

**Electrónica II**

Manual de asignatura

# **Sistema de Universidades Tecnológicas**

**ELECTRICIDAD Y ELECTRÓNICA INDUSTRIAL**

Programa 2004

## Créditos

**Elaboró:** M.C. Rubén Loredo Amaro

**Revisó:** Comisión revisora.  
M.C Juan Almazán Covarrubias  
M.C. José Luís Ocampo Casados  
M.D. Julio Cesar Martínez Gámez

**Colaboradores:** -----

**Autorizó:** M.C Juan Almazán Covarrubias

## Contenido

### Objetivo general

CONOCER LOS DISPOSITIVOS ELECTRONICOS PARA EL CONTROL DE POTENCIA

### Habilidades por desarrollar en general

Escribir la habilidad propuesta que se debe desarrollar en esta asignatura.

		Horas			
		Teoría	Práctica	Total	Página
I	El amplificador operacional y sus funciones	19	7	26	
II	El scr y circuitos de disparo	12	6	18	
III	El triac y circuitos de disparo	8	4	12	
IV	Electrónica de potencia y aplicaciones.	22	12	34	

VI Nombre .....

Guía de practicas

# I Amplificador Operacional y sus Funciones

## **Objetivo particular de la unidad**

RECONOCER Y APLICAR CIRCUITOS CON AMPLIFICADORES OPERACIONALES

## **Habilidades por desarrollar en la unidad**

Escribir la habilidad propuesta que se debe desarrollar en esta asignatura.

### **I.1 EL AMPLIFICADOR OPERACIONAL Y SUS SUS FUNCIONES**

#### **Saber en la Teoría (7 hrs.)**

Funcionamiento del amplificador operacional ideal. Conceptos de: ganancia a lazo abierto y a lazo cerrado, impedancia de entrada y de salida y tierra virtual

Especificaciones de una hoja de datos. Encapsulados de amplificadores oper

Función de transferencia

De diferentes configuraciones: (comparador, amplificador inversor y no inversor, seguidor, amplificador de instrumentación, etc)

Características del amplificador operacional no ideal (cmrr, psrr, offset, etc).  
Ruido eléctrico y su importancia

Identificar y manejar los principales comandos del software de simulación gráfico

#### **Saber Hacer en la practica (19 hrs.)**

Identificar y expresar correctamente las principales características de un amplificador operacional ideal

Interpretar correctamente la hoja de datos de los amplificadores operacionales.  
Consultar hojas de datos y notas de aplicación de fabricantes por internet.

Hacer ejercicios de selección de acuerdo a las características de la aplicación  
Construir y probar circuitos del amp. Op. En diferentes configuraciones  
Medir y cancelar voltajes de offset y ruido de un amplificador operacional real

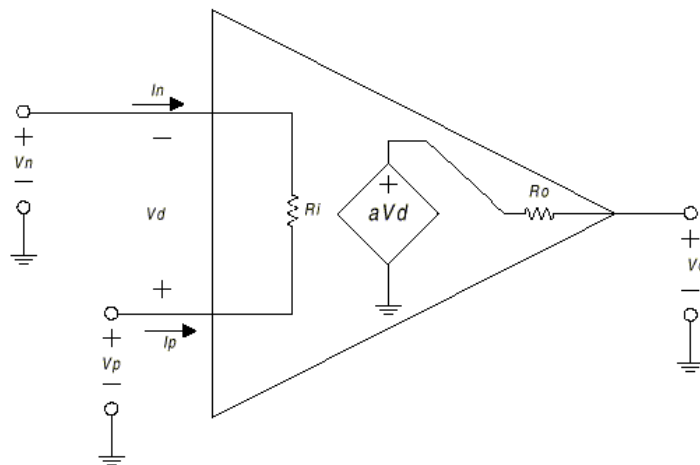
Realizar la simulación en software gráfico para probar circuitos del amp. Op. En diferentes configuraciones (comparador, amplificador inversor y no inversor, seguidor, detector de nivel, amplificador de instrumentación, etc)

**Resolver las prácticas de la Guía de Prácticas de la asignatura.**

## CONCEPTOS BÁSICOS DEL AMPLIFICADOR OPERACIONAL.

### El amplificador operacional ideal.-

Los fundamentos básicos del amplificador operacional ideal son relativamente fáciles. Quizás, lo mejor para entender el amplificador operacional ideal es olvidar todos los pensamientos convencionales sobre los componentes de los amplificadores, transistores, tubos u otros cualesquiera. En lugar de pensar en ellos, piensa en términos generales y considere el amplificador como una caja con sus terminales de entrada y salida. Trataremos, entonces, el amplificador en ese sentido ideal, e ignoraremos qué hay dentro de la caja.



$$V_0 = a V_d$$

$$a = \text{infinito}$$

$$R_i = \text{infinito}$$

$$R_o = 0$$

$$\text{BW (ancho de banda)} = \text{infinito}$$

$$V_0 = 0 \text{ sí } V_d = 0$$

En la **figura 1** se muestra un amplificador idealizado. Es un dispositivo de acoplo directo con entrada diferencial, y un único terminal de salida. El amplificador sólo responde a la diferencia de tensión entre los dos terminales de entrada, no a su potencial común. Una señal positiva en la entrada inversora (-), produce una señal negativa a la salida, mientras que la misma señal en la entrada no inversora (+) produce una señal positiva en la salida. Con una tensión de entrada diferencial,  $V_d$ , la tensión de salida,  $V_o$ , será  $a V_d$ , donde  $a$  es la ganancia del amplificador. Ambos terminales de entrada del amplificador se utilizarán siempre independientemente de la aplicación. La señal de salida es de un sólo terminal y está referida a masa, por consiguiente, se utilizan tensiones de alimentación bipolares ( $\pm$ )

Teniendo en mente estas funciones de la entrada y salida, podemos definir ahora las propiedades del amplificador ideal. Son las siguientes:

1. La ganancia de tensión es infinita:

$$a = \infty$$

2. La resistencia de entrada es infinita:

$$R_i = \infty$$

3. La resistencia de salida es cero:

$$R_o = 0$$

4. El ancho de banda es infinito:

$$BW = \infty$$

5. La tensión offset de entrada es cero:

$$V_0 = 0 \text{ si } V_d = 0$$

A partir de estas características del AO, podemos deducir otras dos importantes propiedades adicionales. Puesto que, la ganancia en tensión es infinita, cualquier señal de salida que se desarrolle será el resultado de una señal de entrada infinitesimalmente pequeña.

#### **Luego, en resumen:**

A partir de estas características del AO, podemos deducir otras dos importantes propiedades adicionales. Puesto que, la ganancia en tensión es infinita, cualquier señal de salida que se desarrolle será el resultado de una señal de entrada infinitesimalmente pequeña. Luego, en resumen:

#### **La tensión de entrada diferencial es nula.**

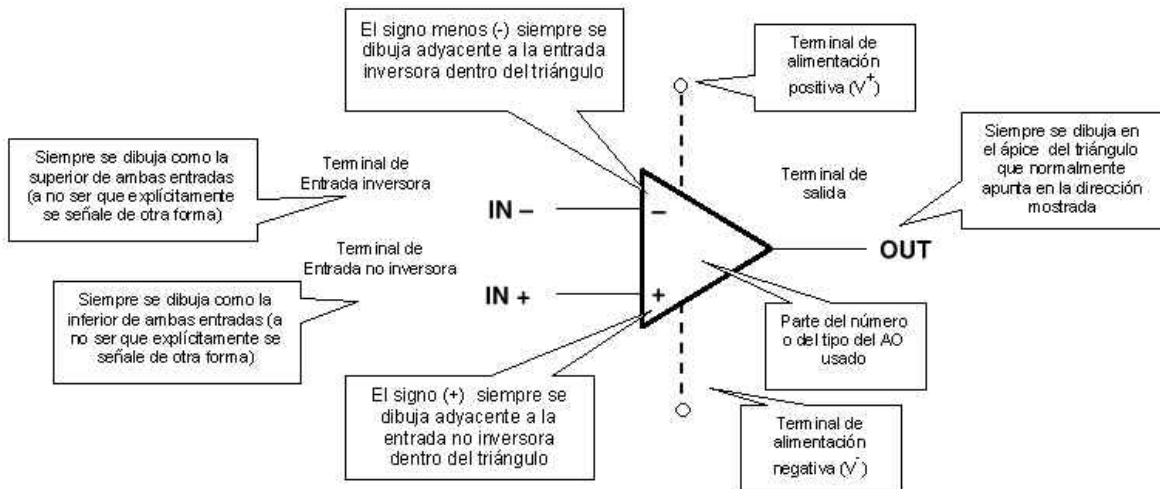
También, si la resistencia de entrada es infinita. **No existe flujo de corriente en ninguno de los terminales de entrada**

Estas dos propiedades pueden considerarse como axiomas, y se emplearán repetidamente en el análisis y diseño del circuito del AO. Una vez entendidas estas propiedades, se puede, lógicamente, deducir el funcionamiento de casi todos los circuitos amplificadores operacionales.

## **1.2 IMPORTANCIA DE LAS ESPECIFICACIONES EN LA APLICACIÓN. FUENTES DE DATOS**

### **SIMBOLO ESQUEMATICO DEL AMPLIFICADOR OPERACIONAL ESTANDAR Y SU USO.**

Una herramienta adicional básica del AO es su símbolo esquemático. Este es fundamental, dado que un esquema correctamente dibujado nos dice mucho sobre las funciones de un circuito. El símbolo más usado se muestra en la figura 9 con algunas aclaraciones anotadas.



El símbolo básico es un triángulo, el cual generalmente presupone amplificación. Las entradas están en la base del triángulo, y la salida en el ápice. De acuerdo con el convenio normal del flujo de señal, el símbolo se dibuja con el ápice (salida) a la derecha, pero puede alterarse si es necesario para clarificar otros detalles del circuito.

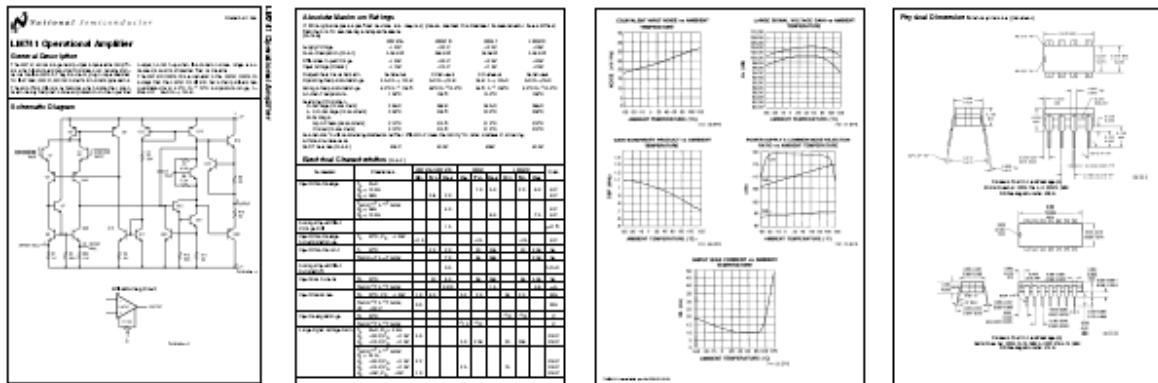
Usualmente, las dos entradas se dibujan como se indica en la figura; la entrada no inversora (+) es la inferior de las dos. Excepciones a esta regla se producen en circunstancias especiales, en las que podría ser difícil mantener el convenio estándar. Además, las dos entradas están claramente identificadas por los símbolos (+) y (-), los cuales se sitúan adyacentes a sus respectivos terminales dentro del cuerpo del triángulo.

Como se ve, los terminales de las tensiones de alimentación se dibujan, preferiblemente, por encima y debajo del triángulo. Estos pueden no ser mostrados en todos los casos (en favor de la simplicidad) pero siempre están implícitos. Generalmente, en croquis, basta con usar el símbolo de tres terminales para dar a entender el significado, sobreentendiendo las conexiones de alimentación.

Finalmente, el tipo o número del dispositivo utilizado se sitúa centrado en el interior del triángulo. Si el circuito es uno general, indicativo de un amplificador operacional cualquiera, se usa el símbolo A (o  $A_1$ ,  $A_2$ , etc.)

Las hojas de datos (data sheets) son el conjunto de especificaciones dado por el fabricante respecto a un determinado producto.





Las hojas de datos correspondientes a distintos fabricantes presentan semejanzas y diferencias. En general, pueden contener la siguiente información:

### 1.2.1 Descripción general y esquema del circuito

**1.2.2 Parámetros máximos absolutos:** si se superan, el dispositivo puede dañarse permanentemente. Bajo ninguna circunstancia deben ser igualados o superados.

- *Supply Voltage (voltaje de alimentación)*
- *Power Dissipation (potencia de disipación)*
- *Differential Input Voltage (voltaje diferencial de entrada):* voltaje límite aplicado entre ambas entradas.
- *Input Voltage or Common Mode Voltage (voltaje de entrada en modo común):* voltaje límite aplicado simultáneamente a ambas entradas.
- *Operating Temperature (temperatura de operación):* es el rango de temperatura ambiente para el cual el AO opera dentro de las especificaciones del fabricante. Notar la diferencia entre distintas versiones.
- *Output Short-Circuit Duration (duración del cortocircuito a la salida):* tiempo durante el cual la salida del AO puede cortocircuitarse a tierra o a cualquiera de las fuentes de alimentación sin sufrir daños.

**1.2.3 Características eléctricas:** son aquellos parámetros que pueden afectar o limitar el desempeño del circuito. Cotejando hojas de datos de distintos AO, el diseñador puede elegir aquel dispositivo cuyas características cumplan las especificaciones de diseño de su proyecto.

- *Input Offset Voltage (voltaje offset de entrada):* es el voltaje DC equivalente que debe aplicarse a una de las entradas mientras la otra está conectada a tierra para obtener 0[V] a la salida.
- *Input Bias Current (corriente de polarización de entrada):* es el promedio de las corrientes que circulan por las terminales de entrada en un AO no ideal.  $(I_{B+} + I_{B-})/2$
- *Input Offset Current (corriente offset de entrada):* es la diferencia entre las corrientes de entrada.  $I_{B+} - I_{B-}$ .

- *Input Voltage Range (rango de voltaje de entrada en modo común)*: es el rango de voltaje de entrada en modo común para el cual la salida no presenta distorsión.
- *Input Resistance (resistencia de entrada)*: es la resistencia interna de entrada vista desde cualquier entrada mientras la otra permanece conectada a tierra.
- *Output Resistance (resistencia de salida)*: es la resistencia interna vista entre la salida y tierra.
- *Output Short-Circuit Current (corriente de salida en cortocircuito)*: máxima corriente de salida que el AO puede entregar a la carga.
- *Maximum peak output voltage swing (voltaje de salida máximo o voltaje de saturación)*: en el AO ideal el voltaje de salida máximo es igual al voltaje de alimentación.
- *Large-Signal Voltage Gain or Open-Loop Voltage Gain (ganancia de voltaje en lazo abierto)*
- *Slew Rate at unity gain (razón o tasa de cambio para ganancia unitaria)*: idealmente la salida debe seguir a la entrada sin distorsiones, sin embargo el AO real tiene dificultades para seguir señales que cambian con el tiempo. Así:  $SR = \Delta V_o / \Delta t$
- *Supply Current (corriente de la fuente)*: corriente que el AO consume de la fuente de alimentación.
- *CMRR Common-Mode Rejection Ratio (razón de rechazo en modo común)*: es una medida de la habilidad del AO para rechazar señales presentes simultáneamente en ambas entradas. Idealmente las señales comunes no influyen sobre la salida, pero para un AO real se define  $CMRR = A_d / A_{cm} = \text{ganancia diferencial} / \text{ganancia en modo común}$ . Usualmente se mide en decibeles, donde  $CMRR(dB) = 20 \log CMRR$ . Ejemplo: si un AO presenta  $CMRR = 90 \text{ dB}$ , podemos decir que las señales comunes son amplificadas alrededor de 30000 veces menos que las señales no comunes.
- *Channel Separation (separación de canales)*: cuando en un encapsulado se encuentran más de un AO, también suele presentarse interferencia entre ellos. Es decir que en un 747, la/s señales presentes en las entradas de un AO repercuten en la salida del otro. La medida de qué tan bien las señales presentes a la entrada de un AO son rechazadas o atenuadas a la salida del resto de las secciones se mide en dB y se calcula como  $20 \log(v_{o1} / v_{o2})$ . Ejemplo: si la separación de canales de un 747 es de 120 dB, una señal de salida  $v_{o1} = 1 \text{ V}$  implicará una señal de salida  $v_{o2} = 1 \mu\text{V}$ .
- *Rise Time (tiempo de crecimiento)*: tiempo que la salida tarda, en respuesta a un pulso de entrada, en pasar del 10% al 90% de su valor final.

**1.2.4 Curvas típicas:** muestran gráficamente cómo varían las características eléctricas en función de distintas variables como la temperatura, la frecuencia, el voltaje de alimentación y el tiempo.

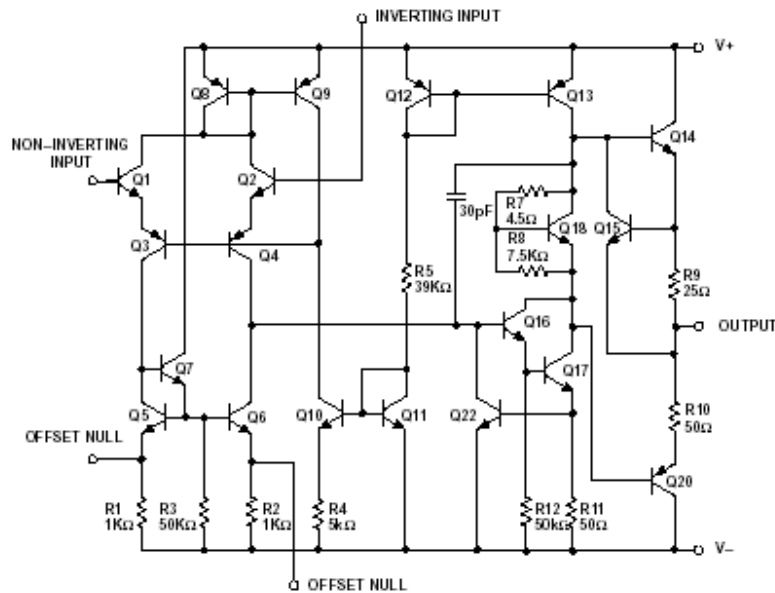
### **1.2.5 Configuración de pines, encapsulados disponibles y dimensiones físicas**

**1.2.6 Aplicaciones típicas:** esta sección se omite si el fabricante ofrece notas de aplicación en su lugar.

**AO 741**

El 741 es un AO de bajo costo ampliamente utilizado por ser de propósito general.

**1.2.6 Circuito**


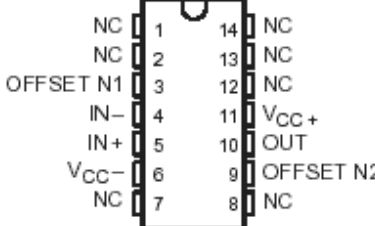

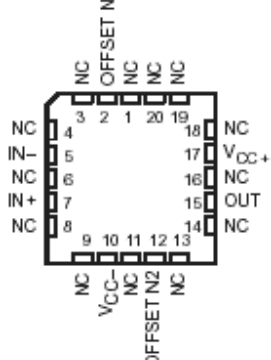


El AO 741 se consigue en el mercado con diferentes encapsulados.


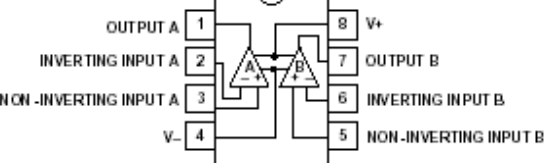

**1.2.7 Encapsulados**

741


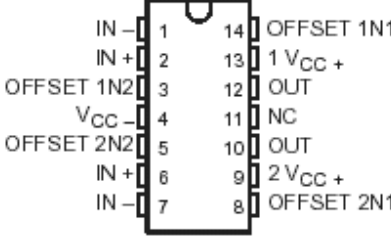
8-DIP		
8-SOP		
8-TSSOP		
TO-99 (metálico)		
10-CFP		

<p>14-DIP</p>		
<p>20-LCCC</p>		

1458 /1558 (contiene dos 741 en el espacio de uno)


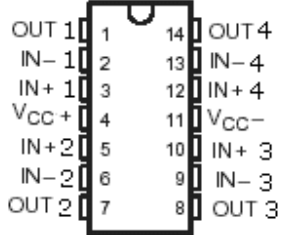

<p>8-DIP</p>		
<p>8-SOP</p>		

747 (contiene dos 741)


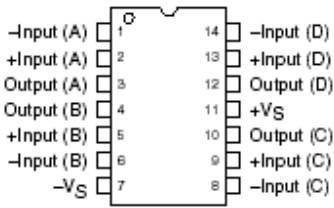

<p>TO-100</p>		
<p>14-CFP</p>		
<p>14-DIP</p>		
<p>14-SOP</p>		

<p>20-LCCC</p>		
----------------	---	--

LM148/248/348 / OP11 (contiene cuatro 741)

<p>14-DIP</p>		
<p>14-SOP</p>		

RC4136 / OP9 (contiene cuatro 741)

<p>14-DIP</p>		
<p>14-SOP</p>		

### 1.3 ANÁLISIS DE CIRCUITOS CON AMP. OPERACIONALES

Los amplificadores operacionales se pueden conectar según dos circuitos amplificadores básicos: las configuraciones (1) *inversora* y (2) *no inversora*. Casi todos los demás circuitos con amplificadores operacionales están basados, de alguna forma, en estas dos configuraciones básicas. Además, existen variaciones estrechamente relacionadas de estos dos circuitos, más otro circuito básico que es una combinación de los dos primeros: el *amplificador diferencial*.

- **El amplificador inversor**

La figura 2 ilustra la primera configuración básica del AO. El amplificador inversor. En este circuito, la entrada (+) está a masa, y la señal se aplica a la entrada (-) a través de R1, con realimentación desde la salida a través de R2.

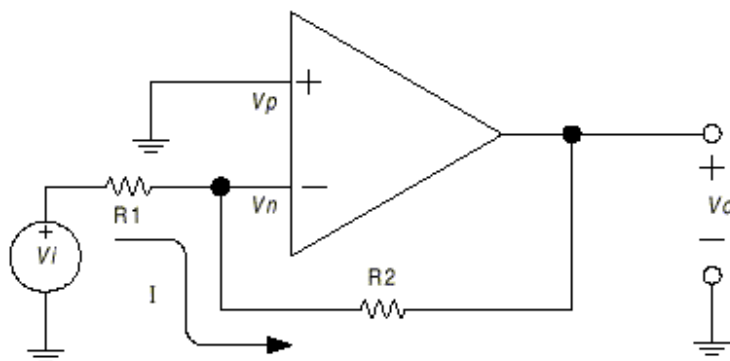


Fig. 2

Aplicando las propiedades anteriormente establecidas del AO ideal, las características distintivas de este circuito se pueden analizar como sigue.

Puesto que el amplificador tiene ganancia infinita, desarrollará su tensión de salida,  $V_0$ , con tensión de entrada nula. Ya que, la entrada diferencial de A es:

$$V_d = V_p - V_n, \implies V_d = 0. \text{ - Y si } V_d = 0,$$

entonces toda la tensión de entrada  $V_i$ , deberá aparecer en  $R_1$ , obteniendo una corriente en  $R_1$

$$I = \frac{V_i}{R_1}$$

$V_n$  está a un potencial cero, es un punto de *tierra virtual*

Toda la corriente  $I$  que circula por  $R_1$  pasará por  $R_2$ , puesto que no se derivará ninguna corriente hacia la entrada del operacional (Impedancia infinita), así pues el producto de  $I$  por  $R_2$  será igual a  $-V_0$

$$I = -\frac{V_0}{R_2}$$

$$\frac{V_i}{R_1} = -\frac{V_0}{R_2}$$

por lo que:

$$V_0 = -\frac{R_2}{R_1} \cdot V_i$$

**luego la ganancia del amplificador inversor:**

$$\frac{V_0}{V_i} = -\frac{R_2}{R_1}$$

Deben observarse otras propiedades adicionales del amplificador inversor ideal. La ganancia se puede variar ajustando bien  $R_1$ , o bien  $R_2$ . Si  $R_2$  varía desde cero hasta infinito, la ganancia variará también desde cero hasta infinito, puesto que es directamente proporcional a  $R_2$ . La impedancia de entrada es igual a  $R_1$ , y  $V_i$  y  $R_1$  únicamente determinan la corriente  $I$ , por lo que la corriente que circula por  $R_2$  es siempre  $I$ , para cualquier valor de dicha  $R_2$ .

La entra del amplificador, o el punto de conexión de la entrada y las señales de realimentación, es un nudo de tensión nula, independientemente de la corriente  $I$ . Luego, esta conexión es un punto de tierra virtual, un punto en el que siempre habrá el mismo potencial que en la entrada (+). Por tanto, este punto en el que se suman las señales de salida y entrada, se conoce también como nudo suma. Esta última característica conduce al tercer axioma básico de los amplificadores operacionales, el cual se aplica a la operación en bucle cerrado:

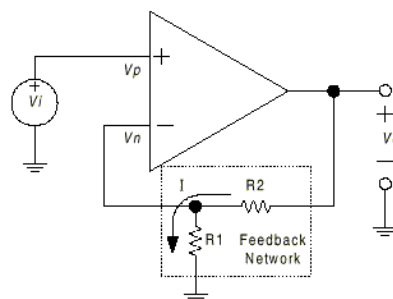
**En bucle cerrado, la entrada (-) será regulada al potencial de entrada (+) o de referencia.**

Esta propiedad puede aún ser o no ser obvia, a partir de la teoría de tensión de entrada de diferencial nula. Es, sin embargo, muy útil para entender el circuito del AO, ver la entrada (+) como un terminal de referencia, el cual controlará el nivel que ambas entradas asumen. Luego esta tensión puede ser masa (como en la figura 2), o cualquier potencial que se desee.

### EL AMPLIFICADOR NO INVERSOR

La segunda configuración básica del AO ideal es el amplificador no inversor, mostrado en la figura 3.

Este circuito ilustra claramente la validez del axioma3



**Fig. 3**

En este circuito, la tensión  $V_i$  se aplica a la entrada (+), y una fracción de la señal de salida,  $V_o$ , se aplica a la entrada (-) a través del divisor de tensión  $R_1 - R_2$ . Puesto que, no fluye corriente de entrada en ningún terminal de entrada, y ya que  $V_d = 0$ , la tensión en  $R_1$  será igual a  $V_i$ .

Así pues

$$V_i = I \cdot R_1$$

y como

$$V_o = I \cdot (R_1 + R_2)$$

tendremos pues que:

$$V_o = \frac{V_i}{R_1} \cdot (R_1 + R_2)$$

que si lo expresamos en términos de ganancia:

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

que es la ecuación característica de ganancia para el amplificador no inversor ideal.

También se pueden deducir propiedades adicionales para esta configuración. El límite inferior de ganancia se produce cuando  $R_2 = 0$ , lo que da lugar a una ganancia unidad.

En el amplificador inversor, la corriente a través de  $R_1$  siempre determina la corriente a través de  $R_2$ , independientemente del valor de  $R_2$ , esto también es cierto en el amplificador no inversor. Luego  $R_2$  puede utilizarse como un control de ganancia lineal, capaz de incrementar la ganancia desde el mínimo unidad hasta un máximo de infinito. La impedancia de entrada es infinita, puesto que se trata de un amplificador ideal.

## CONFIGURACIONES BASADAS EN LOS CIRCUITOS INVERSOR Y NO INVERSOR

### **EL AMPLIFICADOR DIFERENCIAL.-**

Una tercera configuración del AO conocida como el amplificador diferencial, es una combinación de las dos configuraciones anteriores. Aunque está basado en los otros dos circuitos, el amplificador diferencial tiene características únicas. Este circuito, mostrado en la figura 4, tiene aplicadas señales en ambos terminales de entrada, y utiliza la amplificación diferencial natural del amplificador operacional.



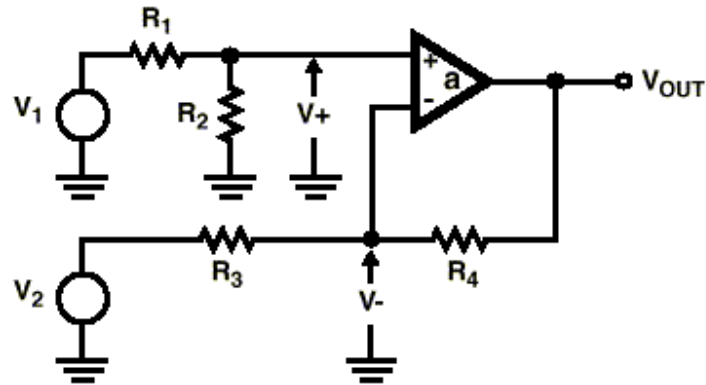


Fig. 4

Para comprender el circuito, primero se estudiarán las dos señales de entrada por separado, y después combinadas. Como siempre  $V_d = 0$  y la corriente de entrada en los terminales es cero.

Recordar que  $V_d = V(+) - V(-) \implies V(-) = V(+)$

La tensión a la salida debida a  $V_1$  la llamaremos  $V_{01}$

$$V(+)=\frac{V_1}{R_1+R_2}\cdot R_2$$

y como  $V(-) = V(+)$

La tensión de salida debida a  $V_1$  (suponiendo  $V_2 = 0$ ) valdrá:

$$V_{01}=\frac{V_1\cdot R_2}{R_1+R_2}\cdot\frac{R_3+R_4}{R_3}$$

Y la salida debida a  $V_2$  (suponiendo  $V_1 = 0$ ) será, usando la ecuación de la ganancia para el circuito inversor,  $V_{02}$

$$V_{02}=-V_2\frac{R_4}{R_3}$$

Y dado que, aplicando el teorema de la superposición la tensión de salida  $V_0 = V_{01} + V_{02}$  y haciendo que  $R_3$  sea igual a  $R_1$  y  $R_4$  igual a  $R_2$  tendremos que:

$$V_{01}=\frac{V_1\cdot R_2}{R_1} \quad V_{02}=-V_2\frac{R_2}{R_1}$$

por lo que concluiremos

$$V_0=(V_1-V_2)\cdot\frac{R_2}{R_1}$$

que expresando en términos de ganancia:

$$\frac{V_0}{V_1 - V_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

### que es la ganancia de la etapa para señales en modo diferencial

Esta configuración es única porque puede rechazar una señal común a ambas entradas. Esto se debe a la propiedad de tensión de entrada diferencial nula, que se explica a continuación.

En el caso de que las señales  $V_1$  y  $V_2$  sean idénticas, el análisis es sencillo.  $V_1$  se dividirá entre  $R_1$  y  $R_2$ , apareciendo una menor tensión  $V(+)$  en  $R_2$ . Debido a la ganancia infinita del amplificador, y a la tensión de entrada diferencial cero, una tensión igual  $V(-)$  debe aparecer en el nudo suma (-). Puesto que la red de resistencias  $R_3$  y  $R_4$  es igual a la red  $R_1$  y  $R_2$ , y se aplica la misma tensión a ambos terminales de entrada, se concluye que  $V_0$  debe estar a potencial nulo para que  $V(-)$  se mantenga igual a  $V(+)$ ;  $V_0$  estará al mismo potencial que  $R_2$ , el cual, de hecho está a masa. Esta muy útil propiedad del amplificador diferencial, puede utilizarse para discriminar componentes de ruido en modo común no deseables, mientras que se amplifican las señales que aparecen de forma diferencial. Si se cumple la relación

$$\frac{R_4}{R_3} = \frac{R_2}{R_1}$$

La ganancia para señales en modo común es cero, puesto que, por definición, el amplificador no tiene ganancia cuando se aplican señales iguales a ambas entradas.

Las dos impedancias de entrada de la etapa son distintas. Para la entrada (+), la impedancia de entrada es  $R_1 + R_2$ . La impedancia para la entrada (-) es  $R_3$ . La impedancia de entrada diferencial (para una fuente flotante) es la impedancia entre las entradas, es decir,  $R_1 + R_3$ .

### EL SUMADOR INVERSOR

Utilizando la característica de tierra virtual en el nudo suma (-) del amplificador inversor, se obtiene una útil modificación, el sumador inversor, **figura 5**.

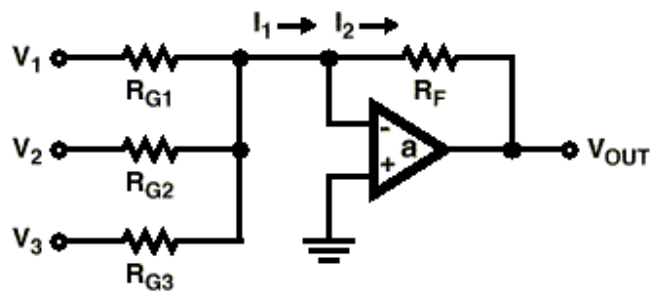


Fig. 5

En este circuito, como en el amplificador inversor, la tensión  $V(+)$  está conectada a masa, por lo que la tensión  $V(-)$  estará a una masa virtual, y como la impedancia de entrada es infinita toda la corriente  $I_1$  circulará a través de  $R_F$  y la llamaremos  $I_2$ . Lo que ocurre en este caso es que la corriente  $I_1$  es la suma algebraica de las corrientes proporcionadas por  $V_1$ ,  $V_2$  y  $V_3$ , es decir:

$$I_1 = \frac{V_1}{R_{G1}} + \frac{V_2}{R_{G2}} + \frac{V_3}{R_{G3}}$$

y también

$$I_2 = -\frac{V_{OUT}}{R_F}$$

Como  $I_1 = I_2$  concluiremos que:

$$V_{OUT} = -\left( V_1 \cdot \frac{R_F}{R_{G1}} + V_2 \cdot \frac{R_F}{R_{G2}} + V_3 \cdot \frac{R_F}{R_{G3}} \right)$$

que establece que la tensión de salida es la suma algebraica invertida de las tensiones de entrada multiplicadas por un factor corrector, que el alumno puede observar que en el caso en que  $R_F = R_{G1} = R_{G2} = R_{G3} \implies V_{OUT} = -(V_1 + V_2 + V_3)$

La ganancia global del circuito la establece  $R_F$ , la cual, en este sentido, se comporta como en el amplificador inversor básico. A las ganancias de los canales individuales se les aplica independientemente los factores de escala  $R_{G1}$ ,  $R_{G2}$ ,  $R_{G3}$ ,... étc. Del mismo modo,  $R_{G1}$ ,  $R_{G2}$  y  $R_{G3}$  son las impedancias de entrada de los respectivos canales.

Otra característica interesante de esta configuración es el hecho de que la mezcla de señales lineales, en el nodo suma, no produce interacción entre las entradas, puesto que todas las fuentes de señal alimentan el punto de tierra virtual. El circuito puede acomodar cualquier número de entradas añadiendo resistencias de entrada adicionales en el nodo suma.

Aunque los circuitos precedentes se han descrito en términos de entrada y de resistencias de realimentación, las resistencias se pueden reemplazar por elementos complejos, y los axiomas de los amplificadores operacionales se mantendrán como verdaderos. Dos circuitos que demuestran esto, son dos nuevas modificaciones del amplificador inversor.

## EL INTEGRADOR

Se ha visto que ambas configuraciones básicas del AO actúan para mantener constantemente la corriente de realimentación,  $I_F$  igual a  $I_{IN}$ .

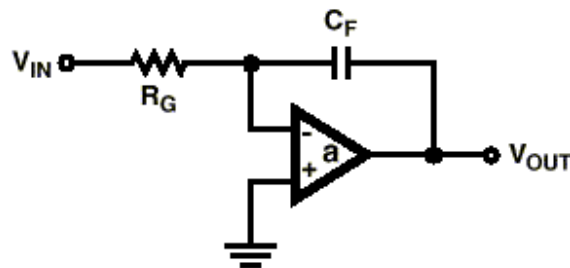


Fig. 6

Una modificación del amplificador inversor, el integrador, mostrado en la figura 6, se aprovecha de esta característica. Se aplica una tensión de entrada  $V_{IN}$ , a  $R_G$ , lo que da lugar a una corriente  $I_{IN}$ .

Como ocurría en el amplificador inversor,  $V(-) = 0$ , puesto que  $V(+) = 0$ , y por tener impedancia infinita toda la corriente de entrada  $I_{IN}$  pasa hacia el condensador  $C_F$ , llamaremos a esta corriente  $I_F$ .

El elemento realimentador en el integrador es el condensador  $C_F$ . Por consiguiente, la corriente constante  $I_F$ , en  $C_F$  da lugar a una rampa lineal de tensión. La tensión de salida es, por tanto, la integral de la corriente de entrada, que es forzada a cargar  $C_F$  por el lazo de realimentación.

La variación de tensión en  $C_F$  es

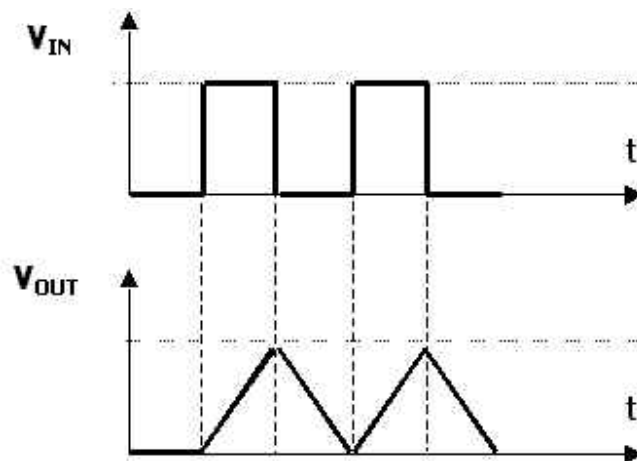
$$-\Delta V_{OUT} = \frac{I_{IN} \cdot \Delta t}{C_F}$$

lo que hace que la salida varíe por unidad de tiempo según:

$$\frac{\Delta V_{OUT}}{\Delta t} = \frac{-V_{IN}}{R_G \cdot C_F}$$

Como en otras configuraciones del amplificador inversor, la impedancia de entrada es simplemente  $R_G$

Obsérvese el siguiente diagrama de señales para este circuito



Por supuesto la rampa dependerá de los valores de la señal de entrada, de la resistencia y del condensador.

### ***El diferenciador***

Una segunda modificación del amplificador inversor, que también aprovecha la corriente en un condensador es el diferenciador mostrado en la **figura 7**.

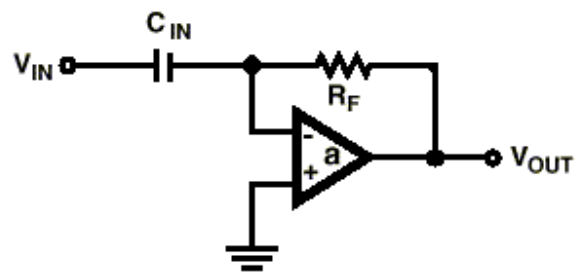


Fig. 7

En este circuito, la posición de R y C están al revés que en el integrador, estando el elemento capacitivo en la red de entrada. Luego la corriente de entrada obtenida es proporcional a la tasa de variación de la tensión de entrada:

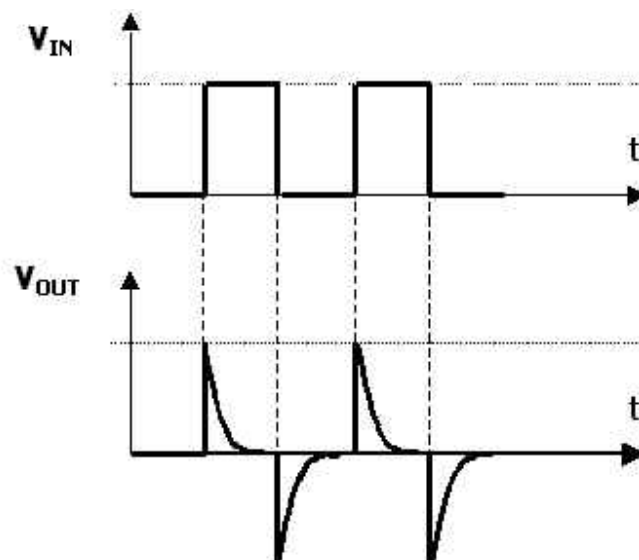
$$\Delta I_{IN} = \frac{V_{IN} \cdot C_{IN}}{\Delta t}$$

De nuevo diremos que la corriente de entrada  $I_{IN}$ , circulará por  $R_F$ , por lo que  $I_F = I_{IN}$

Y puesto que  $V_{OUT} = -I_F R_F$  Sustituyendo obtenemos

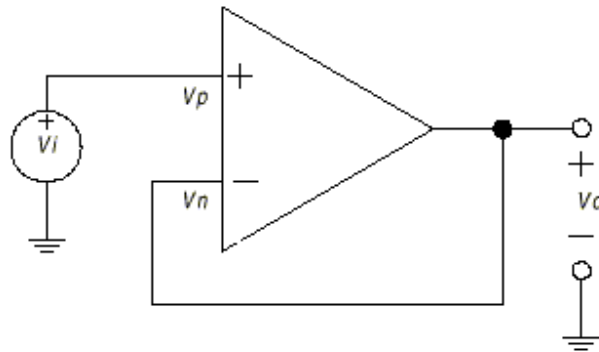
$$V_{OUT} = \frac{-\Delta V_{IN} \cdot R_F \cdot C_{IN}}{\Delta t}$$

Obsérvese el siguiente diagrama de señales para este circuito



### El seguidor de tensión

Una modificación especial del amplificador no inversor es la etapa de ganancia unidad mostrada en la figura 8



En este circuito, la resistencia de entrada se ha incrementado hasta infinito, y  $R_F$  es cero, y la realimentación es del 100%.  $V_o$  es entonces exactamente igual a  $V_i$ , dado que  $E_s = 0$ . El circuito se conoce como "seguidor de emisor" puesto que la salida es una réplica en fase con ganancia unidad de la tensión de entrada. La impedancia de entrada de esta etapa es también infinita.

### Resumen de las configuraciones básicas del amplificador y sus características.

Todas las características de los circuitos que se han descrito son importantes, puesto que, son las bases para la completa fundamentación de la tecnología de los circuitos amplificadores operacionales. Los cinco criterios básicos que describen al amplificador ideal son fundamentales, y a partir de estos se desarrollan los tres principales axiomas de la teoría de los amplificadores operacionales, los cuales repetimos aquí:

- 1.- La tensión de entrada diferencial es nula
- 2.- No existe flujo de corriente en ninguno de los terminales de entrada
- 3.- En bucle cerrado, la entrada (-) será regulada al potencial de entrada (+) o de referencia.

Estos tres axiomas se han ilustrado en todos los circuitos básicos y sus variaciones. En la configuración inversora, los conceptos de corriente de entrada nula, y tensión de entrada diferencial cero, dan origen a los conceptos de nudo suma y tierra virtual, donde la entrada inversora se mantiene por realimentación al mismo potencial que la entrada no inversora a masa. Usando el concepto de la entrada no inversora como terminal de referencia, el amplificador no inversor y el seguidor de emisor ilustran como una tensión de entrada es indirectamente multiplicada a través de una realimentación negativa en la entrada inversora, la cual es forzada a seguir con un potencial idéntico. La configuración diferencial combina estos conceptos, ilustrando el ideal de la simultaneidad de la amplificación diferencial y del rechazo de la señal en modo común. Las variaciones del inversor ponen de nuevo de manifiesto los principios básicos. En todos estos circuitos, hemos visto también cómo el funcionamiento está solamente determinado por los componentes conectados externamente al amplificador.

Hasta este momento, hemos definido el AO en sentido ideal y hemos examinado sus configuraciones básicas. Con una definición adicional, la simbología del dispositivo, llegaremos al mundo real de los dispositivos prácticos, examinaremos sus desviaciones respecto al ideal, y veremos cómo superarlas.

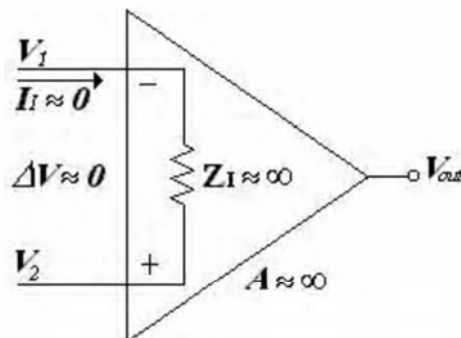
## 1.4 EL AMPLIFICADOR OPERACIONAL NO IDEAL

Los circuitos electrónicos actuales utilizados para realizar el acondicionamiento de señal de gran cantidad de dispositivos de medición hacen uso amplio del amplificador operacional.

Las características más importantes del amplificador operacional pueden resumirse en:

**Ganancia de tensión en cc.** elevada entre  $10^3$  a  $10^6$ , esta es la relación entre una variación en la tensión de salida y la variación correspondiente en la entrada diferencial de tensión, como esta ganancia es tan elevada, solo se necesita un pequeño diferencial de voltaje entre sus terminales de entrada para obtener el máximo valor en su terminal de salida. Ej. Si la ganancia de voltaje es de  $10^4$  y el voltaje de saturación, ósea voltaje máximo de salida es de 10 voltios, el voltaje diferencial que se necesita entre sus terminales de entrada es de  $10/10^4 = 0.001$ , como este valor diferencial de voltaje es tan pequeño se puede decir "idealmente" que sus terminales de entrada están en corto circuito, denominado también corto virtual.

**Impedancia de entrada elevada**, de 10 KW a 1000 MW, esta impedancia de entrada tan alta hace que la corriente de entrada al amplificador operacional sea prácticamente nula ( $I_{in} = 0$ ), por lo tanto para el análisis de circuitos se considera como un circuito abierto.



Como  $\Delta V \approx 0 \rightarrow V_1 \approx V_2$  : Se considera como corto virtual

Como  $Z_1 \approx \infty \rightarrow I_1 \approx 0$  : Se considera como circuito abierto

### Bajo consumo de potencia

**Resistencia de salida.** Esta se encuentra aproximadamente entre 50W y 200W. La resistencia de salida efectiva de un amplificador operacional se reduce cuando se conectan los componentes externos de realimentación, por lo que se considera que la resistencia de salida total se considera 0.

**Entradas de modo común.** El amplificador operacional es básicamente un amplificador diferencial, de modo que idealmente podría amplificar sólo la diferencia entre los voltajes que aparecen en la entrada, así que cualquier voltaje que aparezca simultáneamente en sus dos entradas sería completamente eliminada y de ninguna manera afectaría la señal de salida, pero sin embargo una pequeña parte de la señal en modo común aparecerá en la salida. Ej. La entrada no inversora tiene una entrada de 5 V dc, y la entrada inversora tiene una señal de entrada de 5 V dc + 0.5 mV p-p ac. Idealmente el amplificador operacional sólo amplificaría la diferencia de 0.5 mV ac. e ignoraría la señal de modo común de 5 V dc. que es la señal que aparece en ambos terminales de entrada. La salida tendrá una componente que es solamente del orden de una milésima o menos de la señal en modo común que aparece en sus entradas. El factor exacto de atenuación de la señal en modo común se denomina ganancia de modo común, y es la relación entre:

$$A_{VCM} = \frac{\text{Voltaje de salida de modo común}}{\text{Voltaje de entrada de modo común}}$$

Una especificación más utilizada para ver la capacidad de un amplificador operacional para ignorar una señal de modo común es la *razón de rechazo en modo común*, abreviada CMRR. Y es la relación entre:

$$CMRR = \frac{A_{VOL}}{A_{VCM}} = \frac{\text{Ganancia de voltaje diferencia l}}{\text{Ganancia de voltaje en modo común}}$$

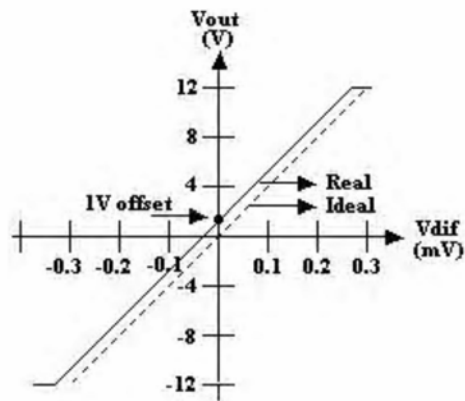
Ej: Un amplificador operacional con una ganancia diferencial de 50.000, y una ganancia de modo común de 0.001, la *razón de rechazo en modo común* es de:

$$CMRR = \frac{A_{VOL}}{A_{VCM}} = \frac{50.000}{0.001} = 50.000.000$$

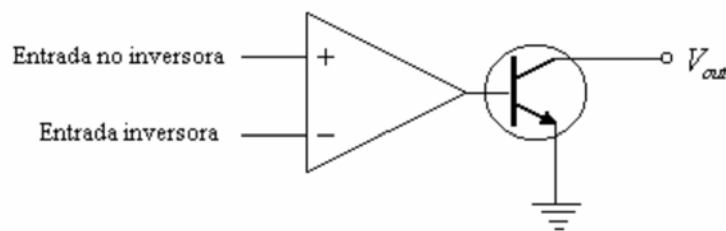
Esto quiere decir que el amplificador operacional amplifica una señal diferencial 50 millones de veces lo que amplifica una señal en modo común. Entre mas alto sea el CRM, mejor es el amplificador operacional.



**Desbalance (offset):** El desbalance es el problema que hace que el valor de voltaje de salida no sea cero cuando el voltaje de entrada es cero. En términos gráficos, la curva de transferencia no pasa por el origen. Esto se puede observar en la siguiente figura.



**De colector abierto:** Esto implica que al amplificador operacional internamente tiene un transistor bipolar el cual le permite el manejo de una gran diversidad de cargas.



---

---

## II EL SCR Y CIRCUITOS DE DISPARO

### Objetivo particular de la unidad

DESCRIBIR AL SCR Y SUS CIRCUITOS DE DISPARO

### Habilidades por desarrollar en la unidad

Escribir la habilidad propuesta que se debe desarrollar en esta asignatura.

### Saber en la Teoría (7 hrs.)

Teoría y operación del scr. curvas de respuesta del scr.

Especificaciones de una hoja de datos. Encapsulados. scrs de potencia

Características de compuerta del scr. circuitos típicos de control de compuerta del scr (redes rc, ujt, optoaisladores etc)

Necesidad de las protecciones en los scrs. Protecciones  $dv/dt$  y  $di/dt$ , de sobrecorriente y sobrecalentamiento

Comportamiento de cargas r, l, c, fem y combinaciones

### Saber Hacer en la practica (19 hrs.)

Definir correctamente los parámetros: corriente de disparo de compuerta, corriente de mantenimiento, caída de voltaje en estado de conducción, etc. prueba del scr con ohmetro

Interpretar correctamente la hoja de datos y notas de aplicación del fabricante. Empleo del manual de sustitución. consultar hojas de datos de fabricantes por internet. Conocer físicamente scrs de potencia para aplicaciones industriales

Construir y probar circuitos de encendido y control de disparo de compuerta variando el ángulo de conducción. observar en el osciloscopio

Identificar físicamente las diferentes protecciones que debe llevar un scr para su operación segura

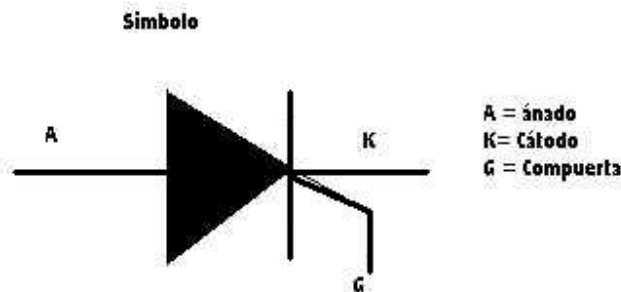
Observar en el osciloscopio el comportamiento de diferentes cargas al conectarse a un scr

Realizar la simulación en software grafico del scr para probar observar en el osciloscopio el comportamiento de diferentes cargas al conectarse a un scr

Realizar la simulación en software grafico del scr para probar probar circuitos de encendido y control de disparo de compuerta variando el ángulo de conducción. observar en el osciloscopio

## 2.1 EL SCR Y CIRCUITOS DE DISPARO

Es un dispositivo de tres terminales que se comporta como un disco rectificador,



conduce en directo y no conduce en inverso, pero adicionalmente para entrar en conducción debe inyectarse en el compuerta una corriente mayor que una corriente de compuerta mínima ( $I_{Gmin}$ ) que es diferente para cada referencia de SCR, la aplicación de la corriente de compuerta cuando el SCR está en directo para que entre en conducción se llama el disparo del SCR.

Una vez que el SCR ha entrado en conducción, se mantiene así todo el tiempo que el circuito externo mantenga una corriente a través del SCR mayor que una corriente mínima de sostenimiento.

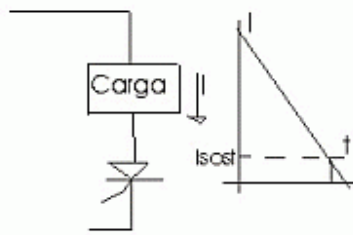
Cuando la corriente del SCR se hace menor que la corriente de sostenimiento éste deja de conducir, a este proceso se llama conmutación apagado.

Conmutación natural: cuando el circuito de carga por los voltajes aplicados hace que la corriente sea menor que la de sostenimiento.

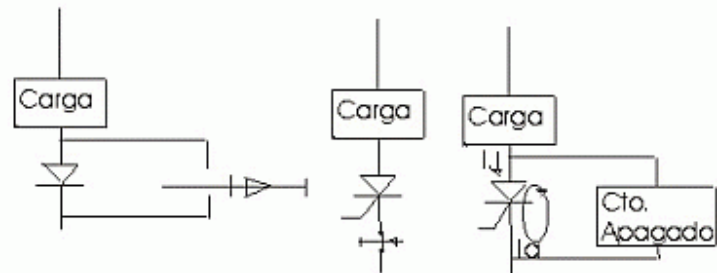
Conmutación forzada: Cuando se coloca un circuito adicional que induzca la conmutación, hay tres formas típicas:

- a. Colocar un interruptor normalmente abierto en paralelo, al cerrarlo la corriente se va por el interruptor y la corriente del SCR se vuelve cero apagándose.
- b. Colocar un interruptor normalmente cerrado en serie, al abrirlo la corriente se hace cero y apaga el SCR.
- c. Un circuito que inyecte una corriente de cátodo hacia ánodo de forma que la suma de las corrientes inyectada y de carga se haga menor que la corriente de sostenimiento.

## Commutación Natural



## Commutación Forzada



Cuando el voltaje de ánodo a cátodo varía en el tiempo ( $dv/dt$ ) muy rápido el SCR puede entrar en conducción sin corriente de compuerta, ésta es una situación indeseada y se debe de evitar pues produce estados de conducción no deseados.

Las características principales de un SCR son:

$I_{Tmax}$  : Máxima corriente que puede conducir (pico, RMS o promedio)

$V_{Dmax}$  : Máximo voltaje entre ánodo o cátodo (inverso o directo en no conducción).

$I_{GTmin}$  : Corriente de compuerta mínima para producir el disparo.

$V_{GTmax}$  : Voltaje compuerta cátodo máximo

$I_{hold min}$  : Corriente de sostenimiento mínima.

$V_{FON}$  : Voltaje ánodo cátodo cuando está en conducción

$dv/dt_{max}$  : Máxima variación de voltaje admisible sin disparo

## 2.2 IMPORTANCIA DE LAS ESPECIFICACIONES. FUENTES DE DATOS

### 2.3 CIRCUITOS DE DISPARO Y ÁNGULO DE DISPARO

### 2.4 PROTECCIONES

### 2.5 CARGAS

## 3.1 EL TRIAC

### INTRODUCCION

El triac es un dispositivo semiconductor de tres terminales que se usa para controlar el flujo de corriente promedio a una carga, con la particularidad de que conduce en ambos sentidos y puede ser bloqueado por inversión de la tensión o al disminuir la corriente por debajo del valor de mantenimiento. El triac puede ser disparado independientemente de la polarización de puerta, es decir, mediante una corriente de puerta positiva o negativa.

### DESCRIPCION GENERAL

Cuando el triac conduce, hay una trayectoria de flujo de corriente de muy baja resistencia de una terminal a la otra, dependiendo la dirección de flujo de la polaridad del voltaje externo aplicado. Cuando el voltaje es mas positivo en MT2, la corriente fluye de

MT2 a MT1 en caso contrario fluye de MT1 a MT2. En ambos casos el triac se comporta como un interruptor cerrado. Cuando el triac deja de conducir no puede fluir corriente entre las terminales principales sin importar la polaridad del voltaje externo aplicado por tanto actúa como un interruptor abierto.

Debe tenerse en cuenta que si se aplica una variación de tensión importante al triac ( $dv/dt$ ) aún sin conducción previa, el triac puede entrar en conducción directa.

### CONSTRUCCION BASICA, SIMBOLO, DIAGRAMA EQUIVALENTE

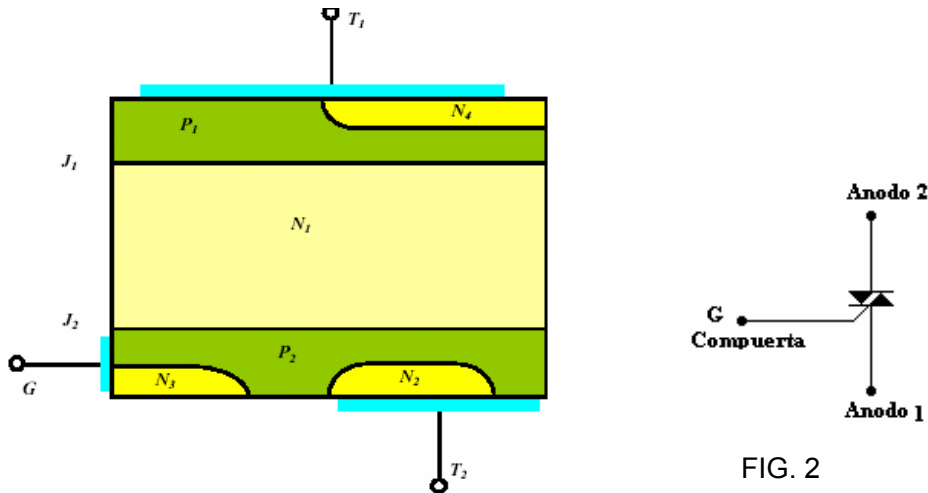


FIG. 2

La estructura contiene seis capas como se indica en la FIG. 1, aunque funciona siempre como un tiristor de cuatro capas. En sentido MT2-MT1 conduce a través de P1N1P2N2 y en sentido MT1-MT2 a través de P2N1P1N4. La capa N3 facilita el disparo con intensidad de puerta negativa. La complicación de su estructura lo hace más delicado que un tiristor en cuanto a  $di/dt$  y  $dv/dt$  y capacidad para soportar sobre intensidades. Se fabrican para intensidades de algunos amperios hasta unos 200 A eficaces y desde 400 a 1000 V de tensión de pico repetitivo. Los triac son fabricados para funcionar a frecuencias bajas, los fabricados para trabajar a frecuencias medias son denominados *alternistores*. En la FIG. 2 se muestra el símbolo esquemático e identificación de las terminales de un triac, la nomenclatura Ánodo 2 (A2) y Ánodo 1 (A1) pueden ser reemplazados por Terminal Principal 2 (MT2) y Terminal Principal 1 (MT1) respectivamente.

El Triac actúa como dos rectificadores controlados de silicio (SCR) en paralelo Fig. 3, este dispositivo es equivalente a dos latches

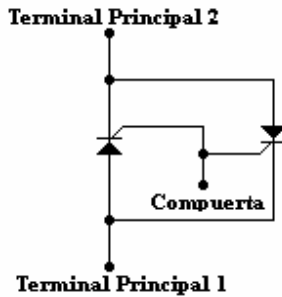


FIG. 3

### CARACTERÍSTICA TENSION – CORRIENTE

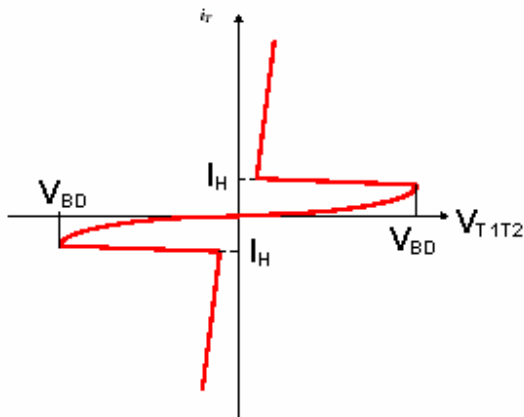


FIG. 4

La FIG. 4 describe la característica tensión – corriente del Triac. Muestra la corriente a través del Triac como una función de la tensión entre los ánodos  $MT_2$  y  $MT_1$ .

El punto  $V_{BD}$  ( tensión de ruptura ) es el punto por el cual el dispositivo pasa de una resistencia alta a una resistencia baja y la corriente, a través del Triac, crece con un pequeño cambio en la tensión entre los ánodos.

El Triac permanece en estado ON hasta que la corriente disminuye por debajo de la corriente de mantenimiento  $I_H$ . Esto se realiza por medio de la disminución de la tensión de la fuente. Una vez que el Triac entra en conducción, la compuerta no controla mas la conducción, por esta razón se acostumbra dar un pulso de corriente corto y de esta manera se impide la disipación de energía sobrante en la compuerta.

El mismo proceso ocurre con respecto al tercer cuadrante, cuando la tensión en el ánodo  $MT_2$  es negativa con respecto al ánodo  $MT_1$  y obtenemos la característica invertida. Por esto es un componente simétrico en cuanto a conducción y estado de bloqueo se refiere, pues la característica en el cuadrante I de la curva es igual a la del III

### 3.2 IMPORTANCIA DE LAS ESPECIFICACIONES. FUENTES DE DATOS

### 3.3 DISPARO DE TRIACS

Como hemos dicho, el Triac posee dos ánodos denominados ( MT1 y MT2) y una compuerta G.

La polaridad de la compuerta G y la polaridad del ánodo 2, se miden con respecto al ánodo 1.

El triac puede ser disparado en cualquiera de los dos cuadrantes I y III mediante la aplicación entre los terminales de compuerta G y MT1 de un impulso positivo o negativo. Esto le da una facilidad de empleo grande y simplifica mucho el circuito de disparo. Veamos cuáles son los fenómenos internos que tienen lugar en los cuatro modos posibles de disparo.

**1** – El primer modo del primer cuadrante designado por **I (+)**, es aquel en que la tensión del ánodo MT2 y la tensión de la compuerta son positivas con respecto al ánodo MT1 y este es el modo mas común (Intensidad de compuerta entrante).

La corriente de compuerta circula internamente hasta MT1, en parte por la unión P2N2 y en parte a través de la zona P2. Se produce la natural inyección de electrones de N2 a P2, que es favorecida en el área próxima a la compuerta por la caída de tensión que produce en P2 la circulación lateral de corriente de compuerta. Esta caída de tensión se simboliza en la figura por signos + y - .

Parte de los electrones inyectados alcanzan por difusión la unión P2N1 que bloquea el potencial exterior y son acelerados por ella iniciándose la conducción.

**2** – El Segundo modo, del tercer cuadrante, y designado por **III(-)** es aquel en que la tensión del ánodo MT2 y la tensión de la compuerta son negativos con respecto al ánodo MT1 (Intensidad de compuerta saliente).

Se dispara por el procedimiento de puerta remota, conduciendo las capas P2N1P1N4. La capa N3 inyecta electrones en P2 que hacen más conductora la unión P2N1. La tensión positiva de T1 polariza el área próxima de la unión P2N1 más positivamente que la próxima a la puerta. Esta polarización inyecta huecos de P2 a N1 que alcanzan en parte la unión N1P1 y la hacen pasar a conducción.

**3** – El tercer modo del cuarto cuadrante, y designado por **I(-)** es aquel en que la tensión del ánodo MT2 es positiva con respecto al ánodo MT1 y la tensión de disparo de la compuerta es negativa con respecto al ánodo MT1( Intensidad de compuerta saliente).

El disparo es similar al de los tiristores de puerta de unión. Inicialmente conduce la estructura auxiliar P1N1P2N3 y luego la principal P1N1P2N2.

El disparo de la primera se produce como en un tiristor normal actuando T1 de puerta y P de cátodo. Toda la estructura auxiliar se pone a la tensión positiva de T2 y polariza fuertemente la unión P2N2 que inyecta electrones hacia el área de potencial positivo. La unión P2N1 de la estructura principal, que soporta la tensión exterior, es invadida por electrones en la vecindad de la estructura auxiliar, entrando en conducción.

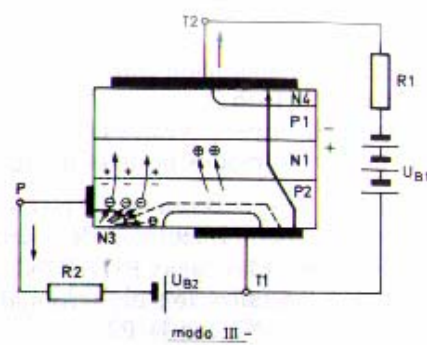
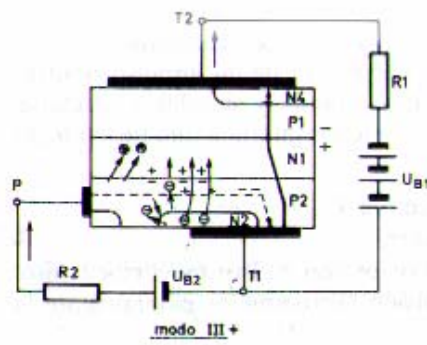
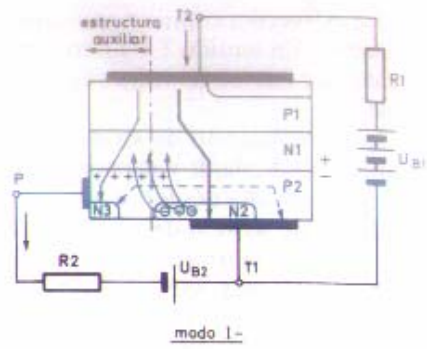
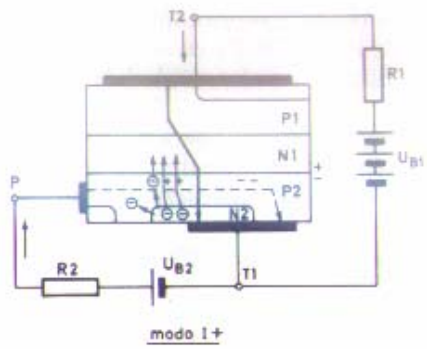
**4 –** El cuarto modo del Segundo cuadrante y designado por **III(+)** es aquel en que la tensión del ánodo T2 es negativa con respecto al ánodo MT1, y la tensión de disparo de la compuerta es positiva con respecto al ánodo MT1(Intensidad de compuerta entrante). El disparo tiene lugar por el procedimiento llamado de puerta remota. Entra en conducción la estructura P2N1P1N4.

La inyección de N2 a P2 es igual a la descrita en el modo I(+). Los que alcanzan por difusión la unión P2N1 son absorbido por su potencial de unión, haciéndose más conductora. El potencial positivo de puerta polariza más positivamente el área de unión P2N1 próxima a ella que la próxima a T1, provocándose una inyección de huecos desde P2 a N1 que alcanza en parte la unión N1P1 encargada de bloquear la tensión exterior y se produce la entrada en conducción.

El estado I(+), seguido de III(-) es aquel en que la corriente de compuerta necesaria para el disparo es mínima. En el resto de los estados es necesaria una corriente de disparo mayor. El modo III(+) es el de disparo más difícil y debe evitarse su empleo en lo posible.

En general, la corriente de encendido de la compuerta, dada por el fabricante, asegura el disparo en todos los estados.

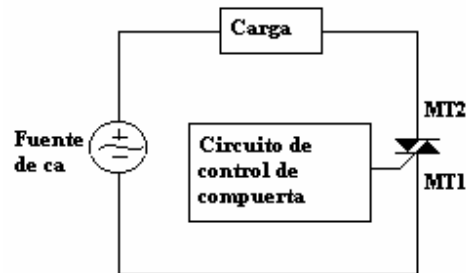




## FORMAS DE ONDA DE LOS TRIACS

La relación en el circuito entre la fuente de voltaje, el triac y la carga se representa en la FIG.7. La corriente promedio entregada a la carga puede variarse alterando la cantidad de tiempo por ciclo que el triac permanece en el estado encendido. Si permanece una parte pequeña del tiempo en el estado encendido, el flujo de corriente promedio a través de muchos ciclos será pequeño, en cambio si permanece durante una parte grande del ciclo de tiempo encendido, la corriente promedio será alta.

Un triac no está limitado a 180° de conducción por ciclo. Con un arreglo adecuado del disparador, puede conducir durante el total de los 360° del ciclo. Por tanto proporciona control de corriente de onda completa, en lugar del control de media onda que se logra con un SCR.



Las formas de onda de los triacs son muy parecidas a las formas de onda de los SCR, a excepción de que pueden dispararse durante el semiciclo negativo. En la FIG.8 se muestran las formas de onda tanto para el voltaje de carga como para el voltaje del triac (a través de los terminales principales) para dos condiciones diferentes.

En la FIG.8 (a), las formas de onda muestran apagado el triac durante los primeros 30° de cada semiciclo, durante estos 30° el triac se comporta como un interruptor abierto, durante este tiempo el voltaje completo de línea se cae a través de las terminales principales del triac, sin aplicar ningún voltaje a la carga. Por tanto no hay flujo de corriente a través del triac y la carga.

La parte del semiciclo durante la cual existe esta situación se llama ángulo de retardo de disparo.

Después de transcurrido los 30°, el triac dispara y se vuelve como un interruptor cerrado y comienza a conducir corriente a la carga, esto lo realiza durante el resto del semiciclo. La parte del semiciclo durante la cual el triac está encendido se llama ángulo de conducción.

La FIG.8 (b) muestran las mismas formas de ondas pero con ángulo de retardo de disparo mayor.

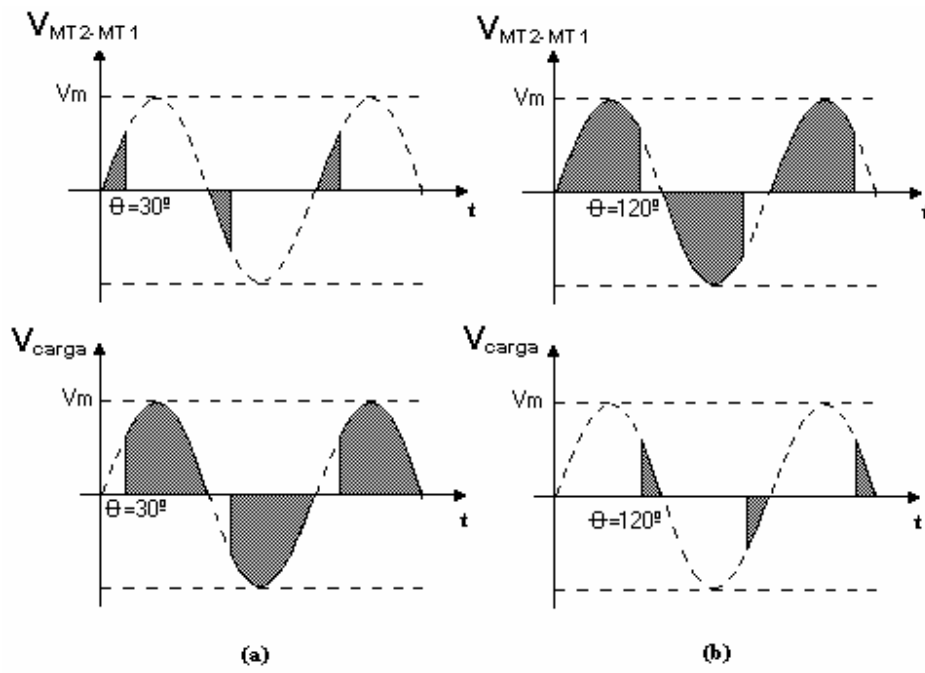
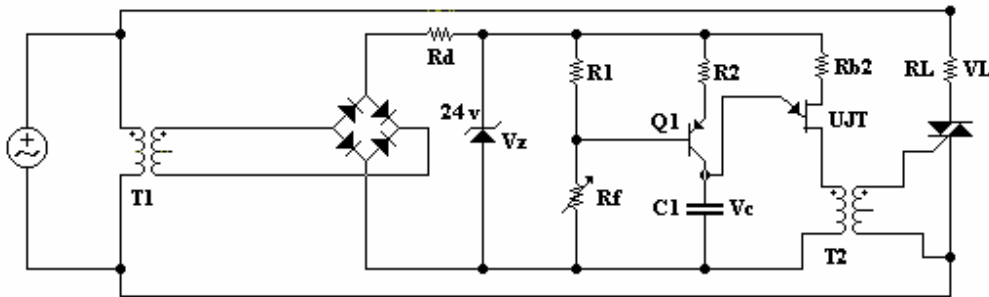


FIG.8

### CIRCUITO PRACTICO PARA DISPARO



En la FIG. 5 se muestra un circuito práctico de disparo de un triac utilizando un UJT. El resistor  $R_F$  es un resistor variable que se modifica a medida que las condiciones de carga cambian. El transformador T1 es un transformador de aislamiento, y su propósito es aislar eléctricamente el circuito secundario y el primario, para este caso aísla el circuito de potencia ca del circuito de disparo.

La onda senoidal de ca del secundario de T1 es aplicada a un rectificador en puente y la salida de este a una combinación de resistor y diodo zener que suministran una forma de onda de 24 v sincronizada con la línea de ca. Esta forma de onda es mostrada en la FIG. 6 (a).

Cuando la alimentación de 24 v se establece, C1 comienza a cargarse hasta la  $V_p$  del UJT, el cual se dispara y crea un pulso de corriente en el devanado primario del transformador T2. Este se acopla al devanado secundario, y el pulso del secundario es entregado a la compuerta del triac, encendiéndolo durante el resto del semiciclo. Las formas de onda del capacitor ( $V_{C1}$ ), corriente del secundario de T2 ( $I_{sec}$ ) y voltaje de carga ( $V_{LD}$ ), se muestran en la FIG. 6 (b), (c), (d).

La razón de carga de C1 es determinada por la razón de  $R_F$  a  $R_1$ , que forman un divisor de voltaje, entre ellos se dividen la fuente de cd de 24 v que alimenta al circuito de disparo. Si  $R_F$  es pequeño en relación a  $R_1$ , entonces  $R_1$  recibirá una gran parte de la fuente de 24 v, esto origina que el transistor pnp  $Q_1$  conduzca, con una circulación grande de corriente por el colector pues el voltaje de  $R_1$  es aplicado al circuito de base, por lo tanto C1 se carga con rapidez. Bajo estas condiciones el UJT se dispara pronto y la corriente de carga promedio es alta.

Por otra parte si  $R_F$  es grande en relación a  $R_1$ , entonces el voltaje a través de  $R_1$  será menor que en el caso anterior, esto provoca la aparición de un voltaje menor a través del circuito base-emisor de  $Q_1$  con la cual disminuye su corriente de colector y por consiguiente la razón de carga de C1 se reduce, por lo que le lleva mayor tiempo acumular el  $V_p$  del UJT. Por lo tanto el UJT y el triac se disparan después en el semiciclo y la corriente de carga promedio es menor que antes.

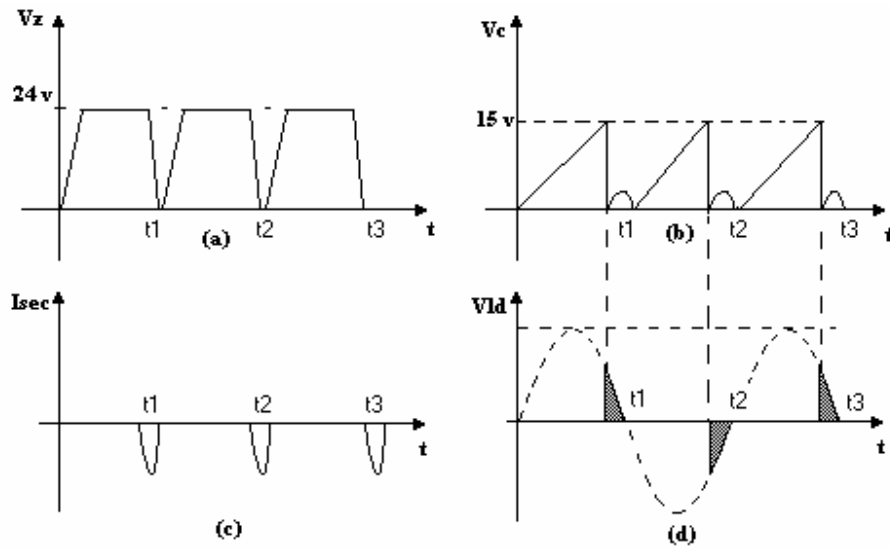


FIG.6

**3.4 PROTECCIONES****3.5 SIMULACIÓN DEL TRIAC****4.1 ENUNCIAR APLICACIONES DE CONTROL DE POTENCIA EN CD Y CA****1.2 OTROS DISPOSITIVOS****4.3 PWM****4.4 APLICACIONES EN CD****4.5 APLICACIONES EN CA****4.6 SIMULACIÓN DEL PWM**

---

---

# Guía de Prácticas

## Prácticas de la unidad 1

### PRÁCTICA No. \_\_

---

Fecha	Grupo	
No de alumnos por práctica	No. de alumnos por reporte	
Nombre y firma del profesor		
Nombre (s) del alumno (s)		
Tiempo estimado	Hrs	Calificación

---

#### 1. Objetivo.

Escribir el objetivo de la práctica

#### 2. Materiales y/o equipos.

Listar los materiales y equipo en caso de requerirse.

#### 3. Desarrollo general.

Escribir el desarrollo que llevará el alumno en la actividad.

#### 4. Resultados y conclusiones de la práctica por parte del alumno.

## Bibliografía

- 1    Escribir el Nombre del libro o manual  
     Escribir el Nombre del autor  
     Escribir la Editorial  
     Escribir la Edición
  
- 2    Escribir el Nombre del libro o manual  
     Escribir el Nombre del autor  
     Escribir la Editorial  
     Escribir la Edición
  
- 3    Escribir el Nombre del libro o manual  
     Escribir el Nombre del autor  
     Escribir la Editorial  
     Escribir la Edición

Etc, etc.

# Guía de Prácticas

## Prácticas de la unidad 1

### PRÁCTICA No. 1 AMPLIFICADOR DE GANACIA UNITARIA (SEGUIDOR DE VOLTAJE)

Fecha	Grupo	
No de alumnos por práctica	No. de alumnos por reporte	
Nombre y firma del profesor		
Nombre (s) del alumno (s)		
Tiempo estimado	Hrs	Calificación

#### 1. Objetivo.

Demostrar que la impedancia de entrada del circuito del amplificador operacional conectado como amplificador de ganancia unitaria es alta, basándose en el efecto de carga de un circuito de resistencias en serie paralelo.

#### 2. Materiales y/o equipos.

3 resistencias de 1kohm  
1 A.O .lm741  
Fuente de alimentación de laboratorio  
Multimetro



### 3. Desarrollo general.

Escribir el desarrollo que llevará el alumno en la actividad.

3.1 Arme el circuito de la figura 1

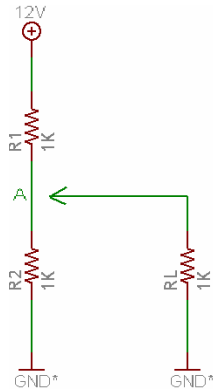


FIGURA 1

3.2 Mida el voltaje en el nodo A sin la resistencia de carga  $R_L$ ,  $V_A =$  \_\_\_\_\_

3.3 Mida el voltaje en el nodo A, pero ahora con una resistencia de Carga el voltaje es de \_\_\_\_\_ V, mencione si aumenta, disminuye o es igual el voltaje \_\_\_\_\_.

3.4 Arme el circuito amplificador de ganancia unitaria como se muestra en la figura 2 y mida los voltajes de entrada y de salida del amplificador operacional, ¿Cuál es el voltaje de entrada  $V_i =$  \_\_\_\_\_ y de Salida  $V_o =$  \_\_\_\_\_

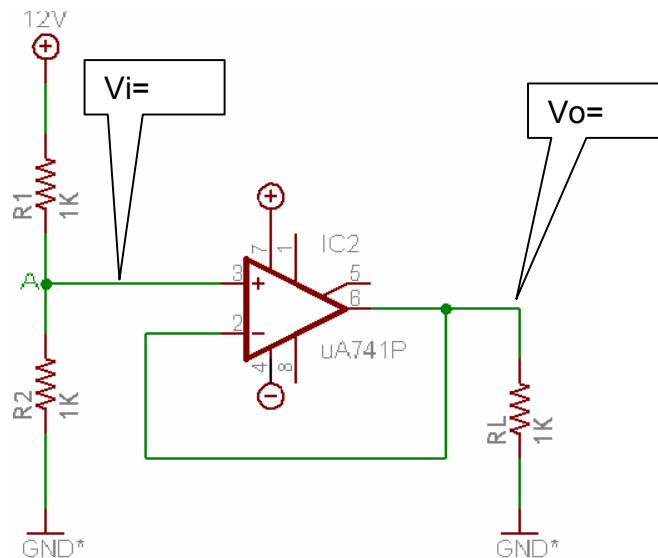


FIGURA 2

---

---

¿Hubo variación significativa en el voltaje en el nodo A?

---

---

---

---

¿Qué relación tiene con la alta impedancia de entrada del amplificador operacional en modo de conexión de amplificador de ganancia unitaria.

---

---

---

---

**4. Resultados y conclusiones de la práctica por parte del alumno.**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Prácticas de la unidad 1

### PRÁCTICA No. 2 AMPLIFICADOR INVERSOR

Fecha	Grupo	
No de alumnos por práctica	No. de alumnos por reporte	
Nombre y firma del profesor		
Nombre (s) del alumno (s)		
Tiempo estimado	Hrs	Calificación

#### 1. Objetivo

Determinar que la ganancia en lazo cerrado de un amplificador operacional esta determinada por la división de las resistencia de retroalimentación y por la resistencia de entrada ( $-R_f/R_1$ ) en una amplificador inversor, además de que existe una inversión de polaridad con respecto al voltaje de entrada, si esta voltaje fuera de alterna su salida será  $180^\circ$  defasada con respecto al voltaje de entrada.

#### 2. Materiales y/o equipos.

.  
1 resistencias de 1k  
1 resistencia de 10k  
1 A.O .uA741  
Fuente de alimentación de laboratorio  
Multimetro  
1 Osciloscopio con dos puntas de prueba  
1 generador de señal.

### 3. Desarrollo general.

- Arme el circuito de la figura 1

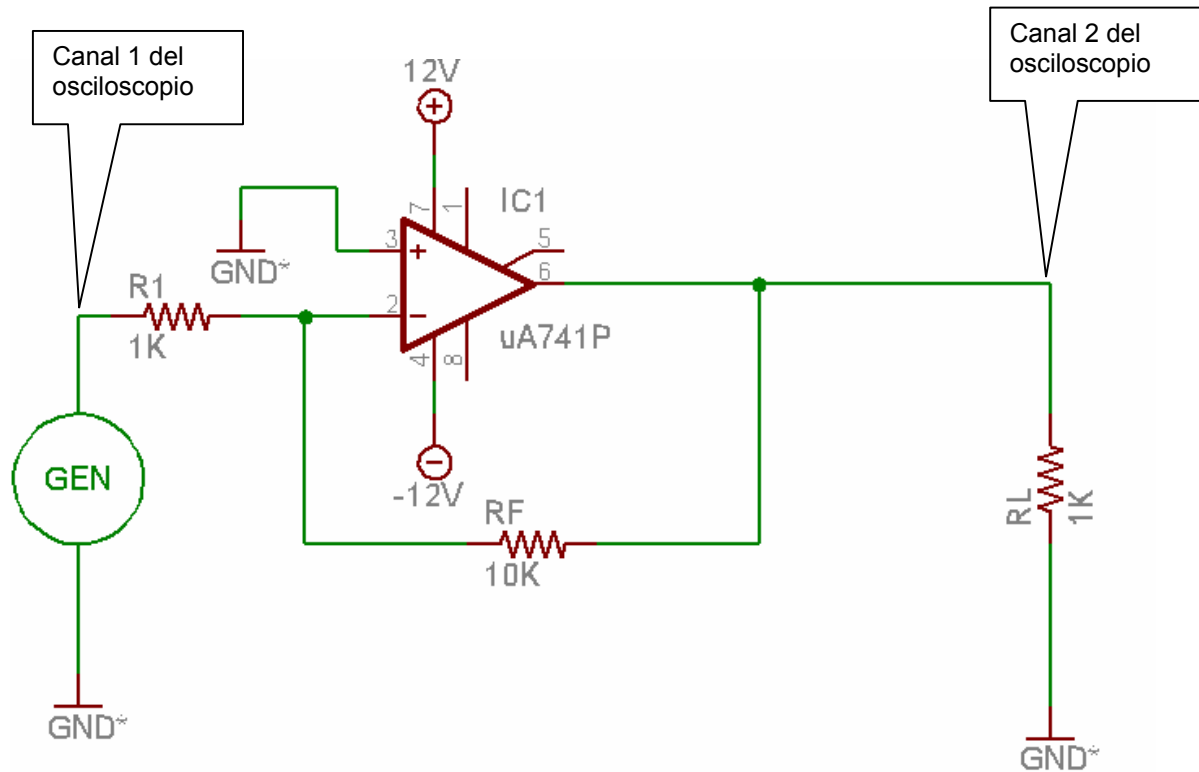


FIGURA 1 Amplificador Inversor

- Calibrar el osciloscopio, a 1 volts/div y ajustar la salida del generador de onda senoidal a 500mv pico a una frecuencia de 1khz.
- Conectar el generador a la entrada de la resistencia R1 y en el mismo nodo conectar el canal 1 del osciloscopio.
- Conectar la salida del amplificador operacional al canal 2
- Poner el osciloscopio en modo dual para poder ver las dos formas de onda con para comparar tanto la entrada como la salida.
- Dibuje las señales en la pantalla del osciloscopio

Se cumple la formula:

$$V_o = \left( -\frac{R_F}{R_1} \right) * V_i$$

Donde  $V_i$  es el voltaje de entrada del amplificador operacional que entra por la resistencia  $R_1$  (salida del generador)

$V_o$  = es la salida amplificada por el A.O LM741 reflejado en la resistencia de carga  $R_L$

$R_f$  = resistencia de retroalimentación

$R_1$  = resistencia de entrada

Haga los cálculos teóricos y compárelos con los prácticos

Teórico	Practico
$V_i =$	$V_i =$
$V_o =$	$V_o =$
Ganancia $(-R_f/R_1) =$	Ganancia $V_o/V_i =$

#### 4. Resultados y conclusiones de la práctica por parte del alumno.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Prácticas de la unidad 1

### PRÁCTICA No. 3 AMPLIFICADOR NO INVERSOR

---

Fecha	Grupo	
No de alumnos por práctica	No. de alumnos por reporte	
Nombre y firma del profesor		
Nombre (s) del alumno (s)		
Tiempo estimado	Hrs	Calificación

---

#### 1. Objetivo

Determinar que la ganancia en lazo cerrado de un amplificador operacional en configuración no inversor, esta determinada por la división de las resistencias de retroalimentación y por la resistencia de entrada ( $1+R_f/R_1$ ) en un amplificador inversor, además de que no existe una inversión de polaridad con respecto al voltaje de entrada como sucede en el amplificador Inversor.

#### 2. Materiales y/o equipos.

.  
1 resistencias de 1k  
1 resistencia de 10k  
1 A.O .uA741  
Fuente de alimentación de laboratorio  
Multímetro  
1 Osciloscopio con dos puntas de prueba  
1 generador de señal.

### 3. Desarrollo general.

- Arme el circuito de la figura 1

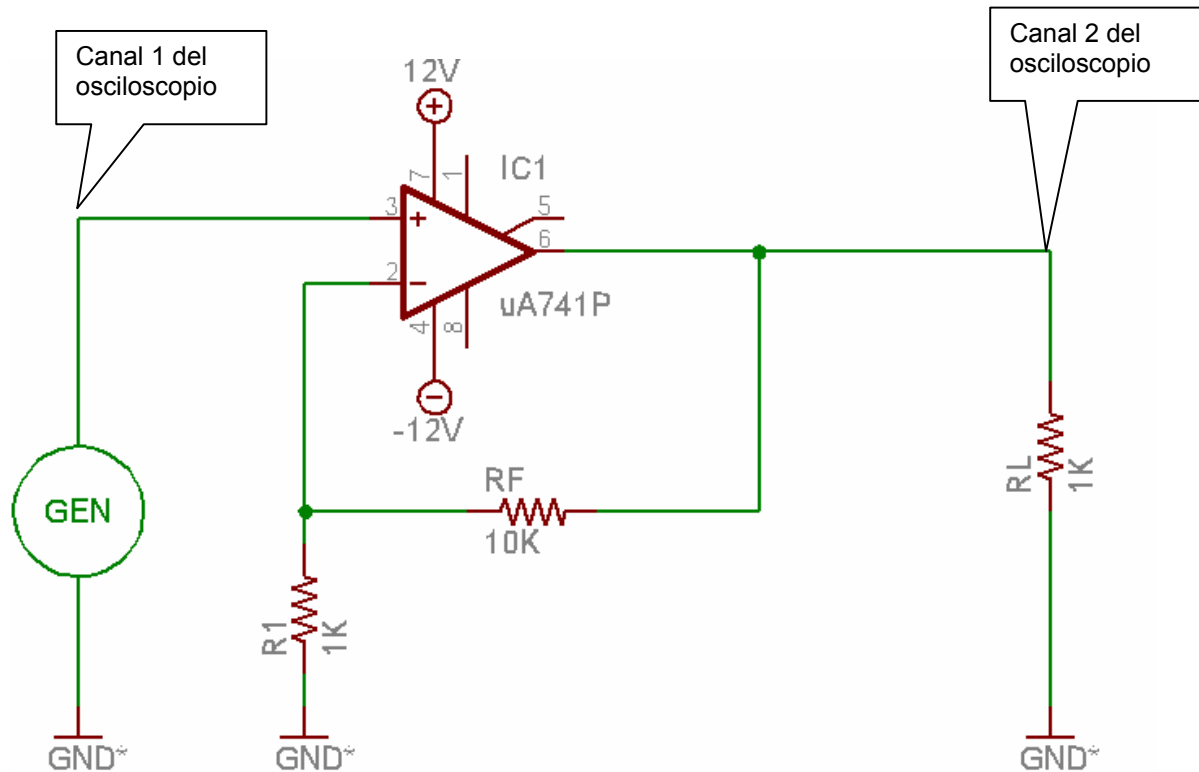


FIGURA 1 Amplificador no Inversor

- Calibrar el osciloscopio, a 1 volts/div y ajustar la salida del generador de onda senoidal a 500mv pico a una frecuencia de 1khz.
- Conectar el generador a la entrada de la resistencia R1 y en el mismo nodo conectar el canal 1 del osciloscopio.
- Conectar la salida del amplificador operacional al canal 2
- Poner el osciloscopio en modo dual para poder ver las dos formas de onda con para comparar tanto la entrada como la salida.
- Dibuje las señales en la pantalla del osciloscopio

Se cumple la formula:

$$V_o = \left(1 + \frac{R_F}{R_1}\right) * V_i$$

Donde  $V_i$  es el voltaje de entrada del amplificador operacional que entra por el pin número 3 entrada no inversora (de la salida del generador)

$V_o$  = es la salida amplificada por el A.O LM741 reflejado en la resistencia de carga  $R_L$

$R_f$  = resistencia de retroalimentación

$R_1$  = resistencia

Haga los cálculos teóricos y compárelos con los prácticos

Teórico	Practico
$V_i =$	$V_i =$
$V_o =$	$V_o =$
Ganancia $(1+R_f/R_1)=$	Ganancia $V_o/V_i =$

#### 4. Resultados y conclusiones de la práctica por parte del alumno.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



---

---

## Prácticas de la unidad 1

### PRÁCTICA No. 4 COMPARADOR DE VOLTAJE

---

Fecha	Grupo	
No de alumnos por práctica	No. de alumnos por reporte	
Nombre y firma del profesor		
Nombre (s) del alumno (s)		
Tiempo estimado	Hrs	Calificación

---

#### 1. Objetivo

#### 2. Materiales y/o equipos.

- 1 resistencias de 1k
- 1 resistencia de 1k
- 1 A.O .uA741
- 1 Fuente de alimentación de laboratorio
- 1 Multímetro
- 1 Osciloscopio con dos puntas de prueba
- 1 generador de señal.

### 3. Desarrollo general.

- Arme el circuito de la figura 1

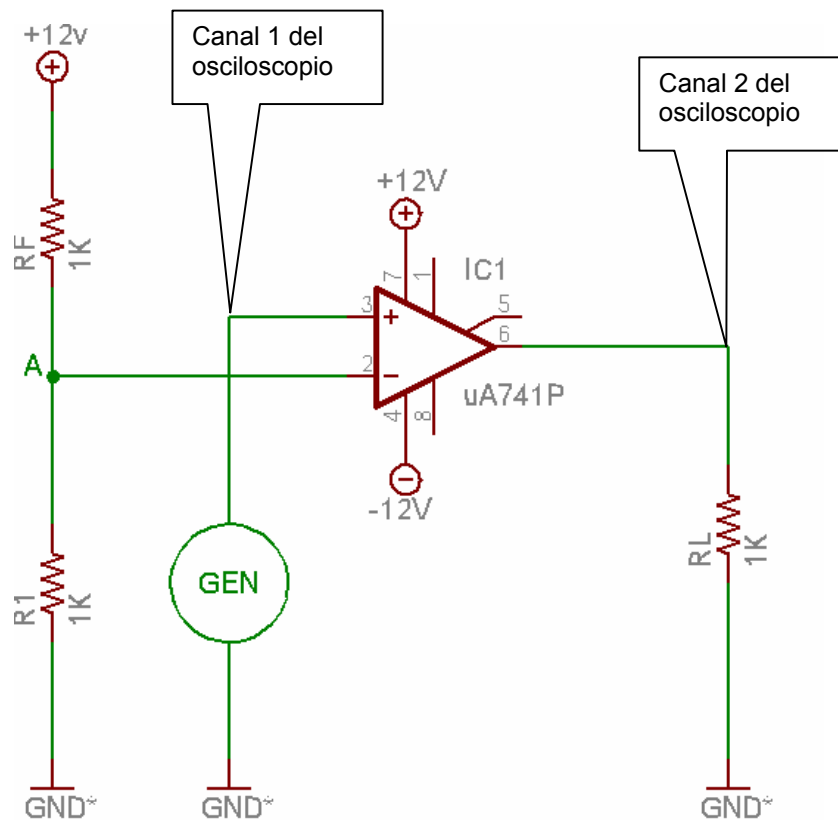


FIGURA 1 Amplificador no Inversor

- Calibrar el osciloscopio, a 5 volts/div y ajustar la salida del generador de onda triangular de 10v-pico a una frecuencia de 1khz.
- Conectar el generador a la entrada no inversora y en el mismo nodo conectar el canal 1 del osciloscopio.
- Conectar la salida del amplificador operacional al canal 2

- Poner el osciloscopio en modo dual para poder ver las dos formas de onda con para comparar tanto la entrada como la salida.
- Dibuje las señales en la pantalla del osciloscopio

Se cumple la formula:

$$V_{comparación} = \left( \frac{R2}{R1 + R1} \right) * VCC$$

#### 4. Resultados y conclusiones de la práctica por parte del alumno.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Prácticas de la unidad 2

### PRÁCTICA No. 5 VERIFICACION Y CHEQUEO DE TIRISTORES

---

Fecha	Grupo	
No de alumnos por práctica	No. de alumnos por reporte	
Nombre y firma del profesor		
Nombre (s) del alumno (s)		
Tiempo estimado	Hrs	Calificación

---

#### 1. Objetivo

Debido a que todos los medidores de resistencia tienen una fuente de corriente continua (Pilas), se pueden verificar con este instrumento la gran mayoría de rectificadores SCR y TRIACs. No se aconseja hacer estos chequeos con instrumentos que sólo usan una pila de 1.5 voltios, pues la señal que entregan no alcanza ni para probar LEDs (diodo emisor de luz).

#### 2. Materiales y/o equipos.

- 1 Multímetro
- 1 SCR C-106D o equivalente.

#### 3. Desarrollo general.

Coloquemos el ohmetro o multímetro en la escala para medir baja resistencia (R x 1).

Coloquemos el caimán positivo (rojo) al cátodo del SCR, y conectemos el ánodo al cable negativo (negro), (figura 1) podrá parecer incorrecto, puesto que se ha dicho que el ánodo debe quedar positivo, pero resulta que las corrientes de salida en los terminales del instrumento tienen polaridad contraria a la que señalan sus signos y colores. En este momento la aguja del medidor señala alta resistencia (si es que se mueve).

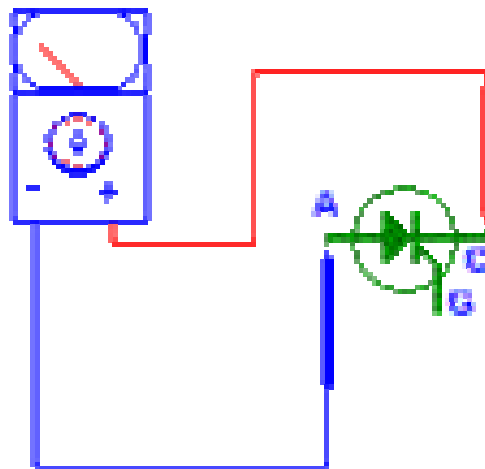


Figura 1

Ahora hagamos un puente entre los terminales gate y ánodo, esto ocasionará que la aguja suba a una posición de baja resistencia, y se debe conservar allí aunque retiremos el puente que unió estos 2 terminales y suministró la señal de gatillado. (ver figura 2).

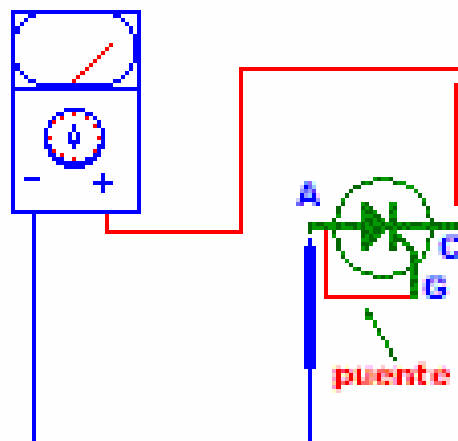


Figura 2

Si se trata de un triac, hagamos primero la prueba anterior, luego, invertimos los terminales del ohmetro(es posible que en esta última posición no se sostenga la aguja en su lugar de baja resistencia cuando reitre el puente, pero esto se debe a que la baja corriente del instrumento medidor no alcanza para mantener encendido el triac en esta polaridad). Para las pruebas, TP1 equivale al cátodo, y TP2 al ánodo.

#### **4. Resultados y conclusiones de la práctica por parte del alumno.**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Prácticas de la unidad 2

### PRÁCTICA No. 6 CONTROL PULSANTE CON SCR

Fecha	Grupo	
No de alumnos por práctica	No. de alumnos por reporte	
Nombre y firma del profesor		
Nombre (s) del alumno (s)		
Tiempo estimado	Hrs	Calificación

#### 1. Objetivo

Hacer un control de fase a partir de la constante de tiempo de una red resistencia-capacitor que determinara el punto de disparo del SCR a partir de una onda de rectificación de onda completa.

#### 2. Materiales y/o equipos.

TRANSFORMADOR 12 VOLTS DERIVACION CENTRAL  
 3 DIODOS 1N4007  
 POT = 100K $\Omega$   
 R1 = 1K  $\Omega$   
 C1 100nF a 470nF  
 1 motor CD 12v  
 1 SCR C-106D .

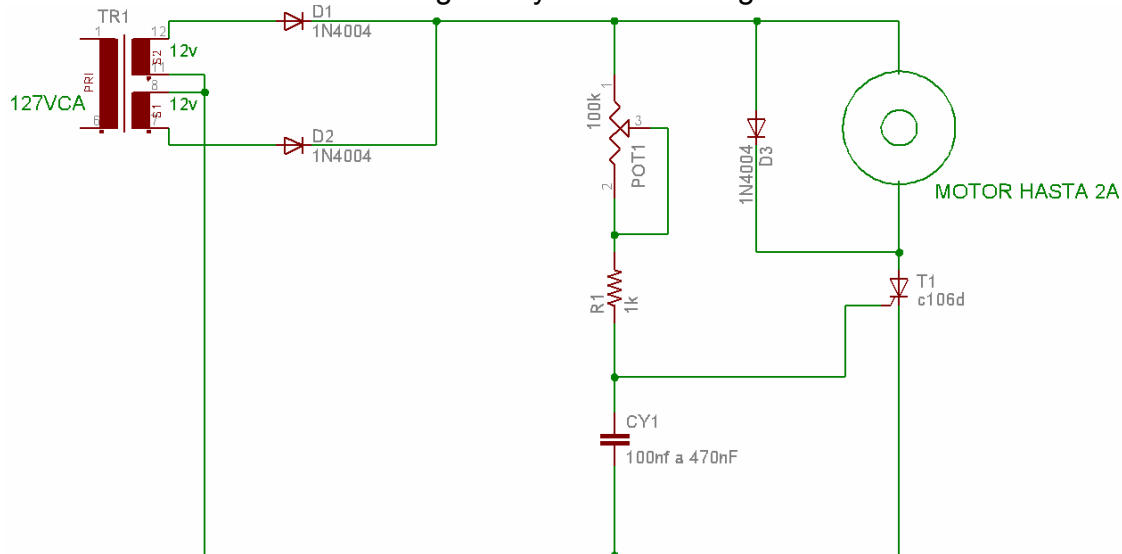
#### 3. Desarrollo general.

El potenciómetro en conjunto con el resistor de 1k y el capacitor C1 retardan el punto de disparo del SCR en un semiciclo de alimentación y, con esto, determina la parte de potencia a ser aplicada en el motor.

Dependiendo de la tensión de alimentación y de las características del motor, se debe usar el capacitor que proporcione el control en el rango ideal. Este capacitor estará entre 100 y 470nF.

La corriente máxima admitida para este control es de 2A.

- Montar el circuito de la figura 1 y realizar las siguientes medidas:



- Variar POT1 y observar los diferentes niveles de velocidad del motor.
- Probar con diferentes valores para el capacitor CV1 el cual se ajuste mejor para el control del motor.
- Determinar el valor máximo y mínimo del ángulo de conducción.

#### 4. Resultados y conclusiones de la práctica por parte del alumno.

---



---



---



---



---



---



---



---



## Prácticas de la unidad 2

### PRÁCTICA No. 7 REGULACION DE LUZ BASADO EN SCR

Fecha	Grupo	
No de alumnos por práctica	No. de alumnos por reporte	
Nombre y firma del profesor		
Nombre (s) del alumno (s)		
Tiempo estimado	Hrs	Calificación

#### 1. Objetivo

En esta práctica se pretende introducir los conceptos básicos de la regulación de potencia basada en SCR. Para ello, se estudia un circuito práctico que permite variar, en función de un potenciómetro, la potencia entregada a una bombilla de baja tensión. El circuito de disparo seleccionado está basado en un transistor unión (UJT) que actúa como oscilador de relajación. Este circuito permite fijar el ángulo de conducción (en fase con la red eléctrica) del SCR y, por consiguiente, la potencia disipada por la bombilla que se observa fácilmente por la intensidad luminosa que emite.

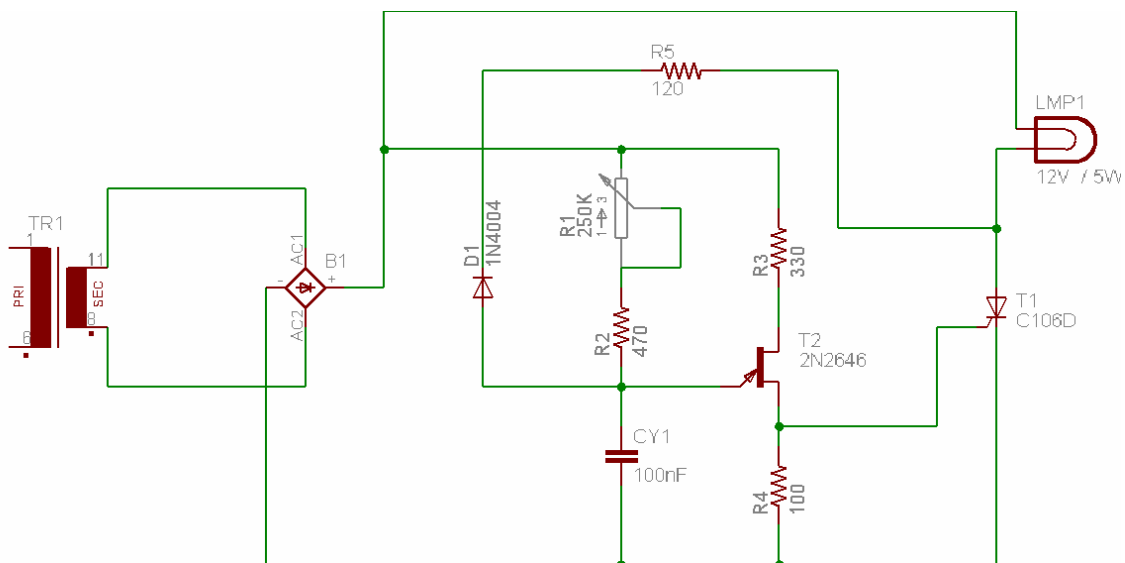
#### 2. Materiales y/o equipos.

TRANSFORMADOR 12V / 2ª  
 PUENTE DE DIODOS RECTIFICADOR  
 DIODO 1N4007  
 R1 POT = 250KΩ  
 R2 = 470 Ω  
 R3 = 330 Ω  
 R4 = 100 Ω  
 R5 = 120Ω  
 C1 100nF  
 LAMPARA 12V, 5W  
 1 SCR C-106D .  
 1 UJT 2N2646

### 3. Desarrollo general.

En la figura 1 se muestra un regulador de luz basado en el SCR C106D. El circuito de disparo está constituido por un oscilador de relajación, que genera pulsos que, por eficacia, deben estar sincronizados con la alimentación alterna.

La constante de tiempo de la red  $(R1+R2)C$  determinará el tiempo necesario para que la tensión de emisor alcance el valor de pico ( $V_p$ ) y produzca el primer pulso que disparará al SCR; esta constante definirá el ángulo de disparo. Una vez disparado el SCR, el condensador se mantendrá descargado hasta que se inicie un nuevo semiciclo.



- Montar el circuito de la figura 1 y realizar las siguientes medidas:
- Variar R1 y observar los diferentes niveles de luminosidad de la bombilla.
- Ajustar R1 para que el ángulo de conducción sea de  $90^\circ$ . Representar gráficamente las tensiones V1 a V6.
- Determinar el valor máximo y mínimo del ángulo de conducción.

### 4. Resultados y conclusiones de la práctica por parte del alumno.

---



---



---



---



---



---



---



---



---



---

## Prácticas de la unidad 3

### PRÁCTICA No. 8 MEDICION DE TENSION Y CORRIENTE DE ENCENDIDO DEL TRIAC.

Fecha	Grupo	
No de alumnos por práctica	No. de alumnos por reporte	
Nombre y firma del profesor		
Nombre (s) del alumno (s)		
Tiempo estimado	Hrs	Calificación

#### 1. Objetivo

Conocer de los parámetros importantes del Triac así como las técnicas los circuitos de medición requeridos para la verificación del Triac.

#### 2. Materiales y/o equipos.

- Generador de audio frecuencia.
- Dos fuentes de tensión variable(0-36 V) con limitación de corriente.
- Multímetro (2 Unidades).
- Voltímetro electrónico.

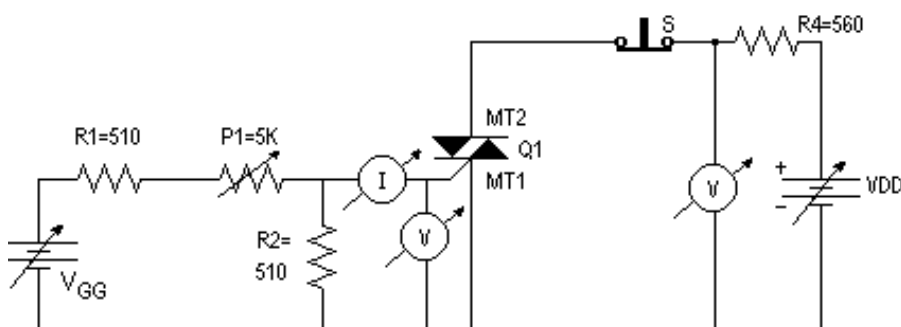
$R1, R2, R4 = 510\Omega$

$P1 = 5K\Omega$

1 Push botton normalmente cerrado

#### 3. Desarrollo general.

1. Conectar el circuito de medición descrito en la siguiente Figura.



2. Fijar  $V_{DD}$  a la tensión de 12 V.

3. Fijar  $V_{GG}$  a la tensión de 12 V.
4. Ajustar P1 a su valor máximo, verificar que el Triac no se encuentre en conducción, si no es así presionar el interruptor S y así retornará al estado de bloqueo.

En caso de que este método no funcione, apagar la fuente  $V_{DD}$  y prenderla nuevamente

5. Disminuir el valor de P1 lentamente y observar la corriente y tensión de la compuerta. Anotar en la tabla 1 la tensión y corriente de encendido en el momento del paso a conducción.

Repetir las mediciones varias veces. Es necesario anotar el resultado de las mediciones en el momento del encendido.

6. Calentar el Triac acercando el extremo del soldador durante uno a dos minutos (no hay que hacer contacto entre el soldador y el cuerpo del Triac. El calentamiento se producirá por la conducción del calor en el aire).

Repetir la medición y anotar la tensión y corriente de encendido que se obtienen.

7. Cambiar la polaridad de  $V_{GG}$  y  $V_{DD}$  de acuerdo con la tabla 1 y repetir los ejercicios 1.4 a 1.6, anotar los resultados en la tabla.

$V_{DD}$ [V]	$V_{GG}$ [V]	$V_G$ [V]	$I_G$ [mA]	$V_G$ [V] Temp	$I_G$ [mA] Temp
+12	+12				
-12	+12				
-12	-12				
+12	-12				

Tabla 1: Características tensión corriente de encendido.

#### 4. Resultados y conclusiones de la práctica por parte del alumno.

---



---



---



---



---



---



---



---



---



---

## Prácticas de la unidad 3

### PRÁCTICA No. 9 REGULACION DE LUZ BASADO EN TRIAC DIMMER

Fecha	Grupo	
No de alumnos por práctica	No. de alumnos por reporte	
Nombre y firma del profesor		
Nombre (s) del alumno (s)		
Tiempo estimado	Hrs	Calificación

#### 1. Objetivo

Se desea controlar el nivel de iluminación del dormitorio o controlar la velocidad de un taladro o un ventilador (motores de corriente alterna).

#### 2. Materiales y/o equipos.

##### Resistencias:

2 de 47 K $\Omega$ ,

1 de 100 $\Omega$

1 potenciómetro de 100K $\Omega$

**Condensadores:** 3 de 0.1  $\mu$ F, (  $\mu$ F = microfaradios)

**Otros:** 1 TRIAC (depende de la carga, uno de 2 amperios para aplicaciones comunes como este dimmer), 1 enchufe para la carga: de uso general, (110 / 220 Voltios)

#### 3. Desarrollo general.

Muchos de estos circuitos reguladores de potencia tienen un punto de encendido y apagado que no coincide (a este fenómeno se le llama histéresis), y es común en los TRIACS Para corregir este defecto se ha incluido en el circuito las resistencias R1, R2 y C1.

El conjunto de elementos POT1, R1 y C2 son los necesarios mínimos para que el triac sea disparado.

El triac controla el paso de la corriente alterna la carga conmutando entre los estados de conducción (pasa corriente) y corte (no pasa corriente) durante los

semiciclos negativos y positivos de la señal de alimentación (110 / 220 voltios.), la señal de corriente alterna que viene por el tomacorrientes de nuestras casas

El triac se disparará cuando el voltaje entre el condensador y el potenciómetro (conectado a la compuerta del TRIAC) sea el adecuado.

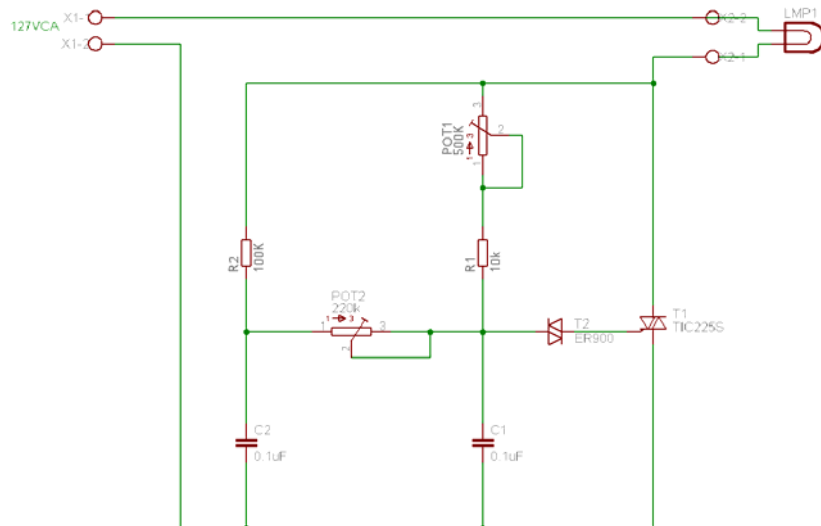


FIG1 DIMMER CON TRIAC

Hay que aclarar que el condensador en un circuito de corriente alterna (como este) tiene su voltaje atrasado con respecto a la señal original, y cambiando el valor del potenciómetro, se modifica la razón de carga del condensador, el atraso que tiene y por ende el desfase con la señal alterna original. Esto causa que se pueda tener control sobre la cantidad de corriente que pasa a la carga y así la potencia que se le aplica.

#### 4. Resultados y conclusiones de la práctica por parte del alumno.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Prácticas de la unidad 4

### PRÁCTICA No. 10 CONTROL DE VELOCIDAD DE UN MOTOR DE CD

Fecha	Grupo	
No de alumnos por práctica	No. de alumnos por reporte	
Nombre y firma del profesor		
Nombre (s) del alumno (s)		
Tiempo estimado	Hrs	Calificación

#### 1. Objetivo

Implementar el control de velocidad de un motor de corriente directa con devanado de excitación en paralelo, mediante modulación por ancho de pulso a partir de la generación de una rampa de voltaje, con un tiempo de duración aproximadamente igual al tiempo de un semiciclo del voltaje de línea.

#### 2. Materiales y/o equipos.

- 1 puente rectificador de cuatro diodos de 300V, 10A .
- 4 OpAmp LM741.
- 2 Potenciómetros de 10 K $\Omega$ , 1/4 W.
- 1 Resistencia de 1M  $\Omega$ , 1/4 W.
- 1 Resistencia de 22K $\Omega$ .
- 2 Resistencias de 1K $\Omega$ , 1/4 W.
- 1 Resistencia de 100  $\Omega$ , 1/4 W.
- 2 Resistencias de 470  $\Omega$ , 1/4 W.
- 1 Resistencia de 47  $\Omega$ , 1/4 W.
- 2 Resistencias de 10  $\Omega$ , 1/4 W.
- 2 Capacitores de cerámica de 1 $\mu$ F, 300V.
- 1 Capacitor de 2.2 $\mu$ F, 25V.
- 1 Transistor 2N2222.
- 2 Diodos de alta velocidad 1N1184.
- 1 Mosfet de potencia IRF740.
- 1 Motor de cd 200V con excitación derivada.
- 1 Fuente de voltaje de cd bipolar de 15V.

1 Fuente de voltaje de línea de 127Vrms.

### 3. Desarrollo general.

El puente de diodos rectifica el voltaje de línea, el cual es aplicado al devanado de campo del motor de cd y protegiendo al circuito con un filtro RC, después se toma una porción del voltaje de línea mediante un divisor de voltaje formado con R1 y R2, el cual se refuerza con un seguidor de voltaje, para después comparar la salida de este contra un pequeñísimo voltaje de cd, dando a la salida una señal pulsante en cada cruce por cero de la señal senoidal, estos pulsos sirven para descargar el capacitor C1 del circuito integrador generador de una rampa de voltaje, para compararse contra un voltaje de cd y de esta forma obtener un ancho de pulso variable ajustando el valor del potenciómetro de 10K $\Omega$ , por ultimo a la salida de este comparador obtendremos pulsos de voltaje que haran entrar en conducción al mosfet IRF740, el cual controlara la corriente promedio aplicada a la devanado de armadura del motor de cd, controlando de esta forma su velocidad como se muestra en la figura 1.

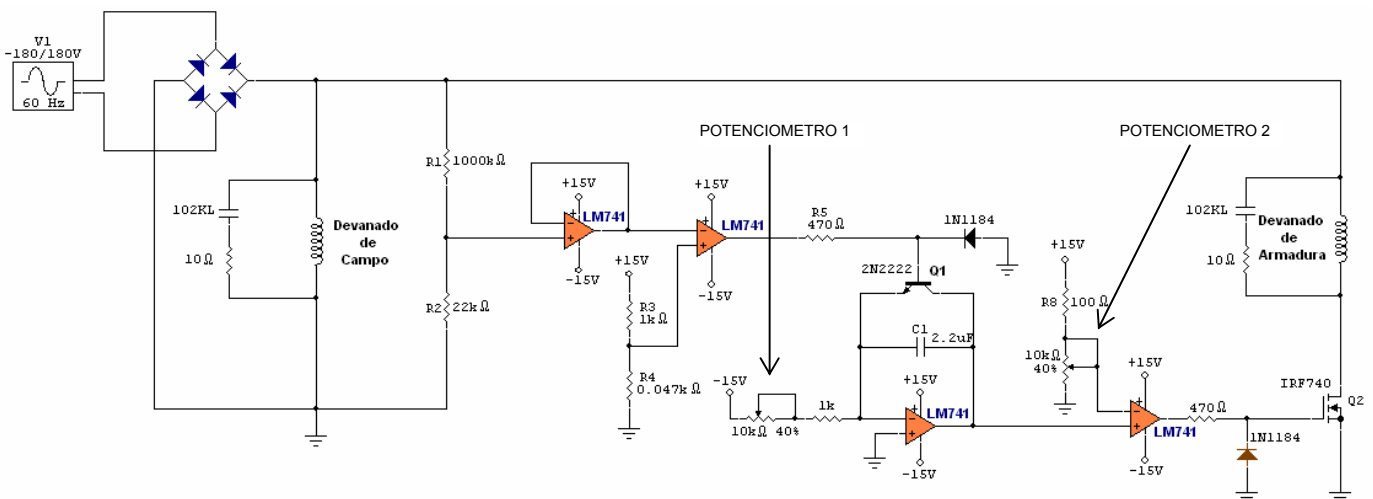


FIGURA 1. CONTROL DE VELOCIDAD MEDIANTE PWM DE UN MOTOR DE CD CON CONEXIÓN SHUNT.

Cada devanado del motor de cd lleva un filtro RC en paralelo para proteger a todo el circuito contra los picos de voltaje generados por carga inductiva.

- Implementar el circuito de la figura 1 tal y como se indica.
- Ajustar el potenciómetro 1 hasta obtener una rampa de voltaje de aproximadamente de 13V.
- Ajustar el potenciómetro 2 para variar el ancho del pulso y de esta forma controlar la velocidad del motor.



- Colocar disipadores de calor en el puente de diodos y en el mosfet, ya que de lo contrario podrían dañarse por calentamiento.

**4. Resultados y conclusiones de la práctica por parte del alumno.**

---

---

---

---

---

---

---

---