

LABORATORIO DE  
ELECTRONICA

II

UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECA

L  
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA  
COORDINACION DE ELECTRONICA Y CONTROL  
DEPARTAMENTO DE ELECTRONICA  
LABORATORIO DE ELECTRONICA II

7818  
556

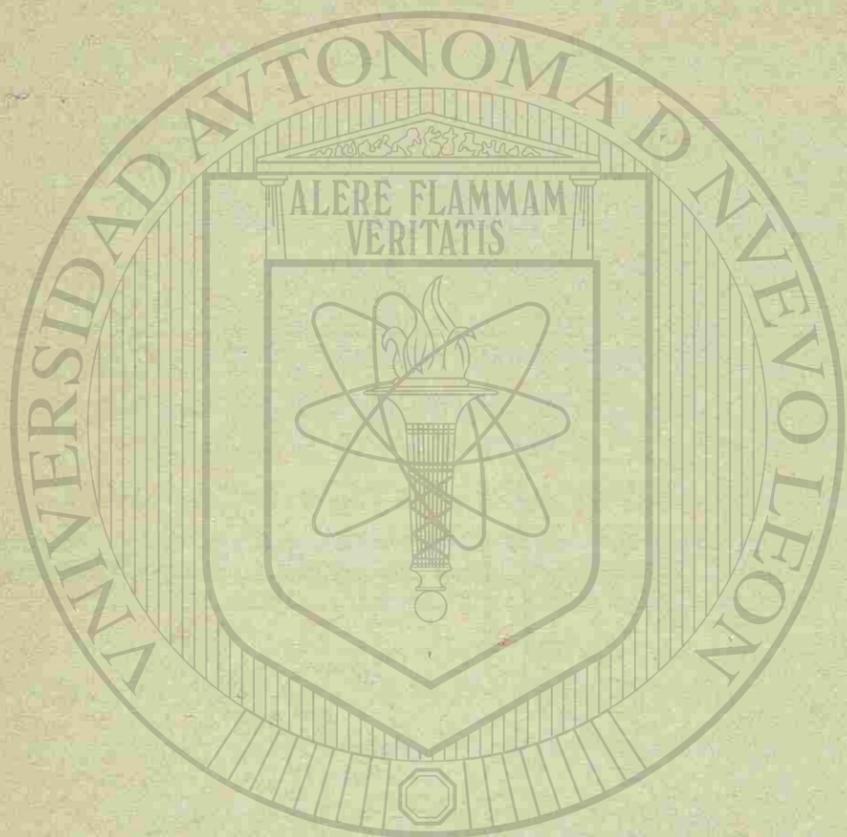
TK  
.U

7818

556



1020111790



INDICE

0560

PRACTICA		PAG.
	INTRODUCCION -----	1
1	MEDICION DE IMPEDANCIAS -----	2
2	CONFIGURACION EMISOR-COMUN -----	7
3	CONFIGURACION COLECTOR-COMUN -----	17
4	CONFIGURACION SURTIDOR-EMISOR -----	27
5	CONFIGURACION EMISOR-EMISOR -----	36
6	CONFIGURACION EMISOR-COLECTOR -----	46
7	CONFIGURACION DARLINGTON -----	52
8	AMPLIFICADOR DIFERENCIAL -----	62
9	MEDICION DE LOS PARAMETROS DEL AMPLIFICADOR OPERACIONAL -----	68
10	AMPLIFICADORES LINEALES BASICOS -----	79
	APENDICE -----	87

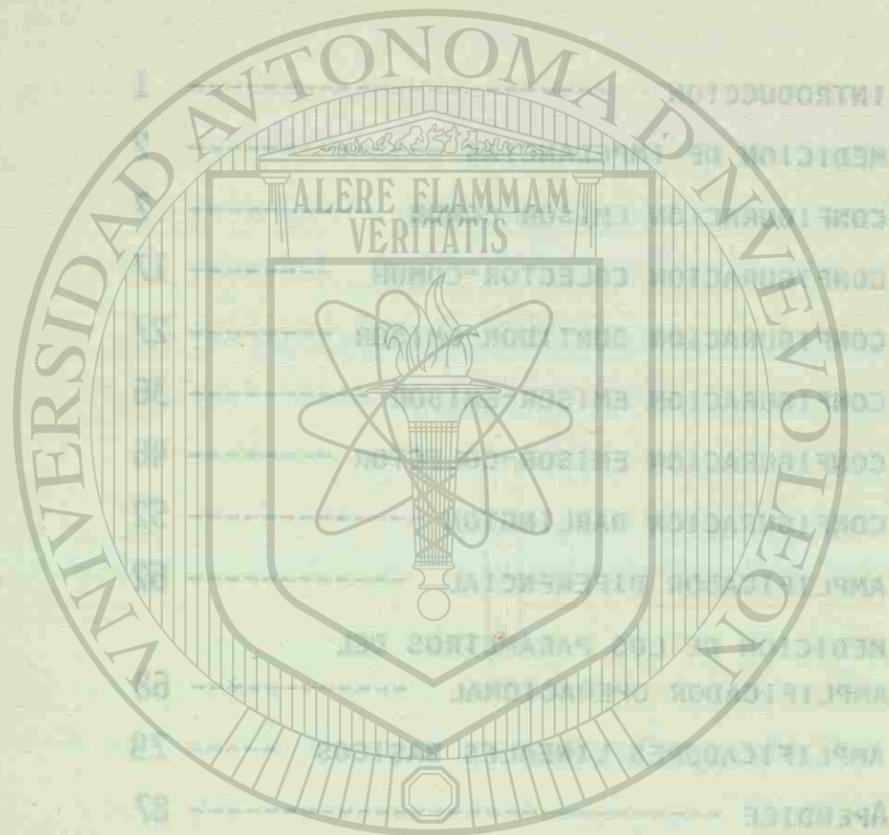
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



0560

TK7818  
.U556



FONDO UNIVERSITARIO

37704

RE 15/11/06

## INTRODUCCION

Esta serie de prácticas tiene como objetivo comprobar la teoría expuesta en la clase de Electrónica II, éstas consistirán en la implementación del circuito y en la medición de diferentes parámetros con la finalidad de encontrar las características de cada circuito y comparar los resultados prácticos con los teóricos.

Los parámetros que se medirán son:

- \* Ganancia de voltaje
- \* Impedancia de entrada
- \* Impedancia de salida
- \* Puntos de operación

Estos parámetros son importantes en el diseño de amplificadores de C.D. y C.A. ejemplos:

- \* Amplificadores de instrumentación
- \* Amplificadores de audio
- \* Amplificadores de potencia

Para optimizar el desarrollo de las prácticas recomendamos:

- \* Conocer la teoría de las prácticas a realizar
- \* Revisar el buen estado de los elementos electrónicos, así como la continuidad de las conexiones.
- \* Organizar la colocación de los componentes del circuito, conexiones y equipo, de modo que se facilite las mediciones y revisión del circuito.

PRACTICA No. 1

MEDICION DE IMPEDANCIAS.

OBJETIVO: Medir la impedancia de entrada y de salida de un dispositivo o instrumento.

TEORIA: Cuando se hace el diseño de un circuito en muchos de los casos se requiere conocer la impedancia de entrada y de salida de los circuitos a los que se va acoplar el amplificador.

Para obtener la impedancia de entrada o de salida se pueden emplear uno de los métodos que a continuación se describen:

IMPEDANCIA DE ENTRADA (Zi).

Un dispositivo o instrumento se puede representar como un circuito equivalente, formado este por una impedancia de entrada, una fuente de voltaje dependiente del voltaje de entrada y una impedancia de salida, como se muestra en la figura 1.

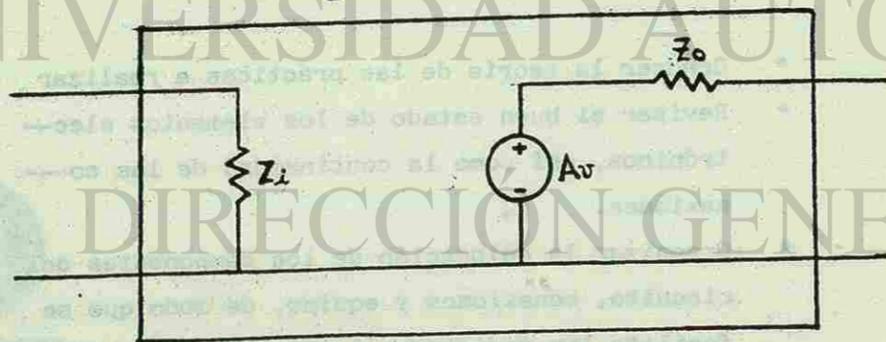


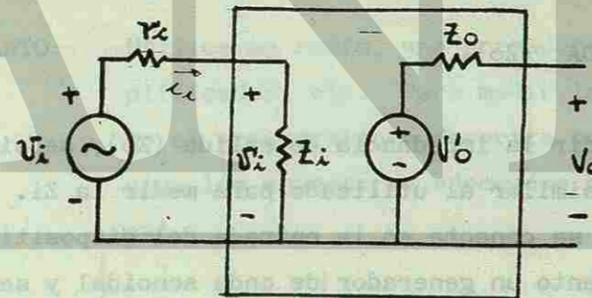
Figura No. 1

Con este circuito equivalente, la impedancia de entrada se mide haciendo el siguiente procedimiento.

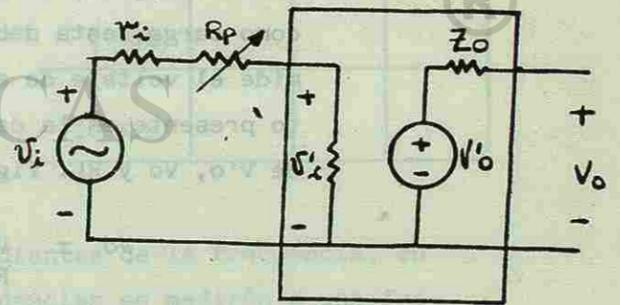
1. Conéctese un generador de funciones con una impedancia de salida conocida (600 ohms) a la entrada del dispositivo o instrumento como se muestra en la fig.2-A.
2. Mida el voltaje de salida de la fuente sin carga para conocer (Vi).
3. Conecte la carga y mida el voltaje (V'i).
4. Obtenga la relación de (Zi) matemáticamente y sustituya los valores obtenidos en la medición.

$$Z_i = \frac{V_i i_i}{V_i' i_i - V_i i_i}$$

$$Z_i = \frac{r_i}{\left(\frac{V_i}{V_i'} - 1\right)}$$



(A)



(B)

Figura 2.

Otro método para medir ( $Z_i$ ) es utilizando un potenciómetro (RP) en serie como se muestra en la fig. 2B y el procedimiento a seguir es el siguiente:

1. Mida el voltaje de salida de la fuente o el generador de funciones sin carga para conocer ( $V_i$ ).
2. Conecte la carga y ajuste el potenciómetro hasta que el voltaje en la carga o sea ( $V'i$ ) sea igual a la mitad de  $V_i$ .
3. Desconecte el potenciómetro y mida el valor de su resistencia.
4. Obtenga la relación ( $Z_i$ ) matemáticamente y sustituya los valores obtenidos en la medición.

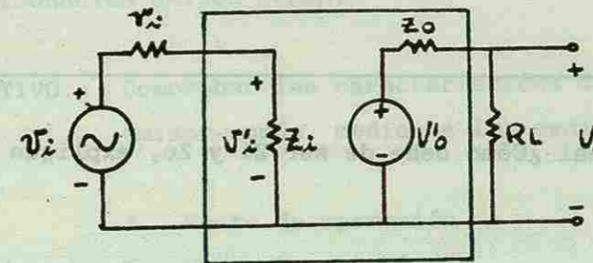
$$Z_i = 600 + R_p$$

IMPEDANCIA DE SALIDA ( $Z_o$ ).

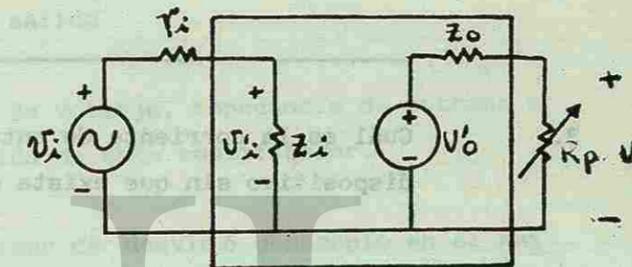
Para medir la impedancia de salida ( $Z_o$ ), se sigue un método similar al utilizado para medir la  $Z_i$ . En este caso se conecta en la entrada del dispositivo o instrumento un generador de onda senoidal y se ajusta el nivel del voltaje de entrada hasta que la señal en la salida no exista distorsión; esto es sin carga ( $V'o$ ) enseguida se conecta una resistencia que actúa como carga, esta debe de tener un valor conocido y se mide el voltaje de salida del dispositivo o instrumento presente en la carga ( $V_o$ ). La  $Z_o$  queda en función de  $V'o$ ,  $V_o$  y  $R_L$ . figura 3A.

$$V_o = \frac{V'o R_L}{R_L + Z_o}$$

El otro método para medir la  $Z_o$  es utilizando un potenciómetro ( $R_p$ ) y siguiendo el mismo procedimiento para medir  $Z_i$ . figura 3B.



(A)



(B)

Figura 3

PROCEDIMIENTO: Utilice un radio, una grabadora, un circuito amplificador, etc. Para medir la  $Z_i$ ,  $Z_o$ , siguiendo el procedimiento descrito en cada caso (consiga los conectores adecuados para esta práctica).

	$V_i$	$V'i$	$Z_i$	$V'o$	$V_o$	$Z_o$
500 Hz				500 Hz		
1 KHz				1 KHz		
10 KHz				10 KHz		

NOTA: Las impedancias son dependientes de la frecuencia, en el caso de audio las impedancias se medirán a una frecuencia de 1 KHz.

PREGUNTAS;

1. ¿Porqué  $Z_i$  debe ser mayor que  $Z_o$ ?

\_\_\_\_\_

2. En el caso ideal ¿Cómo debe de ser  $Z_i$  y  $Z_o$ , explique - porqué?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

3.Cuál es la corriente de entrada máxima de su aparato o dispositivo sin que exista distorsión a la salida?

\_\_\_\_\_

4.Cuál es la impedancia de entrada teórica en el circuito utilizado.

\_\_\_\_\_

5.Cuál es la impedancia de salida teórica en el circuito utilizado.

\_\_\_\_\_

PRACTICA No. 2

CONFIGURACION EMISOR COMUN.

OBJETIVO: Comprobar las características de un amplificador de - emisor-común, mediante las mediciones siguientes:

- \* Punto de operación
- \* Ganancia de voltaje
- \* Impedancia de entrada
- \* Impedancia de salida

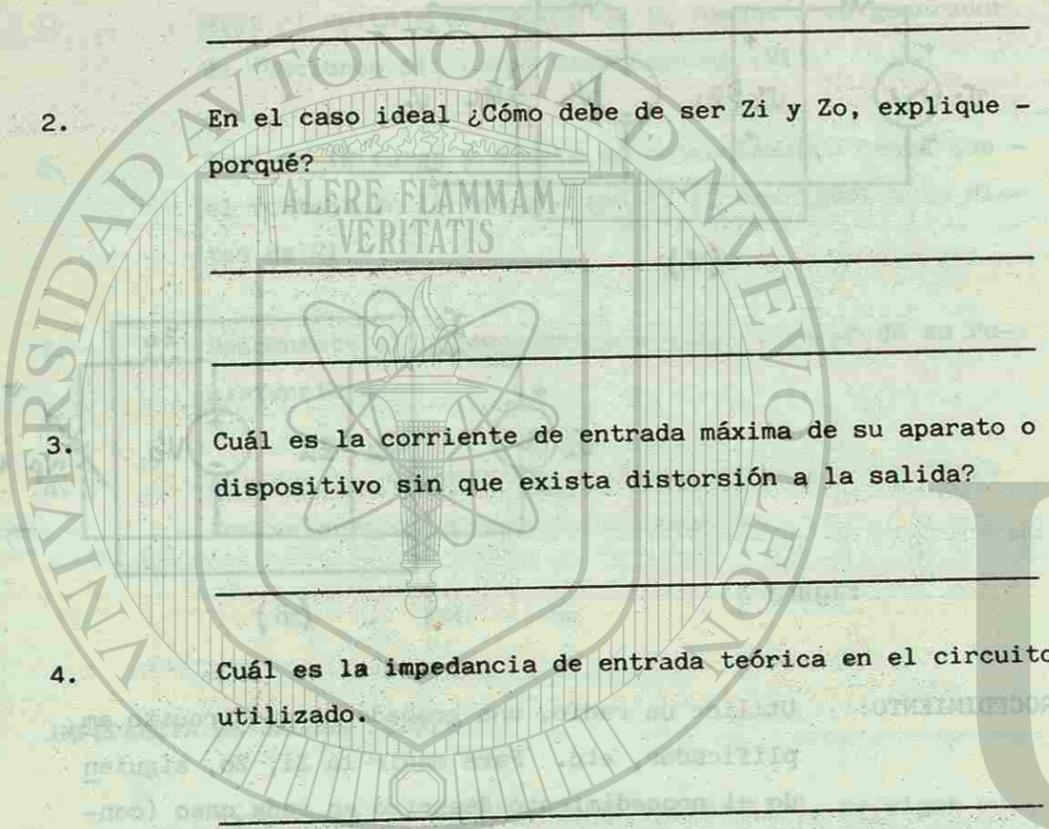
- Medir la ganancia de voltaje, impedancia de entrada e impedancia de salida de este amplificador.

- Utilizar un capacitor de desvío ó desacoplo en el emisor de  $100 \mu F$ , y capacitores de acoplamiento en la entrada y la salida de  $10 \mu F$ .

- Para observar su efecto en la ganancia de voltaje, impedancia de entrada y la magnitud de la señal de entrada.

LISTA DE MATERIAL Y EQUIPO.

- |   |   |
|---|---|
| 1 | Transistor 2N3904                           |
| 2 | Capacitores de $10 \mu F - 16 VCD$          |
| 1 | Capacitor de $100 \mu F - \frac{1}{2} W$    |
| 1 | Resistencia de $120 \Omega - \frac{1}{2} W$ |
| 1 | Resistencia de $470 \Omega - \frac{1}{2} W$ |
| 1 | Resistencia de $680 \Omega - \frac{1}{2} W$ |
| 1 | Resistencia de $2.2K\Omega - \frac{1}{2} W$ |
| 1 | Resistencia de $15 K\Omega - \frac{1}{2} W$ |
| 1 | Osciloscopio de doble canal                 |



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

PREGUNTAS;

1. ¿Porqué  $Z_i$  debe ser mayor que  $Z_o$ ?

\_\_\_\_\_

2. En el caso ideal ¿Cómo debe de ser  $Z_i$  y  $Z_o$ , explique - porqué?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

3.Cuál es la corriente de entrada máxima de su aparato o dispositivo sin que exista distorsión a la salida?

\_\_\_\_\_

4.Cuál es la impedancia de entrada teórica en el circuito utilizado.

\_\_\_\_\_

5.Cuál es la impedancia de salida teórica en el circuito utilizado.

\_\_\_\_\_

PRACTICA No. 2

CONFIGURACION EMISOR COMUN.

OBJETIVO: Comprobar las características de un amplificador de - emisor-común, mediante las mediciones siguientes:

- \* Punto de operación
- \* Ganancia de voltaje
- \* Impedancia de entrada
- \* Impedancia de salida

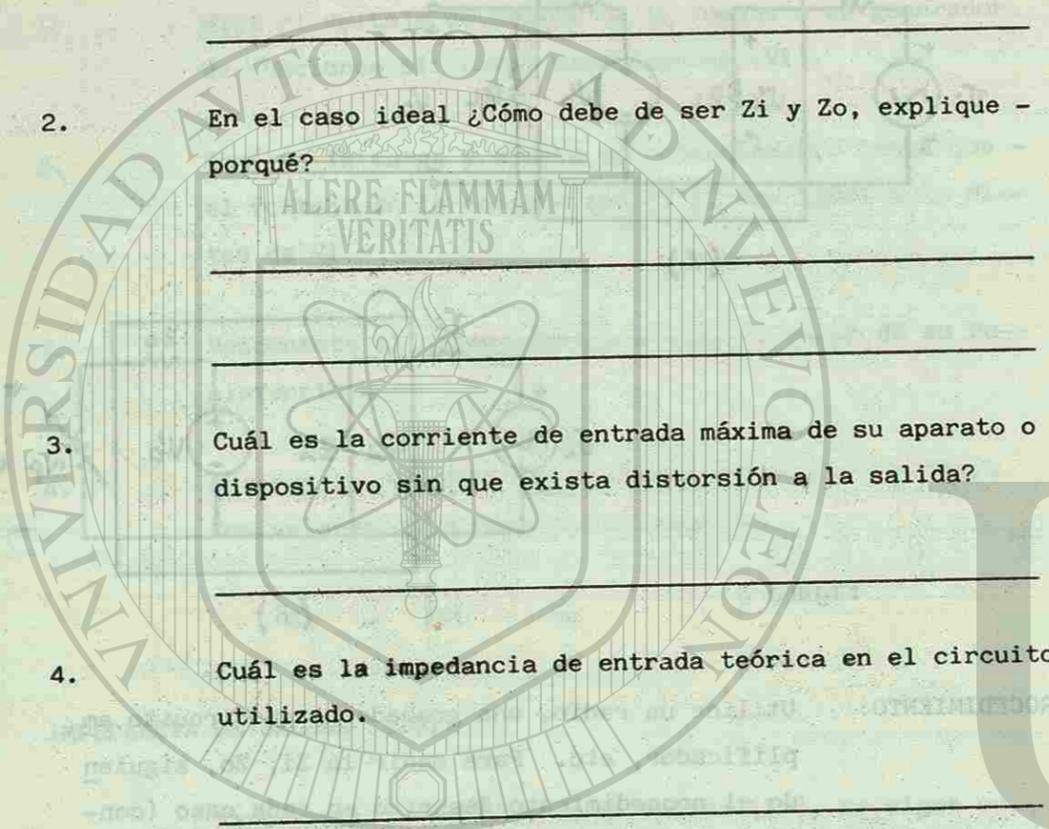
- Medir la ganancia de voltaje, impedancia de entrada e impedancia de salida de este amplificador.

- Utilizar un capacitor de desvío o desacoplo en el emisor de  $100 \mu F$ , y capacitores de acoplamiento en la entrada y la salida de  $10 \mu F$ .

- Para observar su efecto en la ganancia de voltaje, impedancia de entrada y la magnitud de la señal de entrada.

LISTA DE MATERIAL Y EQUIPO.

- |   |  |
|---|--|
| 1 | Transistor 2N3904                              |
| 2 | Capacitores de $10 \mu F$ - 16 VCD             |
| 1 | Capacitor de $100 \mu F$ - $\frac{1}{2}$ W     |
| 1 | Resistencia de $120 \Omega$ - $\frac{1}{2}$ W  |
| 1 | Resistencia de $470 \Omega$ - $\frac{1}{2}$ W  |
| 1 | Resistencia de $680 \Omega$ - $\frac{1}{2}$ W  |
| 1 | Resistencia de $2.2 K\Omega$ - $\frac{1}{2}$ W |
| 1 | Resistencia de $15 K\Omega$ - $\frac{1}{2}$ W  |
| 1 | Osciloscopio de doble canal                    |



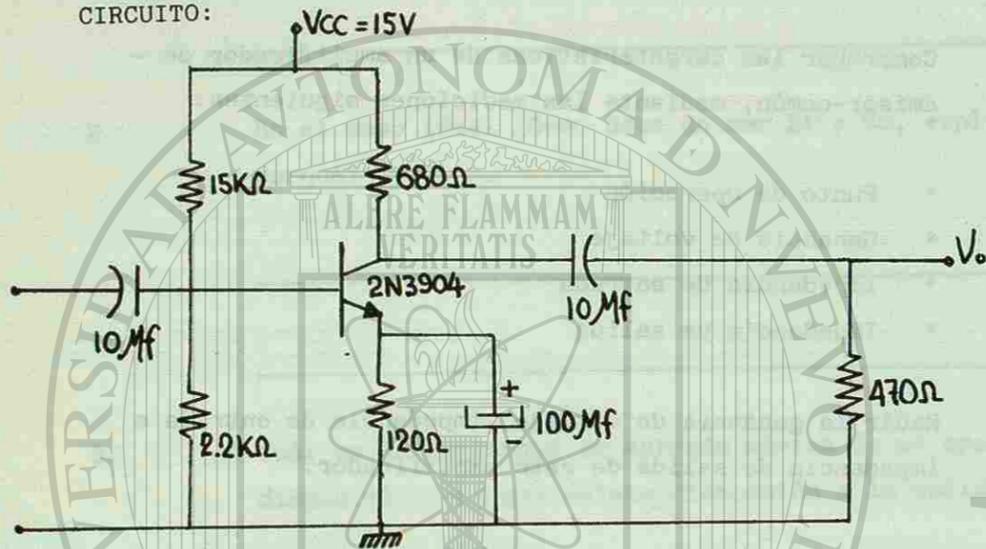
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



- 1 Generador de funciones
- 1 Multímetro digital
- 1 Fuente de alimentación Dual

CIRCUITO:



PROCEDIMIENTO.

- Implemente su circuito de la figura 1 en un protoboard para la facilidad en mediciones y que no existan falsos contactos

Energice su circuito con el voltaje de polarización adecuado y mida su punto de operación (Q).

$I_{CQ}(\text{medido}) = \underline{\hspace{2cm}}$ ;  $V_{CEQ}(\text{medido}) = \underline{\hspace{2cm}}$

- En seguida conecte en la entrada del circuito amplificador un generador de funciones (señal senoidal) utilice un condensador de acoplamiento de  $10\mu\text{F}$  entre el generador y el circuito; asegúrese de que el generador tenga su nivel de amplitud al mínimo y una frecuencia 1000 Hz al iniciar sus mediciones.

Conecte el canal "A" del osciloscopio en la entrada del amplificador y el canal "B" a la salida. Empiece a incrementar el nivel del voltaje de entrada hasta que la señal de salida empiece a distorsionarse.

- Si el nivel del voltaje de salida del generador de funciones se encuentra al mínimo y existe distorsión de la señal en la salida del amplificador, conecte entonces un circuito atenuador  $\pi$  en la entrada del amplificador, ver apéndice.

- Mida la amplitud del voltaje de salida sin distorsión ya sea que lo haga de pico a pico o de cero a pico y la amplitud del voltaje de entrada, con estas dos mediciones haga la relación y encuentre la ganancia de voltaje ( $A_v$ ) y verifíquela en forma teórica.

$V_{o \text{ medido}} = \underline{\hspace{2cm}}$ ;  $V_{i \text{ medido}} = \underline{\hspace{2cm}}$

$A_{v \text{ medido}} = \underline{\hspace{2cm}}$ ;  $A_{v \text{ (teórico)}} = \underline{\hspace{2cm}}$

- Grafique las formas de onda de la señal de entrada y salida con sus magnitudes correspondientes.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



Esta ganancia de voltaje se midió al estar conectado - el capacitor de desvío (desacoplo). Déjelo conectado - para medir  $Z_i$  y  $Z_o$ .

Observe el desfaseamiento (si es que existe) de la señal de salida con respecto a la señal de entrada.

Mida las impedancias de salida y de entrada con los métodos descritos en la práctica anterior y compruébelos en forma teórica.

$Z_{i \text{ medida}} =$  \_\_\_\_\_ ;  $Z_{o \text{ medida}} =$  \_\_\_\_\_

$Z_{i \text{ teórica}} =$  \_\_\_\_\_ ;  $Z_{o \text{ teórica}} =$  \_\_\_\_\_

Ahora al mismo circuito amplificador desconecte el capacitor de desvío (desacoplo) e inicie el mismo procedimiento que el anterior.

Mida el punto de operación (Q). Para esto, apague ó desconecte el generador de señales para la medición de C.D.

$I_{CQ} =$  \_\_\_\_\_ ;  $V_{CEQ} =$  \_\_\_\_\_

Enseguida conecte el generador e incremente su señal de entrada al amplificador; tome lecturas.

$V_{o \text{ medido}} =$  \_\_\_\_\_ ;  $V_{i \text{ medido}} =$  \_\_\_\_\_

$A_{v \text{ medido}} =$  \_\_\_\_\_ ;  $A_{v \text{ teórico}} =$  \_\_\_\_\_

Haga lo mismo con las impedancias  $Z_i$ ,  $Z_o$ .

$Z_{i \text{ medida}} =$  \_\_\_\_\_ ;  $Z_{o \text{ medida}} =$  \_\_\_\_\_

$Z_{i \text{ teórica}} =$  \_\_\_\_\_ ;  $Z_{o \text{ teórica}} =$  \_\_\_\_\_

Para expresar la ganancia de voltaje en (dB):

$$A_v \text{ dB} = 20 \log \frac{V_o}{V_i}$$

$$A_i \text{ dB} = 20 \log \frac{i_o}{i_i}$$

Grafique la forma de onda de la señal de entrada y de salida para cuando no tiene capacitor de desacoplo.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

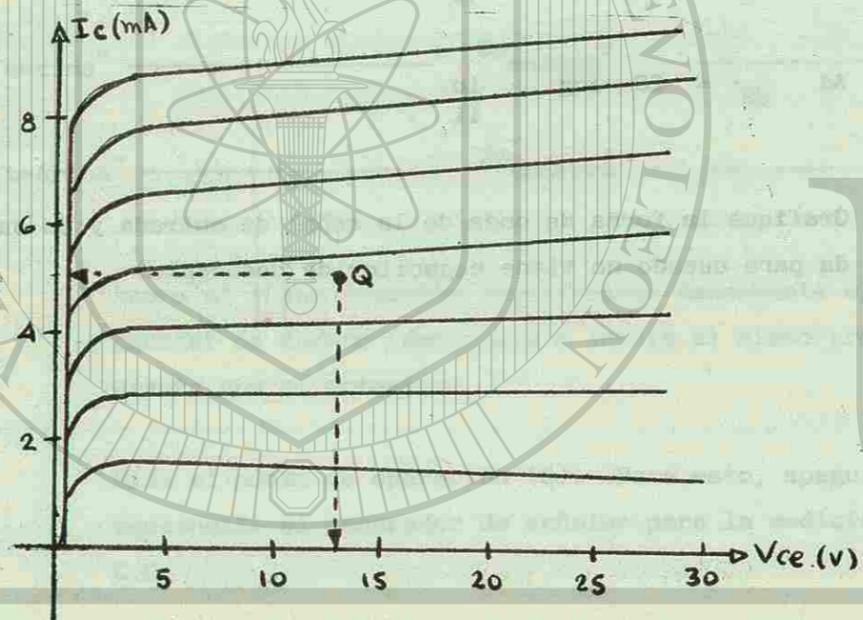
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



Ejemplo de diseño:

Datos:  $V_{CC} = 15V$   
 $A_v = -40$   
 $r_s = .6K\Omega$

Del transistor tenemos las curvas características:



Primeramente escogemos nuestro punto de operación asegurándonos que se encuentre en la región lineal, esto es:

$$I_{CQ} = 10mA \quad i_c \approx i_e$$

Fijamos el voltaje  $V_{BB}$  (típicamente entre 1 y 2 volts).

En nuestro caso  $V_{BB} = 2V$

De la malla de entrada se tiene:

$$I_E = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{\frac{R_B}{hfe+1} + R_E} \quad \text{donde: } R_B = \frac{hfe R_E}{hfe+1}$$

$$I_E = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{\frac{hfe R_E}{10(hfe+1)} + R_E} \quad \text{lo cual: } R_E = .238K\Omega$$

$$y R_B = 4.29 K\Omega$$

$$R_B = 4290 \Omega$$

Para el cálculo de  $R_1$  y  $R_2$  tenemos:

$$R_1 = \frac{R_b}{1 - \frac{V_{BB}}{V_{CC}}} = \frac{4.29 K\Omega}{1 - \frac{2V}{25V}} = 4.66 K\Omega$$

$$R_2 = \frac{R_b V_{CC}}{V_{BB}} = \frac{4.29 K(25)}{2V} = 53.62 K\Omega$$

De las curvas características trazamos la línea de carga de C.D. y escogemos gráficamente un valor de  $V_{CEQ} \approx 12.5V$  y

de la ecuación de la malla de salida tenemos:

$$V_{CC} = I_C R_C + V_{CE} + I_E R_E$$

$$V_{CC} = I_C (R_C + R_E) + V_{CE}$$

$$R_C + R_E = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{I_C} = \frac{25V - 12.5V}{5 \times 10^{-3} A}$$

$$R_C + R_E = 2.5 \text{ K}\Omega$$

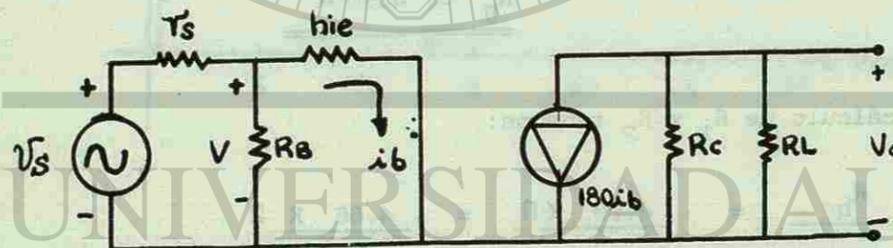
por lo tanto  $R_C$

$$R_C = 2.5 \text{ K} - .238 \text{ K}\Omega$$

$$R_C = 2.262 \text{ K}\Omega$$

Análisis de pequeña señal:

Circuito equivalente de pequeña señal:



$$h_{ie} = \frac{mV_t h_{fe}}{I_{EQ}} = \frac{(1) (25 \times 10^{-3}) (180)}{5 \times 10^{-3}} = .9 \text{ K}\Omega$$

$$h_{ie} = .9 \text{ K}\Omega$$

Del análisis de señal pequeña la ganancia de voltaje es:

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \left( \frac{V_o}{i_b} \right) \left( \frac{i_b}{V} \right) \left( \frac{V}{V_i} \right)$$

$$R_x = R_B // h_{ie}$$

$$V_o = - 180 i_b (R_C // R_L), \quad i_b = \frac{V}{h_{ie}}$$

$$V = \frac{V_i R_x}{R_x + r_s}$$

$$\frac{V_o}{i_b} = - 180 (R_C // R_L) \quad \frac{i_b}{V} = \frac{1}{h_{ie}}$$

$$\frac{V}{v_i} = \frac{R_x}{R_x + r_s}$$

Donde:

$$R_x = 4.29 // .9 \text{ K}\Omega$$

$$A_v = \frac{h_{fe} (R_C // R_L)}{h_{ie}} \left( \frac{R_x}{R_x + r_s} \right) \quad R_x = .743 \text{ K}\Omega$$

$$A_v = \frac{180 (R_C // R_L)}{.9} (.552) = 40 \quad \frac{R_x}{R_x + r_s} = \frac{.743}{.743 + .6} = .552$$

$$- 99.51 (R_C // R_L) = 40 (.9)$$

$$- 99.51 (R_C // R_L) = 36$$

$$R_C // R_L = \frac{36}{99.51}$$

$$R_C // R_L = .361 \text{ K}\Omega$$

donde  $R_L = .429 \text{ K}\Omega$

$$R_L = 429 \Omega$$

Una vez encontrada la  $R_L$  podemos graficar la línea de carga de C.A.

PREGUNTAS:

1. A que se debe que la señal de salida se desfase con respecto a la señal de entrada, explique:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

2. Porqué a este circuito se le conoce como emisor-común?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

3. Calcule la ganancia en corriente a partir de la ganancia de voltaje.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

4. Diga que sucedería con la amplitud del voltaje de salida en el amplificador para cada uno de los siguientes cambios:

- a) Incremento en la  $h_{fe}$
- b) La conexión de una carga de  $1K \Omega$  a la salida
- c) Incremento en  $R_B$

5.Cuál es la finalidad de utilizar el capacitor de desacoplo (ce) explique:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

6. En dónde utilizaría este tipo de amplificador?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

PRACTICA No. 3

COLECTOR COMUN.

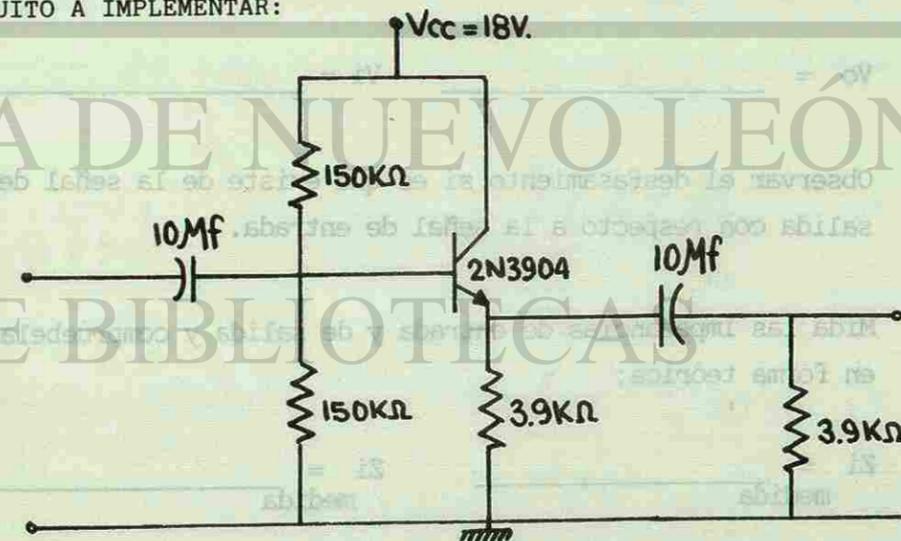
OBJETIVO: Comprobar las características de una configuración colector-común haciendo las siguientes mediciones:

- \* Puntos de operación
- \* Ganancia de voltaje
- \* Impedancia de entrada
- \* Impedancia de salida
- \* Desfasamiento

LISTA DE MATERIAL Y EQUIPO:

- 1 Transistor 2N3904 ó equivalente
- 2 Capacitores de  $10 \mu F$  16VCD.
- 2 Resistencias de  $3.9K \Omega$   $\frac{1}{2}W$ .
- 2 Resistencias  $150K \Omega$   $\frac{1}{2}W$ .
- 1 Osciloscopio
- 1 Generador de funciones
- 1 Multímetro digital
- 1 Fuente de alimentación dual.

CIRCUITO A IMPLEMENTAR:



PREGUNTAS:

1. A que se debe que la señal de salida se desfase con respecto a la señal de entrada, explique:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

2. Porqué a este circuito se le conoce como emisor-común?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

3. Calcule la ganancia en corriente a partir de la ganancia de voltaje.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

4. Diga que sucedería con la amplitud del voltaje de salida en el amplificador para cada uno de los siguientes cambios:

- a) Incremento en la  $h_{fe}$
- b) La conexión de una carga de  $1K \Omega$  a la salida
- c) Incremento en  $R_B$

5.Cuál es la finalidad de utilizar el capacitor de desacoplo (ce) explique:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

6. En dónde utilizaría este tipo de amplificador?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

PRACTICA No. 3

COLECTOR COMUN.

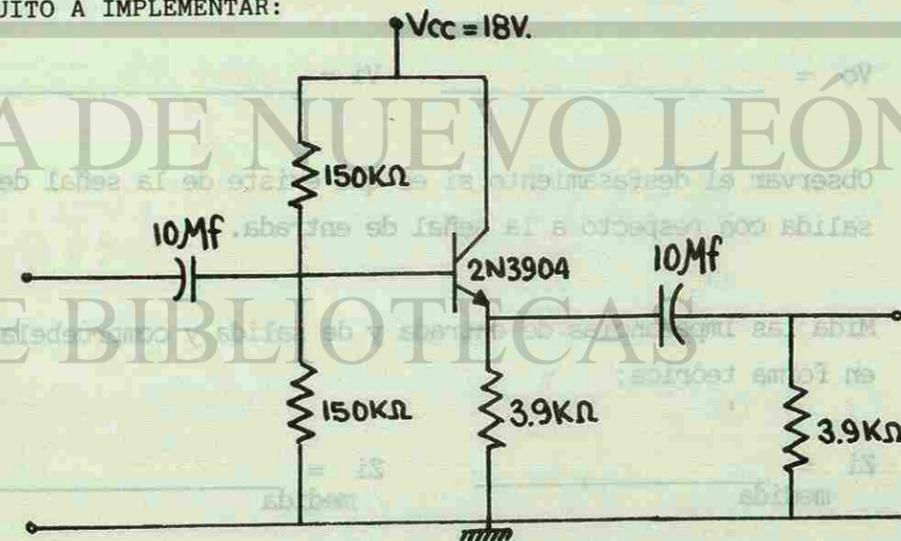
OBJETIVO: Comprobar las características de una configuración colector-común haciendo las siguientes mediciones:

- \* Puntos de operación
- \* Ganancia de voltaje
- \* Impedancia de entrada
- \* Impedancia de salida
- \* Desfasamiento

LISTA DE MATERIAL Y EQUIPO:

- 1 Transistor 2N3904 ó equivalente
- 2 Capacitores de  $10 \mu F$  16VCD.
- 2 Resistencias de  $3.9K \Omega$   $\frac{1}{2}W$ .
- 2 Resistencias  $150K \Omega$   $\frac{1}{2}W$ .
- 1 Osciloscopio
- 1 Generador de funciones
- 1 Multímetro digital
- 1 Fuente de alimentación dual.

CIRCUITO A IMPLEMENTAR:



PROCEDIMIENTO:

Implemente su circuito de la figura No. 1 en un Protoboard para la facilidad en mediciones y para que no existan falsos contactos. (Cheque que su circuito esté bien armado).

Energize el circuito y mida su punto de operación;

$I_{CQ}$  \_\_\_\_\_  $V_{CQ}$  \_\_\_\_\_

- Enseguida conecte en la entrada del circuito un generador de señales (señal senoidal), utilice condensadores de acoplamiento de  $10\mu F$ , asegúrese de que el generador tenga su nivel de amplitud al mínimo y una frecuencia de 1000 Hz.
- Conecte el canal "A" del osciloscopio en la entrada del amplificador y el canal "B" en la salida. Empiece a incrementar el nivel del voltaje de entrada hasta observar que la señal de salida no exista distorsión.
- Mida el voltaje de salida sin distorsión y el voltaje de entrada para conocer su ganancia de voltaje y verifíquela en forma teórica.

$V_o =$  \_\_\_\_\_  $V_i =$  \_\_\_\_\_

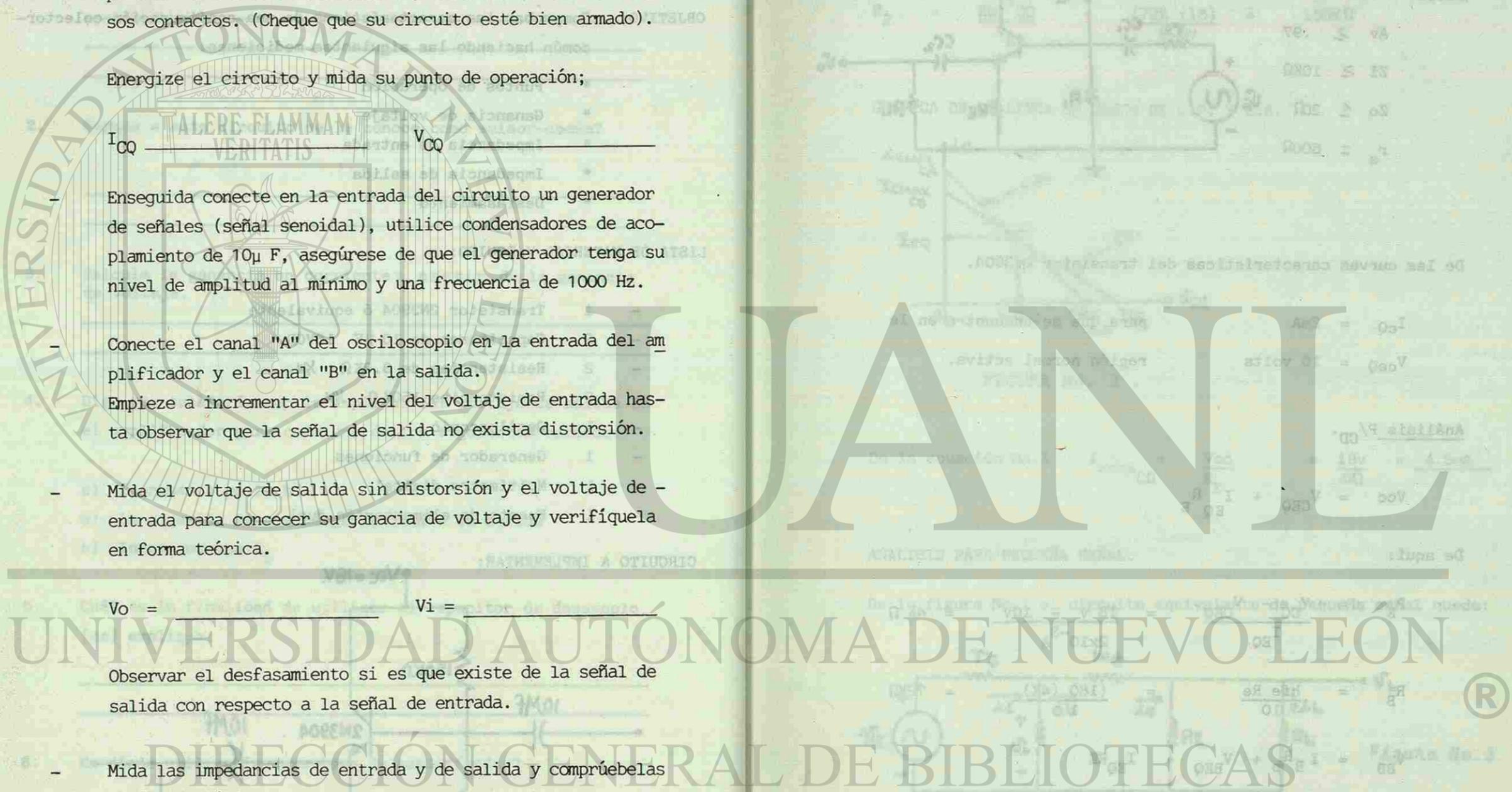
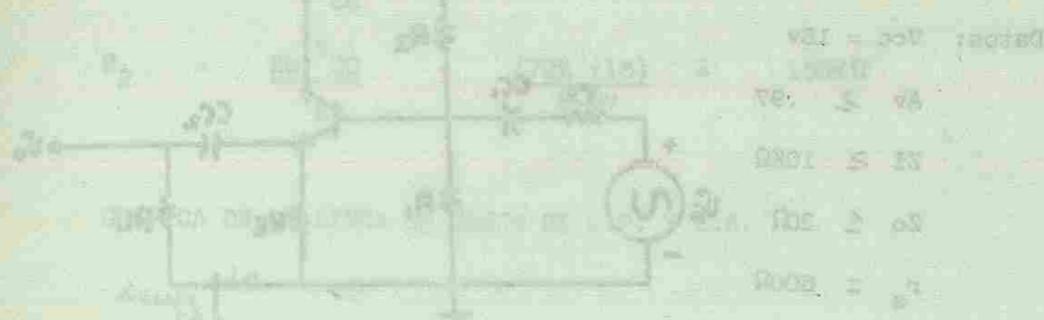
Observar el desfase si es que existe de la señal de salida con respecto a la señal de entrada.

- Mida las impedancias de entrada y de salida y compruébelas en forma teórica:

$Z_i =$  \_\_\_\_\_ medida  $Z_i =$  \_\_\_\_\_ medida

$Z_i =$  \_\_\_\_\_ teórica  $Z_o =$  \_\_\_\_\_ teórica

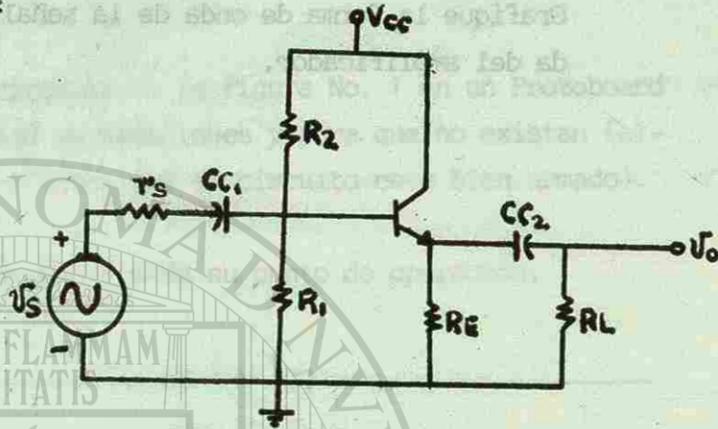
Grafique la forma de onda de la señal de entrada y de salida del amplificador.



Ejemplo de un Diseño:

Datos:  $V_{CC} = 18v$

- $A_v \geq .97$
- $Z_i \geq 10K\Omega$
- $Z_o \leq 20\Omega$
- $r_s = 600\Omega$



De las curvas características del transistor 2N3904.

$I_{CQ} = 2mA$  para que se encuentre en la  
 $V_{CEQ} = 10 volts$  región normal activa.

Análisis P/CD.

$$V_{CC} = V_{CEQ} + I_{EQ} R_E$$

De aquí:

$$R_E = \frac{V_{CC} - V_{CEQ}}{I_{EQ}} = \frac{18v - 10v}{2 \times 10^{-3} A} = 4K\Omega$$

$$R_B = \frac{h_{fe} R_E}{10} = \frac{(180)(4K)}{10} = 72K\Omega$$

$$V_{BB} = I_B R_b + V_{BEQ} + I_{EQ} R_E$$

$$V_{BB} = \left( \frac{2 \times 10^{-3}}{180} \right) 62 \times 10^3 + .7v + (2 \times 10^{-3})(4 \times 10^3)$$

$$V_{BB} = \frac{144}{180} + .7v + 8v =$$

$$V_{BB} = 9.6 volts.$$

$$R_1 = \frac{R_b}{1 - \frac{V_{BB}}{V_{CC}}} = \frac{72K}{1 - \frac{9.6v}{18v}} = 154.28K\Omega$$

$$R_2 = \frac{R_b V_{CC}}{V_{BB}} = \frac{(72K)(18)}{9.6v} = 135K\Omega$$

GRAFICA DE LA LINEA DE CARGA DE C.D. Y C.A.

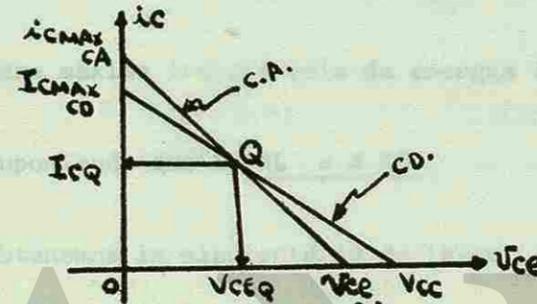


FIGURA NO. 2 .

De la ecuación No.1  $I_{cmax_{CD}} = \frac{V_{CC}}{R_E} = \frac{18v}{4K\Omega} = 4.5mA$

ANALISIS PARA PEQUEÑA SEÑAL:

De la figura No.1 el circuito equivalente de pequeña señal queda:

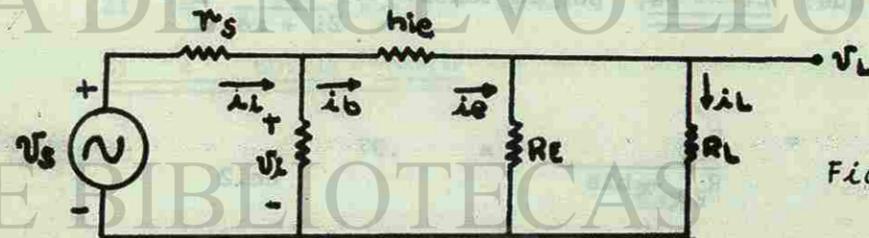
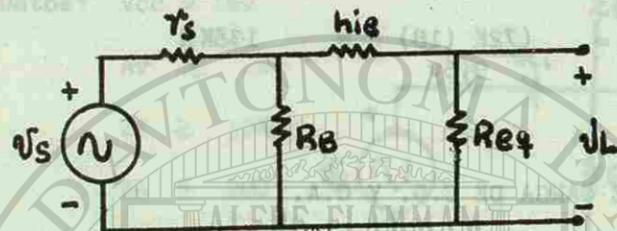


Figura No.3

Para obtener la ganancia de voltaje ( $A_v$ ), es necesario reflejar los elementos que se encuentran en el emisor hacia el -- circuito de base, esto es:

$$R_{EQ} = (R_E // R_L) \cdot (h_{fe} + 1)$$

por lo tanto:



$$A_v = \left( \frac{V_L}{V_i} \right) \left( \frac{V_i}{V_s} \right)$$

$$V_L = \frac{V_i R_{EQ}}{R_{EQ} + h_{ie}}$$

$$V_i = \frac{V_s R_x}{R_x + r_s}$$

$$R_x = (R_{EQ} + h_{ie}) // R_B$$

$R_x = Z_i$  del amplificador

$$\frac{V_L}{V_s} = \frac{R_{EQ}}{R_{EQ} + h_{ie}}$$

$$\frac{V_i}{V_s} = \frac{R_x}{R_x + r_s}$$

$$h_{ie} = m_v h_{fe} = \frac{(1)(25 \times 10^{-3})(180)}{2 \times 10^{-3}} = 2,250 \Omega$$

$$A_v = \frac{R_{EQ}}{R_{EQ} + h_{ie}} \cdot \frac{Z_i}{Z_i + r_s} = .97 \quad h_{ie} = 2,250 \Omega$$

Observando que:  $Z_i \gg r_s$ , por lo tanto:  $\frac{Z_i}{Z_i + r_s} \approx 1$

Entonces:

$$A_v = \frac{R_{EQ}}{R_{EQ} + h_{ie}} = .97 \quad \text{ec.2}$$

$$A_v = \frac{(R_E // R_L) (h_{fe} + 1)}{(R_E // R_L) (h_{fe} + 1) + h_{ie}} = .97$$

Debido a que  $[(R_E // R_L) (h_{fe} + 1)] \gg h_{ie}$ , la ganancia de

voltaje ( $A_v$ ) se aproxima a la unidad, esto significa que la  $R_L$  puede tomar cualquier valor que cumpla con la condición anterior.

Para máxima oscilación posible de  $V_L$ , la  $R_L$  debe de ser muy grande (en caso ideal  $R_L = \infty$ ) y en este caso la línea de carga de C.D. = a la línea de carga de C.A.

Para máxima transferencia de energía la  $R_L = R_E$ .

Suponiendo que la  $R_L = 4 \text{ K}\Omega$

Obtenemos la siguiente  $A_v$  de la ec. 2.

$$A_v = \frac{R_{EQ}}{R_{EQ} + h_{ie}} = \frac{(R_E // R_L) (h_{fe} + 1)}{(R_E // R_L) (h_{fe} + 1) + h_{ie}} = \frac{(4\text{K} // 4\text{K}) (181)}{(4\text{K} // 4\text{K}) (181) + 2.25\text{K} \Omega} =$$

$$A_v = .99$$

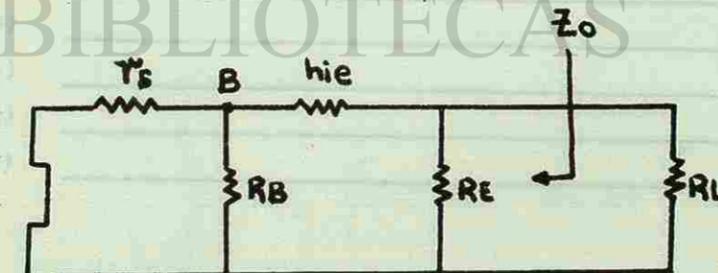
Con este valor de resistencia  $R_L = 4\text{K}\Omega$  cumple con las condiciones iniciales o sea:

$$Z_i = (R_{EQ} + h_{ie}) // R_B$$

$$Z_i = (363 + 2.25) // 72 \text{ K}\Omega$$

$$Z_i = 60.11\text{K} > 10\text{K} \Omega$$

Para  $Z_o$ :



Ahora se reflejan los elementos que se encuentran en la base hacia el circuito del emisor, esto es:

$$Z_o = \left[ \frac{r_s // R_B}{h_{fe} + 1} + h_{ie} \right] // R_E$$

$$Z_o = \left[ \frac{(.6 // 72)}{181} + 2.25 \right] // 4 \text{ K } \Omega$$

$$Z_o = 15.6 \Omega \quad 15.6 \Omega < 20 \Omega$$

con la  $R_L = 4 \text{ K } \Omega$  la línea de carga de C.A. se muestra en la figura No. 2.

**NOTA :**

Para implementar el circuito seleccione los valores estandares comerciales más cercanos a los calculados y rediseñe el circuito. Si la variación es mucha, seleccione otros valores comerciales cercanos.

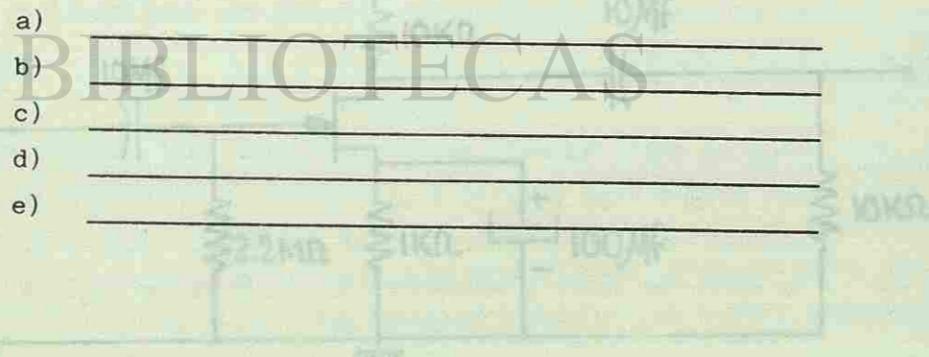


**PREGUNTAS:**

1. Porqué al colector-común se le llama seguidor de emisor?  
\_\_\_\_\_
2. Qué nos podría afectar al alterar el valor de la resistencia ( $R_e$ ) en la impedancia de salida?  
\_\_\_\_\_
3. ¿Cómo es la impedancia de entrada del amplificador de colector-común con respecto a la de emisor-común?  
\_\_\_\_\_

**LISTA DE MATERIAL Y EQUIPO:**

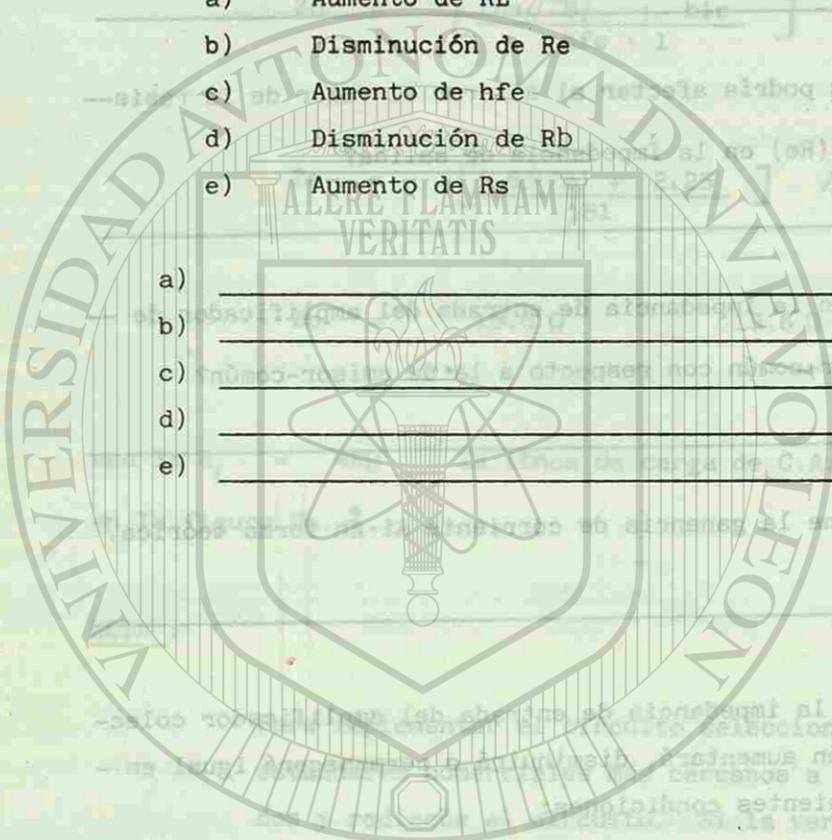
4. Determine la ganancia de corriente  $A_i$  en forma teórica.  
\_\_\_\_\_
5. Diga si la impedancia de entrada del amplificador colector-común aumentará, disminuirá o permanecerá igual en las siguientes condiciones:
  - a) Disminución del  $R_L$
  - b) Aumento de  $R_s$
  - c) Aumento de  $h_{fe}$
  - d) Aumento de  $V_{cc}$
  - e) Aumento de  $R_e$



6. Indique los efectos que cada uno de los siguientes cambios, tendrá en Av y Ai. El amplificador C-C.

- a) Aumento de RL
- b) Disminución de Re
- c) Aumento de hfe
- d) Disminución de Rb
- e) Aumento de Rs

- a) \_\_\_\_\_
- b) \_\_\_\_\_
- c) \_\_\_\_\_
- d) \_\_\_\_\_
- e) \_\_\_\_\_



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

SURTIDOR-COMUN (FUENTE-COMUN)

OBJETIVO: Comprobar las características que presenta un amplificador con F.E.T. en la configuración surtidor común haciendo las siguientes mediciones:

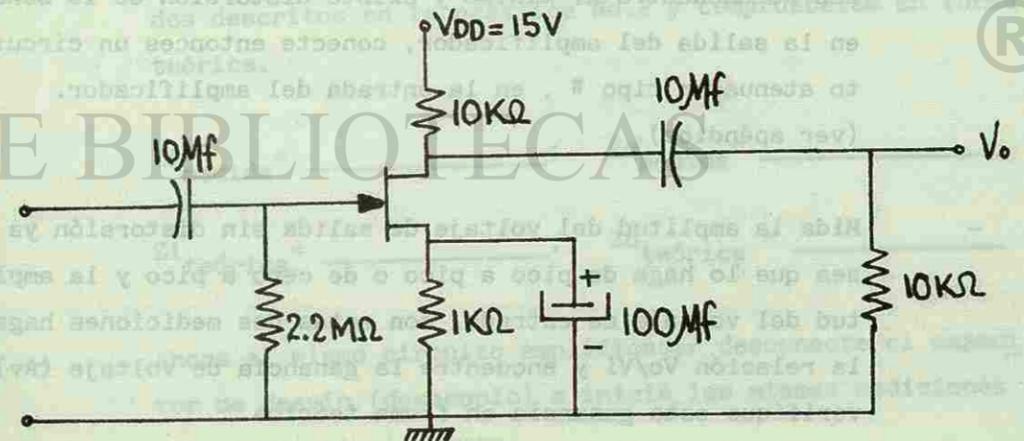
- \* Puntos de operación
- \* Ganancia de voltaje
- \* Impedancia de entrada
- \* Impedancia de salida

- Medir la ganancia de voltaje, impedancia de entrada e impedancia de salida del amplificador.

LISTA DE MATERIAL Y EQUIPO:

- 1 F.E.T.
- 1 Resistencia 2.2 MΩ ½W
- 2 Resistencias 10KΩ ½W
- 1 Resistencia 1KΩ ½W
- 2 Capacitores 10 μF ½W 16VCD
- 1 Capacitor 100 μF 16VCD
- 1 Osciloscopio de doble canal
- 1 Generador de funciones
- 1 Multímetro digital
- 1 Fuente de poder dual

CIRCUITO A IMPLEMENTAR:



6. Indique los efectos que cada uno de los siguientes cambios, tendrá en Av y Ai. El amplificador C-C.

- a) Aumento de RL
- b) Disminución de Re
- c) Aumento de hfe
- d) Disminución de Rb
- e) Aumento de Rs

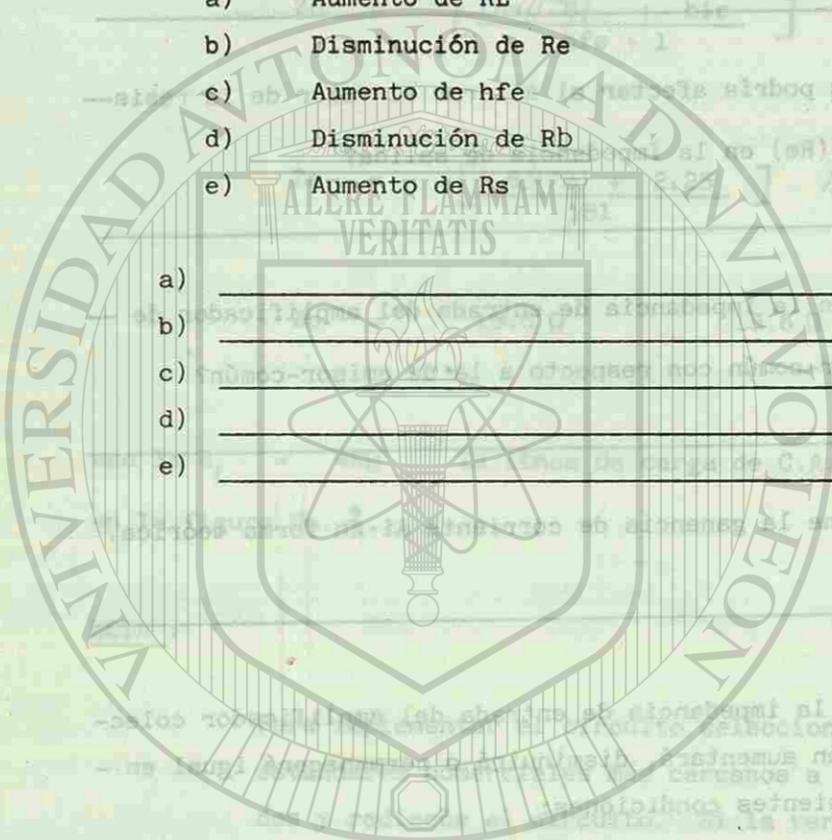
a) \_\_\_\_\_

b) \_\_\_\_\_

c) \_\_\_\_\_

d) \_\_\_\_\_

e) \_\_\_\_\_



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

SURTIDOR-COMUN (FUENTE-COMUN)

OBJETIVO: Comprobar las características que presenta un amplificador con F.E.T. en la configuración surtidor común haciendo las siguientes mediciones:

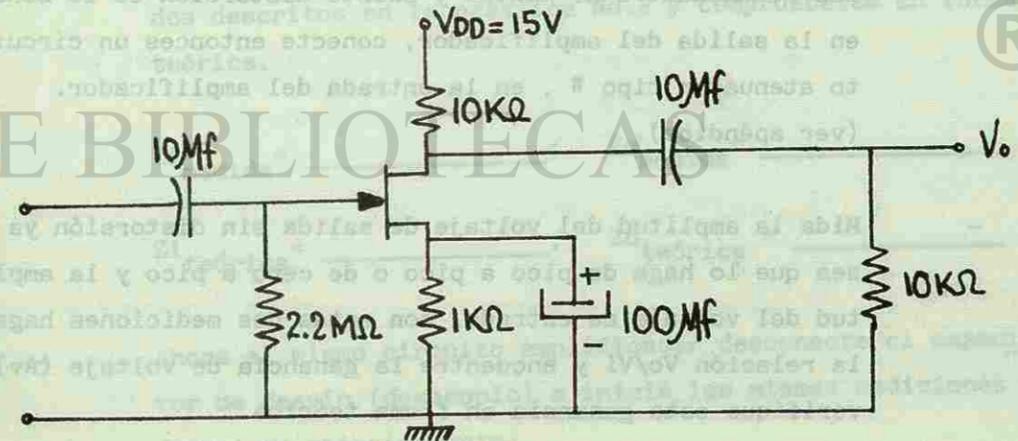
- \* Puntos de operación
- \* Ganancia de voltaje
- \* Impedancia de entrada
- \* Impedancia de salida

- Medir la ganancia de voltaje, impedancia de entrada e impedancia de salida del amplificador.

LISTA DE MATERIAL Y EQUIPO:

- 1 F.E.T.
- 1 Resistencia 2.2 MΩ ½W
- 2 Resistencias 10KΩ ½W
- 1 Resistencia 1KΩ ½W
- 2 Capacitores 10 μF ½W 16VCD
- 1 Capacitor 100 μF 16VCD
- 1 Osciloscopio de doble canal
- 1 Generador de funciones
- 1 Multímetro digital
- 1 Fuente de poder dual

CIRCUITO A IMPLEMENTAR:



PROCEDIMIENTO:

Implemente el circuito de la figura No.1 en un protoboard para la facilidad en mediciones y para que no existan falsos contactos. (Cheque que su circuito este bien armado - para que no existan corto-circuitos).

Energize el circuito amplificador con el voltaje correcto de polarización y mida los puntos de operación respectivos.

$I_{DQ} = \underline{\hspace{2cm}}$ ;  $V_{DSQ} = \underline{\hspace{2cm}}$

Enseguida conecte en la entrada del circuito amplificador un generador de funciones (señal senoidal) mediante un capacitor de acoplamiento de  $10 \mu F$  entre el generador y el circuito; asegurándose de que el nivel de la amplitud del generador se encuentre al mínimo y con una frecuencia de  $1000 \text{ Hz}$ . Al iniciar sus mediciones.

Conecte el canal "A" del osciloscopio en la entrada del amplificador y el canal "B" a la salida. Empiece a incrementar el nivel del voltaje de entrada en el amplificador hasta que la señal de salida empiece a distorsionarse.

Si el nivel del voltaje de salida del generador de funciones se encuentra al mínimo y existe distorsión de la señal en la salida del amplificador, conecte entonces un circuito atenuador tipo  $\pi$ , en la entrada del amplificador. (ver apéndice).

Mida la amplitud del voltaje de salida sin distorsión ya sea que lo haga de pico a pico o de cero a pico y la amplitud del voltaje de entrada, con estas dos mediciones haga la relación  $V_o/V_i$  y encuentre la ganancia de voltaje ( $A_v$ ), verifique esta ganancia en forma teórica.

$V_o_{\text{medido}} = \underline{\hspace{2cm}}$ ;  $V_i_{\text{medido}} = \underline{\hspace{2cm}}$

$A_v_{\text{medida}} = \underline{\hspace{2cm}}$ ;  $A_v_{\text{teórica}} = \underline{\hspace{2cm}}$

Grafique las formas de onda de entrada y salida con sus magnitudes correspondientes cada una.

Mida las impedancias de entrada y de salida con los métodos descritos en la práctica No.2 y compruébelas en forma teórica.

$Z_i_{\text{medida}} = \underline{\hspace{2cm}}$ ;  $Z_o_{\text{medida}} = \underline{\hspace{2cm}}$

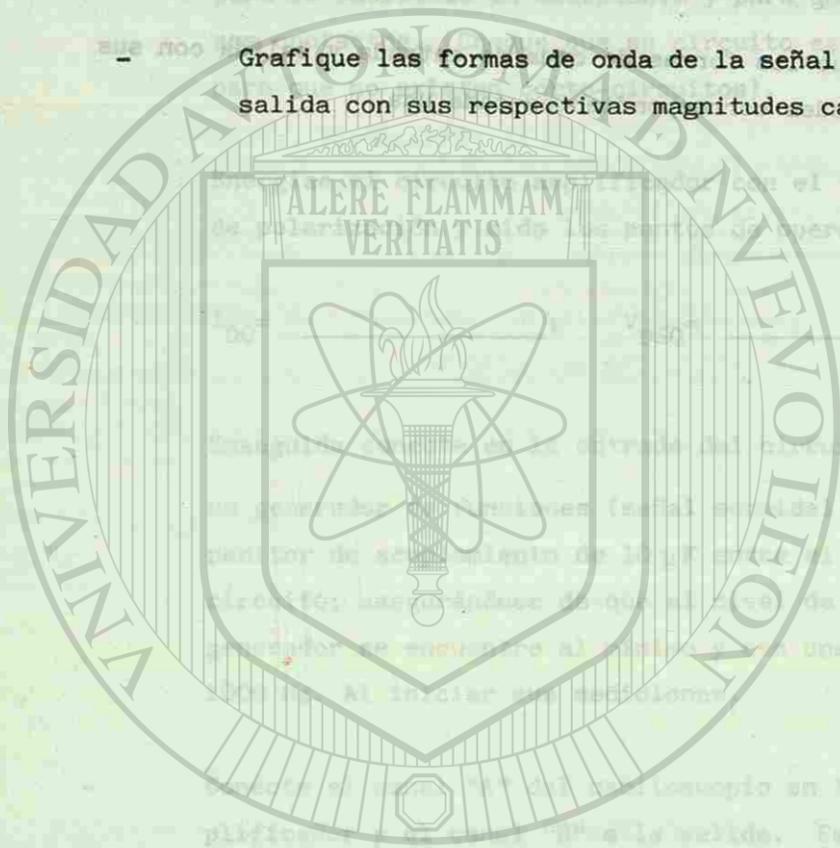
$Z_i_{\text{teórica}} = \underline{\hspace{2cm}}$ ;  $Z_o_{\text{teórica}} = \underline{\hspace{2cm}}$

Ahora al mismo circuito amplificador desconecte el capacitor de desvío (desacoplo) e inicie las mismas mediciones descritas anteriormente:

$V_{o \text{ medido}} = \underline{\hspace{2cm}}$  ;  $V_{i \text{ medido}} = \underline{\hspace{2cm}}$

$A_{v \text{ medida}} = \underline{\hspace{2cm}}$  ;  $A_{v \text{ teórica}} = \underline{\hspace{2cm}}$

- Grafique las formas de onda de la señal de entrada y de salida con sus respectivas magnitudes cada una.



- Mida las impedancias de entrada y de salida con los métodos anteriormente descritos.

$Z_{i \text{ medida}} = \underline{\hspace{2cm}}$  ;  $Z_{o \text{ medida}} = \underline{\hspace{2cm}}$

$Z_{i \text{ teórica}} = \underline{\hspace{2cm}}$  ;  $Z_{o \text{ teórica}} = \underline{\hspace{2cm}}$

EJEMPLO DE DISEÑO: Diseñar un amplificador de fuente-común con una ganancia en voltaje de  $A_v = -6$  y una impedancia de entrada  $Z_i = 1 \text{ M}\Omega$ .

SOLUCION:

Utilizando el transistor ECG247 (F.E.T. canal N), de las curvas características seleccionamos un punto de operación, esto es:

$$V_{DSQ} = + 15 \text{ volts}$$

$$I_{DQ} = + 2 \text{ mA} \quad g_m = 2,100 \mu \text{ mhos.}$$

$$V_{GSQ} = - 3 \text{ volts.}$$

Suponiendo que se tiene un  $V_{DD} = + 25V$ , tenemos la ecuación de la línea de carga de C.D.

$$V_{DD} = I_{DRD} + V_{DSQ} + I_{DRS}$$

$$V_{DD} = I_D (R_D + R_S) + V_{DSQ}$$

$$R_D + R_S = \frac{V_{DD} - V_{DSQ}}{I_{DQ}}$$

$$R_D + R_S = 5 \text{ K}\Omega$$

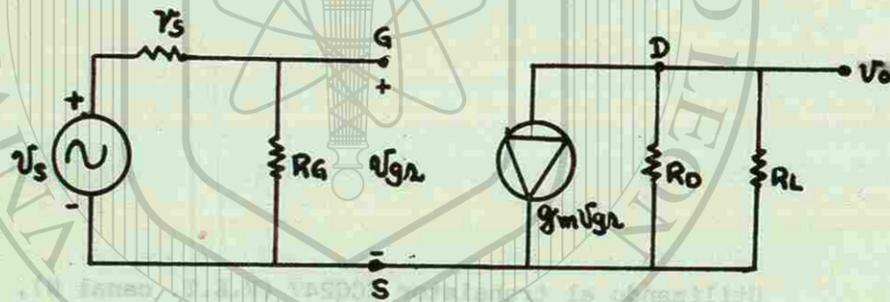
$$V_{GSQ} = -I_{DRS}$$

$$R_S = \frac{V_{GSQ}}{-I_D} = \frac{-3 \text{ V}}{-(+2\text{mA})}$$

$$R_S = 1.5 \text{ K}\Omega \quad R_D = 3.5 \text{ K}\Omega$$

Se selecciona una  $R_G = 1 \text{ M}\Omega$  para cumplir con la condición establecida donde  $Z_i = R_G = 1 \text{ M}\Omega$

Circuito equivalente para señal débil.



$$A_v = -g_m (R_D // R_L) = -6$$

despejando de aquí  $R_L =$

$$R_L = 15 \text{ K}\Omega$$

De los valores obtenidos en los calculos se aproximan lo más posible a los valores estandares comerciales esto, es:

$$R_S = 1.5 \text{ K}\Omega = 1.5 \text{ K}\Omega$$

$$R_D = 3.5 \text{ K}\Omega = 3.3 \text{ K}\Omega$$

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

$$R_L = 15 \text{ K}\Omega = 15 \text{ K}\Omega$$

Con los valores de los elementos que ya se tienen o sea los más aproximados se rediseña el circuito.

PREGUNTAS:

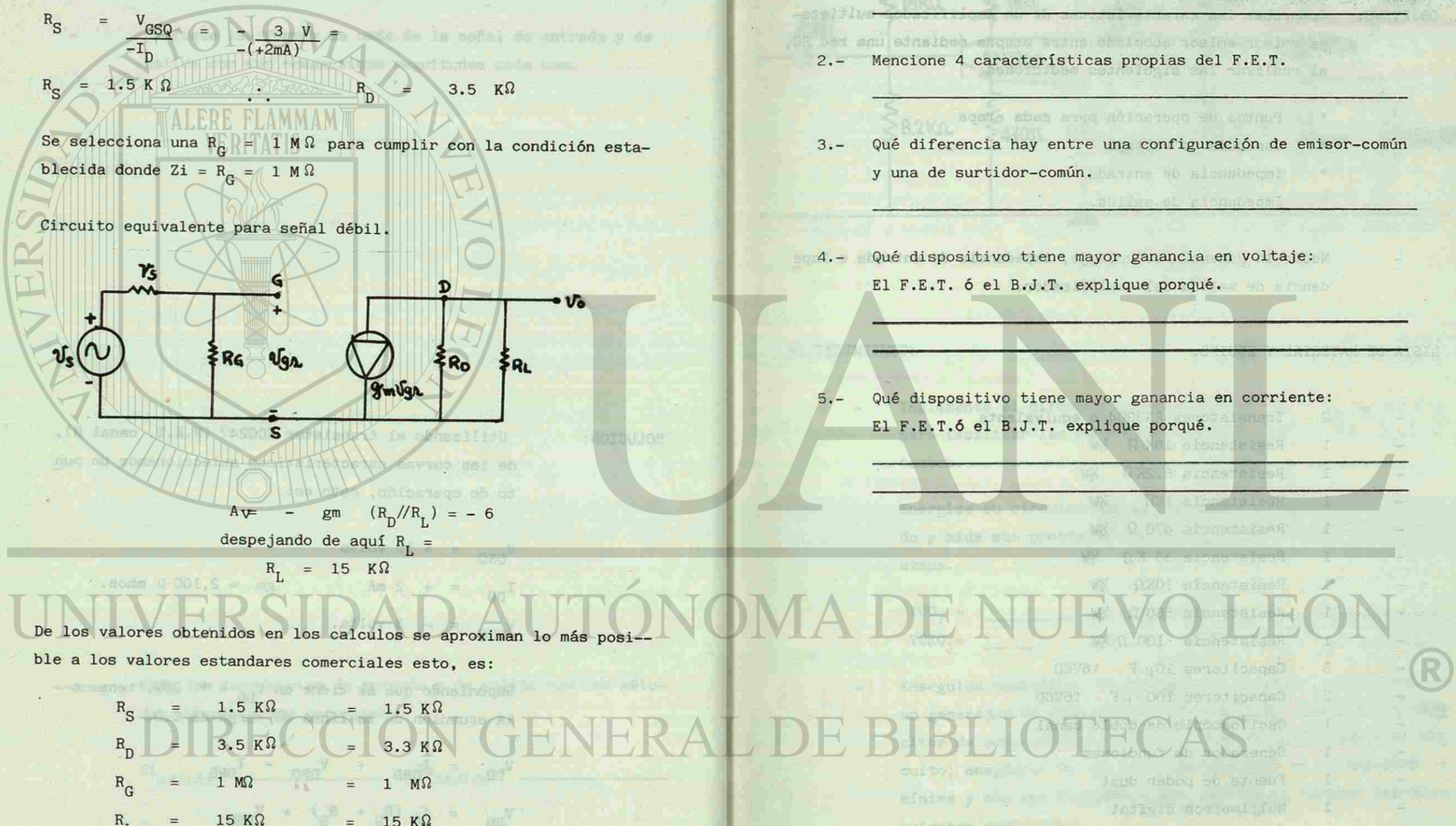
1.- Mencione 3 ventajas del F.E.T. con respecto al B.J.T.

2.- Mencione 4 características propias del F.E.T.

3.- Qué diferencia hay entre una configuración de emisor-común y una de surtidor-común.

4.- Qué dispositivo tiene mayor ganancia en voltaje:  
El F.E.T. ó el B.J.T. explique porqué.

5.- Qué dispositivo tiene mayor ganancia en corriente:  
El F.E.T. ó el B.J.T. explique porqué.



CONFIGURACION EMISOR-EMISOR

OBJETIVO: Comprobar las características de un amplificador multi-etapa emisor-emisor acoplado entre etapas mediante una red RC, al realizar las siguientes mediciones:

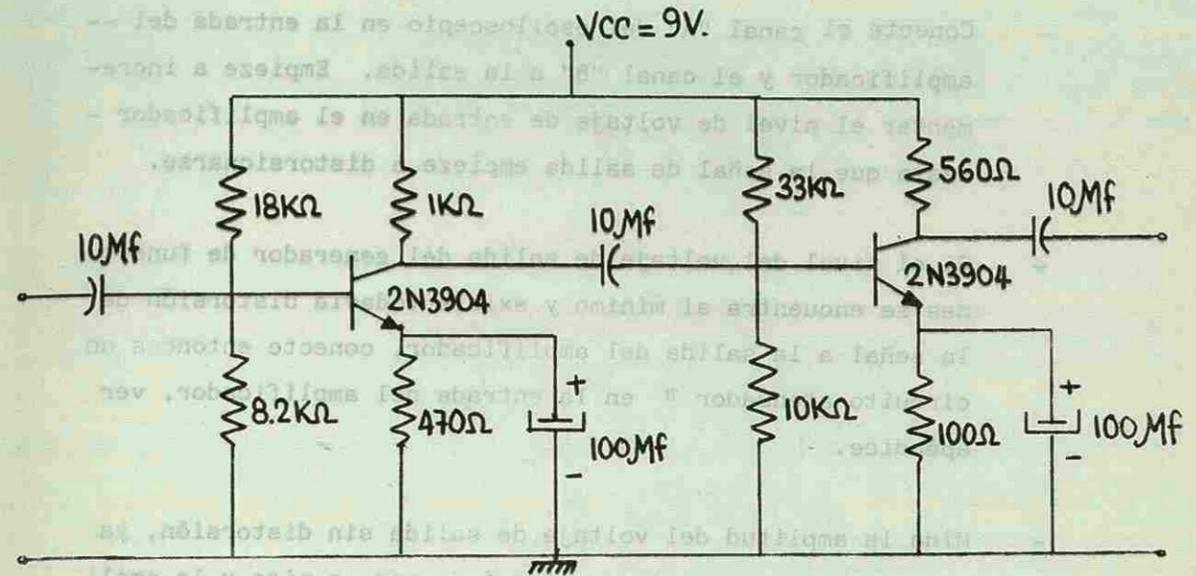
- \* Puntos de operación para cada etapa
- \* Ganancia de voltaje
- \* Impedancia de entrada
- \* Impedancia de salida.

- Medir la ganancia de voltaje, impedancia de entrada e impedancia de salida del amplificador.

LISTA DE MATERIAL Y EQUIPO:

- 2 Transistores 2N3904 o equivalente
- 1 Resistencia 18K  $\Omega$   $\frac{1}{2}W$
- 1 Resistencia 8.2K  $\Omega$   $\frac{1}{2}W$
- 1 Resistencia 1K  $\Omega$   $\frac{1}{2}W$
- 1 Resistencia 470  $\Omega$   $\frac{1}{2}W$
- 1 Resistencia 33 K  $\Omega$   $\frac{1}{2}W$
- 1 Resistencia 10K  $\Omega$   $\frac{1}{2}W$
- 1 Resistencia 560  $\Omega$   $\frac{1}{2}W$
- 1 Resistencia 100  $\Omega$   $\frac{1}{2}W$
- 3 Capacitores 10  $\mu F$  16VCD
- 2 Capacitores 100  $\mu F$  16VCD
- 1 Osciloscopio de doble canal
- 1 Generador de funciones
- 1 Fuente de poder dual
- 1 Multímetros digital

CIRCUITO A IMPLEMENTAR:



PROCEDIMIENTO:

- Implemente el circuito de la figura No. 1, en un protoboard para facilitar las mediciones y que no existan falsos contactos.
- Energice su circuito con el voltaje de polarización adecuado y mida sus puntos de operación respectivos para cada etapa.

$$I_{CQ1} = \underline{\hspace{2cm}}; \quad I_{CQ2} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$V_{CEQ1} = \underline{\hspace{2cm}}; \quad V_{CEQ2} = \underline{\hspace{2cm}}$$

- Enseguida conecte en la entrada del circuito amplificador un generador de funciones (señal senoidal) mediante un capacitor de acoplamiento de 10  $\mu F$  entre el generador y el circuito; asegúrese de que el generador esté en su amplitud mínima y con una frecuencia de 1,000 Hz al iniciar las siguientes mediciones.

- Conecte el canal "A" del osciloscopio en la entrada del -- amplificador y el canal "B" a la salida. Empiece a incrementar el nivel de voltaje de entrada en el amplificador -- hasta que la señal de salida empiece a distorsionarse.

- Si el nivel del voltaje de salida del generador de funciones se encuentra al mínimo y existe todavía distorsión de la señal a la salida del amplificador, conecte entonces un circuito atenuador  $\pi$  en la entrada del amplificador, ver apéndice.

- Mida la amplitud del voltaje de salida sin distorsión, ya sea que lo haga de pico a pico ó de cero a pico y la amplitud del voltaje de entrada, con estas dos mediciones haga la relación  $V_o/V_i$  y encuentre la ganancia de voltaje ( $A_v$ ); verifique esta ganancia en forma teórica.

$V_o$  (medido) = \_\_\_\_\_ ;  $V_i$  medido = \_\_\_\_\_

$A_v$  (medida) = \_\_\_\_\_ ;  $A_v$  (teórica) = \_\_\_\_\_

- Mida la ganancia de voltaje de cada etapa y observe su desfaseamiento (si es que existe), para esto, desconecte la segunda etapa y conecte el generador de funciones en la entrada de ésta, siguiendo el procedimiento anteriormente -- descrito.

$V_o$  medido = \_\_\_\_\_ ;  $V_i$  medido = \_\_\_\_\_

$A_{vt_2}$  = \_\_\_\_\_ ;  $A_{vt_2}$ (teórica) = \_\_\_\_\_

De las curvas características del transistor se obtiene un punto de operación, el cual se muestra en la figura 2. Se trabaja en la figura No. 2.

Ya se eligió el punto de operación en el punto No. 1,  $V_{ce} = 1.5V$  y el voltaje  $V_{be}$  (entre el emisor y la base)  $V_{be} = 1.5$  voltos.

De la tabla de características de la figura No. 2 se obtiene  $\beta_{DC} = 100$  y  $I_{CQ} = 10$  mA.

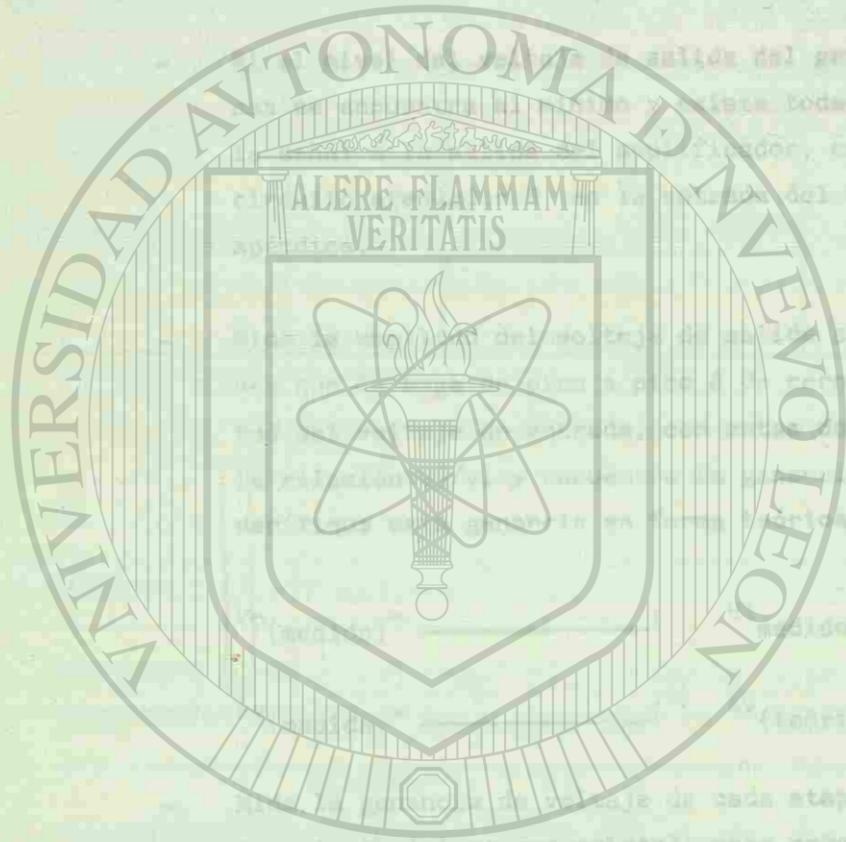
El valor de  $R_{B1}$  se obtiene de la ecuación  $R_{B1} = \frac{V_{cc} - V_{be}}{I_{BQ}}$  donde  $I_{BQ} = \frac{I_{CQ}}{\beta_{DC}}$

- Ahora mida la ganancia de la primera etapa, para esto coloque como carga, la impedancia de entrada de la segunda etapa, ver figura No. 2.

$V_o$  medido = \_\_\_\_\_ ;  $V_i$  medido = \_\_\_\_\_

$A_{vt_1}$  = \_\_\_\_\_ ;  $A_{vt_1}$ (teórica) = \_\_\_\_\_

- Grafique las formas de onda de entrada y de salida con sus magnitudes correspondientes cada una de ellas, tanto para cada etapa como para la total.



- Mida las impedancias de entrada y salida con los métodos descritos en la práctica No.2 y compruébelas en forma teórica.

$Z_{i\text{ medida}} = \underline{\hspace{2cm}}$ ;  $Z_{o\text{ medida}} = \underline{\hspace{2cm}}$

$Z_{i\text{ teórica}} = \underline{\hspace{2cm}}$ ;  $Z_{o\text{ teórica}} = \underline{\hspace{2cm}}$

**EJEMPLO DE DISEÑO:**

Datos de diseño:  $V_{CC} = 20\text{ v}$

$A_v = 2350$

$r_s = 600\ \Omega$

y se tienen las características máximas del transistor a utilizar 2N3904.

De las curvas características del transistor escogemos un punto de operación, el cual lo fijamos para asegurar que este está trabajando en la región lineal.

Se trabaja en la etapa No. 2.

Ya escogido el punto de operación, en nuestro caso  $I_{CQ2} = 2.5\text{mA}$  y el voltaje  $V_{BB}$  (típicamente entre 1 y 2 volts)  $V_{BB} = 1.5\text{ volts}$ .

De la malla de entrada de la segunda etapa tenemos:

$$I_{E2} = \frac{V_{BB2} - V_{BE}}{R_B + R_{E2}} \quad \text{donde } R_{B2} = \frac{hfe_2 R_{E2}}{10}$$

$hfe = 180$

$$\therefore I_{E2} = \frac{V_{BB2} - V_{BE}}{10(hfe_2 + 1) R_{E2}} \quad \text{lo cual } R_{E2} = 291\ \Omega$$

y:  $R_{B2} = 5.23\ \text{K}\Omega$

Por lo tanto se encuentran los valores de  $R_{E2}$  y  $R_{B2}$ .

y como:  $R_1 = \frac{R_b}{1 - \frac{V_{BB}}{V_{CC}}} = \frac{5.23}{1 - \frac{1.5\text{v}}{20}} = 5.65\ \text{K}\Omega$

$$R_2 = R_b \frac{V_{CC}}{V_{BB}} = \frac{5.23 (20)}{1.5\text{v}} = 69.73\ \text{K}\Omega$$

De las mismas curvas características establecemos:

$V_{CEQ} = 10\text{V}$ . y obtenemos de la malla de salida de la etapa No. 2:

$$V_{CC} = I_{C2} R_{C2} + V_{CEQ2} + I_{C2} R_{E2} \quad I_C \approx I_E$$

$$V_{CC} = I_{C2} (R_{C2} + R_{E2}) + V_{CEQ2}$$

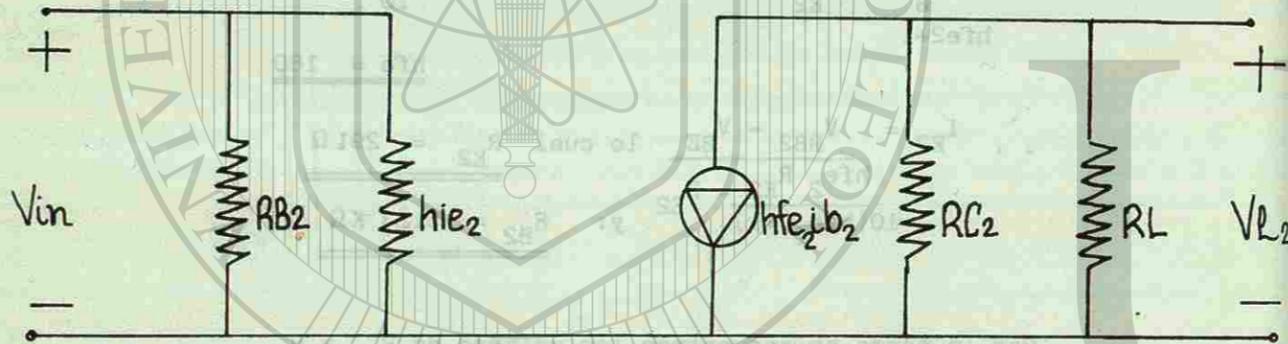
$$R_{C2} = \frac{V_{CC} - V_{CEQ2}}{I_{C2}} - R_{E2}$$

$$R_{C2} = \frac{20V - 10V}{2.5 \times 10^{-3}} - .291 \times 10^3$$

$$R_{C2} = 3.7 \text{ K}\Omega$$

Análisis de pequeña señal para la etapa No.2.

Circuito equivalente de C.A. para señal débil, etapa No.2.



Suponemos  $A_{V2} = 100$

$$A_{VT2} = \frac{V_L}{V_{in}} = \frac{V_{L2}}{i_{b2}} \cdot \frac{i_{b2}}{V_{in}}$$

$$V_{L2} = i_L R_L$$

$$i_L = - \frac{1}{R_{C2}} \frac{R_{C2}}{R_{C2} + R_L}$$

$$i_L = \frac{hfe_2 i_{b2} R_{C2}}{R_{C2} + R_L}$$

$$V_{L2} = - \frac{hfe_2 i_{b2} R_{C2} R_L}{R_{C2} + R_L}$$

$$i_{b2} = \frac{V_{in}}{hie_2}$$

$$\frac{V_{L2}}{i_{b2}} = - hfe_2 (R_{C2} // R_L)$$

$$i_{b2} = \frac{1}{V_{in}} \frac{1}{hie_2}$$

$$A_{VT2} = \frac{- hfe_2 (R_{C2} // R_L)}{hie_2} = -100$$

$$hie_2 = \frac{V_T hfe}{I_{EQ2}} = \frac{(1)(25 \times 10^{-3})(180)}{2.510^{-3}}$$

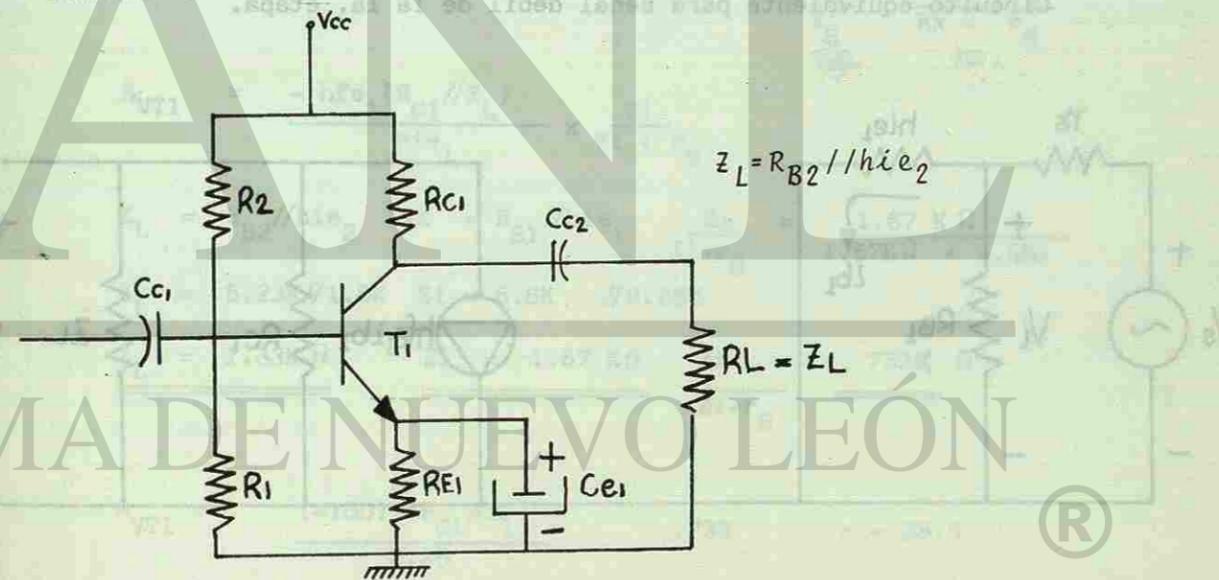
$$hie_2 = 1,800 \Omega$$

Despejando el valor de  $R_L = 1.37 \text{ K}\Omega$

Se comprueba la ganancia de voltaje supuesta que es de 100 de la segunda etapa con el valor obtenido de  $R_L$ .

ETAPA No. 1.

Análisis de C.D. de la 1a. Etapa.



Se escoge de nuevo un punto de operación para el transistor No.1 de las curvas características, este se escoge un poco más abajo que el de la etapa No. 2, esto es:

$$I_{CQ1} = 2\text{mA.}$$

Se vuelve a calcular el valor de  $R_{E1} : V_{BB1} = 1.5V.$

$$I_{EQ1} = \frac{V_{BB1} - V_{BE}}{hfe_1 R_{E1} + R_{E1}} \quad \text{donde } R_{B1} = \frac{hfe_1 R_{E1}}{10}$$

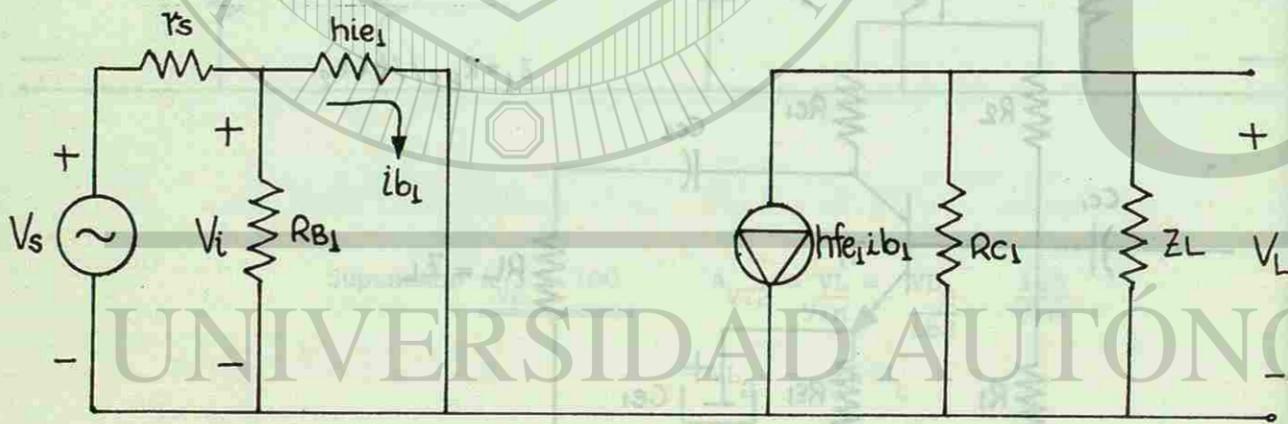
$R_{E1} = 366$  y por lo tanto  $R_{B1} = 6.6 \text{ K}\Omega$

Como:  $R_1 = \frac{R_b}{1 - \frac{V_{BB}}{V_{CC}}}$  y  $R_2 = \frac{R_b V_{CC}}{V_{BB}}$

$R_1 = 7.14 \text{ K}\Omega$        $R_2 = 88.07 \text{ K}\Omega$

Análisis de Pequeña Señal de la 1a. Etapa.

Circuito equivalente para señal débil de la 1a. etapa.



$A_{VT1} = -23.5$

Se tomó este valor debido  $hie_1 = \frac{V_T}{I_{EQ1}} hfe_1 =$   
a que se ha supuesto la  $A_{VT2} = -100$

por lo tanto la ganancia total,  $nie_1 = \frac{(1)(25 \times 10^{-3})(180)}{2 \times 10^{-3}} =$

del circuito amplificador es el producto de  $A_{VT} = A_{VT1} = A_{VT2}$  ;

$hie_1 = 2,250$

siempre y cuando la impedancia de entrada de la segunda etapa no cargue a la primera etapa.

$$A_{VT1} = \frac{V_{L1}}{V_S} = \frac{V_{L1}}{i_{b1}} \times \frac{i_{b1}}{V_i} \times \frac{V_i}{V_S}$$

$i_{b1} = \frac{V_i}{hie_1}$        $R_x = (R_{B1} // hie_1) = Z_i$

$$V_{L1} = -hfe_1 i_{b1} (R_{C1} // Z_L)$$

$$\frac{V_{L1}}{i_{b1}} = -hfe_1 (R_{C1} // Z_L)$$

$\frac{i_{b1}}{V_i} = \frac{1}{hie_1}$        $V_i = \frac{V_S R_x}{R_x + r_S}$

$\frac{V_i}{V_S} = \frac{R_x}{R_x + r_S}$

$$A_{VT1} = \frac{-hfe_1 (R_{C1} // Z_L)}{hie_1} \times \frac{Z_i}{Z_i + r_S}$$

$Z_L = R_{B2} // hie_2$        $Z_i = R_{B1} // hie_1$        $\frac{Z_i}{Z_i + r_S} = \frac{1.67 \text{ K}\Omega}{1.67 \text{ K}\Omega + .6 \text{ K}\Omega}$

$Z_L = 5.23 \text{ K}\Omega // 1.8 \text{ K}\Omega$        $Z_i = 6.6 \text{ K}\Omega // 2.25 \text{ K}\Omega$

$Z_L = 1.33 \text{ K}\Omega$        $Z_i = 1.67 \text{ K}\Omega$        $\frac{Z_i}{Z_i + r_S} = .733 \text{ K}\Omega$

$$A_{VT1} = \frac{(-180) (R_{C1} // Z_L)}{2.25} \cdot .733 = -23.5$$

De aquí se despeja  $R_{C1} = .572 \text{ K}\Omega$

Se comprueba en forma total la ganancia de voltaje de amplificador y se obtiene  $A_{VT} = A_{VT1} \times A_{VT2} = (-23.5)(-100) = 2,350$

$$A_{VT} = \frac{V_{L2}}{V_S} = \frac{V_{L2}}{i_{b2}} \times \frac{i_{b2}}{i_{b1}} \times \frac{i_{b1}}{V_i} \times \frac{V_i}{V_S}$$

$$V_{L2} = -180 i_{b2} (R_{C2} // R_L) \quad i_{b2} = \frac{-180 i_{b1} (.515)}{.515 + 1.8}$$

$$\frac{V_{L2}}{i_{b2}} = \frac{(-180) (R_{C2} // R_L)}{i_{b2}}$$

$$R_x = .572K // 5.23K \Omega$$

$$R_x = .515 K \Omega$$

$$\frac{i_{b2}}{i_{b1}} = \frac{(1-180)(.515)}{.515 + 1.8}$$

$$i_{b1} = \frac{v_i}{2.25K \Omega} \quad R_Y = 6.6K // 2.25K \Omega$$

$$R_Y = 1.67 K \Omega$$

$$V_i = \frac{V_S R_Y}{R_Y + r_S}$$

$$\frac{i_{b1}}{V_i} = \frac{1}{2.25K \Omega}$$

$$\frac{V_i}{V_S} = \frac{R_Y}{R_Y + r_S}$$

$$A_{VT} = \frac{(-180)(3.7 // 1.37) (1-180)(.515)}{.515+1.8} \times \frac{1}{2.25} \times \frac{1.67}{1.67+.6}$$

$$A_{VT} = 2,353$$

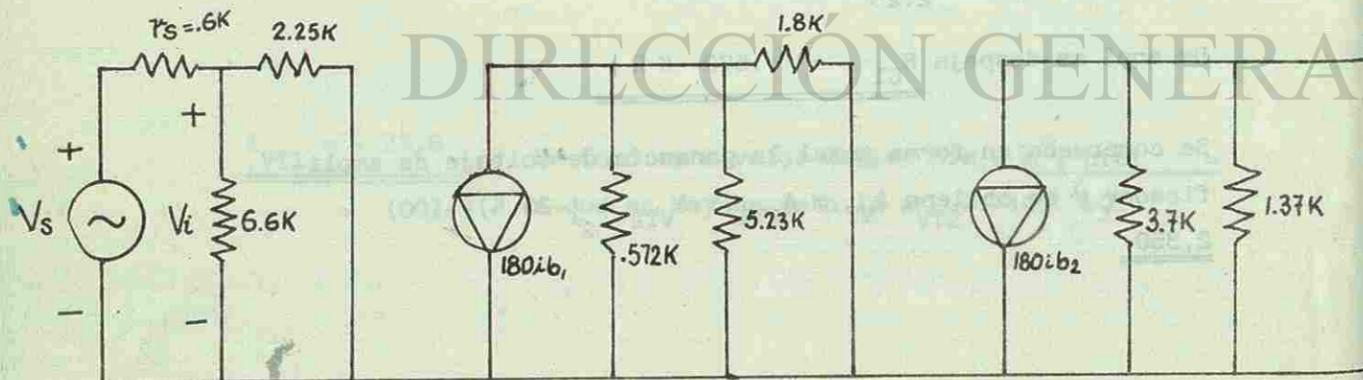
$$Z_i = 6.6K // 2.25$$

$$Z_o = R_{C2}$$

$$Z_i \text{ amp.} = 1.67 K \Omega$$

$$Z_o = 3.7 K \Omega$$

CIRCUITO EQUIVALENTE COMPLETO CON LAS 2 ETAPAS:



PREGUNTAS:

1.- Cuántos tipos de acoplamientos existen entre etapas?

---



---

2.- Qué ventaja o desventaja presenta este tipo de amplificador emisor-emisor con respecto al emisor-colector.

---



---

3.- Para que se acoplan 2,3, o más etapas para formar un amplificador?.

---



---

4.- Qué sucede con la ganancia de voltaje cuando se desconectan los condensadores de desacoplo que hay en el emisor de cada etapa.

---



---

5.- En qué circuitos es conveniente utilizar este tipo de acoplamiento.

---



---

6.- Calcule la ganancia de corriente total del amplificador.

---



---



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

PRACTICA No. 6

CONFIGURACION EMISOR-COLECTOR

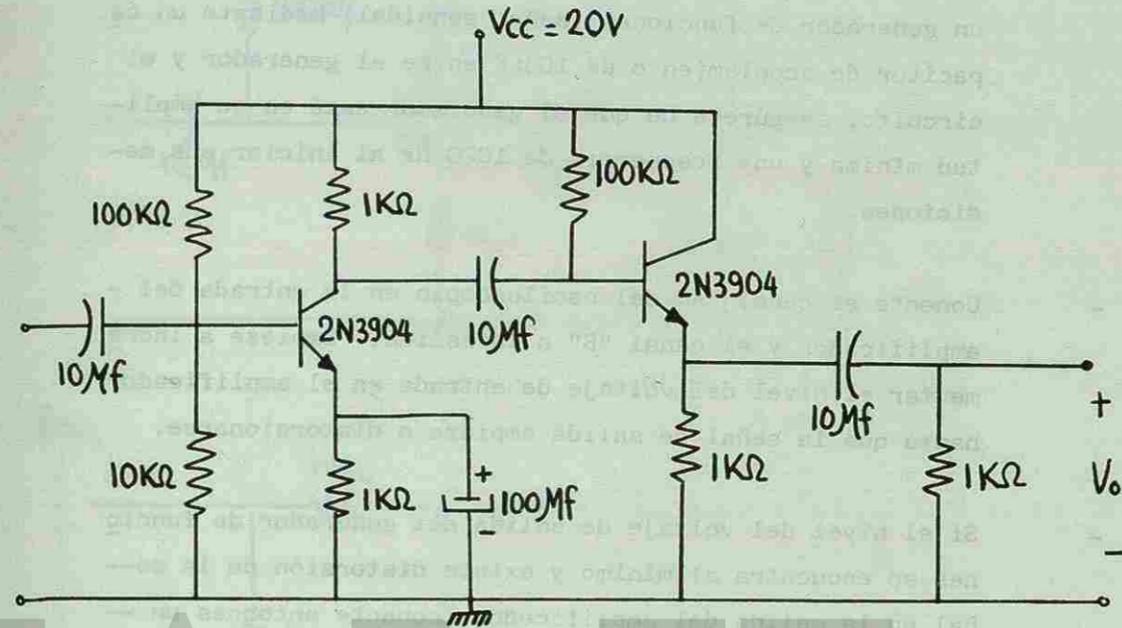
OBJETIVO: Comprobar las características de un amplificador multieta pa acoplado en forma indirecta; esto es, mediante acoplamiento RC mediante las siguientes mediciones:

- \* Puntos de operación para cada etapa
- \* Ganancia de voltaje
- \* Impedancia de entrada
- \* Impedancia de salida
- Medir la ganancia de voltaje, impedancia de entrada e impedancia de salida del amplificador.
- Observar ventajas y desventajas con respecto a otras configuraciones y sus aplicaciones.

LISTA DE MATERIAL Y EQUIPO:

- 2 Transistores 2N3904 o equivalente
- 4 Resistencias  $1K\Omega$   $\frac{1}{2}W$ .
- 1 Resistencia  $10K\Omega$   $\frac{1}{2}W$ .
- 2 Resistencias  $100K\Omega$   $\frac{1}{2}W$
- 3 Capacitores  $10\mu F$  16VCD
- 1 Capacitor  $100\mu F$  16VCD
- 1 Osciloscopio de doble canal
- 1 Generador de funciones
- 1 Fuente de Poder Dual
- 1 Multímetro digital

CIRCUITO A IMPLEMENTAR:



PROCEDIMIENTO:

- Implemente el circuito de la figura No. 1 en un protoboard para facilitar las mediciones y que no existan falsos contactos ni cortos circuitos.
- Energize su circuito con el voltaje de polarización adecuado y mida sus puntos de operación respectivos para cada etapa.

$I_{CQ1} = \underline{\hspace{2cm}}$ ;  $I_{CQ2} = \underline{\hspace{2cm}}$   
 $V_{CEQ1} = \underline{\hspace{2cm}}$ ;  $V_{CEQ2} = \underline{\hspace{2cm}}$

- Enseguida conecte en la entrada del circuito amplificador un generador de funciones (señal senoidal) mediante un capacitor de acoplamiento de  $10\mu\text{F}$  entre el generador y el circuito; asegúrese de que el generador esté en su amplitud mínima y una frecuencia de 1000 Hz al iniciar sus mediciones.

- Conecte el canal "A" del osciloscopio en la entrada del amplificador y el canal "B" a la salida. Empiece a incrementar el nivel del voltaje de entrada en el amplificador hasta que la señal de salida empiece a distorsionarse.

- Si el nivel del voltaje de salida del generador de funciones se encuentra al mínimo y existe distorsión de la señal en la salida del amplificador, conecte entonces un circuito atenuador  $\pi$  en la entrada del amplificador, ver apéndice.

- Mida la amplitud del voltaje de salida sin distorsión ya sea que lo haga de pico a pico o de cero a pico y la amplitud del voltaje de entrada, con estas dos mediciones haga la relación  $V_o/V_i$  y encuentre la ganancia de voltaje ( $A_v$ ); verifique esta ganancia en forma teórica.

$V_o(\text{medido}) = \underline{\hspace{2cm}}$ ;  $V_i(\text{medido}) = \underline{\hspace{2cm}}$   
 $A_{v \text{ medida}} = \underline{\hspace{2cm}}$ ;  $A_{v \text{ (teórica)}} = \underline{\hspace{2cm}}$

- Mida la ganancia de voltaje de cada etapa y observe su desfase (si es que existe), para esto, desconecte la segunda etapa y conecte el generador de funciones en la entrada de ésta siguiendo el procedimiento anteriormente descrito.

$V_o(\text{medido}) = \underline{\hspace{2cm}}$ ;  $V_i(\text{medido}) = \underline{\hspace{2cm}}$   
 $A_{v_{t2}} = \underline{\hspace{2cm}}$ ;  $A_{v_{t2} \text{ (teórica)}} = \underline{\hspace{2cm}}$

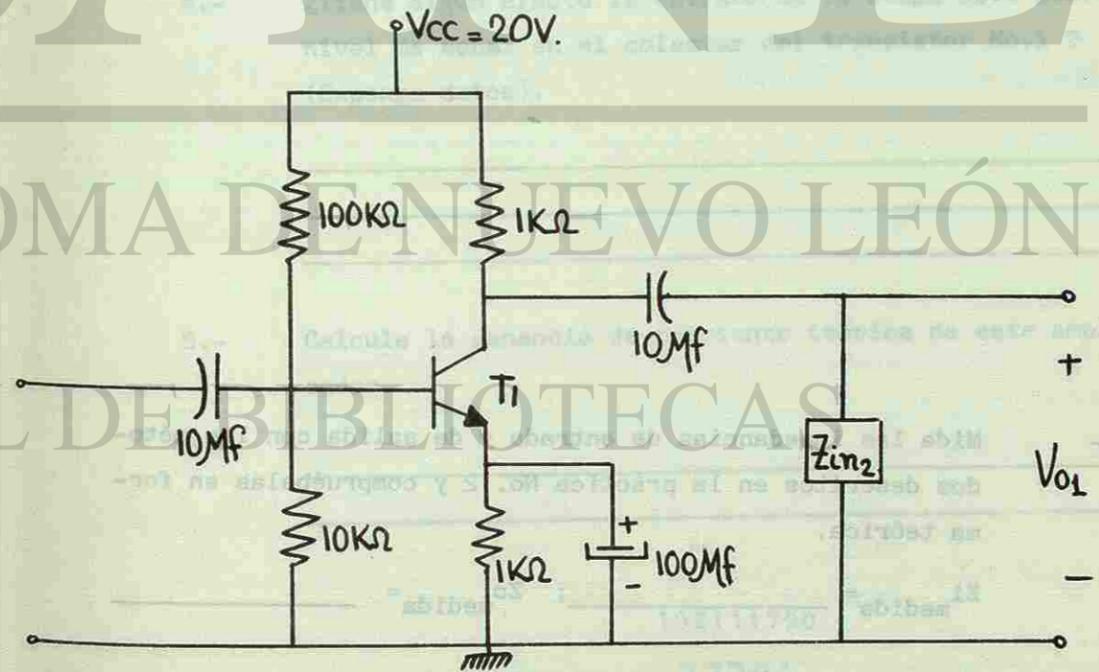
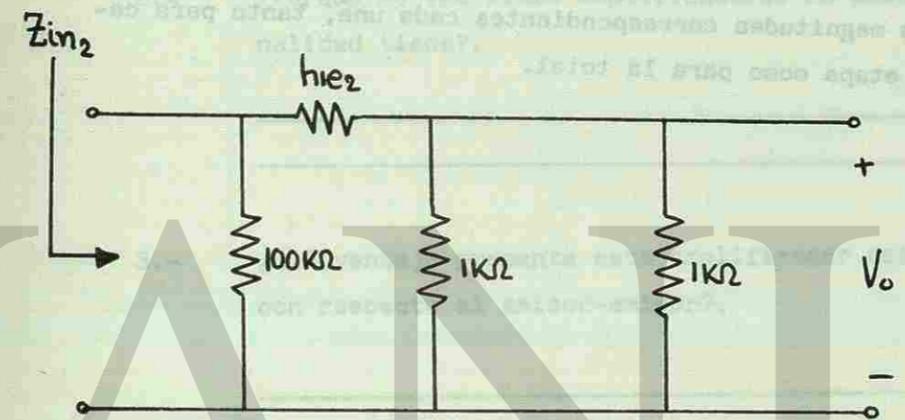
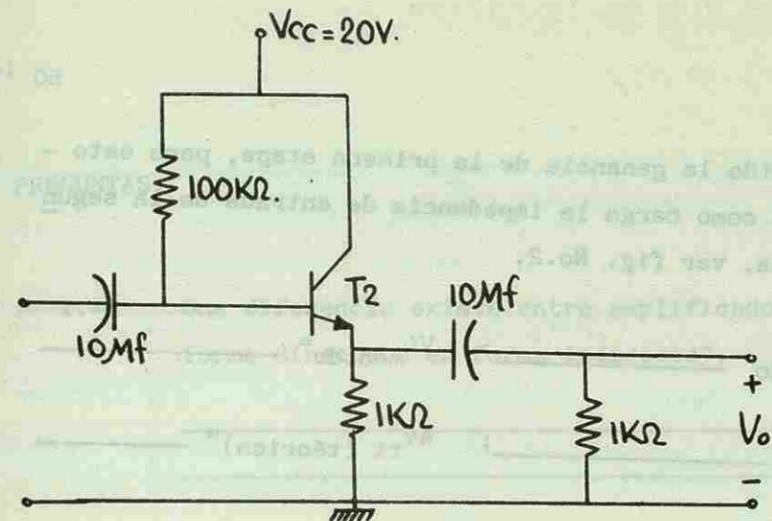


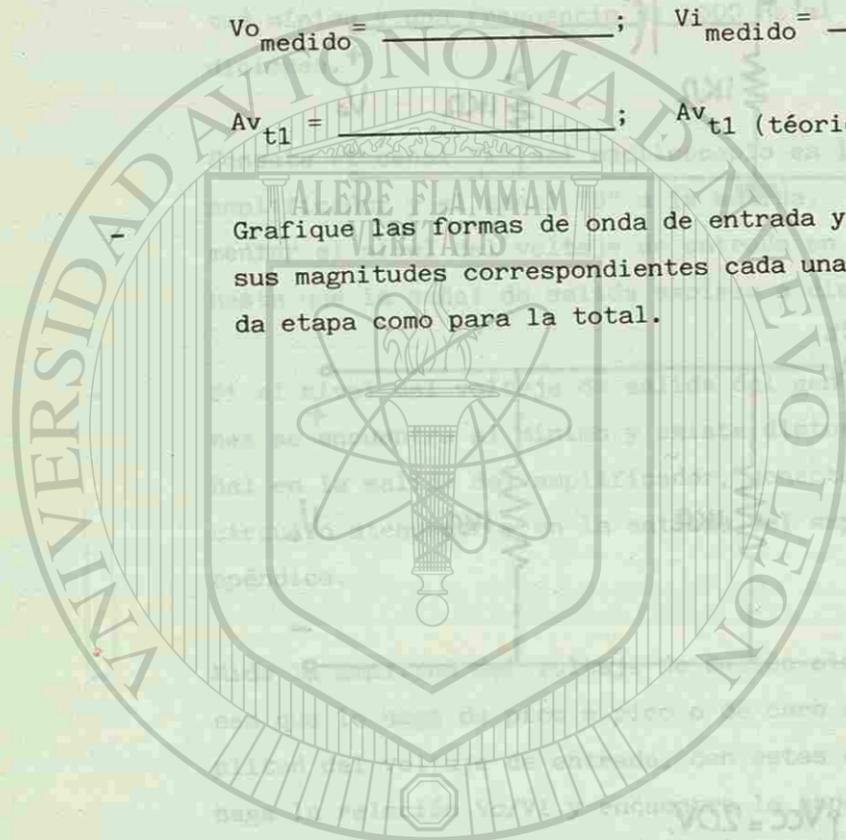
FIGURA No. 2

Ahora mida la ganancia de la primera etapa, para esto -  
coloque como carga la impedancia de entrada de la segun-  
da etapa, ver fig. No.2.

$V_o$  medido = \_\_\_\_\_ ;  $V_i$  medido = \_\_\_\_\_

$A_{v_{t1}}$  = \_\_\_\_\_ ;  $A_{v_{t1}}$  (teórica) = \_\_\_\_\_

Grafique las formas de onda de entrada y de salida con -  
sus magnitudes correspondientes cada una, tanto para ca-  
da etapa como para la total.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Mida las impedancias de entrada y de salida con los méto-  
dos descritos en la práctica No. 2 y compruébelas en for-  
ma teórica.

$Z_i$  medida = \_\_\_\_\_ ;  $Z_o$  medida = \_\_\_\_\_

$Z_i$  teórica = \_\_\_\_\_ ;  $Z_o$  teórica = \_\_\_\_\_

PREGUNTAS:

1.- Que diferencia existe entre amplificadores acoplados en  
forma directa o en forma indirecta?.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

2.- ¿Porqué se les llama amplificadores en cascada y que fi-  
nalidad tiene?.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

3.- ¿Qué ventaja presenta este amplificador emisor-colector  
con respecto al emisor-emisor?.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

4.- ¿Tiene algún efecto la entrada de la etapa No.2 sobre el  
nivel de señal en el colector del transistor No.1 ?

(Exponga datos).

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

5.- Calcule la ganancia de corriente teórica de este amplifi-  
cador.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

102111790

37704

CONFIGURACION DARLINGTON.

OBJETIVO: Comprobar las características de un amplificador multietapa acoplado en forma directa, realizando las siguientes mediciones:

- \* Puntos de operación de cada etapa
- \* Ganancia de voltaje
- \* Impedancia de entrada
- \* Impedancia de salida

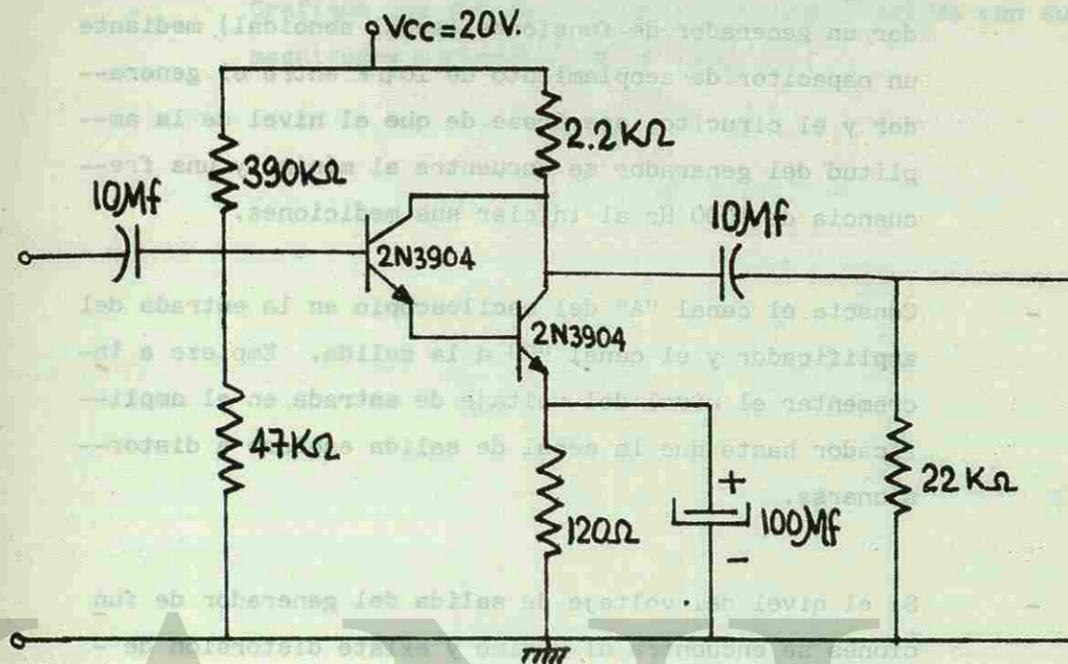
- Medir la ganancia de voltaje, impedancia de entrada e impedancia de salida de este amplificador.

- Qué ventajas o desventajas se obtiene al trabajar con este tipo de amplificador, sus aplicaciones.

LISTA DE MATERIAL Y EQUIPO:

- 2 Transistores 2N3904 o equivalente
- 1 Resistencia  $120\Omega$   $\frac{1}{2}W$
- 1 Resistencia  $2.2K\Omega$   $\frac{1}{2}W$
- 1 Resistencia  $22K\Omega$   $\frac{1}{2}W$
- 1 Resistencia  $47K\Omega$   $\frac{1}{2}W$
- 1 Resistencia  $390K\Omega$   $\frac{1}{2}W$
- 2 Capacitores  $10\mu F$  16VCD
- 1 Capacitor  $100\mu F$  16VCD
- 1 Osciloscopio de doble canal
- 1 Generador de funciones
- 1 Multímetro digital
- 1 Fuente de poder dual

CIRCUITO A IMPLEMENTAR:



PROCEDIMIENTO:

Implemente el circuito de la figura No.1 en un protoboard para la facilidad en mediciones. Energize el circuito -- con el voltaje correcto de polarización y mida los puntos de operación respectivos para cada etapa.

$I_{CQ2} =$  \_\_\_\_\_ ;  $V_{CEQ2} =$  \_\_\_\_\_

$V_{CEQ1} =$  \_\_\_\_\_ ;  $V_{CBQ2} =$  \_\_\_\_\_

- Enseguida conecte en la entrada del circuito amplificador un generador de funciones (señal senoidal) mediante un capacitor de acoplamiento de  $10\mu F$  entre el generador y el circuito; asegúrese de que el nivel de la amplitud del generador se encuentre al mínimo y una frecuencia de 1000 Hz al iniciar sus mediciones.

- Conecte el canal "A" del osciloscopio en la entrada del amplificador y el canal "B" a la salida. Empiece a incrementar el nivel del voltaje de entrada en el amplificador hasta que la señal de salida empiece a distorsionarse.

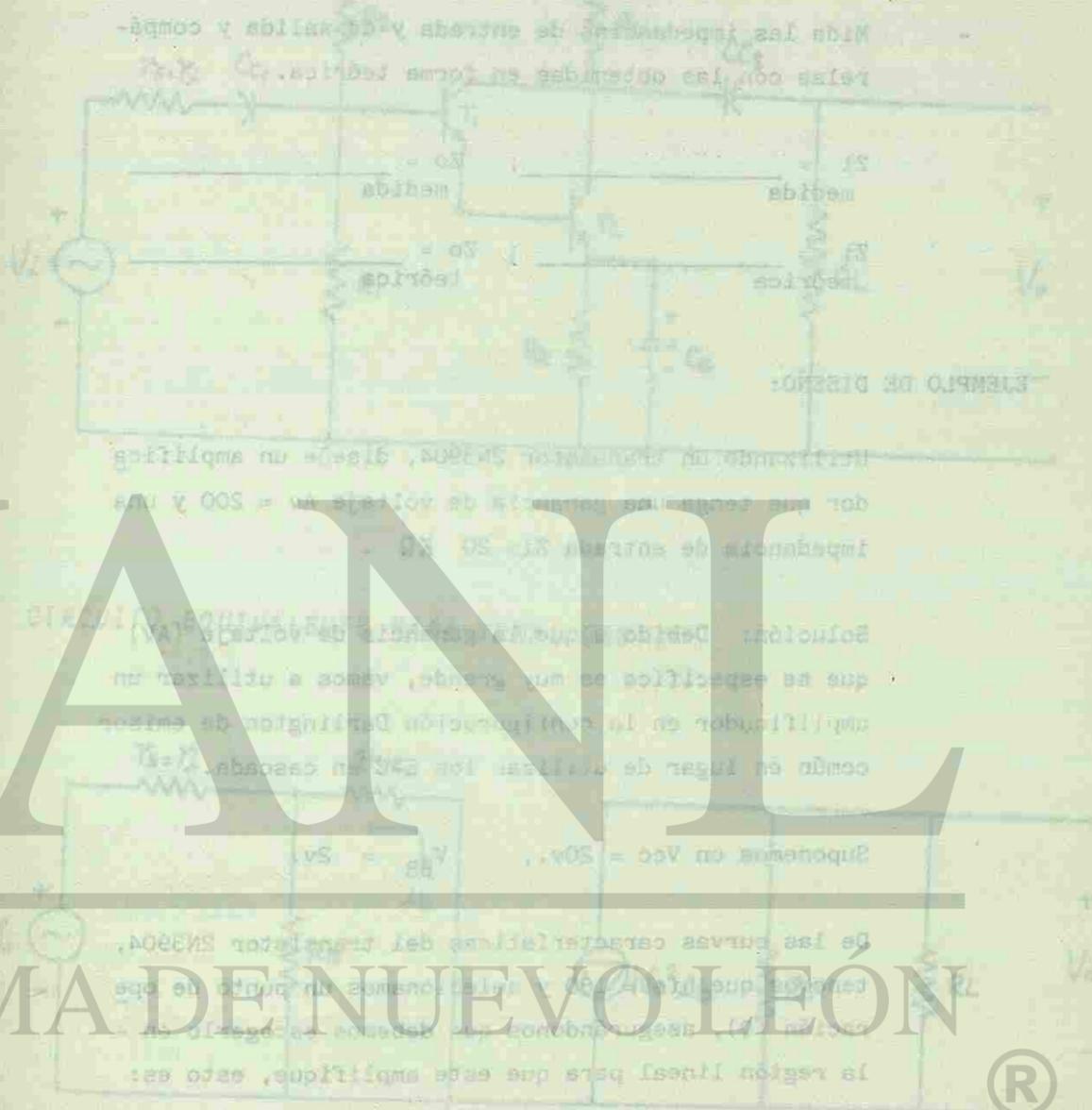
- Si el nivel del voltaje de salida del generador de funciones se encuentra al mínimo y existe distorsión de la señal en la salida del amplificador, conecte entonces un circuito atenuador  $\pi$ , en la entrada del amplificador (ver apéndice).

- Mida la amplitud del voltaje de salida sin distorsión ya sea que lo haga de pico a pico ó de cero a pico y la amplitud del voltaje de entrada, con estas dos mediciones haga la relación  $V_o/V_i$  y encuentre la ganancia de voltaje ( $A_v$ ), verifique esta ganancia en forma teórica.

$V_{o\text{ medido}} = \underline{\hspace{2cm}}$ ;  $V_{i\text{ medido}} = \underline{\hspace{2cm}}$

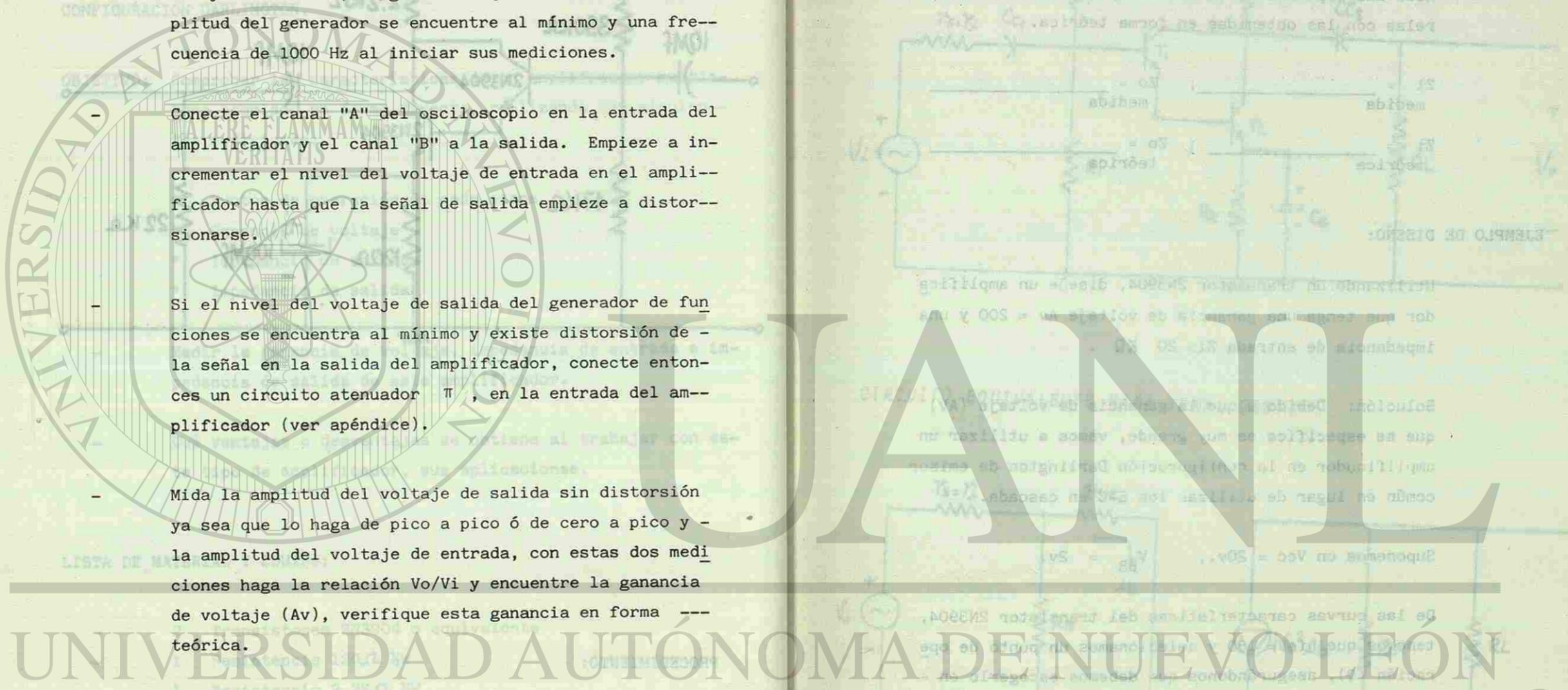
$A_{v\text{ medida}} = \underline{\hspace{2cm}}$ ;  $A_{v\text{ (teórica)}} = \underline{\hspace{2cm}}$

- Grafique las formas de onda de entrada y salida con sus magnitudes correspondientes cada una.



$$V_{BB} = \frac{V_{BE}}{R_E} = \frac{V_{BE}}{10}$$

$$V_{BB} = \frac{V_{BE}}{R_E} + V_{BE}$$



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Observe si existe desfaseamiento de la señal de salida con respecto a la señal de entrada.

- Mida las impedancias de entrada y de salida y compárelas con las obtenidas en forma teórica.

$Z_i = \text{medida}$ ;  $Z_o = \text{medida}$

$Z_i = \text{teórica}$ ;  $Z_o = \text{teórica}$

EJEMPLO DE DISEÑO:

Utilizando un transistor 2N3904, diseñe un amplificador que tenga una ganancia de voltaje  $A_v = 200$  y una impedancia de entrada  $Z_i > 20 \text{ K}\Omega$ .

Solución: Debido a que la ganancia de voltaje ( $A_v$ ) que se especifica es muy grande, vamos a utilizar un amplificador en la configuración Darlington de emisor común en lugar de utilizar los E-C en cascada.

Suponemos un  $V_{cc} = 20\text{v.}$ ,  $V_{BB} = 2\text{v.}$

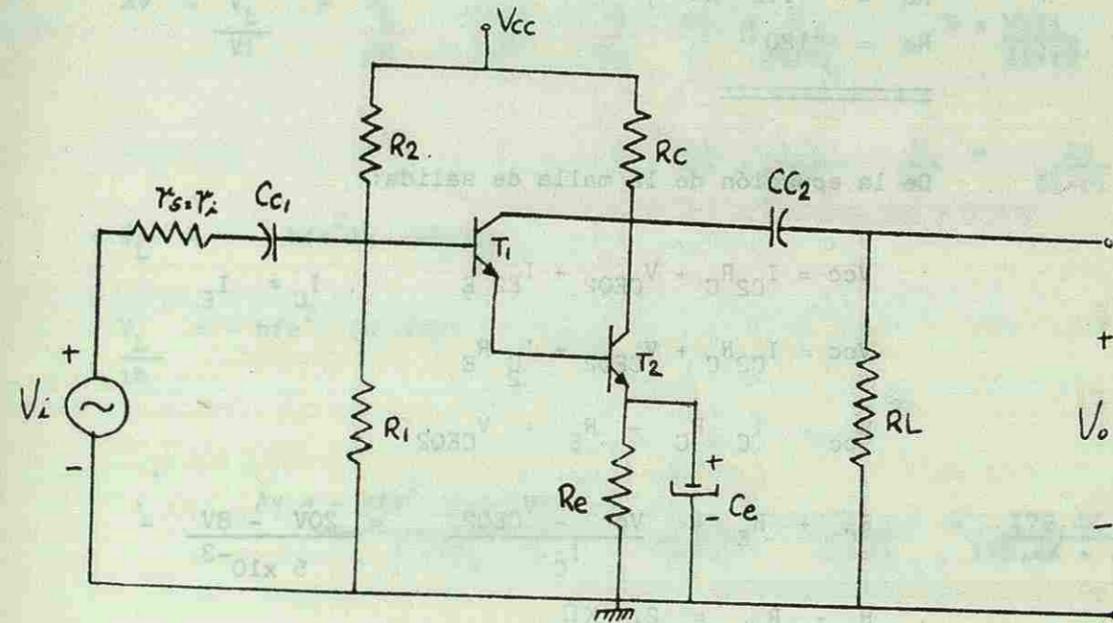
De las curvas características del transistor 2N3904, tenemos que  $h_{fe} = 180$  y seleccionamos un punto de operación (Q), asegurándonos que debemos escogerlo en la región lineal para que este amplifique, esto es:

$I_{CQ2} = 5\text{mA}$   
 $V_{CEQ2} = 8\text{ volts}$

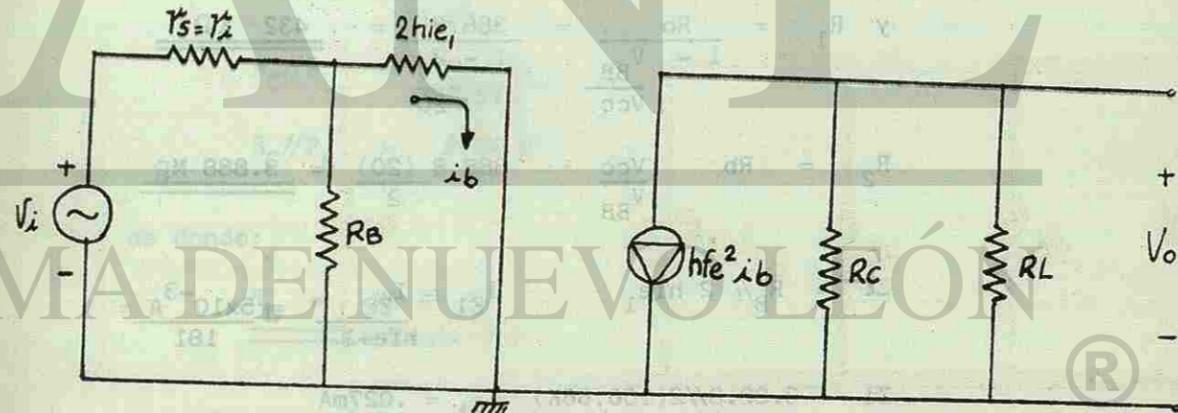
La ecuación de malla de entrada:

$$I_{E2} = \frac{V_{BB} - 2V_{BE}}{\frac{R_b}{(h_{fe}+1)^2} + R_E}$$
 donde:  $R_b = \frac{h_{fe}^2 R_e}{10}$

ANÁLISIS DE PEQUEÑA SEÑAL:



CIRCUITO EQUIVALENTE PARA SENAL DEBIL:



$$R_e = .12 \text{ K}\Omega ;$$

$$R_e = 120 \Omega$$

De la ecuación de la malla de salida:

$$V_{cc} = I_C R_C + V_{CEQ2} + I_E R_E \quad I_C \approx I_E$$

$$V_{cc} = I_C R_C + V_{CEQ2} + I_C R_E$$

$$V_{cc} = I_C R_C + R_E + V_{CEQ2}$$

$$R_C + R_E = \frac{V_{cc} - V_{CEQ2}}{I_C} = \frac{20V - 8V}{5 \times 10^{-3}} =$$

$$R_C + R_E = 2.4 \text{ K}\Omega$$

$$R_C = 2.28 \text{ K}\Omega$$

$$R_b = \frac{hfe^2 R_e}{10} = \frac{(180)^2 (.12)}{10} = 388.8 \text{ K}\Omega$$

$$y \quad R_1 = \frac{R_b}{1 - \frac{V_{BB}}{V_{cc}}} = \frac{388.8}{1 - \frac{2V}{20}} = 432 \text{ K}\Omega$$

$$R_2 = R_b \frac{V_{cc}}{V_{BB}} = 388.8 \frac{(20)}{2} = 3.888 \text{ M}\Omega$$

$$Z_i = R_B // 2 hie_1 \quad I_{E1} = \frac{I_{E2}}{hfe+1} = \frac{5 \times 10^{-3} \text{ A}}{181} =$$

$$Z_i = 3.88.8 // 2(166.66 \text{ K}) \quad I_{E1} = .027 \text{ mA}$$

$$Z_i = 179.46 \text{ K}\Omega \quad hie_1 = \frac{(1)(25 \times 10^{-3})(180)}{.27 \times 10^{-3}}$$

$$Z_o \approx R_C \quad hie_1 = 166.66 \text{ K}\Omega$$

$$Z_o \approx 2.28 \text{ K}$$

$$A_v = \frac{V_L}{V_i} = \frac{V_L}{i_b} \frac{i_b}{V} \frac{V}{V_i} \quad i_b = \frac{V}{2hie_1} \quad V = \frac{V_i Z_i}{Z_i + r_i}$$

$$\frac{V_L}{V} = \frac{i_b}{2hie_1} \frac{V}{V_i} = \frac{Z_i}{Z_i + r_i}$$

$$V_L = - hfe^2 i_b (R_C // R_L)$$

$$\frac{V_L}{i_b} = - hfe^2 (R_C // R_L)$$

$$A_v = \frac{- hfe^2 (R_C // R_L)}{2 hie_1} \frac{Z_i}{Z_i + r_i} = \frac{179.4 \text{ K}}{179.4 \text{ K} + .6 \text{ K}}$$

$$A_v = \frac{(-180)^2 R_C // R_L}{2(166.66 \text{ K})} .996 = 200 \frac{Z_i}{Z_i + r_i} = .996$$

$$A_v = 32270 (R_C // R_L) = 200 (2) (166.66)$$

$$32.270 (R_C // R_L) = 66,664$$

$$R_C // R_L = \frac{66,664}{32270}$$

$$R_C // R_L = 2.06 \text{ K}\Omega$$

de donde:

$$R_L = 21.34 \text{ K}\Omega$$

Recuerde que tiene que aproximar los valores obtenidos de las resistencias a valores estandares comerciales y rediseñar el circuito.

Nota: Para calcular  $R_b$  se utilizó la siguiente ecuación.

$$R_b = \frac{hfe^2 R_E}{10} \text{ de esta forma } \frac{R_b}{(hfe+1)^2} < R_e,$$

Pero como en este caso el valor de  $R_b$  es muy grande, podemos escoger una  $R_b$  mucho menor, por ejemplo:

$$R_b = \frac{hfe^2 R_E}{100}, \text{ esto nos daría } = \underline{\underline{38.88 \text{ K}\Omega}}$$

Esto se hace con la finalidad de que  $R_1$  y  $R_2$  no resulten muy grandes y se tenga el problema de estabilidad con respecto a la temperatura ó a las tolerancias de las resistencias.

## PREGUNTAS:

1.- Qué tipo de acoplamiento existe entre los transistores y que ventaja o desventaja se obtiene?

2.- Compare los siguientes parámetros del amplificador Darlington con los del amplificador emisor-común.

- Ganancia en voltaje
- Ganancia en corriente
- Impedancia de entrada
- Impedancia de salida

- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_

3.-Cuál es la hfe aproximada del amplificador Darlington?

4.- Calcule la ganancia de corriente del amplificador.

5.- Si se utiliza el amplificador Darlington en la configuración de colector-común cuáles son sus características? <sup>®</sup>

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## PRACTICA No. 8

## AMPLIFICADOR DIFERENCIAL.

**OBJETIVO:** Comprobar, observar las características y las formas de onda de un amplificador diferencial, la ganancia en forma diferencial y en modo común mediante las siguientes mediciones.

- \* Puntos de operación
- \* Voltajes máximos de salida
- \* Voltajes máximos de entrada
- \* El CMRR.

Medir los puntos de operación para cada transistor, voltaje máximo de salida sin distorsión, voltajes de entrada, obtener las ganancias diferencial y común y compararlas en forma teórica.

## LISTA DE MATERIAL Y EQUIPO:

- 1 Circuito integrado
- 2 Resistencias de  $1K\Omega$   $\frac{1}{2}W$
- 2 Resistencias de  $10K\Omega$   $\frac{1}{2}W$
- 1 Resistencia de  $8.2K\Omega$   $\frac{1}{2}W$
- 1 Osciloscopio de doble canal
- 1 Generador de funciones
- 1 Multímetro digital
- 1 Fuente de alimentación dual

## CIRCUITO A IMPLEMENTAR:

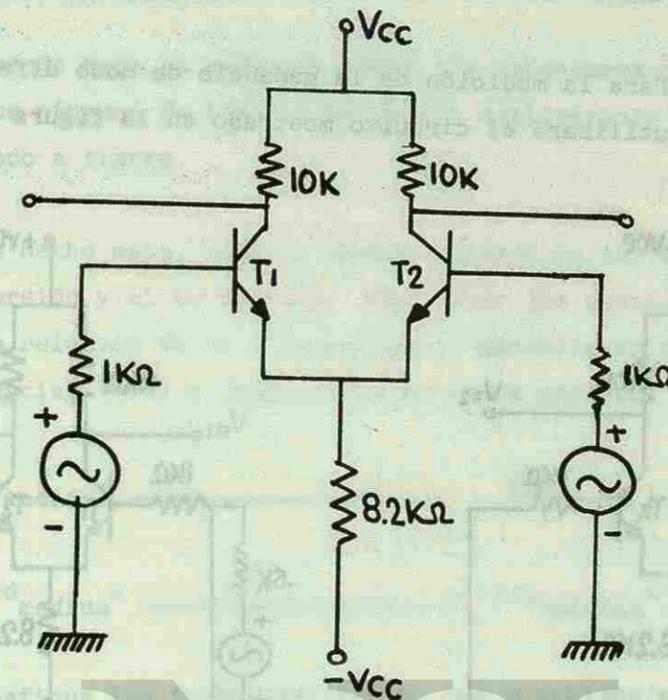


FIGURA No. 1

## PROCEDIMIENTO:

- Implemente el circuito de la figura No. 1 en un Protoboard para la facilidad en las mediciones y para que no existan falsos contactos.

Energize su circuito con el voltaje de polarización adecuado de  $\pm 10V$ . Para esto conecte las resistencias de base de  $1K\Omega$  a tierra y mida los puntos de operación para cada transistor.

$$V_{CEQ1} = \underline{\hspace{2cm}}; \quad I_{CQ1} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$V_{CEQ2} = \underline{\hspace{2cm}}; \quad I_{CQ2} = \underline{\hspace{2cm}}$$

## MODO DIFERENCIAL:

Para la medición de la ganancia de modo diferencial se utilizará el circuito mostrado en la figura No. 2.

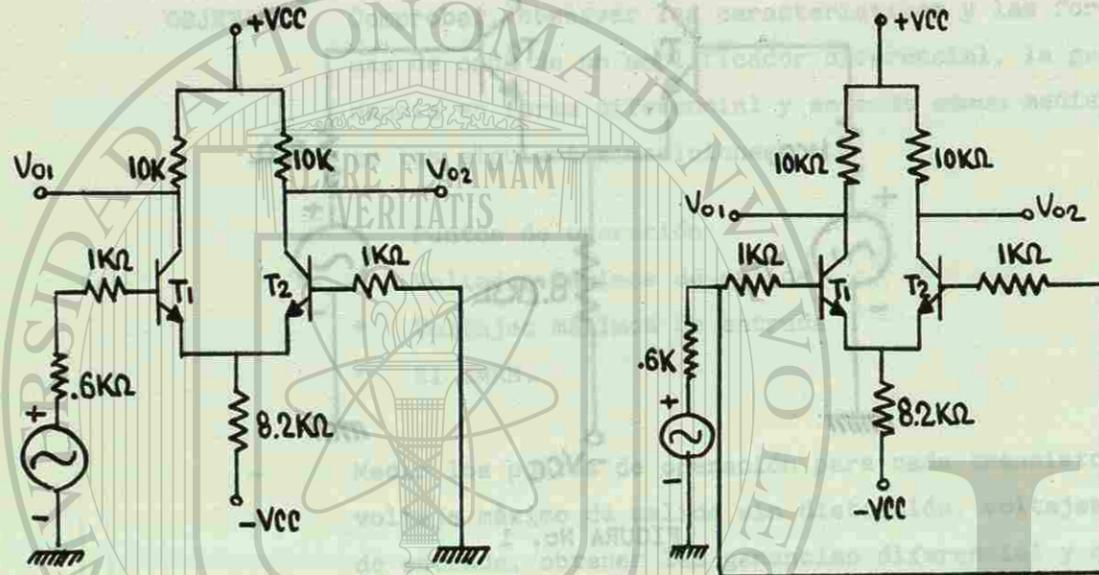


FIGURA 2

FIGURA 3

Esto es, conecte una de las entradas a tierra y a la otra aplique una onda senoidal con el generador de funciones, asegurándose de que este se encuentre con una amplitud mínima y una frecuencia de 1,000 Hz al iniciar sus mediciones.

Incremente poco a poco la amplitud de la señal de entrada hasta observar que en la salida (cualesquiera de los dos colectores con respecto a tierra) no exista la distorsión.

Obsérvese que en el circuito se pueden tener 3 salidas:

- Entre el colector 1 y tierra
- Entre el colector 2 y tierra
- Entre los 2 colectores

## NOTA:

Cuando haga la medición entre los colectores asegúrese -- que ninguno de los 2 canales del osciloscopio esté conectado a tierra.

Ya hecho esto, mida el máximo voltaje de salida sin distorsión y el de entrada. Con estas dos mediciones haga la relación  $V_o/V_i$  y encuentre la ganancia en forma diferencial ( $A_{vd}$ ) y compruebelas en forma teórica.

$$V_o \text{ medido} = \underline{\hspace{2cm}}; \quad V_{id} \text{ medido} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$A_{vd} \text{ medida} = \underline{\hspace{2cm}}; \quad A_{vd} \text{ teórica} = \underline{\hspace{2cm}}$$

Grafique las formas de onda de las 3 salidas y las de entrada para el modo diferencial con sus respectivas magnitudes cada gráfica.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



- MODO COMUN;

Para la medición de la ganancia en modo comun se utilizará el circuito de la figura No.3. Esto es, conecte en las 2 entradas el generador de funciones (señal senoidal) asegurándose de que éste se encuentre con una amplitud mínima y una frecuencia de 1000 Hz al iniciar sus mediciones.

- Incremente poco a poco la amplitud de la señal de entrada hasta observar que en la salida (cualesquiera de los 2 colectores con respecto a tierra) no exista distorsión.

- Hecho esto, mida el voltaje de salida y el de entrada y haga la relación  $V_o/V_i$  y encuentre la ganancia en forma común ( $A_{vc}$ ) y compruébela en forma teórica.

$V_o$  medido = \_\_\_\_\_ ;  $V_i$  medido = \_\_\_\_\_

$A_{vc}$  medida = \_\_\_\_\_ ;  $A_{vc}$  teórica = \_\_\_\_\_

Grafique las formas de onda de salida y las de entrada para el modo comun con sus respectivas magnitudes cada gráfica:

- Ya obtenidas las ganancias de modo diferencial y modo común haga la relación  $A_{vd}/A_{vc}$  para obtener la razón de rechazo de modo comun (RRMC).

$A_{vd}$  = \_\_\_\_\_ ;  $A_{vc}$  = \_\_\_\_\_

RRMC = \_\_\_\_\_

PREGUNTAS:

1. Como debe ser la ganancia de modo comun con respecto al modo diferencial, explique?

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

2. Mencione algunas aplicaciones del amplificador diferencial

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

3. En el caso de que los voltajes en los colectores sean diferentes de C.D. ¿En que nos afecta y que podriamos hacer para igualarlos?. Explique.

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

4. Calcule las impedancias de entrada de modo comun y modo diferencial en forma teórica.

$Z_{id}$  = \_\_\_\_\_ ;  $Z_{ic}$  = \_\_\_\_\_

5.Cuál es el objetivo de conectar las bases a tierra para la medición del punto de operación y que ocurre si una de ellas no se conecta, explique:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## MEDICION DE LOS PARAMETROS DEL AMPLIFICADOR OPERACIONAL

**OBJETIVO:** El objetivo de esta serie de experimentos es el de medir varios de los parámetros característicos de un amplificador operacional de propósito general, tal como el 741. Así que, en estos experimentos de terminará:

- \* El voltaje de desbalance
- \* La corriente de polarización
- \* La rapidez de cambio del voltaje de salida
- \* La razón de rechazo de modo común.
- \* El ancho de banda

## LISTA DE MATERIAL Y EQUIPO

- |   |  |
|---|--|
| 4 | LM741C                                     |
| 3 | Resistencias de 100 ohms, $\frac{1}{4}$ W  |
| 3 | Resistencias de 10K ohms, $\frac{1}{4}$ W  |
| 4 | Resistencias de 100K ohms, $\frac{1}{4}$ W |
| 1 | Resistencia de 1 Mohm, $\frac{1}{4}$ W     |
| 1 | Base experimental                          |
| 1 | Osciloscopio, de doble canal               |
| 1 | Generador de funciones                     |
| 1 | Fuente de alimentación dual                |

## III. DIAGRAMA ESQUEMATICO DEL EXPERIMENTO:

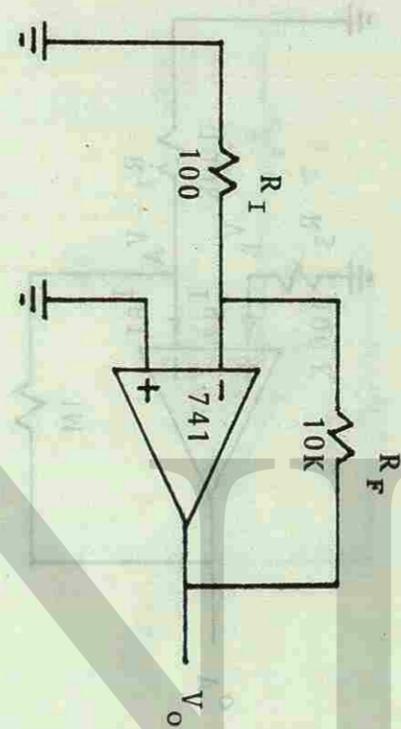


Figura 1. MEDICION DEL VOLTAJE DE DESBALANCE.

Figura 2. MEDICION DE LAS CORRIENTES DE POLARIZACION.

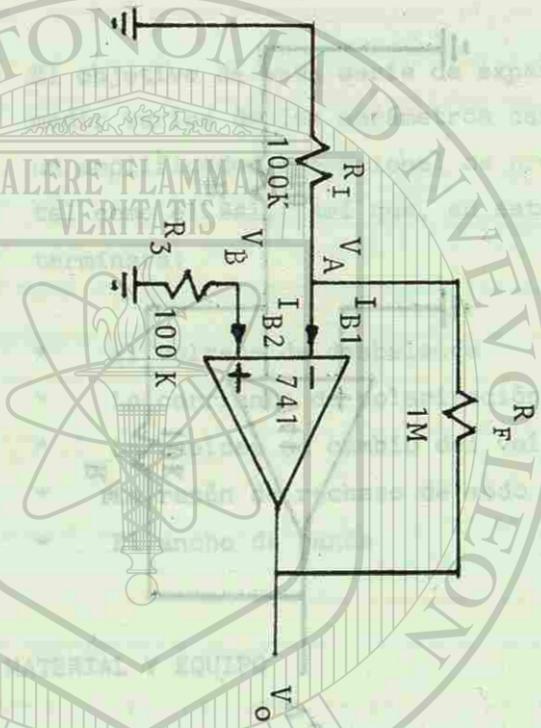
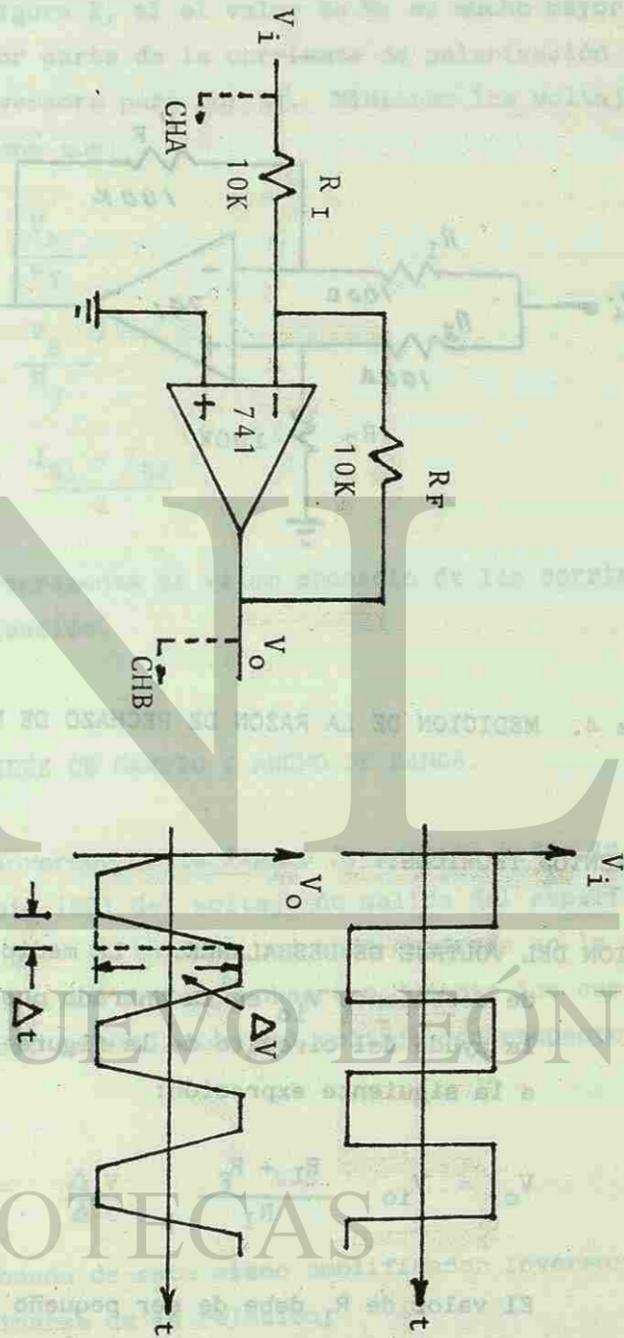


Figura 3. MEDICION DE LA RAPIDEZ DE CAMBIO (SLEW RATE).



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

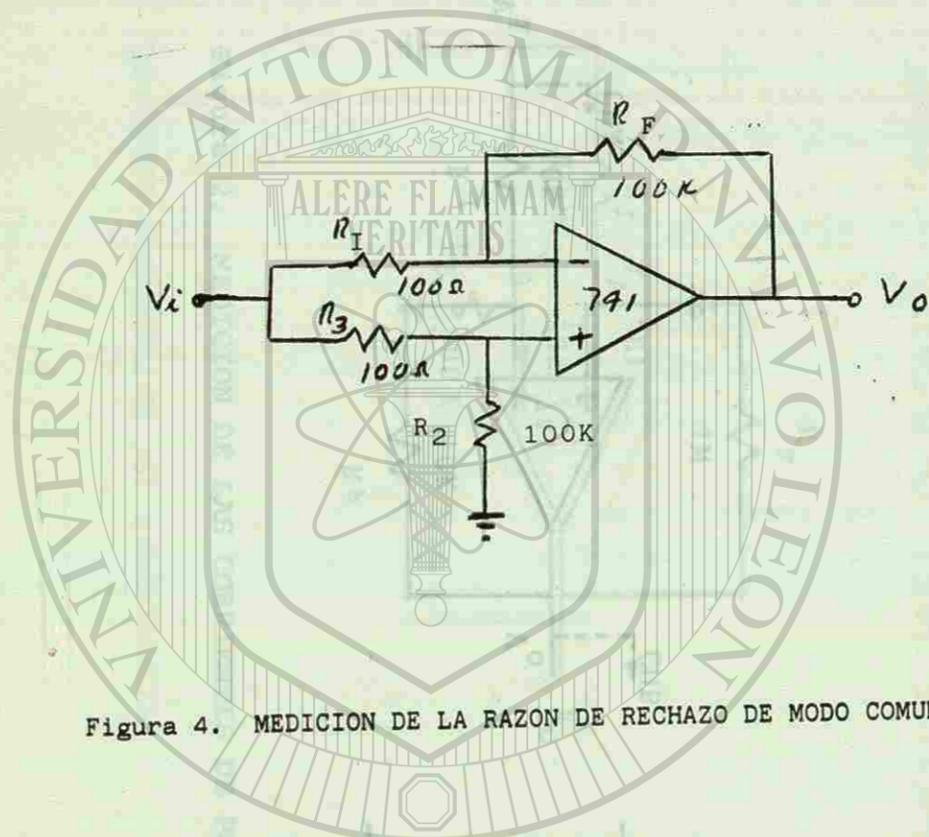


Figura 4. MEDICION DE LA RAZON DE RECHAZO DE MODO COMUN (CMRR)

#### FUNDAMENTOS TEORICOS:

**MEDICION DEL VOLTAJE DE DESBALANCE:** La medición del voltaje de desbalance  $V_{io}$  en la entrada puede hacerse con la ayuda del circuito de la figura 1, y atendiendo a la siguiente expresión:

$$V_o = V_{io} \frac{R_1 + R_F}{R_1}$$

El valor de  $R_1$  debe de ser pequeño para despreciar el efecto de la corriente de polarización.

#### MEDICION DE LA CORRIENTE DE POLARIZACION.

Para medir la corriente de polarización se emplea el circuito de la figura 2, si el valor de  $R_F$  es mucho mayor que  $R_1$  la mayor parte de la corriente de polarización de la entrada inversora para por  $R_1$ . Midiendo los voltajes  $V_A$  y  $V_B$  se tiene que:

$$I_{B1} = \frac{V_A}{R_1}$$

$$I_{B2} = \frac{V_B}{R_3}$$

$$I_B = \frac{I_{B1} + I_{B2}}{2}$$

en donde  $I_B$  representa el valor promedio de las corrientes de polarización.

#### MEDICION DE LA RAPIDEZ DE CAMBIO Y ANCHO DE BANDA.

El circuito inversor de la figura 3, permite medir la rapidez de cambio (SR) del voltaje de salida del amplificador operacional. Al aplicar una onda cuadrada en la entrada, en la salida se puede observar durante los cambios de estado, la variación del voltaje con respecto al tiempo.

$$SR = \frac{\Delta V}{\Delta t} \text{ V/s}$$

El ancho de banda de este mismo amplificador inversor puede determinarse de la relación:

$$BW = \frac{0.35}{t_r} \text{ Hz}$$

en donde  $t_r$  es el tiempo de elevación, es decir, el que transcurre cuando la señal de salida cambia desde el 10% al 90% de su valor final.

#### MEDICION DE LA RAZON DE RECHAZO DE MODO COMUN.

Finalmente el circuito amplificador diferencial de la figura 4, permite la medición de la Razón de Rechazo de Modo Común (CMRR). La forma en que está conectado permite medir experimentalmente la ganancia de voltaje de modo común  $A_c$

$$A_c = \frac{V_o}{V_i}$$

mientras que la ganancia de voltaje diferencial  $A_d$  está dada por la relación:

$$A_d = \frac{R_F}{R_I} = \frac{R_4}{R_3}$$

lo anterior permite evaluar la CMRR de la siguiente manera:

$$CMRR = 20 \log \frac{A_d}{A_c} \text{ dB}$$

#### PROCEDIMIENTO.

##### MEDICION DEL VOLTAJE DE DESBALANCE $V_{io}$ .

1. Implemente el circuito de la figura 1. Ajuste previamente la fuente de alimentación dual a  $\pm 15$  V y apague.

- Aplique energía a la base experimental y con el multímetro digital, tome lectura del voltaje de salida  $V_o$ .

$$V_o = \underline{\hspace{2cm}}$$

- Determine el valor del voltaje de desbalance de acuerdo con la teoría vista.

$$V_{io} = \underline{\hspace{2cm}}$$

##### MEDICION DE LA CORRIENTE DE POLARIZACION.

- Alambrar el circuito de la figura 2. Nota: La alimentación siempre será dual de  $\pm 15$  V, salvo que se especifique otra.

- Aplique energía a la base experimental y tome lecturas con el multímetro digital de los voltajes  $V_A$  y  $V_B$ .

$$V_A = \underline{\hspace{2cm}} \quad V_B = \underline{\hspace{2cm}}$$

- Calcular las corrientes de polarización  $I_{B1}$  e  $I_{B2}$  de acuerdo con la teoría vista.

$$I_{B1} = \underline{\hspace{2cm}} \quad I_{B2} = \underline{\hspace{2cm}}$$

- Determine el valor promedio de la corriente de polarización.

$$I_B = \underline{\hspace{2cm}}$$



MEDICION DE LA RAPIDEZ DE CAMBIO DEL VOLTAJE DE SALIDA  
(SLEW RATE, SR).

- Implementar el circuito amplificador inversor de la figura 3.
- Con la ayuda del osciloscopio, ajuste el generador de funciones para obtener una onda cuadrada de 10KHz y 5 V de pico a pico. Se recomienda en el osciloscopio.

- \* CHA: 5 V/div
- \* CHB: 1 V/div
- \* Base de tiempo 10 s/div
- \* Modo de C.A.

Tomar lecturas de  $\Delta V$ ,  $\Delta t$  y  $t_r$  directamente de la pantalla del osciloscopio.

$$\Delta V = \underline{\hspace{2cm}}, \quad \Delta t = \underline{\hspace{2cm}}, \quad t_r = \underline{\hspace{2cm}}$$

- Determinar de acuerdo con la teoría los parámetros SR y BW.

$$SR = \underline{\hspace{2cm}} \quad BW = \underline{\hspace{2cm}}$$

MEDICION DE LA RAZON DE RECHAZO DE MODO COMUN, CMRR.

- Implemente el circuito amplificador diferencial de la figura 4.
- Con la ayuda del generador de funciones y el multímetro digital, aplique una señal senoidal  $V_i$  de por lo menos 4 V rms y de una frecuencia tan baja como sea posible, (menor de 8 HZ). Anote este valor.

$$V_i = \underline{\hspace{2cm}}$$

- Mida el voltaje de salida  $V_o$  correspondiente y anote el resultado.

$$V_o = \underline{\hspace{2cm}} \quad A_c = \underline{\hspace{2cm}}$$

- Determine las ganancias de modo común y modo diferencial de acuerdo con el fundamento teórico.

$$A_c = \underline{\hspace{2cm}} \quad A_d = \underline{\hspace{2cm}}$$

- Calcular el valor de la CMRR, teórico y práctico.

$$CMRR = \underline{\hspace{2cm}}$$

REPORTE

- Escribir la definición de cada una de las siguientes características de un amplificador operacional.

CAPACIDADES MAXIMAS:

- Voltaje de alimentación
- Disipación de potencia
- Voltaje de entrada diferencial
- Voltaje de entrada de modo comun
- Temperatura de operación
- Duración de cortocircuito en la salida

PARAMETROS DE ENTRADA:

- Voltaje de desbalance
- Corriente de desbalance
- Corriente de polarización
- Resistencia de entrada

## PARAMETROS DE SALIDA:

- k) Resistencia de salida
- l) Corriente de cortocircuito
- m) Oscilación del voltaje de salida

## PARAMETROS DINAMICOS:

- n) Ganancia de voltaje de lazo abierto
- o) Rapidez de cambio (Slew Rate)
- p) Tiempo de elevación
- q) Ancho de banda

## OTROS PARAMETROS:

- r) Razón de rechazo de modo común
- s) Corriente de alimentación

- Detallar el procedimiento para la medición del voltaje de desbalance. Comparar con el valor en la hoja de datos del 741.
- Detallar el procedimiento para la medición de la corriente de polarización. Comparar el resultado con el valor en la hoja de datos del 741.
- Detallar el procedimiento para la medición de la rapidez de cambio SR. Comparar con el valor en la hoja de datos del 741.
- Detallar el procedimiento para la medición de la CMRR. Comparar el resultado experimental con el valor en la hoja de datos.

## PRACTICA 10

## AMPLIFICADORES LINEALES BASICOS

OBJETIVO: El propósito de esta serie de experimentos es el de comprobar el funcionamiento de las siguientes configuraciones básicas.

- \* Amplificador inversor
- \* Amplificador no inversor
- \* Amplificador sumador
- \* Amplificador diferencial

## LISTA DE MATERIAL Y EQUIPO.

- |   |                                       |
|---|---------------------------------------|
| 6 | LM741C                                |
| 3 | Capacitores de 0.1 F, 50 V.           |
| 7 | Resistencias de 10K ohm, ¼ W.         |
| 2 | Resistencias de 33 K ohm, ¼ W.        |
| 5 | Resistencias de 100 K ohm, 10 vueltas |
| 1 | Base experimental                     |
| 1 | Osciloscopio de doble canal           |
| 1 | Generador de funciones                |
| 1 | Fuente de alimentación dual           |

## PARAMETROS DE SALIDA:

- k) Resistencia de salida
- l) Corriente de cortocircuito
- m) Oscilación del voltaje de salida

## PARAMETROS DINAMICOS:

- n) Ganancia de voltaje de lazo abierto
- o) Rapidez de cambio (Slew Rate)
- p) Tiempo de elevación
- q) Ancho de banda

## OTROS PARAMETROS:

- r) Razón de rechazo de modo común
- s) Corriente de alimentación

- Detallar el procedimiento para la medición del voltaje de desbalance. Comparar con el valor en la hoja de datos del 741.
- Detallar el procedimiento para la medición de la corriente de polarización. Comparar el resultado con el valor en la hoja de datos del 741.
- Detallar el procedimiento para la medición de la rapidez de cambio SR. Comparar con el valor en la hoja de datos del 741.
- Detallar el procedimiento para la medición de la CMRR. Comparar el resultado experimental con el valor en la hoja de datos.

## PRACTICA 10

## AMPLIFICADORES LINEALES BASICOS

OBJETIVO: El propósito de esta serie de experimentos es el de comprobar el funcionamiento de las siguientes configuraciones básicas.

- \* Amplificador inversor
- \* Amplificador no inversor
- \* Amplificador sumador
- \* Amplificador diferencial

## LISTA DE MATERIAL Y EQUIPO.

- |   |                                       |
|---|---------------------------------------|
| 6 | LM741C                                |
| 3 | Capacitores de 0.1 F, 50 V.           |
| 7 | Resistencias de 10K ohm, ¼ W.         |
| 2 | Resistencias de 33 K ohm, ¼ W.        |
| 5 | Resistencias de 100 K ohm, 10 vueltas |
| 1 | Base experimental                     |
| 1 | Osciloscopio de doble canal           |
| 1 | Generador de funciones                |
| 1 | Fuente de alimentación dual           |

DIAGRAMA ESQUEMATICO DEL EXPERIMENTO.

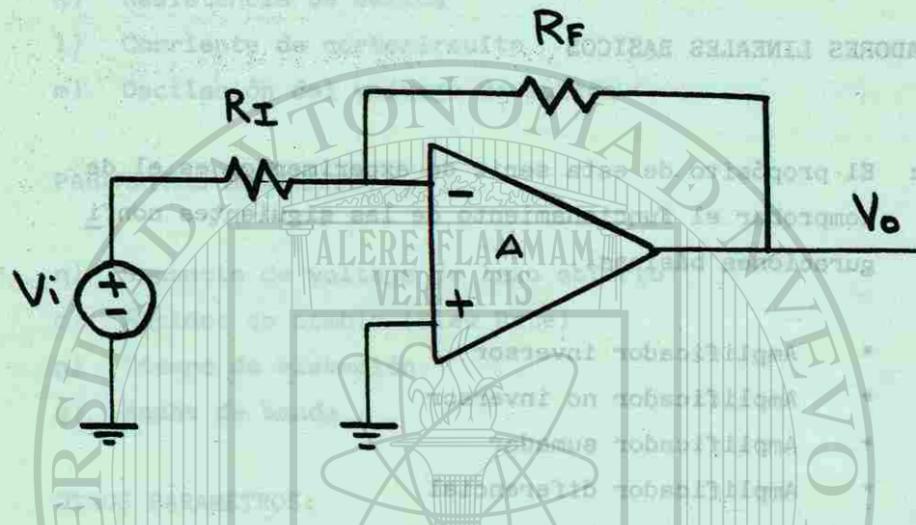


FIGURA 1. AMPLIFICADOR INVERSOR

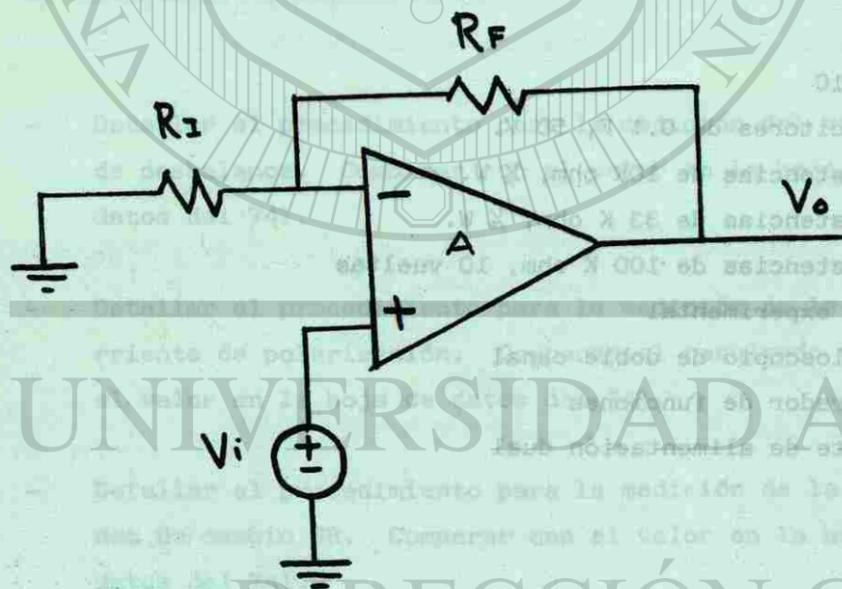


FIGURA 2. AMPLIFICADOR NO INVERSOR

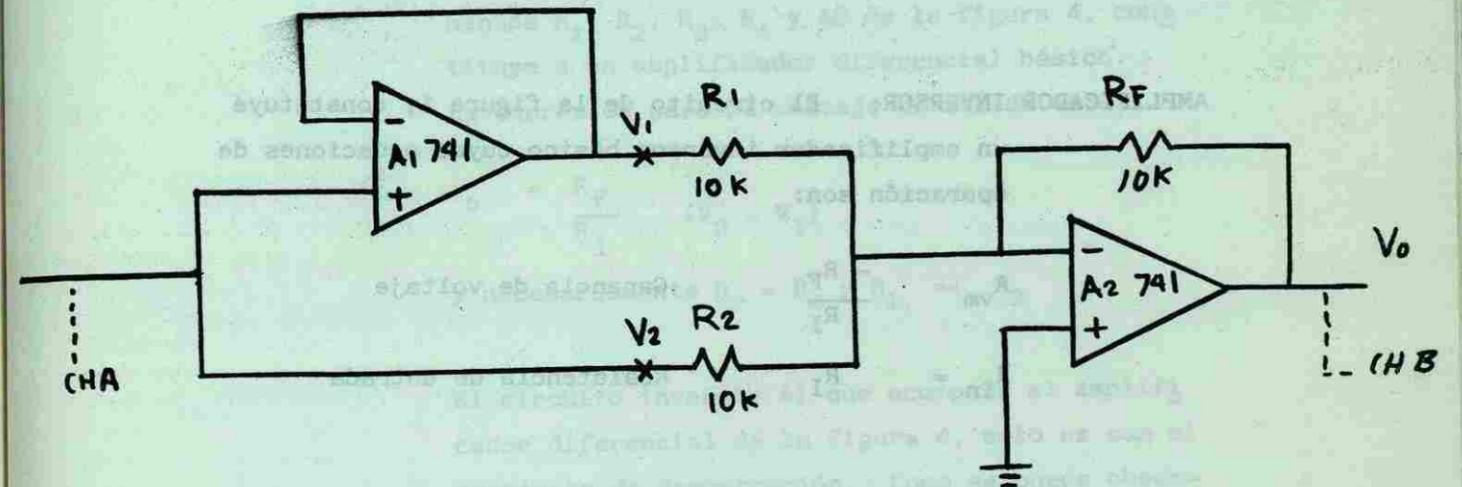


FIGURA 3. AMPLIFICADOR SUMADOR

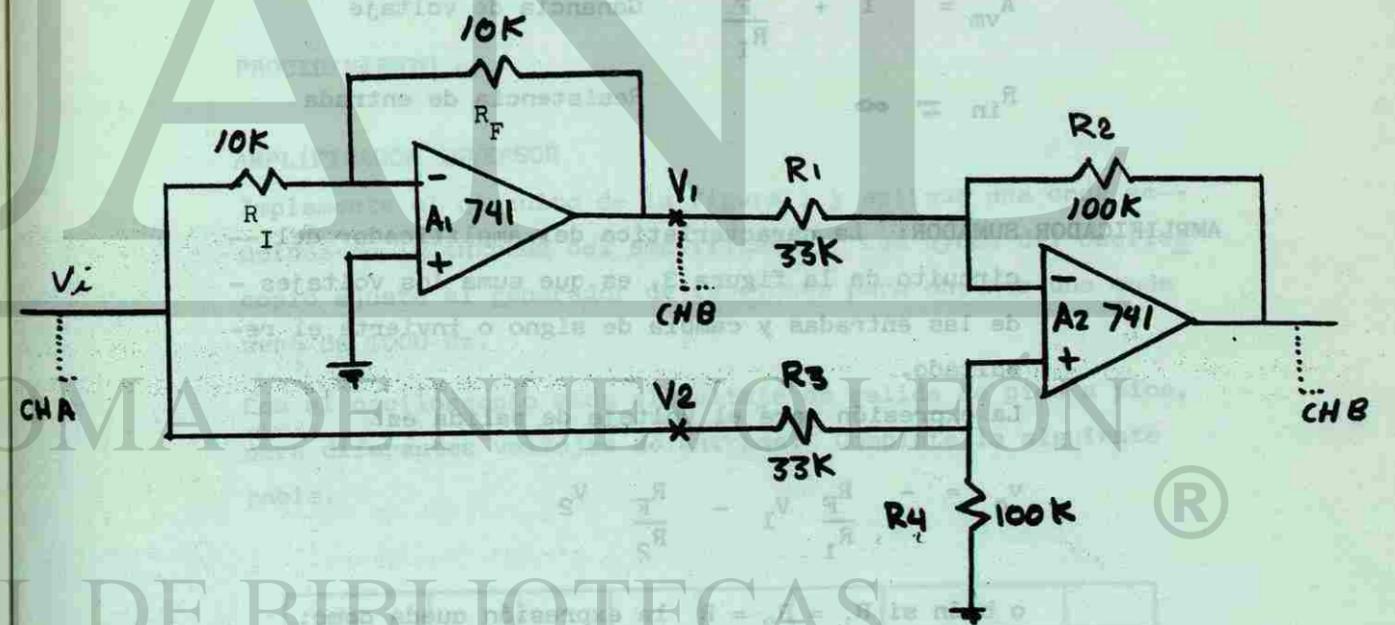


FIGURA 4. AMPLIFICADOR DIFERENCIAL

FUNDAMENTOS TEORICOS

**AMPLIFICADOR INVERSOR:** El circuito de la figura 1, constituye un amplificador inversor básico cuyas ecuaciones de operación son:

$$A_{vm} = - \frac{R_F}{R_I} \quad \text{Ganancia de voltaje}$$

$$R_{in} = R_I \quad \text{Resistencia de entrada}$$

**AMPLIFICADOR NO INVERSOR:** El circuito de la figura 2 constituye la configuración del amplificador no inversor básico, cuyas ecuaciones de operación son:

$$A_{vm} = 1 + \frac{R_F}{R_I} \quad \text{Ganancia de voltaje}$$

$$R_{in} = \infty \quad \text{Resistencia de entrada}$$

**AMPLIFICADOR SUMADOR:** La característica del amplificador del circuito de la figura 3, es que suma los voltajes de las entradas y cambia de signo o invierte el resultado.

La expresión para el voltaje de salida es:

$$v_o = - \frac{R_F}{R_1} V_1 - \frac{R_F}{R_2} V_2$$

o bien si  $R_1 = R_2 = R$  la expresión queda como:

$$v_o = - \frac{R_F}{R_I} (V_1 + V_2)$$

**Nota:** El amplificador seguidor de voltaje que acompaña al amplificador sumador de la figura 3, solo es con el propósito de demostración.

**AMPLIFICADOR DIFERENCIAL:** El circuito formado por los elementos  $R_1, R_2, R_3, R_4$  y  $A_2$  de la figura 4, constituye a un amplificador diferencial básico. La expresión para el voltaje de salida es:

$$v_o = \frac{R_F}{R_I} (V_2 - V_1)$$

y necesariamente  $R_2 = R_4$  y  $R_1 = R_3$

El circuito inversor  $A_1$  que acompaña al amplificador diferencial de la figura 4, solo es con el propósito de demostración. Como se puede observar en la expresión del voltaje de salida,  $v_o$  es proporcional a la diferencia de los voltajes de entrada  $V_1$  y  $V_2$ .

PROCEDIMIENTO.-

AMPLIFICADOR INVERSOR

Implemente el circuito de la figura 1 y aplique una onda senoidal en la entrada del amplificador. Con ayuda del osciloscopio ajuste el generador de funciones para obtener una onda seno de 1000 Hz.

Con el osciloscopio mida el voltaje de salida de pico a pico, para diferentes voltajes de entrada. Complete la siguiente tabla.

$V_1$							
$V_2$							
$A_{vm}$							

Nota: Compruebe que el voltaje en la entrada inversora es -- aproximadamente 0 volts. Procure no saturar al amplificador operacional.

Grafique  $V_o$  y  $V_i$  en función del tiempo.

AMPLIFICADOR NO INVERSOR

Siga el mismo procedimiento que en el circuito anterior y complete la siguiente tabla.

$V_i$										
$V_o$										
$A_{vm}$										

Grafique  $V_o$  y  $V_i$  en función del tiempo.

AMPLIFICADOR SUMADOR

Implemente el circuito de la figura 3. Aplique energía a la base experimental.

Con la ayuda del osciloscopio y del generador de funciones aplique una onda senoidal de 1000 Hz y 2V de pico a pico a la entrada  $V_i$  del circuito.

Dibuje las formas de onda  $V_o$  y  $V_i$  y justifique de acuerdo con la teoría los resultados obtenidos. Compruebe que el voltaje  $V_1$  es igual al voltaje  $V_i$ . Pruebe con otras formas de onda.

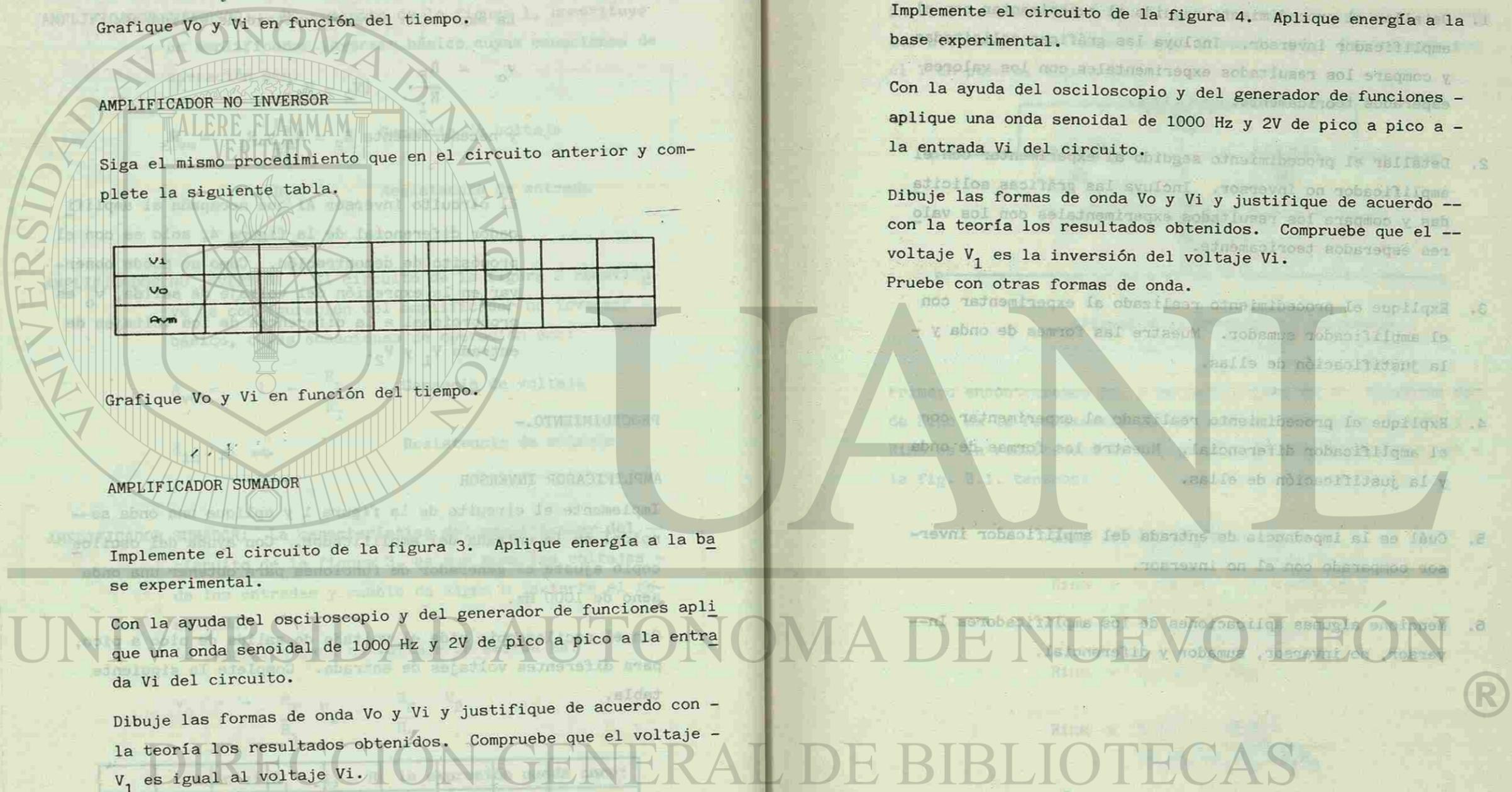

AMPLIFICADOR DIFERENCIAL

Implemente el circuito de la figura 4. Aplique energía a la base experimental.

Con la ayuda del osciloscopio y del generador de funciones aplique una onda senoidal de 1000 Hz y 2V de pico a pico a la entrada  $V_i$  del circuito.

Dibuje las formas de onda  $V_o$  y  $V_i$  y justifique de acuerdo con la teoría los resultados obtenidos. Compruebe que el voltaje  $V_1$  es la inversión del voltaje  $V_i$ .

Pruebe con otras formas de onda.



REPORTE.

1. Detallar el procedimiento seguido al experimentar con el amplificador inversor. Incluya las gráficas solicitadas y compare los resultados experimentales con los valores esperados teóricamente.
2. Detallar el procedimiento seguido al experimentar con el amplificador no inversor. Incluya las gráficas solicitadas y compare los resultados experimentales con los valores esperados teóricamente.
3. Explique el procedimiento realizado al experimentar con el amplificador sumador. Muestre las formas de onda y la justificación de ellas.
4. Explique el procedimiento realizado al experimentar con el amplificador diferencial. Muestre las formas de onda y la justificación de ellas.
5. Cuál es la impedancia de entrada del amplificador inversor comparado con el no inversor.
6. Mencione algunas aplicaciones de los amplificadores Inversor, no inversor, sumador y diferencial.

APENDICE

ECUACIONES DE LOS ATENUADORES

En esta sección obtendremos las ecuaciones de análisis y diseño del atenuador T en puente y del atenuador pi. Empezaremos por el T en puente, figura B.1.

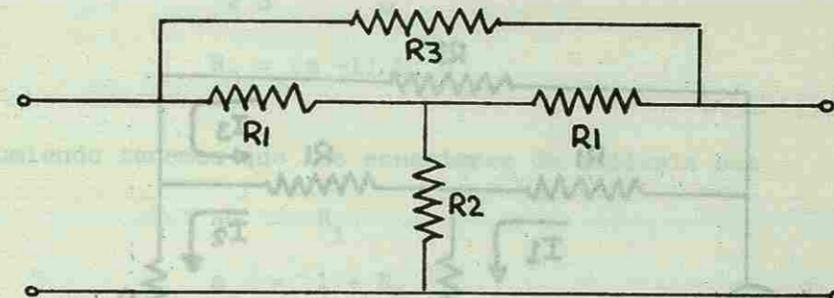


Figura B.1. Atenuador T en puente

Primero encontraremos  $R_o$ , y se define como  $R_o = R_{ino}R_{ins}$  donde  $R_{ino}$  es la resistencia de entrada con la salida abierta y  $R_{ins}$  es la resistencia de entrada con la salida en corto, de la fig. B.1. tenemos:

$$R_{ino} = R_1 // (R_3 + R_1) + R_2$$

$$R_{ino} = \frac{R_1(R_3 + R_1) + R_2(2R_1 + R_3)}{2R_1 + R_3}$$

$$R_{ins} = R_3 // (R_1 + R_1 // R_2)$$

$$R_{ins} = \frac{R_3(R_1^2 + 2R_1R_2)}{(R_3 + R_1)(R_1 + R_2) + R_1R_2}$$

$$R_o^2 = R_{ins}R_{ino}$$

$$R_o^2 = \frac{R_3R_1^2 + 2R_1R_3R_2}{2R_1 + R_3}$$

REPORTE.

1. Detallar el procedimiento seguido al experimentar con el amplificador inversor. Incluya las gráficas solicitadas y compare los resultados experimentales con los valores esperados teóricamente.
2. Detallar el procedimiento seguido al experimentar con el amplificador no inversor. Incluya las gráficas solicitadas y compare los resultados experimentales con los valores esperados teóricamente.
3. Explique el procedimiento realizado al experimentar con el amplificador sumador. Muestre las formas de onda y la justificación de ellas.
4. Explique el procedimiento realizado al experimentar con el amplificador diferencial. Muestre las formas de onda y la justificación de ellas.
5. Cuál es la impedancia de entrada del amplificador inversor comparado con el no inversor.
6. Mencione algunas aplicaciones de los amplificadores Inversor, no inversor, sumador y diferencial.

APENDICE

ECUACIONES DE LOS ATENUADORES

En esta sección obtendremos las ecuaciones de análisis y diseño del atenuador T en puente y del atenuador pi. Empezaremos por el T en puente, figura B.1.

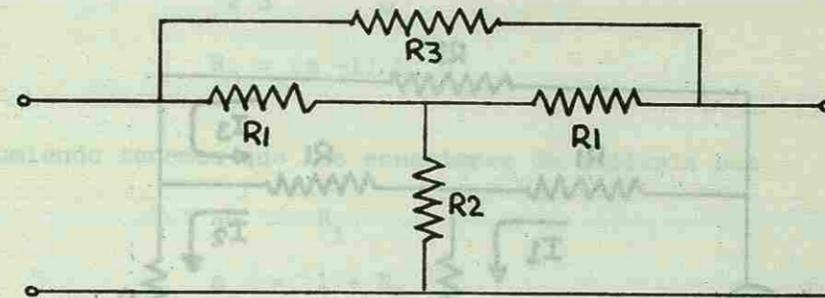


Figura B.1. Atenuador T en puente

Primero encontraremos  $R_o$ , y se define como  $R_o = R_{ino}R_{ins}$  donde  $R_{ino}$  es la resistencia de entrada con la salida abierta y  $R_{ins}$  es la resistencia de entrada con la salida en corto, de la fig. B.1. tenemos:

$$R_{ino} = R_1 // (R_3 + R_1) + R_2$$

$$R_{ino} = \frac{R_1(R_3 + R_1) + R_2(2R_1 + R_3)}{2R_1 + R_3}$$

$$R_{ins} = R_3 // (R_1 + R_1 // R_2)$$

$$R_{ins} = \frac{R_3(R_1^2 + 2R_1R_2)}{(R_3 + R_1)(R_1 + R_2) + R_1R_2}$$

$$R_o^2 = R_{ins}R_{ino}$$

$$R_o^2 = \frac{R_3R_1^2 + 2R_1R_3R_2}{2R_1 + R_3}$$

haciendo

$$R_2 R_3 = R_o^2 \quad \text{B.1}$$

se obtiene:

$$R_o = R_1 \quad \text{B.2}$$

La segunda fórmula que nos es útil en nuestro trabajo es la -- cantidad de atenuación que hay de la entrada a la salida del -- atenuador cargado con su resistencia característica. fig.B.2.

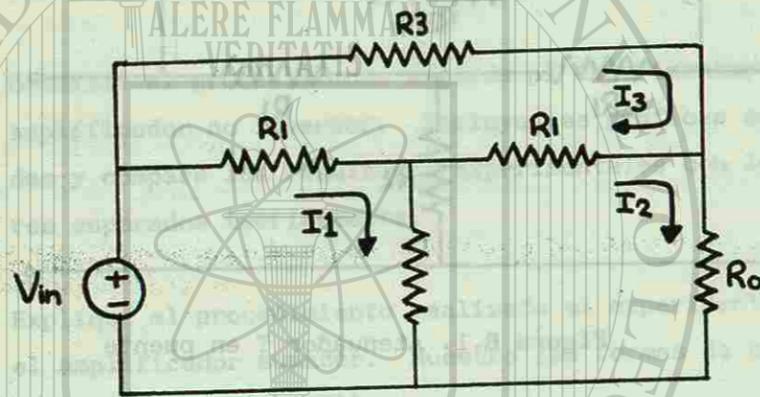


Figura B.2 Circuito para calcular la atenuación a

De la fig. B.2., las ecuaciones de malla son:

$$V_{in} = I_1(R_1 + R_2) - I_2 R_2 - I_3 R_1 \quad \text{B.3}$$

$$0 = -I_1 R_2 + I_2(R_2 + 2R_1) - I_3 R_1$$

$$0 = -I_1 R_1 - I_2 R_1 + I_3(2R_1 + R_3)$$

$$V_o = I_2 R_o \quad \text{B.4}$$

Resolviendo las ecuaciones B.3 para  $I_2$  encontramos que  $I_2 = \frac{V_{in}}{R_1 + R_3}$

sustituyendo en la ecuación B.4.

$$V_o = \frac{R_o V_{in}}{R_1 + R_3}$$

$$a = \frac{V_{in}}{V_o} = 1 + \frac{R_3}{R_1} \quad R_3 = R_o^2 = \frac{R_1^2}{R_2}$$

$$a = 1 + \frac{R_1}{R_2}$$

De la ecuación B.5., despejando  $R_2$  y de la ecuación B.2.

$$R_2 = \frac{R_o}{a - 1}$$

de la ecuación B.1.

$$R_2 R_3 = R_o^2$$

$$R_3 = (a - 1) R_o$$

Resumiendo tenemos que las ecuaciones de análisis son:

$$R_o = R_1$$

$$a = 1 + \frac{R_1}{R_2}$$

$$R_o^2 = R_2 R_3$$

y las ecuaciones de diseño son:

$$R_1 = R_o$$

$$R_2 = \frac{R_o}{a - 1}$$

$$R_3 = (a - 1) R_o$$

Ahora obtendremos las ecuaciones de análisis y diseño para el atenuador pi. Para eso seguiremos el mismo método utilizado -- para la obtención de las ecuaciones del atenuador T en puente.

En la fig. B.3 se muestra el atenuador pi.

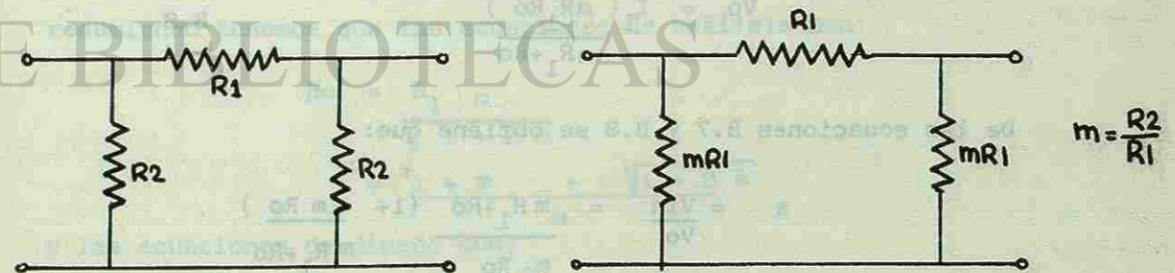


Figura B.3 Atenuador Pi

Las resistencias Rins y Rino son:

$$R_{ino} = m R_1 // (R_1 + m R_1) = \frac{R_1 m (m+1)}{2m+1}$$

$$R_{ins} = m R_1 // R_1 = \frac{R_1 m}{m+1}$$

$$R_o = \sqrt{R_{ins} R_{ino}} \quad B.6$$

$$R_o = \frac{R_1 m}{\sqrt{2m+1}}$$

El factor de atenuación se obtiene de la fig. B.4.

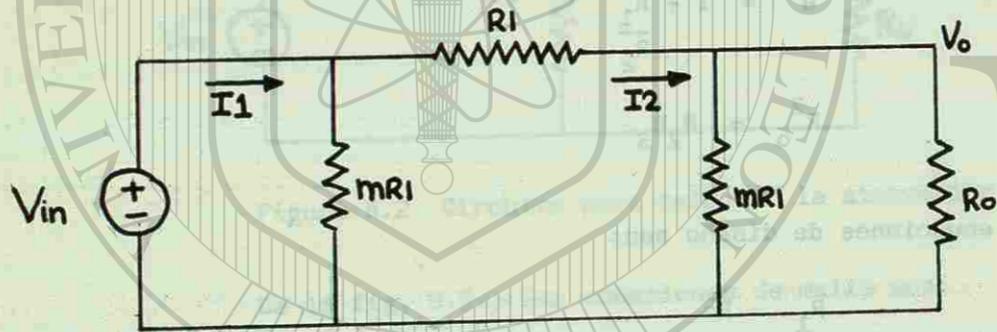


Figura B.4 Circuito para obtener la atenuación a

Las ecuaciones de malla son:

$$V_{in} = I_1 m R_1 - I_2 m R_1 \quad B.7$$

$$0 = -I_1 m R_1 + I_2 (m R_1 + R_1 + \frac{m R_1 R_o}{m R_1 + R_o})$$

$$V_o = I_1 \left( \frac{m R_1 R_o}{m R_1 + R_o} \right) \quad B.8$$

De las ecuaciones B.7 y B.8 se obtiene que:

$$a = \frac{V_{in}}{V_o} = \frac{m R_1 + R_o}{m R_o} \left( 1 + \frac{m R_o}{m R_1 + R_o} \right)$$

sustituyendo Ro de la ecuación B.6 en

$$a = \frac{1+m}{m} + \frac{\sqrt{1+2m}}{m} \quad B.9$$

de las ecuaciones de diseño se obtienen como sigue:

tenemos que  $a = \frac{R_2}{R_1}$  y de la ecuación B.6

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{\sqrt{1+2m}}{m} = \frac{R_1 m}{R_o} = \frac{R_2}{R_o} \quad B.10$$

sustituyendo la ecuación B.10 en B.9

$$a = \frac{R_1}{R_2} + 1 + \frac{R_1}{R_o} \quad B.11$$

de la ecuación B.10

$$R_1 = \frac{2R_2 R_o^2}{R_2^2 - R_o} \quad B.12$$

de B.11

$$R_2 = \frac{R_1 R_o}{R_o (a-1) - R_1}$$

sustituyendo R2 en la ecuación B.12 y resolviendo para R1 se obtiene

$$R_1 = \frac{R_o (a^2 - 1)}{2a}$$

Para obtener R2 sustituimos R1 de la ecuación B.12 en la ecuación B.11 y resolvemos para R2

$$R_2 = \frac{R_o (1+a)^2}{a-1}$$

Si tomamos el signo negativo, entonces

$$R_2 = -R_o$$

que no es cierto, por lo tanto tomamos el signo positivo y

$$R_2 = \frac{R_o (1+a)}{a-1}$$

resumiendo tenemos que las ecuaciones de análisis son:

$$R_o = \frac{R_1 m}{\sqrt{1+2m}} = \frac{1+m}{m} + \frac{\sqrt{1+2m}}{m}$$

y las ecuaciones de diseño son:

$$R_1 = \frac{(a^2 - 1)}{2a} R_o$$

$$R_2 = \frac{(a+1) R_o}{a-1}$$

EJEMPLO:

Diseñar un atenuador con las siguientes especificaciones:

Resistencia de salida de 600 Ω

R<sub>o</sub> = 600 Ω

Atenuación de 10

a = 10

De las ecuaciones de diseño se tiene:

R<sub>1</sub> = ((a<sup>2</sup> - 1) / 2a) R<sub>o</sub> B.13

R<sub>1</sub> = ((10<sup>2</sup> - 1) / 2 \* 10) \* 600

R<sub>1</sub> = 2970 Ω

R<sub>2</sub> = ((a + 1) / (a - 1)) R<sub>o</sub> B.14

R<sub>2</sub> = ((10 + 1) / (10 - 1)) \* 600

R<sub>2</sub> = 733.33 Ω

Obsérvese que los valores obtenidos no son comercial, por lo que hay que utilizar resistencias de precisión de 1%. De otra manera si se aproximan R<sub>1</sub> y R<sub>2</sub> a sus más cercanos que son:

R<sub>1</sub> = 2.7 K Ω

R<sub>2</sub> = 720 Ω

Despejando A y R<sub>o</sub> de las ecuaciones B.9 y B.6 se tiene:

a = (1 + m + 1 + 2m) / m

R<sub>o</sub> = (R<sub>1</sub> m) / (2m + 1)

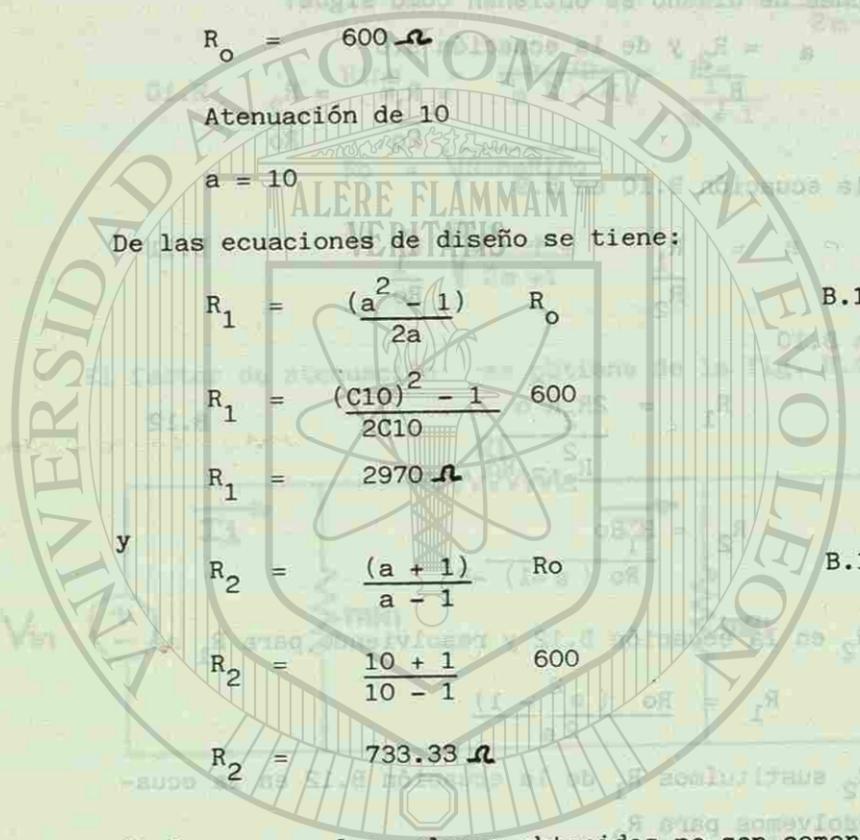
en donde m = R<sub>2</sub> / R<sub>1</sub>

sustituyendo se tiene:

m = 720 / 2700 = .2666

a = 9.39

R<sub>o</sub> = 581.33 Ω



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCION GENERAL DE BIBLIOTECAS



**TYPES 2N3903, 2N3904, A5T3903, A5T3904**  
**N-P-N SILICON TRANSISTORS**

BULLETIN NO. DLS 7311576, NOVEMBER 1971—REVISED MARCH 1973

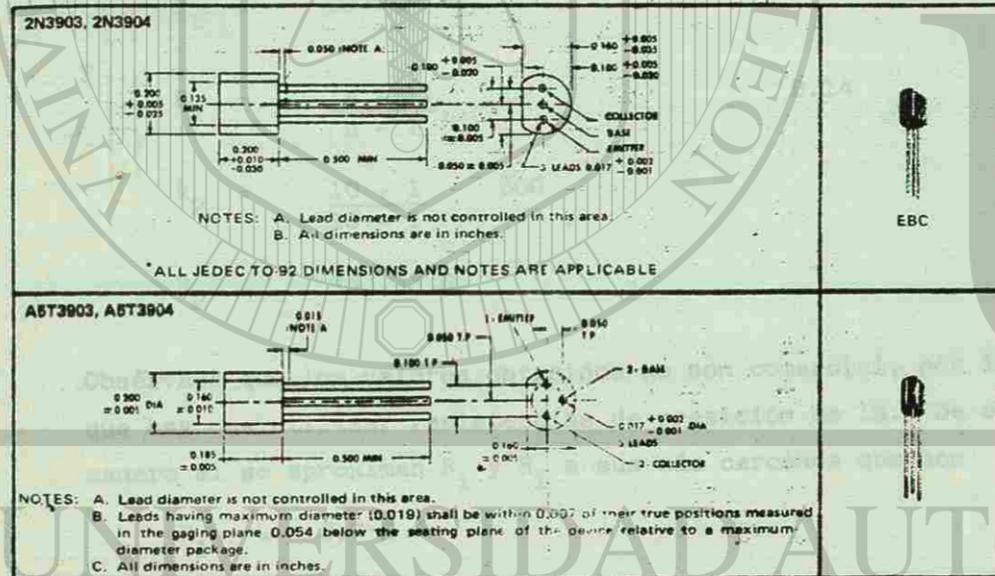
**SELECT TRANSISTORS†**

FOR GENERAL PURPOSE SATURATED SWITCHING AND AMPLIFIER APPLICATIONS

- For Complementary Use with P-N-P Types 2N3905, 2N3906, A5T3905, and A5T3906
- Rugged One-Piece Construction with In-Line Leads or Standard TO-18 100-mil Pin-Circle Configuration

**mechanical data**

These transistors are encapsulated in a plastic compound specifically designed for this purpose, using a highly mechanized process developed by Texas Instruments. The case will withstand soldering temperatures without deformation. These devices exhibit stable characteristics under high-humidity conditions and are capable of meeting MIL-STD-202C, Method 106B. The transistors are insensitive to light.



**absolute maximum ratings at 25°C free-air temperature (unless otherwise noted)**

Collector-Base Voltage	60 V*
Collector-Emitter Voltage (See Note 1)	40 V*
Emitter-Base Voltage	6 V*
Continuous Collector Current	200 mA*
Continuous Device Dissipation at (or below) 25°C Free-Air Temperature (See Note 2)	{ 625 mW 310 mW*
Storage Temperature Range	{ -65°C to 150°C -55°C to 135°C*
Lead Temperature 1/16 Inch from Case for 60 Seconds	{ 260°C 230°C*

**TYPES 2N3903, 2N3904, A5T3903, A5T3904**  
**N-P-N SILICON TRANSISTORS**

\*electrical characteristics at 25°C free-air temperature

PARAMETER	TEST CONDITIONS	2N3903, A5T3903		2N3904, A5T3904		UNIT
		MIN	MAX	MIN	MAX	
V(BR)CBO	Collector-Base Breakdown Voltage I <sub>C</sub> = 10 μA, I <sub>E</sub> = 0	60		60		V
V(BR)CEO	Collector-Emitter Breakdown Voltage I <sub>C</sub> = 1 mA, I <sub>B</sub> = 0, See Note 3	40		40		V
V(BR)EBO	Emitter-Base Breakdown Voltage I <sub>E</sub> = 10 μA, I <sub>C</sub> = 0	6		6		V
I <sub>CEV</sub>	Collector Cutoff Current V <sub>CE</sub> = 30 V, V <sub>BE</sub> = -3 V		50		50	nA
I <sub>BEV</sub>	Base Cutoff Current V <sub>CE</sub> = 30 V, V <sub>BE</sub> = -3 V		-50		-50	nA
h <sub>FE</sub>	Static Forward Current Transfer Ratio V <sub>CE</sub> = 1 V, I <sub>C</sub> = 100 μA	20		40		
		35		70		
		50		150		
		30		60		
V <sub>BE</sub>	Base-Emitter Voltage I <sub>B</sub> = 1 mA, I <sub>C</sub> = 10 mA	0.65		0.85		V
		0.95		0.95		
V <sub>CE(sat)</sub>	Collector-Emitter Saturation Voltage I <sub>B</sub> = 1 mA, I <sub>C</sub> = 10 mA	0.2		0.2		V
		0.3		0.3		
h <sub>ie</sub>	Small-Signal Common-Emitter Input Impedance V <sub>CE</sub> = 10 V, I <sub>C</sub> = 1 mA	1	8	1	10	kΩ
h <sub>fe</sub>	Small-Signal Common-Emitter Forward Current Transfer Ratio I <sub>C</sub> = 1 mA	50	200	100	400	
h <sub>re</sub>	Small-Signal Common-Emitter Reverse Voltage Transfer Ratio f = 1 kHz	0.1 × 10 <sup>-4</sup>	5 × 10 <sup>-4</sup>	0.5 × 10 <sup>-4</sup>	8 × 10 <sup>-4</sup>	
h <sub>oe</sub>	Small-Signal Common-Emitter Output Admittance	1	40	1	40	μmho
h <sub>fe</sub>	Small-Signal Common-Emitter Forward Current Transfer Ratio V <sub>CE</sub> = 20 V, I <sub>C</sub> = 10 mA, f = 100 MHz	2.5		3		
f <sub>T</sub>	Transition Frequency V <sub>CE</sub> = 20 V, I <sub>C</sub> = 10 mA, See Note 4	250		300		MHz
C <sub>obo</sub>	Common-Base Open-Circuit Output Capacitance f = 100 kHz to 1 MHz		4		4	μF
C <sub>ibo</sub>	Common-Base Open-Circuit Input Capacitance f = 100 kHz to 1 MHz		8		8	μF

NOTES: 3. These parameters must be measured using pulse techniques, t<sub>sw</sub> = 300 μs, duty cycle ≤ 2%.  
4. To obtain f<sub>T</sub>, the |h<sub>fe</sub>| response with frequency is extrapolated at the rate of 76 dB per octave from f = 100 MHz to the frequency at which |h<sub>fe</sub>| = 1.

**\*operating characteristics at 25°C free-air temperature**

PARAMETER	TEST CONDITIONS	2N3903, A5T3903		2N3904, A5T3904		UNIT
		MIN	MAX	MIN	MAX	
NF	Average Noise Figure V <sub>CE</sub> = 5 V, I <sub>C</sub> = 100 μA, R <sub>G</sub> = 1 kΩ, Noise Bandwidth = 15.7 kHz, See Note 5	6		5		dB

NOTE 5: Average Noise Figure is measured in an amplifier with response down 3 dB at 10 Hz and 10 kHz and a high-frequency rolloff of 6 dB/octave.

\*The asterisk identifies JEDEC registered data for the 2N3903 and 2N3904 only.

**TYPES 2N3903, 2N3904, A5T3903, A5T3904  
N-P-N SILICON TRANSISTORS**

\*switching characteristics at 25°C free-air temperature

PARAMETER	TEST CONDITIONS†	2N3903	2N3904	UNIT
		A5T3903	A5T3904	
$t_d$ Delay Time	$I_C = 10 \text{ mA}$ , $I_B(1) = 1 \text{ mA}$ , $V_{BE(1)} = -0.5 \text{ V}$	35	35	ns
$t_r$ Rise Time	$R_L = 275 \Omega$ , See Figure 1	35	35	ns
$t_s$ Storage Time	$I_C = 10 \text{ mA}$ , $I_B(2) = -1 \text{ mA}$	175	200	ns
$t_f$ Fall Time	$R_L = 275 \Omega$ , See Figure 2	50	50	ns

†Voltage and current values shown are nominal; exact values vary slightly with transistor parameters. Nominal base current for delay and rise times is calculated using the minimum value of  $V_{BE}$ . Nominal base currents for storage and fall times are calculated using the maximum value of  $V_{BE}$ .

\*The asterisk identifies JEDEC registered data for the 2N3903 and 2N3904 only.

**PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION**



FIGURE 1—DELAY AND RISE TIMES

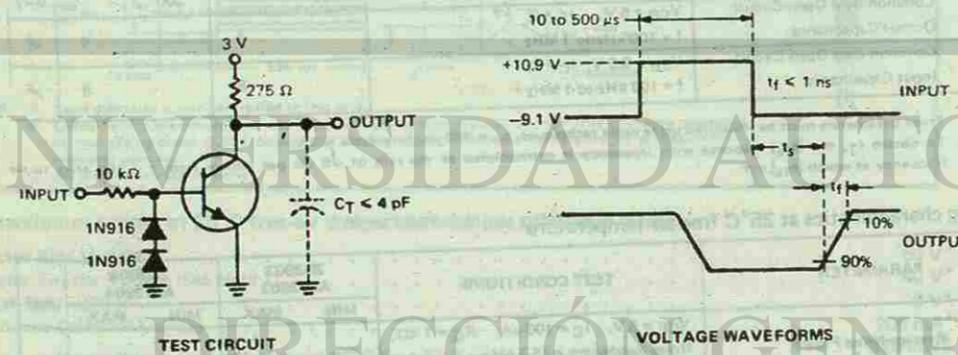


FIGURE 2—STORAGE AND FALL TIMES

NOTES: a. The input waveforms are supplied by a generator with the following characteristics:  $Z_{out} = 50 \Omega$ , duty cycle = 2%.  
b. Waveforms are monitored on an oscilloscope with the following characteristics:  $t_r < 1 \text{ ns}$ ,  $R_{in} = 10 \text{ M}\Omega$ ,  $C_{in} < 4 \text{ pF}$ .

**TYPES 2N3905, 2N3906, A5T3905, A5T3906  
P-N-P SILICON TRANSISTORS**

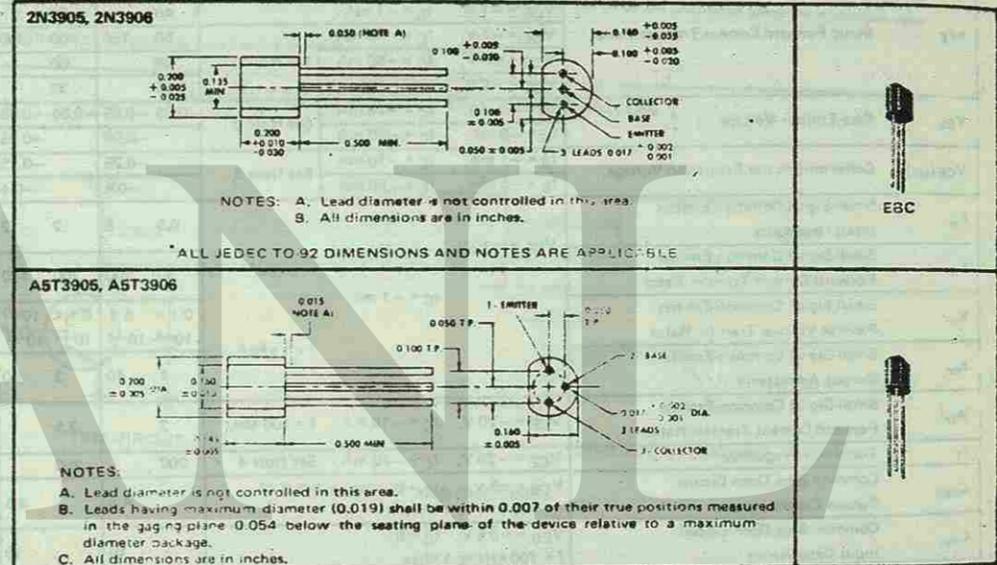
BULLETIN NO. DL-87311577, NOVEMBER 1971—REVISED MARCH 1972

**SELECT† TRANSISTORS:  
FOR GENERAL PURPOSE SATURATED-SWITCHING AND AMPLIFIER APPLICATIONS**

- For Complementary Use with N-P-N Types 2N3903, 2N3904, A5T3903, and A5T3904
- Rugged One-Piece Construction with In-Line Leads or Standard TO-18 100-mil Pin-Circle Configuration

**mechanical data**

These transistors are encapsulated in a plastic compound specifically designed for this purpose, using a highly mechanized process developed by Texas Instruments. The case will withstand soldering temperatures without deformation. These devices exhibit stable characteristics under high-humidity conditions and are capable of meeting MIL-STD-202C, Method 106B. The transistors are insensitive to light.



**absolute maximum ratings at 25°C free-air temperature (unless otherwise noted)**

Collector-Base Voltage	.....	-40 V*
Collector-Emitter Voltage (See Note 1)	.....	-40 V*
Emitter-Base Voltage	.....	-5 V*
Continuous Collector Current	.....	-200 mA*
Continuous Device Dissipation at (or below) 25°C Free-Air Temperature (See Note 2)	.....	625 mW‡ 310 mW*
Storage Temperature Range	.....	{ -65°C to 150°C‡ -55°C to 135°C*
Lead Temperature 1/16 Inch from Case for 60 Seconds	.....	{ 260°C‡ 230°C*

NOTES: 1. This value applies between 10  $\mu\text{A}$  and 200 mA collector current when the base-emitter diode is open-circuited.  
2. Derate the 625-mW rating linearly to 150°C free-air temperature at the rate of 5 mW/°C. Derate the 310-mW (JEDEC registered) rating linearly to 135°C free-air temperature at the rate of 2.81 mW/°C.  
\*The asterisk identifies JEDEC registered data for the 2N3905 and 2N3906 only. This data sheet contains all applicable registered data in effect at the time of publication.  
†Trademark of Texas Instruments  
‡U.S. Patent No. 3,439,238  
§Texas Instruments guarantees these values in addition to the JEDEC registered values which are also shown.

USES CHIP P19

**TYPES 2N3905, 2N3906, A5T3905, A5T3906  
P-N-P SILICON TRANSISTORS**

\*Electrical characteristics at 25°C free-air temperature

PARAMETER	TEST CONDITIONS	2N3905		2N3906		UNIT
		A5T3905	MIN MAX	A5T3906	MIN MAX	
V <sub>BR</sub> (CBO)	Collector-Base Breakdown Voltage I <sub>C</sub> = -10 μA, I <sub>E</sub> = 0	-40		-40		V
V <sub>BR</sub> (CEO)	Collector-Emitter Breakdown Voltage I <sub>C</sub> = -1 mA, I <sub>B</sub> = 0, See Note 3	-40		-40		V
V <sub>BR</sub> (EBO)	Emitter-Base Breakdown Voltage I <sub>E</sub> = -10 μA, I <sub>C</sub> = 0	-5		-5		V
I <sub>CEV</sub>	Collector Cutoff Current V <sub>CE</sub> = -30 V, V <sub>BE</sub> = 3 V	-50		-50		nA
I <sub>BEV</sub>	Base Cutoff Current V <sub>CE</sub> = -30 V, V <sub>BE</sub> = 3 V	50		50		nA
h <sub>FE</sub>	Static Forward Current Transfer Ratio V <sub>CE</sub> = -1 V, I <sub>C</sub> = -100 μA	30		60		
		40		80		
		50	150	100	300	
		30		60		
V <sub>BE</sub>	Base-Emitter Voltage I <sub>B</sub> = -1 mA, I <sub>C</sub> = -10 mA I <sub>B</sub> = -5 mA, I <sub>C</sub> = -50 mA I <sub>B</sub> = -1 mA, I <sub>C</sub> = -10 mA I <sub>B</sub> = -5 mA, I <sub>C</sub> = -50 mA	-0.65	-0.85	-0.65	-0.85	V
		-0.95		-0.95		
		-0.25		-0.25		
		-0.4		-0.4		
V <sub>CE(sat)</sub>	Collector-Emitter Saturation Voltage I <sub>B</sub> = -1 mA, I <sub>C</sub> = -10 mA I <sub>B</sub> = -5 mA, I <sub>C</sub> = -50 mA	-0.25		-0.25		V
h <sub>ie</sub>	Small-Signal Common-Emitter Input Impedance V <sub>CE</sub> = -10 V, I <sub>C</sub> = -1 mA	0.5	8	2	12	kΩ
h <sub>fe</sub>	Small-Signal Common-Emitter Forward Current Transfer Ratio I <sub>C</sub> = -1 mA, f = 1 kHz	50	200	100	400	
h <sub>re</sub>	Small-Signal Common-Emitter Reverse Voltage Transfer Ratio I <sub>C</sub> = -1 mA, f = 1 kHz	0.1 × 10 <sup>-4</sup>	5 × 10 <sup>-4</sup>	0.1 × 10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	
h <sub>oe</sub>	Small-Signal Common-Emitter Output Admittance I <sub>C</sub> = -1 mA, f = 1 kHz	1	40	3	60	μmho
h <sub>fe</sub>	Small-Signal Common-Emitter Forward Current Transfer Ratio V <sub>CE</sub> = -20 V, I <sub>C</sub> = -10 mA, f = 100 MHz	2		2.5		
f <sub>T</sub>	Transition Frequency V <sub>CE</sub> = -20 V, I <sub>C</sub> = -10 mA, See Note 4	200		250		MHz
C <sub>obc</sub>	Common-Base Open-Circuit Output Capacitance V <sub>CB</sub> = -5 V, I <sub>E</sub> = 0, f = 100 kHz to 1 MHz	4.5		4.5		pF
C <sub>in</sub>	Common-Base Open-Circuit Input Capacitance V <sub>EB</sub> = -0.5 V, I <sub>C</sub> = 0, f = 100 kHz to 1 MHz	10		10		pF

NOTES: 3. These parameters must be measured using pulse techniques. t<sub>w</sub> = 300 μs, duty cycle < 2%.  
4. To obtain f<sub>T</sub>, the |h<sub>fe</sub>| response is extrapolated at the rate of -6 dB per octave from f = 100 MHz to the frequency at which |h<sub>fe</sub>| = 1.

\*Operating characteristics at 25°C free-air temperature

PARAMETER	TEST CONDITIONS	2N3905		2N3906		UNIT
		A5T3905	MIN MAX	A5T3906	MIN MAX	
NF	Average Noise Figure V <sub>CE</sub> = -5 V, I <sub>C</sub> = -100 μA, R <sub>G</sub> = 1 kΩ, Noise Bandwidth = 15.7 kHz, See Note 5	5		4		dB

NOTE 5: Average Noise Figure is measured in an amplifier with response down 3 dB at 10 Hz and 10 kHz and a high-frequency rolloff of 6 dB/octave.

\*The asterisk identifies JEDEC registered data for the 2N3905 and 2N3906 only.

**TYPES 2N3905, 2N3906, A5T3905, A5T3906  
P-N-P SILICON TRANSISTORS**

\*Switching characteristics at 25°C free-air temperature

PARAMETER	TEST CONDITIONS†	2N3905		2N3906		UNIT
		A5T3905	MIN MAX	A5T3906	MIN MAX	
t <sub>d</sub>	Delay Time I <sub>C</sub> = -10 mA, I <sub>B</sub> (1) = -1 mA, V <sub>BE(off)</sub> = 0.5 V, R <sub>L</sub> = 275 Ω, See Figure 1	35		35		ns
t <sub>r</sub>	Rise Time I <sub>C</sub> = -10 mA, I <sub>B</sub> (1) = -1 mA, I <sub>B</sub> (2) = 1 mA, R <sub>L</sub> = 275 Ω, See Figure 2	35		35		ns
t <sub>s</sub>	Storage Time	200		225		ns
t <sub>f</sub>	Fall Time	60		75		ns

†Voltage and current values shown are nominal; exact values vary slightly with transistor parameters. Nominal base current for delay and rise times is calculated using the minimum value of V<sub>BE</sub>. Nominal base currents for storage and fall times are calculated using the maximum value of V<sub>BE</sub>.

\*The asterisk identifies JEDEC registered data for the 2N3905 and 2N3906 only.

**PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION**

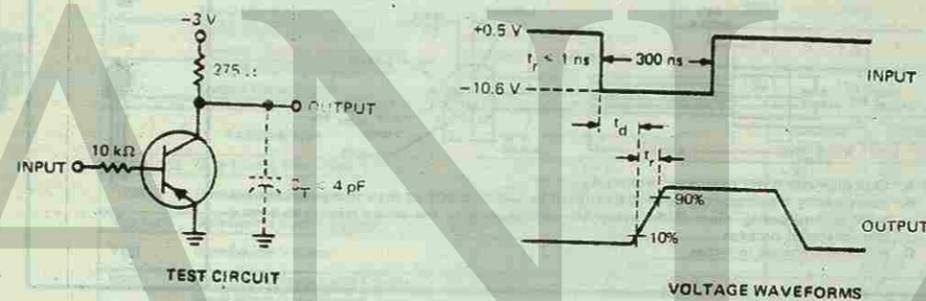


FIGURE 1—DELAY AND RISE TIMES

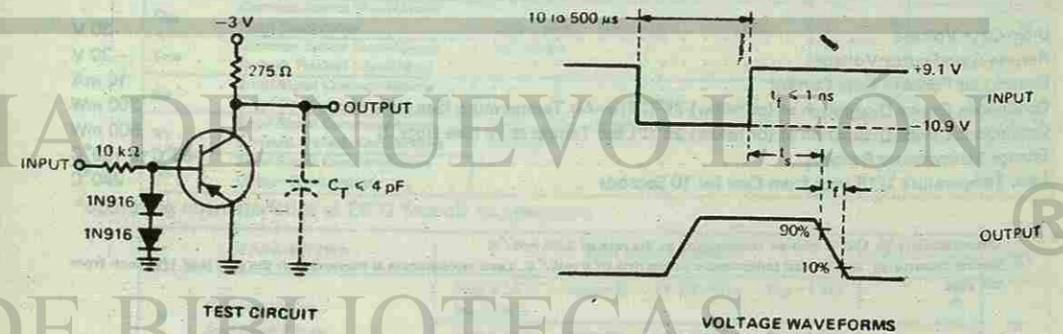


FIGURE 2—STORAGE AND FALL TIMES

NOTES: a. The input waveforms are supplied by a generator with the following characteristics: Z<sub>out</sub> = 50 Ω, duty cycle = 2%.  
b. Waveforms are monitored on an oscilloscope with the following characteristics: t<sub>r</sub> < 1 ns, R<sub>in</sub> = 10 MΩ, C<sub>in</sub> < 4 pF.

## TYPES 2N5949 THRU 2N5953 N-CHANNEL SILICON JUNCTION FIELD-EFFECT TRANSISTORS

BULLETIN NO. DL-S 7011338, APRIL 1970

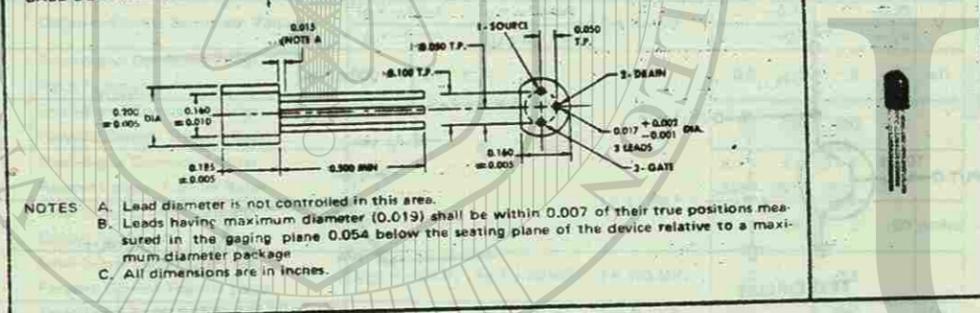
### SILECT<sup>†</sup> FIELD-EFFECT TRANSISTORS:

- Narrow  $I_{DSS}$  and  $V_{GS(off)}$  Ranges
- For Low-Noise Audio-Frequency Amplifier Applications
- For RF Amplifier Applications Thru 100 MHz
- Low  $r_{ds(on)}$  for Chopper and Switching Applications

#### mechanical data

These transistors are encapsulated in a plastic compound specifically designed for this purpose, using a highly mechanized process developed by Texas Instruments. The case will withstand soldering temperatures without deformation. These devices exhibit stable characteristics under high-humidity conditions and are capable of meeting MIL-STD-202C Method 106B. The transistors are insensitive to light.

#### \*CASE OUTLINE



#### \*absolute maximum ratings at 25°C free-air temperature (unless otherwise noted)

Drain-Gate Voltage	30 V
Reverse Gate-Source Voltage	-30 V
Continuous Forward Gate Current	10 mA
Continuous Device Dissipation at (or below) 25°C Free-Air Temperature (See Note 1)	360 mW
Continuous Device Dissipation at (or below) 25°C Lead Temperature (See Note 2)	500 mW
Storage Temperature Range	-65°C to 150°C
Lead Temperature 1/16 Inch from Case for 10 Seconds	260°C

- NOTES:**  
 1. Derate linearly to 150°C free-air temperature at the rate of 2.88 mW/°C.  
 2. Derate linearly to 150°C lead temperature at the rate of 4 mW/°C. Lead temperature is measured on the gate lead 1/16 inch from the case.

<sup>†</sup> U.S. registered data. This data sheet contains all applicable registered data in effect at the time of publication.  
 \* Trademark of Texas Instruments.  
 & Patent No. 3,439,238

USES CHIP JN51

## TYPES 2N5949 THRU 2N5953 N-CHANNEL SILICON JUNCTION FIELD-EFFECT TRANSISTORS

\*electrical characteristics at 25°C free-air temperature (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	2N5949		2N5950		2N5951		UNIT
		MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	
$V_{(BR)GSS}$ Gate-Source Breakdown Voltage	$I_G = -1 \mu A, V_{DS} = 0$	-30		-30		-30		V
$I_{GSS}$ Gate Reverse Current	$V_{GS} = -15 V, V_{DS} = 0, TA = 100^\circ C$		-1		-1		-1	nA
$V_{GS(off)}$ Gate-Source Cutoff Voltage	$V_{DS} = 15 V, I_D = 100 nA$	-3	-7	-2.5	-6	-2	-5	V
$V_{GS}$ Gate-Source Voltage	$V_{DS} = 15 V, I_D = 1.2 mA$	-2.25	-6					V
	$V_{DS} = 15 V, I_D = 1 mA$			-1.8	-5			
$I_{DSS}$ Zero-Gate-Voltage Drain Current	$V_{GS} = 0, V_{DS} = 15 V$	12	18	10	15	7	13	mA
	See Note 3							
$r_{ds(on)}$ Small-Signal Drain-Source On-State Resistance	$V_{GS} = 0, I_D = 0, f = 1 kHz$		200		210		250	$\Omega$
$ y_{fs} $ Small-Signal Common-Source Forward Transfer Admittance	$V_{DS} = 15 V, V_{GS} = 0, f = 1 kHz$	3.5	7.5	3.5	7.5	3.5	6.5	mmho
$ y_{os} $ Small-Signal Common-Source Output Admittance	See Note 4		75		75		75	$\mu mho$
$C_{iss}$ Common-Source Short-Circuit Input Capacitance	$V_{DS} = 15 V, V_{GS} = 0, f = 1 MHz$		6		6		6	pF
$C_{rss}$ Common-Source Short-Circuit Reverse Transfer Capacitance	See Note 4		2		2		2	pF
$g_{is}$ Small-Signal Common-Source Input Conductance			250		250		250	$\mu mho$
$g_{fs}$ Small-Signal Common-Source Forward Transfer Conductance	$V_{DS} = 15 V, V_{GS} = 0, f = 100 MHz$	3	7.5	3	7.5	3	6.5	mmho
$g_{os}$ Small-Signal Common-Source Output Conductance	See Note 4		150		125		100	$\mu mho$

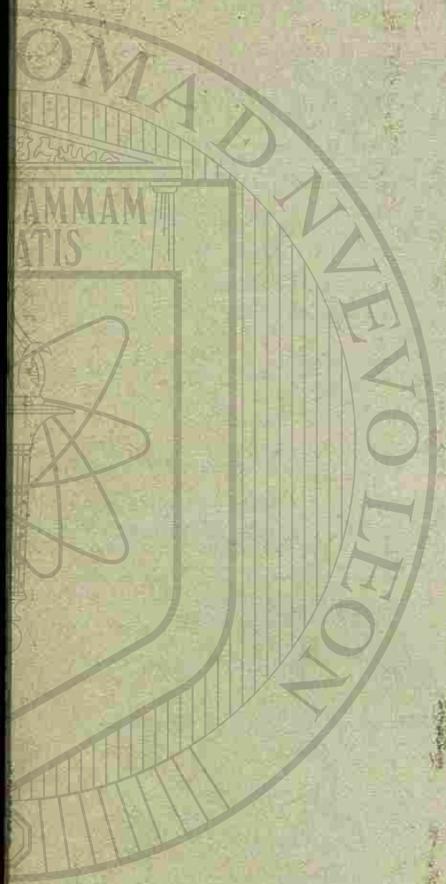
PARAMETER	TEST CONDITIONS	2N5952		2N5953		UNIT
		MIN	MAX	MIN	MAX	
$V_{(BR)GSS}$ Gate-Source Breakdown Voltage	$I_G = -1 \mu A, V_{DS} = 0$	-30		-30		V
$I_{GSS}$ Gate Reverse Current	$V_{GS} = -15 V, V_{DS} = 0, TA = 100^\circ C$		-1		-1	nA
$V_{GS(off)}$ Gate-Source Cutoff Voltage	$V_{DS} = 15 V, I_D = 100 nA$	-1.3	-3.5	-0.8	-3	V
$V_{GS}$ Gate-Source Voltage	$V_{DS} = 15 V, I_D = 0.4 mA$	-0.75	-3			V
	$V_{DS} = 15 V, I_D = 0.25 mA$			-0.5	-2.5	
$I_{DSS}$ Zero-Gate-Voltage Drain Current	$V_{GS} = 0, V_{DS} = 15 V$	4	8	2.5	5	mA
	See Note 3					
$r_{ds(on)}$ Small-Signal Drain-Source On-State Resistance	$V_{GS} = 0, I_D = 0, f = 1 kHz$		300		375	$\Omega$
$ y_{fs} $ Small-Signal Common-Source Forward Transfer Admittance	$V_{DS} = 15 V, V_{GS} = 0, f = 1 kHz$	2	6.5	2	6.5	mmho
$ y_{os} $ Small-Signal Common-Source Output Admittance	See Note 4		50		50	$\mu mho$
$C_{iss}$ Common-Source Short-Circuit Input Capacitance	$V_{DS} = 15 V, V_{GS} = 0, f = 1 MHz$		6		6	pF
$C_{rss}$ Common-Source Short-Circuit Reverse Transfer Capacitance	See Note 4		2		2	pF
$g_{is}$ Small-Signal Common-Source Input Conductance			250		250	$\mu mho$
$g_{fs}$ Small-Signal Common-Source Forward Transfer Conductance	$V_{DS} = 15 V, V_{GS} = 0, f = 100 MHz$	1	6.5	1	6.5	mmho
$g_{os}$ Small-Signal Common-Source Output Conductance	See Note 4		75		50	$\mu mho$

#### \*operating characteristics at 25°C free-air temperature

PARAMETER	TEST CONDITIONS	ALL TYPES		UNIT
		MIN	MAX	
$F$ Common-Source Spot Noise Figure	$V_{DS} = 15 V, V_{GS} = 0, f = 100 MHz, R_G = 1 k\Omega$		5	dB
	$V_{DS} = 15 V, V_{GS} = 0, f = 1 kHz, R_G = 1 M\Omega$		2	
$V_n$ Equivalent Input Noise Voltage	$V_{DS} = 15 V, V_{GS} = 0, f = 1 kHz$		100	nV/√Hz

- NOTES:**  
 3. This parameter must be measured using pulse techniques.  $t_w = 300 \mu s$ , duty cycle  $\leq 2\%$ .  
 4. These parameters must be measured with bias conditions applied for less than 5 seconds to avoid overheating.

\*JEDEC registered data



U A N L

SIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS