

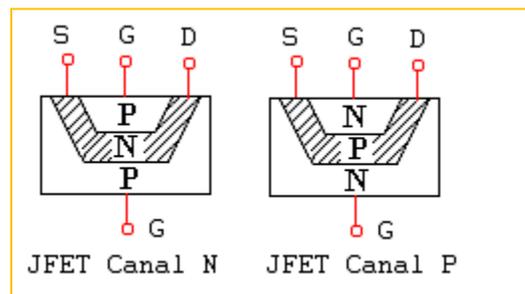
# DISPOSITIVOS DE CONTROL

En la electrónica moderna se usan algunos dispositivos semiconductores diferentes al diodo de unión y al transistor bipolar que son muy utilizados en control de motores, de iluminación, de calefacción, en alarmas, en la optoelectrónica, etc. tales semiconductores a tener en cuenta son: El transistor a efecto de campo, el transistor unijuntura, el tiristor, el triac, fuentes de luz como el LED, detectores de luz como la fotocelda, sensores de temperatura como el termistor, etc. A continuación se analizarán y estudiarán cada uno de ellos.

## 1. EL TRANSISTOR A EFECTO DE CAMPO

El transistor de efecto de campo FET es un dispositivo semiconductor que combina el tamaño reducido y el bajo consumo de potencia del transistor bipolar con la elevada resistencia de entrada del tubo de vacío. Existen dos clases de FET: el JFET y transistor de unión de efecto de campo) y el MOSFET (Transistor de efecto de campo de metal oxido semiconductor).

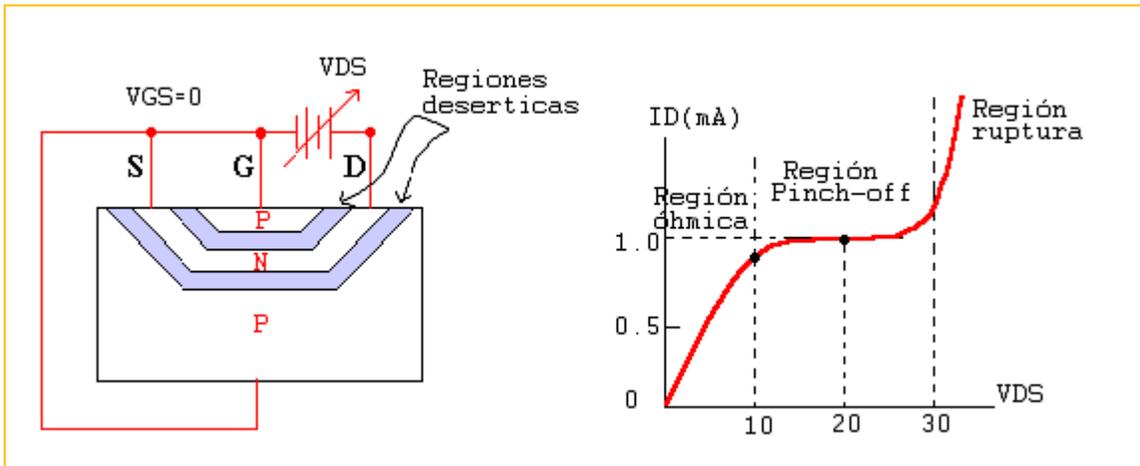
Existen dos tipos : El canal N (formado por tres capas PNP) y el canal P (formado por tres capas NPN).



Tiene tres terminales: DRAIN (drenaje), GATE (puerta), SOURCE (fuente) que corresponden al colector, base y emisor en un transistor bipolar.

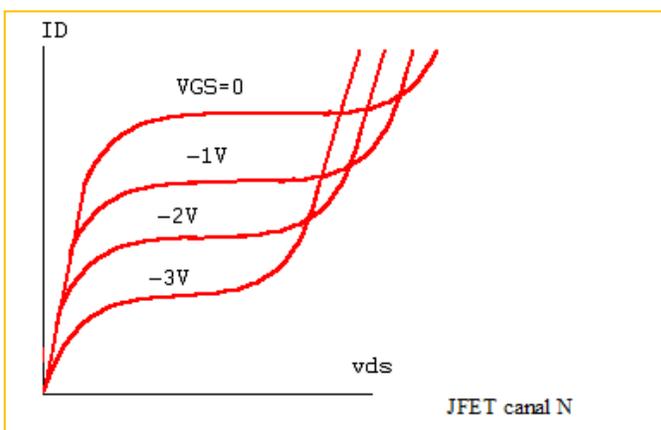
Cuando la puerta se polariza con una tensión apropiada, esta polarización influye sobre la resistencia entre el drenaje y la fuente y por lo tanto sobre la corriente entre ambos terminales. Nótese que la conducción del JFET es a lo largo del canal y no a través de él como en un transistor bipolar.

Al polarizar el JFET como se muestra abajo en la figura con  $V_{GS} = 0$ , la resistencia a lo largo del canal aumenta y el ancho de la región desierta también (# portadores  $\approx 0$ ).



La curva característica presenta tres regiones: La región óhmica existe hasta que el valor de la polarización aplicada no es suficiente para unir las regiones desiertas. La región de *pinch-off* ocurre cuando las regiones desiertas se unen. En esta región un aumento considerable de  $V_{DS}$  no produce gran aumento de  $I_D$ , su resistencia es muy elevada. Si la polarización sigue en aumento el diodo puerta – canal alcanza la ruptura y en ella un pequeño aumento de  $V_{DS}$  produce un gran aumento de  $I_D$ .

Si se usa  $V_{GS}$  como parámetro se obtiene una familia de curvas características como se indica en la figura.



Parámetros:

$V_p$  = Tensión de *pinch-off*

$g_m$  = transconductancia

$r_{ds}$  = Resistencia de drenaje.

$BV_{GSS}$  = Tensión de ruptura.

$\mu$  = factor de amplificación =  $g_m \cdot r_{ds}$

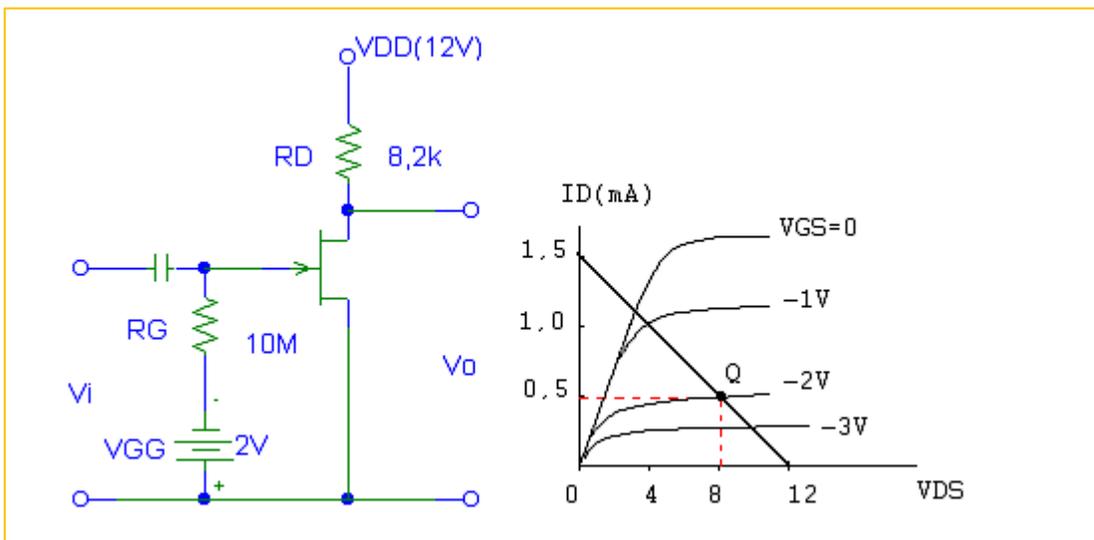
$$I_{DSS} = I_D \text{ para } V_{GS}=0. \text{ entonces } I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2$$

## 1.1 CONFIGURACIÓN FUENTE COMÚN

El punto de operación de un JFET para esta configuración, se obtiene de la misma forma que para un transistor BJT, o sea, es el corte entre la curva característica seleccionada y la recta de carga.

### Ejemplo:

Encontrar el punto de operación para el circuito y las curvas dadas.



$$\text{Si } I_D=0 \rightarrow V_{DS} = V_{DD}=12V$$

$$\text{Si } V_{DS}=0 \rightarrow I_D = V_{DD}/R_D = 12/8,2K\Omega \approx 1,5mA$$

Con estos puntos se traza la recta de carga .

$V_{GS}=V_{GG} = -2V$ , entonces, el corte se tiene en:

Punto Q:  $V_{DS} = 8V$   $I_D = 0,5mA$   $V_{GS} = -2V$

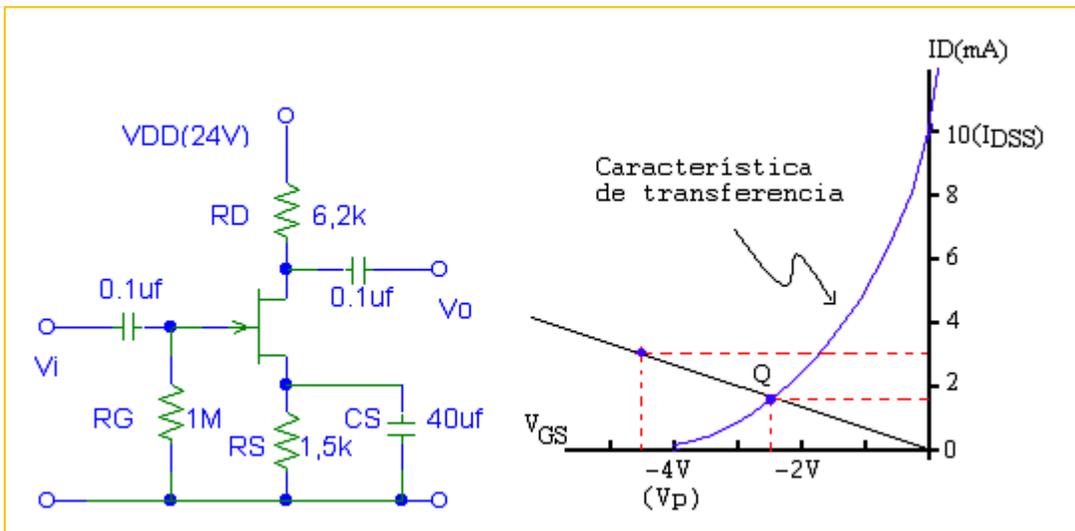
Prueba:  $V_{DS} = 12 - 0,5(8,2) = 7,9V$ .

### Autopolarización

Consiste en eliminar la fuente  $V_{GG}$  colocando una  $R_s$  en paralelo con un  $C_s$  en la fuente.

### Ejemplo:

Determinar el punto de operación del circuito utilizando la curva de transferencia.



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

$$V_{GS} = - I_D R_S$$

si  $V_{GS} = 0$ , entonces,

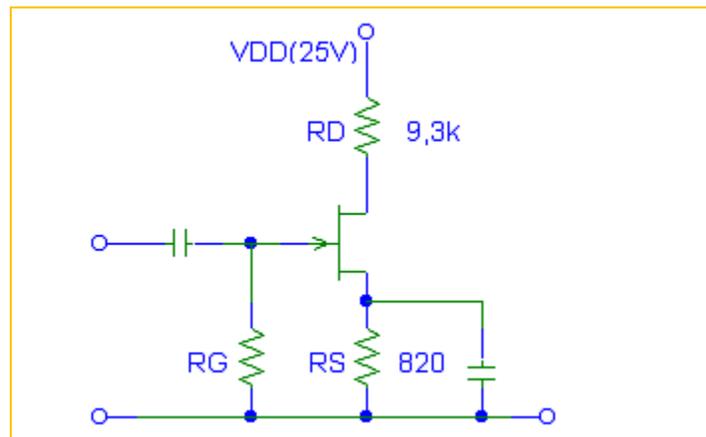
$I_D = 0$ ; si  $I_D = 3mA$ ,  $V_{GS} = -4,5V$  con estos puntos se traza la recta y se obtiene Q.

Q:  $V_{GS} = -2,5V$ ,  $I_D = 1.5mA$  y  $V_{DS} = 24 - 1.5(6,2+1,5) = 12,45V$ .

Si no se conoce la curva de transferencia, el punto de operación se obtiene de la siguiente forma:

**Ejemplo:**

Determinar el punto de operación del circuito de la figura.



$V_p = -2$ ,  $I_{DSS} = 1,6 \text{ mA}$

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

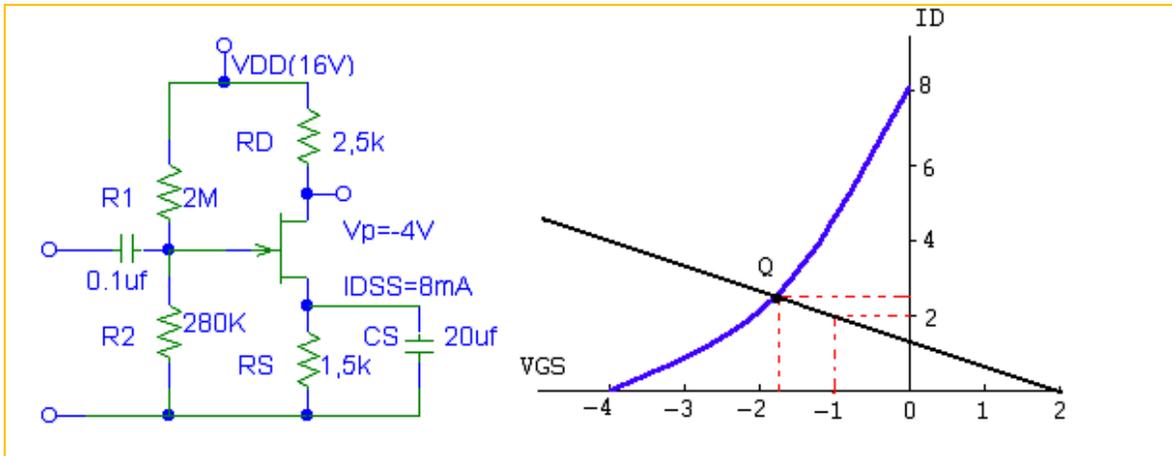
$$V_{GS} = -I_D R_s = -0,82 I_D$$

$$I_D = 1,6 \left( 1 + \frac{0,82 I_D}{-2} \right)^2$$

Entonces  $I_D = 0,76mA$

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D (R_D + R_s) \approx 18V.$$

**Polarización por divisor de voltaje:**



$$V_{GG} = \frac{R_2 V_{DD}}{R_1 + R_2}, \quad V_{GS} = V_{GG} - I_D R_S$$

$$V_{GG} = \frac{280 \times 16}{2000 + 280} \approx 2V; \quad V_{GS} = 2 - I_D R_S = 2 - 1,5 I_D$$

Curva de transferencia:

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

$$I_D = 8mA \left( 1 - \frac{V_{GS}}{-4} \right)^2$$

$V_{GS}$	-4	-3	-2	-1	0
$I_D$	0	0,5	2	4,5	8

Recta de autopolarización:

$$V_{GS} = 2 - 1,5 I_D$$

$V_{GS}$	2	0	-1
$I_D$	0	1.33	2

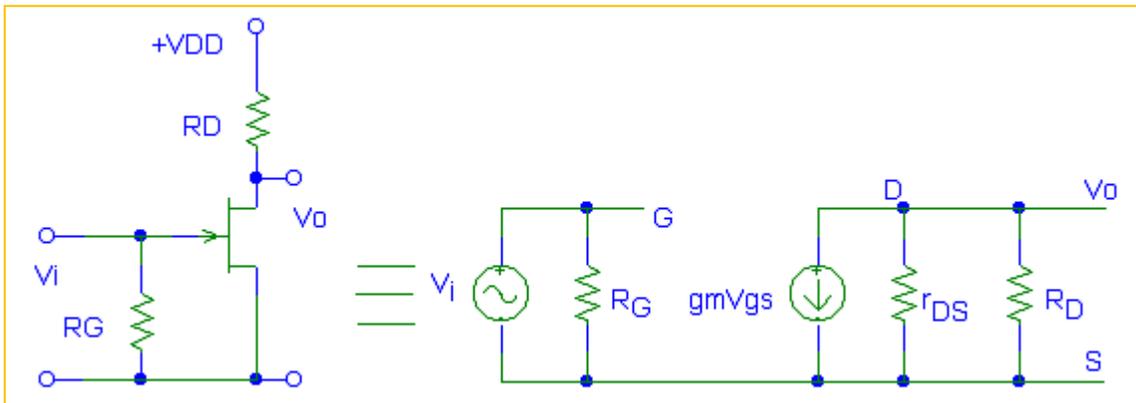
Punto de operación:

$$I_D = 2,5\text{mA} \quad V_{GS} = -1,75\text{V}$$

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D(R_D + R_S) = 6\text{V}$$

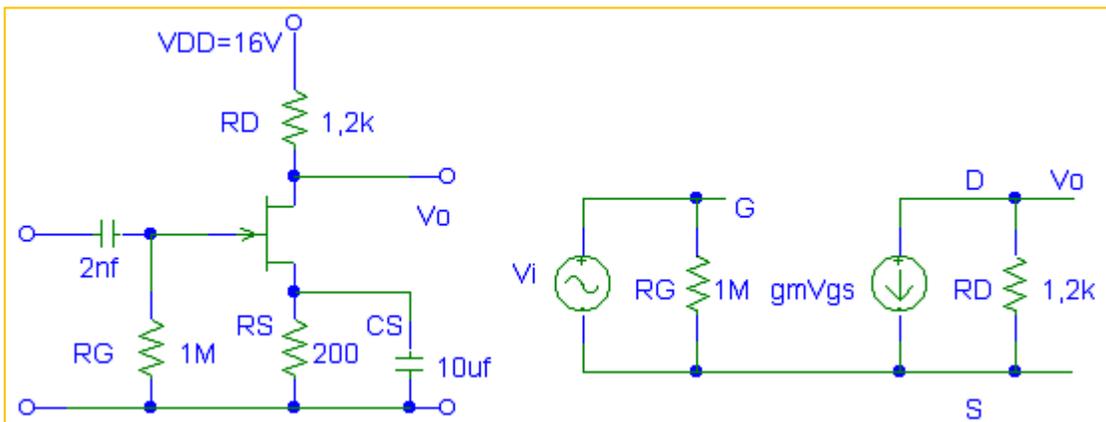
$$\text{Prueba: } V_{GS} = V_{GG} - I_D R_S = 2 - 2,5(1,5) = -1,75\text{V}$$

**Circuito equivalente:**



**Ejemplo:**

Para el amplificador fuente común de la figura, determinar la  $R_{in}$ ,  $R_o$ ,  $A_v$ ,  $A_i$



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

$$R_o = R_D = 1,2\text{K}\Omega$$

$$V_o = -g_m \cdot V_{GS} \cdot R_D$$

$$A_v = v_o / v_i = -g_m R_D$$

$$A_i = A_v R_{in} / R_o$$

$$g_m = \frac{\partial I_D}{\partial V_{GS}} = \frac{2I_{DSS}}{-V_P} \left( 1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right)$$

$$g_m = 4 \left( 1 - \frac{-0,94}{-4} \right) = 3,06 \text{ msimens}$$

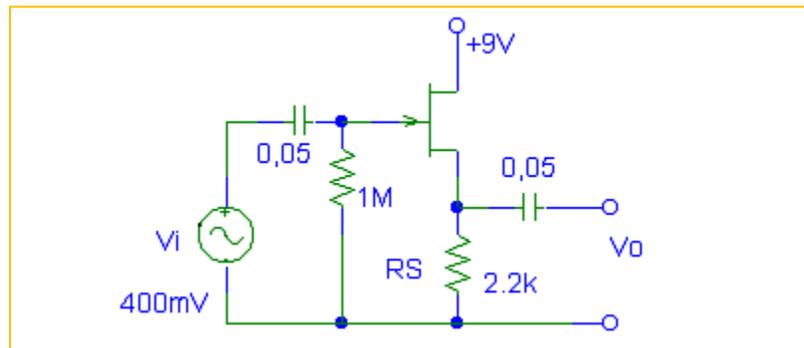
$$A_v = -g_m R_D = -3,67$$

$$A_i = A_v \frac{R_{in}}{R_o} = 3,06 \times 10^3$$

## 1.2 CONFIGURACIÓN DRENAJE COMÚN (SEGUIDOR DE FUENTE)

### Ejemplo:

Determinar para el circuito  $R_{in}$ ,  $R_o$ ,  $A_v$ ,  $V_o$ ,  $I_{DSS} = 16\text{mA}$ ,  $V_P = -4\text{V}$



$$A_v = V_o / V_i$$

$$V_o = g_m V_{gs} R_s$$

$$V_{gs} = V_i - V_o$$

$$V_{gs} = V_i - g_m V_{gs} R_s$$

$$(1 + g_m R_s) V_{gs} = V_i$$

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{g_m V_{gs} R_s}{(1 + g_m R_s) V_{gs}}$$

$$A_v = \frac{g_m R_s}{1 + g_m R_s}$$

De los cálculos de polarización  $V_{GS} = -2,85V$

$$g_m = \frac{2 \times 16}{4} \left( 1 - \frac{2,85}{4} \right) = 2,3 \text{ msimens}$$

$A_v = 0,835 < 1$ .

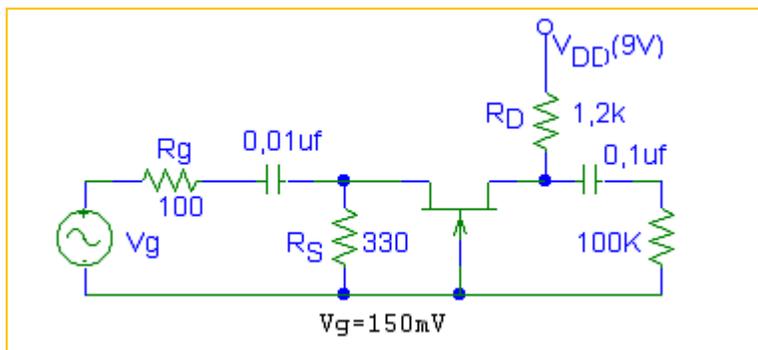
$V_o = A_v V_i = 334 \text{ mV}$     $R_{in} = R_G = 1 \text{ M}\Omega$

$R_o = R_S \parallel r_s$     $r_s = 1/g_m = 435 \text{ W}$     $\rightarrow R_o = 363,2 \Omega$

## 1.3 CONFIGURACIÓN PUERTA COMÚN

### Ejemplo:

Determinar la  $R_{in}$ ,  $R_o$ ,  $A_v$ , y  $V_o$  si  $I_{DSS} = 9 \text{ mA}$ ,  $V_p = -4,5 \text{ V}$



$$A_v = g_m (R_D \parallel R_L) \quad R_{in} = R_S \parallel r_s \quad r_s = \frac{1}{g_m}$$

$R_o = R_D$

De los cálculos de polarización  $V_{GS} = -1,4 \text{ V}$

$$gm = \frac{2 \times 9}{4,5} \left( 1 - \frac{1,4}{4,5} \right) = 2,75 \text{ msimens}$$

$$r_s = \frac{1}{gm} = 364 \Omega$$

$$Av = \frac{1,2K \parallel 100k}{364} = 3,26$$

$$R_m = R_s \parallel r_s = 173 \Omega$$

$$R_o = R_D = 1,2K$$

$$v_i = \frac{R_i \cdot v_g}{R_g + R_i} = \frac{173(150)}{100 + 173} = 95 \text{ mV}$$

$$v_o = Av v_i = 3,26(95) \approx 310 \text{ mV}$$

## Diseño

Se utiliza la curva universal de los FETS, que es la representación gráfica de  $I_D/I_{DSS}$  en función de  $V_{GS}/V_p$ .

## Ejemplo:

Utilizando el FET 2N4220 que tiene  $BV_{GSS} = 30V$ ,  $V_p = -4V$   $gm = 1000 \mu\text{siemens}$

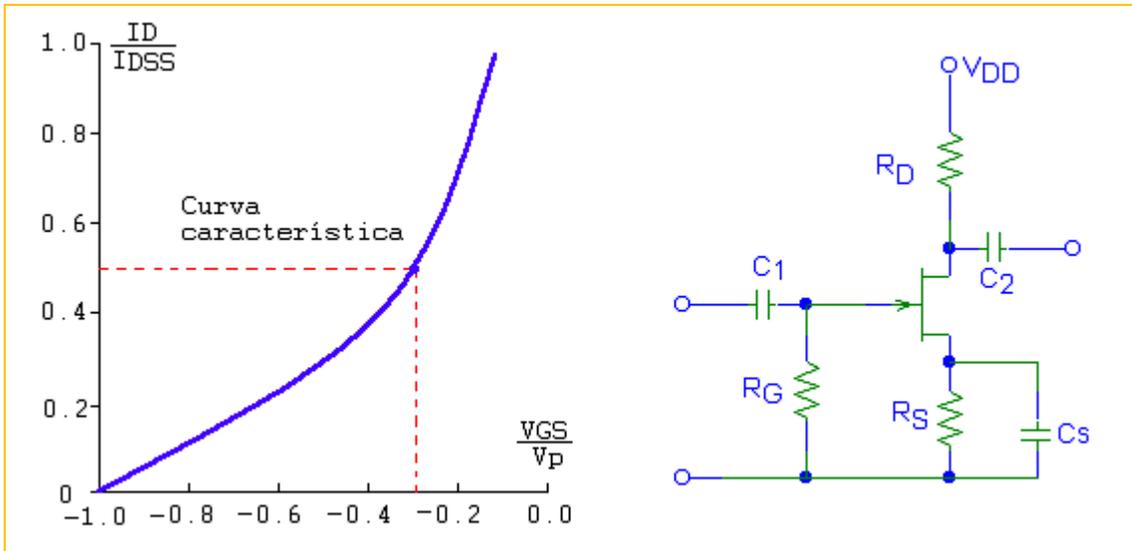
$I_{DSS} = 30\text{mA}$  diseñar el circuito para  $Av = 10$

$$Av = -gm R_D$$

$$R_D = \frac{Av}{gm} = \frac{10}{1000 \mu\text{siemens}} = 10 \text{ k}\Omega$$

$$V_{DD} < BV_{GSS} \Rightarrow V_{DD} = 25V \text{ seleccionar } V_{DQ} = 10V$$

$$V_{DQ} = V_{DD} - I_D R_D \quad I_D = \frac{25 - 10}{10k} = 1,5 \text{ mA}$$



$$\frac{I_D}{I_{DSS}} = \frac{1,5}{3} = 0,5 \quad \text{de la curva universal obtenemos}$$

$$\frac{V_{GS}}{V_P} = 0,3 \Rightarrow V_{GS} = 0,3(-4) = -1,2V = I_D R_S$$

$$R_S = 800\Omega \quad R_G \text{ se supone} = 1M\Omega$$

A frecuencias medias por ejemplo  $f=1\text{Khz}$ .  $C_1=C_2=0,1 \mu\text{f}$

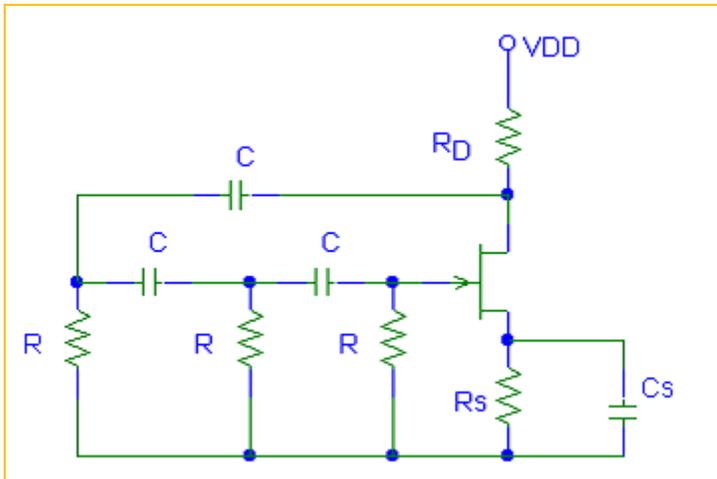
$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} = 1,6K \ll 1M\Omega$$

$$X_{CS} \leq \frac{R_S}{10} = 80\Omega = \frac{1}{2\pi f C_S} \quad \text{entonces} \quad C_2 = 2\mu\text{f}$$

## 1.4 OSCILADOR PHASE-SHIFT

$$A = -gm.R_L$$

$$R_L = R_D || r_d$$



**Criterio de Barkhausen:**

$$A\beta=1$$

$$f = \frac{1}{2\pi RC\sqrt{6}}$$

$$\beta = \frac{1}{29}, A > 29.$$

**Ejemplo:**

Diseñar un oscilador P-S si  $g_m = 5\text{mmhos}$ ;  $r_d = 40\text{k}$ ;  $R = 10\text{k}$ . Determinar  $C$  para  $f = 1\text{KHz}$  y  $R_D$  para asegurar  $A > 29$ .

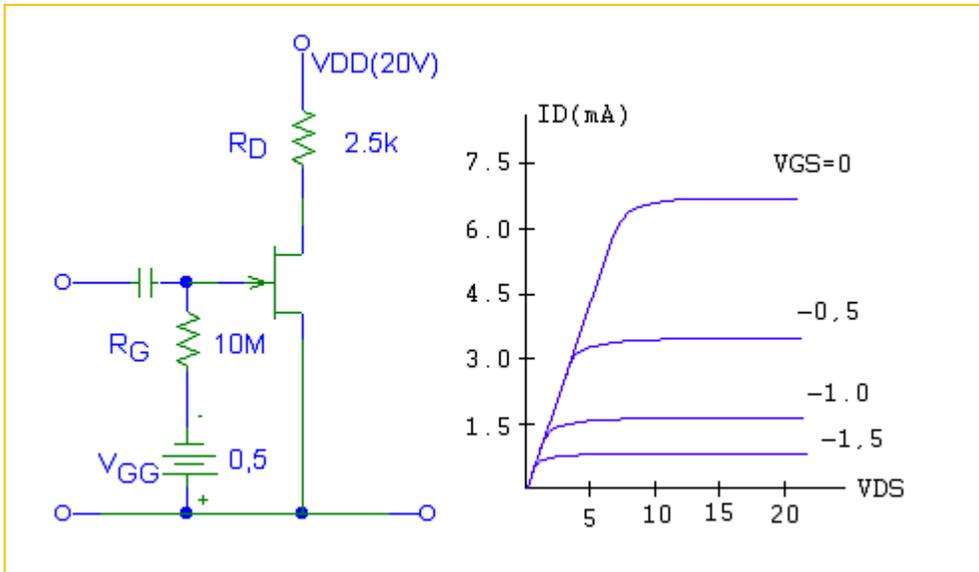
$$C = \frac{1}{2\pi f R \sqrt{6}} = \frac{1}{6,28 \times 10^3 \times 10^3 \times 2,45 \times 10^3} = 6,5\text{nf}$$

$$A = g_m R_L \quad R_L = A / g_m = 40 / 5\text{msiemens} = 8\text{K} = \frac{R_D r_d}{R_D + r_d}$$

$$8 = \frac{R_D(40)}{R_D + 40} \Rightarrow R_D = 10\text{K}$$

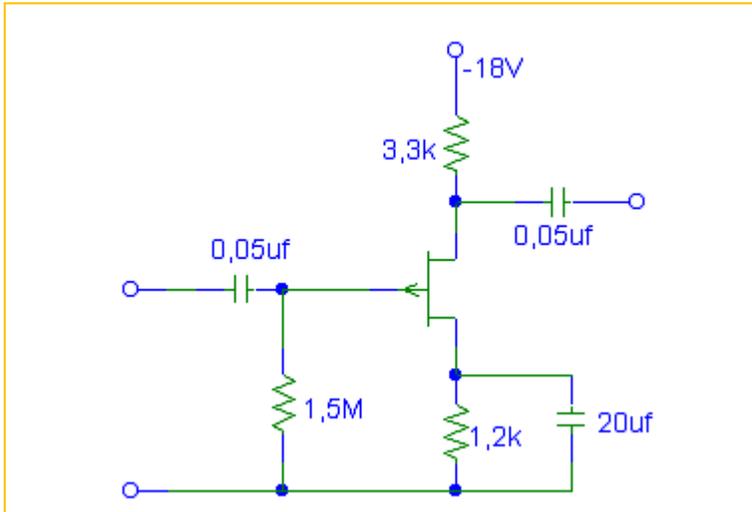
**Ejercicios:**

1. Obtenga el punto de polarización del circuito.

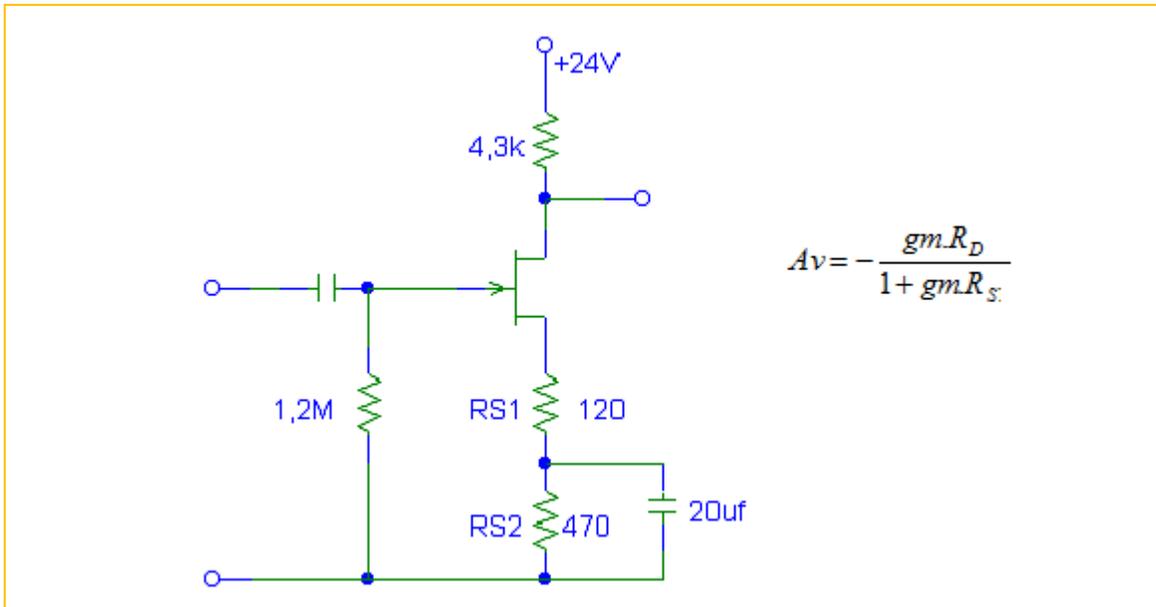


2. Determinar el punto de operación del circuito si:

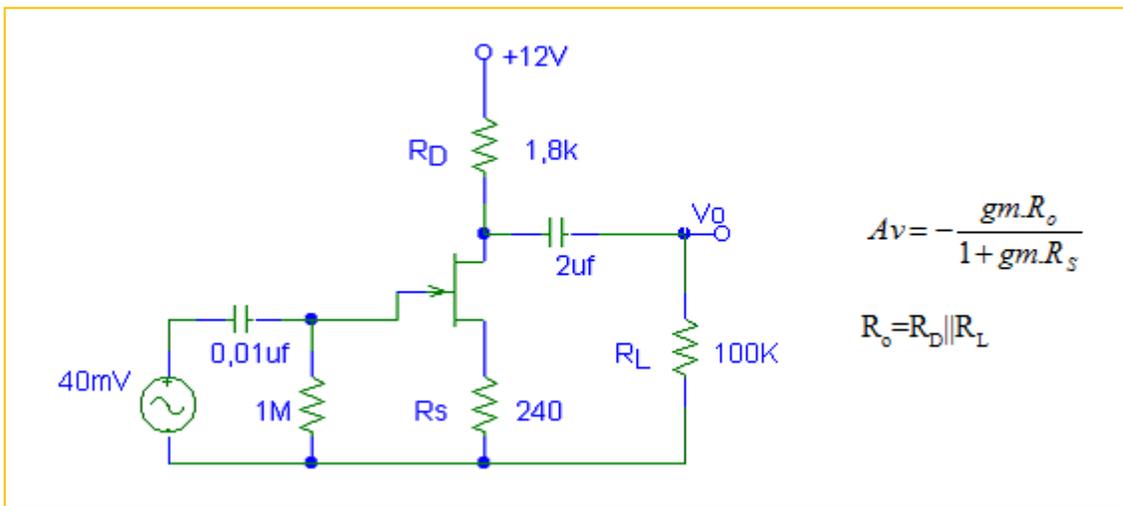
$$I_{DSS} = 12mA \quad V_p = +5V$$



3. Determinar la ganancia de voltaje del circuito si  $V_p = -6V$  e  $I_{DSS} = 6mA$ .



4. Determinar  $R_{in}$ ,  $R_o$ ,  $v_o$ , del circuito si  $I_{DSS} = 8\text{mA}$  y  $V_p = -3\text{V}$



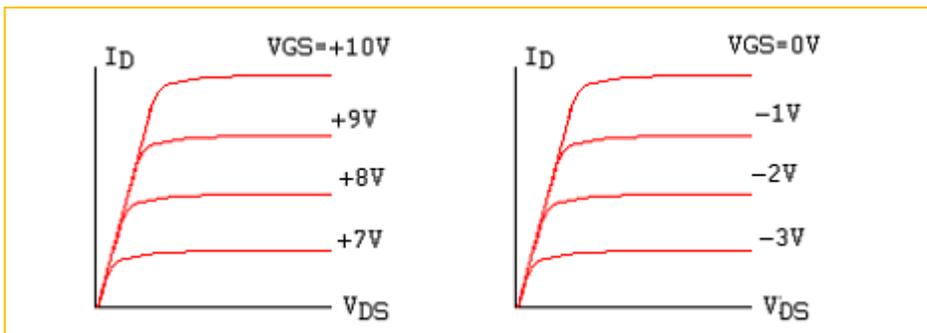
## 2. EL MOSFET

El transistor de efecto de campo metal – óxido semiconductor tiene una gran semejanza con el JFET. Su diferencia fundamental radica en la forma como se realiza la unión de la fuente. En el JFET el paso puerta – fuente es una unión PN polarizada inversamente, mientras que en el MOSFET se coloca una capa

delgada de material aislante ( $\text{SiO}_2$ ) sobre el canal antes de colocar la puerta. Esto hace que el MOSFET tenga una resistencia de entrada superior al JFET y una corriente de entrada aproximadamente igual a cero.

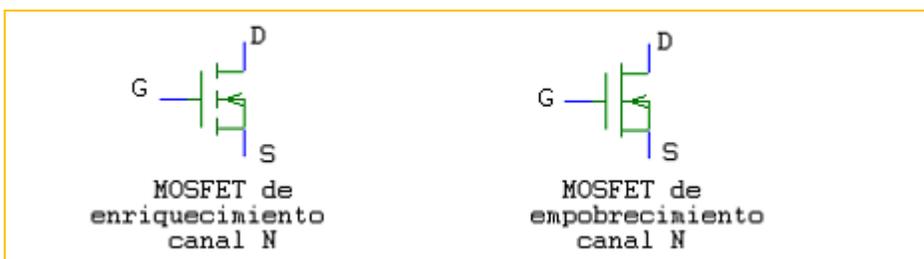
## 2.1 FUNCIONAMIENTO

Debido al aislante en el circuito de puerta, el potencial de entrada no tiene restricción en la polaridad como sucedía con el JFET la cual era inversa. Por tanto, hay dos modos de funcionamiento que se denominan: modo de “empobrecimiento” cuando la polarización es inversa y modo de “enriquecimiento” cuando la polarización es directa. Las curvas características y sus símbolos se dan en las figuras siguientes.



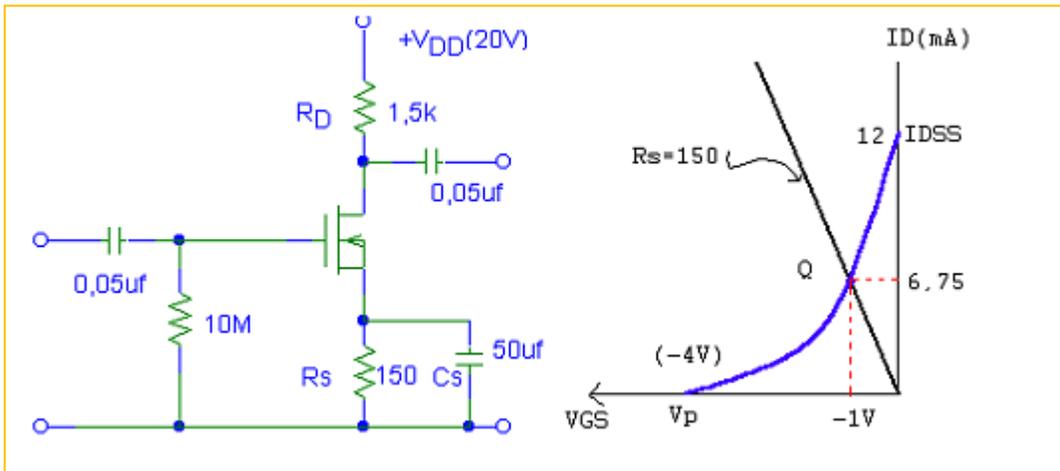
El MOSFET tiene una limitación de puerta que debe conocerse para no dañarlo. Una carga excesiva a la entrada puede perforar el aislante y dañar el transistor. Una carga excesiva puede ser la descarga electrostática de la mano que se produce al tocarlo, la de un soldador con bajo aislamiento. En algunos tipos protegen el MOSFET con un Zener a la entrada, pero esto hace que se altere sus principales características. Cuando la puerta no está protegida deben tomarse precauciones para no dañarlo. Por ejemplo, la punta del soldador conectarla a masa, lo mismo que la persona antes de tocarlo debe descargar su electrostática a una buena masa.

El MOSFET de empobrecimiento se polariza exactamente igual a un JFET.



## Ejemplo:

Hallar el punto de operación del circuito.



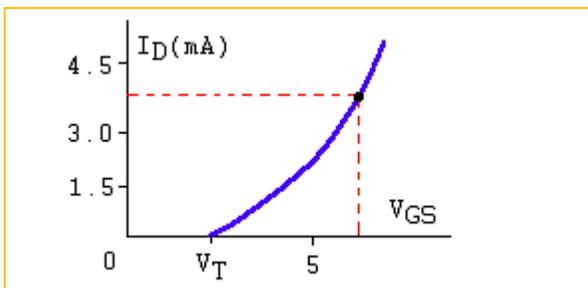
$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_s}{V_p}\right)^2 \quad \text{curva de transferencia.}$$

$$Q: V_{GS} = -1V \quad I_D = 6,75\text{mA} \quad V_{DS} = V_{DD} - I_D(R_D + R_s) = 8,86V$$

El MOSFET de enriquecimiento tiene un comportamiento diferente y se rige por las ecuaciones:

$$I_D = K(V_{GS} - V_T)^2 \quad \text{donde } K \text{ (típico)} \approx 0,3 \text{ mA/V}^2$$

$$V_T = \text{voltaje de umbral si } V_T = 2,5 \text{ y } V_{GS} = 6 \text{ V.}$$



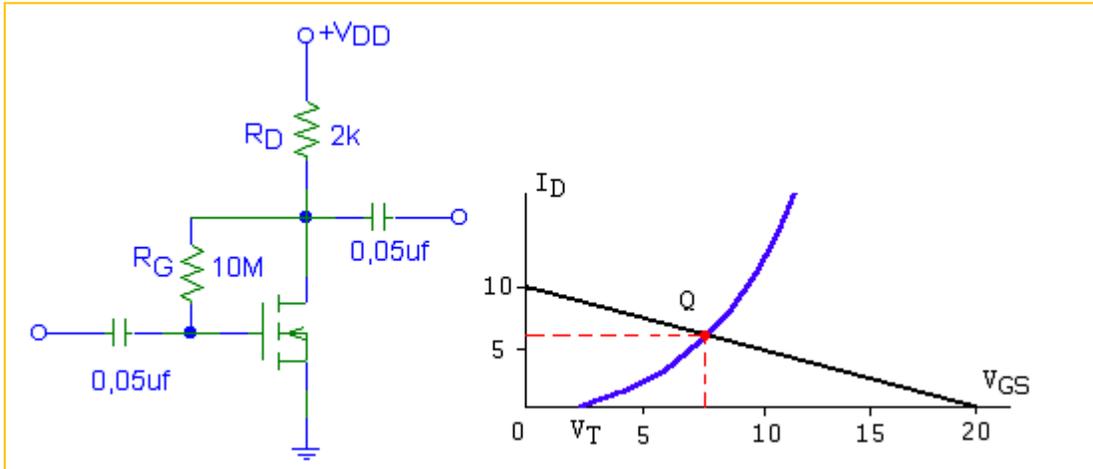
$$I_D = 0,3 \frac{\text{mA}}{\text{V}^2} (6 - 2,5)^2 = 3,67\text{mA}$$

$$g_m = 2K(V_{GS} - V_T)$$

$$g_m = 2 \times 0,3(6 - 2,5) = 2,1 \text{ mhos}$$

**Ejemplo:**

Hallar el punto de operación del circuito si  $V_T = 3V$  y  $K = 0,3 \text{ mA/V}^2$



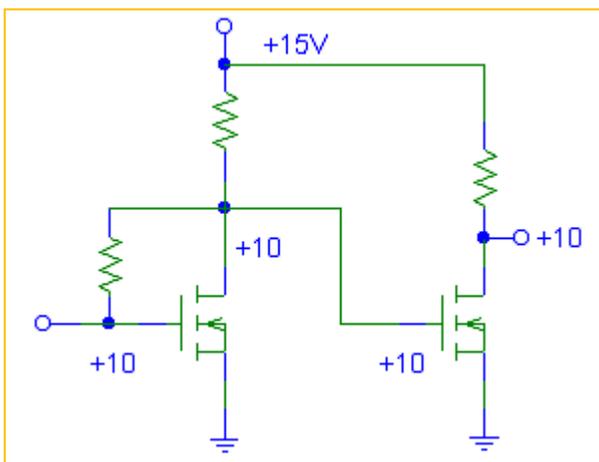
La característica de transferencia se obtiene dibujando:

$$I_D = K(V_{GS} - V_T)^2 = 0,3(V_{GS} - 3)^2$$

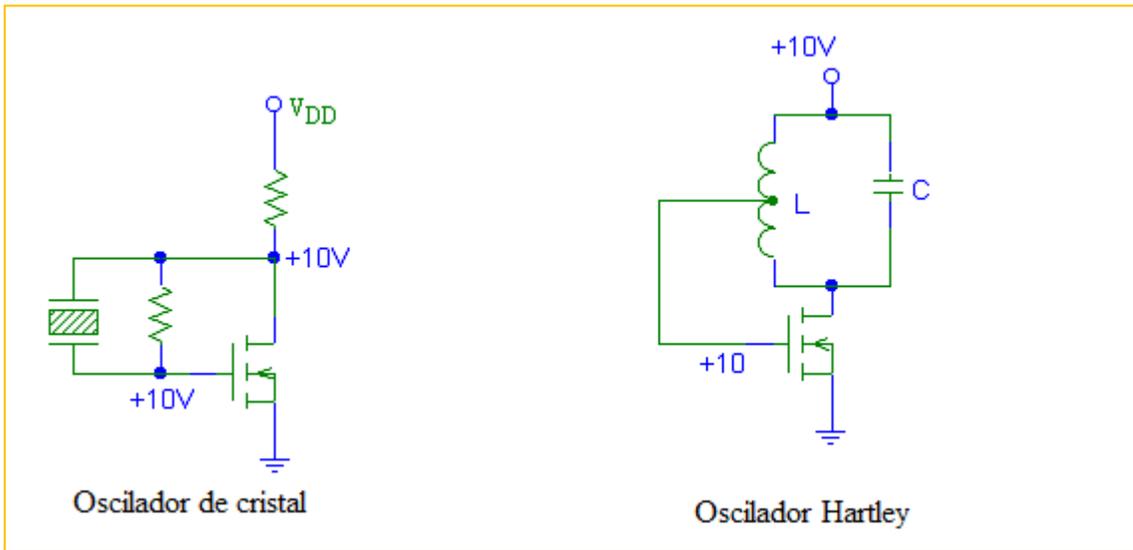
La línea de carga  $V_{GS} = V_{DS}$  (porque  $I_G = 0$ )  $= V_{DD} - I_D R_D$

$$V_{GS} = 20 - 2I_D$$

Intersección Q:  $V_{DS} = V_{GS} = 7,5V$ ,  $I_D = 6,2 \text{ mA}$

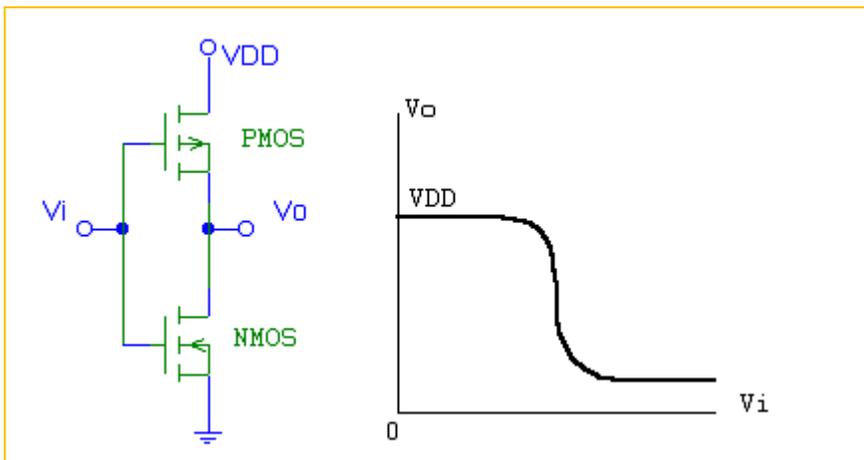


El MOSFET de enriquecimiento tiene la propiedad de poderse polarizar de tal forma que la G y el D tengan la misma magnitud y polaridad. En los tubos, transistores, JFET, MOSFET de empobrecimiento no ocurre esto, lo cual da una gran aplicación a circuitos tales como estos:



## 2.2 EL CMOS

Una conexión popular usada principalmente en circuitos digitales conecta los transistores PMOS y NMOS de enriquecimiento en un dispositivo complementario CMOS.



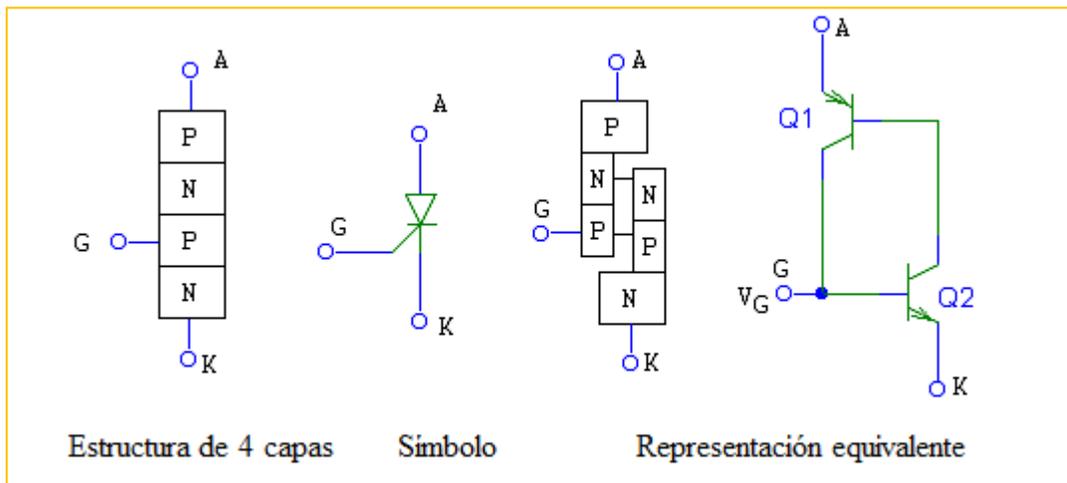
Con una entrada  $v_i$  baja el PMOS conduce y el NMOS está cortado  $\rightarrow v_o \approx V_{DD}$  con una entrada  $v_i$  suficientemente positiva el PMOS queda cortado y el NMOS conduce  $\rightarrow v_o \approx 0V$

El CMOS se utiliza en la mayoría de circuitos Integrados de baja potencia.

### 3. EL SCR O TIRISTOR

El rectificador controlado de silicio o tiristor es uno de los dispositivos más usados en electrónica industrial por su facilidad de trabajar en alta potencia y altas corrientes. Ya existen SCR para controlar potencias tan altas como 10MW con corrientes del orden de 2000 A y voltajes de 1800V. Está formado por cuatro capas PNPN y tiene tres terminales: El ánodo, el cátodo y la puerta.

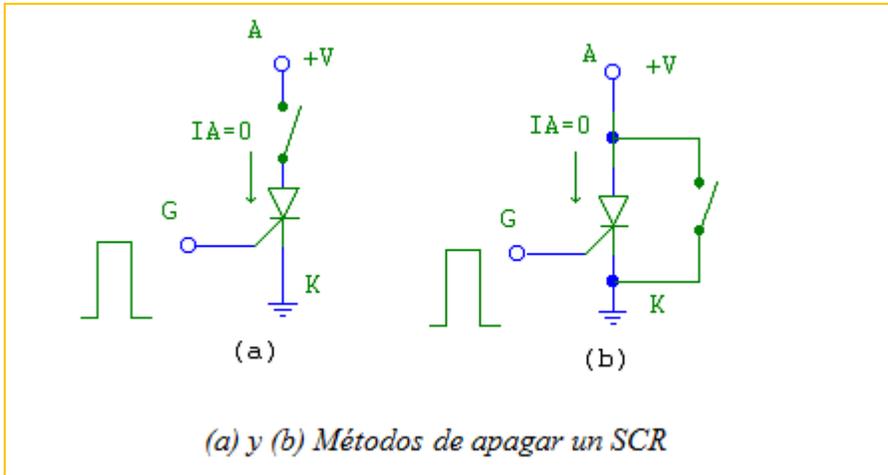
Se polariza de tal forma que el ánodo sea siempre positivo con respecto al cátodo y para que conduzca el tiristor es necesario aplicar un pulso positivo a la puerta de una amplitud suficiente que garantice el disparo.



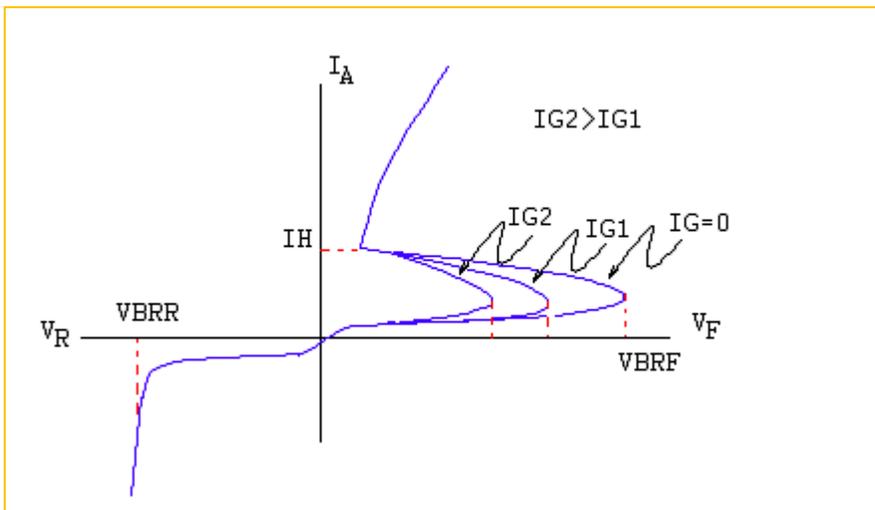
El SCR se puede representar tal como se indica en la figura por medio de dos transistores complementarios.

Si  $V_G=0$ , entonces  $Q_2$  y  $Q_1$  están en corte, luego existe una alta impedancia entre el A y el K y el tiristor No Conduce. Si se aplica un pulso positivo de disparo en G,  $Q_2$  entre en conducción y por lo tanto  $Q_1$  lo hace también. La impedancia entre A y K es muy baja y el SCR Conduce, En este estado se dice comúnmente que el

tiristor se encuentra disparado. El SCR no puede ser apagado simplemente retirando la señal de disparo en G, se apaga interrumpiendo la corriente de ánodo  $I_A$ .



### 3.1 CURVAS CARACTERÍSTICAS



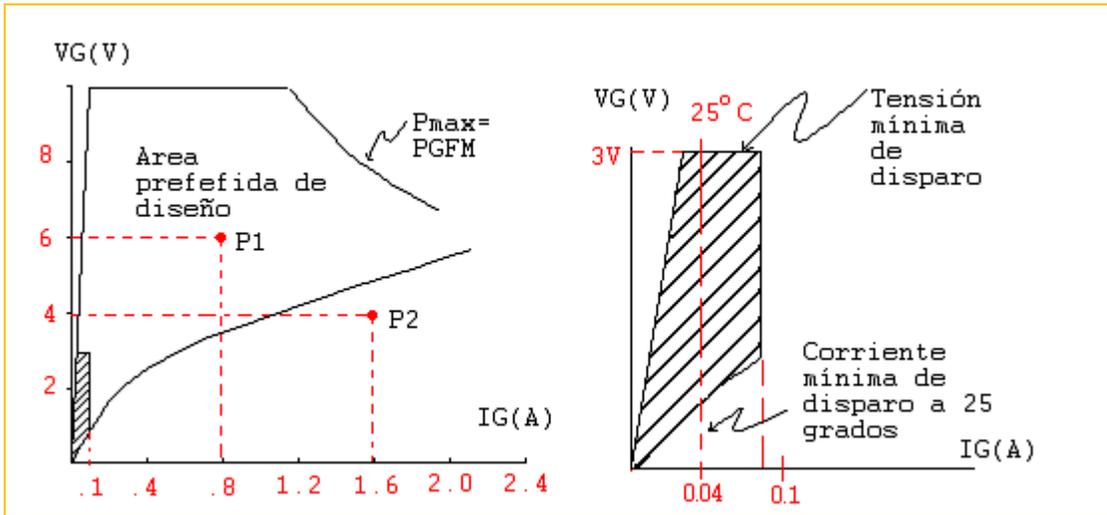
$V_{BRF}$  = Voltaje de ruptura directo o de disparo

$I_H$  = Corriente de sostenimiento

$V_{BRR}$  = Voltaje de ruptura inverso.

Inicialmente al aumentar el voltaje de ánodo directo, la corriente de ánodo aumenta muy levemente hasta que se alcanza el valor de disparo, punto en el cual el SCR pasa a la región de conducción.

Si se disminuye la corriente de ánodo por debajo de  $I_H$  el SCR pasa a corte. Nótese en las curvas que el aumentar la corriente de puerta  $I_G$  disminuye  $V_{BRF}$ .



Los fabricantes también ofrecen gráficas de  $V_G$  en función de  $I_G$  con el fin de tener la zona preferible de disparo del SCR.

En las gráficas anteriores se tiene que el SCR se dispara a temperatura ambiente (25°C) si la  $I_G > 40$  mA y  $V_G > 3$  V.

Por ejemplo, una  $I_G = 10$  mA no lo dispara, un  $V_G = 2,6$  tampoco. Si  $V_G = 6$  V y  $I_G = 800$  mA se tendrá un excelente disparo (punto P<sub>1</sub>). Si  $V_G = 4$  V e  $I_G = 1,6$  A el SCR no se dispara porque queda fuera del área preferida de disparo (punto P<sub>2</sub>)

### 3.2 PROTECCIÓN

Un SCR se debe proteger contra (a)  $dv/dt$  (b)  $di/dt$  (c) Transitorios (d) Interferencia en RF (RFI)

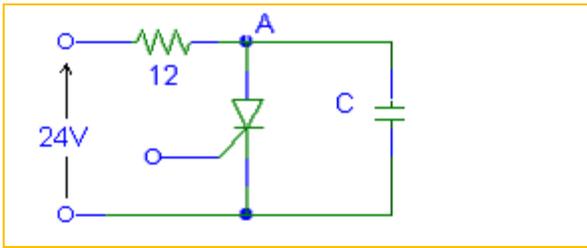
(a) Contra la variación de voltaje

Se coloca un condensador en paralelo con el SCR, Por ejemplo,

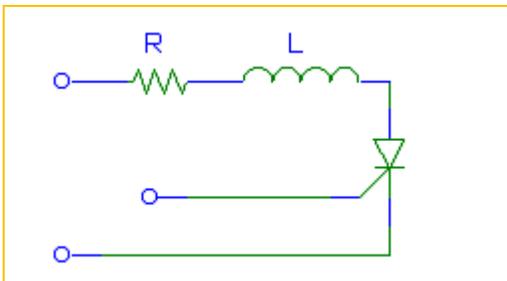
$$\text{si, } \frac{dv}{dt} = 20 \frac{V}{\mu S}$$

En una constante de tiempo  $V_{AK}$  subirá  $0,63 \times 24 = 15$  V , entonces, se necesita:

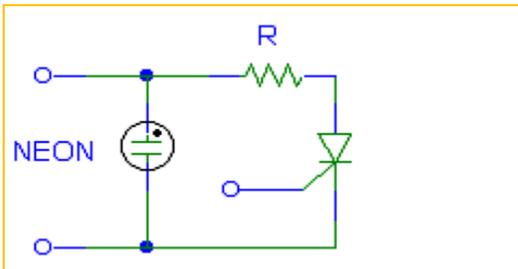
$$0,75 \mu\text{s} = RC \quad C = 0,75 \mu\text{s} / 12 \Omega \rightarrow C = 0,063 \mu\text{f}.$$



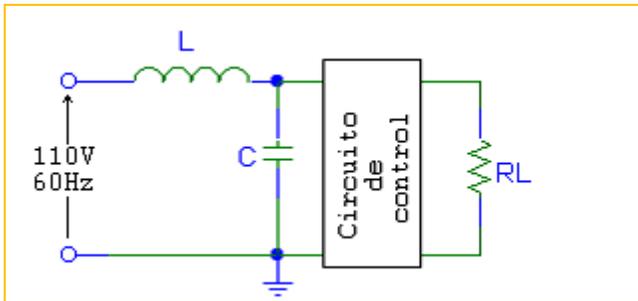
(b) Contra la variación de corriente se utiliza como protección una bobina en serie con el SCR.



(c) Contra transitorios o picos de tensión se puede colocar un Zener a una lámpara de Neón en paralelo con el SCR.



(d) Para controlar la RFI se utiliza un filtro LC tal como se indica en la figura. La L limita el tiempo de subida de la corriente en la carga y C puentea la alta frecuencia a tierra, mientras deja pasar los 60Hz.



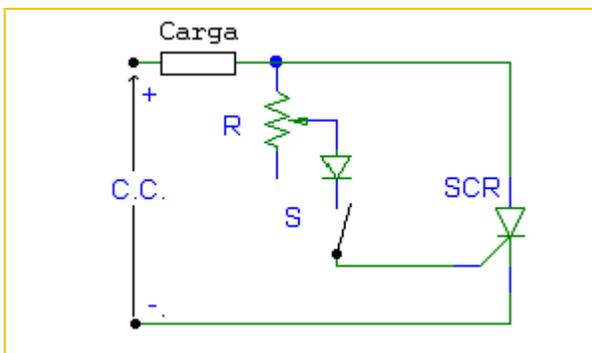
$$2\pi fL = R_L \quad L = R_L / (2\pi f) \quad f = R_L / 2\pi L = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \Rightarrow C = \frac{L}{R_L^2}$$

Si  $L=100\mu\text{H}$  y  $f_0=1\text{Mhz}$   $X_L=638\Omega$   $X_C=10\Omega$  a  $f=60\text{Hz}$   $X_L\approx 0,037\Omega$   
(casi corto circuito),  $X_C\approx 265\text{K}$  ( $\rightarrow$  a circuito abierto)

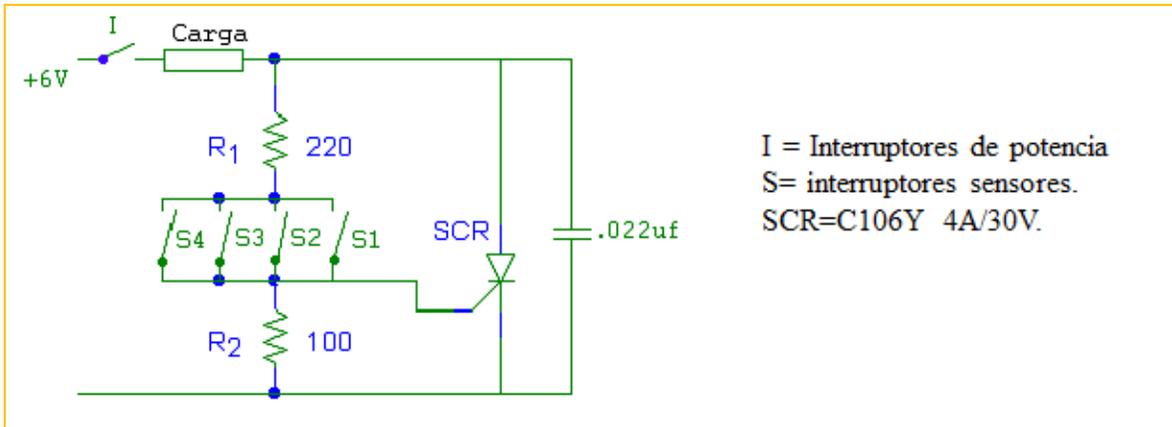
### 3.3 MÉTODOS DE DISPARO

Un SCR se puede disparar (a) por corriente continua (b) por corriente alterna (c) por pulsos.

#### (a) POR CORRIENTE CONTINUA



Cuando S está abierto, no circula corriente, o sea,  $I_g=0$  no hay disparo, el SCR está cortado. Al cerrar S circula  $I_g$  y el SCR se dispara, o sea conduce y le llega corriente a la carga haciéndola funcionar (alumbrar si es un bombillo o sonar si es un timbre). Si el interruptor S se vuelve a abrir, el SCR sigue disparado y por lo tanto la carga funcionando. Este es un circuito típico de alarma de C.C. A continuación se da un ejemplo más práctico.



El interruptor de potencia puede ser con llave para seguridad. Los interruptores sensibles están normalmente abiertos y pueden ir colocados en puertas, ventanas, etc.

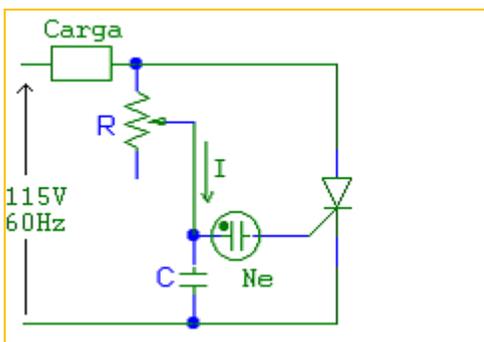
$$\text{Si } \frac{dv}{dt} = 20 \frac{V}{\mu S} \quad V_{AKmax} = 0,63 \times 6 = 3,78V$$

$$\frac{3,78}{RC} = \frac{20V}{\mu S}; \quad RC=0,19\mu S \quad RC \geq 0,19 \mu S$$

$$\text{si } R_L=2\Omega \quad RC=0,44\text{mseg.}$$

Si este circuito se conectara a C.A. se debería rectificar la señal y además colocar en paralelo con el SCR una resistencia en serie con un condensador electrolítico para que de esta forma la carga funcione un tiempo más después de que se abra de nuevo el interruptor S.

### b) POR CORRIENTE ALTERNA



La lámpara de Neón se usa como dispositivo de disparo. Las lámparas de Neón tienen una elevada resistencia antes del disparo y se excitan o disparan con voltajes de 40 a 90V. Si el Neón se dispara a 40V y C=1uf, entonces:

$$V_{in} = 115V \quad V_p = 115\sqrt{2} = 163V \quad V_R^2 = V_{in}^2 - V_C^2; \quad V_C = 40V$$

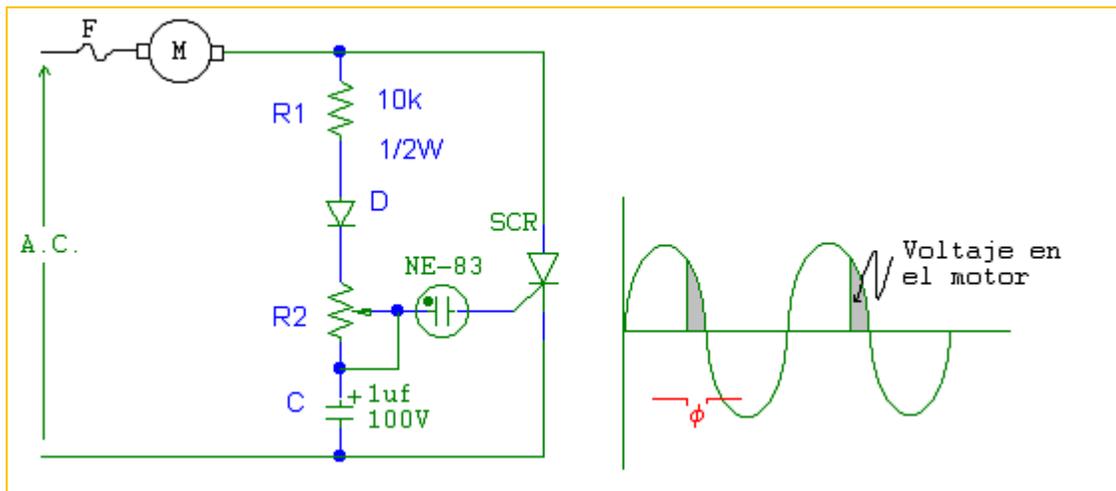
$$V_R^2 = 163^2 - 40^2 \rightarrow V_R = 158V \quad R = V_R / I$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} = 2,65K$$

$$I = \frac{V_C}{X_C} = \frac{40V}{2,65K} = 15mA$$

$$R = 158 / 15 = 10,5K\Omega$$

Este circuito es un modelo típico de un “control de fase” ya que el ángulo de conducción en la carga se puede variar con el valor de R. El manual de la RCA Thyristors / Rectifiers nos presenta el siguiente circuito que controla la velocidad de un motor universal.



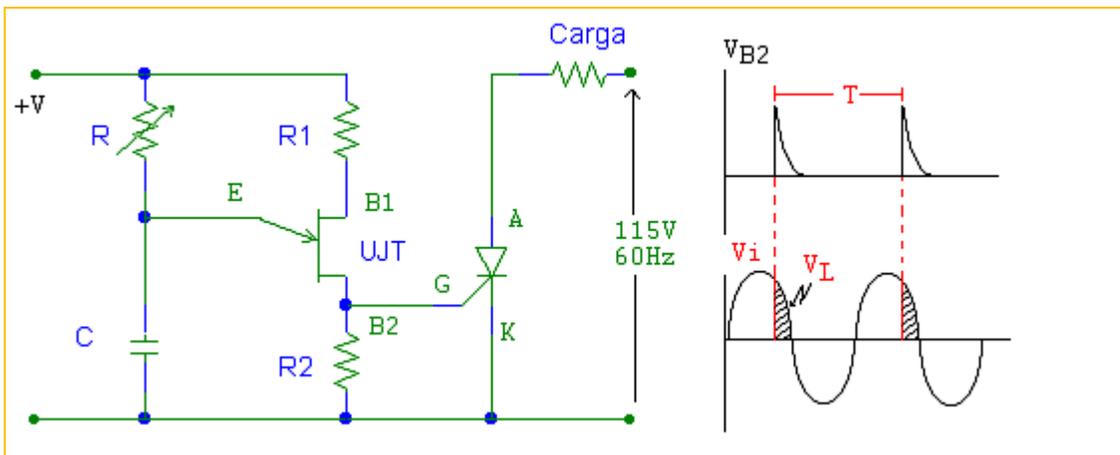
### Tabla de componentes

Voltaje AC	Corriente AC	F	D	R <sub>2</sub>	SCR
120V	1 A	3AG, 1.5 A	D1201B	100K, ½ w	RCA-2N3528
120V	3 A	3AB, 3 A	D1201B	100K, ½ w	RCA-2N3828
120V	7 A	3AB, 7 A	D1201B	100K, ½ w	RCA-2N3669
240V	1 A	3AG, 1.5 A	D1201D	150K, ½ w	RCA-2N3529
240V	3 A	3AB, 3 A	D1201D	150K, ½ w	RCA-2N3525
240V	7 A	3AB, 7 A	D1201D	150K, ½ w	RCA-2N3670

Este circuito se acomoda a motores universales de hasta  $\frac{3}{4}$  hp para 120V y hasta 1-  $\frac{1}{2}$  hp para 240V

### (c) POR PULSOS

Un SCR se puede disparar por pulsos positivos aplicados a la puerta. Uno de los métodos más comunes es usando un transistor Unijuntura (UJT) como se indica a continuación:



El voltaje en la carga se puede variar cambiando el periodo  $T$  de los pulsos positivos. Esto se consigue con el potenciómetro  $R$  del circuito UJT.

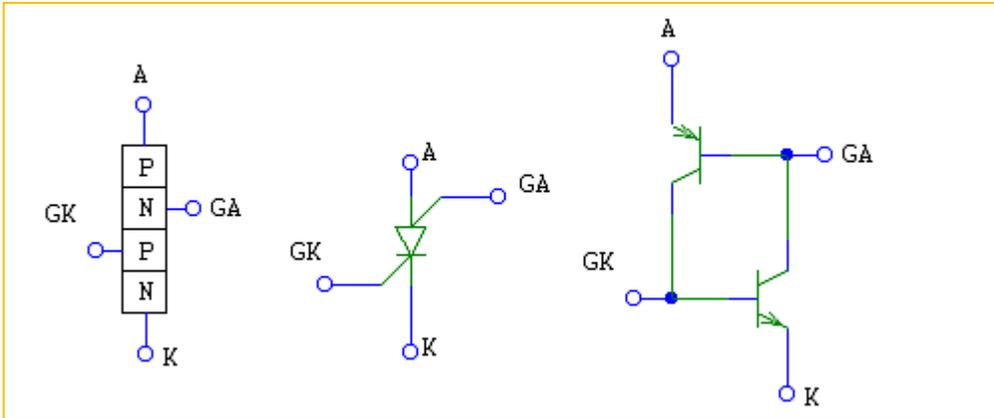
## 4. OTROS INTERRUPTORES CONTROLADOS

### 4.1 EL SCS

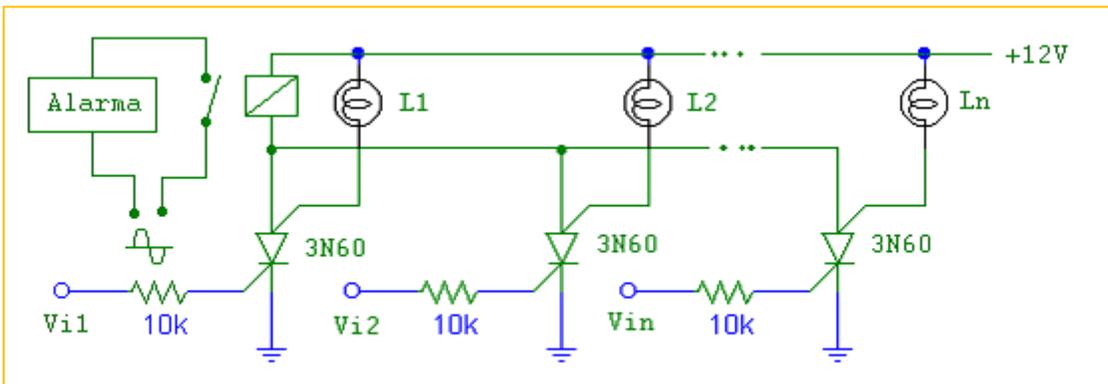
El interruptor controlado de silicio es también un dispositivo de 4 capas PNPN con dos puertas de ánodo  $G_A$ , y de cátodo  $G_K$ . Las características son esencialmente las mismas del SCR. La puerta de ánodo sirve para colocar el dispositivo en conducción o cortarlo. Un pulso negativo en  $G_A$  lo coloca en conducción y un pulso positivo lo lleva a corte.

La corriente de puerta de ánodo es mayor que la corriente de cátodo. Por ejemplo, si  $I_{G_A} = 1.5\text{mA}$ ,  $I_{G_K} = 1\mu\text{A}$ . El tiempo de encendido y apagado de un SCS es menor (1 a  $10\mu\text{s}$ ) que para un SCR (5 a  $30\mu\text{s}$ ). La principal desventaja del

SCS es su desarrollo a bajas potencias. Normalmente  $I_{Amax} \approx 100$  a  $300\text{mA}$  con disipación de unos  $100$  a  $500\text{ mW}$ .



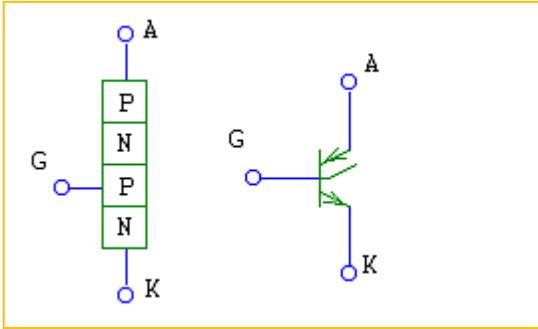
Una aplicación típica del SCS es en una alarma de  $n$  estaciones en la cual cada estación tiene una señalización diferente.



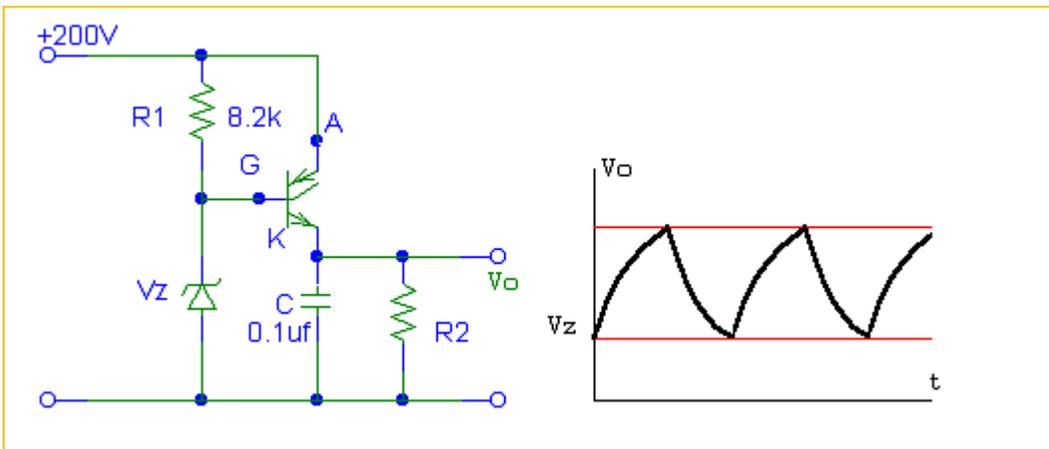
Cualquier señal de entrada presente encenderá el SCS particular, obteniéndose una alarma energizada por el relé y una luz en el circuito de  $G_A$  indicará la localización de la entrada. (disturbio)

## 4.2 EL GTO o GCS

El interruptor apagado por compuerta (Gate Turn Off Switch) o interruptor controlado por compuerta (Gate Controlled Switch) puede ser encendido o apagado aplicando un pulso adecuado a la puerta (G). La  $I_g$  para un GTO es mayor ( $\approx 20\text{ mA}$ ) que la  $I_g$  de un SCR ( $\approx 30\text{mA}$ ).



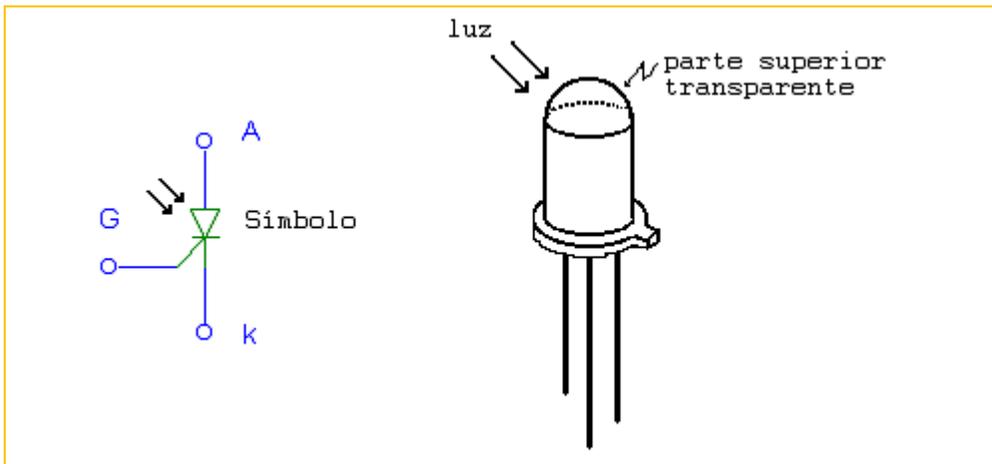
La corriente de ánodo está limitada a 3 A y su potencia a 20W aproximadamente. Otra importancia del GTO es que es aplicable a alta velocidad. El tiempo de encendido es aproximadamente igual al del SCR ( $\approx 1\mu\text{s}$ ) pero el tiempo de apagado del SCR (5 a 30  $\mu\text{s}$ ) es mucho mayor que el del GTO ( $\approx 1\mu\text{s}$ ). De las principales aplicaciones del GTO es como generador de dientes de sierra.



Como inicialmente la juntura puerta - cátodo (G-K) está polarizada directamente el GTO conduce; esto hace que el condensador se cargue hacia +V. Cuando  $v_c = v_o > V_z$  la corriente de puerta ( $I_g$ ) circula en sentido contrario y se corta el GTO. Al apagarse el GTO se descarga el condensador por la resistencia  $R_2$ . Al llegar  $v_c = v_o < V_z$  el GTO vuelve a conducir y se repite el ciclo.

### 4.3. EL LASCR

El SCR activado por luz se conduce más comúnmente como fototiristor. Su estado (COND-CORT) es controlado por la luz que cae sobre una capa sensible semiconductora de silicio que hace de ánodo.

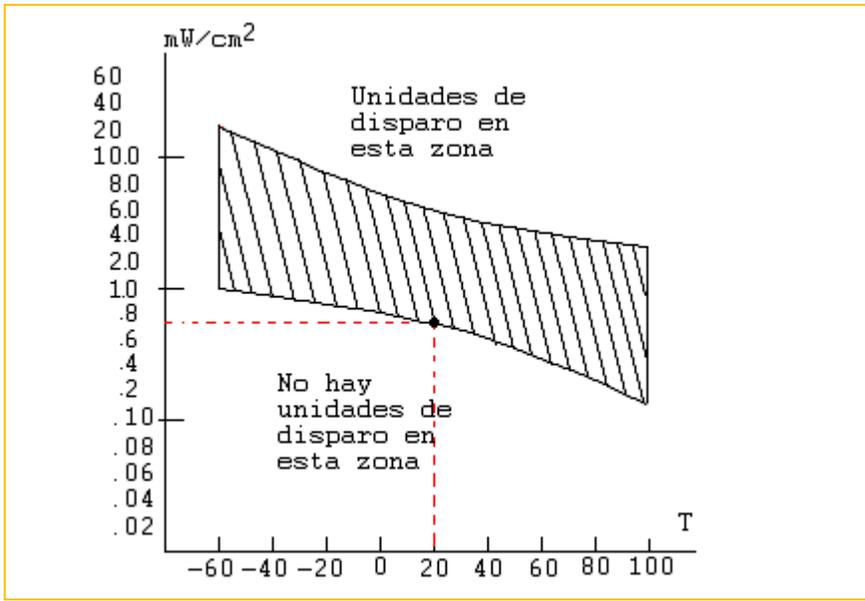


Son de poca potencia  $P \approx 0,1 \text{ W}$  y  $I_{\text{max}} = 3 \text{ A}$

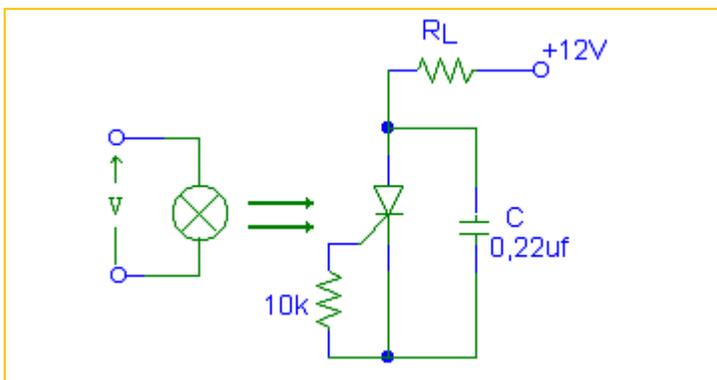
El fototiristor es más sensible a la luz cuando la puerta está abierta. Su sensibilidad puede reducirse y controlarse algo insertando una resistencia en la puerta.

El fototiristor permanece apagado antes que una irradiación adecuada lo dispare y conduce en cuanto se supera el umbral óptico. La corriente de ánodo no varía prácticamente con el nivel de luz.

En la siguiente figura, el área sombreada representa el lugar geométrico de los posibles puntos de disparo desde  $-65^{\circ}\text{C}$  hasta  $100^{\circ}\text{C}$ . Las curvas se han graficado para  $V_A = 6\text{V}$  y  $R_{GK} = 56\text{K}\Omega$ . Como ejemplo y observando en la gráfica se tiene que a  $20^{\circ}\text{C}$  se requiere una irradiación mínima aproximadamente de  $0,7 \text{ mW/cm}^2$  para poderse disparar el fototiristor.



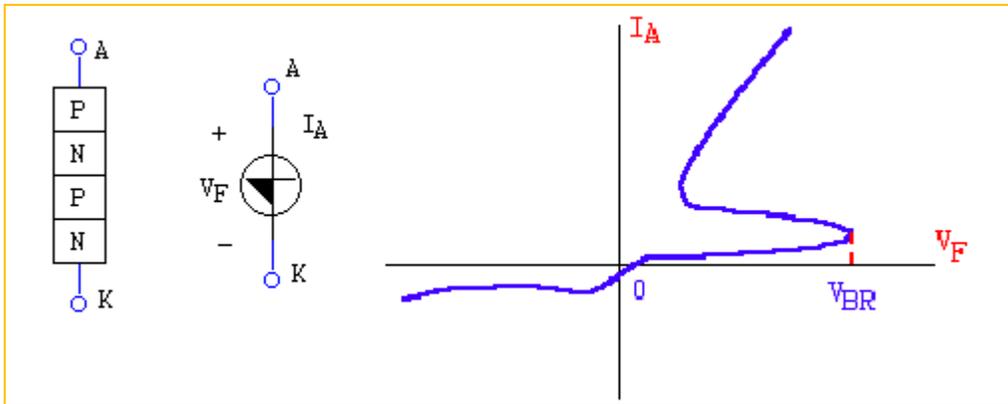
Las aplicaciones principales son para sistemas lógicos ópticos y relés ópticos.



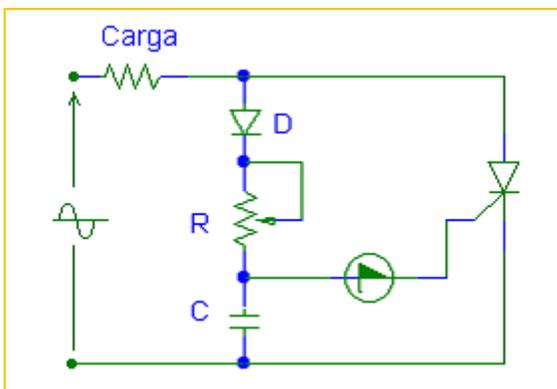
La fuente de luz puede ser una lámpara o un LED. Existe un aislamiento completo entre la entrada y el fototiristor.

#### 4.4. EL DIODO SHOCKLEY

Es un semiconductor de 4 capas con dos terminales. La curva característica muestra que se dispara (conduce) cuando el voltaje positivo aplicado al ánodo supera el nivel  $V_{BR}$ . La curva característica es igual al SCR con  $I_G=0$ .



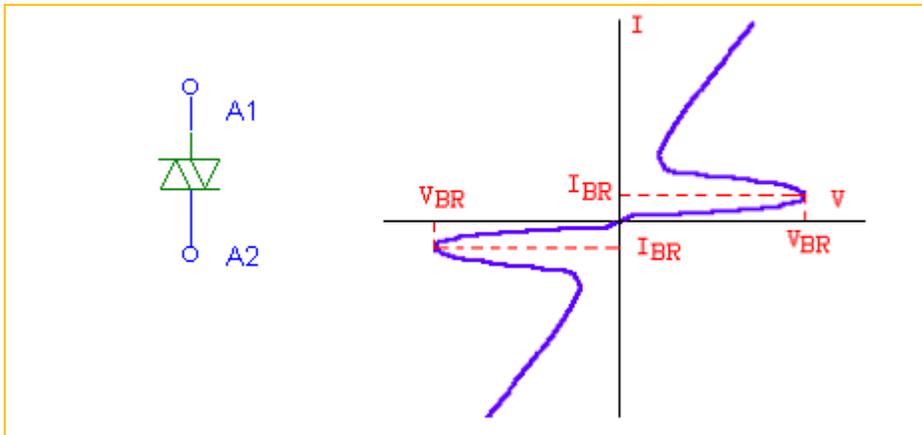
Se aplica comúnmente como dispositivo de disparo de un SCR.



Su funcionamiento es exactamente igual al visto ya en la sección 5,3, en el cual se usó como dispositivo de disparo, una lámpara de Neón.

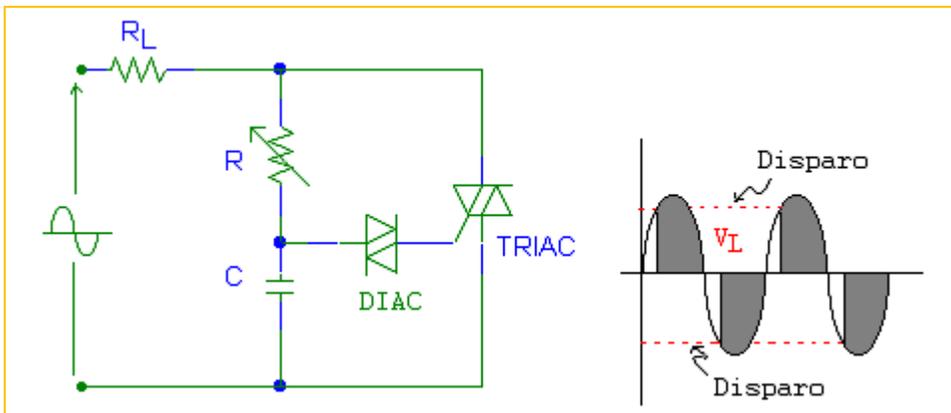
## 5. EL DIAC

Es otro diodo de 4 capas con la propiedad de dispararse en forma directa o inversa, o sea, que es un dispositivo de disparo bidireccional.



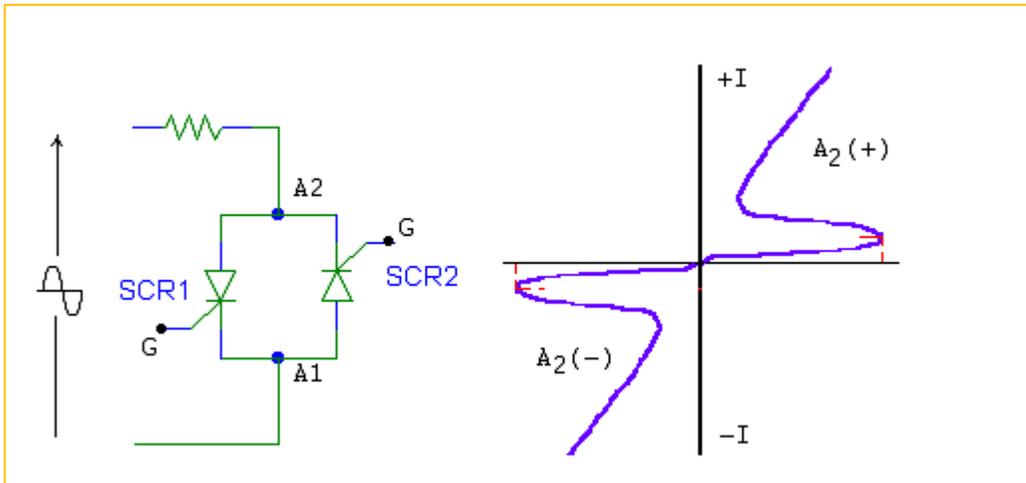
Su aplicación principal es como dispositivo de disparo del TRIAC como control de fase.

El circuito es un control de fase que controla la potencia de CA en la carga variando el ángulo de disparo del DIAC por la resistencia  $R$ . Al superar el voltaje en el condensador el voltaje  $V_{BR}$  del DIAC éste se dispara, haciéndolo seguidamente el TRIAC. Este control es más efectivo que el usado con el SCR ya que la potencia en la carga es mayor.

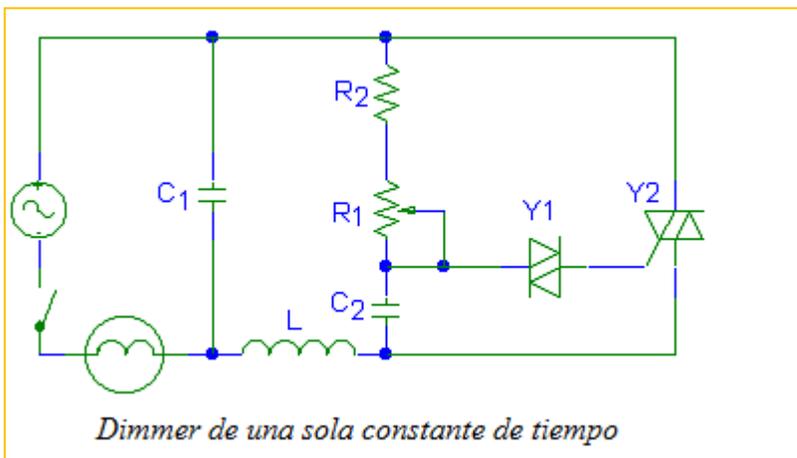


## 6. EL TRIAC

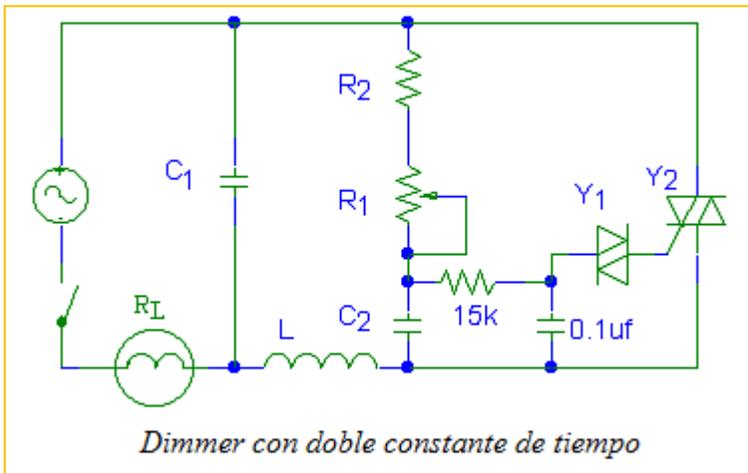
Es un SCR bilateral, esto es que se puede disparar en compuerta para cualquier dirección de la corriente  $I_G$ . Su funcionamiento se puede comparar con dos SCR en antiparalelo.



Cuando la alternancia es positiva en la señal de entrada el triac se dispara si se aplica un pulso positivo a la puerta (G) (disparo de SCR1). Durante la alternancia negativa el triac se dispara (SCR2) aplicando un pulso negativo a la puerta. Se usa principalmente en controles de luz (Dimmer), en controles activados por luz, control de motores.



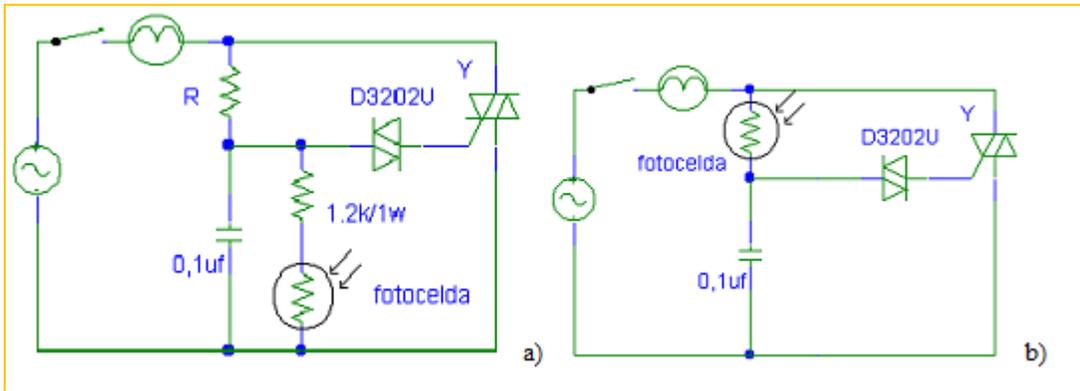
	110V	220V
$R_1$	0,25M	0,25M
$R_2$	3,3K	4,7K
$C_1$	0,05uf	0,1uf
$C_2$	0,05uf	0,1uf
L	100uH	200uH
$Y_1$	D3202U	D3202U
$Y_2$	T2800B	T2800B



	110V	220V
$R_1$	0,1M	0,2M
$R_2$	2,2K	3,3K
$C_1, C_2$	0,1uf	0,1uf
L	100uH	200uH
$Y_1$	D3202U	D3202U
$Y_2$	T2800B	T2800B

El dimmer es un circuito que controla la luminosidad del bombillo variando el potenciómetro  $R_1$ . Al variar  $R_1$  se varía el ángulo de disparo del triac; esto hace que varíe la potencia en la carga y por lo tanto la luminosidad del bombillo.

Otro tipo de aplicación es en los controles activados por luz. Por ejemplo: controlar una carga con la llegada de luz o al contrario, controlarlo al quitar o cortar el rayo de luz.



	110V	220V
R	15k/2W	30K/3W
Y	T2800B	T2800D

(a)

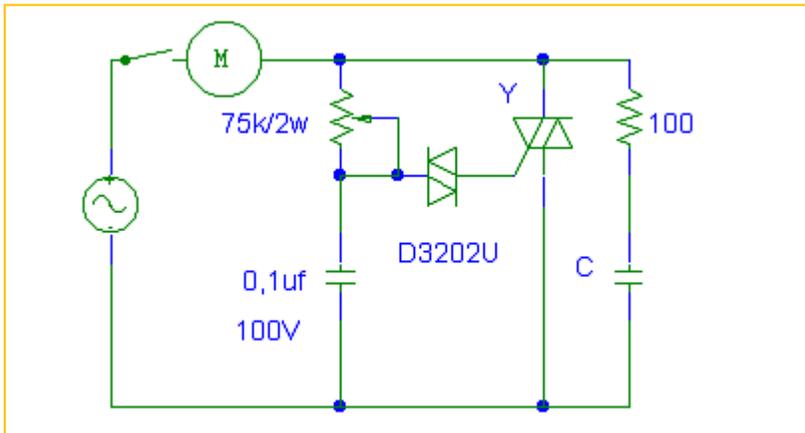
	110V	220V
Y	T2800B	T2800D

(b)

En el circuito de la figura (a) al cortarse el rayo de luz que llega a la fotocelda se dispara el DIAC y éste al triac haciendo encender el bombillo y permanece encendido ( $f=60$ ) hasta que llegue de nuevo el rayo de luz. El circuito de la figura (b) funciona al contrario, esto es, que el bombillo se enciende cuando llega luz y se apaga al no haber luz o simplemente cortando el rayo de luz que llega a la fotocelda.

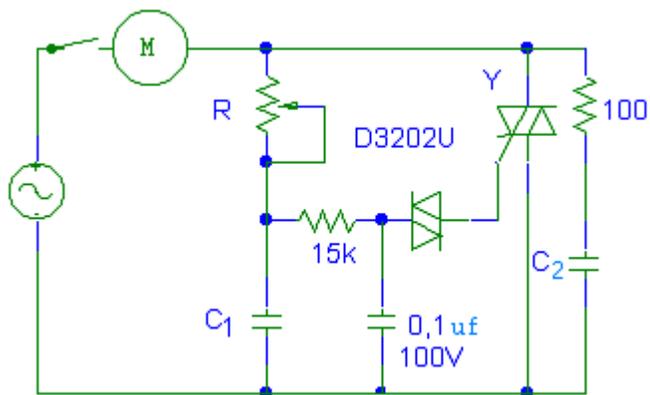
También se utiliza para controlar la velocidad de un motor. A continuación se referencia dos circuitos del manual de la RCA:

## CONTROL DE UN MOTOR DE INDUCCION



	110V	220V
C	0,22uf /200V	0,22uf/400V
Y	T2700B	T2700D

## CONTROL DE UN MOTOR UNIVERSAL

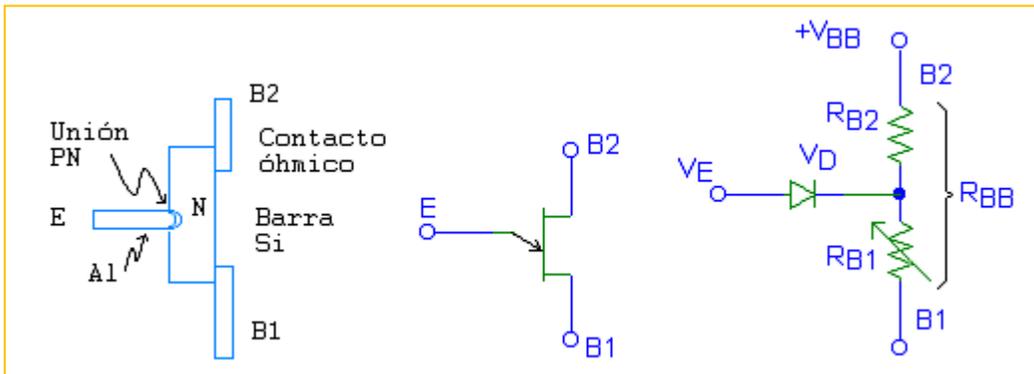


	110V	220V
R	100k/ ½ w	200K 1 W
C1	0,1uf / 200V	0,1uf/400V
C2	0,22uf /200V	0,22uf /400V
Y	T2700B	T2700D

## 7. EL TRANSISTOR UNIJUNTURA - UJT

### 7.1 ESTRUCTURA

Su estructura consiste en una barra de silicio tipo N ligeramente dopada que tiene dos terminales  $B_1$  y  $B_2$  llamados *bases* y una barra de aluminio fundida en la superficie opuesta formando una juntura PN. La barra de aluminio está más cerca de  $B_2$  que a  $B_1$ .

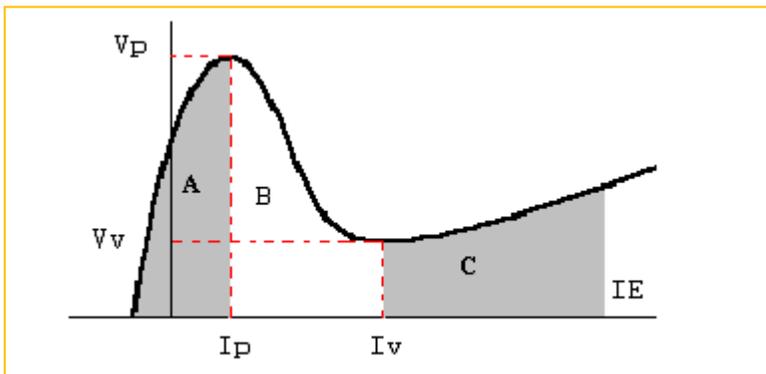


La resistencia interna  $R_{B1}$  varía con  $I_E$ .  $R_{B1}$  puede variar desde 5K hasta  $50\Omega$  cuando  $I_E$  varía de 0 a  $50\mu A$ .

$$R_{BB} = R_{B1} + R_{B2} \Big|_{i_E = 0}, \quad 4k < R_{BB} < 10k$$

$$V_{RB1} = \frac{V_{BB} R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}} = \eta V_{BB}; \quad \eta = \frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}}$$

Cuando  $V_E \geq V_p$  el UJT se dispara.



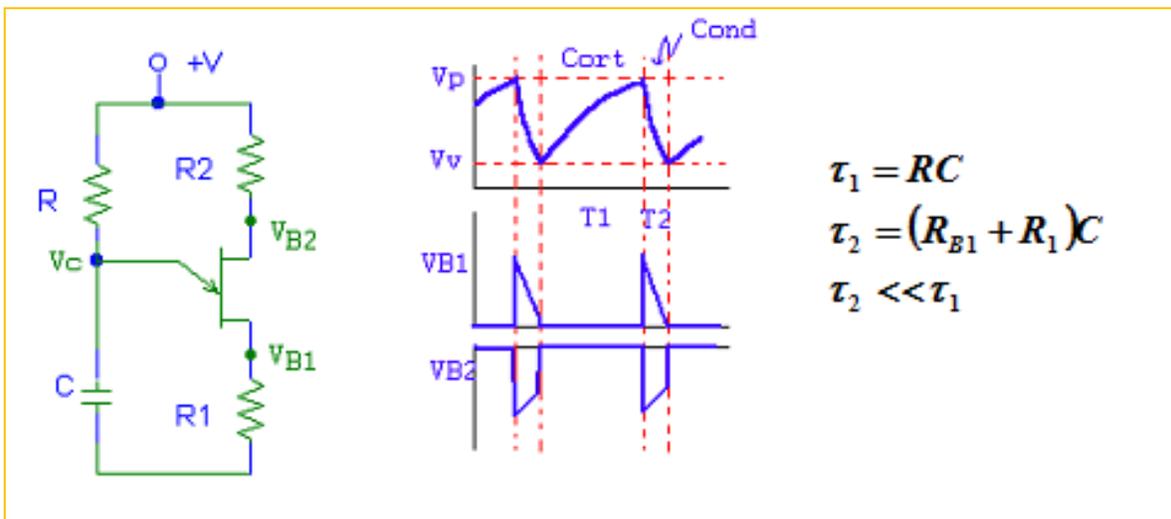
- A) Región de corte
- B) Región de resistencia negativa
- C) Región de Saturación

- $V_p$  = Voltaje de pico
- $V_v$  = Voltaje de valle
- $I_v$  = Corriente de valle
- $I_p$  = Corriente de pico.

$$\bar{V}_p = \eta V_{BB} + V_D$$

El UJT se usa como oscilador de relajación (dientes de sierra) y como dispositivo de disparo de SCR.

## 7.2 GENERADOR DE DIENTES DE SIERRA



El condensador al alcanzar el voltaje de pico  $V_p$  hace conducir el UJT y el condensador se descarga entonces hasta la tensión  $V_v$  que hace entrar el UJT a corte volviéndose a cargar el condensador a  $V_p$  y repitiéndose el ciclo se genera la onda correspondiente.

$$T_1 \gg T_2 \rightarrow T \approx T_1$$

$$V_P - V_V = (V - V_V) \left( 1 - e^{-\frac{T}{RC}} \right) \Rightarrow T = RC \ln \frac{V - V_V}{V - V_P}$$

$$V_P = \eta V + V_D \approx \eta V \quad V \gg V_V \text{ entonces } T = RC \ln \frac{1}{1 - \eta}$$

Para hacer un disparo efectivo R debe cumplir la siguiente condición:

$$\frac{V - V_V}{I_V} < R < \frac{V - V_P}{I_P}$$

### **Ejemplo:**

Usando el UJT 2N4948 que tiene  $I_V = 2\text{mA}$ ,  $I_P = 2\mu\text{A}$ ,  $\eta = 0,7$ ,  $V_V = 3\text{V}$ , determinar el valor de R y de C para que oscile a  $f = 1\text{KHZ}$

$$V_P = \eta V_{BB} + V_D = 0,7 (12) + 0,7 = 9,1\text{V}$$

$$f_{osc} = 1 / RC, \quad RC = 1\text{ms}$$

$$\frac{12 - 3}{2\text{mA}} < R < \frac{12 - 9,1}{2\mu\text{A}} \quad 1,45\text{M} < R < 4,5\text{K}$$

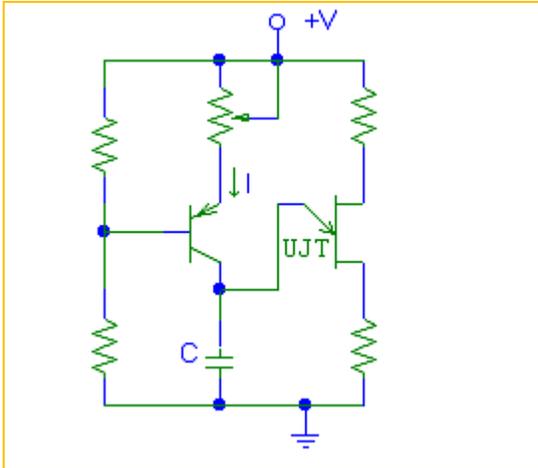
Se toma un  $R = 10\text{K} \rightarrow C = 0,1\mu\text{f}$ .

La linealidad de la forma de onda de salida se mejora cargando el condensador con una fuente de corriente constante.

$$v_c = \frac{1}{C} \int i dt \quad \text{si } I = \text{cte} \quad v_c = \frac{I t}{C} = \left( \frac{I}{C} \right) t$$

donde  $v_c$  es proporcional a  $t$  (línea recta)

Suponiendo:  $V = 20\text{V}$ ;  $\eta = 0,6$ ;  $C = 0,1\mu\text{f}$ ,  $I_E = 1\text{mA}$ ;  $V_{Emin} = 1\text{V}$

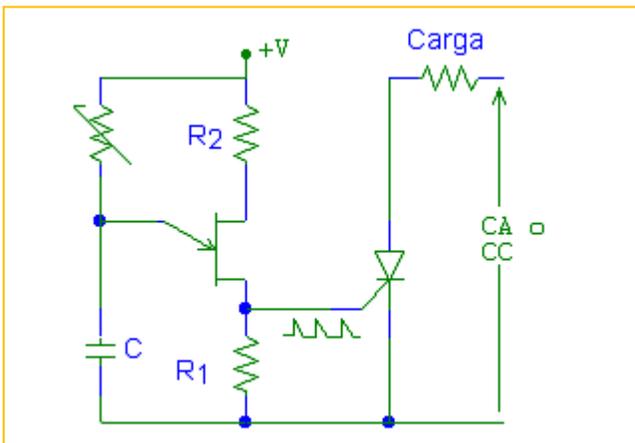


$$V_p = 0,6(20) + 0,7 = 12,7V$$

$$V_{CP} = V_p - V_{Emin} = 12,7 - 1 = 11,7V \quad I_C \approx I_E = 1mA$$

$$v_c = \frac{I t}{C}, \quad f = \frac{I_E}{C V_C} = \frac{1mA}{0,1 \times 10^{-6} \times 11,7} = 0,854 Kc$$

Otra aplicación muy usada es utilizar los pulsos positivos en  $V_{R1}$  para disparar un SCR.



$R_1$  se escoge para reducir  $V_{GK}$  por debajo de la tensión de disparo.

$$R_{1max} \approx \frac{V_{GKmin}}{I_{BB}}$$

$$R_1 + R_2 \ll R_{BB} \rightarrow I_{BB} \approx V_{BB} / R_{BB}$$

$$R_{1max} \approx \frac{V_{GKmin} R_{BB}}{V_{BB}}; \text{ por ejemplo, si } V_{BB}=25V \text{ } V_{GKmin} = 0,2V \text{ y } R_{BB} = 4K \rightarrow$$

$$R_{1max} = 32 \Omega.$$

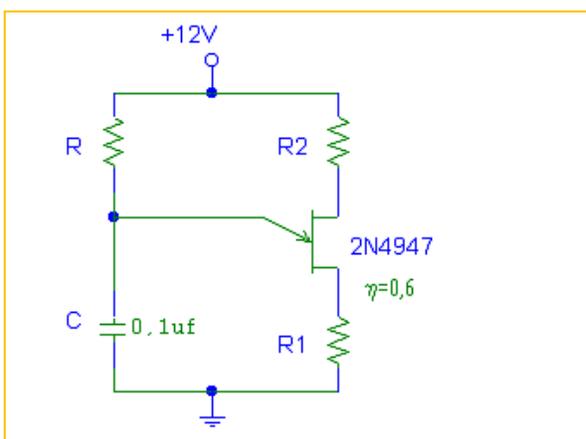
Los fabricantes de SCR y UJT han analizado muchas combinaciones UJT – SCR que garantizan las condiciones de funcionamiento. Tablas y curvas como aparecen en la figura a permiten un diseño rápido y seguro, Suponiendo  $R=10K$  y  $R_2=100\Omega$ , el procedimiento para usar la tabla y las curvas es el siguiente:

1. Determinar SCR y el UJT compatible en la tabla de la fig A(a). Por ejemplo: SCR= 2N2344 (C7) y UJT= 2N2647.
2. Escoger el valor de  $R_1$  y  $V_{BBmax}$  y seleccionar la curva particular. Ej:  $R_1=15\Omega$   $V_{Bbmax}=35V$  curva F. Ver fig A(b).
3. Calcular el valor de C y por medio de la curva determinar  $V_{BBmin}$ .

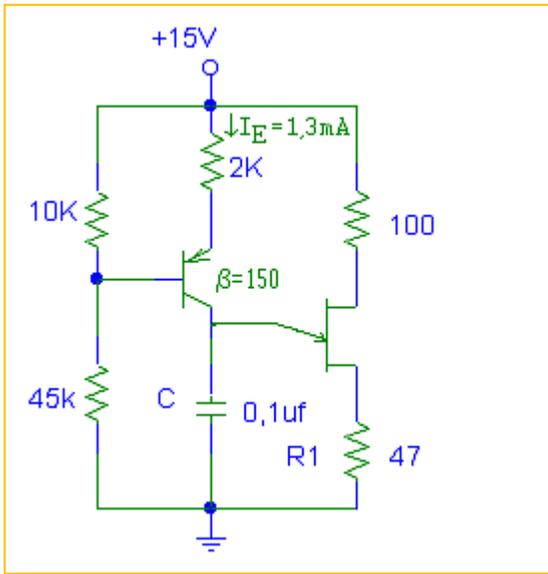
Si  $f = 1Khz \rightarrow f = 1 / RC$   $R = 10Khz \rightarrow C = 0,1 \text{ uf}$ . De la curva F y tomando  $C=0,1 \text{ uf} \rightarrow V_{Bbmin} = 18V$  se escoge  $V_{BB} = 20V$ . Si se quiere elevar el valor de  $R_2$  por ejemplo a 680  $\rightarrow$  se debe aumentar el valor de  $V_{BB}$  por ejemplo a 24V.

## Ejercicios

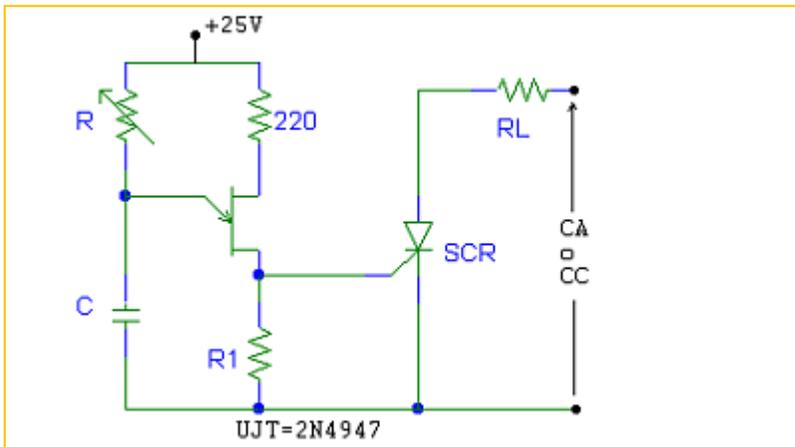
1. Calcular el valor de R para obtener 1Khz y comprobar que R cumple con los requisitos. Use las curvas (a) y (c) de la fig B. Resp:  $R = 10K\Omega$



2. Calcular la  $f_{osc}$  del generador de la figura. Use las curvas (a) de la fig B. Resp: 1,53Khz UJT: 2N4947



3. Calcular el valor de  $R_1$  que asegure que el tiristor no sufre disparos falsos por  $I_{BB}$ .  $V_{Gmin} = 0,4V$ . ¿Cuál es la magnitud de  $V_{EB1}$  si  $I_E = 10mA$ ? Resp:  $64\Omega$ ,  $1,5V$

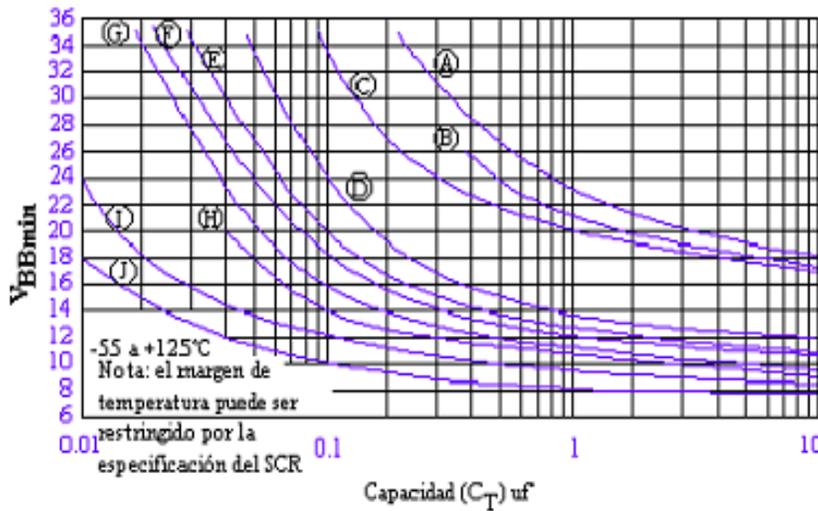


4. Utilizando las curvas de diseño (fig A) , calcular  $C$ ,  $V_{BBmin}$ ,  $R_1$ . SCR=2N2619  
 UJT= 2N2646,  $R=10K$ ,  $R_2=300\Omega$ ,  $f = 100$  Hz. Resp:  $C = 1\mu f$   $V_{BBmin} = 13V$   
 $R_1 = 27\Omega$ .

Tipo UJT	Tipo de SCR	Curva	RI	V
Desde 2N489A y B hasta 2N494A, B y C (También tipos USAF)	C60(2N2023-30) C55 y C56 C52(2N1792-98) C50(2N1909-16) C46 C45 C37 C36(2N1842-50)	A	27Ω ±10%	35V
		B	47Ω ±10%	26V
		C	Transformador de impulsos PE2231	35V
Desde 2N2417A y B Hasta 2N2422A, B y C	C40 C38* C35(2N681-92) C30 y C32** C20 y C22** C15	D	27Ω ±10%	35V
		E	47Ω ±10%	20V
		G	Transformador de impulsos SPRAGUE 31Z204	35V
2N1671A y B	C12 C11(2N1770-78, 2N2619) C10(2N1770A-77 A) C9	E	27Ω ±10%	32V
		G	47Ω ±10%	18V
		I		35V
2N2646	C8(2N1929-35) 2N1595-99		SPRAGUE 31Z204	
2N2647***	C7(2N2344-48) C6 C5	F	27Ω ±10%	35V
		H	27Ω ±10%	20V
		J	SPRAGUE 31Z204	35V

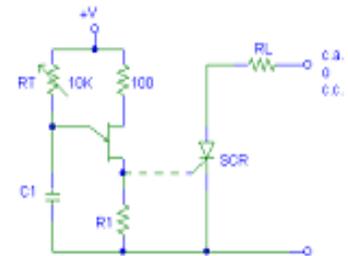
Notas: \*Limitado a 27v máx en la curva -D- y 15V en la curva-E-.  
 \*\*Menos requerimientos de disparo que en otros de este grupo  
 \*\*\*El mínimo impulso de disparo es dos veces la amplitud de otros UJT, lo que asegura 2:1 sobre el mínimo requerimiento de disparo del SCR

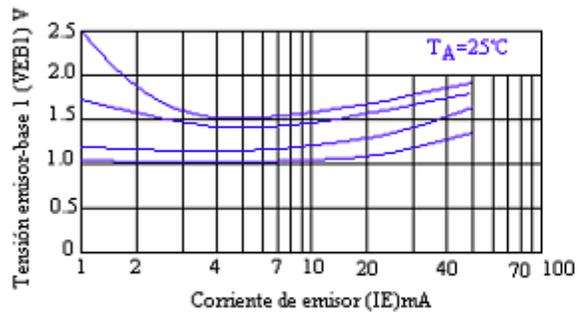
FIG A.(a)



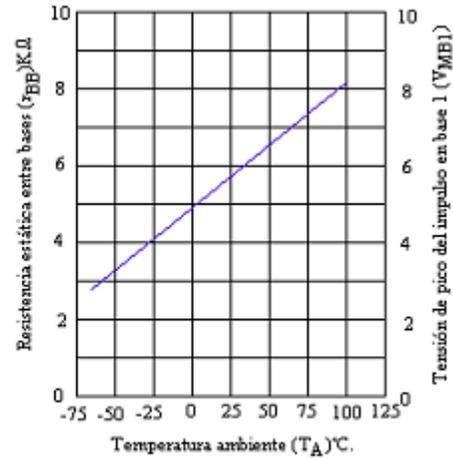
(b)

Fig A.(b)

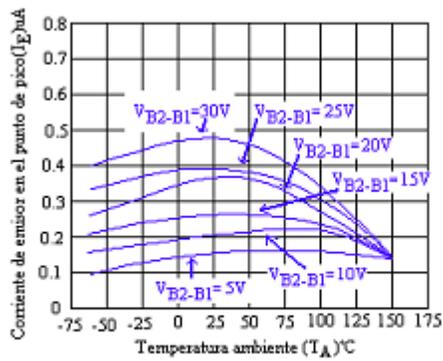




**Fig B. (a)**



**Fig B.(b)**

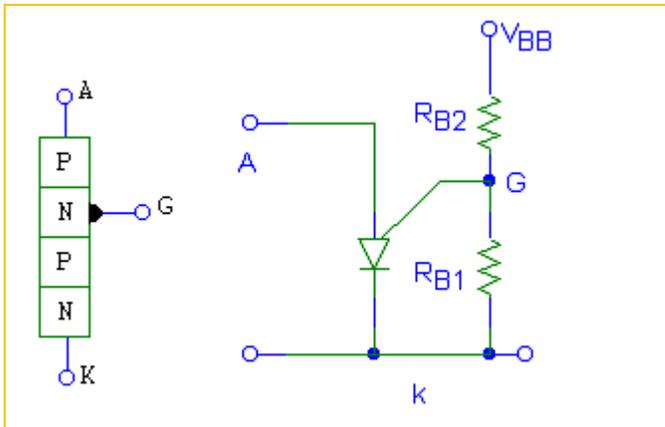


**Fig B.(c)**

## 8. EL PUT

### 8.1 ESTRUCTURA

Es un transistor Unijuntura Programable. Esto es, que se pueden controlar  $R_{BB}$ ,  $\eta$ ,  $V_P$  por medio de  $R_{B1}$ ,  $R_{B2}$ , y  $V_{BB}$ .



La curva característica del PUT es igual a la del UJT.  $V_p = \eta V_{BB} + V_D = \eta V_{BB} + V_{AG}$   
 $V_p = V_G + 0,7$  (silicio)

**Ejemplo:**

Encuentre  $R_{B1}$  y  $V_{BB}$  para un PUT de silicio si se ha determinado que  $\eta = 0,8$ ,  $V_p = 10,3$  y  $R_{B2} = 5k$

$$\eta = \frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}} = 0,8; \quad R_{B1} = 0,8(R_{B1} + R_{B2})$$

$$0,2R_{B1} = 0,8R_{B2} \rightarrow R_{B1} = 20k\Omega$$

$$V_p = \eta V_{BB} + V_D \quad 10,3 = 0,8V_{BB} + 0,7$$

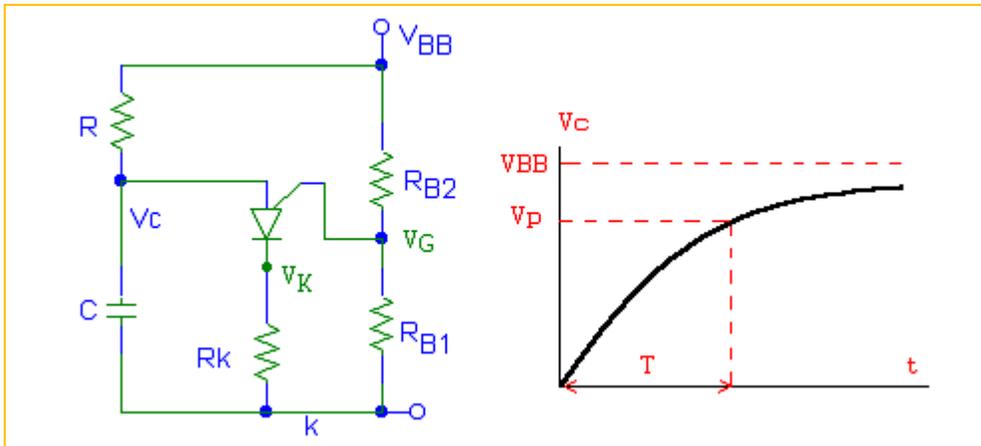
$$V_{BB} = 12V.$$

Las aplicaciones del PUT son similares a la del UJT.

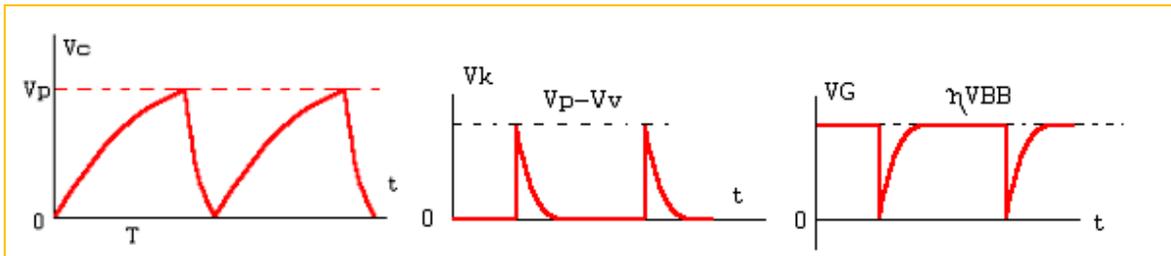
**8.2 OSCILADOR DE RELAJACION**

$$T \approx RC \ln\left(\frac{V_{BB}}{V_{BB} - V_p}\right)$$

$$T \approx RC \ln\left(1 + \frac{R_{B1}}{R_{B2}}\right)$$



Condición para R:  $\frac{V_{BB} - V_P}{I_P} > R > \frac{V_{BB} - V_V}{I_V}$



### Ejemplo:

Si  $V_{BB} = 12V$ ,  $R = 20K$ ,  $C = 1\mu f$ ,  $R_K = 100$ ,  $R_{B1} = 10k$ ,  $R_{B2} = 5K$ ,  $I_P = 100\mu A$ ,  $V_V = 1V$ ,  $I_V = 5,5 \text{ mA}$ .

Determinar:

(a)  $V_P = \eta V_{BB} + V_D = \frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}} V_{BB} + 0,7 = 8,7V$

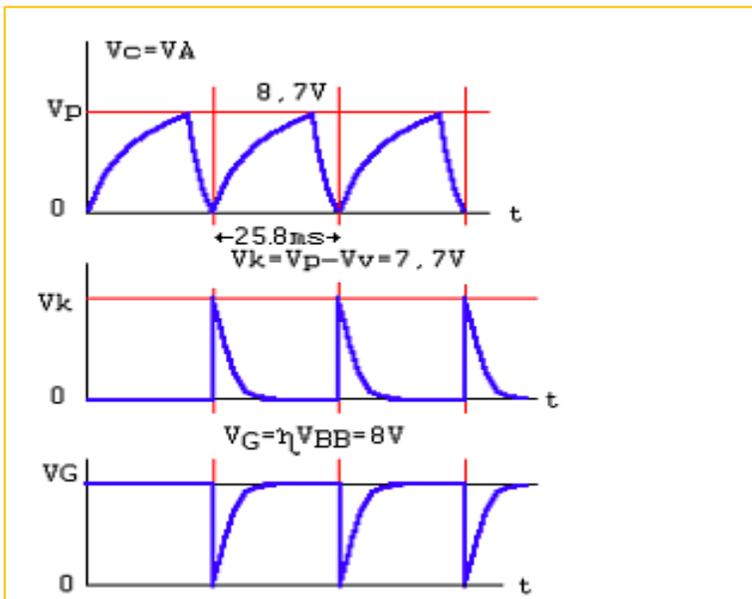
(b) Límites de R

$R_{max} = \frac{V_{BB} - V_P}{I_P} = 33K$     $R_{min} = \frac{V_{BB} - V_V}{I_V} = 2K$

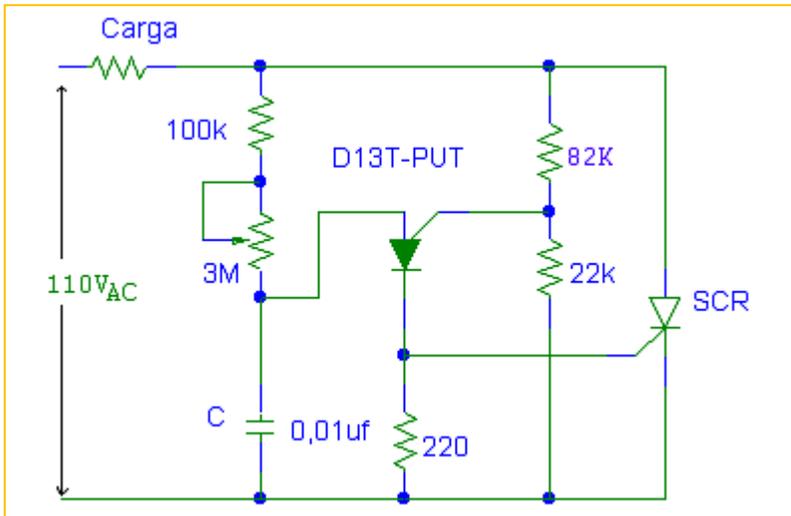
(c)  $f_{osc} = 1 / T$     $T = RC \ln \frac{V_{BB}}{V_{BB} - V_P} = 25,8ms$

$f = 38,7 \text{ Hz}$

(d) Formas de onda.

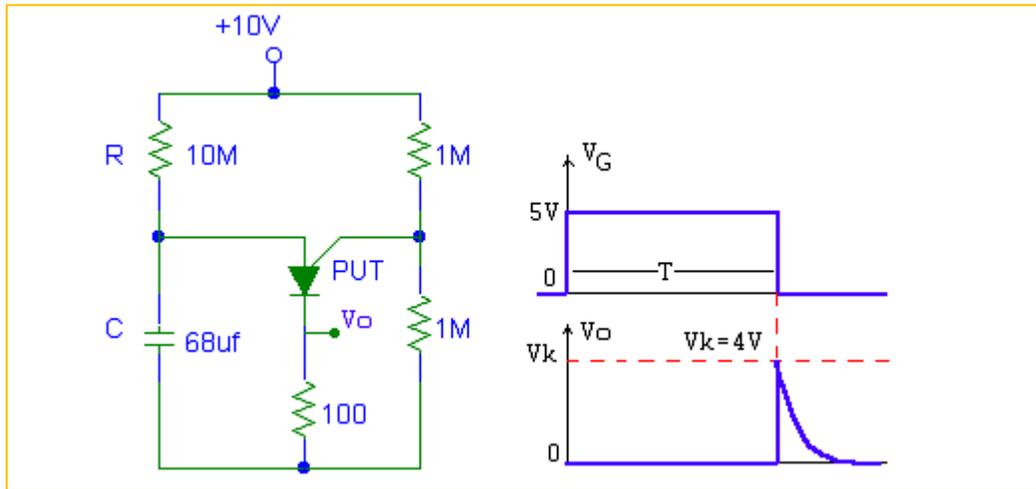


### 8.3 CONTROL DE FASE



Variando el potenciómetro de 3MW se controla la potencia en la carga.

## 8.4 RETARDADOR DE TIEMPO



De las características importantes del PUT es su funcionamiento a corrientes más bajas que el UJT. Por esto, se utiliza como retardador de un tiempo mas o menos prolongado. El circuito anterior es un retardador de 10 minutos.

### **Ejercicios:**

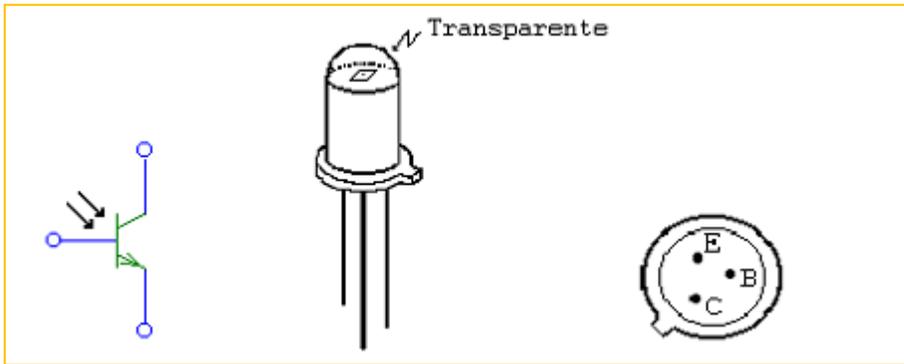
1. Calcular el valor de  $R_{B1}$  y  $R_{B2}$  para una  $R_{BB} = 50k$  y un  $\eta = 0,6$  Resp:  $R_{B1} = 20K$ ,  $R_{B2} = 30k$
2. Calcular el valor de R para un retardo de tiempo de 1hr si  $C = 100 \mu f$   $R_{B1} = R_{B2} = 1M$ .

## 9. OPTOELECTRÓNICA

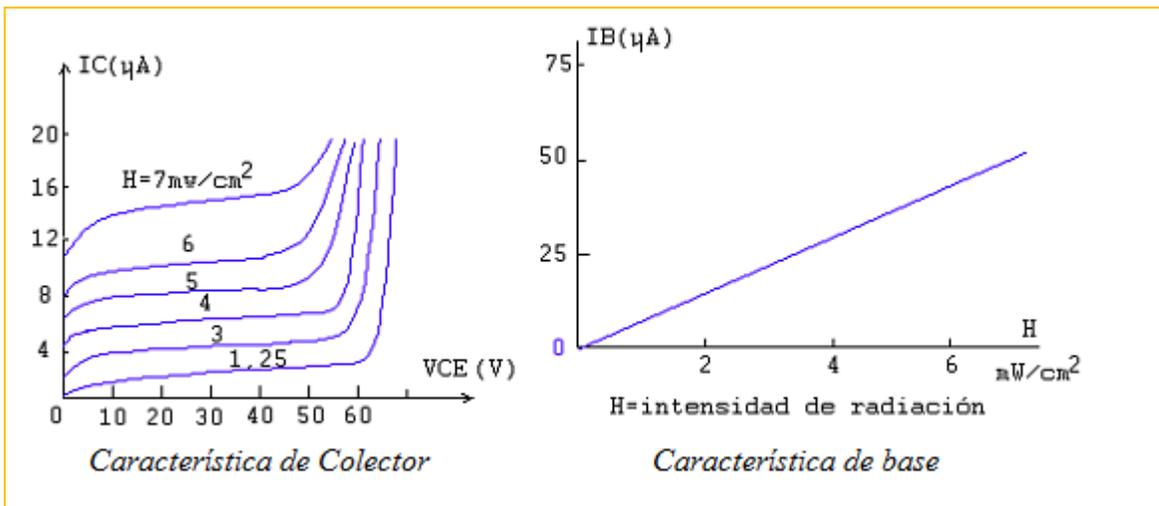
### 9.1 EL FOTOTRANSISTOR

Es un transistor que tiene la juntura colector – base fotosensible. La corriente inducida por efectos fotoeléctricos es la corriente de base del fototransistor.

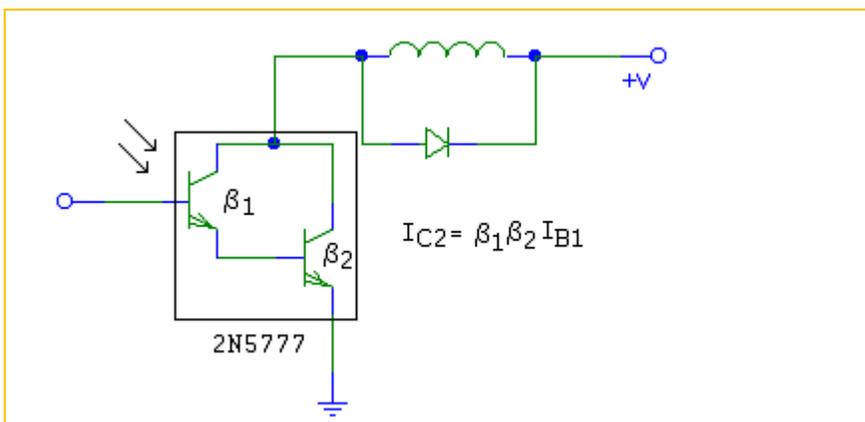
$$I_c = \beta I_{\lambda} \text{ fotoinducida}$$



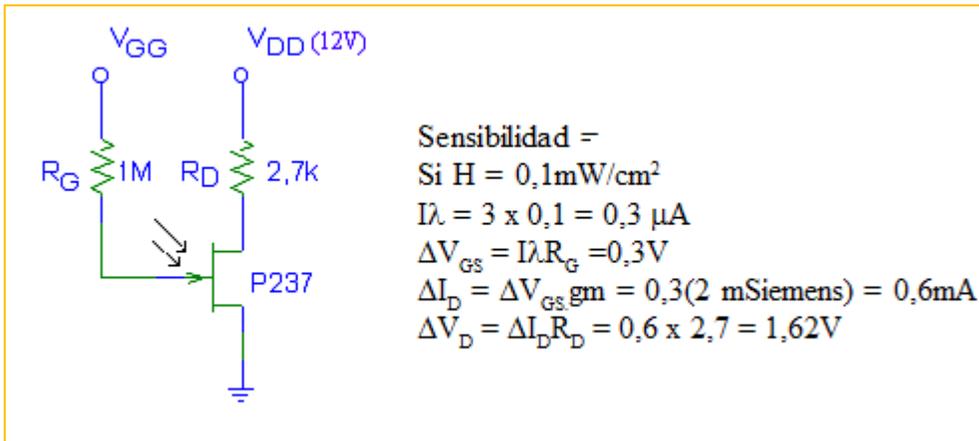
### Curvas características:



Para manejo de alta corriente se usa la configuración fotodarlington que son dos transistores acoplados como se muestra en la figura.



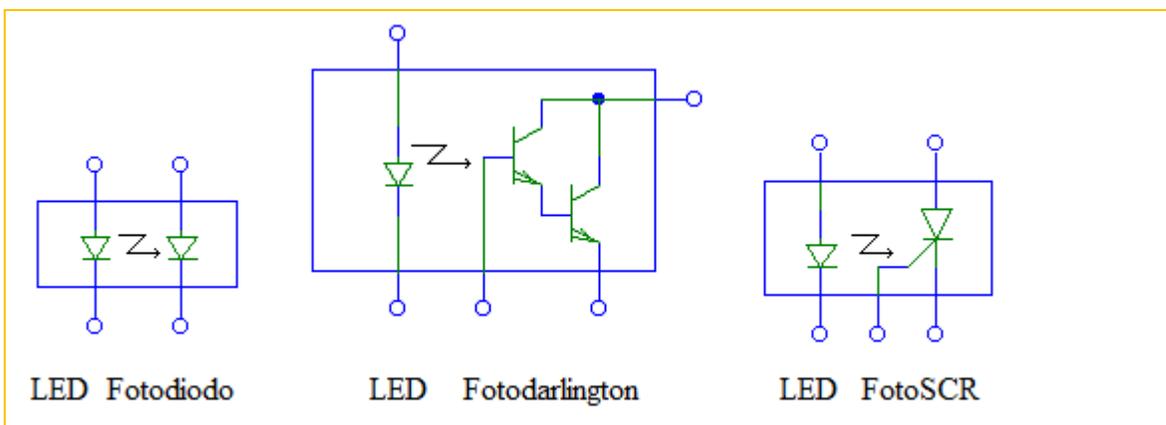
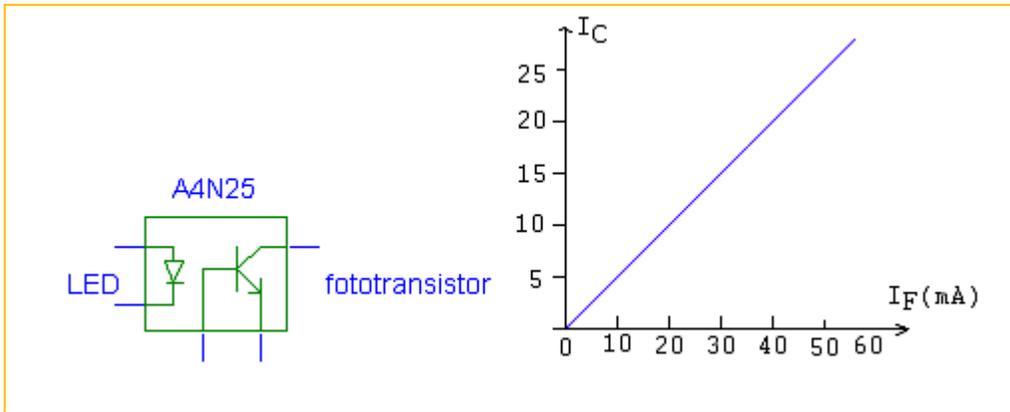
Cuando se necesite mayor ganancia en potencia, mejor respuesta en frecuencia, alta impedancia de entrada, bajo ruido, se usa entonces un fotofet.



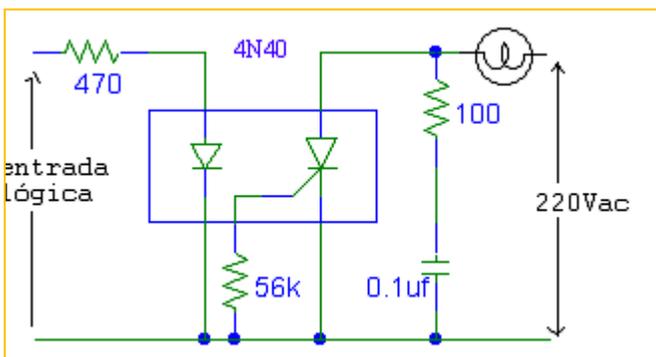
## 9.2 OPTO AISLADORES

Es un chip que contiene internamente un LED infrarrojo y un fotodetector como un fotodiodo, un fototransistor, un fotodarlington o un fototiristor. La longitud de onda de respuesta de cada uno de los dispositivos está ajustada para que sea idéntica y permita un máximo acoplamiento.

Hay un gorro aislador transparente entre cada uno de los elementos embebido en la estructura (no sensible) para permitir el paso de luz. Son diseñados con tiempos de respuesta tan pequeños que pueden ser usados en la transmisión de datos. Ejemplo: A4N35, A4N25 (Led – fototransistor).

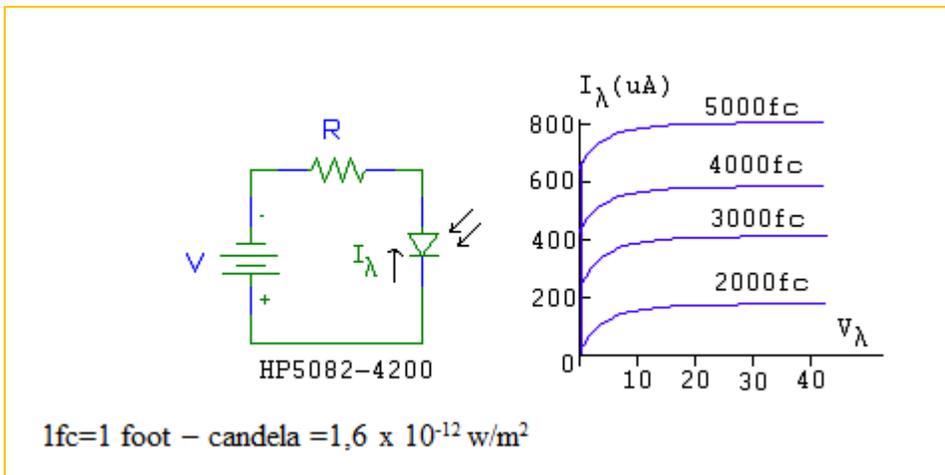


**Ejemplo:**



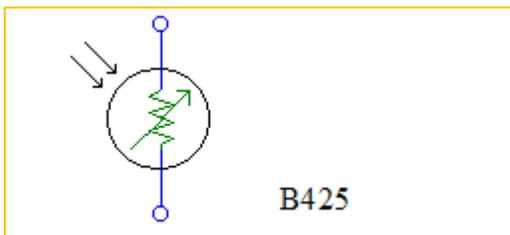
**9.3. EL FOTODIODO**

Es un diodo con la capacidad de variar su corriente con la llegada de energía lumínica (similar al fototransistor) y que opera con polarización inversa (portadores minoritarios).



## 9.4. LA FOTOCELDA

La fotocelda o fotoresistencia tiene la propiedad de variar su resistencia con la incidencia de la luz. Son fabricadas de sulfuro de cadmio (SCd) y de seleniuro de Cadmio (SeCd).

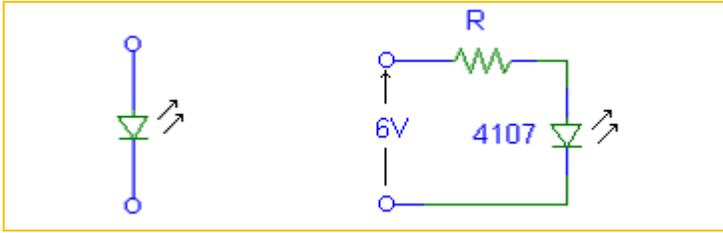


Para SC<sub>d</sub> la máxima respuesta espectral ocurre a 5100 Å con un tiempo de respuesta de 100ms y para SeCd a 6150 Å el tiempo de respuesta es de 10 ms.

Generalmente la resistencia de una fotocelda puede variar de unos 100Ω a plena luz hasta unos 100kΩ a oscuridad.

## 9.5. EL LED

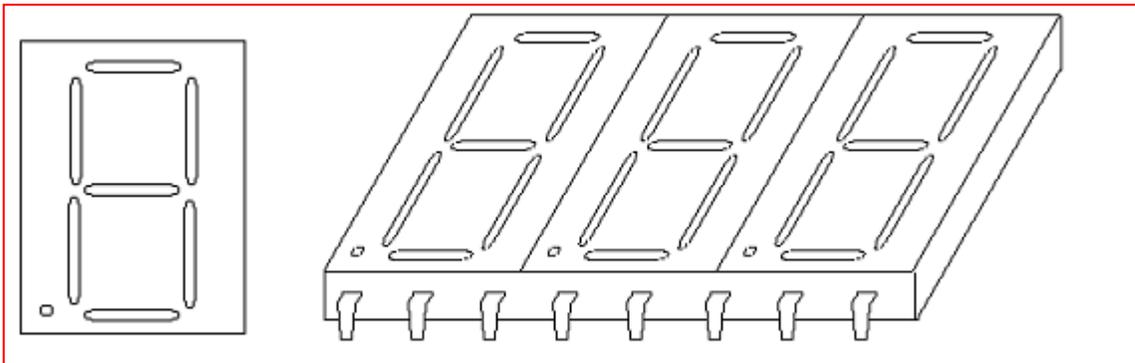
Es un diodo que al polarizarse directamente emite luz. Existen de luz visible (rojo, amarillo verde, naranja, blanco) y de luz infrarroja (emisores IR) son de silicio, germanio, arseniuro de galio.



Se aplica en avisadores luminosos, alarmas, visualizadores, etc. Operan a niveles de voltaje de 1.7 a 3.3 V y tienen tiempos de respuesta rápidos.

$$\text{Si } I_{F_{\max}} = 100\text{mA} \text{ y } V_{F_{\max}} = 2\text{V} \rightarrow R > \frac{6-2}{100\text{mA}} = 40\Omega ; \text{ se toma } R= 100\Omega.$$

Existen chips de dos terminales que contienen internamente dos LEDs de tal forma que una inversión de polaridad los cambia de color verde a rojo y viceversa. También existen chips que tienen LEDs en forma de 7 segmentos como los de la calculadora.



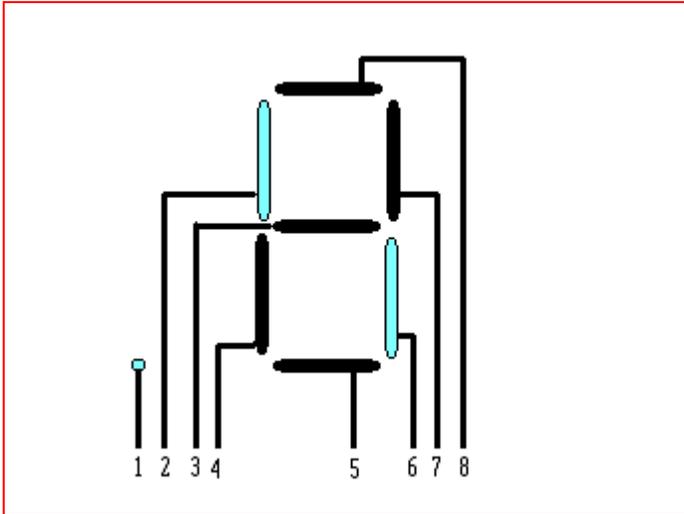
## 9.6. LCD

Las pantallas de cristal líquido tienen la ventaja sobre las basadas a LED que consumen mucho menos potencia (del orden de  $\mu\text{W}$  comparados con los  $\text{mW}$  del LED)

La desventaja principal es su vida útil ya que químicamente se pueden degradar fácilmente.

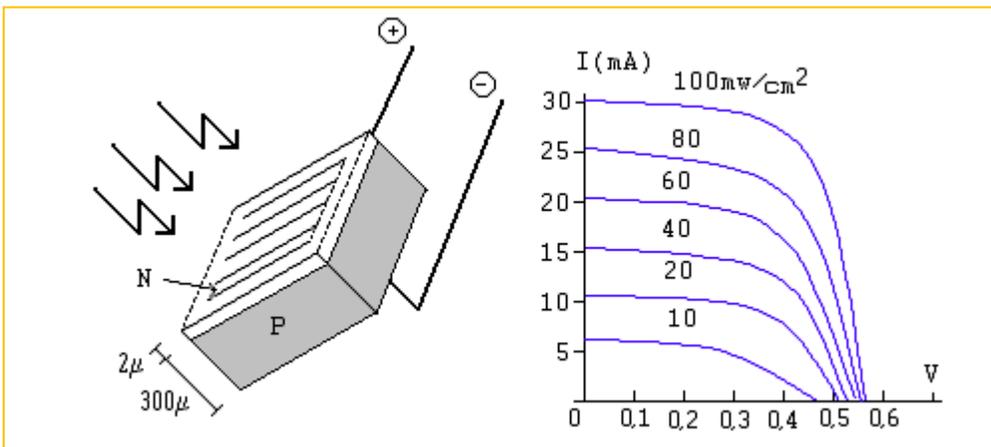
Un cristal líquido es un material que fluye como un líquido pero cuya estructura molecular tiene algunas propiedades de los sólidos. Ej: Cristal líquido Nemótico. Tiene la propiedad que al polarizarse se opaca. Por ejemplo, para formar el número 2 se deben energizar los segmentos 8, 7, 3, 4, 5. El LCD no genera su

propia luz sino que depende de una fuente externa. Se unas en relojes y calculadoras, etc.



## 9.7. CELDAS SOLARES

Convierte la energía lumínica en energía eléctrica por el fenómeno fotoeléctrico.



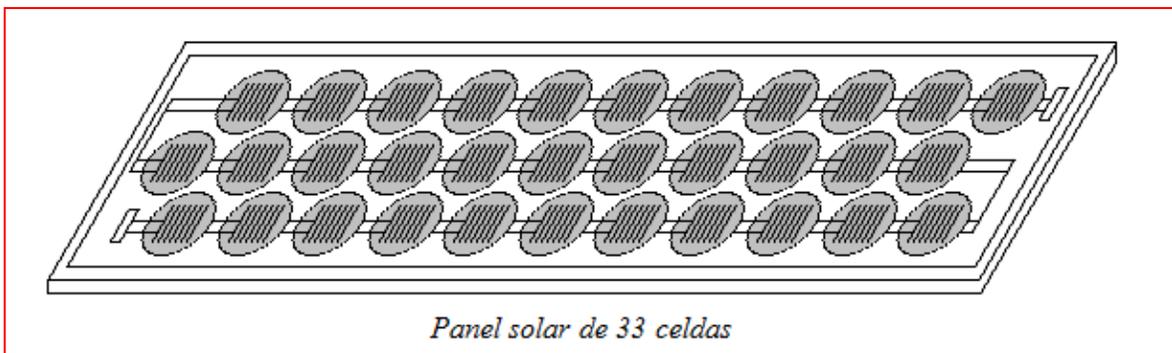
En la figura se observan las curvas de características eléctricas en función de la intensidad de radiación solar. Las celdas solares se construyen de CdS, GaAs, silicio. Actualmente se usan las de silicio monocristalino y las de silicio policristalino. Son más eficientes las monocristalinas pero más baratas las de policristalino. El rendimiento aproximado de conversión de una celda es aproximadamente del 15% pero este valor baja un poco al aumentar la temperatura.

El voltaje generado es independiente del área, pero a mayor área mayor corriente o potencia. Una celda de 5 cm de diámetro y de 0,3 a 0,5 mm de espesor genera 0,3 W a 0,5 V y una de 10 cm genera 1,2 W bajo las mismas condiciones de rendimiento y radiación solar.

Combinaciones de celdas en serie y en paralelo se realizan para obtener cualquier potencia a cualquier voltaje.

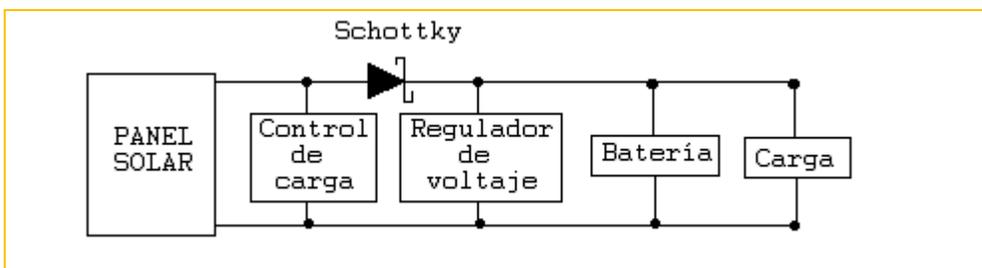
Las celdas conectadas en serie deben tener la misma corriente en corto circuito y las conectadas en paralelo el mismo voltaje en circuito abierto.

La forma más usual no es construir un generador solar completo de un solo panel, sino dividirlo en varios paneles de igual voltaje y potencia. Existen módulos estándar de 6V, 12V, 24V y 48V. Cualquier potencia se puede satisfacer conectando el número adecuado de módulos en serie y en paralelo.



Para salvar los periodos de insuficiente radiación se asocia una batería recargable al panel solar. Acoplado a la batería se conecta un diodo de tal forma que prevenga la descarga de la batería a través del panel cuando éste no esté iluminado.

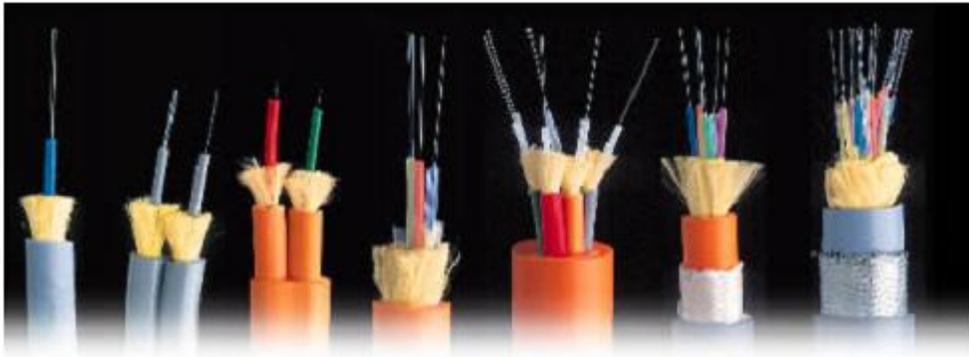
El diagrama general de un generador fotovoltaico es el siguiente:



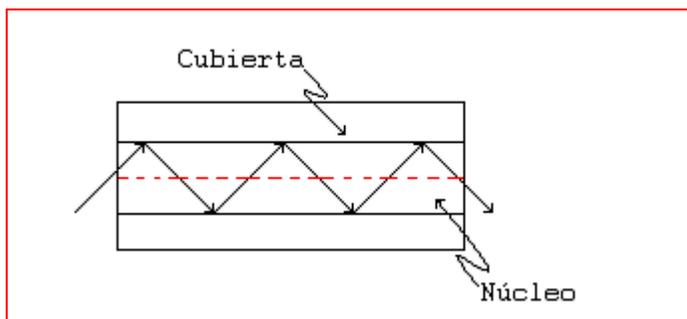
Aplicaciones: Telecomunicaciones (radiofaros, plantas telefónicas, radiotransmisores), relojes digitales, refrigeración (conservación de vacunas), bombeo de agua, iluminación, satélites, etc.

## 9.8 FIBRA OPTICA

La conducción de luz por fibra óptica proporciona un medio excelente para transmitir la luz a largas distancia con caminos curvos. Un conjunto de fibras ópticas y una fuente de luz reemplazan a una multitud de fuentes de luz como por ejemplo en una lectora óptica. Además, múltiples fibras alineadas son capaces de transmitir hasta una imagen.



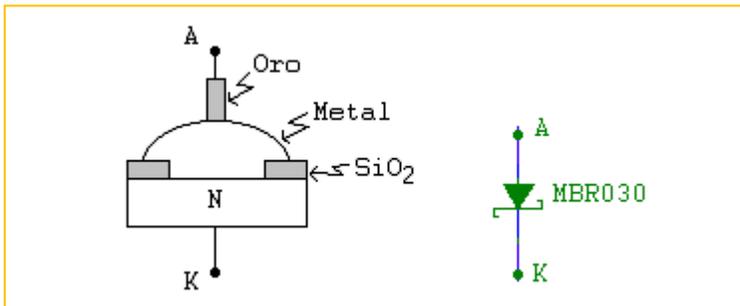
El núcleo de la fibra óptica está cubierto de un material de índice de refracción bajo para producir una reflexión total interna.



## 10. OTROS DISPOSITIVOS

### 10.1. DIODO SCHOTTKY

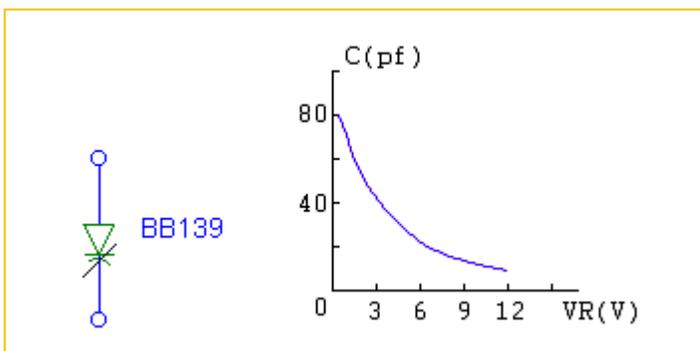
Es un diodo cuya conducción es totalmente con portadores mayoritarios (electrones) y su estructura consiste en la unión de una barra de silicio tipo N con un metal. El flujo fuerte de electrones al metal crea una barrera agotada de portadores la cual disminuye al aplicarle una polarización directa.



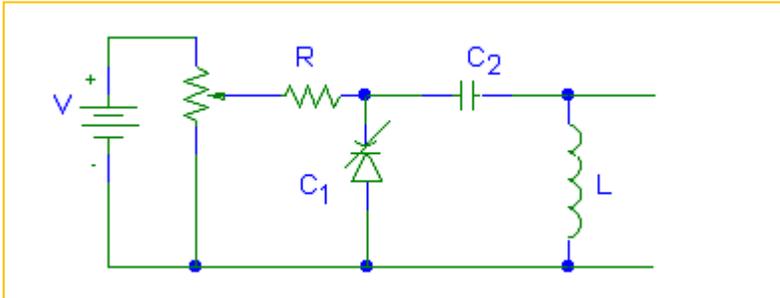
La ventaja del diodo Schottky radica en que trabaja a mayores frecuencias que el diodo de unión y conduce mayores corrientes.  $V_F(\text{unión}) > V_F(\text{schottky})$

### 10.2. EL DIODO VARICAP

Los diodos Varicap o varactor son diodos cuya capacidad varía con el voltaje aplicado. Su modo de operación depende de la capacidad que existe en la unión PN cuando está polarizado inversamente. Al aumentar el voltaje inverso disminuye su capacitancia.



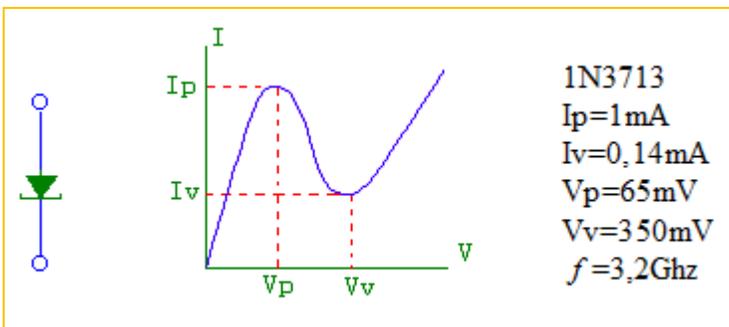
Generalmente son de silicio y se usan para altas frecuencias. Se aplican generalmente en moduladores FM, filtros ajustables. Se prefieren con respecto a los condensadores variables mecánicos porque son más pequeños, más seguros, más duraderos y además permiten sintonía a distancia.



Este es un circuito LC sintonizado cuya frecuencia depende del voltaje aplicado al varicap.

### 10.3. EL DIODO TUNEL

Son los únicos diodos que tienen resistencia negativa. El dopado de estos diodos es de 100 a varios miles de veces que el de unión. Se produce una región muy delgada de agotamiento que al aplicar un voltaje los portadores pasan por "túnel" (pasan perforando la barrera).



Estos diodos se fabrican de germanio ( $I_p/I_v \approx 10$ ) y de arseniuro de galio ( $I_p/I_v \approx 20$ ).

Como característica se le pueden citar: Son para alta frecuencia,  $I_p$  puede variar de pocos uA a cientos de amperios, el voltaje inverso de ruptura es tan pequeño (600 mV) que un  $V_{OM}$  puede dañarlo.

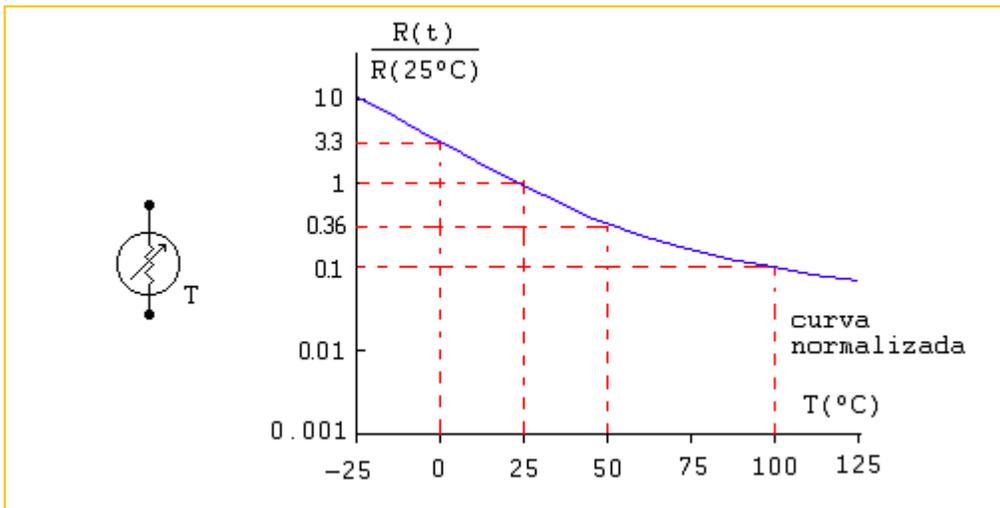
## 10.4. TERMISTORES

Es una resistencia cuyo valor cambia al variar la temperatura. Tiene un coeficiente de temperatura negativo (NTC) esto es que al aumentar la temperatura disminuye su resistencia, o coeficiente de temperatura positivo (PTC), cuando al aumentar la temperatura también aumenta la resistencia.

Se construyen de  $S_i$ , Ge o una mezcla de óxidos de cobalto, níquel y manganeso.

Para un NTC

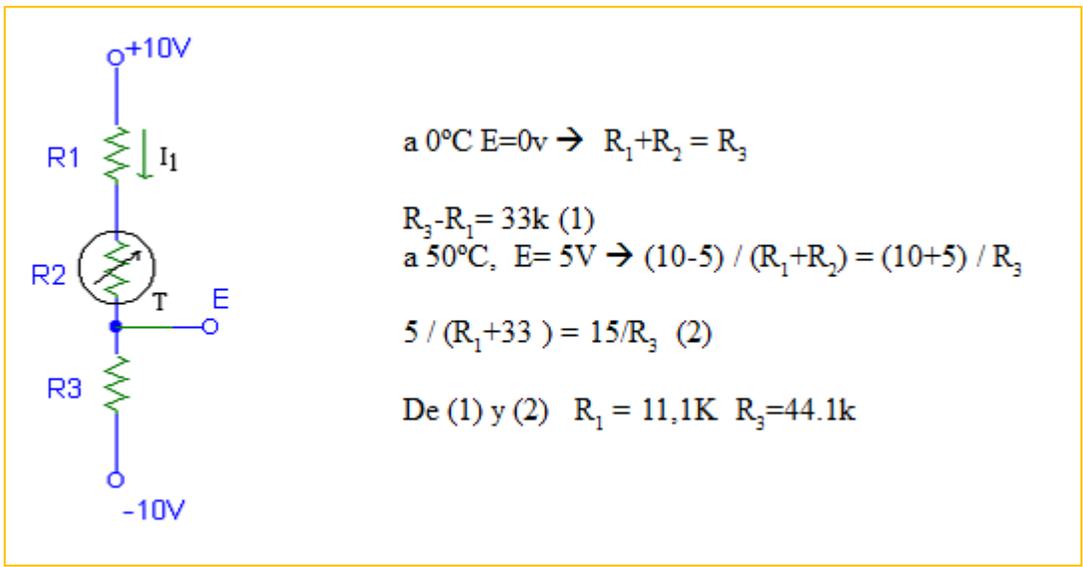
$$\begin{aligned} \text{Si } R(25^\circ\text{C}) = 10\text{K} \rightarrow & R(0^\circ\text{C}) = 3,3(10\text{K}) = 33\text{k} \\ & R(50^\circ\text{C}) = 0,36(10\text{K}) = 3,6\text{k} \\ & R(100^\circ\text{C}) = 0,1(10\text{K}) = 1\text{k} \end{aligned}$$



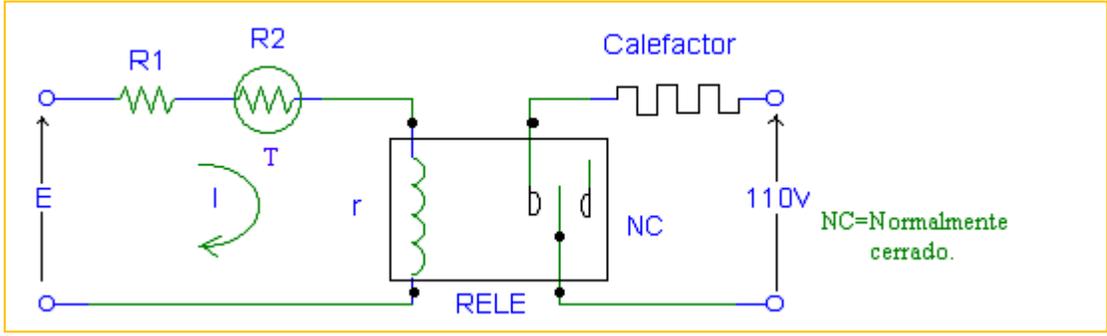
Típicamente el gradiente es del 3 al 5% por grado de cambio de temperatura.

### Ejemplo:

En el circuito de la figura si  $R(0^\circ\text{C}) = 33\text{K}$ ,  $R(25^\circ\text{C}) = 10\text{K}$ ,  $R(50^\circ\text{C}) = 3,6\text{K}$  obtener los valores de  $R_1$  y  $R_3$  para que  $E = 0\text{V}$  a  $T = 0^\circ\text{C}$  y  $E = 5\text{V}$  a  $T = 50^\circ\text{C}$ .



El siguiente circuito es un control elemental de temperatura, pero su funcionamiento es la base de cualquier control electrónico de temperatura.



Como el relé está normalmente cerrado el calefactor está conectado a los 110V y el sistema comienza a calentarse. Cuando la temperatura del sistema alcanza el valor a controlar, el termistor ha disminuido su resistencia que hace aumentar la corriente  $I$  y por lo tanto hace accionar el relé que a su vez coloca el contacto abierto desconectando el calefactor de los 110V.

Al enfriarse el sistema la  $R$  del termistor aumenta, la corriente disminuye, el relé se desactiva y el ciclo se repite.

### **Ejemplo:**

Si el relé trabaja con una  $I = 0,5 \text{ mA}$  y tiene una resistencia de  $r=5\text{K}$ , determinar el valor de  $R_1$  para mantener la  $T$  a  $50^\circ\text{C}$ .

$$R_2(30^\circ\text{C}) = 3,6\text{K}$$

$$E = I ( R_1 + R_2 + r ) \rightarrow R_1 = ( E / I ) - ( R_2 + r ) \quad \text{si } E = 6\text{V}$$

$$R_1 = ( 6 / 0,5 ) - ( 3,6\text{k} + 5\text{k} ) = 3,4\text{K}\Omega$$

Por debajo de  $50^\circ\text{C}$   $R_2 > 3,6 \text{ K}$   $I < 0,5 \text{ mA}$   $\rightarrow$  los contactos están cerrados y el calefactor operando. Si  $T > 50^\circ\text{C}$   $I > 0,5 \text{ mA}$  el relé tiene el contacto abierto y el calefactor se desconecta.

### **Ejercicio:**

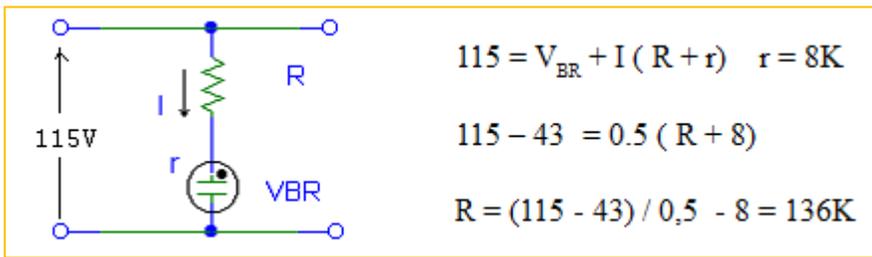
Un termistor tiene una  $R(100^\circ\text{C}) = 1\text{K}$ . Diseñar un circuito de control de caldeo para mantener la  $T$  a  $100^\circ\text{C}$  si se dispone de un relé con una bobina de  $r = 1\text{K}$  y una corriente de excitación de  $1\text{mA}$ . Emplear alimentación de  $5\text{V}$ . ¿Estará el relé N.C. o N.A. a temperatura ambiente?. Respuesta:  $3\text{K}\Omega$ .

## **10.5. LAMPARA DE NEON**

Es una lámpara de descarga gaseosa y consiste en una envoltura transparente llena de gas con dos electrodos y una fuente de alimentación exterior. El gas se ioniza por colisión de los electrones procedentes de un filamento caliente. La luz se produce en una descarga gaseosa cuando los átomos ionizados del gas pasan de la banda de energía excitada a una de nivel inferior. Los electrodos tienen una separación muy pequeña y la luz se emite de una descarga gaseosa en el cátodo. Esta fuente coincide con la distribución espectral del SCd. Se construyen para tensiones de ruptura entre  $55$  y  $150 \text{ V}$ . La radiación de salida es  $1\text{mW} / \text{cm}^2$ .

### **Ejemplo:**

Una lámpara de Neón tipo A1A requiere  $0,5\text{mA}$  y tiene un voltaje de ruptura de  $43\text{V}$ . Determinar la resistencia serie necesaria que se debe colocar para conectarla a  $115\text{V}$ . La resistencia interna de la lámpara es de  $8\text{K}$ .



## 10.6. LAMPARA INCANDESCENTE

Debido a que es la fuente de luz más común se deben de tener en cuenta por su gran uso. Su estructura básica es un filamento de tungsteno encerrado en una ampolla de vidrio en la que se ha hecho el vacío.

$$H = \frac{P_{in}(0,8)}{4\pi d^2} \quad H \rightarrow \frac{mW}{cm^2}$$

Por ejemplo, una lámpara subminiatura GE7152 que funciona con 5V, 115 mA a una distancia de 1 pul.  $H = 5,68 \text{ mW/cm}^2$ .

Como el espectro de la lámpara es mucho más amplio que la de los fotodetectores de silicio, entonces,

$H_E = 0,25 H = 1,42 \text{ mW/cm}^2$ . Los fototransistores y fotodetectores requieren aproximadamente de 2 a 6  $\text{mW/cm}^2$ , entonces requerirían una lámpara de gran potencia.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEBOO – BURROUS. Circuitos integrados y dispositivos semiconductores. BOYLESTAD – NASHELKY. Electrónica. Teoría y circuitos. CHIRLIAN. Análisis y diseño de Circuitos electrónicos. CUTLER. Análisis de circuitos con semiconductores. FRANZ MULLER. Circuitos con componentes Modernos Circuitos T, Vol No 9. GENERAL ELECTRIC. Semiconductors Data book GRONNER. Análisis de Circuitos Transistorizados. HENNIG. Foelectrónica. LILEN, Henry. Tiristores y Triacs. MILLMAN – TAUB. Circuitos de Pulsos Digitales y de Conmutación. PALZ, Wolfgang. Electricidad solar. PETIT. Circuitos de Conmutación y de Tiempo. RCA. Manual de Tiristores y Rectificadores. SCHNADOWER. Circuitos electrónicos digitales. TEXAS INSTRUMENTS. Transistores. Circuitos – Diseño. ZBAR. Prácticas de Electrónica.