

# Trabajo práctico 5

## TIRISTORES

- **Autores:**

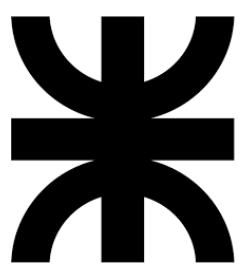
- Manuel León Parfait - Leg. 406599
- Marcos Raúl Gatica - Leg. 402006
- Valentino Rao - Leg. 402308

- **Curso:** 3R1

- **Docente:** Guillermo Gilberto

- **Asignatura:** Electrónica Aplicada

- **Institución:** Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional de Córdoba.



U  
T  
N  
F  
R  
C



## Contents

<b>1</b>	<b>Polarización del punto Q</b>	<b>1</b>
1.1	Cálculos del punto Q . . . . .	2
1.2	Implementación circuito carga pasiva . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Polarización Con fuente de corriente</b>	<b>3</b>
2.1	Cálculo de $R_1$ . . . . .	3
2.2	implementación circuito con carga activa . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Polarización Con fuente de corriente</b>	<b>4</b>
3.1	Cálculo de $R_1$ . . . . .	4
3.2	implementación circuito con carga activa . . . . .	5



## 1. Polarización del punto Q

### Parte analítica

En este trabajo implementamos un transistor JFET en configuración fuente común, para aplicar el modelo MES, en esta oportunidad implementamos el modelo con autopolarización. Nuestros datos iniciales fueron  $V_{DD} = 12V$   $R_G = 1M\Omega$ , además contábamos también con los datos del punto Q ya predefinidos  $I_{DQ} = \frac{I_{DSS}}{2}$  y  $V_{DSQ} = \frac{V_{DD}}{2}$

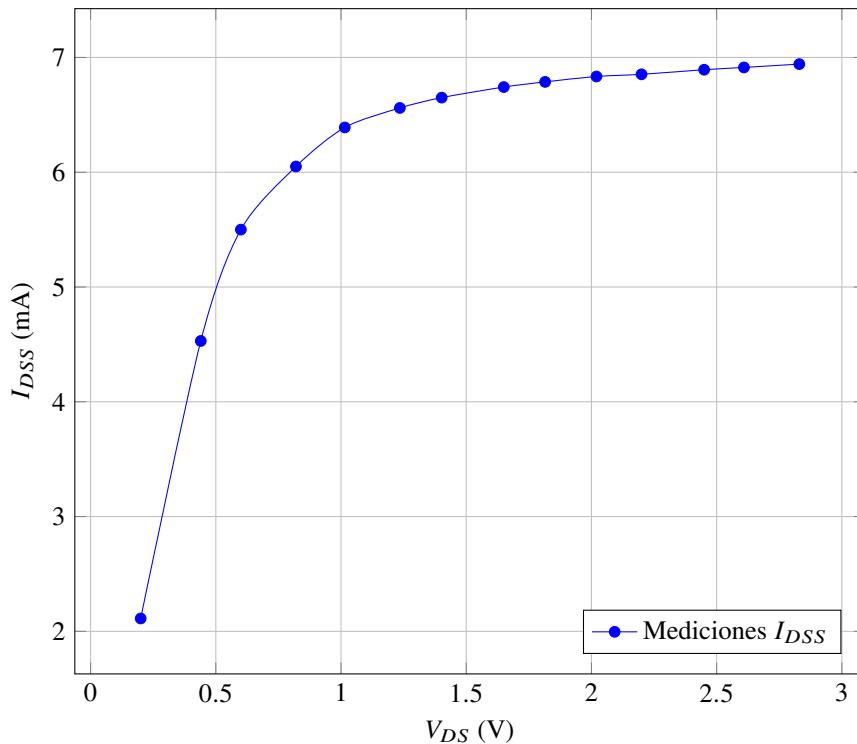
Primero revelamos la curva de  $I_{DSS}$ , para luego calcular  $R_S$   $R_D$ , la curva relevada fue la siguiente.

### Mediciones de $I_{DSS}$ Obtenidas

**Table 1:** Mediciones de  $I_{DSS}$  en función de  $V_{DS}$ .

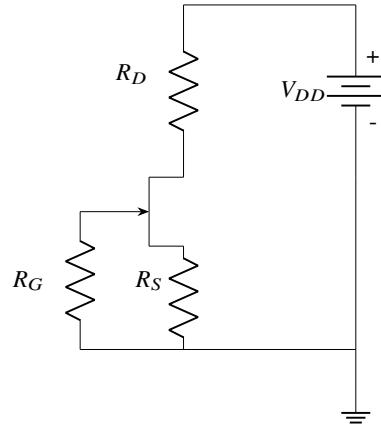
$V_{DS}$ (V)	$I_{DSS}$ (mA)	Diferencia (%)
0.200	2.112	-
0.440	4.530	114.5
0.600	5.500	21.4
0.820	6.050	10.0
1.015	6.390	5.6
1.235	6.560	2.7
1.402	6.650	1.4
1.650	6.742	1.4
1.815	6.787	0.7
2.020	6.834	0.7
2.200	6.853	0.3
2.450	6.893	0.6
2.609	6.913	0.3
2.830	6.942	0.4

Curva característica de JFET (K117) ( $V_{GS} = 0$ )



**Figure 1:** Curva de salida  $I_D = f(V_{DS})$  para  $V_{GS} = 0$ .

## 1.1. Cálculos del punto Q



Una vez revelada la curva, el valor de  $I_{DSS}$  se extrajo a partir de las diferencias porcentuales del mismo valor, el valor elegido fue:  $I_{DSS} = 6,650 \text{ mA}$ , ya que la diferencia porcentual con el valor anterior fue del 1.4%, el valor de tensión en este punto se denomina  $V_{GSoff}$  y es de  $V_{GSoff} = 1,402 \text{ V}$

$$I_{DQ} = \frac{I_{DSS}}{2} \rightarrow I_{DQ} = \frac{6,650 \text{ mA}}{2} \rightarrow I_{DQ} = 3,325 \text{ mA}$$

$$V_{DSQ} = \frac{V_{DD}}{2} \rightarrow V_{DSQ} = \frac{12 \text{ V}}{2} \rightarrow V_{DSQ} = 6 \text{ V}$$

El siguiente paso fue calcular las resistencias para situar el punto Q, para esto primero obtenemos el valor de  $V_{GS}$  para luego obtener  $R_S$  y finalmente obtenemos  $R_D$ . Las ecuaciones de las cuales obtenemos estos valores son las siguientes:

$$i_D = I_{DSS} \cdot \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GSoff}}\right)^2$$

$$V_{GS} = -i_D \cdot R_S$$

$$V_{DD} = i_D \cdot (R_S + R_D) + V_{DS}$$

De la primera ecuación despejamos  $V_{GS}$ , como nos encontramos en el punto Q, podemos sustituir  $i_D$  por  $I_{DQ}$  y queda:

$$V_{GS} = \left( \sqrt{\frac{I_{DQ}}{I_{DSS}}} - 1 \right) \cdot (-V_{GSoff}) \rightarrow V_{GS} = \left( \sqrt{\frac{I_{DSS}/2}{I_{DSS}}} - 1 \right) \cdot (-1,402 \text{ V}) \rightarrow V_{GS} = -0,4106 \text{ V}$$

Con este dato podemos obtener  $R_S$  a partir de la segunda ecuación:

$$R_S = \left| \frac{-V_{GS}}{I_{DQ}} \right| = \left| \frac{-(-0,4106 \text{ V})}{3,325 \text{ mA}} \right| = 123,48 \Omega \xrightarrow{\text{Normalizado}} R_S = 120 \Omega$$

Ya con este valor podemos calcular  $R_D$  apartir de la 3ra ecuación. Para el cálculo de  $R_D$  se utiliza el valor no normalizado de  $R_S$  para mayor precisión:

$$R_D = -R_S + \frac{V_{DD} - V_{DSQ}}{I_{DQ}} = -123,48 \Omega + \frac{12 \text{ V} - 6 \text{ V}}{3,325 \text{ mA}} = 1681,51 \Omega \xrightarrow{\text{Normalizado}} R_D = 1,8 \text{ k}\Omega$$

**Table 2:** Valores del punto Q, medido vs calculado

Parámetro	Valor Calculado (No normalizado) / Calculado	Valor Normalizado (Comercial)
$V_{GSQ}$	-0.4106 V	—
$I_{DQ}$	3.325 mA	—
$V_{DSQ}$	6 V	—
$R_S$	123.48 Ω	120 Ω
$R_D$	1681.51 Ω	1.8 kΩ

## 1.2. Implementación circuito carga pasiva

### Parte práctica

Cuando implementamos el circuito con un transistor JFET K117 y medimos, tuvimos que hacer un cambio en  $R_S$ , ya que la polarización no daba de la manera correcta, fuimos bajando el valor hasta llegar a  $80\Omega$ , con ese valor la polarización nos dió los siguientes valores:

Para medir  $I_{DQ}$  dividimos la tensión medida en la resistencia  $R_D$ , dividido el valor de esta ( $1,8k$ ), el resultado fue de  $I_{DQ} = 3,144mA$  y la  $V_{DS} = 6,12V$

**Table 3:** Valores del punto Q: Comparación Calculados vs. Medidos

Parámetro	Valor Calculado	Rango ( $\pm 10\%$ )	Valor Medido	Diferencia (%)
$V_{DSQ}$	6 V	[5.4 V; 6.6 V]	6.12 V	2.0%
$I_{DQ}$	3.325 mA	[2.99 mA; 3.66 mA]	3.144 mA	5.4%

### Resultados

Al comparar los resultados obtenidos en la “Parte analítica“ con los medidos en la “Parte práctica“, se observa una muy buena correlación entre el modelo teórico y el comportamiento real del circuito. Como se detalla en la **Tabla 3**, el valor medido de  $V_{DSQ}$  (6.12 V) presentó una diferencia porcentual de solo **2.0%** con respecto al valor calculado de 6 V.

Por su parte, la corriente  $I_{DQ}$  medida (3.144 mA) tuvo un desvío del **5.4%** frente al valor teórico de 3.325 mA. Esta diferencia es atribuible a la discrepancia encontrada durante la implementación práctica. El valor calculado para la resistencia  $R_S$  fue de  $123.48\Omega$  (normalizado a  $120\Omega$ ), pero en el laboratorio fue necesario ajustar este valor a **80**  $\Omega$  para lograr la polarización correcta, tal como se describe en el texto de la parte práctica.

Este ajuste en  $R_S$  es la principal fuente del error porcentual en  $I_{DQ}$ . A pesar de esto, una diferencia del 5.4% se considera aceptable y valida el modelo analítico como una herramienta de diseño eficaz, demostrando que los cálculos teóricos del punto Q sirvieron como una excelente aproximación para la implementación física.

«<<< Updated upstream

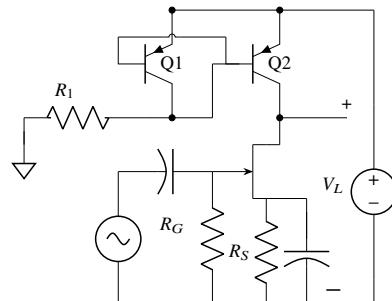
## 2. Polarización Con fuente de corriente

### 2.1. Cálculo de $R_1$

### Parte analítica

En la segunda parte del trabajo práctico, se reemplaza la resistencia de drenador  $R_D$  por una **carga activa**. Como se vio en la teoría, en los circuitos integrados se utilizan fuentes de corriente de transistores como elemento de carga, ya que son menos sensibles a las variaciones de temperatura y ocupan una menor superficie que los resistores pasivos.

El circuito a implementar es una **Fuente de Corriente Básica** con BJT, también conocida como espejo de corriente. Esta configuración utiliza dos transistores (Q1 y Q2) apareados, donde Q1 se conecta como un diodo para establecer una corriente de referencia  $I_R$ .



El objetivo de esta parte es **mantener el mismo punto Q** (la misma  $I_{DQ}$  y  $V_{DSQ}$ ) que en el diseño con carga resistiva. Por lo tanto, la corriente de salida  $I_O = I_{C2}$  de nuestro espejo de corriente debe ser igual a la corriente  $I_{DQ}$  que calculamos en la primera parte. Para lograr esto, se debe calcular la resistencia  $R_1$  que establece la corriente de referencia  $I_R$ . Asumiendo

un  $\beta$  alto, la corriente de referencia  $I_R$  es aproximadamente igual a la corriente de salida  $I_{C2}$ . Por lo tanto, despejamos  $R_1$  de la ecuación de la malla de entrada, usando la corriente  $I_{DQ}$  deseada:

$$I_R = \frac{V_{DD} - V_{BE}}{R_1} \quad \text{si } I_R \approx I_{C2} = I_{DQ} \rightarrow R_1 = \frac{V_{DD} - V_{BE}}{I_{DQ}}$$

$$R_1 = \frac{12V - 0,7V}{3,325mA} \rightarrow R_1 = 3200\Omega \quad \xrightarrow{\text{Normalizado}} \quad R_1 = 3300\Omega$$

## 2.2. implementación circuito con carga activa

### Parte práctico

Para la implementación de la carga activa, se procedió a calcular el valor de la resistencia  $R_1$  para el espejo de corriente, con el objetivo de mantener el  $I_{DQ}$  de diseño (3.325 mA). Sin embargo, la implementación práctica presentó serias dificultades. En un primer intento se utilizaron transistores PNP **MPSA92**, y posteriormente **A92 B331**. En ambos casos, el circuito falló: la señal de salida  $v_L$  se observaba **severamente recortada**.

Este recorte sugiere que el punto Q del JFET se estaba desplazando incorrectamente, probablemente empujando al transistor a la región óhmica. Esto puede ocurrir si el espejo de corriente no logra establecer una corriente de colector ( $I_{DQ}$ ) estable, un problema común si los transistores (como los modelos de alto voltaje MPSA92) no están caracterizados para operar eficientemente a corrientes tan bajas, presentando un  $\beta$  muy bajo o un  $V_{BE}$  inconsistente.

Finalmente, se implementó el espejo de corriente utilizando transistores **BC 557**, con los cuales el circuito funcionó correctamente. Se midieron los  $\beta$  de ambos transistores, arrojando valores de **156** y **159**, lo cual es ideal para un espejo de corriente. Con esta configuración, se midió la corriente  $I_{DQ}$  de forma indirecta, midiendo la caída de tensión en  $R_S$  (80.2  $\Omega$ ), la cual fue de 261.7 mV, resultando en:  $I_{DQ} = 3.263$  mA. El valor medido para  $V_{DSQ}$  fue de **9.01 V**.

**Table 4:** Comparativa de los valores del punto Q

Parámetro	Valor Calculado	Rango ( $\pm 10\%$ )	Medido (Pasivo)	Medido (Activo)	Desvío (Pasivo / Activo)
$V_{DSQ}$	6 V	[5.4 V, 6.6 V]	6.12 V	9.01 V	2.0% / 50.17%
$I_{DQ}$	3.325 mA	[2.99 mA, 3.66 mA]	3.144 mA	3.263 mA	5.4% / 1.86%

### Resultados

La implementación de la carga activa fue exitosa tras reemplazar los transistores PNP por el modelo **BC 557**. Los resultados de la polarización son notables: la corriente  $I_{DQ}$  medida con la carga activa (3.263 mA) es **extremadamente cercana** al valor teórico de diseño (3.325 mA), con un desvío de solo **1.86%**. Esto valida el diseño del espejo de corriente. Sin embargo, la tensión  $V_{DSQ}$  (9.01 V) se desvía significativamente del objetivo de 6 V. Esto es esperable, ya que la resistencia de salida  $r_o$  del espejo de corriente es mucho más alta que la  $R_D$  pasiva, reubicando el punto Q verticalmente, lo cual tendrá un impacto directo en la ganancia de tensión (Av) del amplificador. =====

## 3. Polarización Con fuente de corriente

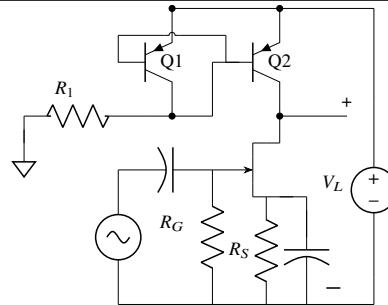
### 3.1. Cálculo de $R_1$

#### Parte analítica

En la segunda parte del trabajo práctico, se reemplaza la resistencia de drenador  $R_D$  por una **carga activa**. Como se vio en la teoría, en los circuitos integrados se utilizan fuentes de corriente de transistores como elemento de carga, ya que son menos sensibles a las variaciones de temperatura y ocupan una menor superficie que los resistores pasivos.

El circuito a implementar es una **Fuente de Corriente Básica** con BJT, también conocida como espejo de corriente. Esta configuración utiliza dos transistores (Q1 y Q2) apareados, donde Q1 se conecta como un diodo para establecer una corriente de referencia  $I_R$ .

El objetivo de esta parte es **mantener el mismo punto Q** (la misma  $I_{DQ}$  y  $V_{DSQ}$ ) que en el diseño con carga resistiva. Por lo tanto, la corriente de salida  $I_O = I_{C2}$  de nuestro espejo de corriente debe ser igual a la corriente  $I_{DQ}$  que calculamos en la primera parte. Para lograr esto, se debe calcular la resistencia  $R_1$  que establece la corriente de referencia  $I_R$ . Asumiendo un  $\beta$  alto, la corriente de referencia  $I_R$  es aproximadamente igual a la corriente de salida  $I_{C2}$ . Por lo tanto, despejamos  $R_1$  de la ecuación de la malla de entrada, usando la corriente  $I_{DQ}$  deseada:



$$I_R = \frac{V_{DD} - V_{BE}}{R_1} \quad \text{si } I_R \approx I_{C2} = I_{DQ} \quad R_1 = \frac{V_{DD} - V_{BE}}{I_{DQ}}$$

$$R_1 = \frac{12V - 0,7V}{3,325mA} \rightarrow R_1 = 3200\Omega \quad \xrightarrow{\text{Normalizado}} \quad R_1 = 3300\Omega$$

### 3.2. implementación circuito con carga activa

#### Parte práctica

Para la implementación de la carga activa, se procedió a calcular el valor de la resistencia  $R_1$  para el espejo de corriente, con el objetivo de mantener el  $I_{DQ}$  de diseño (3.325 mA). Sin embargo, la implementación práctica presentó serias dificultades. En un primer intento se utilizaron transistores PNP MPSA92, y posteriormente A92 B331. En ambos casos, el circuito falló: la señal de salida  $v_L$  se observaba **severamente recortada**.

Este recorte sugiere que el punto Q del JFET se estaba desplazando incorrectamente, probablemente empujando al transistor a la región óhmica. Esto puede ocurrir si el espejo de corriente no logra establecer una corriente de colector ( $I_{DQ}$ ) estable, un problema común si los transistores (como los modelos de alto voltaje MPSA92) no están caracterizados para operar eficientemente a corrientes tan bajas, presentando un  $\beta$  muy bajo o un  $V_{BE}$  inconsistente.

Finalmente, se implementó el espejo de corriente utilizando transistores BC 557, con los cuales el circuito funcionó correctamente. Se midieron los  $\beta$  de ambos transistores, arrojando valores de **156** y **159**, lo cual es ideal para un espejo de corriente. Con esta configuración, se midió la corriente  $I_{DQ}$  de forma indirecta, midiendo la caída de tensión en  $R_S$  (80.2  $\Omega$ ), la cual fue de 261.7 mV, resultando en:  $I_{DQ} = 3.263$  mA. El valor medido para  $V_{DSQ}$  fue de **9.01 V**.

**Table 5:** Comparativa de los valores del punto Q

Parámetro	Valor Calculado	Rango ( $\pm 10\%$ )	Medido (Pasivo)	Medido (Activo)	Desvío (Pasivo / Activo)
$V_{DSQ}$	6 V	[5.4 V, 6.6 V]	6.12 V	9.01 V	2.0% / 50.17%
$I_{DQ}$	3.325 mA	[2.99 mA, 3.66 mA]	3.144 mA	3.263 mA	5.4% / 1.86%

#### Resultados

La implementación de la carga activa fue exitosa tras reemplazar los transistores PNP por el modelo BC 557. Los resultados de la polarización son notables: la corriente  $I_{DQ}$  medida con la carga activa (3.263 mA) es **extremadamente cercana** al valor teórico de diseño (3.325 mA), con un desvío de solo **1.86%**. Esto valida el diseño del espejo de corriente. Sin embargo, la tensión  $V_{DSQ}$  (9.01 V) se desvía significativamente del objetivo de 6 V. Esto es esperable, ya que la resistencia de salida  $r_o$  del espejo de corriente es mucho más alta que la  $R_D$  pasiva, reubicando el punto Q verticalmente, lo cual tendrá un impacto directo en la ganancia de tensión (Av) del amplificador. »»» Stashed changes