



# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

## MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO PARA LA U.A. "ELECTRÓNICA DIGITAL"

Licenciatura en Ingeniería en Computación

Centro Universitario UAEM Valle de Teotihuacán

**Elaborado por:**

M. en I. David Martínez Martínez

M. en I. José Francisco Martínez Lendech

**Fecha:**

Agosto, 2017.

**Revisado por:**

Dr. en C.C. José Francisco Solís Villareal

**Fecha:**

Septiembre, 2017.



Página en blanco



## INDICE

	Pág.
PRESENTACIÓN	5
PRÁCTICA 1: Curvas características del JFET	7
PRÁCTICA 2: Polarización De JFET's	17
PRÁCTICA 3: MOSFET's	25
PRÁCTICA 4: Amplificadores con JFET	33
PRÁCTICA 5: Circuitos básicos con amplificadores operacionales	37
PRÁCTICA 6: Comparador con histéresis, sumadores y promediadores	41
PRÁCTICA 7: Filtros activos	45
PRÁCTICA 8: Osciladores	49



Página en blanco



## PRESENTACIÓN

El presente trabajo es un Manual de Prácticas de Laboratorio diseñado específicamente para la Unidad de Aprendizaje Electrónica Digital impartida en el Centro Universitario UAEM Valle de Teotihuacán. Comprende ocho prácticas que abarcan en forma general el contenido de la Unidad de Aprendizaje referida.

La práctica 1 trata acerca del conocimiento básico de los transistores denominados JFET (Join Field Effect Transistor – Transistor de Efecto de Campo de Unión). Se obtienen las curvas características del JFET, tanto la curva característica de drenaje como la curva de transferencia, comprendiendo el significado físico de cada una de ellas.

La práctica 2 consiste en aprender y comprender los métodos de polarización que existen para un JFET. El contenido de ésta práctica es muy importante, ya que polarizar un JFET de forma apropiada es un procedimiento necesario para que funcione apropiadamente.

La práctica 3 trata acerca del funcionamiento básico del transistor conocido como MOSFET (Metal Oxide Field Effect Transistor – Transistor de Efecto de Campo de óxidos Metálicos). Se analiza su curva característica de funcionamiento y se determinan los parámetros importantes para su operación, como el voltaje de umbral y la corriente de drenaje..

La práctica 4 trata acerca del uso de los transistores JFET como amplificadores en sus diferentes configuraciones: drenaje común, compuerta común y fuente común.

La práctica 5 introduce los amplificadores operacionales con sus circuitos básicos, mientras que la práctica 6 trata sobre aplicaciones más específicas como circuitos comparadores, sumadores y promediadores.

Otro tema importante que son los filtros activos con amplificadores operacionales se trata en la práctica 7, mientras que la práctica 8 trata acerca del diseño de circuitos osciladores a partir de amplificadores operacionales.





## PRACTICA 1

### Curvas características del JFET



#### OBJETIVO:

Aprender y comprobar la metodología para la obtención de las curvas características de un *Transistor de Efecto de Campo de Unión (Join Field Effect Transistor – JFET)*



#### INTRODUCCIÓN:

El JFET es un tipo de transistor que opera con una unión PN polarizada en inversa para controlar corriente en un canal. Según su estructura, los JFET caen dentro de laguna de dos categorías: *Canal N* ó *Canal P*.

La figura 1(a) muestra la estructura básica de un JFET de canal N. Cada extremo del canal N tiene una terminal; el drenaje se encuentra en el extremo superior y la fuente en el inferior. Se difunden dos regiones tipo P en la región tipo N para formar un canal y ambos tipos de regiones P se conectan a la terminal de la compuerta. Por simplicidad, la terminal de la compuerta se muestra conectada a una sola de las regiones P. En la figura 1(b) se muestra un JFET de canal P.

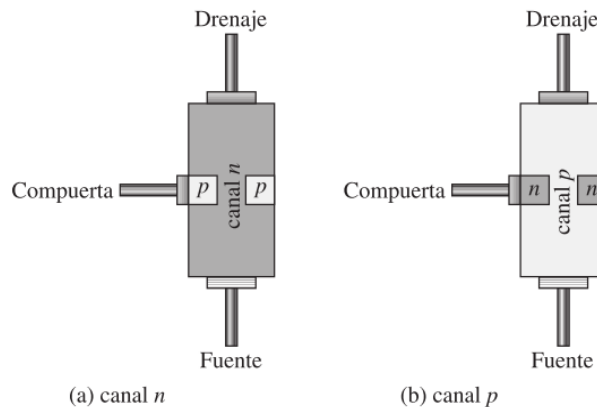


Figura 1. Representación de la estructura básica de los dos tipos de JFET.

#### Símbolos eléctricos del JFET.

Los símbolos eléctricos usados para representar los dos tipos de JFET se muestran en la figura 2.

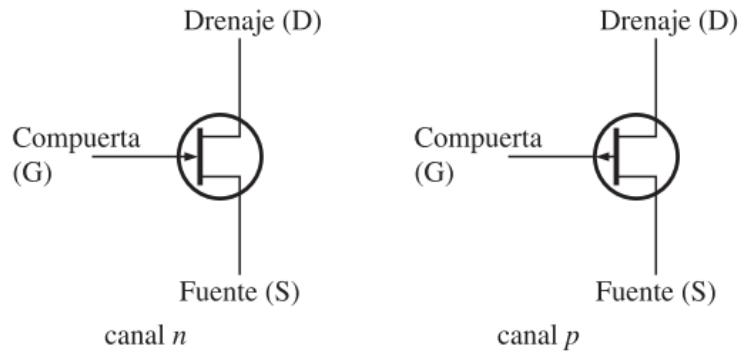


Figura 2. Símbolos eléctricos del JFET.

### Operación básica del JFET.

La figura 3 muestra la operación básica del JFET de canal N.  $V_{DD}$  genera un voltaje entre el drenaje y la fuente y suministra una corriente.  $V_{GG}$  establece el voltaje de polarización en inversa entre la compuerta y la fuente.

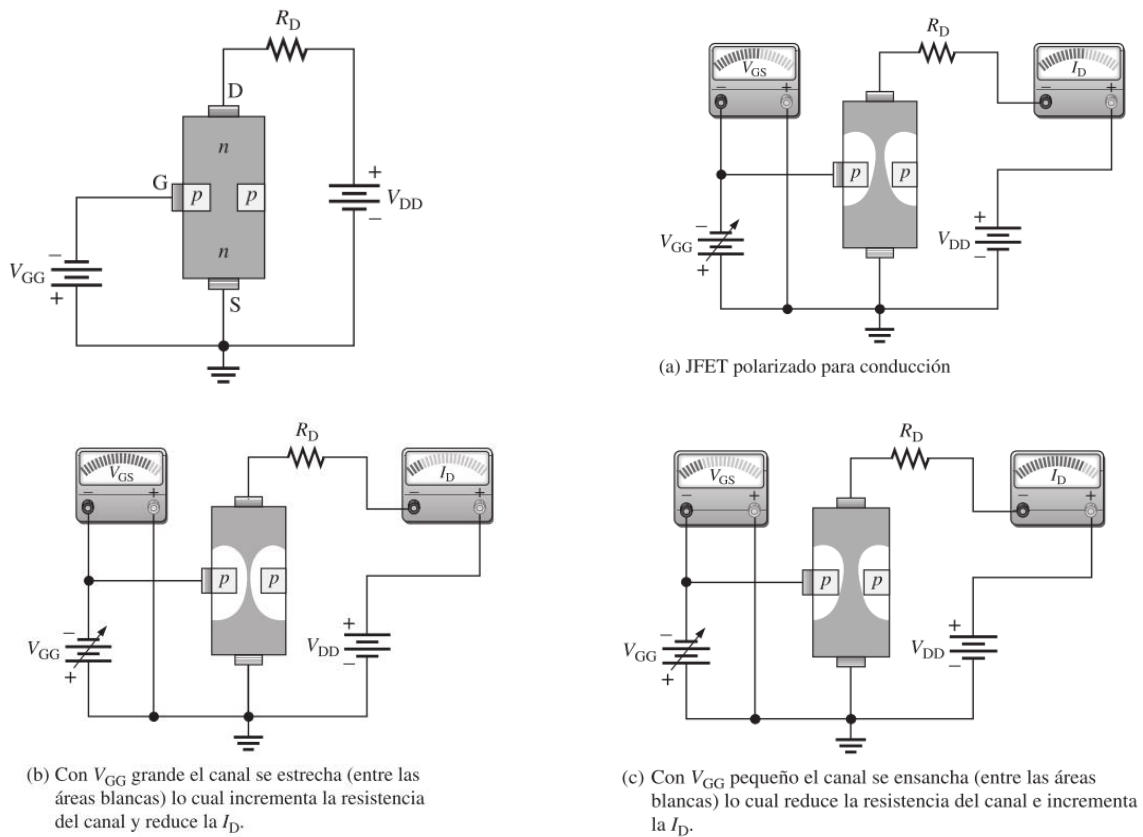


Figura 3. Operación básica de un JFET.





### Curva característica de drenaje de un JFET.

La figura 4 muestra el esquema para la obtención de la curva característica de drenaje de un JFET. Con  $V_{GS} = 0$ , lo cual se logra cortocircuitando la compuerta con la fuente y conectándolas a tierra, a medida que  $V_{DD}$  (y por lo tanto  $V_{DS}$ ) se incrementa a partir de 0 volts,  $I_D$  lo hará proporcionalmente, como se muestra en la figura 4(b) entre los puntos A y B. En el punto B la curva se nivela y entra en la región activa donde  $I_D$  se vuelve prácticamente constante.

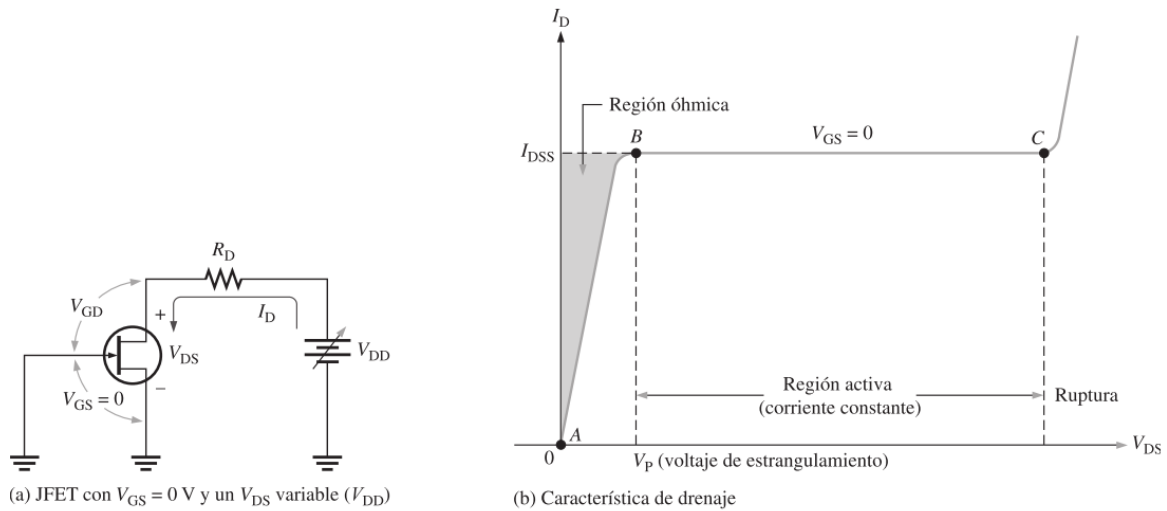


Figura 4. Curva característica de drenaje de un JFET.

El voltaje al cual la corriente se vuelve prácticamente constante se conoce como *Voltaje de Estrangulamiento* y se denomina como  $V_p$ . El valor al cual se estabiliza la corriente de drenaje ( $I_D$ ) se conoce como *Corriente de Drenaje a Fuente con Compuerta Cortocircuitada* ( $I_{DSS}$ , por sus siglas en inglés).

El procedimiento para la obtención de ésta curva es el siguiente:

1. Armar el circuito mostrado en la figura 1(a).
2. Incrementar poco a poco la fuente  $V_{DD}$ .
3. En cada incremento de  $V_{DD}$  medir  $V_{DS}$  e  $I_D$ .
4. Graficar  $V_{DS}$  vs  $I_D$ .

### Modificación de la corriente de drenaje.

La corriente en el drenaje del JFET se puede modificar variando el voltaje de compuerta a fuente, como se muestra en la figura 5.

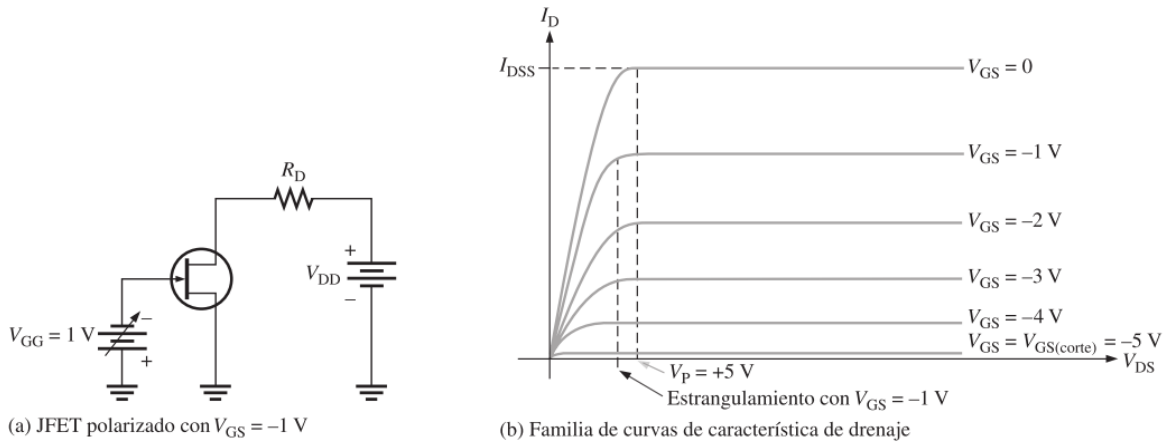


Figura 5. Familia de curvas características de drenaje.

Como puede observarse en la figura 5, el incremento del voltaje negativo aplicado a la compuerta mediante la fuente  $V_{GG}$ , tendrá como consecuencia la reducción de la corriente de drenaje,  $I_D$ .

### Voltaje de corte ( $V_{GS(corte)}$ )

Si se continúa incrementando  $V_{GG}$  (y por lo tanto  $V_{GS}$ ), la corriente en el drenaje continuará también disminuyendo. El valor de voltaje entre compuerta y fuente ( $V_{GS}$ ) al cual la corriente en el drenaje se vuelve prácticamente cero, se conoce como voltaje de corte del JFET,  $V_{GS(corte)}$ .

### Característica de transferencia universal del JFET.

Como se ha mencionado, un intervalo de valores de  $V_{GS}$  desde cero hasta  $V_{GS(corte)}$  controla la cantidad de corriente en el drenaje. La curva de transferencia universal de un JFET se muestra en la figura 6, donde se observa que relaciona el voltaje de compuerta a fuente,  $V_{GS}$ , con la corriente en el drenaje,  $I_D$ .

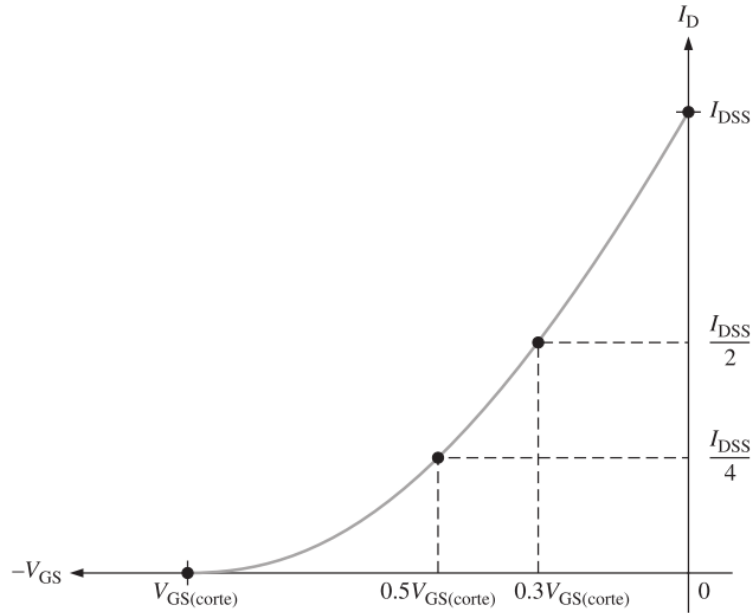


Figura 6. Curva de transferencia universal de un JFET.

La curva de transferencia universal se relaciona con la curva característica de drenaje de la forma mostrada en la figura 7.

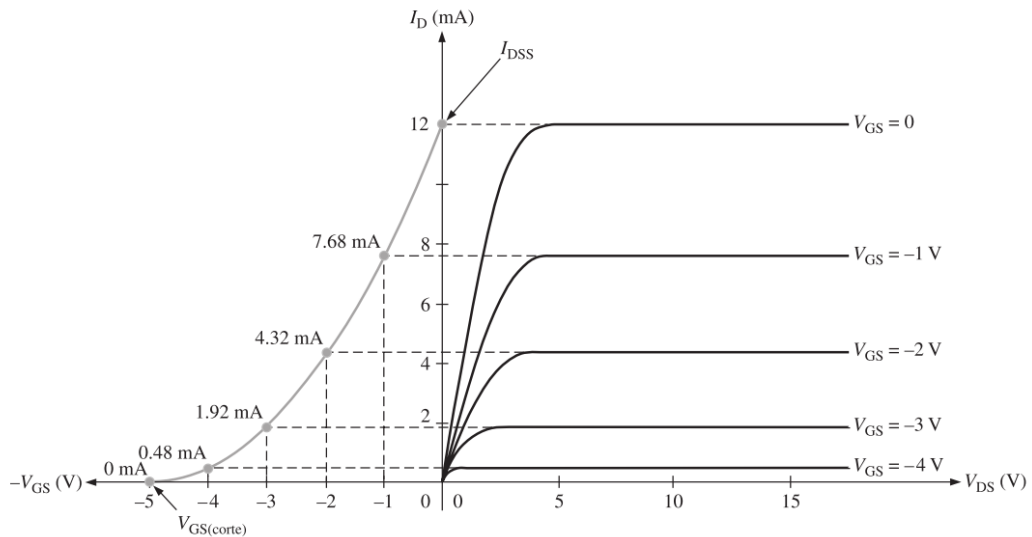


Figura 7. Relación entre la curva característica de drenaje y la curva de transferencia universal de un JFET.



### MATERIAL Y EQUIPO A UTILIZAR:

- Transistor JFET 2N5484 ó 2N5485 ó 2N5486
- Hoja de datos (Datasheet) del transistor a utilizar
- Fuente de voltaje (2 salidas).
- Resistencia de 330 a 560 ohms
- Multímetro
- Hojas milimétricas



### DESARROLLO:

1. Armar el circuito mostrado en la figura 8.

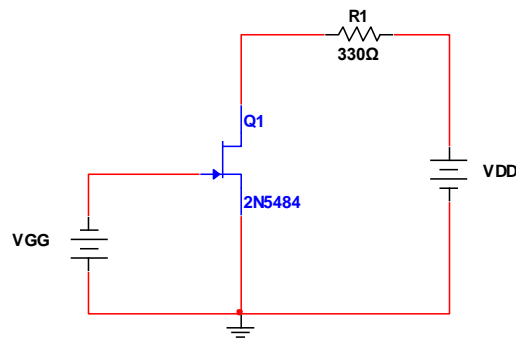
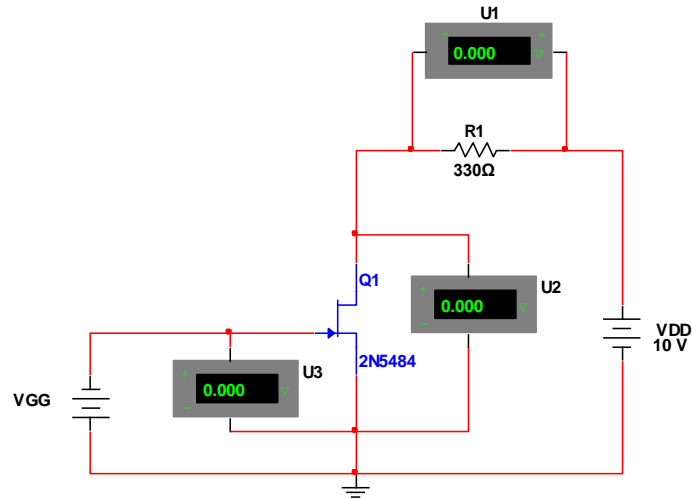


Figura 8. Esquema para la obtención de las curvas del JFET.

2. Las mediciones necesarias para trazar las curvas del JFET son las siguientes:
  - a.  $I_D$ , corriente en el drenaje [Amperes].
  - b.  $V_{DS}$ , voltaje entre drenaje y fuente [Volts].
  - c.  $V_{GS}$ , voltaje entre compuerta y fuente [Volts].



El esquema para realizar las mediciones anteriores es el siguiente:



- La corriente  $I_D$  se calcula dividiendo la medición de voltaje del indicador denominado U1, entre el valor de la resistencia R1.
- El voltaje  $V_{DS}$  se toma directamente del indicador U2.
- El voltaje  $V_{GS}$  se toma directamente del indicador U3.

3. Para obtener la curva característica de drenaje proceder como se indica a continuación:

- Fijar  $V_{DD}$  y  $V_{GG}$  en cero volts.
- Incrementar  $V_{DD}$  en pasos de entre 0.2 volts y 0.5 volts.
- En cada incremento de  $V_{DD}$  llenar la siguiente tabla.

VDD [Volts]	VDS (U2) [Volts]	VGS (U3) [Volts]	VR1 (U1) [Volts]	R1 [Ohms]	ID = VR1 / R1 [Amperes]
		0			
		0			
		0			
		0			
		0			
		0			
		0			

d. Trazar en hoja milimétrica la gráfica de  $V_{DS}$  vs  $I_D$ .



- e. Determinar el voltaje de estrangulamiento del JFET ( $V_p$ ), el cual es el valor de  $V_{DS}$  al cual la corriente se vuelve constante.

$$V_p =$$

4. Para obtener la curva de transferencia universal proceder como se indica a continuación:
- Fijar  $V_{DD} = 10$  volts y  $V_{GG} = 0$  volts.
  - Incrementar  $V_{GG}$  en pasos de entre 0.2 y 0.5 volts.
  - En cada incremento de  $V_{GG}$  llenar la siguiente tabla:

VDD [Volts]	VDS (U2) [Volts]	VGS (U3) [Volts]	VR1 (U1) [Volts]	R1 [Ohms]	ID = VR1 / R1 [Amperes]
10	----				
10	----				
10	----				
10	----				
10	----				
10	----				
10	----				

- Trazar en hoja milimétrica la gráfica de  $V_{GS}$  vs  $I_D$ .
- Determinar el voltaje de corte del JFET ( $V_{GS(corte)}$ ), el cual es el valor de  $V_{GS}$  al cual la corriente en el drenaje,  $I_D$ , se vuelve prácticamente cero:

$$V_{GS(corte)} =$$

- Realice las adecuaciones necesarias para determinar el valor de  $I_{DSS}$ .

$$I_{DSS} =$$



### CUESTIONARIO:

- Mencione las tres terminales de un JFET.
- Defina voltaje de estrangulamiento de un JFET.
- Defina voltaje de corte de un JFET.
- Qué parámetro del JFET puede modificarse para cambiar la corriente en el drenaje.
- Defina  $I_{DSS}$ .
- ¿Qué condición se debe cumplir en un JFET para que  $I_D = I_{DSS}$ ?



### CONCLUSIONES:

Indique sus conclusiones de la práctica



### REFERENCIAS

#### Requerida.

- Floyd, Thomas (2008), *Dispositivos Electrónicos*. Octava edición, Ed. Pearson Education, México.

#### Sugerida.

- Boylestad, Robert L., Nashelsky, Louis. *Electrónica: Teoría de Circuitos*. Sexta edición, Ed. Pearson Education, México.
- Coughlin, Robert F., Driscoll, Frederick F. *Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales*. Tercera edición, Ed. Prentice Hall.
- Malvino, Albert Paul. *Principios de electrónica*. Séptima edición, Ed. McGrawHill.
- Rashid, Muhammad H. *Circuitos microelectrónicos: análisis y diseño*. Ed. International Thomson.







## PRACTICA 2 POLARIZACIÓN DE JFET's



### OBJETIVO:

Aprender las técnicas usadas en la polarización de transistores JFET.



### INTRODUCCIÓN:

El propósito de la polarización de transistores JFET es seleccionar el voltaje de c.d. de compuerta a fuente apropiado para establecer un valor deseado de la corriente en el drenaje y por consiguiente un punto Q apropiado. Existen tres tipos de polarización: la autopolarización, la polarización mediante divisor de voltaje y la polarización mediante fuente de corriente.

#### Autopolarización.

La autopolarización es el tipo de polarización más común en los JFET. Recordando que un JFET debe ser operado de tal forma que la unión compuerta-fuente siempre esté polarizada en inversa. Esta condición requiere un VGS negativo para un JFET de canal N y un VGS positivo para un JFET de canal P. Esto se puede lograr con la configuración de autopolarización mostrada en la figura 2.1.

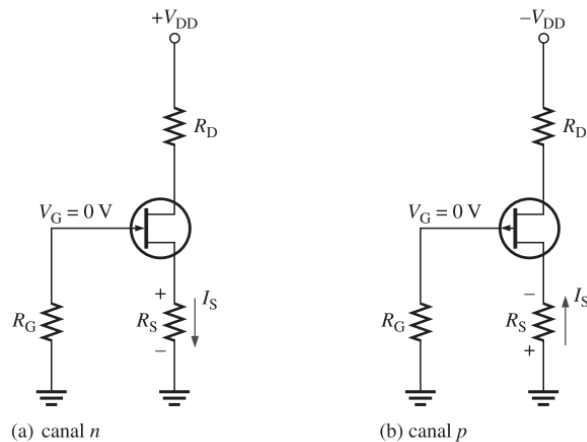


Figura 2.1. Autopolarización de JFET's.



Considerando un JFET de canal N,  $I_S$  produce una caída de voltaje a través de  $R_S$  que hace a la fuente positiva con respecto a tierra. Puesto que  $I_S = I_D$ , y  $V_G = 0$ , entonces  $V_S = I_D R_S$ . El voltaje de compuerta a fuente es:

$$V_{GS} = V_G - V_S = 0 - I_D R_S = -I_D R_S$$

Por lo tanto:  $V_{GS} = -I_D R_S$

El voltaje en el drenaje respecto a tierra se determina como:

$$V_D = V_{DD} - I_D R_D$$

Como  $V_S = I_D R_S$ , el voltaje entre drenaje y fuente es:

$$V_{DS} = V_D - V_S = V_{DD} - I_D(R_D + R_S)$$

### Establecimiento del punto Q de un JFET autopolarizado.

El método básico para establecer el punto de polarización de un JFET es determinar  $I_D$  para un valor deseado de  $V_{GS}$  o viceversa; luego se calcula el valor requerido de  $R_S$  con la siguiente relación:

$$R_S = \left| \frac{V_{GS}}{I_D} \right|$$

Para un valor deseado de  $V_{GS}$ , se determina  $I_D$  de una de dos maneras:

1. Con la curva de transferencia para el JFET particular.
2. Con la ecuación siguiente:

$$I_D = I_{DSS} \left( 1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(corte)}} \right)^2 \dots (1)$$

Donde  $I_{DSS}$  y  $V_{GS(corte)}$  se obtienen mediante una prueba física o en su defecto de la hoja de datos del JFET.



### Polarización en el punto medio.

Normalmente es deseable polarizar un JFET cerca del punto medio de su curva de transferencia, donde  $I_D = I_{DSS}/2$ . En condiciones de señal, la polarización en el punto medio permite que la cantidad máxima de corriente en el drenaje oscile entre  $I_{DSS}$  y cero. Experimentalmente se sabe que  $I_D$  es aproximadamente la mitad de  $I_{DSS}$  cuando  $V_{GS} = V_{GS(corte)}/3.4$

$$I_D = I_{DSS} \left( 1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(corte)}} \right)^2 = I_{DSS} \left( 1 - \frac{V_{GS(corte)}/3.4}{V_{GS(corte)}} \right)^2 = 0.5 I_{DSS}$$

Así que, seleccionando  $V_{GS} = V_{GS(corte)}/3.4$ , se deberá conseguir una polarización de punto medio en función de  $I_D$ .

Para situar el voltaje de drenaje en el punto medio ( $V_D = V_{DD}/2$ ), seleccione un valor de  $R_D$  para producir la caída de voltaje deseada.

$$R_D = \frac{V_{DD} - V_{DD}/2}{I_D}$$

Seleccione un  $R_G$  arbitrariamente grande para evitar que se cargue la etapa de mando en una configuración de amplificadores en cascada.

### Análisis gráfico de un JFET autopolarizado.

Se puede ocupar la curva característica de transferencia de un JFET y ciertos parámetros para determinar el punto Q ( $I_D$  y  $V_{GS}$ ) de un circuito autopolarizado. La figura 2.2(a) muestra un circuito y la figura 2.2(b) muestra una curva de transferencia. Si una hoja de datos no incluye una curva, puede ser trazada con la ecuación (1), utilizando los valores de  $I_{DSS}$  y  $V_{GS(corte)}$  dados en la hoja de datos.

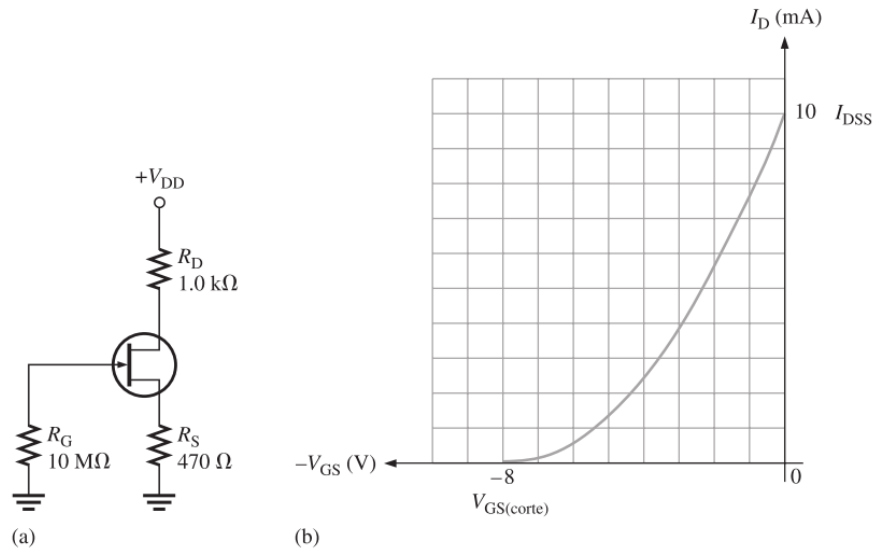


Figura 2.2. JFET polarizado y su curva de transferencia.

Para determinar el punto Q del circuito de la figura 2.2(a) se establece una recta de carga de c.d. de autopolarización en la gráfica de la parte (b) de la forma descrita a continuación. Primero se calcula  $V_{GS}$  cuando  $I_D$  es cero.

$$V_{GS} = -I_D R_S = (0)(470\Omega) = 0 \text{ V}$$

Esto establece un punto en el origen de la gráfica ( $I_D = 0$ ,  $V_{GS} = 0$ ). A continuación se calcula  $V_{GS}$  cuando  $I_D = I_{DSS}$ . En la curva de la figura 2.2(b),  $I_{DSS} = 10 \text{ mAmp}$ .

$$V_{GS} = -I_{DSS} R_S = - (10 \text{ mAmp})(470\Omega) = -4.7 \text{ V}$$

Esto establece un segundo punto en la gráfica ( $V_{GS} = -4.7 \text{ V}$ ,  $I_D = 10 \text{ mAmp}$ ). Entonces, con dos puntos, se puede trazar la recta de carga sobre la curva de transferencia como se muestra en la figura 2.3. El punto donde la recta corta a la curva de transferencia es el punto Q del circuito, como se muestra.

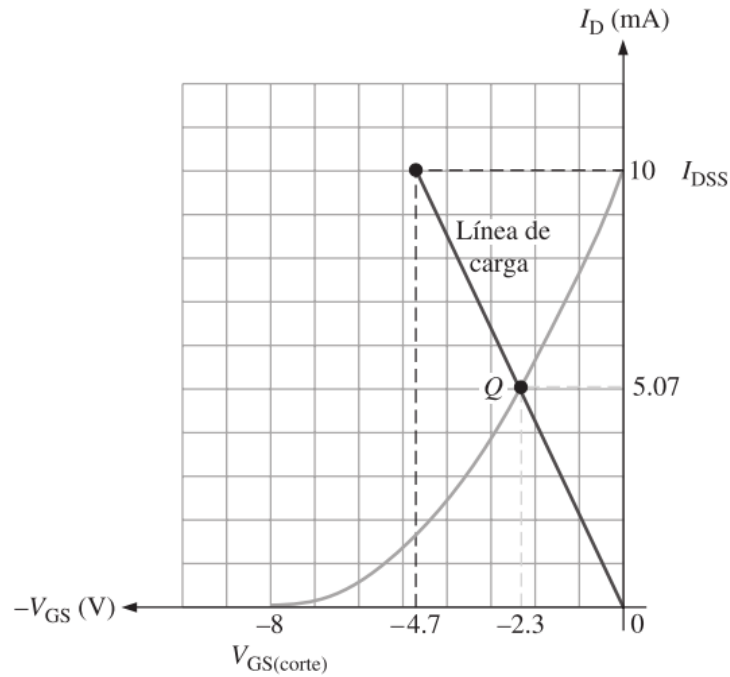


Figura 2.3. La intersección de la recta de carga de c.d. de autopolarización y la curva de transferencia es el punto Q.

Se resume el proceso anterior de la siguiente forma:

1. Trazar la recta de carga del transistor.
2. Establecer sobre la gráfica de la recta de carga los siguientes puntos:
  - a.  $(0, 0)$
  - b.  $(-I_{DSS} * R_s, I_{DSS})$
3. Unir los puntos anteriores mediante una recta.
4. Establecer el punto Q determinando los valores de VGS e ID correspondientes al punto donde se cortan la recta trazada y la curva de transferencia..



### MATERIAL Y EQUIPO A UTILIZAR:

- Transistor JFET 2N5484 ó 2N5485 ó 2N5486.
- Protoboard.
- Cable UTP.
- Fuente de voltaje.
- Multímetro.
- Hojas milimétricas.

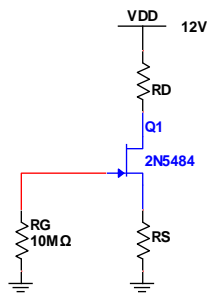


### DESARROLLO:

1. Para un transistor JFET 2N5484, determinando los valores de  $I_{DSS}$  y  $V_{GS(corte)}$ .

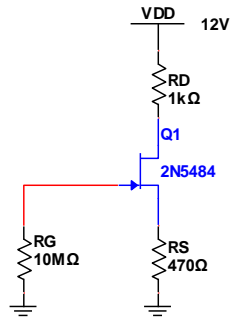
$I_{DSS}$ [mAmp]:	
$V_{GS(corte)}$ [Volts]:	

2. Trace la curva de transferencia correspondiente en una hoja milimétrica.
3. Con base en la curva de transferencia determine el valor de  $R_S$  necesario para autopolarizar el JFET con:
  - A.  $V_{GS} = - 0.3$  Volts
  - B.  $V_{GS} = - 0.7$  Volts
  - C. Para los dos incisos anteriores indique el valor de  $I_D$ .
4. Arme el circuito siguiente y realice lo que se le indica.



- A. Determine los valores de  $R_S$  y  $R_D$  necesarios para obtener un punto de operación Q centrado en la curva de transferencia.
- B. Indique los valores del punto Q centrado ( $V_{GS}$  e  $I_D$ ).
- C. Indique el punto Q centrado sobre la curva obtenida en el punto No. 1.

5. Arme el circuito siguiente y realice lo que se le indica.



- Determine gráficamente el punto Q de operación dibujando la recta de carga sobre la curva de transferencia.
- Determine prácticamente el punto Q de operación midiendo  $V_{GS}$  e  $I_D$ .
- Compare los resultados de los puntos A y B e indique sus conclusiones al respecto.



### CUESTIONARIO:

- Indique el objetivo que se persigue al polarizar un transistor JFET.
- Mencione al menos dos métodos de polarización del JFET.
- Indique para que sirve polarizar un JFET en el punto medio.
- Indique que elemento de un circuito de Autopolarización puede cambiar para variar el punto Q del JFET.
- Indique en que método de polarización es más estable la corriente en el drenaje del JFET, en la Autopolarización o en la polarización por divisor de voltaje.



## CONCLUSIONES:

Indique sus conclusiones de la práctica.



## REFERENCIAS

### Requerida.

- Floyd, Thomas (2008), *Dispositivos Electrónicos*. Octava edición, Ed. Pearson Education, México.

### Sugerida.

- Boylestad, Robert L., Nashelsky, Louis. *Electrónica: Teoría de Circuitos*. Sexta edición, Ed. Pearson Education, México.
- Coughlin, Robert F., Driscoll, Frederick F. *Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales*. Tercera edición, Ed. Prentice Hall.
- Malvino, Albert Paul. *Principios de electrónica*. Séptima edición, Ed. McGrawHill.
- Rashid, Muhammad H. *Circuitos microelectrónicos: análisis y diseño*. Ed. International Thomson.





## PRACTICA 3

### Transistor de Efecto de Campo Semiconductor de Óxidos Metálicos (MOSFET)



#### OBJETIVO:

Comprobar el principio de funcionamiento de los MOSFET y obtener sus curvas características.



#### INTRODUCCIÓN:

El MOSFET (Transistor de Efecto de Campo Semiconductor de Óxidos Metálicos) es otra categoría de transistor de efecto de campo (FET). El MOSFET difiere del JFET en que no tiene una estructura de unión PN; en cambio, la compuerta del MOSFET está aislada del canal mediante una capa de bióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ). Los dos tipos básicos de MOSFET son el de enriquecimiento (E-MOSFET) y el de empobrecimiento (D-MOSFET). El más utilizado en general es el E-MOSFET.

El E-MOSFET opera solo en el modo de enriquecimiento y no tiene modo de empobrecimiento. Difiere del D-MOSFET en cuanto a su construcción, en que no tiene ningún canal estructural. Observe en la figura 2.1(a) que el sustrato se extiende por completo hasta la capa de  $\text{SiO}_2$ . Para un dispositivo de canal N, un voltaje positivo en la compuerta por encima de un valor de umbral induce un canal al crear una delgada capa de cargas negativas en la región del sustrato adyacente a la capa de  $\text{SiO}_2$ , como muestra la figura 2.1(b). La conductividad del canal se incrementa al incrementarse el voltaje de compuerta a fuente y, por lo tanto, atrae más electrones hacia el área del canal. Con cualquier voltaje en la compuerta por debajo del valor de umbral, no existe ningún canal.

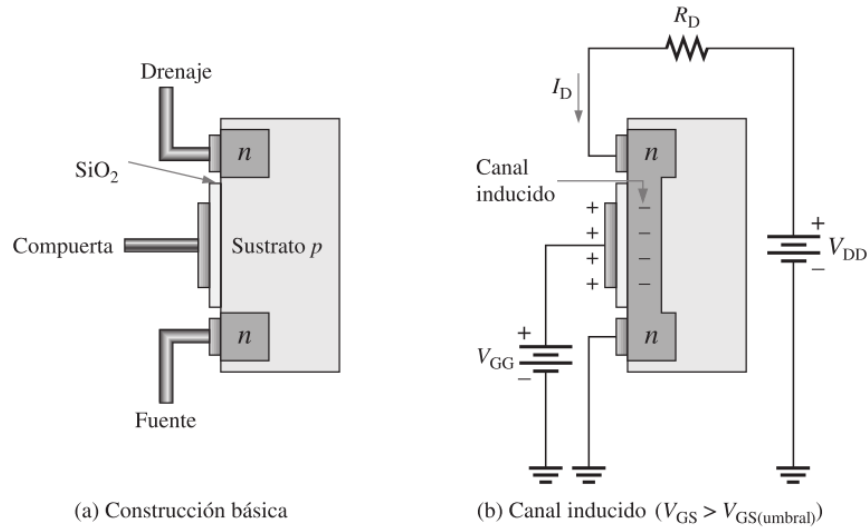


Figura 2.1. Representación de la construcción y operación de un E-MOSFET de canal N.

Los símbolos esquemáticos para los E-MOSFET de canal N y canal P se muestran en la figura 2.2. Las líneas quebradas simbolizan la ausencia de un canal físico. Una flecha en el sustrato que apunta hacia adentro indica un canal N y una flecha que apunta hacia afuera indica un canal P. Algunos dispositivos E-MOSFET tienen conexiones distintas en el sustrato.

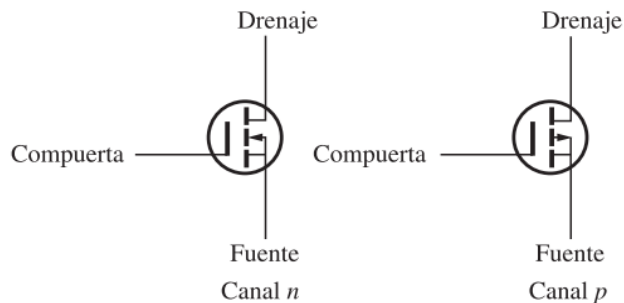


Figura 2.2. Símbolos esquemáticos del E-MOSFET.

### Característica de transferencia del E-MOSFET.

El E-MOSFET utiliza solo enriquecimiento del canal. Por consiguiente, un dispositivo de canal N requiere un voltaje positivo de compuerta a fuente y un dispositivo de canal P requiere un voltaje negativo de compuerta a fuente.



La figura 2.3 muestra las curvas características de transferencia general para ambos tipos de E-MOSFET. Como se puede ver, no hay corriente en el drenaje cuando  $V_{GS} = 0$ . Por consiguiente, el E-MOSFET no tiene un parámetro  $I_{DSS}$  significativo, como el JFET. Observe también que idealmente no hay corriente en el drenaje hasta que  $V_{GS}$  alcanza un cierto valor no cero llamado voltaje de umbral,  $V_{GS(umbral)}$ .

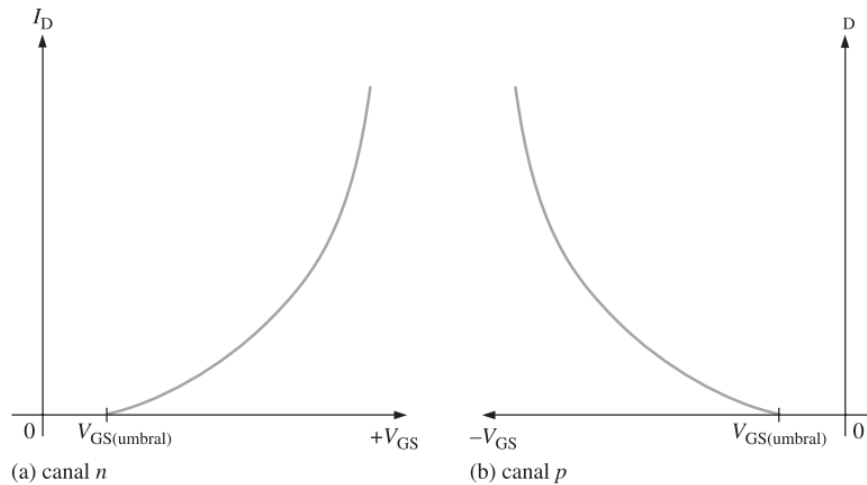


Figura 2.3. Curvas de la característica de transferencia general de un E-MOSFET.

La ecuación para la curva característica de transferencia parabólica de un E-MOSFET difiere de la del JFET por que la curva se inicia en  $V_{GS(umbral)}$  en lugar de  $V_{GS(corte)}$  sobre el eje horizontal y nunca corta el eje vertical. La ecuación para la curva de transferencia general del E-MOSFET es:

$$I_D = K(V_{GS} - V_{GS(umbral)})^2 \quad \dots (3.1)$$

La constante  $K$  depende del MOSFET particular y se determina con la hoja de datos, tomando el valor especificado de  $I_D$ , llamado  $I_{D(encendido)}$ , al valor dado de  $V_{GS}$ , y sustituyendo los valores en la ecuación 3.1.

### Precauciones de manejo.

Todos los tipos MOS son propensos a sufrir daños a consecuencia de descargas electrostáticas. Debido a que la compuerta de un MOSFET está aislada del canal, la resistencia de salida es extremadamente alta (idealmente infinita).



La corriente de fuga en la compuerta,  $I_{GSS}$ , para un MOSFET típico, se encuentra en el nivel de los  $\mu A$ , en tanto que la corriente en inversa en la compuerta para un JFET típico se encuentra en el nivel de los  $nA$ . La capacitancia de entrada resulta de la estructura aislada de la compuerta. Se puede acumular una carga estática excesiva por que la capacitancia de entrada se combina con la muy alta resistencia de entrada y puede dañar el dispositivo. Para evitar daños producidos por descargas electrostáticas, se deberán tomar ciertas precauciones cuando se manejen los MOSFET.

1. Saque con cuidado los dispositivos MOSFET de sus empaques. Usualmente son enviados en espuma conductora o en bolsas conductoras de material especial. Casi siempre se envían con un anillo de alambre alrededor de las terminales, el cual se quita antes de instalar el MOSFET en un circuito.
2. Todos los instrumentos y bancos metálicos utilizados en su ensamble y prueba deberán conectarse a una tierra física (clavija redonda o tercera clavija de tomas de corriente de pared de 127 volts).
3. La muñeca de la persona que los está manipulando deberá estar conectada a una banda comercial de conexión a tierra, la cual tiene un resistor en serie de alto valor, por seguridad. El resistor evita que el contacto accidental con el voltaje se vuelva letal.
4. Nunca quite un dispositivo MOS (o cualquier otro dispositivo de esa índole) del circuito mientras el circuito este energizado.
5. No aplique señales a un dispositivo MOS mientras la fuente de alimentación de c.d. este apagada.



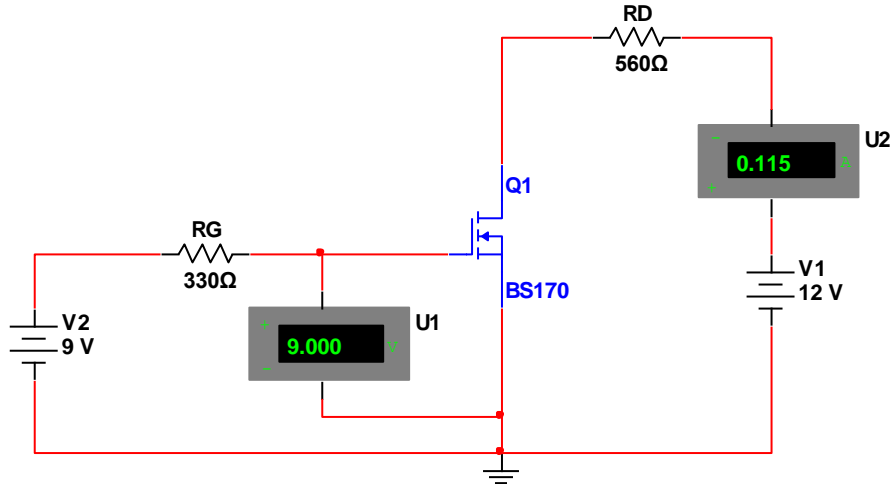
#### **MATERIAL Y EQUIPO A UTILIZAR:**

- Transistor MOSFET BS170 ó 2N7000 ó 2N7002
- Potenciómetro de  $10\text{ K}\Omega$
- Una resistencia de  $330\ \Omega$
- Una resistencia de  $560\ \Omega$
- Multímetro
- Hoja de datos del transistor a utilizar



★ DESARROLLO:

1. Arme el circuito mostrado a continuación.



2. Ajuste el voltaje de la fuente V2 a cero volts.
3. Determine el  $V_{GS(umbral)}$ , que es el valor de VGS al cual el MOSFET empieza a conducir. Esto se realiza variando la fuente V2 para que VGS empiece a aumentar. Al mismo tiempo debe monitorear la corriente en el drenaje ( $I_D$ ) para detectar el momento en el que el MOSFET empieza a conducir. Reporte a continuación el valor de  $V_{GS(umbral)}$ .

$V_{GS(UMBRAL)} =$

4. Continúe incrementando el voltaje de la fuente V2 hasta que la  $I_D$  permanezca constante ( $I_{Dmax}$ ). Reporte este valor de  $I_D$ .

$I_{Dmax} =$

5. Repita los pasos 1 a 5 cambiando la resistencia RD de 560  $\Omega$  por una de 330  $\Omega$ . Reporte los valores de  $V_{GS(umbral)}$  e  $I_{Dmax}$ .

$V_{GS(UMBRAL)} =$

$I_{Dmax} =$



6. Repita los pasos 1 a 5 cambiando nuevamente la resistencia RD por una resistencia de  $100 \Omega$ . Reporte los valores de  $V_{GS(umbral)}$  e  $I_{Dmax}$ .

$V_{GS(UMBRAL)} =$

$I_{Dmax} =$

7. Explique qué efecto tiene la resistencia ID sobre la corriente máxima que puede conducir el MOSFET.

---

---

---

---

8. Explique la función de la fuente de voltaje V2 en el funcionamiento del MOSFET.

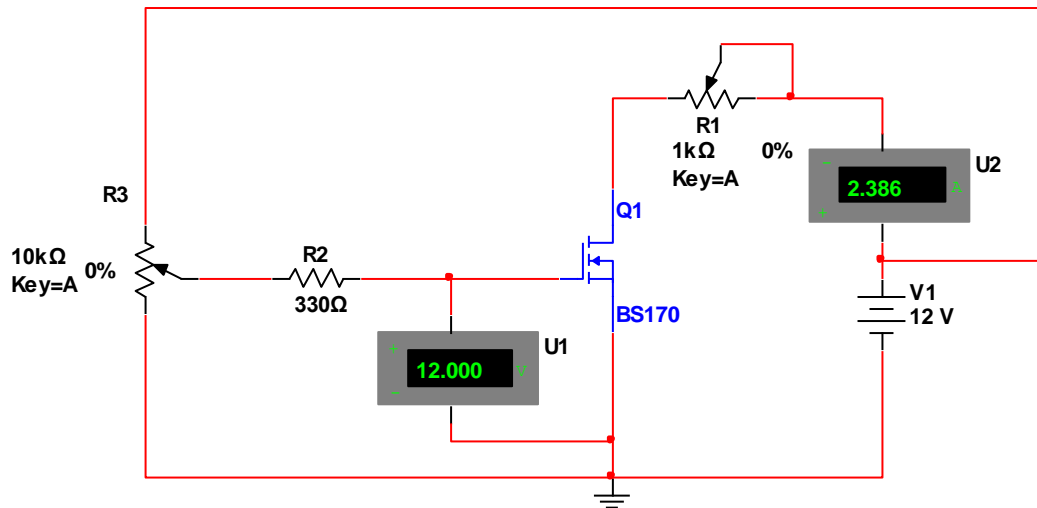
---

---

---

---

9. Arme el circuito mostrado a continuación





10. Realice cambios en ambos potenciómetros y observe el comportamiento de los parámetros del MOSFET. Explique qué función tiene cada uno de los potenciómetros.

---

---

---

---

11. ¿Cuál es la corriente máxima que puede conducir el MOSFET y bajo qué condiciones se da? Explique.

---

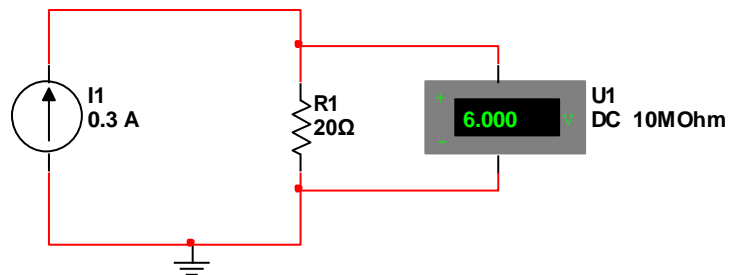
---

---

---

12. Dibuje e implemente un esquema que permita reemplazar la fuente de corriente del circuito mostrado a continuación utilizando un MOSFET.

**\*Precaución:** no genere más corriente ni conecte una resistencia más grande de la indicada.





### CUESTIONARIO:

1. ¿Qué significan las siglas MOSFET?
2. Indique el nombre de las tres terminales de un MOSFET
3. Dibuje el símbolo eléctrico de un E-MOSFET de Canal N.
4. Dibuje el símbolo eléctrico de un D-MOSFET de Canal P.
5. Si un MOSFET tiene un voltaje de umbral de 3.2 volts ¿qué tipo de MOSFET puede ser?

### CONCLUSIONES:



### REFERENCIAS

#### Requerida.

- Floyd, Thomas (2008), *Dispositivos Electrónicos*. Octava edición, Ed. Pearson Education, México.

#### Sugerida.

- Boylestad, Robert L., Nashelsky, Louis. *Electrónica: Teoría de Circuitos*. Sexta edición, Ed. Pearson Education, México.
- Coughlin, Robert F., Driscoll, Frederick F. *Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales*. Tercera edición, Ed. Prentice Hall.





## Práctica No. 4

### “Amplificadores con JFET”



#### OBJETIVO.

Implementar un amplificador con JFET y determinar sus características más importantes.



#### INTRODUCCIÓN:

Debido a su muy alta resistencia de entrada y a su muy baja resistencia de salida, los amplificadores basados en FET son una excelente opción para ciertas aplicaciones como lo son los circuitos amplificadores de señales.

Existen diversas configuraciones para amplificadores con JFET, siendo una de las más utilizadas el amplificador en fuente común, razón por la cual se analiza en ésta práctica dicha configuración.

El esquema de un amplificador en fuente común es el siguiente:

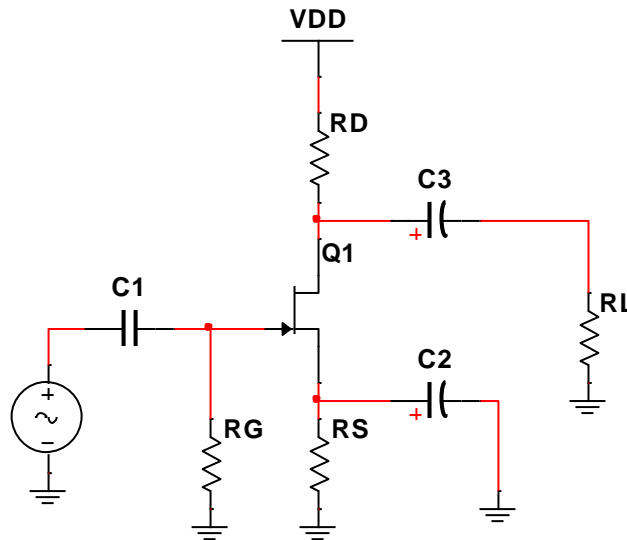


Figura 1. Amplificador con JFET en fuente común.

La ganancia de voltaje se calcula teóricamente como:

$$A_v = g_m R_D$$



Donde el término  $g_m$  se conoce como transconductancia en directa y depende los parámetros del JFET vistos en la práctica No. 1 ( $I_{DSS}$  y  $V_{GS(corte)}$ ). En la práctica la ganancia del amplificador se puede determinar como:

$$A_v = \frac{V_{sal}}{V_{ent}}$$

Donde el voltaje de salida se mide en las terminales de la resistencia de carga  $R_L$  y el voltaje de entrada es el voltaje de la señal que se desea amplificar.



### MATERIAL Y EQUIPO A UTILIZAR.

- Protoboard
- Transistor JFET 2N5484
- Resistencias de 3.3 k $\Omega$ , 1.1 k $\Omega$ , 330  $\Omega$ , 10 M $\Omega$
- Capacitores de 10 nF, 10  $\mu$ F y 100  $\mu$ F
- Osciloscopio
- Multímetro



### DESARROLLO.

Arme el circuito mostrado en la figura 2.

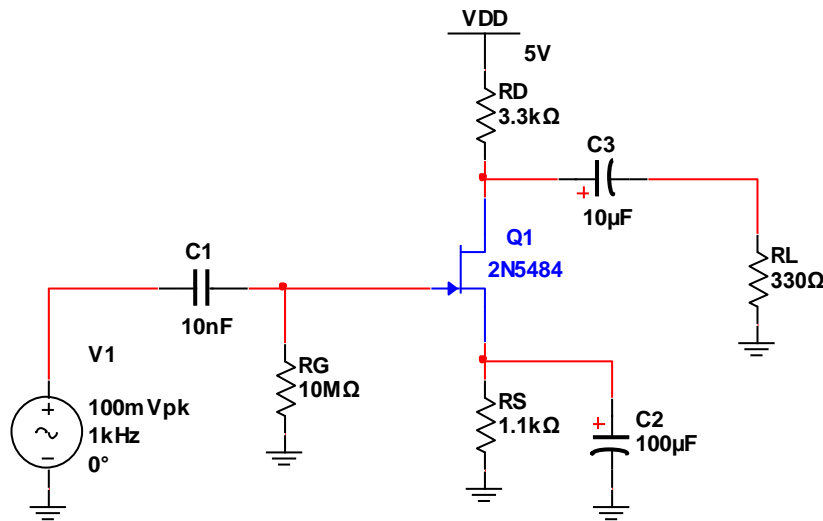


Figura 2. Amplificador en fuente común con valores de elementos.



Realice lo siguiente:

- Desconecte la resistencia de carga RL.
- Con el osciloscopio mida las señales de entrada y salida y llene la siguiente tabla:

Simulación			Real		
$V_{ent(pico)}$	$V_{sal(pico)}$	Ganancia	$V_{ent(pico)}$	$V_{sal(pico)}$	Ganancia

- Conecte la resistencia de carga RL y repita el inciso anterior, llenando la siguiente tabla:

Simulación			Real		
$V_{ent(pico)}$	$V_{sal(pico)}$	Ganancia	$V_{ent(pico)}$	$V_{sal(pico)}$	Ganancia

- Desconecte la resistencia de carga y el capacitor de puenteo C2, llenando la siguiente tabla:

Simulación			Real		
$V_{ent(pico)}$	$V_{sal(pico)}$	Ganancia	$V_{ent(pico)}$	$V_{sal(pico)}$	Ganancia

- Varíe la frecuencia de la señal de entrada a 100 MHz y llene la siguiente tabla:

Simulación			Real		
$V_{ent(pico)}$	$V_{sal(pico)}$	Ganancia	$V_{ent(pico)}$	$V_{sal(pico)}$	Ganancia



## CUESTIONARIO.

1. Indique que tipo de amplificador se tiene y cómo está polarizado.
2. ¿Qué efecto tiene la resistencia de carga  $R_L$  sobre la ganancia del amplificador?
3. ¿Qué efecto tiene el capacitor de puenteo sobre la ganancia del amplificador?
4. ¿Qué efecto tiene la frecuencia de la señal sobre la ganancia del amplificador?
5. Explique la variación en la ganancia del amplificador debido a la frecuencia de la señal de entrada. ¿Qué parámetro del circuito impacta directamente en la ganancia al variar la frecuencia?
6. Indique al menos una forma más de variar la ganancia del amplificador.



## CONCLUSIONES:



## REFERENCIAS

### Requerida.

- Floyd, Thomas (2008), *Dispositivos Electrónicos*. Octava edición, Ed. Pearson Education, México.

### Sugerida.

- Boylestad, Robert L., Nashelsky, Louis. *Electrónica: Teoría de Circuitos*. Sexta edición, Ed. Pearson Education, México.
- Coughlin, Robert F., Driscoll, Frederick F. *Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales*. Tercera edición, Ed. Prentice Hall.



## Práctica No. 5

### Circuitos básicos con amplificadores operacionales



#### OBJETIVO:

Comprender el funcionamiento del amplificador operacional en funciones de no inversor, inversor y comparador.



#### INTRODUCCIÓN:

En prácticas anteriores se han utilizado dispositivos tales como diodos y transistores, los cuales se encuentran individualmente encapsulados. A partir de ésta práctica se inicia el análisis de lo que se conoce comúnmente como *circuitos integrados*, es decir, circuitos compuestos internamente por una gran variedad de componentes individuales. Uno de los circuitos integrados de mayor utilidad práctica es el *amplificador operacional*, llamado coloquialmente *op-amp*, el cual es un circuito integrado que gracias a sus características eléctricas se puede utilizar en una gran variedad de aplicaciones, como pueden ser: circuitos amplificadores, comparadores, escaladores, sumadores, integradores, derivados, osciladores, filtros activos, detectores de nivel, entre otros.

Por tal motivo, se analiza en la presente práctica la función del op-amp como amplificador y como detector de nivel, las cuales son dos de las funciones más importantes que se pueden realizar con el amplificador operacional.

#### Amplificador no inversor

La figura 1 muestra un amplificador operacional en función de amplificador no inversor.

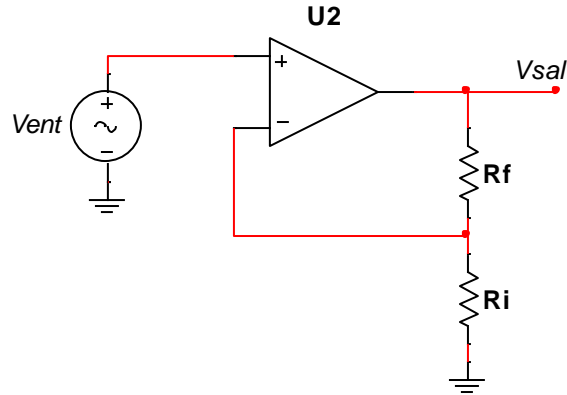


Figura 1. Amplificador no inversor

La ganancia de voltaje para el amplificador no inversor se determina como:

$$A_{cl(NI)} = 1 + \frac{R_f}{R_i}$$

De tal forma que calculando las resistencias apropiadas es posible programar la ganancia deseada para el amplificador. Como su nombre lo indica, el amplificador no inversor devuelve a la salida una señal amplificada y en fase con la señal de entrada.

### Amplificador inversor.

El amplificador inversor realiza también la función de amplificar un señal de entrada pero en éste caso defasada 180 grados o invertida. La figura 2 muestra el esquema correspondiente.

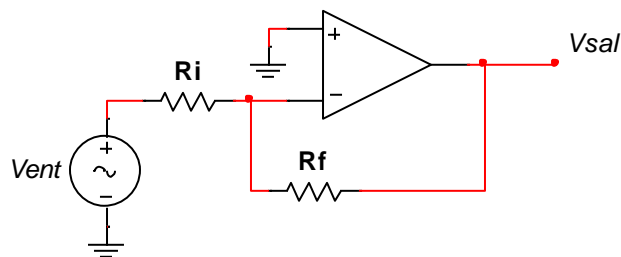


Figura 2. Amplificador inversor

La ganancia en un amplificador inversor se determina como:

$$A_{cl(I)} = -\frac{R_f}{R_i}$$



Donde el signo (-) indica que la señal de salida es invertida o defasada 180 grados respecto a la señal de entrada.

### Detector de nivel cero.

El detector de nivel cero es un esquema comparador en el cual la salida del amplificador operacional se va a saturación positiva y negativa alternadamente cada vez que la señal de entrada pasa por cero, ya sea cuando el voltaje va de subida o cuando va de bajada.

Estos esquemas permiten tomar una acción cuando el voltaje cruza por cero o pueden usarse también como convertidores de señales analógicas en señales digitales.

La figura 3 muestra el esquema básico de un detector de nivel cero.

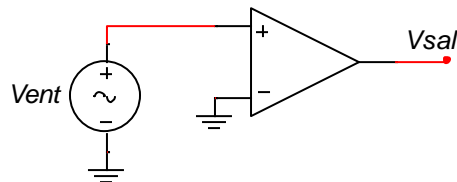


Figura 3. Detector de nivel cero.

La figura 4 muestra las señales de entrada (amarilla) y salida (azul) de un detector de nivel cero, donde se observa que la señal de salida cambia de estado de saturación positiva a negativa y viceversa cada vez que la señal de entrada pasa por cero.

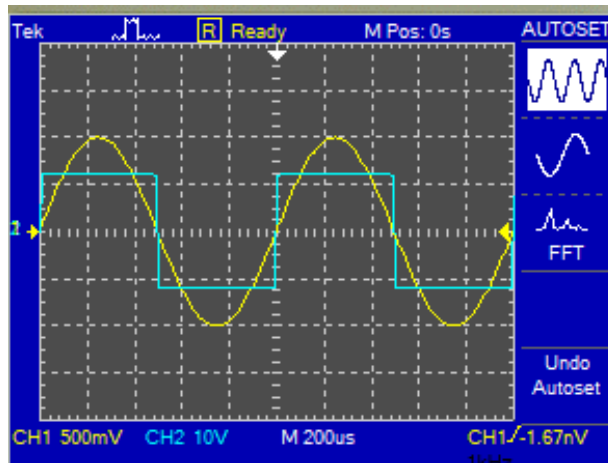


Figura 4. Detector de nivel cero.

### Detector de nivel distinto de cero.

Si se desea detectar el cruce por un nivel distinto de cero se conecta una fuente de polarización de C.D. en la terminal inversora del amplificador operacional, como se muestra en la figura 5. En éste caso el voltaje de salida cambia de saturación positiva a negativa y viceversa cada el voltaje de entrada adquiere el valor del voltaje de polarización,  $V_{pol}$ .

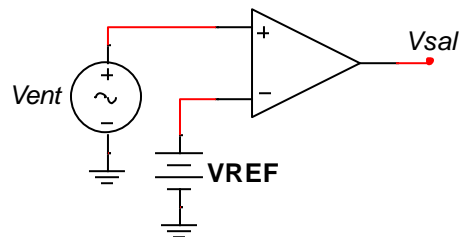


Figura 5. Detector de nivel distinto de cero.

La figura 6 muestra los voltajes de entrada y salida de un detector de nivel distinto de cero, donde se observa que el voltaje de salida (azul) cambia de un estado de saturación positivo a uno de saturación negativo cada vez que el voltaje de entrada toma el valor del voltaje de polarización.



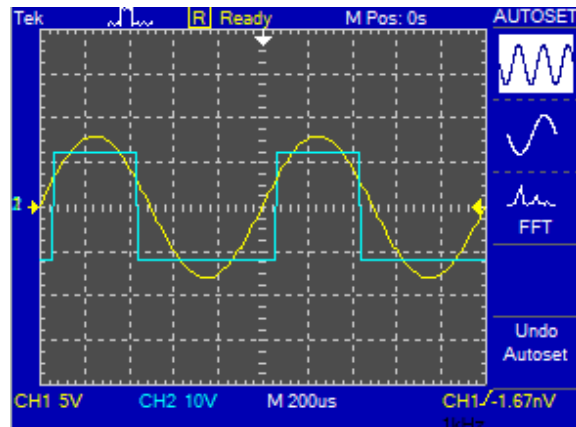


Figura 6. Detector de nivel distinto de cero

Se observa que con el detector de nivel distinto de cero se puede variar el ancho de banda de la señal de salida.



#### MATERIAL Y EQUIPO A UTILIZAR:

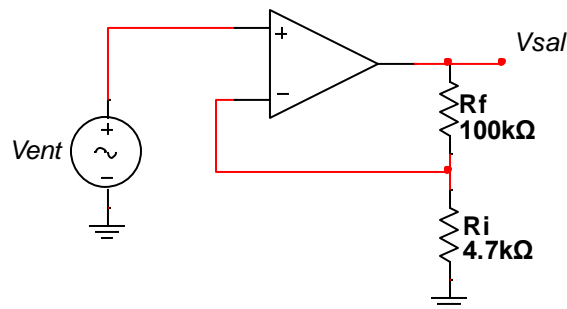
- Op-amp 741
- Resistencias de  $100\text{ k}\Omega$  y  $4.7\text{ k}\Omega$
- Protoboard
- Osciloscopio



#### DESARROLLO:

##### I. Amplificador no inversor.

Arme en protoboard el circuito no inversor siguiente con  $V_{ent} = 100\text{ mVpk}$

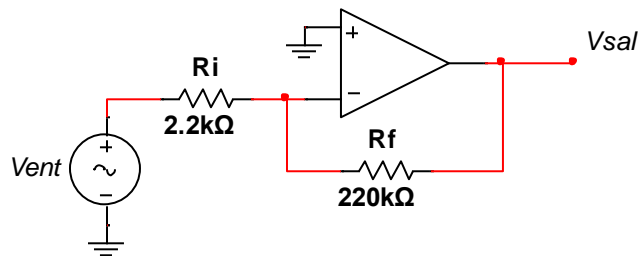




- Mida con un osciloscopio la señal de entrada y la señal de salida (Dibuje ambas señales en hojas milimétricas, indicando las posiciones de los controles de Volts/div y Time/div).
- Determine la ganancia del circuito como:  $A_v = V_{sal}/V_{ent}$
- Calcule teóricamente la ganancia del circuito, comparándola con la medida en el inciso anterior.
- Sin modificar la señal de entrada, realice algún cambio en el circuito para aumentar la ganancia.
- Repita los incisos a, b y c con su nueva configuración.

## II. Amplificador inversor.

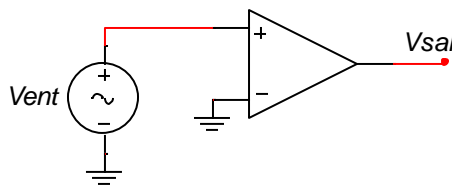
Arme en protoboard el circuito inversor siguiente con  $V_{ent} = 100 \text{ mVpk}$ .



- Mida con un osciloscopio la señal de entrada y la señal de salida (Dibuje ambas señales en hojas milimétricas, indicando las posiciones de los controles de Volts/div y Time/div).
- Determine la ganancia del circuito como:  $A_v = V_{sal}/V_{ent}$
- Calcule teóricamente la ganancia del circuito, comparándola con la medida en el inciso anterior.
- Sin modificar la señal de entrada, realice algún cambio en el circuito para aumentar la ganancia.
- Repita los incisos a, b y c con su nueva configuración.

## III. Detector de nivel cero.

Arme en protoboard el detector de nivel cero mostrado con  $V_{ent} = 5 \text{ Vpk}$

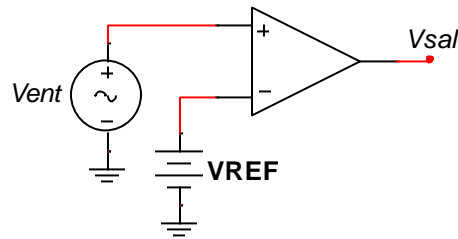




- Mida con un osciloscopio las señales de entrada y salida (Dibuje ambas señales en hojas milimétricas, indicando las posiciones de los controles de Volts/div y Time/div).
- Explique el funcionamiento del circuito.

IV. **Detector de nivel distinto de cero.**

Arme en protoboard el detector de nivel distinto de cero mostrado con  $V_{ent} = 5 \text{ Vpk}$  y  $V_{REF} = 3 \text{ Volts}$



- Mida con un osciloscopio las señales de entrada y salida (Dibuje ambas señales en hojas milimétricas, indicando las posiciones de los controles de Volts/div y Time/div).
- Explique el funcionamiento del circuito.

**?** CUESTIONARIO:

- ¿Cuál es la diferencia entre un amplificador inversor y uno no inversor?
- ¿Cuáles son los dos tipos de detectores de nivel vistos en ésta práctica?
- ¿Qué función realiza un detector de nivel cero?
- ¿Qué función realiza un detector de nivel distinto de cero?
- Dibuje el esquema de un amplificador no inversor si se desea que la ganancia sea de 120 y se conecta una resistencia de 330 ohms como  $R_f$ .
- Repita el inciso anterior pero para un amplificador inversor con ganancia de -100.



## CONCLUSIONES:



## REFERENCIAS

### Requerida.

- Floyd, Thomas (2008), *Dispositivos Electrónicos*. Octava edición, Ed. Pearson Education, México.

### Sugerida.

- Coughlin, Robert F., Driscoll, Frederick F. *Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales*. Tercera edición, Ed. Prentice Hall.



## Práctica No. 6

### Comparador con histéresis, sumadores y promediadores



#### OBJETIVO:

Comprender el funcionamiento del amplificador operacional en funciones de comparador, sumador y promediador.



#### INTRODUCCIÓN:

Otra de las aplicaciones importantes de los amplificadores operacionales son las funciones de comparación y de sumador y promediador de señales. La función de comparación es útil para comparar señales de voltaje y producir a la salida un estado de saturación que para fines prácticos se puede considerar como alto o bajo (o en términos digitales se puede considerar como 1 ó 0).

#### Comparador con histéresis.

El comparador con histéresis es un esquema comparador con realimentación positiva como se muestra en la figura 1:

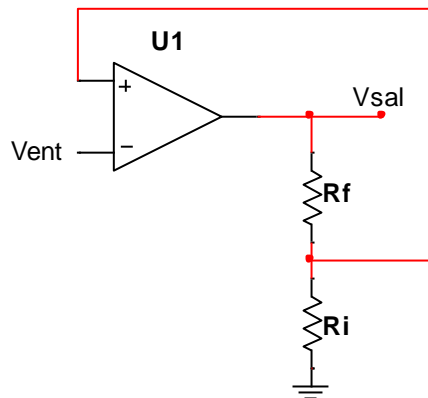


Figura 1. Comparador con histéresis

El voltaje realimentado a la entrada no inversora es  $V_{UTP}$  y se expresa como:

$$V_{UTP} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} (+V_{sal(max)})$$



Esta condición se muestra en la figura 2.

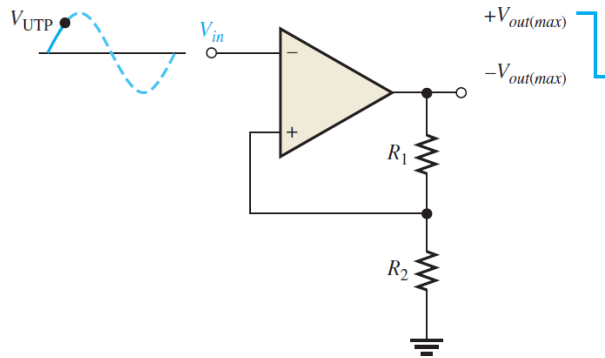


Figura 2. Cuando la salida está al voltaje máximo positivo y la entrada exceda a  $V_{UTP}$ , la salida cambia al voltaje negativo.

Cuando el voltaje de entrada,  $V_{ent}$ , excede a  $V_{UTP}$ , el voltaje de salida se reduce a su máximo negativo,  $-V_{sal(max)}$ , siendo ahora el voltaje realimentado a la entrada no inversora:

$$V_{LTP} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} (+V_{sal(mín)})$$

Esta situación se muestra en la figura 4.

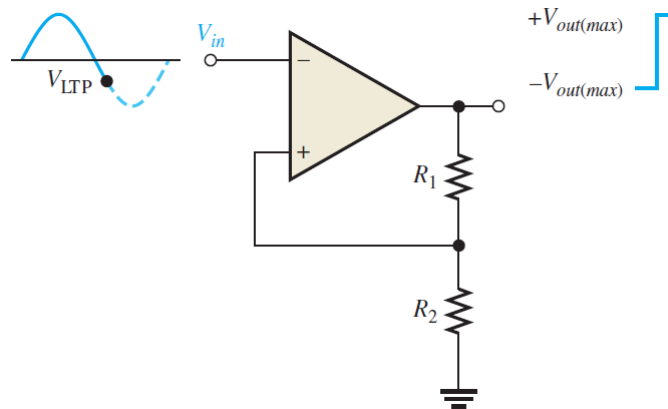


Figura 4. Cuando la salida está al voltaje máximo negativo y la entrada se reduce por debajo de  $V_{LTP}$ , la salida regresa al voltaje máximo positivo.



Por lo que la salida cambiará del voltaje máximo al voltaje mínimo cada vez que la señal de entrada pase por  $V_{UTP}$  y del voltaje mínimo al voltaje máximo cada que la señal pase por  $V_{LTP}$ , como se muestra en la figura 2.



### MATERIAL Y EQUIPO A UTILIZAR:

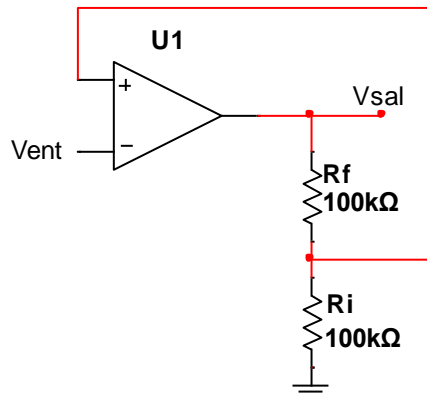
- Op-amp 741
- Resistencias de  $100\text{ k}\Omega$  (2)
- Protoboard
- Osciloscopio
- Fuente de voltaje



### DESARROLLO:

#### I. Comparador con histéresis.

Arme en protoboard el comparador con histéresis siguiente con  $V_{ent} = 10\text{ Vpk}$



- Mida con un osciloscopio la señal de entrada y la señal de salida (Dibuje ambas señales en hojas milimétricas, indicando las posiciones de los controles de Volts/div y Time/div).
- Determine el valor de  $V_{UTP}$ .
- Determine el valor de  $V_{LTP}$ .



II. **Sumador.**

Diseñe un circuito sumador de 3 entradas y compruebe que a la salida del mismo se tiene efectivamente la suma de las entradas.

- f. Dibuje el esquema del circuito.
- g. Calcule el voltaje de salida.
- h. Mida el voltaje de salida.

III. **Promediador.**

Diseñe un circuito promediador de 3 entradas y compruebe que a la salida del mismo se tiene efectivamente la suma de las entradas.

- i. Dibuje el esquema del circuito.
- j. Calcule el voltaje de salida.
- k. Mida el voltaje de salida.

IV. **Amplificador sumador con ganancia mayor que la unidad.**

Al sumador diseñado en el paso II de ésta práctica, realice los ajustes necesarios para tener un amplificador sumador con ganancia mayor a uno.

- a. Dibuje el esquema del circuito.
- b. Calcule el voltaje de salida.
- c. Mida el voltaje de salida.

V. **Sumador escalador.**

Diseñe un sumador escalador de tres entradas en el cual cada entrada tenga un peso diferente.

- a. Dibuje el esquema del circuito.
- b. Calcule el voltaje de salida.
- c. Mida el voltaje de salida.



**CUESTIONARIO:**

- 1. Explique la relación que deben tener las resistencias de un sumador.
- 2. Explique la relación que deben tener las resistencias de un Promediador.
- 3. Explique la relación que deben tener las resistencias de un escalador.





## CONCLUSIONES:



## REFERENCIAS

### Requerida.

- Floyd, Thomas (2008), *Dispositivos Electrónicos*. Octava edición, Ed. Pearson Education, México.

### Sugerida.

- Coughlin, Robert F., Driscoll, Frederick F. *Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales*. Tercera edición, Ed. Prentice Hall.





## Práctica No. 7 "Filtros activos"



### OBJETIVO:

Comprender el funcionamiento de los filtros activos.



### INTRODUCCIÓN:

Los filtros en general son de gran utilidad en diversas aplicaciones prácticas, con el fin de eliminar o filtrar señales deseables o indeseables. Pueden usarse para eliminar una señal de ruido indeseable o para seleccionar una señal específica deseable, así mismo puede usarse para dejar pasar señales a partir de cierto valor de frecuencia o hasta cierto valor de frecuencia.

Si un filtro se compone únicamente de elementos pasivos (resistencias, inductancias y capacitancias), se dice que es un filtro pasivo. Por otro lado, si se utilizan amplificadores operacionales además de los elementos pasivos, se habla de filtros activos.

La ventaja de los filtros activos sobre los pasivos es que pueden tener una pendiente de salida más pronunciada, lo que físicamente resulta en una selección más fina de los umbrales de frecuencia.

Los tipos básicos de filtros activos son los siguientes:

1. Filtro pasa bajas.
2. Filtro pasa altas.
3. Filtro pasa banda.
4. Filtro supresor de banda.

#### **Filtro pasa bajas.**

Este filtro permite el paso con una atenuación menor a 3 dB de frecuencias menores a cierto valor de frecuencia denominado *frecuencia crítica*, es decir, permite el paso de bajas frecuencias.



La figura 1 muestra la respuesta y el circuito básico de un filtro activo pasabajas.

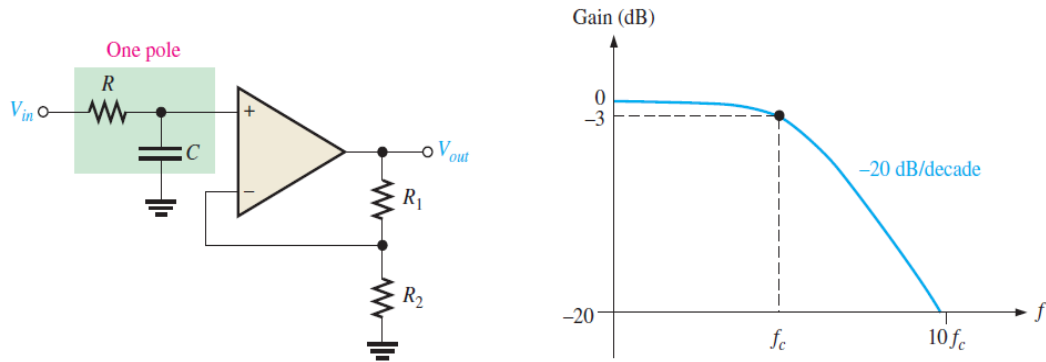


Figura 1. Filtro activo pasa bajas.

La frecuencia crítica se determina como:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

### Filtro pasa altas.

El filtro pasa altas permite el paso de frecuencias por encima de una frecuencia crítica. La figura 2 muestra la respuesta y el circuito básico de un filtro pasa altas.

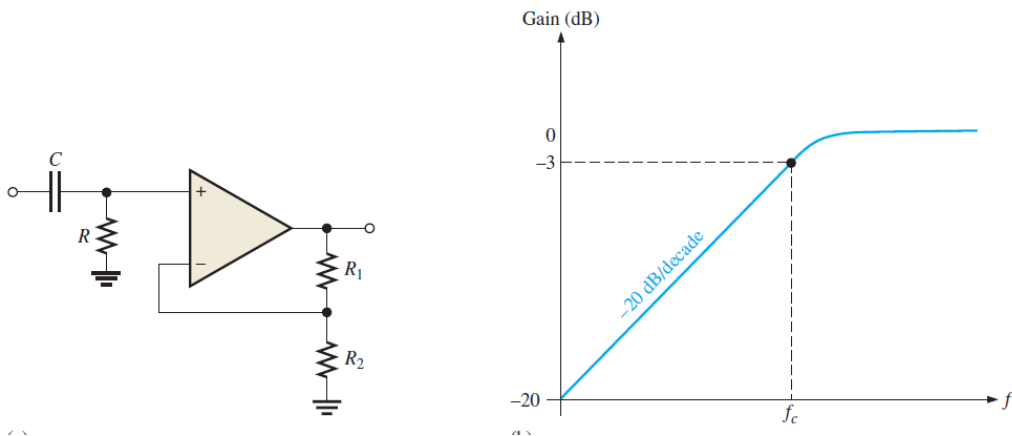


Figura 2. Filtro pasa altas.



La frecuencia crítica se determina como:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

### Filtro pasa banda.

Este filtro permite el paso de señales cuya frecuencia se encuentra dentro de un rango denominado ancho de banda y limitado por dos frecuencias críticas, como se muestra en la figura 3.

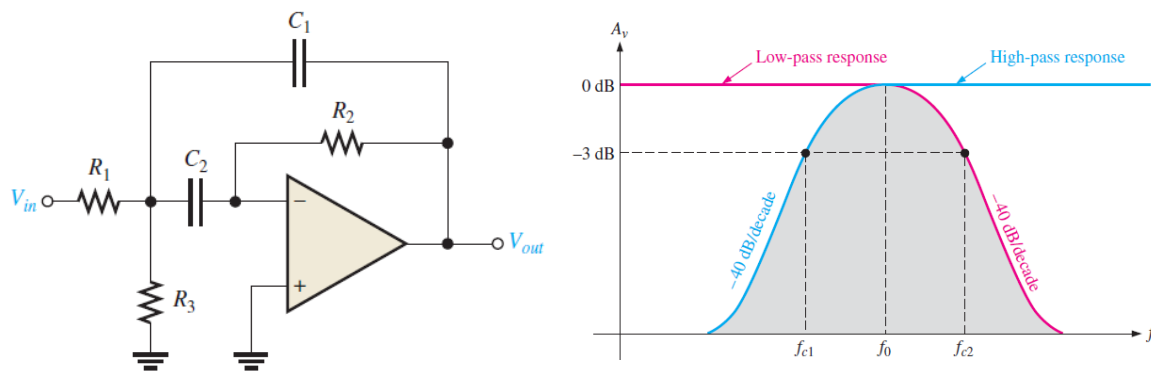


Figura 3. Filtro pasa banda.

### Filtro supresor de banda.

Este tipo de filtro evita el paso de señales cuya frecuencia se encuentra dentro de un rango denominado ancho de banda y limitado por dos frecuencias críticas, como se muestra en la figura 4.

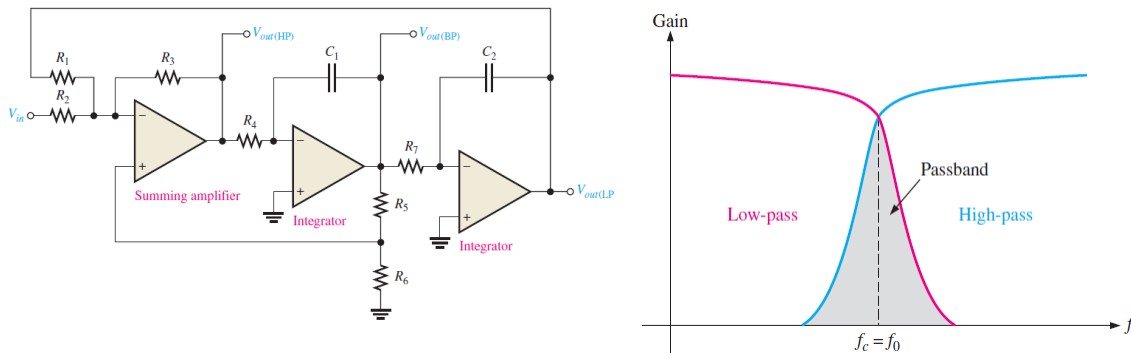


Figura 4. Filtro supresor de banda.



## MATERIAL Y EQUIPO A UTILIZAR:

- Amplificador operacional 741
- Resistencias:  $1\text{K}\Omega$  (3),  $586\Omega$ ,  $68\text{K}\Omega$ ,  $2.7\text{K}\Omega$ ,  $180\text{K}\Omega$
- Capacitores cerámicos:  $22\text{nF}$  (2),  $10\text{nF}$  (2)
- Fuente bipolar
- Generador de funciones

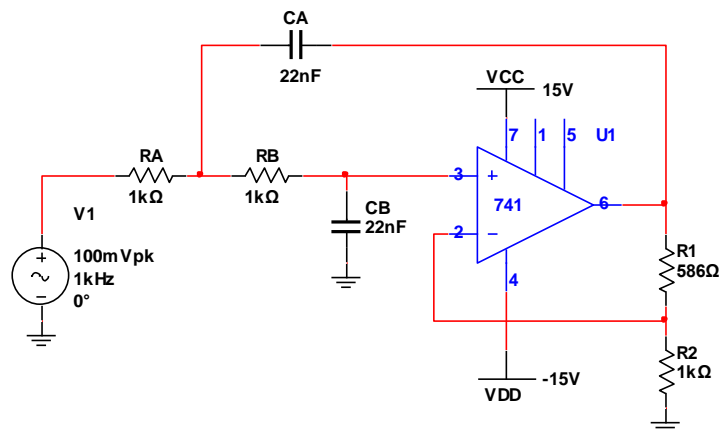


## DESARROLLO:

### 1) Filtro pasabajas.

Arme el filtro pasabajas mostrado a continuación.

- Determine la frecuencia crítica.
- Dibuje la señal de salida a  $1\text{ kHz}$ .
- Dibuje la señal de salida a la frecuencia crítica.
- Dibuje la señal de salida a la máxima frecuencia permisible por el generador de funciones.
- Explique si el filtro funciona apropiadamente.

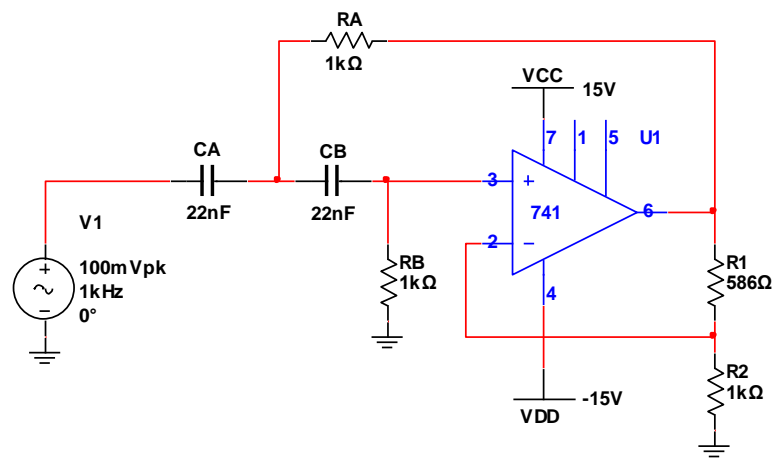




## 2) Filtro pasa altas.

Arme el filtro pasabajas mostrado a continuación.

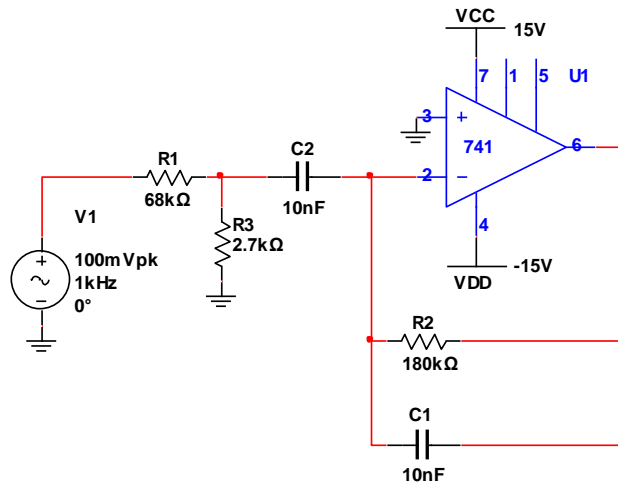
- Determine la frecuencia crítica.
- Dibuje la señal de salida a 1 kHz.
- Dibuje la señal de salida a la frecuencia crítica.
- Dibuje la señal de salida a la máxima frecuencia permisible por el generador de funciones.
- Explique si el filtro funciona apropiadamente.



## 3) Filtro pasa banda.

Arme el filtro pasabajas mostrado a continuación.

- Determine la frecuencia central, la ganancia máxima y el ancho de banda.
- Dibuje la señal de salida a 60 Hz.
- Dibuje la señal de salida a la frecuencia central.
- Dibuje la señal de salida a 2 kHz.
- Explique si el filtro funciona apropiadamente.



### QUESTIONARIO:

1. En sus propias palabras explique qué es un filtro pasa bajas.
2. En sus propias palabras explique qué es un filtro pasa altas.
3. En sus propias palabras explique qué es un filtro pasa banda.
4. En sus propias palabras explique qué es un filtro supresor de banda.

### CONCLUSIONES:



### REFERENCIAS

#### Requerida.

- Floyd, Thomas (2008), *Dispositivos Electrónicos*. Octava edición, Ed. Pearson Education, México.

#### Sugerida.

- Coughlin, Robert F., Driscoll, Frederick F. *Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales*. Tercera edición, Ed. Prentice Hall.





## Práctica No. 8 "Osciladores"



### OBJETIVO:

Comprender el funcionamiento de los circuitos osciladores.



### INTRODUCCIÓN:

Los circuitos osciladores se utilizan para generar señales periódicas utilizando amplificadores operacionales. No se requiere en éste caso una señal periódica repetitiva excepto para sincronizar oscilaciones en algunas aplicaciones. El voltaje de salida puede ser senoidal o no senoidal, según el tipo de oscilador. La figura 1 muestra la estructura general de un circuito oscilador.

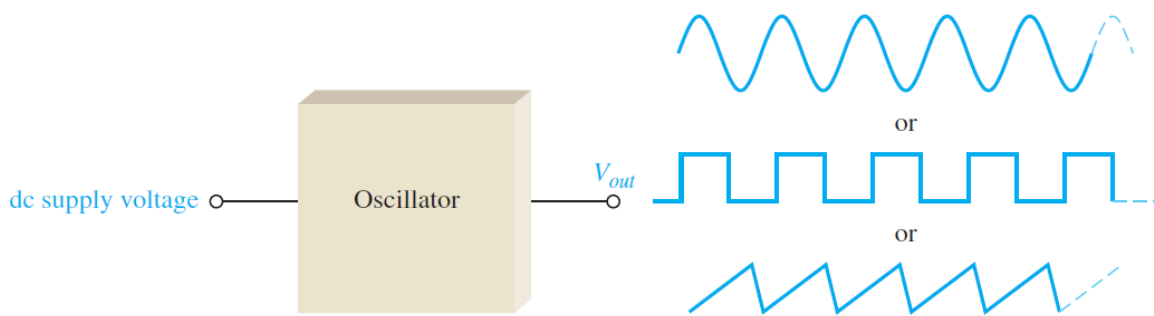


Figura 1. Esquema general de un oscilador.

Un circuito práctico para un oscilador se muestra en la figura 2.

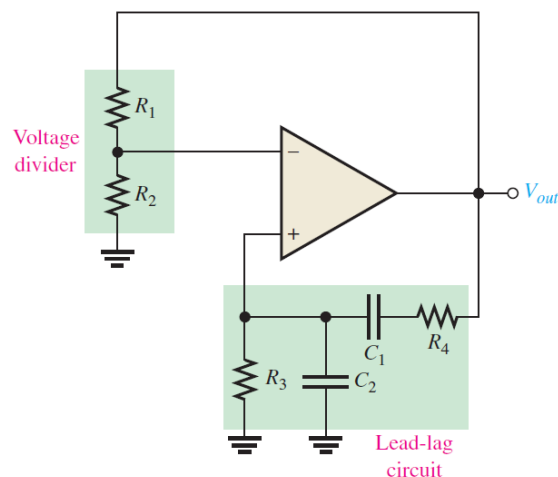


Figura 2. Circuito oscilador senoidal.



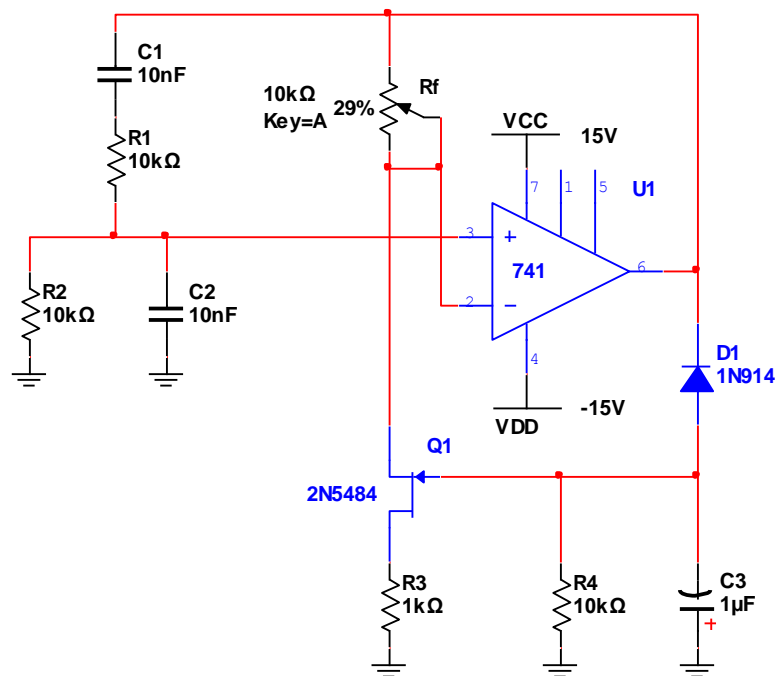
## MATERIAL Y EQUIPO A UTILIZAR:

- Amplificador operacional 741
- Resistencias:  $10\text{ k}\Omega$  (3)
- Capacitores: cerámico  $10\text{ nF}$  (2), electrolítico  $1\mu\text{F}$
- Potenciómetro de  $10\text{ k}\Omega$
- Transistor JFET 2N5484
- Diodo 1N914



## DESARROLLO:

1. Arme el circuito oscilador mostrado a continuación.





2. Calcule la frecuencia de resonancia del oscilador.
3. Sabiendo que la ganancia de lazo cerrado debe ser 3, calcule el valor de  $R_f$  para que el circuito oscile, sabiendo que la resistencia interna entre drenaje y fuente ( $r'_{ds}$ ) del JFET es de  $500\Omega$ .
4. Conecte un osciloscopio a la salida del oscilador.
5. Ajuste el valor de  $R_f$  al valor calculado en el punto 3. Dibuje la oscilación obtenida.
6. Determine la frecuencia de la oscilación obtenida.
7. Realice los ajustes necesarios para diseñar un oscilador de 4.5 kHz.
8. Calcule nuevamente el valor de  $R_f$  de acuerdo a las condiciones del punto 3.
9. Ajuste el valor de  $R_f$  al valor calculado en el punto anterior. Dibuje la oscilación obtenida.
10. Verifique que la frecuencia de oscilación sea efectivamente de 4.5 kHz.



#### CUESTIONARIO:

1. ¿Qué tipo de circuito oscilador es el trabajado en ésta práctica?
2. ¿Qué parámetro del circuito controla la frecuencia de oscilación?
3. Investigue y reporte otros tipos de circuitos osciladores.



#### CONCLUSIONES:



#### REFERENCIAS

##### Requerida.

- Floyd, Thomas (2008), *Dispositivos Electrónicos*. Octava edición, Ed. Pearson Education, México.

##### Sugerida.

- Coughlin, Robert F., Driscoll, Frederick F. *Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales*. Tercera edición, Ed. Prentice Hall.