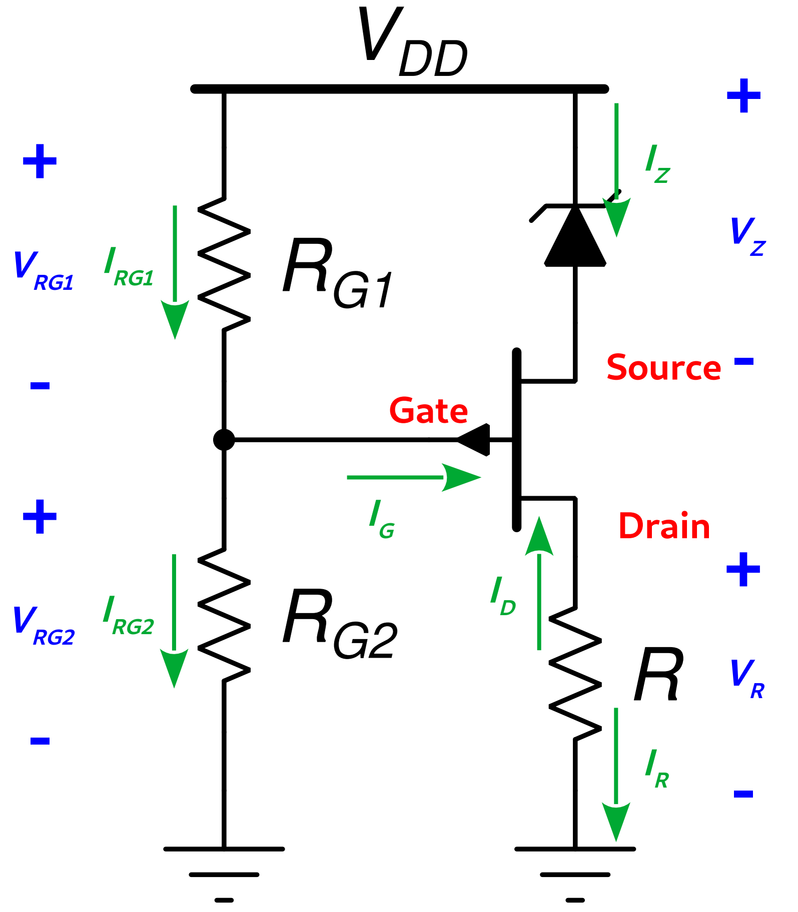


La tensión V_{GS} aplicada no debe ser lo suficientemente grande como para que la SCR elimine por completo la P-QNR (el canal).



$V_{GD} > V_P$
$V_G - V_D + V_S - V_S > V_P$
$V_{GS} - V_{DS} > V_P$
$V_{DS} < V_{GS} - V_P$
En SATURACIÓN: en el extremo de Drain la QNR desaparece por la expansión de la SCR (no hay canal)
$V_{GD} > V_P$
V_{GS}
N+
Source
P+
P+
Drain
P
V_{DS}
En SATURACIÓN: en el extremo de Source hay QNR disponible (canal)
$V_{GS} < V_P$

Referencias



$V_S > V_D\ (V_{DS} < 0)$

$I_D < 0$

$0 < V_{GS} < V_P\ (V_P > 0)$

Sat: $V_{GS} < V_P$; $V_{DS} < V_{GS} - V_P$

<u>Transistor MOS canal P</u>

$V_P = 1{,}5$ V

$I_{DSS} = 10$ mA

$\lambda = 0{,}02\ V^{-1}$

$V_{DD} = 5$ V; $R = 500\ \Omega$

$R_{G1} = 1\ M\Omega$; $R_{G2} = 2\ M\Omega$

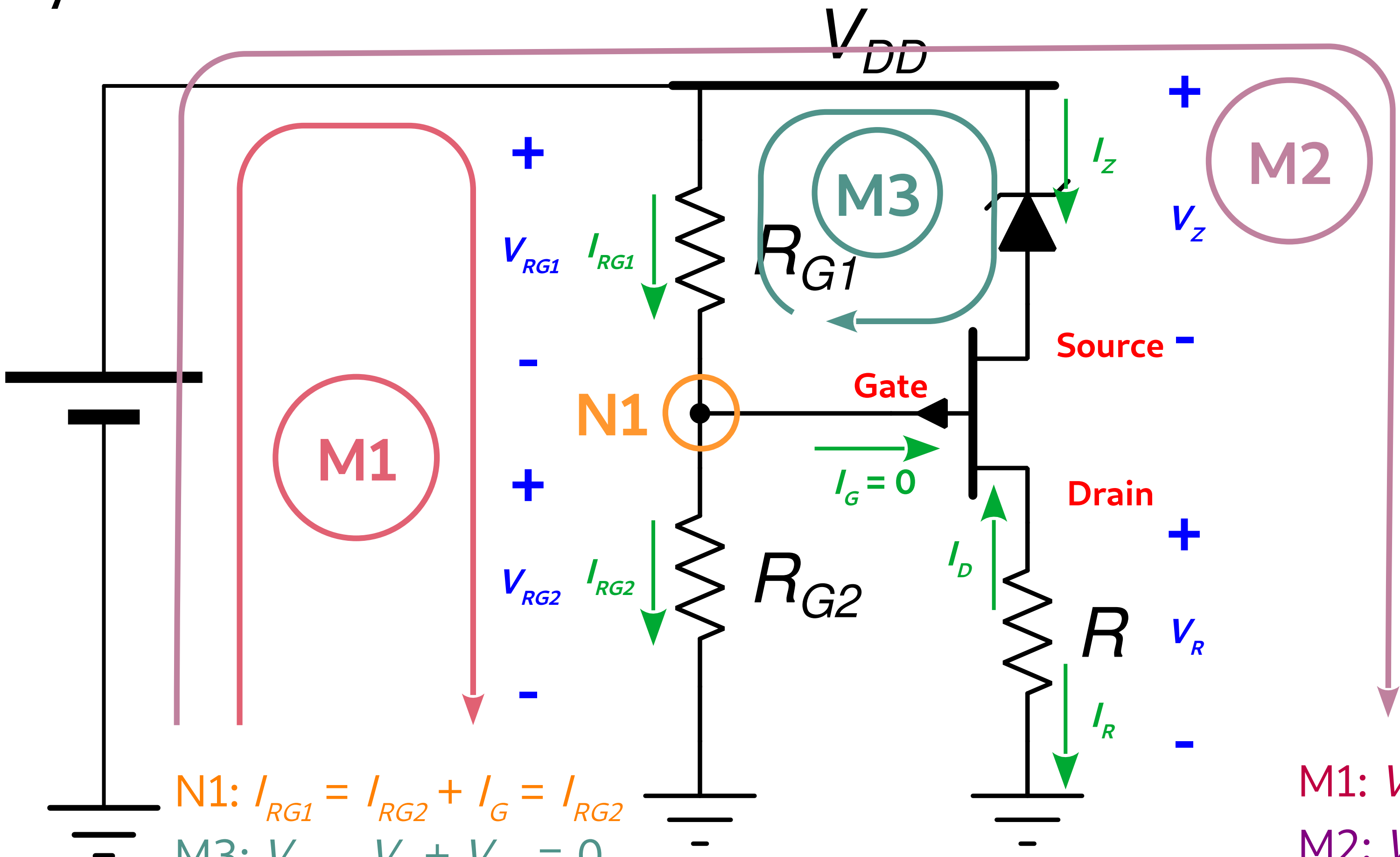
<u>Diodo Zener</u>

$V_Z = 2{,}4$ V

$I_{Zmin} = 10\ \mu A$

$I_{Zmax} = 400$ mA

Leyes de Kirchoff



$V_S > V_D\,(V_{DS} < 0)$

$I_D < 0$

$0 < V_{GS} < V_P\,(V_P > 0)$

Sat: $V_{GS} < V_P$; $V_{DS} < V_{GS} - V_P$

Transistor MOS canal P

$V_P = 1{,}5\ \text{V}$

$I_{DSS} = 10\ \text{mA}$

$\lambda = 0{,}02\ \text{V}^{-1}$

$V_{DD} = 5\ \text{V}$; $R = 500\ \Omega$

$R_{G1} = 1\ \text{M}\Omega$; $R_{G2} = 2\ \text{M}\Omega$

Diodo Zener

$V_Z = 2{,}4\ \text{V}$

$I_{Zmin} = 10\ \mu\text{A}$

$I_{Zmax} = 400\ \text{mA}$

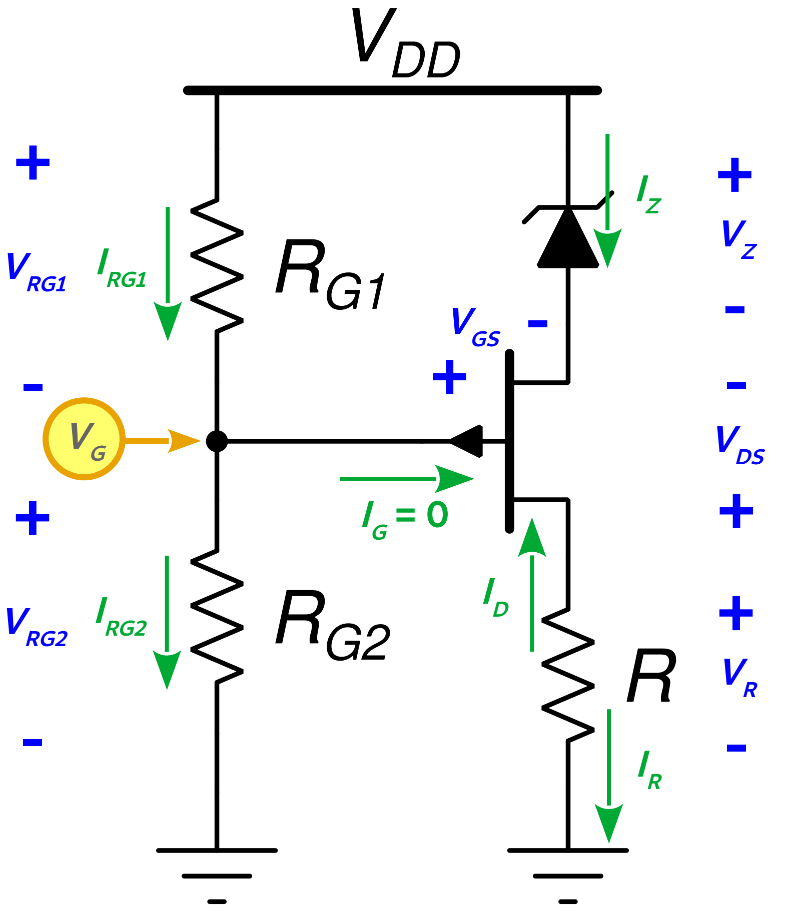
N1: $I_{RG1} = I_{RG2} + I_G = I_{RG2}$

M3: $V_{R1} - V_Z + V_{GS} = 0$

M1: $V_{DD} - V_{RG1} - V_{RG2} = 0$

M2: $V_{DD} - V_Z + V_{DS} - V_R = 0$

Resolvemos la "malla de entrada"...



M1: $V_{DD} - V_{RG1} - V_{RG2} = 0$

M2: $V_{DD} - V_Z + V_{DS} - V_R = 0$

N1: $I_{RG1} = I_{RG2} = I_{RG}$

M3: $V_{R1} - V_Z + V_{GS} = 0$

De M1 y N1 despejamos:

$$V_{DD} = V_{RG1} + V_{RG2}$$

$$V_{DD} = I_{RG1} R_{G1} + I_{RG2} R_{G2}$$

$$V_{DD} = I_{RG}(R_{G1} + R_{G2})$$

$$I_{RG} = \frac{V_{DD}}{R_{G1} + R_{G2}}$$

$$V_G = V_{RG2} = I_{RG2} R_{G2}$$

$$V_G = V_{DD} \frac{R_{G2}}{R_{G1} + R_{G2}}$$

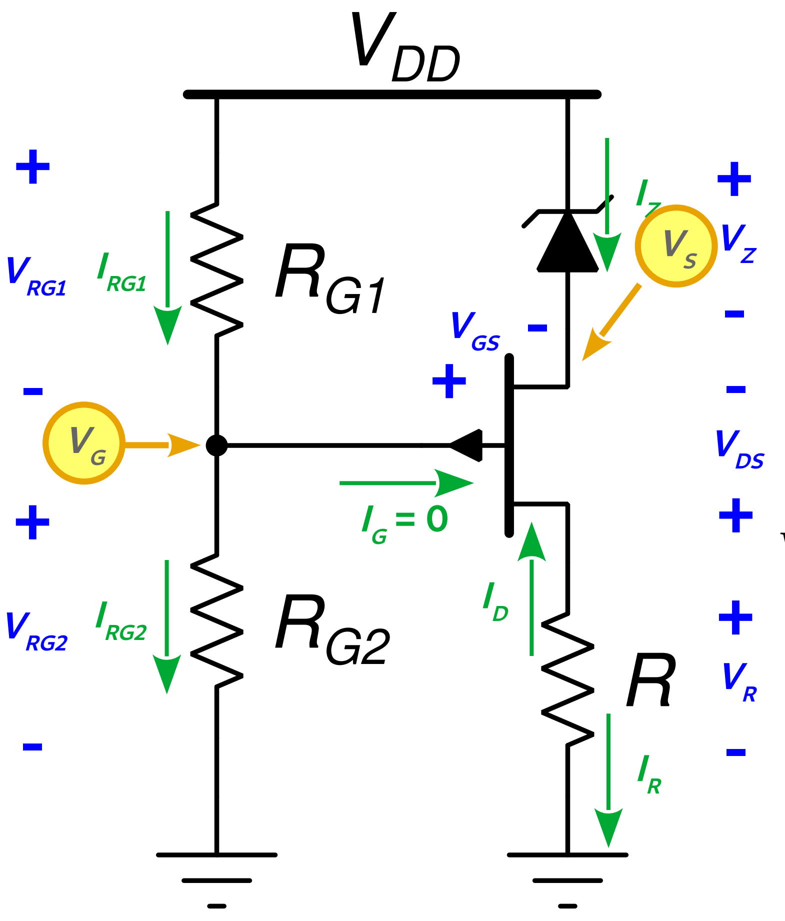
$$V_G = 3.33 \text{ V}$$

$V_S > V_D$ ($V_{DS} < 0$)
$I_D < 0$
$0 < V_{GS} < V_P$ ($V_P > 0$)
Sat: $V_{GS} < V_P$; $V_{DS} < V_{GS} - V_P$

Transistor MOS canal P
$V_P = 1{,}5$ V
$I_{DSS} = 10$ mA
$\lambda = 0{,}02$ V^{-1}
$V_{DD} = 5$ V; $R = 500\ \Omega$
$R_{G1} = 1$ MΩ; $R_{G2} = 2$ MΩ

Diodo Zener
$V_Z = 2{,}4$ V
$I_{Zmin} = 10$ μA
$I_{Zmax} = 400$ mA

Resolvemos la "malla de entrada"...



M1: $V_{DD} - V_{RG1} - V_{RG2} = 0$

M2: $V_{DD} - V_Z + V_{DS} - V_R = 0$

N1: $I_{RG1} = I_{RG2} = I_{RG}$

M3: $V_{R1} - V_Z + V_{GS} = 0$

$$V_G = V_{DD}\frac{R_{G2}}{R_{G1}+R_{G2}} = 3.33\ \text{V}$$

Pero ¡OJO! V_G no es V_{GS}

$$V_{GS} = V_G - V_S = V_G - (V_{DD} - V_Z)$$
$$V_{GS} = 3.33\ \text{V} - (5\ \text{V} - 2{,}4\ \text{V}) = 0.73\ \text{V}$$

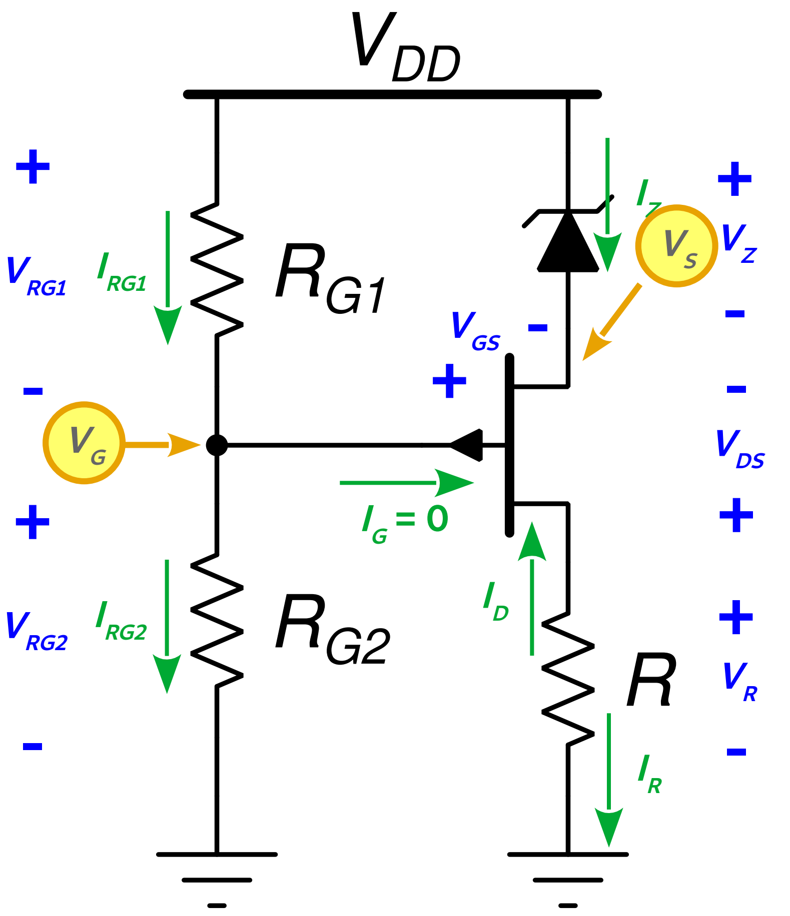
$$V_{GS} = V_Z - V_{RG1}$$
$$V_{GS} = V_Z - V_{DD}\frac{R_{G1}}{R_{G1}+R_{G2}} = 0.73\ \text{V}$$

$V_S > V_D\ (V_{DS} < 0)$
$I_D < 0$
$0 < V_{GS} < V_P\ (V_P > 0)$
Sat: $V_{GS} < V_P$; $V_{DS} < V_{GS} - V_P$

Transistor MOS canal P
$V_P = 1{,}5$ V
$I_{DSS} = 10$ mA
$\lambda = 0{,}02\ \text{V}^{-1}$
$V_{DD} = 5$ V; $R = 500\ \Omega$
$R_{G1} = 1\ \text{M}\Omega$; $R_{G2} = 2\ \text{M}\Omega$

Diodo Zener
$V_Z = 2{,}4$ V
$I_{Zmin} = 10\ \mu\text{A}$
$I_{Zmax} = 400$ mA

Calculamos la corriente del transistor…



M1: $V_{DD} - V_{RG1} - V_{RG2} = 0$

M2: $V_{DD} - V_Z + V_{DS} - V_R = 0$

N1: $I_{RG1} = I_{RG2} = I_{RG}$

M3: $V_{R1} - V_Z + V_{GS} = 0$

$$V_G = V_{DD}\frac{R_{G2}}{R_{G1}+R_{G2}} = 3.33\ \mathrm{V}$$

$$0 < V_{GS} = 0.73\ \mathrm{V} < V_P$$

Suponemos saturación y efecto de modulación del largo del canal despreciable…

$$I_D = -I_{Dss}\left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2 = -2.61\ \mathrm{mA}$$

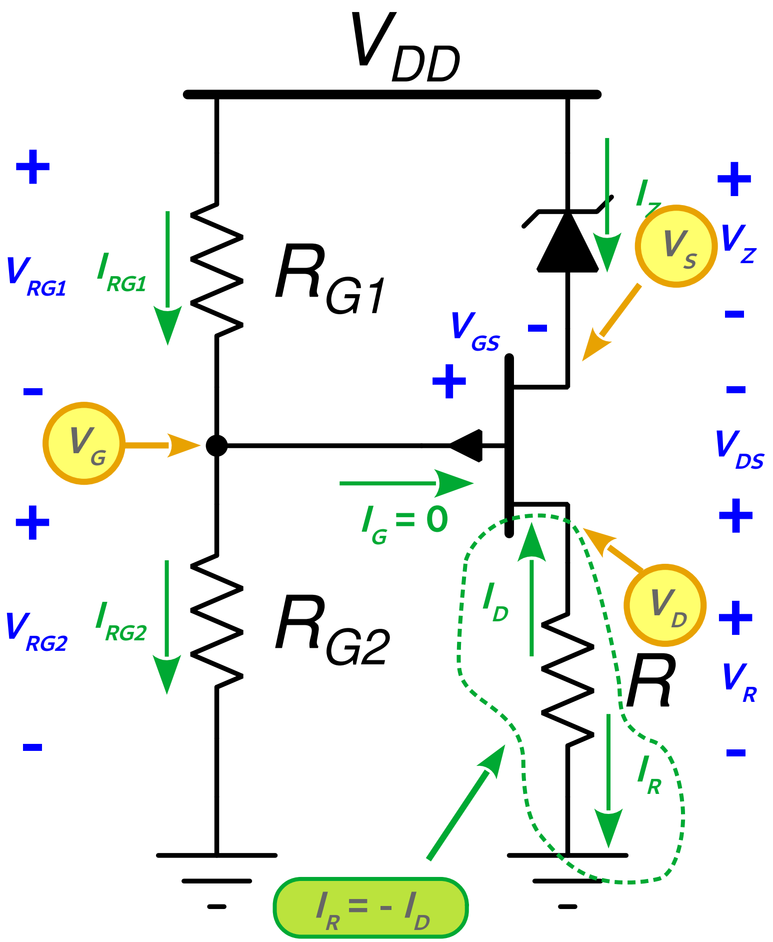
… ¡luego debemos corroborarlo!

$V_S > V_D\ (V_{DS} < 0)$
$I_D < 0$
$0 < V_{GS} < V_P\ (V_P > 0)$
Sat: $V_{GS} < V_P$; $V_{DS} < V_{GS} - V_P$

Transistor MOS canal P
$V_P = 1{,}5$ V
$I_{DSS} = 10$ mA
$\lambda = 0{,}02\ V^{-1}$
$V_{DD} = 5$ V; $R = 500\ \Omega$
$R_{G1} = 1\ M\Omega$; $R_{G2} = 2\ M\Omega$

Diodo Zener
$V_Z = 2{,}4$ V
$I_{Zmin} = 10\ \mu A$
$I_{Zmax} = 400$ mA

Resolvemos para V_{DS}...



M1: $V_{DD} - V_{RG1} - V_{RG2} = 0$

M2: $V_{DD} - V_Z + V_{DS} - V_R = 0$

N1: $I_{RG1} = I_{RG2} = I_{RG}$

M3: $V_{R1} - V_Z + V_{GS} = 0$

$$V_G = V_{DD} \frac{R_{G2}}{R_{G1} + R_{G2}} = 3.33 \text{ V}$$

$$0 < V_{GS} = 0.73 \text{ V} < V_P$$

$$I_D = -I_{Dss} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2 = -2.61 \text{ mA}$$

Calculamos la tensión de *Drain*:

$$V_D = V_R = I_R \cdot R = -I_D \cdot R$$

$$V_D = 2.61 \text{ mA} \cdot 0.5 \text{ k}\Omega = 1.31 \text{ V}$$

$$V_{DS} = V_D - V_S = V_D - (V_{DD} - V_Z)$$

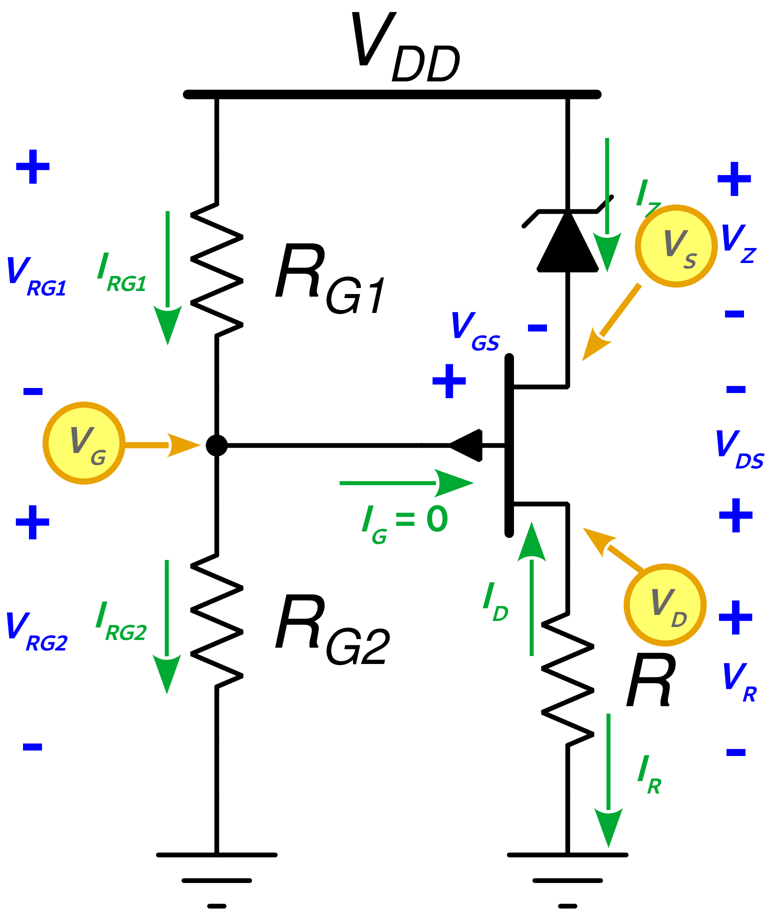
$$V_{DS} = 1.31 \text{ V} - 5 \text{ V} + 2.4 \text{ V} = -1.29 \text{ V}$$

$V_S > V_D$ ($V_{DS} < 0$)
$I_D < 0$
$0 < V_{GS} < V_P$ ($V_P > 0$)
Sat: $V_{GS} < V_P$; $V_{DS} < V_{GS} - V_P$

Transistor MOS canal P
$V_P = 1{,}5$ V
$I_{DSS} = 10$ mA
$\lambda = 0{,}02$ V^{-1}
$V_{DD} = 5$ V; $R = 500\ \Omega$
$R_{G1} = 1$ MΩ; $R_{G2} = 2$ MΩ

Diodo Zener
$V_Z = 2{,}4$ V
$I_{Zmin} = 10$ μA
$I_{Zmax} = 400$ mA

Verificamos...



M1: $V_{DD} - V_{RG1} - V_{RG2} = 0$

M2: $V_{DD} - V_Z + V_{DS} - V_R = 0$

N1: $I_{RG1} = I_{RG2} = I_{RG}$

M3: $V_{R1} - V_Z + V_{GS} = 0$

$$V_G = V_{DD}\frac{R_{G2}}{R_{G1}+R_{G2}} = 3.33\ \text{V}$$

$$0 < V_{GS} = 0.73\ \text{V} < V_P$$

$$I_D = -I_{Dss}\left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2 = -2.61\ \text{mA}$$

Verificamos saturación...

$$V_{DS} = -1.29\ \text{V} < V_{GS} - V_P = -0.77\ \text{V}$$

...y el EMLC despreciable...

$$1 - \lambda\left(V_{DS} - V_{DS_{sat}}\right) = 1.0104 \approx 1$$

...y que el Zenner funciona: $10\ \mu\text{A} < I_Z = -I_D = 2.61\ \text{mA} < 400\ \text{mA}$

$V_S > V_D\ (V_{DS} < 0)$

$I_D < 0$

$0 < V_{GS} < V_P\ (V_P > 0)$

Sat: $V_{GS} < V_P$; $V_{DS} < V_{GS} - V_P$

Transistor MOS canal P

$V_P = 1{,}5$ V

$I_{DSS} = 10$ mA

$\lambda = 0{,}02\ \text{V}^{-1}$

$V_{DD} = 5$ V; $R = 500\ \Omega$

$R_{G1} = 1\ \text{M}\Omega$; $R_{G2} = 2\ \text{M}\Omega$

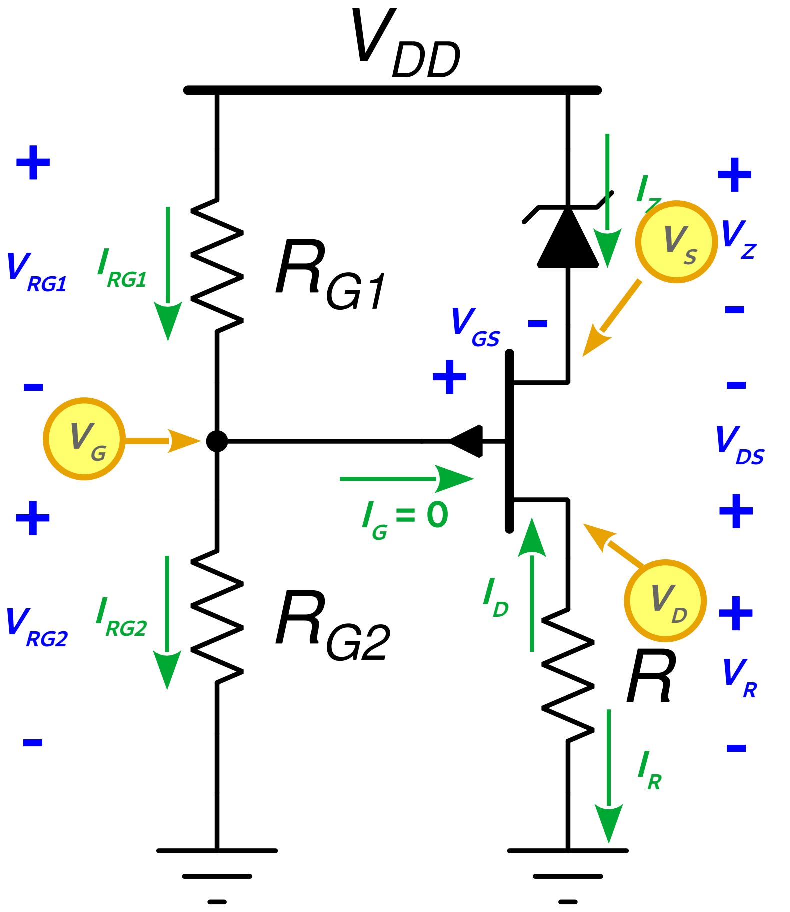
Diodo Zener

$V_Z = 2{,}4$ V

$I_{Zmin} = 10\ \mu$A

$I_{Zmax} = 400$ mA

En resumen...



M1: $V_{DD} - V_{RG1} - V_{RG2} = 0$

M2: $V_{DD} - V_Z + V_{DS} - V_R = 0$

N1: $I_{RG1} = I_{RG2} = I_{RG}$

M3: $V_{R1} - V_Z + V_{GS} = 0$

$$V_G = V_{DD}\frac{R_{G2}}{R_{G1}+R_{G2}} = 3.33\ \text{V}$$

$$0 < V_{GS} = 0.73\ \text{V} < V_P$$

$$I_D = -I_{Dss}\left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2 = -2.61\ \text{mA}$$

$$V_{DS} = -1.29\ \text{V} < V_{DS_{sat}}$$

$V_S > V_D\,(V_{DS} < 0)$
$I_D < 0$
$0 < V_{GS} < V_P\,(V_P > 0)$
Sat: $V_{GS} < V_P$; $V_{DS} < V_{GS} - V_P$

Transistor MOS canal P
$V_P = 1{,}5$ V
$I_{DSS} = 10$ mA
$\lambda = 0{,}02\ V^{-1}$
$V_{DD} = 5$ V; $R = 500\ \Omega$
$R_{G1} = 1\ M\Omega$; $R_{G2} = 2\ M\Omega$

Diodo Zener
$V_Z = 2{,}4$ V
$I_{Zmin} = 10\ \mu A$
$I_{Zmax} = 400$ mA