

## EC2014 PREPARACIÓN DE LA PRÁCTICA 4

### CARACTERÍSTICAS DEL MOSFET. AMPLIFICADOR DRAIN COMÚN ESPECIFICACIONES DEL TRANSISTOR MOSFET CANAL N VN10K

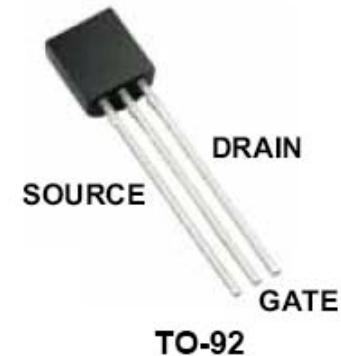
#### General Description

This enhancement-mode (normally-off) transistor utilizes a vertical DMOS structure and Supertex's well-proven, silicon-gate manufacturing process. This combination produces a device with the power handling capabilities of bipolar transistors and the high input impedance and positive temperature coefficient inherent in MOS devices. Characteristic of all MOS structures, this device is free from thermal runaway and thermally-induced secondary breakdown.

#### Product Summary

$BV_{DSS}/BV_{DGS}$	$R_{DS(ON)}$ (max)	$I_{DSS}$ (min)
60V	5.0Ω	750mA

#### Pin Configuration



## Absolute Maximum Ratings

Parameter	Value
Drain-to-source voltage	$BV_{DSS}$
Drain-to-gate voltage	$BV_{DGS}$
Gate-to-source voltage	$\pm 30V$
Operating and storage temperature	$-55^{\circ}C$ to $+150^{\circ}C$

*Absolute Maximum Ratings are those values beyond which damage to the device may occur. Functional operation under these conditions is not implied. Continuous operation of the device at the absolute rating level may affect device reliability. All voltages are referenced to device ground.*

## Typical Thermal Resistance

Package	$\theta_{ja}$
TO-92	$132^{\circ}C/W$

## Thermal Characteristics

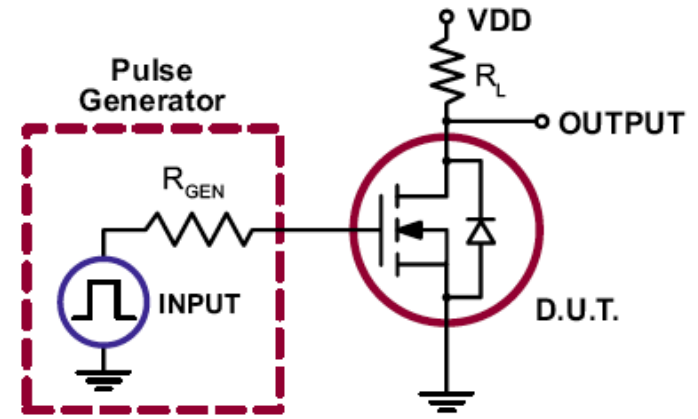
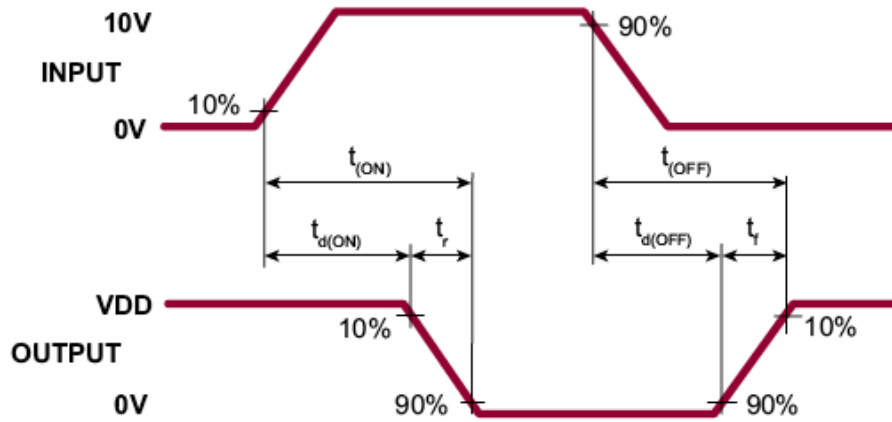
Package	$I_D$ (continuous) <sup>†</sup>	$I_D$ (pulsed)	Power Dissipation @ $T_c = 25^{\circ}C$	$I_{DR}$ <sup>†</sup>	$I_{DRM}$
TO-92	310mA	1.0A	1.0W	310mA	1.0A

**Notes:**  
<sup>†</sup>  $I_D$  (continuous) is limited by max rated  $T_j$ . (VN0106N3 can be used if an  $I_D$  (continuous) of 500mA is needed.)

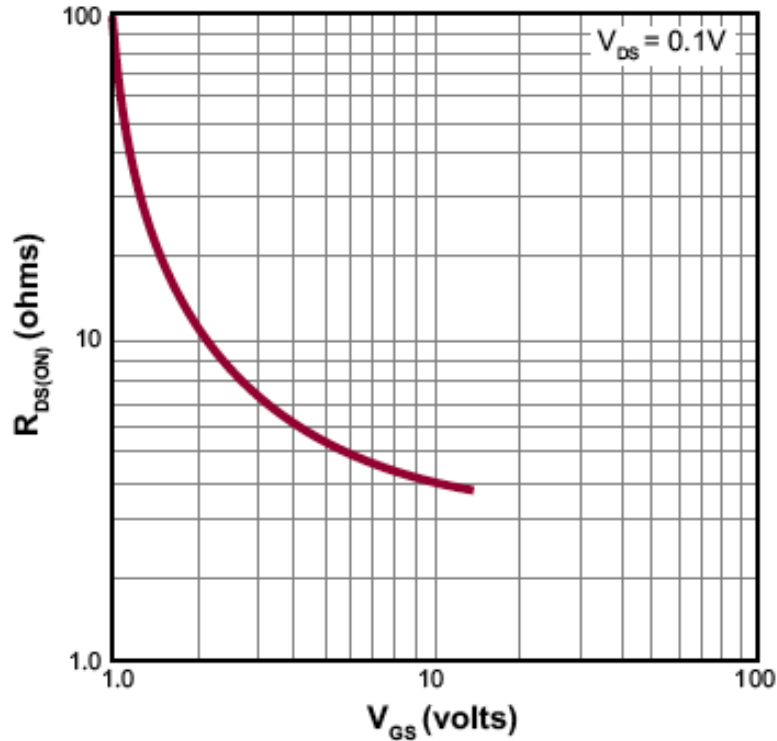
## Electrical Characteristics ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified)

Sym	Parameter	Min	Typ	Max	Units	Conditions
$BV_{DSS}$	Drain-to-source breakdown voltage	60	-	-	V	$V_{GS} = 0\text{V}, I_D = 100\mu\text{A}$
$V_{GS(th)}$	Gate threshold voltage	0.8	-	2.5	V	$V_{GS} = V_{DS}, I_D = 1.0\text{mA}$
$\Delta V_{GS(th)}$	Change in $V_{GS(th)}$ with temperature	-	-3.8	-	mV/ $^\circ\text{C}$	$V_{GS} = V_{DS}, I_D = 1.0\text{mA}$
$I_{GSS}$	Gate body leakage	-	-	100	nA	$V_{GS} = 15\text{V}, V_{DS} = 0\text{V}$
$I_{DSS}$	Zero gate voltage drain current	-	-	10	$\mu\text{A}$	$V_{GS} = 0\text{V}, V_{DS} = 45\text{V}$
		-	-	500		$V_{GS} = 0\text{V}, V_{DS} = 45\text{V},$ $T_A = 125^\circ\text{C}$
$I_{D(ON)}$	On-state drain current	0.75	-	-	A	$V_{GS} = 10\text{V}, V_{DS} = 10\text{V}$
$R_{DS(ON)}$	Static drain-to-source on-state resistance	-	-	7.5	$\Omega$	$V_{GS} = 5.0\text{V}, I_D = 200\text{mA}$
		-	-	5.0		$V_{GS} = 10\text{V}, I_D = 500\text{mA}$
$\Delta R_{DS(ON)}$	Change in $R_{DS(ON)}$ with temperature	-	0.7	-	%/ $^\circ\text{C}$	$V_{GS} = 10\text{V}, I_D = 500\text{mA}$
$G_{FS}$	Forward transductance	100	-	-	mmho	$V_{DS} = 10\text{V}, I_D = 500\text{mA}$
$C_{ISS}$	Input capacitance	-	48	60	pF	$V_{GS} = 0\text{V},$ $V_{DS} = 25\text{V},$ $f = 1.0\text{MHz}$
$C_{OSS}$	Common source output capacitance	-	16	25		
$C_{RSS}$	Reverse transfer capacitance	-	2.0	5.0		
$t_{(ON)}$	Turn-on time	-	-	10	ns	$V_{DD} = 15\text{V},$ $I_D = 600\text{mA},$ $R_{GEN} = 25\Omega$
$t_{(OFF)}$	Turn-off time	-	-	10		
$V_{SD}$	Diode forward voltage drop	-	0.8	-	V	$V_{GS} = 0\text{V}, I_{SD} = 500\text{mA}$
$t_{rr}$	Reverse recovery time	-	160	-	ns	$V_{GS} = 0\text{V}, I_{SD} = 500\text{mA}$

# Switching Waveforms and Test Circuit

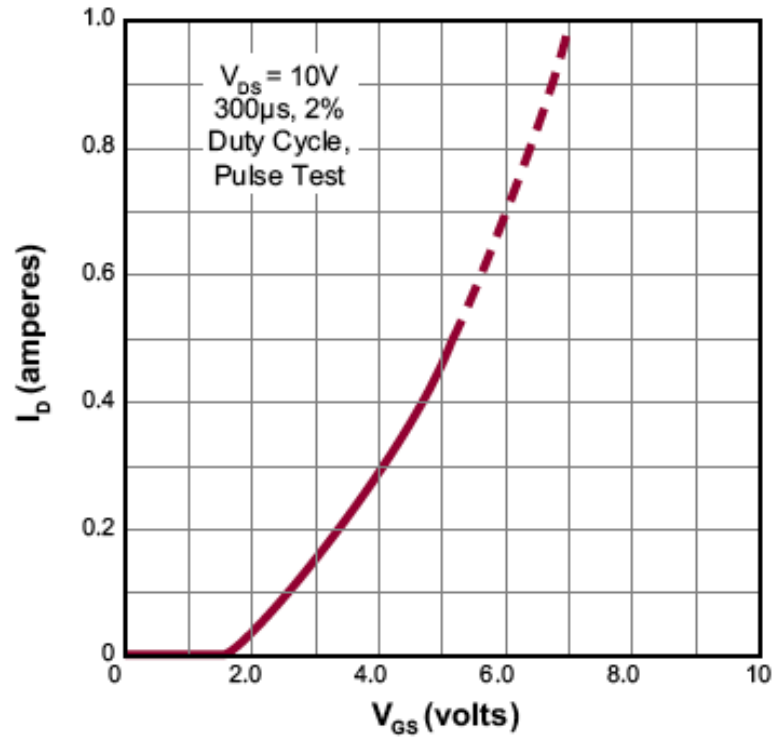


## On-Resistance vs. Gate-to-Source Voltage

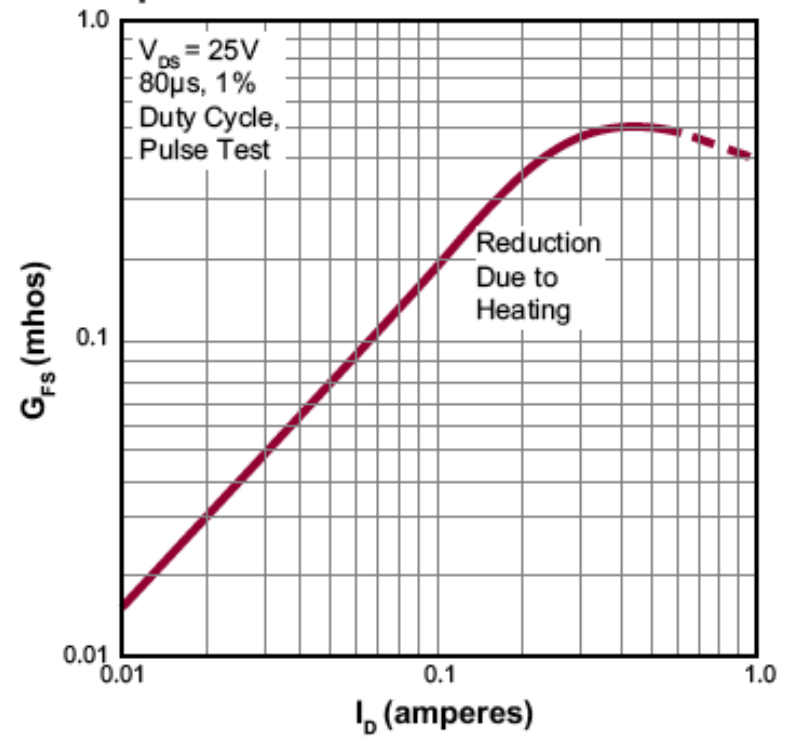


Resistencia en la región triodo

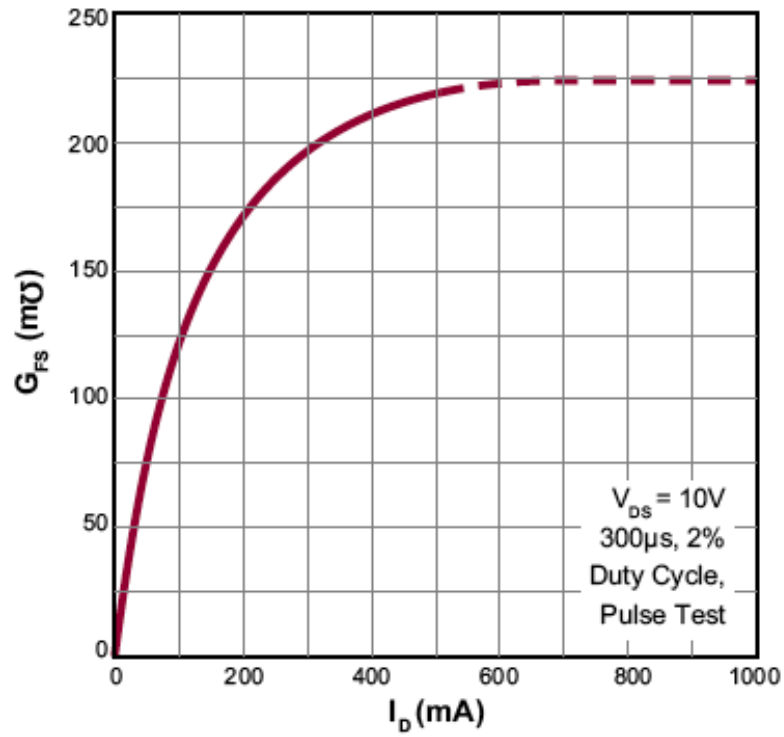
### Transfer Characteristics



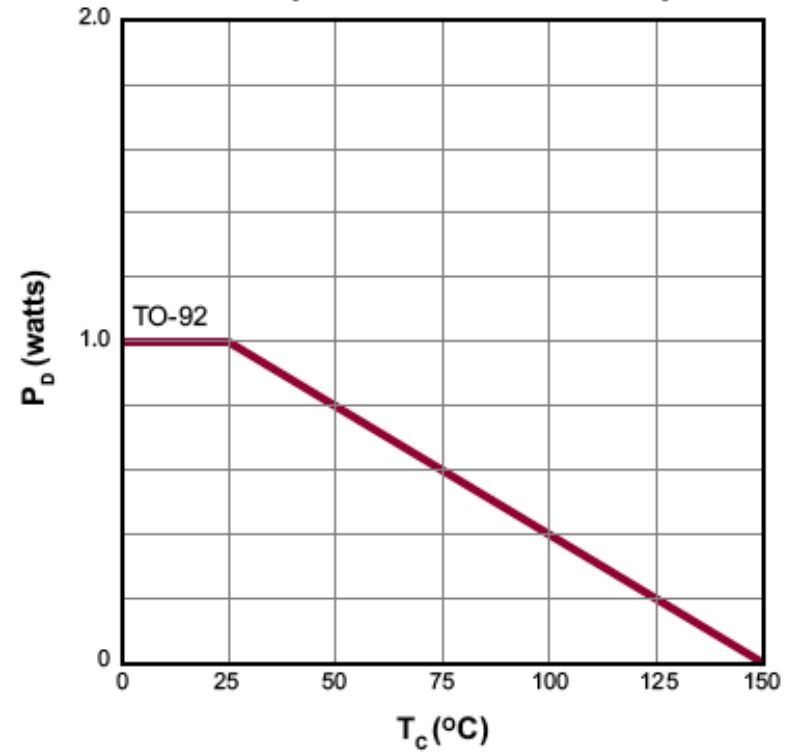
### Output Conductance vs Drain Current



### Transconductance vs. Drain Current



### Power Dissipation vs. Case Temperature



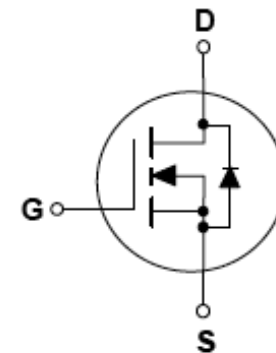
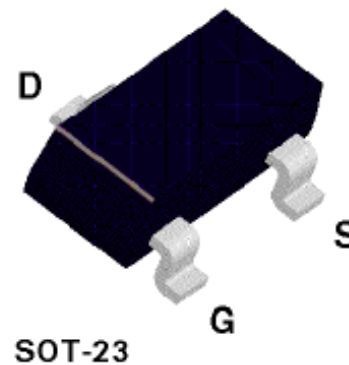
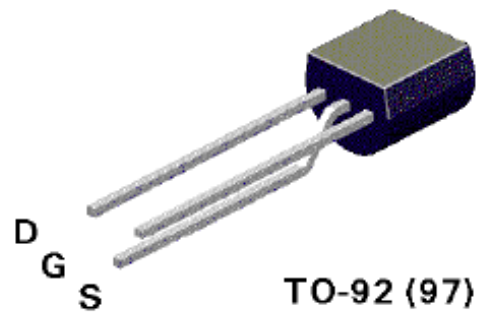
# ESPECIFICACIONES DEL TRANSISTOR MOSFET CANAL N BS170

## General Description

These N-Channel enhancement mode field effect transistors are produced using Fairchild's proprietary, high cell density, DMOS technology. These products have been designed to minimize on-state resistance while provide rugged, reliable, and fast switching performance. They can be used in most applications requiring up to 500mA DC. These products are particularly suited for low voltage, low current applications such as small servo motor control, power MOSFET gate drivers, and other switching applications.

## Features

- High density cell design for low  $R_{DS(ON)}$ .
- Voltage controlled small signal switch.
- Rugged and reliable.
- High saturation current capability.



**Absolute Maximum Ratings** $T_A = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted

Symbol	Parameter	BS170	MMBF170	Units
$V_{DSS}$	Drain-Source Voltage	60		V
$V_{DGR}$	Drain-Gate Voltage ( $R_{GS} \leq 1M\Omega$ )	60		V
$V_{GSS}$	Gate-Source Voltage	$\pm 20$		V
$I_D$	Drain Current - Continuous	500	500	mA
	- Pulsed	1200	800	
$P_D$	Maximum Power Dissipation	830	300	mW
	Derate Above $25^\circ\text{C}$	6.6	2.4	mW/ $^\circ\text{C}$
$T_J, T_{STG}$	Operating and Storage Temperature Range	-55 to 150		$^\circ\text{C}$
$T_L$	Maximum Lead Temperature for Soldering Purposes, 1/16" from Case for 10 Seconds	300		$^\circ\text{C}$

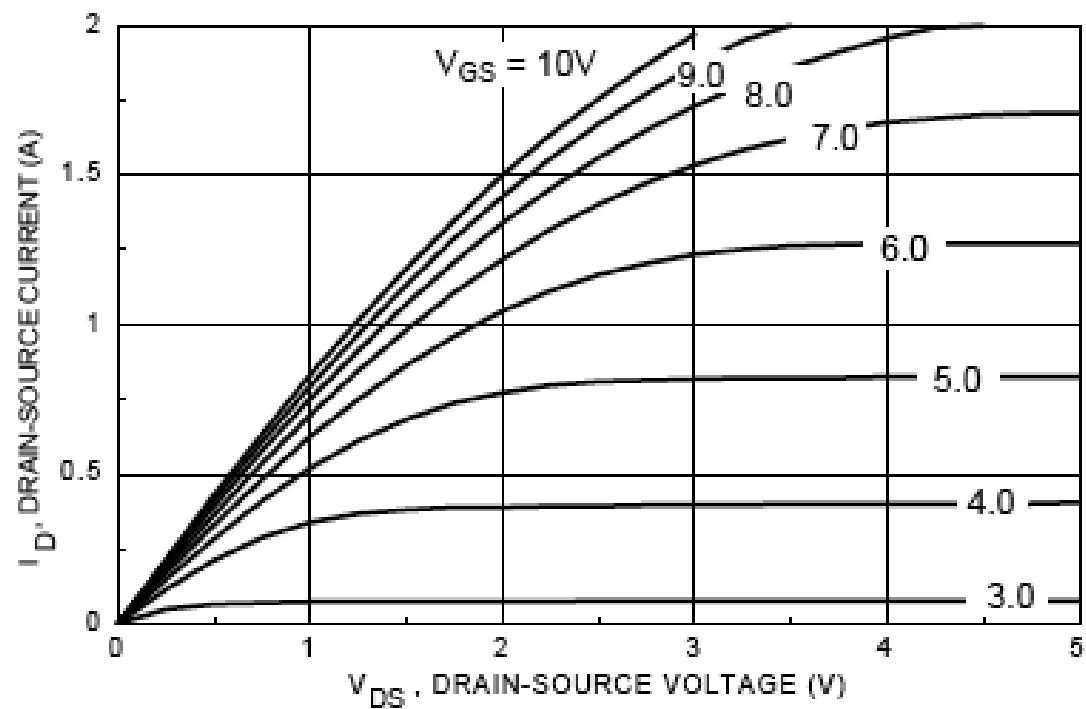
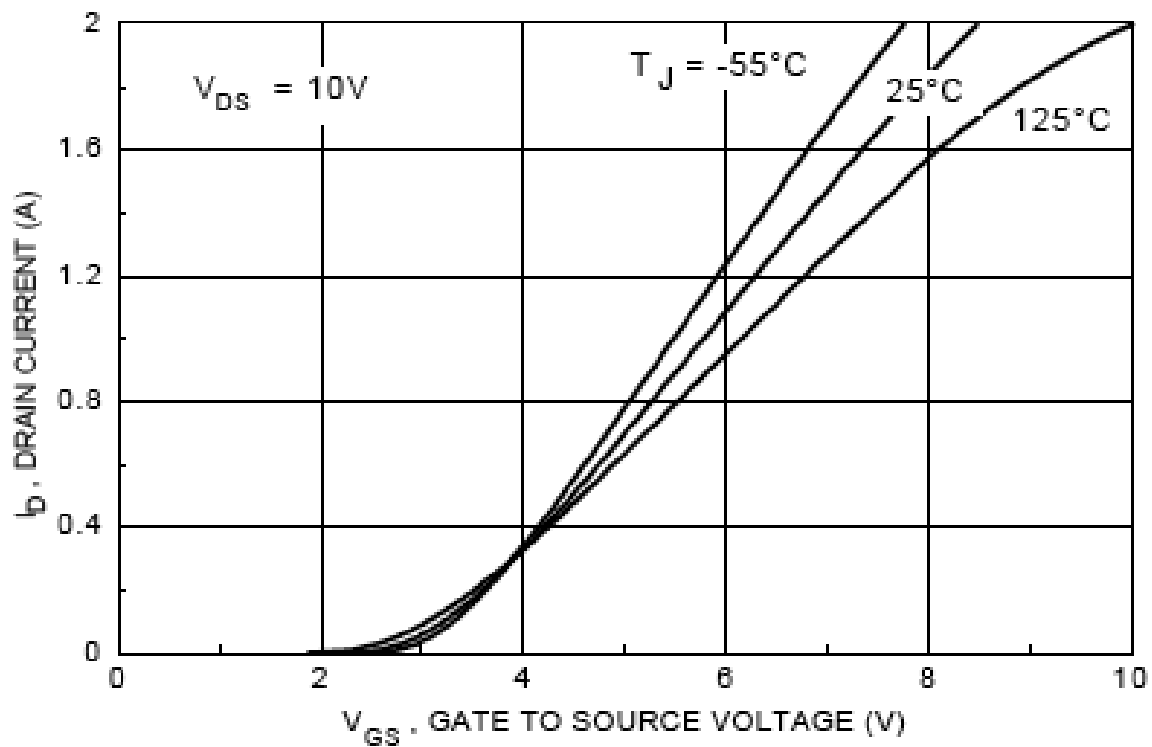
**THERMAL CHARACTERISTICS**

$R_{\theta JA}$	Thermal Resistance, Junction-to-Ambient	150	417	$^\circ\text{C}/\text{W}$
-----------------	---	-----	-----	---------------------------



## Electrical Characteristics ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Symbol	Parameter	Conditions	Type	Min	Typ	Max	Units
<b>OFF CHARACTERISTICS</b>							
$BV_{DSS}$	Drain-Source Breakdown Voltage	$V_{GS} = 0\text{ V}, I_D = 100\ \mu\text{A}$	All	60			V
$I_{DSS}$	Zero Gate Voltage Drain Current	$V_{DS} = 25\text{ V}, V_{GS} = 0\text{ V}$	All			0.5	$\mu\text{A}$
$I_{GSSF}$	Gate - Body Leakage, Forward	$V_{GS} = 15\text{ V}, V_{DS} = 0\text{ V}$	All			10	nA
<b>ON CHARACTERISTICS</b> (Note 1)							
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 1\text{ mA}$	All	0.8	2.1	3	V
$R_{DS(on)}$	Static Drain-Source On-Resistance	$V_{GS} = 10\text{ V}, I_D = 200\text{ mA}$	All		1.2	5	$\Omega$
$g_{FS}$	Forward Transconductance	$V_{DS} = 10\text{ V}, I_D = 200\text{ mA}$	BS170		320		mS
		$V_{DS} \geq 2V_{DS(on)}, I_D = 200\text{ mA}$	MMBF170		320		
<b>DYNAMIC CHARACTERISTICS</b>							
$C_{iss}$	Input Capacitance	$V_{DS} = 10\text{ V}, V_{GS} = 0\text{ V},$ $f = 1.0\text{ MHz}$	All		24	40	pF
$C_{oss}$	Output Capacitance		All		17	30	pF
$C_{rss}$	Reverse Transfer Capacitance		All		7	10	pF
<b>SWITCHING CHARACTERISTICS</b> (Note 1)							
$t_{on}$	Turn-On Time	$V_{DD} = 25\text{ V}, I_D = 200\text{ mA},$ $V_{GS} = 10\text{ V}, R_{GEN} = 25\ \Omega$	BS170			10	ns
		$V_{DD} = 25\text{ V}, I_D = 500\text{ mA},$ $V_{GS} = 10\text{ V}, R_{GEN} = 50\ \Omega$	MMBF170			10	
$t_{off}$	Turn-Off Time	$V_{DD} = 25\text{ V}, I_D = 200\text{ mA},$ $V_{GS} = 10\text{ V}, R_{GEN} = 25\ \Omega$	BS170			10	ns
		$V_{DD} = 25\text{ V}, I_D = 500\text{ mA},$ $V_{GS} = 10\text{ V}, R_{GEN} = 50\ \Omega$	MMBF170			10	



## CIRCUITOS PARA LA PRÁCTICA N° 4

### Características de salida del MOSFET CANAL N

El transistor se dibuja como un componente real para indicar que no es parte de un amplificador.

$$R_G = 1\text{M}\Omega$$

$$R_D = 1\text{k}\Omega$$

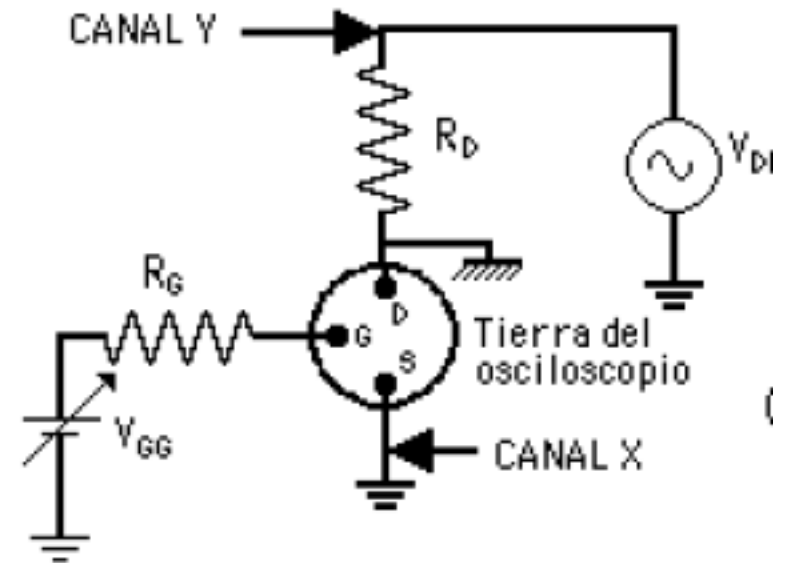
Voltaje  $V_{BB}$  = De 0 a 2V

Generador:  $V_{\text{max}} = 3\text{V}$   $V_{\text{offset}} = 3\text{V}$

$f = 1\text{ kHz}$

Para cada valor de  $V_{GG}$  se observa una sola curva de  $I_D$  vs.  $V_{DS}$ .

Hay que invertir el canal X para ver las curvas con la orientación adecuada.

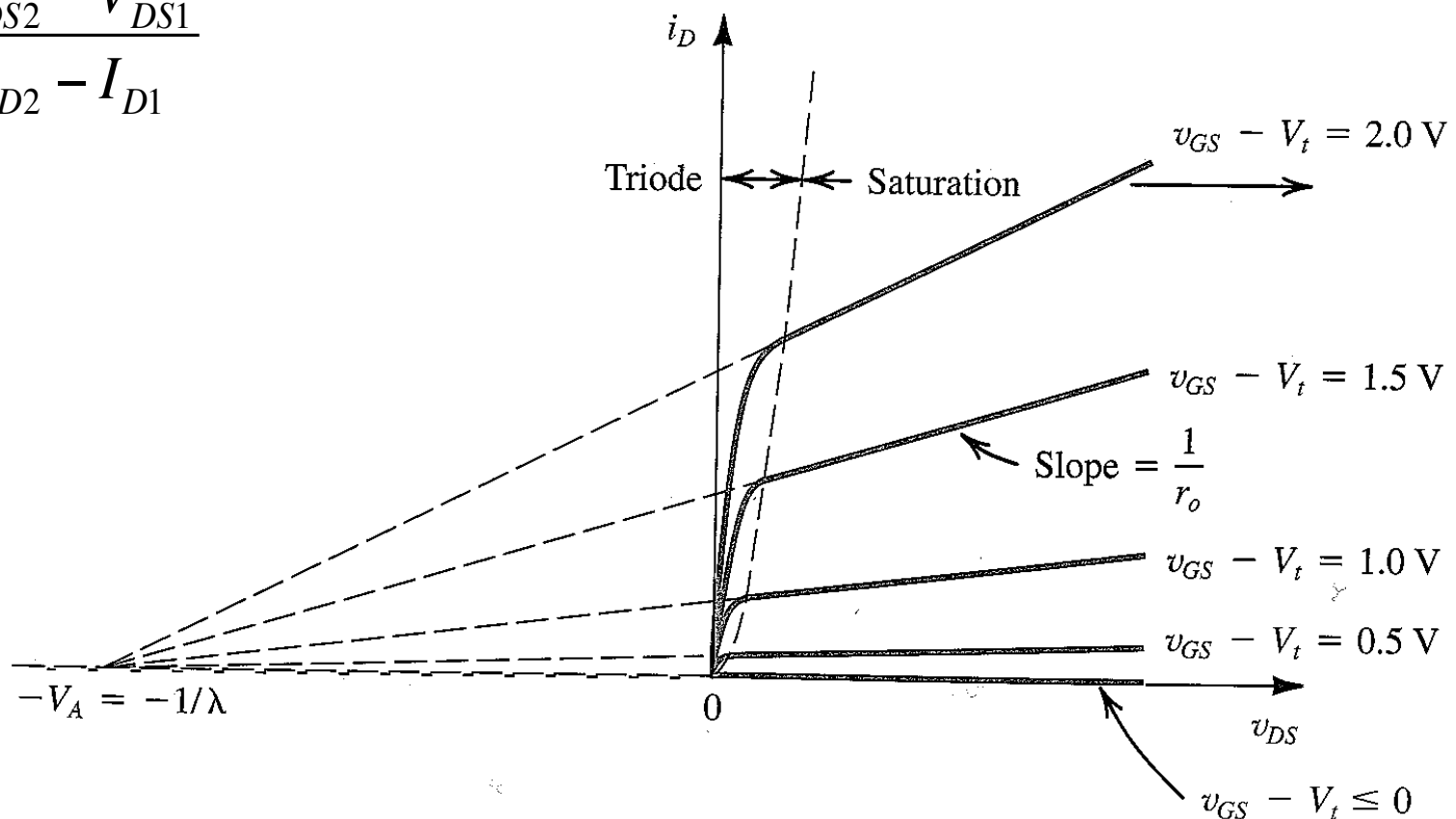


**Para medir**  $r_{ds}$  y determinar el valor de  $V_A$ .

Curva en pantalla: Se selecciona un par de puntos sobre la curva y se determina la pendiente de la misma. El inverso es la resistencia  $r_o$ .

Con la pendiente y  $V_{DS}$  se calcula  $V_A$ .

$$r_o = \frac{V_{DS2} - V_{DS1}}{I_{D2} - I_{D1}}$$



## Características de transferencia del MOSFET

$$R_G = 1\text{M}\Omega$$

$$R_D = 1\text{k}\Omega$$

$$R_S = 510\Omega$$

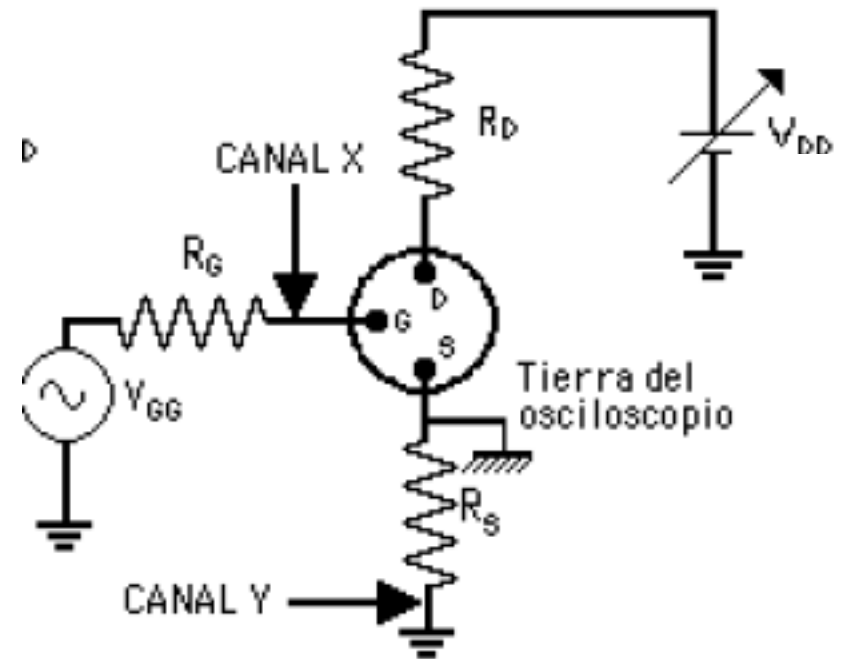
Voltaje  $V_{DD}$  = De 0 a 2V

Generador:  $V_{\text{max}} = 3\text{V}$   $V_{\text{offset}} = 3\text{V}$

$$f = 1\text{ kHz}$$

La figura es la curva característica de transferencia del MOSFET.

Hay que invertir el canal X para ver las curvas con la orientación adecuada.



## Para medir $g_m$ y $V_{th}$ en la característica de transferencia

$V_{th}$  se mide determinando el voltaje en el que la curva comienza a crecer.

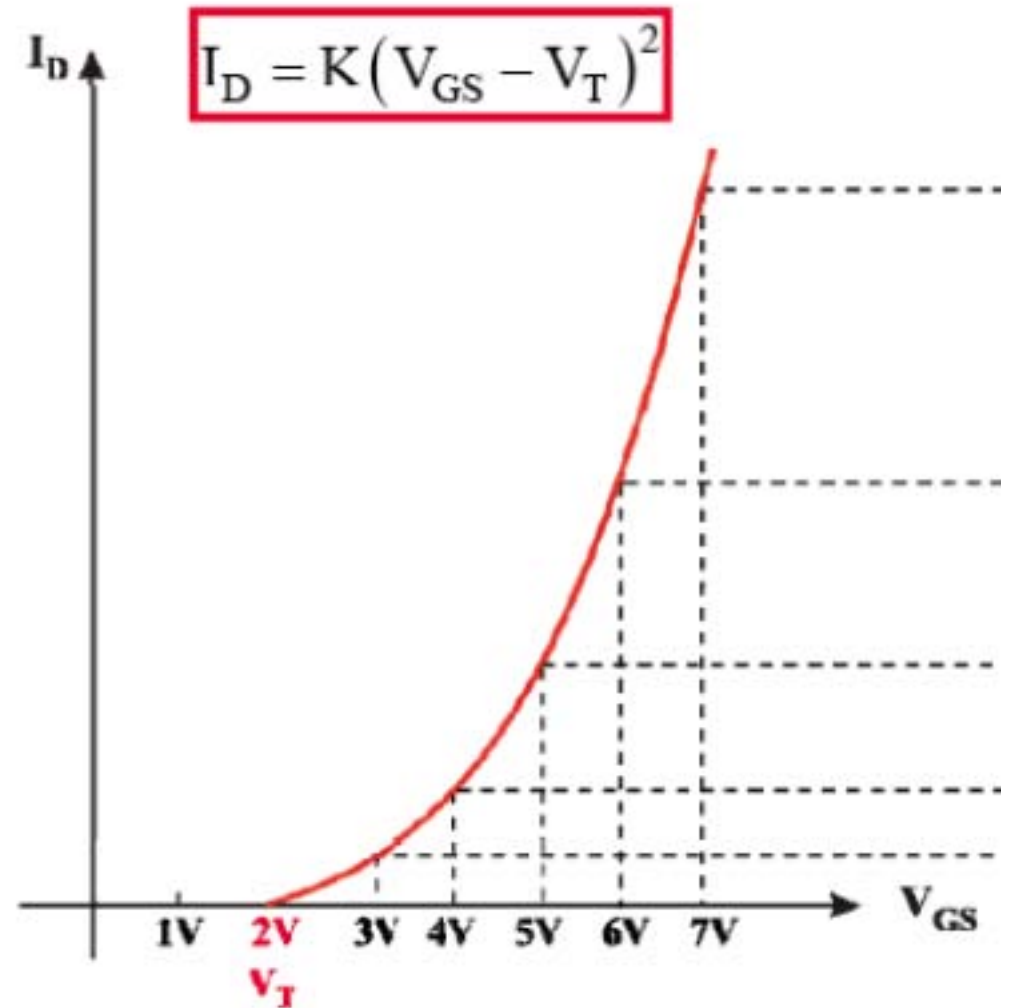
Para medir  $g_m$

Se escoge un punto en el que se mide  $I_{D1}$  y  $V_{GS1}$

Se escoge un otro punto en el que se mide  $I_{D2}$  y  $V_{GS2}$

El parámetro  $g_m$  es

$$g_m = \frac{I_{D2} - I_{D1}}{V_{GS2} - V_{GS1}}$$



## AMPLIFICADOR DRAIN COMÚN

Transistor BS170

$V_{DD} = 12V$

$R_1 = 1M\Omega$

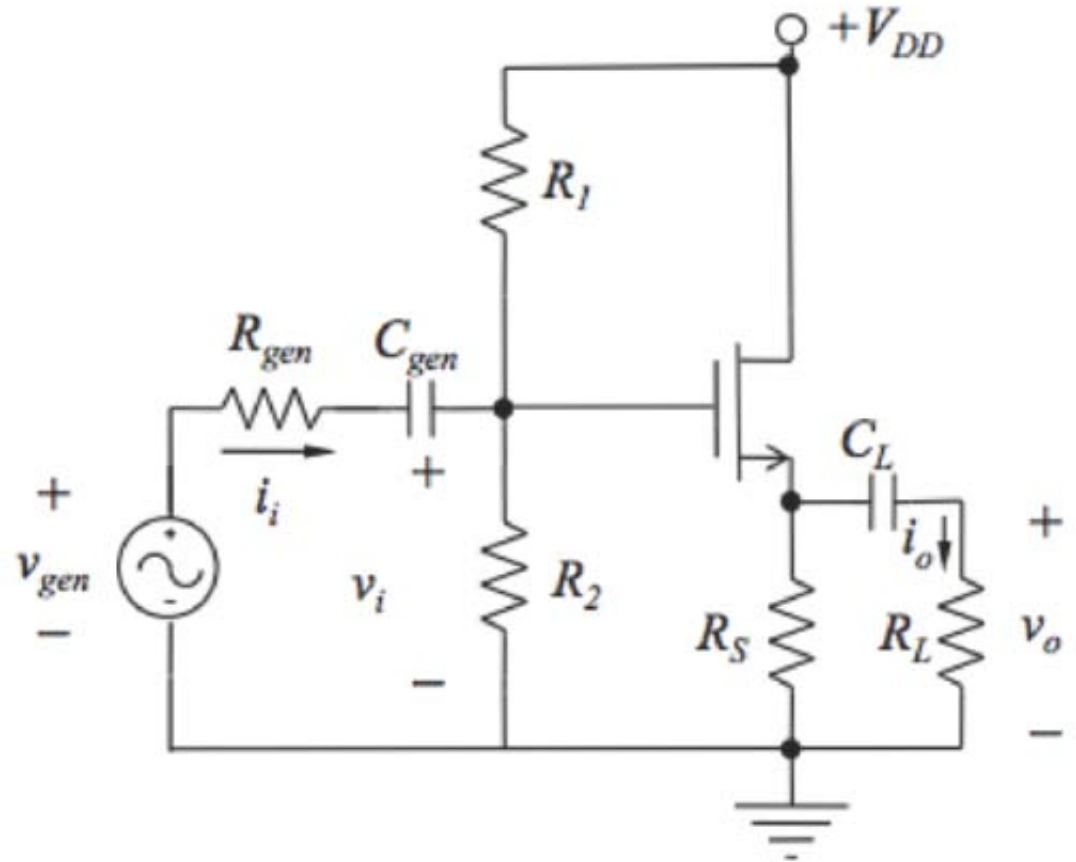
$R_2 = 2M\Omega$

$R_S = 1k\Omega$

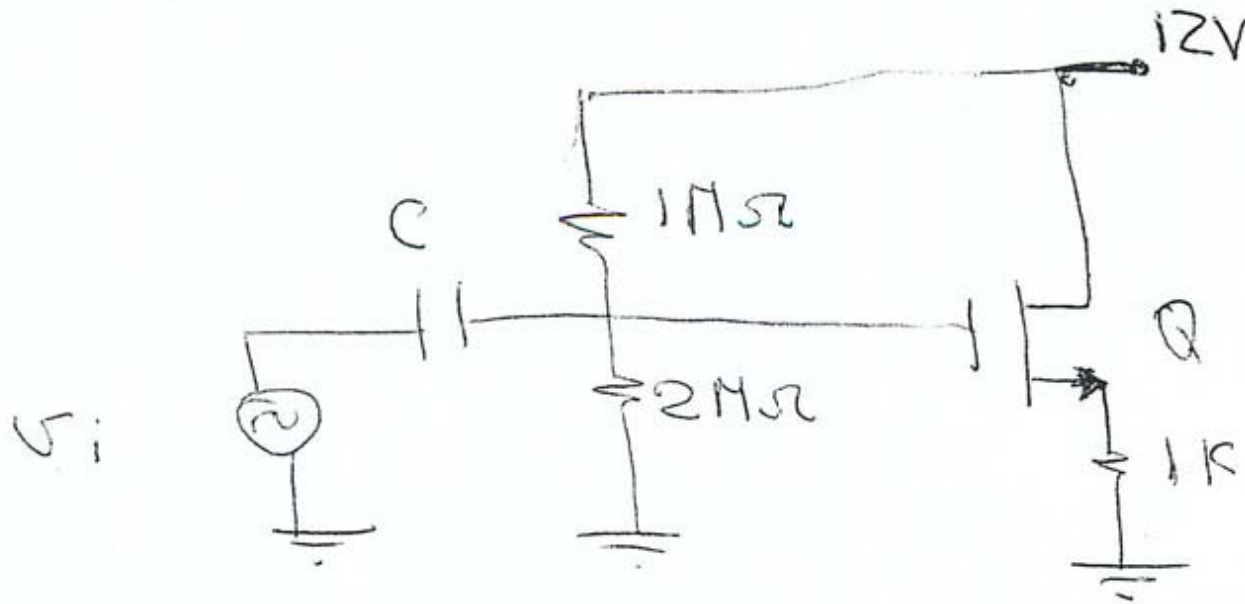
$R_L = 1k\Omega$

$C_{gen} = 100nF$

$C_L = 100nF$



## \* Ejercicio de amplificador Drain Común



$$V_N \approx 10\text{K}$$

$$V_E \approx 2\text{V}$$

$$G_m = 100 \frac{\text{mA}}{\text{V}} @ 500 \text{ mA} = I_D$$



## \* Los parámetros del MOSFET

En saturación: 
$$I_D = \frac{1}{2} k'_n \frac{W}{L} (V_{GS} - V_t)^2$$

En los manuales aparece  $G_{FS}$  "Forward Transconductance":  
Relación entre la variable de salida ( $I_D$ ) y la de entrada  $V_{GS}$  para una corriente  $I_D$  específica. Esta definición es similar al  $g_m$  para pequeña señal, aplicada a valores DC. Para el MOSFET VN10K:

$G_{FS}$	Forward transductance	100	-	-	mmho	$V_{DS} = 10V, I_D = 500mA$
----------	-----------------------	-----	---	---	------	-----------------------------

Para trabajar con las ecuaciones de polarización se define:

$$i_D = K(V_{GS} - V_{th})^2 \quad K = \frac{1}{2} k' \frac{W}{L} \quad k' \frac{W}{L} = 2K$$

**Utilizando una de las ecuaciones para  $g_m$  y aplicándola a  $G_{FS}$  (identificada también como  $G_m$ ):**

$$g_m = k' \frac{W}{L} \sqrt{\frac{2I_D}{k' \frac{W}{L}}} \quad k' \frac{W}{L} = 2K$$

$$G_m = k' \frac{W}{L} \sqrt{\frac{2I_D}{k' \frac{W}{L}}} = 2K \sqrt{\frac{2I_D}{2K}} = 2K \sqrt{\frac{I_D}{K}} = 2\sqrt{KI_D}$$

$$G_m = 2\sqrt{KI_D}$$

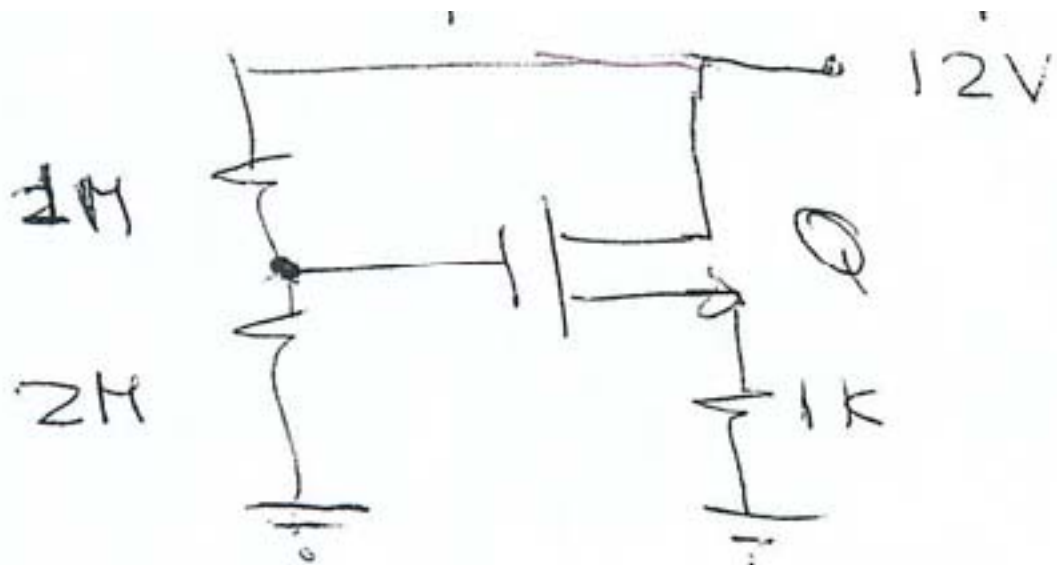
**Con los datos del ejercicio:**

$$100 \frac{mA}{V} = 2\sqrt{K 500mA}$$

$$K = 5 \frac{mA}{V^2}$$

$$i_D = 5 \frac{mA}{V^2} (V_{GS} - V_{th})^2$$

**\* Cálculo del punto de operación suponiendo saturación**



**Voltaje  $V_{GG}$ :**

$$V_{GG} = \frac{2M\Omega}{3M\Omega} 12V = 8V$$

**$V_{th} \approx 2V$**

$$i_D = K (V_{GS} - V_t)^2$$

$$12V = V_{DS} + i_D \times 1K$$

$$V_{GG} = 8V = V_{GS} + i_D \times 1K$$

$$V_{GS} = 8 - i_D \times 1K$$

$$i_D = K (8 - i_D - 2)^2 = K (6 - i_D)^2$$

**\* Determinación de la corriente  $I_D$ .**

$$5 i_D^2 - 61 i_D + 180 = 0$$

$$i_D = \frac{61 \pm \sqrt{3721 - 3600}}{10}$$

$$\begin{aligned} \nearrow \frac{61 + 11}{10} &= 7,2 \text{ mA} \\ \searrow \frac{61 - 11}{10} &= 5 \text{ mA} \end{aligned}$$

$$V_{GS} = 8 - 7,2 = 0,8 \text{ V No}$$

$$V_{GS} = 8 - 5 = 3 \text{ V Si}$$

**En saturación**

$$V_{DS} = 12 - i_D \times 1 \text{ k} = 12 - 5 = 7 \text{ V}$$

$$V_{DS} \stackrel{?}{\geq} V_{GS} - V_t = 3 - 2 = 1 \text{ Si}$$

$$V_{GS} = 3 \text{ V}$$

$$V_{DS} = 7 \text{ V}$$

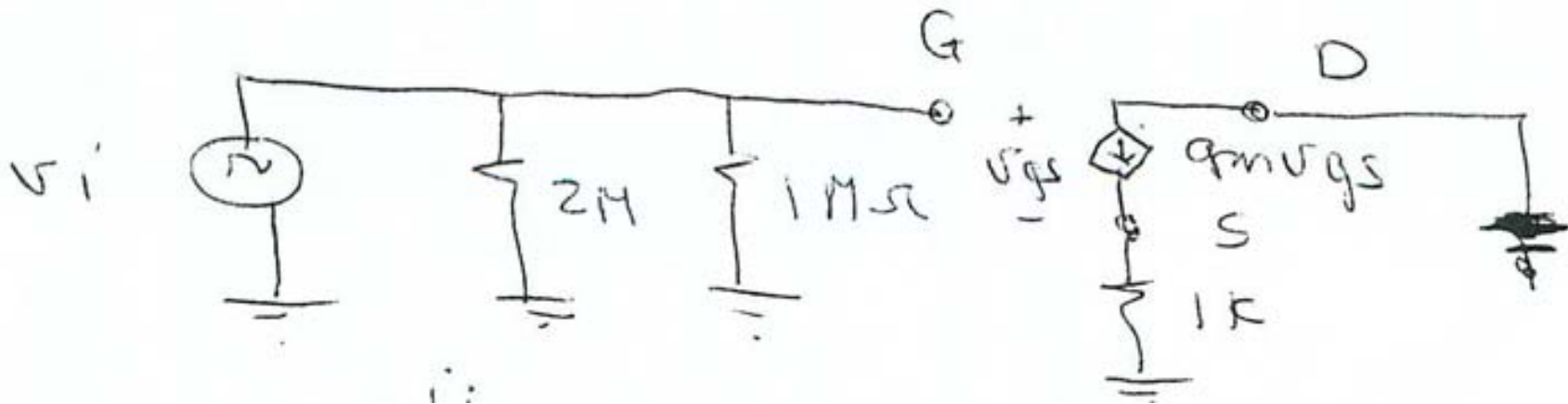
$$I_D = 5 \text{ mA}$$

## \* Análisis de pequeña señal. Parámetros

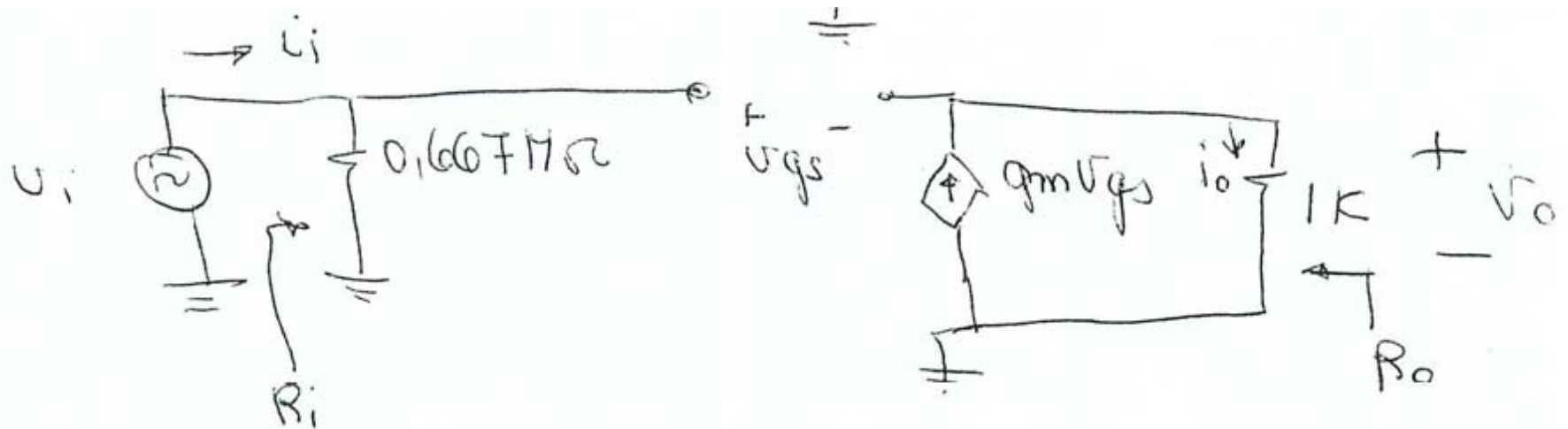
Cálculo parámetros AC

$$g_m = 2 \sqrt{k I_D} = 2 \sqrt{\frac{5 \text{ mA} \cdot 5 \text{ mA}}{V^2}}$$
$$g_m = 10 \frac{\text{mA}}{\text{V}} \quad r_o \approx \infty$$

## \* Modelo de pequeña señal



**\* Modelo de pequeña señal arreglado**



**\* Ganancia de voltaje**

$$v_o = g_m v_{gs} 1 \text{ k} = 10 \frac{\text{mA}}{\text{V}} \cdot v_{gs} \cdot 1 \frac{\text{V}}{\text{mA}} = 10 v_{gs}$$

$$v_i = v_{gs} + v_o \Rightarrow v_{gs} = v_i - v_o$$

$$v_o = 10 v_{gs} = 10(v_i - v_o) = 10 v_i - 10 v_o$$

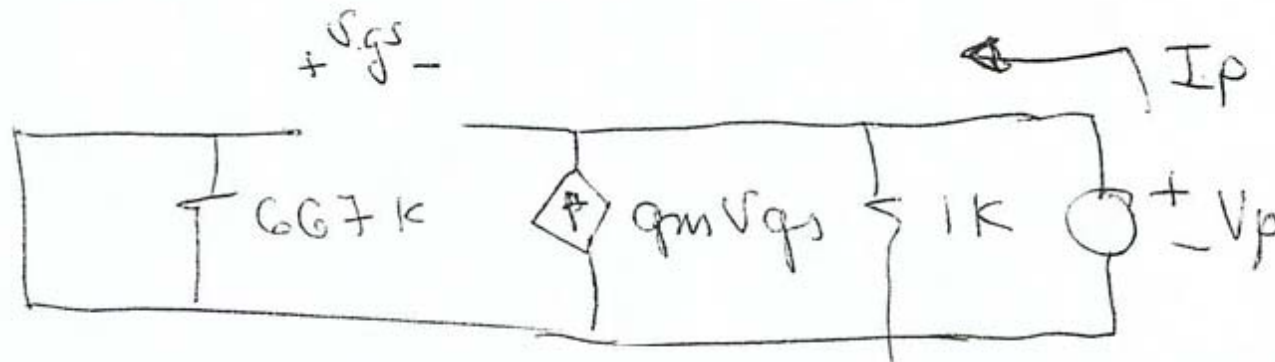
$$v_o(1+10) = 10 v_i$$

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{10}{11} = 0,9$$

\* Resistencia de entrada

$$R_i = \frac{V_i}{I_i} = 0,667 \text{ M}\Omega$$

\* Resistencia de salida



$$I_p = \frac{V_p}{1 \text{ k}} + g_m V_{gs} \quad V_{gs} = -V_p$$

$$I_p = \frac{V_p}{1 \text{ k}} + V_p g_m = V_p \left( \frac{1}{1 \text{ k}} + 10 \frac{\text{mA}}{\text{V}} \right)$$

$$\frac{V_p}{I_p} = \frac{1 \text{ k}}{11 \text{ mA}} = 0,909 \frac{\text{V}}{\text{mA}} = 0,909 \text{ k}\Omega = 90,9 \Omega$$

### \* Ganancia de corriente

$$A_i = \frac{i_o}{i_i} = \frac{v_o}{115} \frac{0,667 \text{ M}\Omega}{v_i} = \frac{v_o}{v_i} \frac{667}{1} = 0,9 \times 667 = 600,3$$

### \* Parámetros del amplificador

Tiene ganancia de voltaje menor que 1

Resistencia de entrada muy elevada

Resistencia de salida baja

$$A_v = 0,9$$

$$A_i = 600,3$$

$$R_i = 667 \text{ k}\Omega$$

$$R_o = 98,9 \Omega$$



## EN EL LABORATORIO POLARIZACIÓN DEL TRANSISTOR

**En primer lugar se monta solo el circuito DC.**

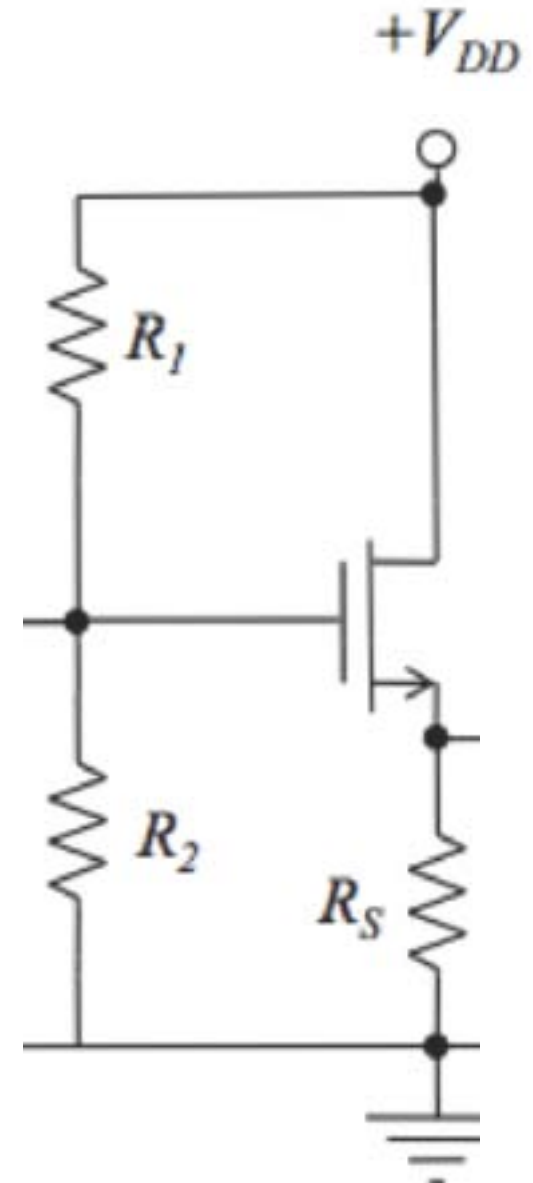
\* Se determina el punto de operación  
midiendo con el multímetro:

$V_{GS}$ : Probar haciendo una medición directa y  
luego una indirecta  $V_G - V_S$

$V_{DS}$

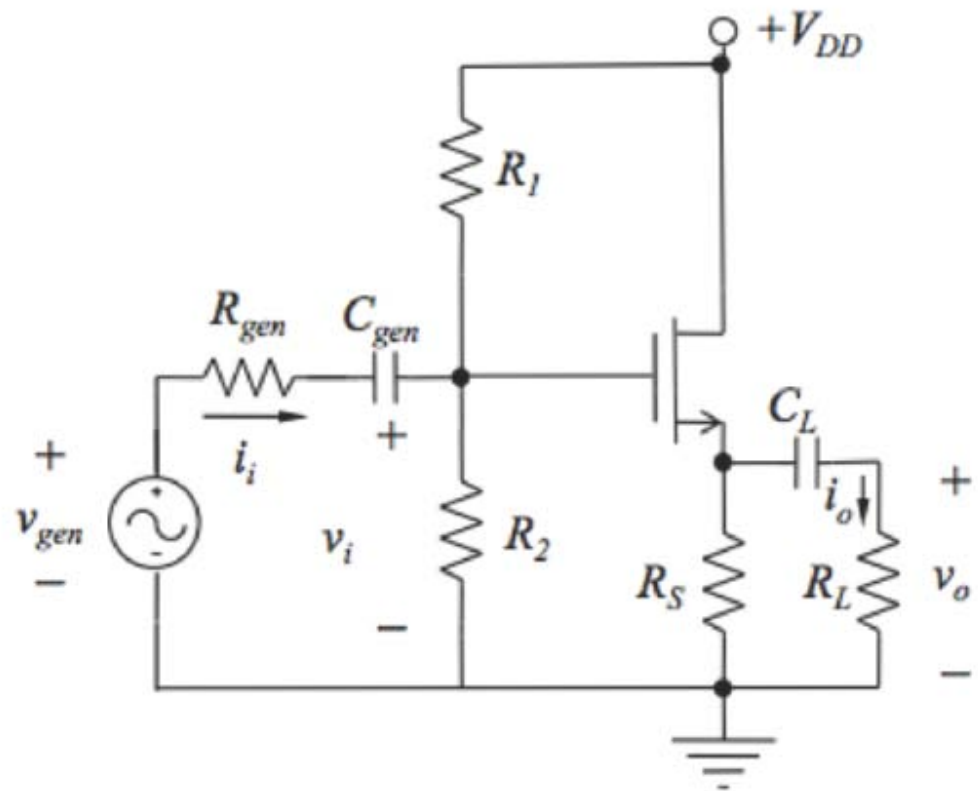
$$I_D = V_D / R_D$$

\* Solo cuando el punto de operación  
se encuentre en un rango cercano a los  
valores deseados, se puede continuar con  
el estudio en AC.



## EL DRAIN COMÚN COMO AMPLIFICADOR

- \* Se enciende la fuente DC
- \* Se aplica el voltaje de salida del generador, a través de un divisor de voltaje con un potenciómetro si es necesario para obtener las amplitudes deseadas
- \* Se selecciona el  $V_{i\max}$  de forma que no haya distorsión a la salida
- \* Se aumenta  $V_{i\max}$  hasta producir distorsión a la salida.
- \* Se registran varias formas de onda de la entrada con la salida.

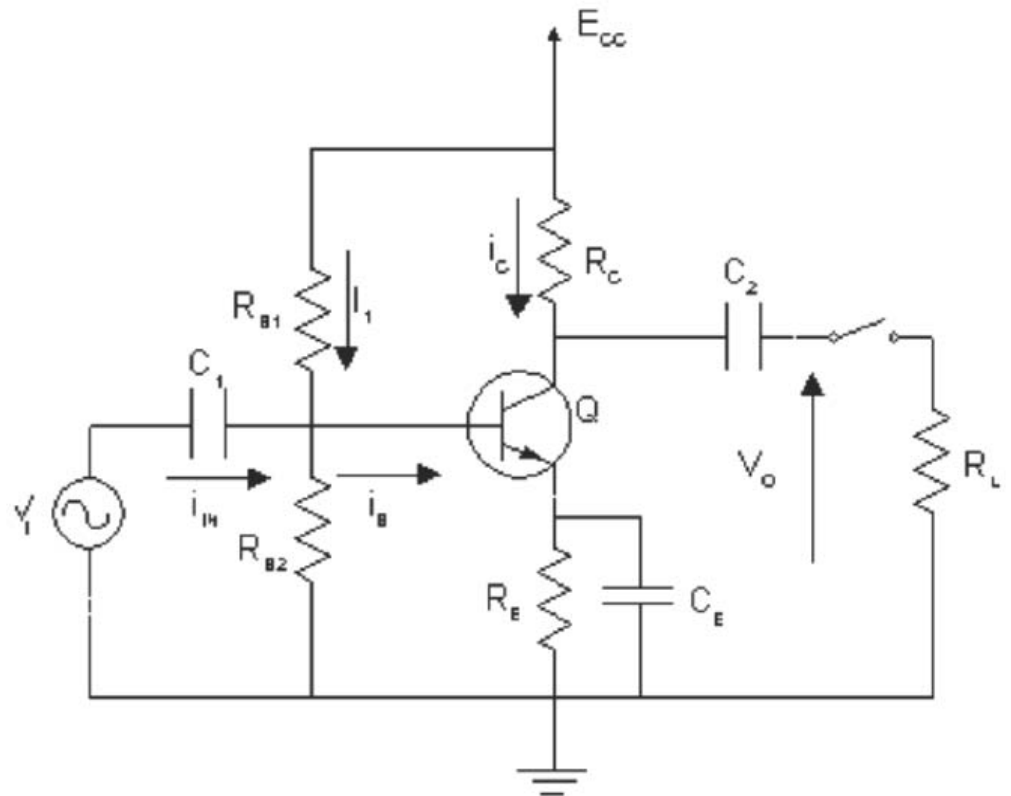


## MEDICIÓN DE LA GANANCIA DE VOLTAJE

### Ganancia de voltaje:

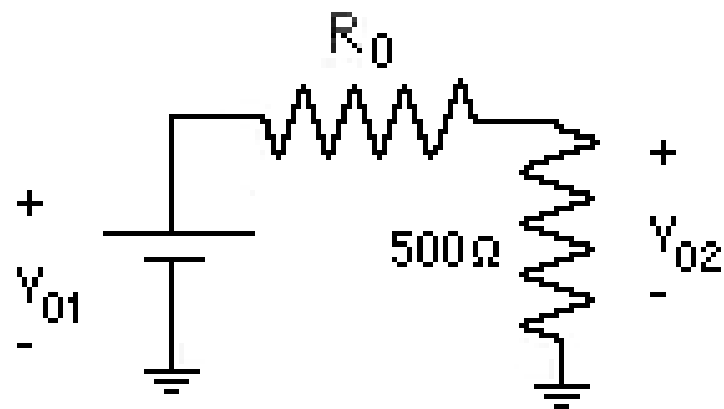
Se mide el voltaje AC sobre la carga y el voltaje AC aplicado al Gate

$$A_V = V_o / V_i$$



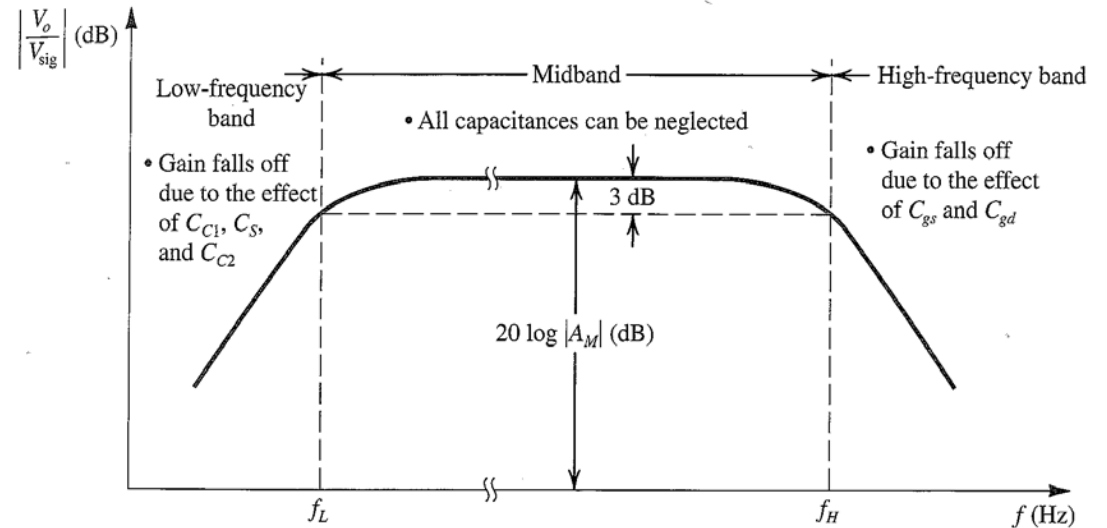
## MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DE SALIDA

- \* Se aplica un voltaje de entrada que produzca una salida de 3 o 4 Vpp sin distorsión y se mide cuidadosamente el voltaje de salida  $V_{01}$ .
- \* Se coloca una resistencia de carga de 1K y se mide cuidadosamente el voltaje de salida  $V_{02}$ .
- \* Con esos datos se puede plantear el circuito mostrado y determinar el valor de  $R_o$ .



## RESPUESTA EN FRECUENCIA

- \* Se enciende la fuente DC
- \* Manteniendo el voltaje de salida del generador constante y asegurándose que el amplificador no entre en saturación, se hace un barrido de frecuencia y se toman las correspondientes



mediciones a la salida, para poder realizar un diagrama de amplitud vs. frecuencia y otro de desfase vs. frecuencia, en un rango comparable con el que se realizó la simulación de MULTISIM.

- \* **NOTA:** Cuando en la preparación obtenga la respuesta en frecuencia del amplificador bajo estudio en MULTISIM, seleccione que el eje vertical esté en dB, e identifique la frecuencia de corte inferior y la frecuencia de corte superior.