

PRINCIPIOS BÁSICOS DE SEMICONDUCTORES

ÁTOMO → Es la parte más pequeña en la que se puede obtener materia de forma estable, ya que las partículas subatómicas que lo componen no pueden existir aisladamente salvo en condiciones muy especiales. Está compuesto por:

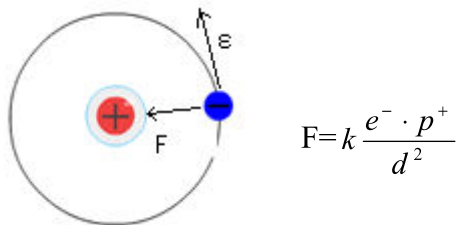
PROTÓN: partícula elemental con carga eléctrica positiva igual a 1, su masa es una (unidad de masa atómica) se simboliza **p⁺**. Su masa es mucho mayor que la del electrón.

ELECTRÓN: partícula elemental con carga eléctrica negativa igual a 1, masa despreciable y se simboliza **e⁻**.

NEUTRÓN: partícula elemental eléctricamente neutra, con una masa ligeramente superior a la del protón, se simboliza **n⁰**.

Relación Núcleo-Electrón:

El núcleo contiene protones con carga (+), y los electrones que giran alrededor del mismo tienen carga (-) por lo que existe una fuerza de atracción.



Para liberar ese electrón tendremos que suministrar una energía o luz.

MATERIALES:

AISLANTES → Los electrones están fuertemente unidos al núcleo y no se desplazan, la energía que hay que aplicar para liberar a estos es muy grande. 8 electrones de valencia.

CONDUCTORES → Los electrones están débilmente unidos al núcleo y la energía que hay que aplicar es muy pequeña. 1 electrón de valencia.

SEMICONDUCTORES → Un semiconductor es una sustancia que se comporta como conductor o como aislante dependiendo de la temperatura del ambiente en el que se encuentre. Veamos a fondo sus características:

- Entre los semiconductores comunes se encuentran elementos químicos y compuestos, como el silicio, el germanio, el selenio, el arseniuro de galio, el
- Las deficiencias o *huecos* que quedan contribuyen al flujo de la electricidad (se dice que estos huecos transportan *carga positiva*). Éste es el origen físico del incremento de la conductividad eléctrica de los semiconductores a causa de la temperatura.
- Los cristales semiconductores se dividen en *intrínsecos* y *extrínsecos*. Un cristal *intrínseco* es aquél que se encuentra *puro* (aunque no existe prácticamente un cristal 100% puro); es decir, no contiene impurezas; mientras que un cristal *extrínseco* es aquél que ha sido impurificado con átomos de otra sustancia. Al proceso de *impurificación* se le llama también *dopado*, y se utiliza para obtener electrones libres que sean capaces de transportar la energía eléctrica a otros puntos del cristal.

Semiconductor Intrínseco:

Son compuestos por materiales puros, decimos que al enlace de átomos de silicio puro se denomina “cristal”, cuando este se encuentra a temperatura ambiente, algunos electrones pueden, absorbiendo la energía necesaria, saltar a la banda de conducción, dejando el correspondiente hueco en la banda de valencia (1). Las energías requeridas, a temperatura ambiente son de 1,12 y 0,67 eV para el silicio y el germanio respectivamente.

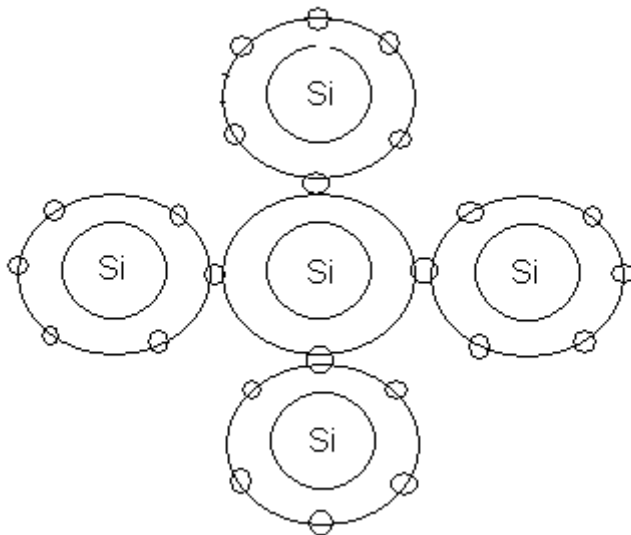
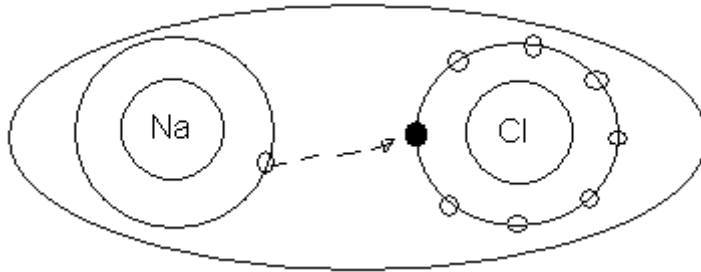
Semiconductor Extrínseco:

Si a un semiconductor intrínseco, se le añade un pequeño porcentaje de **impurezas**, es decir, elementos trivalentes o pentavalentes, el semiconductor se denomina extrínseco, y se dice que está **dopado**. Evidentemente, las impurezas deberán formar parte de la estructura cristalina sustituyendo al correspondiente átomo.

Un **Semiconductor tipo N** se obtiene llevando a cabo un proceso de dopado añadiendo un cierto tipo de átomos al **semiconductor** para poder aumentar el número de portadores de carga libres (en este caso, negativas).

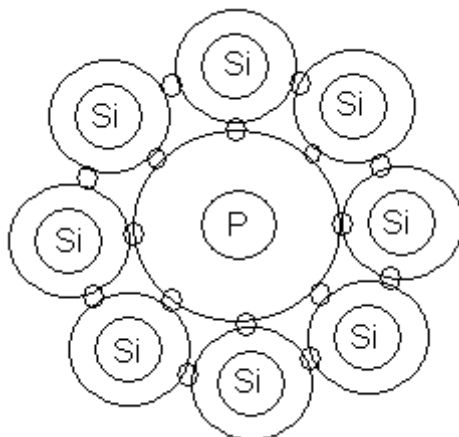
Un **Semiconductor tipo P** se obtiene llevando a cabo un proceso de dopado, añadiendo un cierto tipo de átomos al semiconductor para poder aumentar el número de portadores de carga libres (en este caso positivos o *huecos*).

ENLACE IÓNICO



Para semiconductores, en su última capa tiene 4 e-. No contiene impurezas(intrínseco).

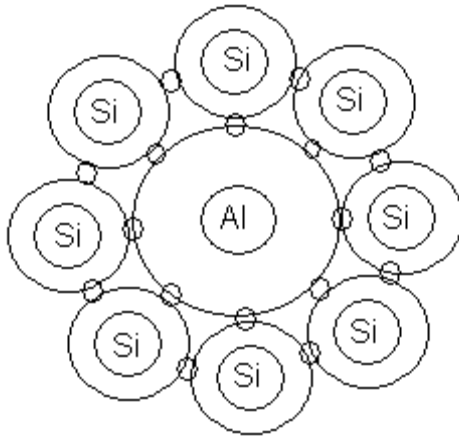
IMPUREZA DONADORA



El P entrega e- y existen e- sueltos.

Es un semiconductor tipo N, en este conductor los e- serán los portadores mayoritarios y los huecos los minoritarios.

IMPUREZA ACEPTADORA



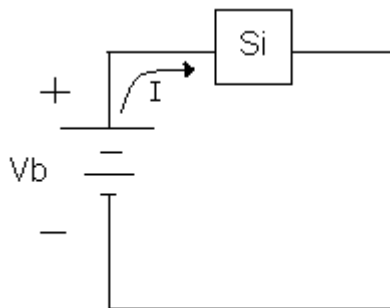
Semiconductor positivo P

Portadores mayoritarios -> huecos

Portadores minoritarios -> e⁻

INTRODUCIR IMPUREZAS

Oblea de Si -> Para introducir impurezas de P en una oblea de Si, se introduce la oblea en un horno cargado de P y se calienta.



Corriente:

De + a - , convencional o electrica

De - a + , real o electronica

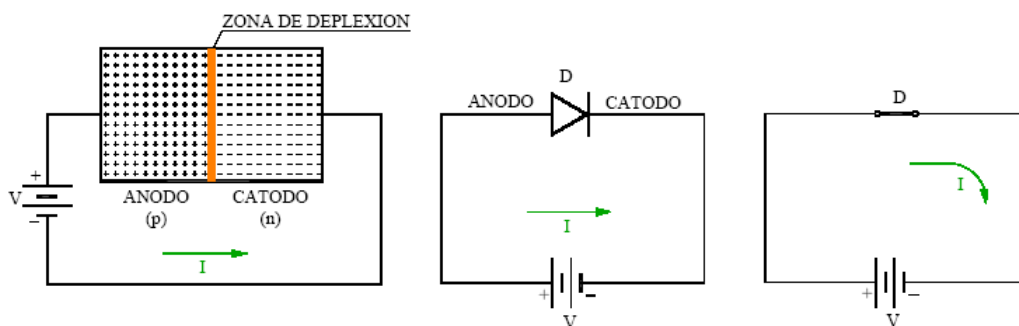
La corriente va de picoAmperios a Nanoamperios.

DIODOS

UNION P-N

Se denomina unión P-N a la unión de un semiconductor tipo P (positivo) con uno tipo N (negativo). Al dispositivo resultante de dicha unión se conoce como DIODO.

El DIODO se caracteriza por una propiedad fundamental, y es que sólo deja pasar la corriente en un sentido (tiene propiedades rectificadoras). Esto se debe a que en el punto de unión de los 2 semiconductores, se crean dipolos (uniones electrón-hueco) que crean un campo eléctrico, generando así una barrera de potencial llamada ZONA DE PLEXIÓN.

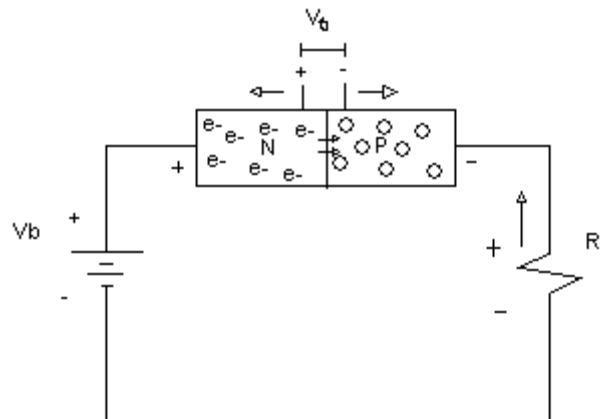


BARRERA DE POTENCIAL:

Se forma al unir dos semiconductores de distinto tipo.

Depende del tipo de semiconductor.

Si ensanchara el area de la barrera de potencial entre extremos de la resistencia habría distinta caída de tensión



$$I = \frac{Vb - V\gamma}{R}$$

Hace falta que la tensión Vb , generada por la fuente sea mayor $V\gamma$ para que haya corriente. Como detalle, pequeñas variaciones de V generarán grandes cambios de corriente, como otro caso, variando la temperatura y manteniendo la misma tensión, también provocaría cambios de intensidad.

POLARIZACION DE DIODOS:

DIRECTA

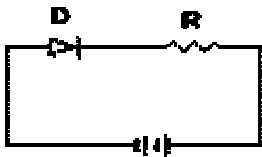
El ánodo se conecta al positivo de la batería y el cátodo al negativo.



El diodo conduce con una caída de tensión de 0,6 a 0,7V. El valor de la resistencia interna sería muy bajo. Se comporta como un interruptor cerrado.

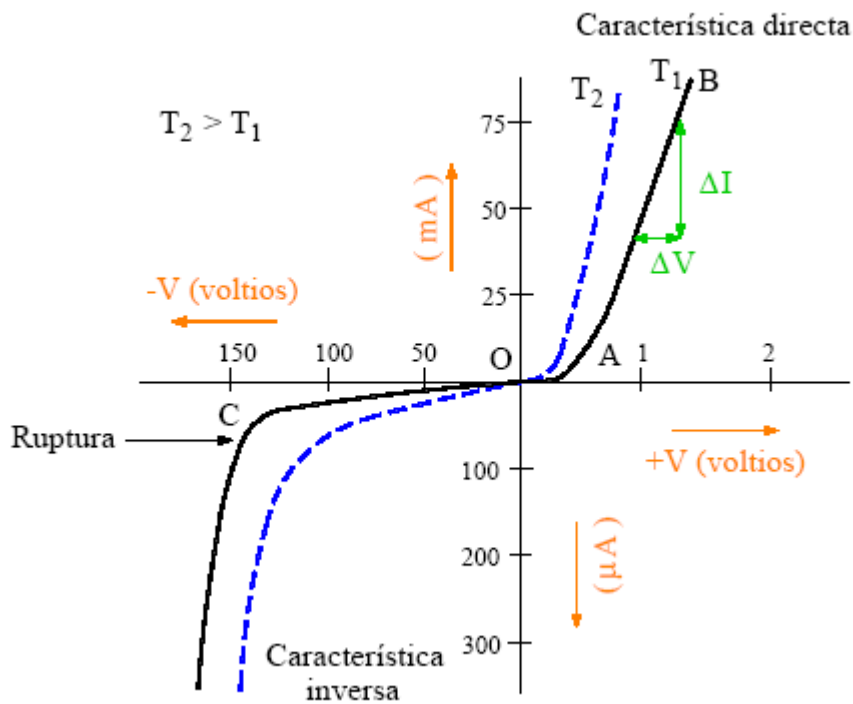
INVERSA

El ánodo se conecta al negativo y el cátodo al positivo de la batería.



El diodo no conduce y toda la tensión de la pila cae sobre él. Puede existir una corriente de fuga del orden de μA . El valor de la resistencia interna sería muy alto. Se comporta como un interruptor abierto.

Cuando aplico un potencial de polaridad inversa a N y P, pasa muy poca corriente, llamada, I_o (corriente inversa de saturación)



Ecuación del diodo

$$I_d = I_o \left(e^{\frac{V_d}{V_t}} - 1 \right)$$

$V_d \rightarrow$ tensión de la batería aplicada de forma directa.

$$V_t = \frac{k \cdot T}{e} = \frac{T(^{\circ}K)}{11600}$$

$e = 1.602 \times 10^{-19}$ Culombios

$K = 1.38 \times 10^{-23}$ Julio/ $^{\circ}K$

En zona directa

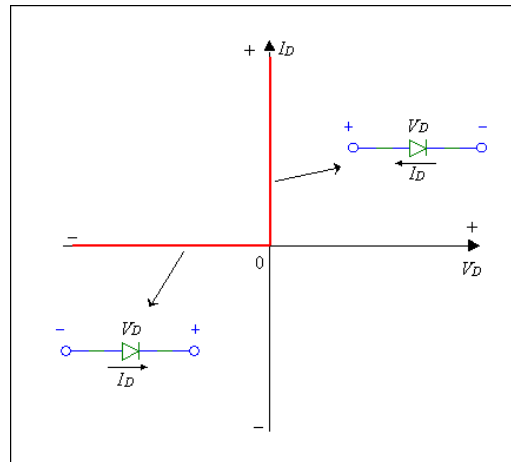
$$I_d = I_o \cdot e^{\frac{V_d}{V_t}}$$

En zona inversa

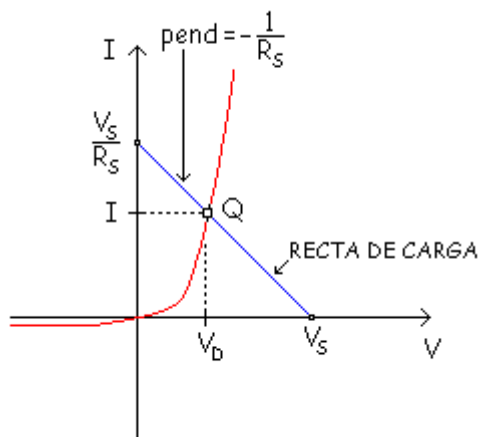
$$I_d = I_o \left(e^{\frac{V_d}{V_t}} - 1 \right)$$

DIODO IDEAL

Conduce a partir de 0 y no conduce nada en inversa



RECTA DE CARGA



Los puntos de corte:

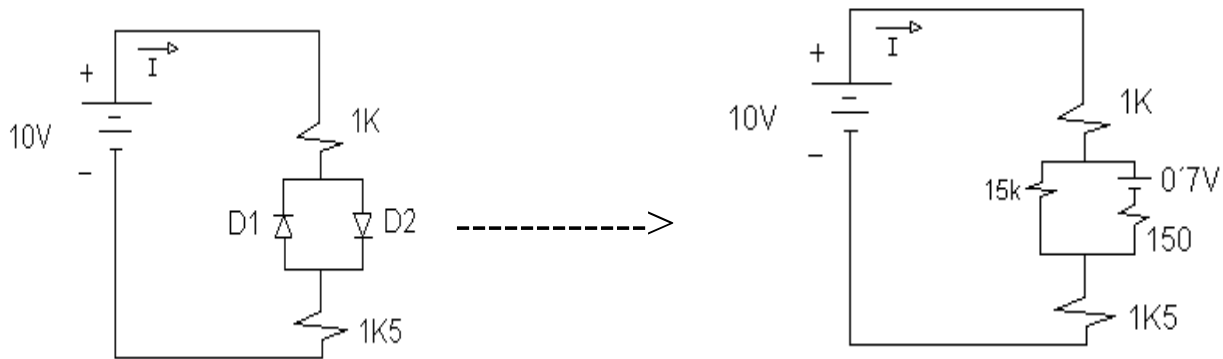
$V_D = 0 \rightarrow I = \frac{V_s}{R_s}$ Punto de corte con el eje y

$I = 0 \rightarrow V_D = -V_s$ Punto de corte con el eje x

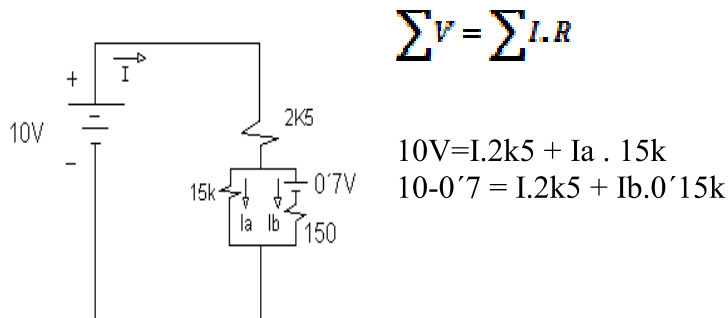
-Delimita las características del semiconductor en el circuito conectado. Une el punto de máxima tensión con el de máxima corriente.

-La recta de carga se desplaza paralelamente si variamos la fuente de tensión, si variamos la R , el punto de tensión máxima sería el mismo, sin embargo la corriente varía. La recta pivota sobre el punto máximo de tensión.

CIRCUITO CON DIODOS Y SU EQUIVALENTE



La intensidad que atraviesa R1 y R2 es la misma por lo que están en serie, podemos simplificar entonces el circuito resuelto:



$$\sum V = \sum I \cdot R$$

$$10V = I \cdot 2k5 + I_a \cdot 15k$$

$$10 - 0.7 = I \cdot 2k5 + I_b \cdot 0.15k$$

EJERCICIO

Calcular cuánto hay que incrementar la tensión directa en un diodo de silicio para que la corriente que pase polarizado directamente sea 100 veces superior que antes de aumentarla.

$$I_d = I_s \left(e^{\frac{V_d}{V_T}} - 1 \right)$$

$$\frac{I_{d2}}{I_{d1}} = \frac{I_s \cdot e^{\frac{V_{d1}}{V_T}}}{I_s \cdot e^{\frac{V_{d2}}{V_T}}} = e^{\frac{V_{d1} - V_{d2}}{V_T}} = e^{\frac{\Delta V}{V_T}}$$

$$\ln \left(\frac{I_{d2}}{I_{d1}} \right) = \frac{\Delta V}{V_T} \rightarrow V_T \cdot \ln \left(\frac{I_{d2}}{I_{d1}} \right) = \Delta V$$

$$V_T = 25mV \cdot 25 \cdot 10^{-3}$$

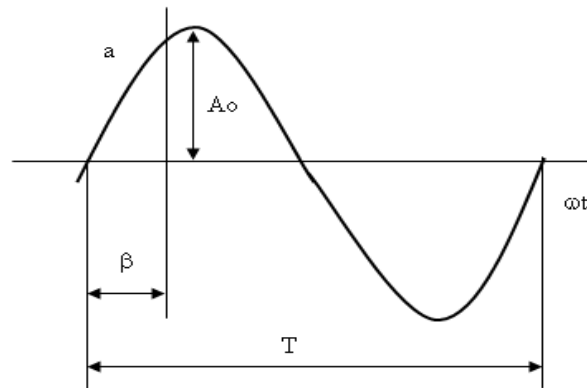
$$\Delta V = 0.11$$

Aumentando 0'11 V la tensión, la corriente se incrementa 100 veces.

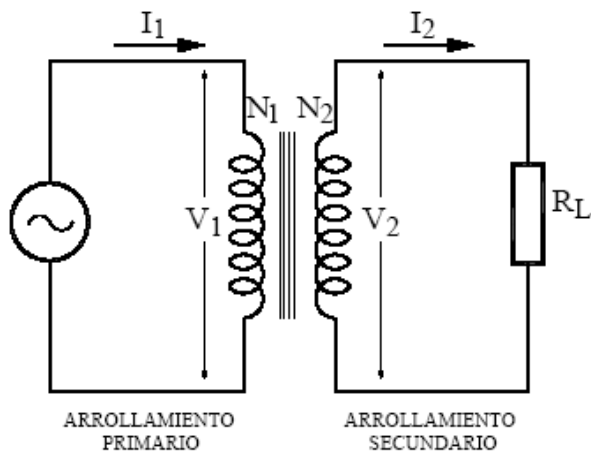
RECTIFICADORES:

Un rectificador es un dispositivo que se usa para transformar corriente alterna en corriente continua. Se divide en tres partes:

- Transformador: disminuye el potencial a niveles seguros.
- Diodo rectificador: elimina los periodos de pot. Negativos (o positivos).
- Filtro: estabiliza el potencial hasta que este oscila en valores casi constantes.



TRANSFORMADOR

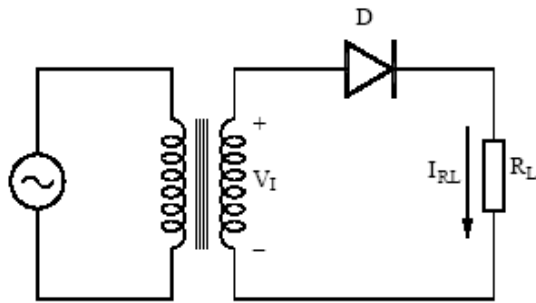


$$V_2 = \frac{N_2}{N_1} V_1$$

$$V_{eficaz} = V_{rms} = \frac{1}{\sqrt{2}} V_P = 0,707 V_P$$

$$V_P = V_{max}$$

RECTIFICADOR DE MEDIA ONDA

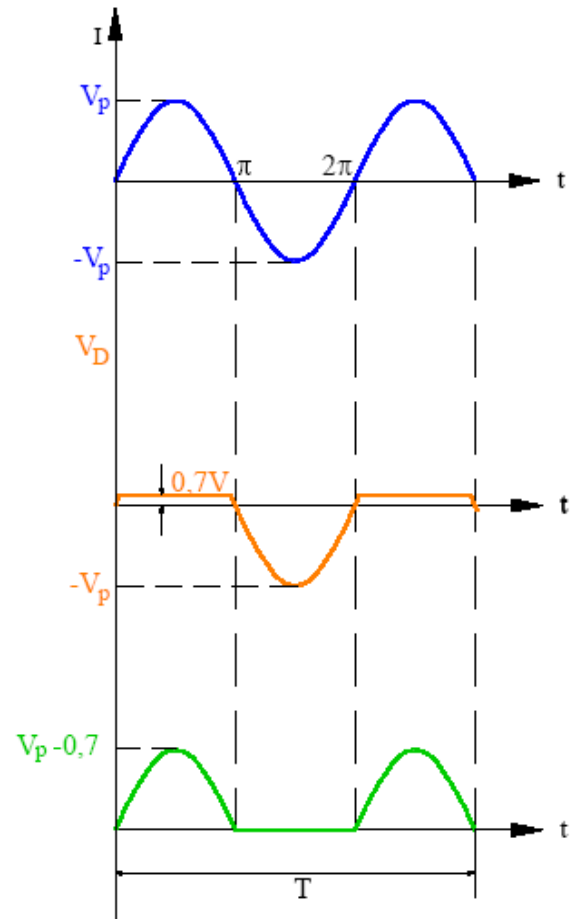


$$I_{R_L} = \frac{V_I - V_D}{R_D + R_L} = \frac{V_{R_L}}{R_L}$$

$$V_{R_L} = I_{R_L} \cdot R_L$$

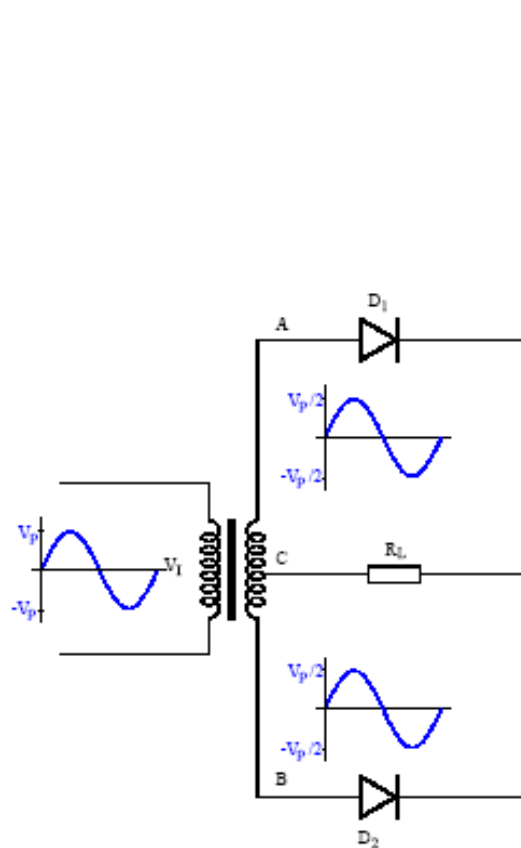
$$V_{CC} = \frac{V_P}{\pi} = 0,318 V_P \text{ (sin c arg a)}$$

$$f_{SALIDA} = f_{ENTRADA}$$



Convierte una onda senoidal en una onda pulsatoria

RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA CON TOMA MEDIA



"A" positivo respecto a "C" → "B" negativo respecto a "C"

D_1 : conduce, D_2 : cortado

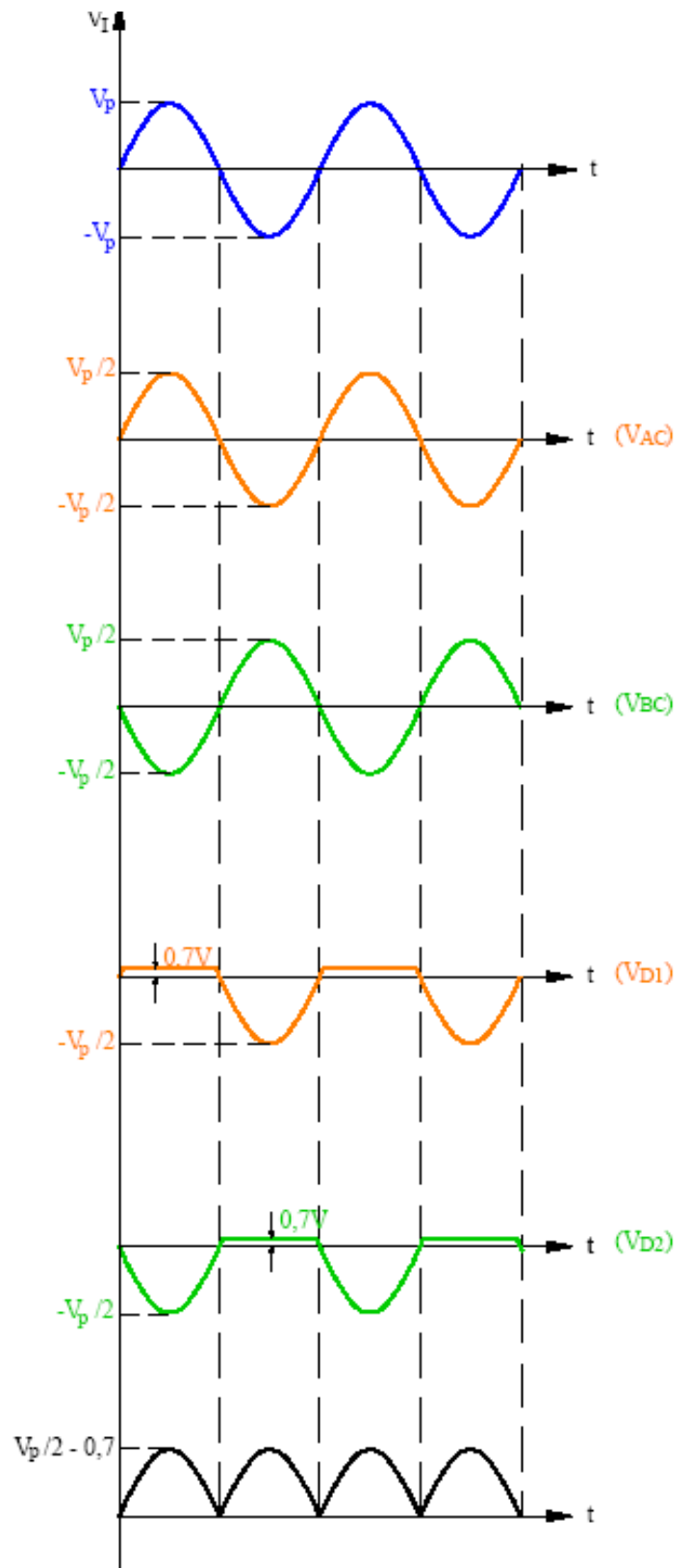
$$V_{R_L} = V_{AC} - V_{D_1}$$

"B" positivo respecto a "C" → "A" negativo respecto a "C"

D_1 : cortado, D_2 : conduce

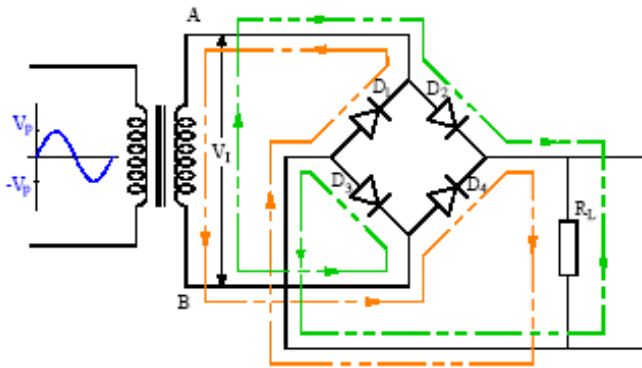
$$V_{R_L} = V_{BC} - V_{D_2}$$

$$V_{CC} = \frac{2V_P}{\pi} = 0,636 V_P \quad (\sin c \arg a)$$



En este rectificador la frecuencia de salida es igual a 2 veces la frecuencia de entrada

RECTIFICADOR EN PUENTE DE GRAETZ



SEMICICLO NEGATIVO

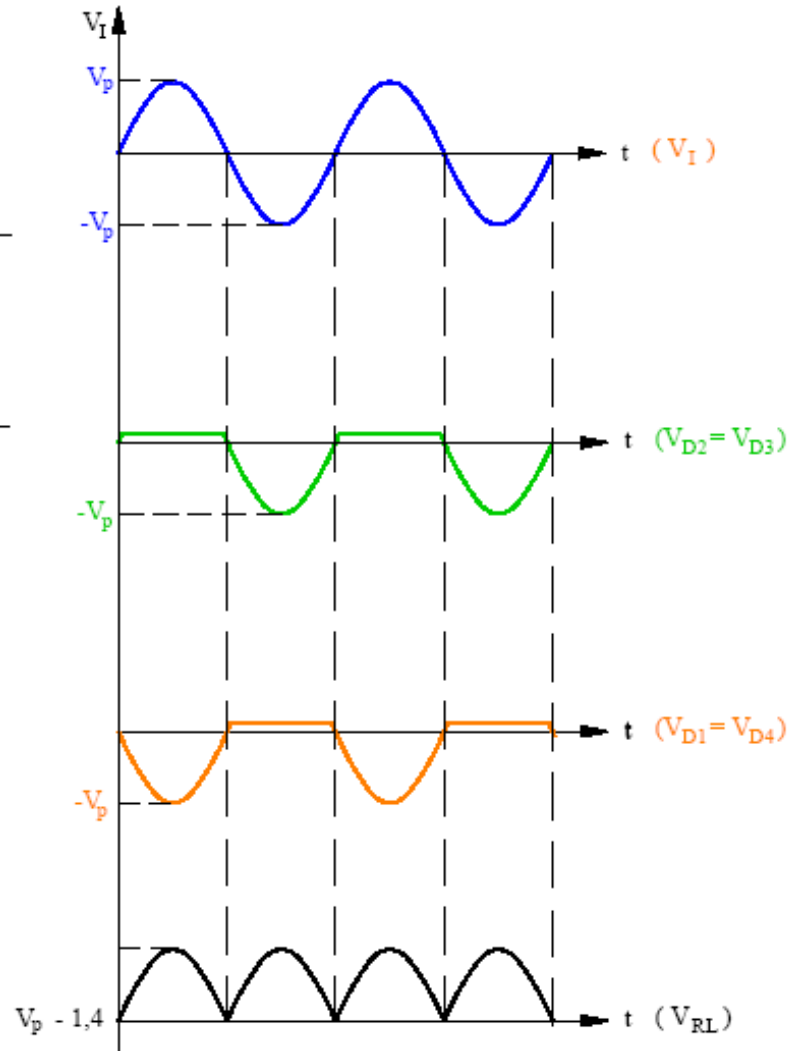
"B" positivo respecto a "A"

$D_2 = D_3 = \text{corte}$
 $D_1 = D_4 = \text{conduce}$

SEMICICLO POSITIVO

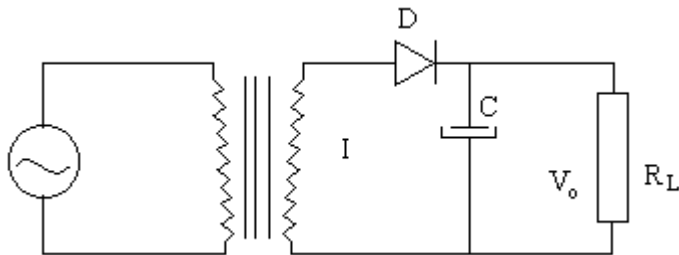
"A" positivo respecto a "B"

$D_2 = D_3 = \text{conduce}$
 $D_1 = D_4 = \text{cortado}$

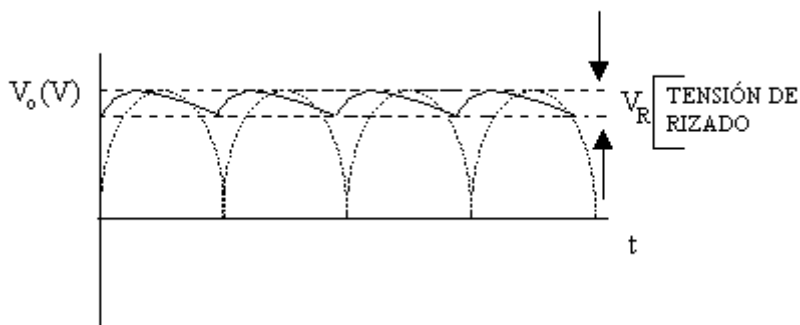


En este rectificador la frecuencia de salida es igual a la frecuencia de entrada.

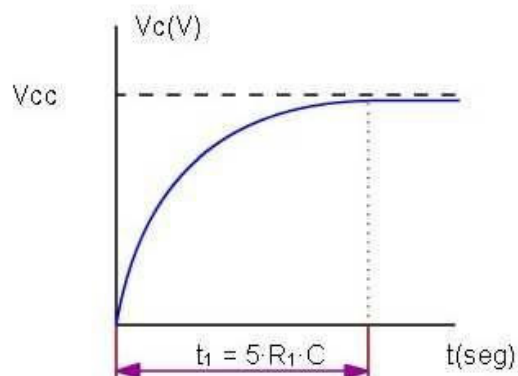
FILTROS



C es un condensador electrolítico, por lo que hay que tener en cuenta la polaridad. El condensador, al descargarse y cargarse, aplanar la señal pulsatoria actuando como un filtro. Así, la gráfica de V en R_L varía quedando de la siguiente forma:



CARGA DEL CONDENSADOR



El condensador se considerará cargado tras transcurrir 5 Constantes de tiempo(Ct).

Siendo una constante de tiempo $CT = RL * C$

Para saber el grado de continuidad de un rectificador, se estudia su CALIDAD DE

Filtrado (FR)

$$F_R = \frac{V_R}{V_{CC}} \cdot 100 \text{ (en \%)}$$

Capacidad mínima:

$$C_{MIN} = \frac{1}{2,828 \cdot R_L \cdot F_R \cdot f} = [F]$$

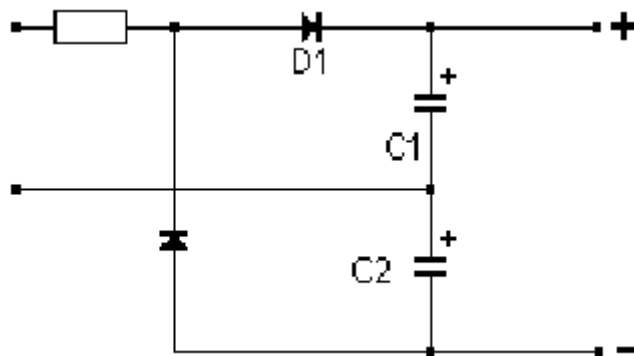
Tensión de rizado:

$$V_R = \frac{1}{2\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{C \cdot R_L \cdot f}$$

Corriente continua de salida:

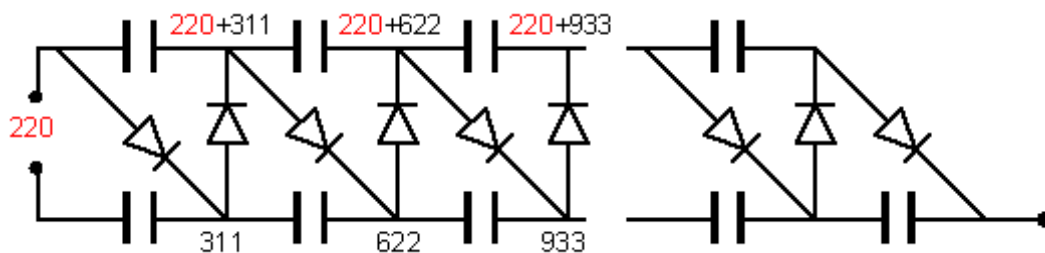
$$V_{CC} = V_P \cdot \frac{V_P \cdot T}{2 \cdot R_L \cdot C} = V_P \left(1 - \frac{1}{2 \cdot R_L \cdot f} \right)$$

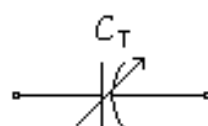
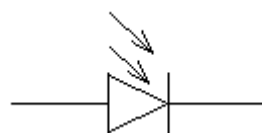
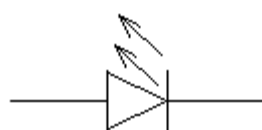
CIRCUITO DOBLADOR

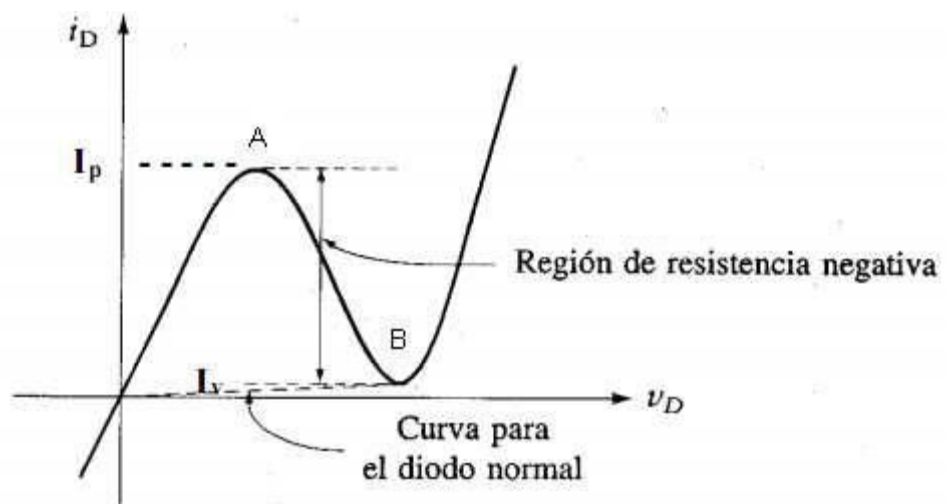
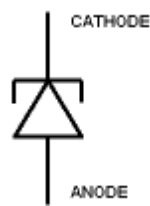


Tensión de salida mayor que la tensión de entrada.

MULTIPLICADOR EN CASCADA

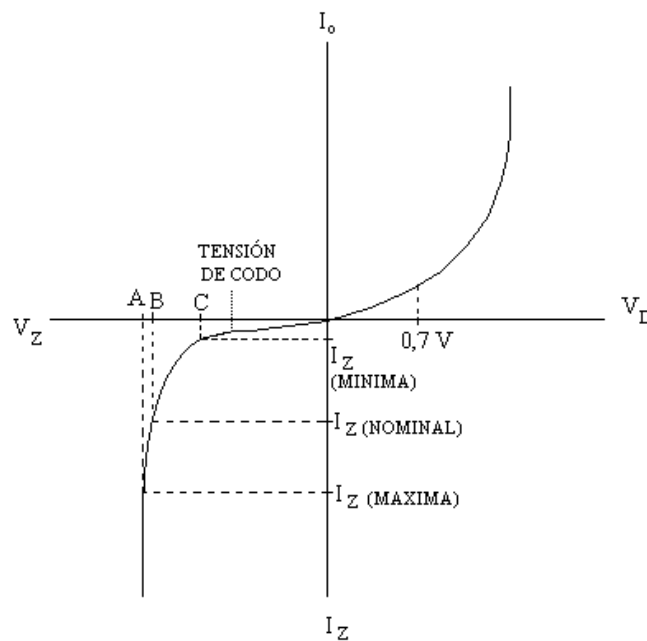






DIODO ZENER

El diodo Zener se caracteriza porque a cuando está inversamente polarizado, a una determinada intensidad, conocida como intensidad Zener, prácticamente no varía la tensión, por mucho que aumente la intensidad. La intensidad Zener varía de un diodo a otro, y la indica el fabricante.

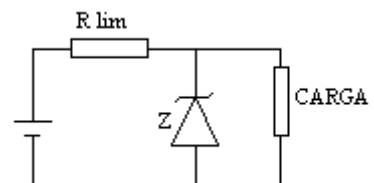


En el cuadrante positivo, actúa como un diodo normal, pero en el negativo es donde se produce el efecto Zener, cuya potencia zener equivale a:

$$P_Z = V_Z \cdot I_Z$$

En el peor de los casos, la intensidad será I_Z (máxima). El diodo Zener se estabiliza aunque:

- Se varíe la fuente de tensión de entrada



- Se varíe la carga
- Varíen ambas

Tres son las características que diferencian a los diversos diodos Zener entre si:

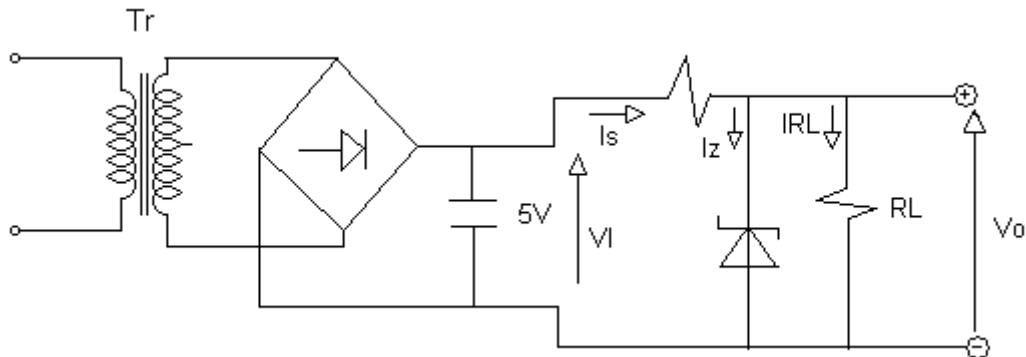
1.- Tensiones de polarización inversa, conocida como **tensión zener**.- Es la tensión que el zener va a mantener constante.

2.- **Corriente mínima de funcionamiento**.- Si la corriente a través del zener es menor, no hay seguridad en que el Zener mantenga constante la tensión en sus bornas.

3.- **Potencia máxima de disipación**. Puesto que la tensión es constante, nos indica el máximo valor de la corriente que puede soportar el Zener.

Por **tanto** el Zener es un diodo que al polarizarlo inversamente mantiene constante la tensión en sus bornas a un valor llamado tensión de Zener, pudiendo variar la corriente que lo atraviesa entre el margen de valores comprendidos entre el valor mínimo de funcionamiento y el correspondiente a la potencia de zener máxima que puede disipar. Si superamos el valor de esta corriente el zener se destruye.

EJERCICIO



$$V_o = V_i - I_s \cdot R_s$$

$$I_s = I_z + I_{RL}$$

$$I_s = I_{z \max} + I_{RL \min}$$

$$I_s = I_{z \min} + I_{RL \max}$$

CASO 1

-Consideramos inicialmente que I_z es 0, V_i variable y I_{RL} fijo

$$I_z = 0 \rightarrow I_s = I_{RL}$$

$$I_s = \frac{V_i}{R_s + R_L}$$

$$V_o = V_i - \frac{V_i}{R_s + R_L} \cdot R_s$$

$$V_{I \min} = \frac{V_D(R_s + R_L)}{R_L}$$

CASO 2

Consideramos V_i constante y R_L variable

$$V_o = V_i - \frac{V_i}{R_s + R_L} \cdot R_s$$

$$R_z = R_L \min = \frac{V_i \cdot R_s}{V_o - V_i}$$

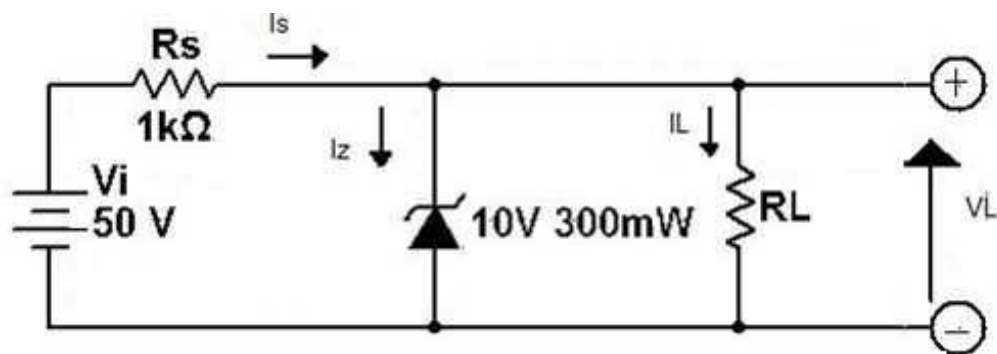
$$\frac{V_o}{R_L} = \frac{V_I}{R_s + R_L} \cdot \frac{R_L}{R_L}$$

$$\frac{V_o}{R_L} = \frac{V_I}{\frac{R_s}{R_L} + 1}$$

$$R_s + R_L \cdot V_o = V_I \cdot R_L$$

EJERCICIO

Calcular los valores entre los cuales puede variar la intensidad de carga $I_L(R_L)$ para que la tensión de salida (V_o) se mantenga estable en el siguiente circuito.



$$I_{Z_{MAX}} = \frac{P_{Z_{MAX}}}{V_{ZENER}} = \frac{300mW}{10V} = 30mA$$

$$R_L = \frac{V_Z R_s}{V_i - V_Z} = \frac{10 \cdot 1000}{50 - 10} = 250\Omega$$

$$I_s = I_Z + I_L$$

$$I_s = I_{Z_{MIN}} + I_{L_{MAX}} \rightarrow I_{Z_{MIN}} = I_s - I_{L_{MAX}} = 0$$

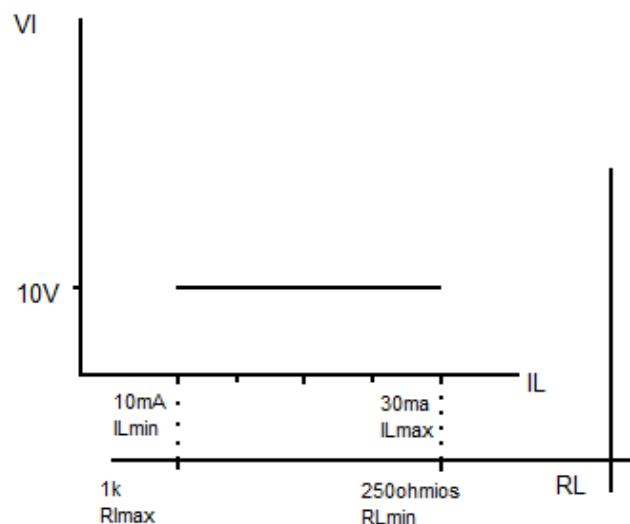
$$I_s = I_{Z_{MAX}} + I_{L_{MIN}} \rightarrow I_{L_{MIN}} = I_s - I_{Z_{MAX}} = 10$$

$$I_{L_{MAX}} = \frac{V_Z}{R_{L_{MIN}}} = \frac{10}{0.25} = 40mA$$

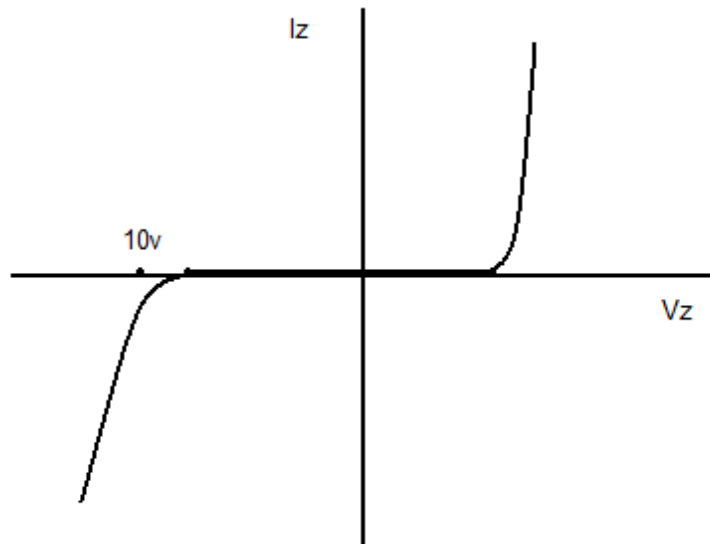
$$V_Z = V_i - I_s R_s$$

$$10 = 50 - I_s 1k$$

$$R_{L_{MAX}} = \frac{V_Z}{I_{L_{MIN}}} = \frac{10}{10} = 1K\Omega = 40mA$$



La máxima intensidad real la dice el fabricante
 Nosotros calculamos la máxima intensidad teórica



$$V_L = I \cdot R_L = \frac{V_i}{R_S + R_L} \cdot R_L$$

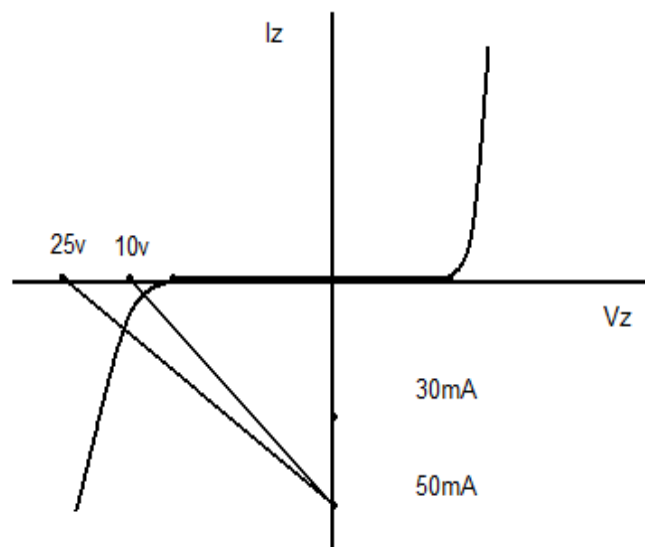
$$\text{max} \rightarrow V_L = \frac{50}{1000 + 1000} - 1000 = 25 \text{ v}$$

$$\text{min} \rightarrow V_L = \frac{50}{250 + 100} - 250 = 10 \text{ v}$$

$$I_Z = 0 \quad R_{L_{MIN}} (10 \text{ v}) \quad R_{L_{MAX}} (25 \text{ v})$$

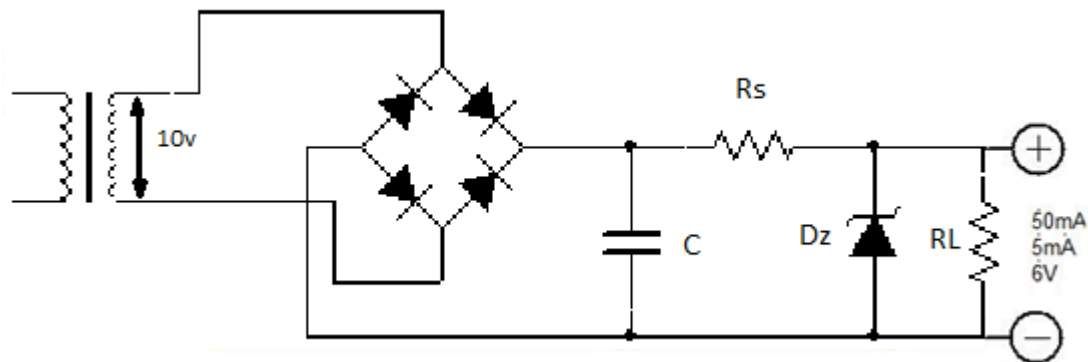
$$V_Z = 0 \rightarrow I_Z = 50 \text{ mA}$$

$$I_Z = \frac{V_i}{R_S} = \frac{50 \text{ v}}{1 \text{ A}} = 50 \text{ mA}$$

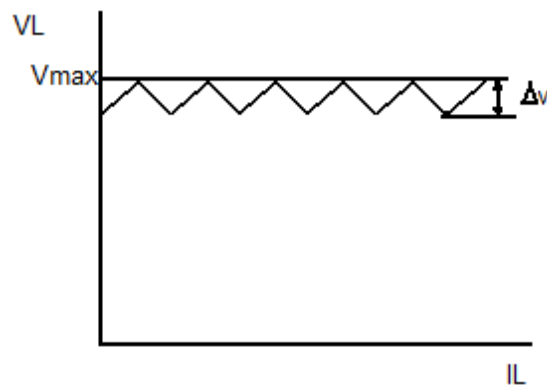


EJERCICIO

Obtener una tensión estabilizada de 6v para alimentar un CD portátil con un pequeño amplificador del que sabemos que el máximos consumos son 50mA y el mínimo 5 mA. Disponemos de un transformador cuyo secundario entrega 10V eficaces .Utiliza un rectificador y un condensador de la suficiente capacidad para que el rizado sea un 10% como máximo. Calcular el valor del condensador, los parámetros del diodo y la resistencia serie que nos interesa.



$$C = \frac{5}{6} \cdot \frac{V_{MAX}}{\Delta v \cdot f \cdot R_L}$$



10v eficaces

$$V_{MAX} = V_{REF} \cdot \frac{2}{\sqrt{2}} = \frac{20}{\sqrt{2}} = 14.142v$$

$$V_{MAX_{CONDENSADOR}} = V_{MAX} - 2V_{\gamma} \rightarrow V_{MAX} = 14.14 - 1.4 = 12.72 ; 13v$$

$$C = \frac{5}{6} \cdot \frac{13}{\Delta v \cdot f \cdot R_L} = \frac{5}{6} \cdot \frac{13}{1.3 \cdot 100 \cdot 120} = 6.94 \cdot 10^{-4} F$$

$$R_{L_{MIN}} = \frac{V_L}{I_{L_{MAX}}} = \frac{6v}{50mA} = 120\Omega$$

$$R_{L_{MAX}} = \frac{V_L}{I_{L_{MIN}}} = \frac{6v}{5mA} = 1.2K\Omega$$

$$V_{ZENER_{MAX}} = I_{L_{MAX}} \cdot R_S = 50mA \cdot 9\Omega = 450mV$$

$$V_{ZENER_{MIN}} = I_{L_{MIN}} \cdot R_S = 5mA \cdot 9\Omega = 45mV$$

$$P_{ZENER} = V_Z \cdot I_S = 6v \cdot \frac{V_S}{R_S} = 6 \cdot \frac{13}{9} ; 9W$$

Caso II

Vi variable / Rs fija

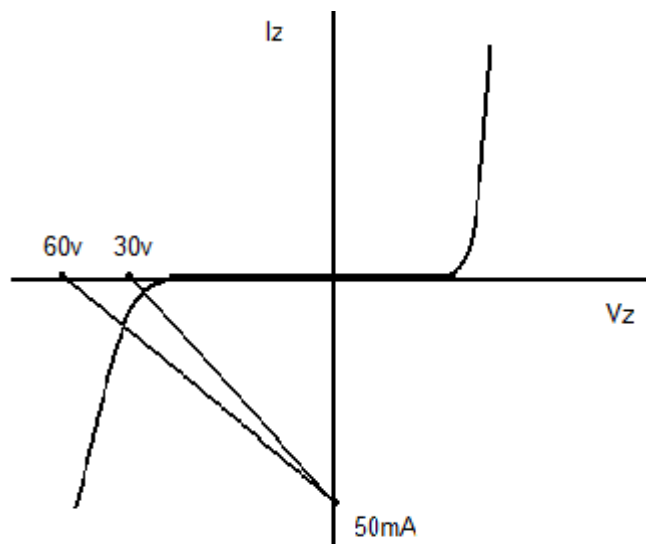
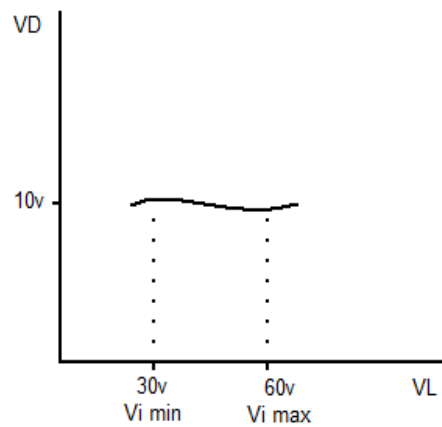
$$V_{i_{MIN}} = \frac{V_L (R_S + R_L)}{R_L} = \frac{10(1+0.5)}{0.5} = 30v$$

$$V_{i_{MAX}} = V_L + (I_{S_{MAX}} \cdot R_L) = 10 + (50mA \cdot 1) = 60v$$

$$I_{S_{MAX}} = I_{Z_{MAX}} + I_L = 30 + 20 = 50mA$$

$$I_L = \frac{V_L}{R_L} = \frac{10}{0.5} = 20mA$$

$$I_{Z_{MAX}} = \frac{V_Z}{R_Z} = 30mA$$



TRANSISTORES

TRANSISTOR BJT

El **transistor bipolar** es el más común de los **transistores**, y como los diodos, puede ser de germanio o silicio.

Existen dos tipos **transistores**: el NPN y el PNP, y la dirección del flujo de la corriente en cada caso, lo indica la flecha que se ve en el gráfico de cada tipo de **transistor**.

El **transistor** es un dispositivo de 3 patillas con los siguientes nombres: **base (B)**, **colector (C)** y **emisor (E)**, coincidiendo siempre, el emisor, con la patilla que tiene la flecha en el gráfico de **transistor**.

El **transistor bipolar** es un amplificador de corriente, esto quiere decir que si le introducimos una cantidad de corriente por una de sus patillas (base), el entregará por otra (emisor) , una cantidad mayor a ésta, en un factor que se llama amplificación. Este factor se llama β (beta) y es un dato propio de cada **transistor**.

Entonces:

$I_C \rightarrow$ Corriente que pasa por la patilla colector $I_C = \beta \cdot I_B$

$I_E \rightarrow$ Corriente que pasa por la patilla emisor es del mismo valor que I_C , sólo que, la corriente en un caso entra al **transistor** y en el otro caso sale de él, o viceversa.

- **Región de corte** \rightarrow Un **transistor** esta en corte cuando:

corriente de colector = corriente de emisor = 0, ($I_C = I_E = 0$)

En este caso el voltaje entre el colector y el emisor del **transistor** es el voltaje de alimentación del circuito. (como no hay corriente circulando, no hay caída de voltaje. Este caso normalmente se presenta cuando la corriente de base = 0 ($I_B = 0$))

- **Región de saturación** \rightarrow Un **transistor** está saturado cuando:

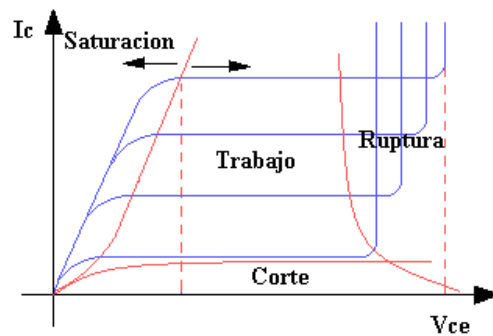
corriente de colector = corriente de emisor = corriente máxima, ($I_C = I_E = I_{\text{máxima}}$)

En este caso la magnitud de la corriente depende del voltaje de alimentación del circuito y de los resistores conectados en el colector o el emisor o en ambos, ver ley de Ohm.

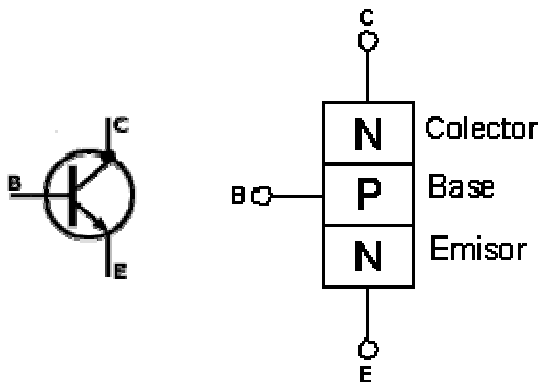
Este caso normalmente se presenta cuando la corriente de base es lo suficientemente grande como para inducir una corriente de colector β veces más grande. (recordar que $I_C = \beta \cdot I_B$)

- **Región activa** \rightarrow Cuando un **transistor** no está ni en su región de saturación ni en la región de corte entonces está en una región intermedia, la región activa.

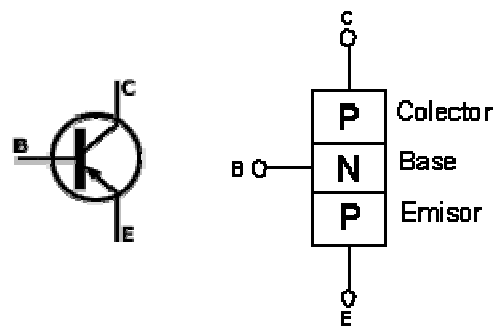
En esta región la corriente de colector (I_C) depende principalmente de la corriente de base (I_B), de β (ganancia de corriente de un amplificador, es un dato del fabricante) y de las resistencias que hayan conectadas en el colector y emisor).



TRANSISTOR NPN



TRANSISTOR PNP



	Modo de funcionamiento	Polarización del diodo B-E	Polarización del diodo B-C
NPN	Corte	Inverso	Inverso
	Activo inverso	Inverso	Directo
	Activo directo o conducción	Directo	Inverso
	Saturación	Directo	Directo
	Modo de funcionamiento	Polarización del diodo E-B	Polarización del diodo C-B
PNP	Corte	Inverso	Inverso
	Activo inverso	Inverso	Directo
	Activo directo o conducción	Directo	Inverso
	Saturación	Directo	Directo

SATURACION

$$V_{BE} = 0.7\text{v}$$

$$V_{CE} = 0.2\text{v}$$

$$I_E = I_C + I_B$$

CORTE

$$V_{BE} = 0.2\text{v}$$

$$V_{CE} = \text{Calcular (normalmente } V_{CC} \text{)}$$

$$I_E = 0$$

“Si el transistor esta saturado existe flujo de corriente por la base hacia el emisor como la tensión umbral del diodo es de 0.7 decimos que existe la misma tensión, trabajaremos los problemas mediante esta especificación. Transistor ON = Saturado, OFF = Corte”

En Saturación $I_B > \frac{I_C}{\beta_F}$

$$\beta_F = \frac{I_C}{I_B}$$

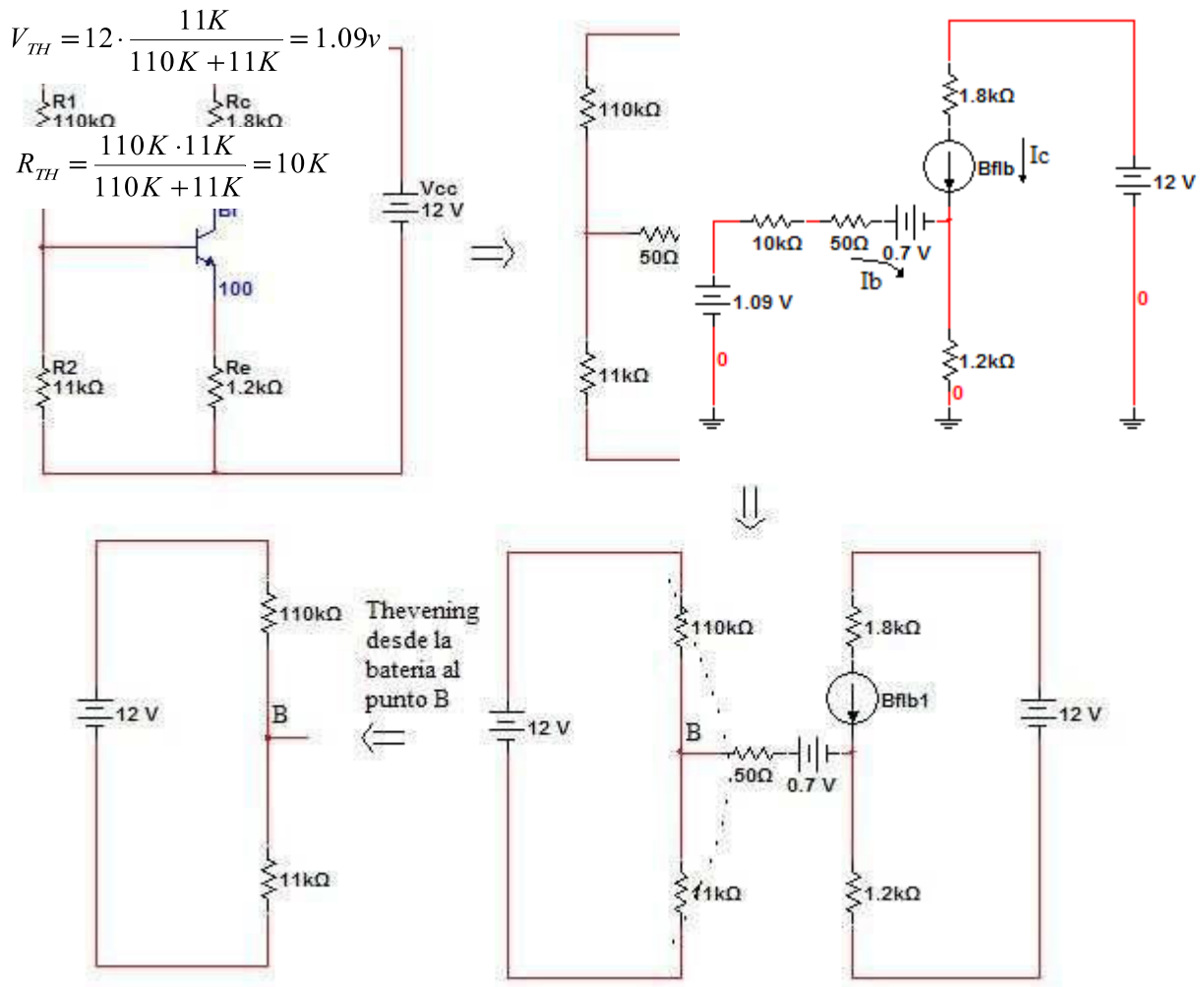
Solo se cumple cuando el transistor se encuentra en la zona de trabajo

Cuando esta saturado $V_{ce}=0,2\text{v}$

Cuando esta cortado V_{ce} es V_{CC}

EJERCICIO

Calcular el punto de funcionamiento, Q (I_{BQ} , I_{CQ} , V_{CEQ}), del transistor en el siguiente circuito



$$\sum V = \sum I \cdot R$$

$$V_{TH} - 0.7 = I_B \cdot R_{TH} + I_B \cdot 50\Omega + (I_B + I_C) \cdot 1K2$$

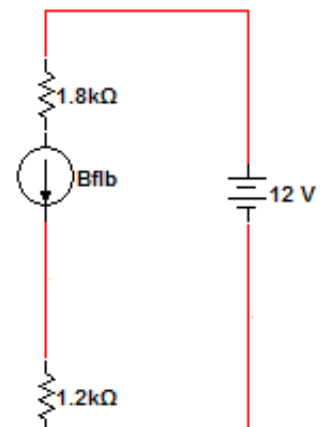
$$V_{TH} - 0.7 = I_B \cdot R_{TH} + I_B \cdot 50\Omega + I_B \cdot 1K2 + I_C \cdot 1K2$$

$$\beta_F \cdot I_B = I_C$$

$$V_{TH} - 0.7 = I_B \cdot R_{TH} + I_B \cdot 50\Omega + I_B \cdot 1K2 + \beta_F \cdot I_B \cdot 1K2$$

$$V_{TH} - 0.7 = I_B \cdot (R_{TH} + 50\Omega + (\beta_F + 1) \cdot 1K2)$$

$$1.09 - 0.7 = I_B (10K + 50\Omega + (101K) \cdot 1K2)$$



$$I_B = \frac{1.09 - 0.7}{10K + 50\Omega + 121.2K} = 2.97 \cdot 10^{-3} mA = 2.97 \mu A$$

$$10 - V_{CE} = 297 \mu A \cdot 1K8 + (I_B + I_C) 1K2$$

$$V_{CE} = 10 - 297 \mu A \cdot 1K8 - (2.97 \mu A + 297 \mu A) 1K2 ; 11v$$

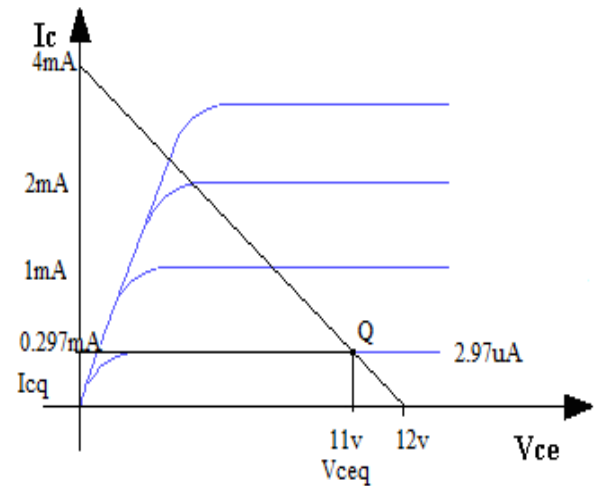
$$I_C = I_B \cdot \beta_F = 2.97 \mu A \cdot 100 = 297 \mu A$$

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

$$I_{BQ} = 2.97 \mu A$$

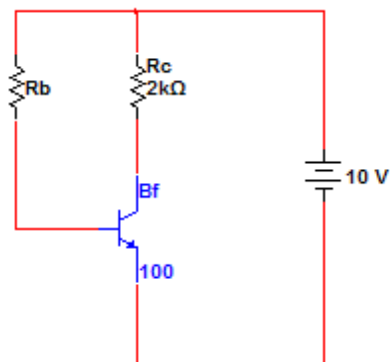
$$I_{CQ} = 297 \mu A$$

$$V_{CEQ} = 11v$$

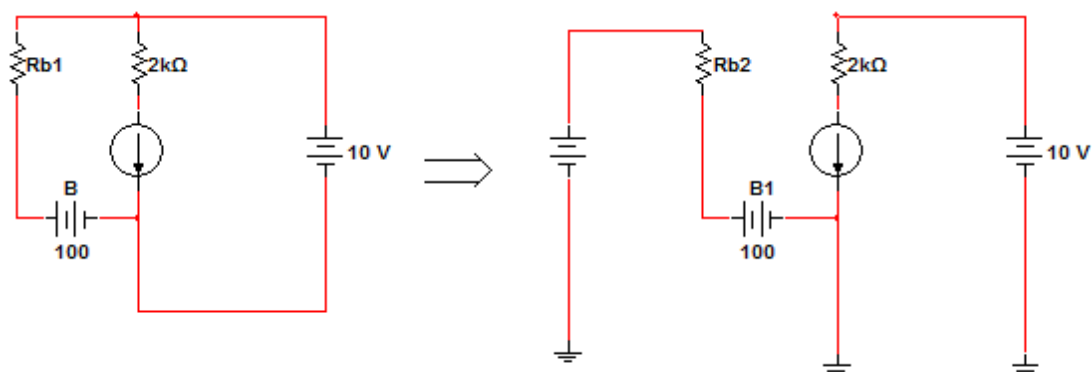


EJERCICIO

Calcular el punto Q en el siguiente circuito para los distintos valores de Rb (300k y 150k)



Lo modificamos por su modelo en continua



$$R_B = 150K$$

$$10 - 0.7 = 150 \cdot I_B$$

$$I_B = 67 \mu A$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot R_C = 10 - 6.22 \cdot 2 = -2.4$$

Esta en saturación puesto que la corriente que pasa por el colector es demasiado grande.

Al estar en saturación no se cumple la ecuación de β_f por lo que se debe hacer de otra forma

$$V_{CE} = 0.2$$

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE_{SAT}}}{R_C} = \frac{10 - 0.2}{2} = 4.9mA$$

Otros montajes con transistores

$$R_B = 300K$$

$$10 - 0.7 = 300 \cdot I_B + 0.05 \cdot I_B$$

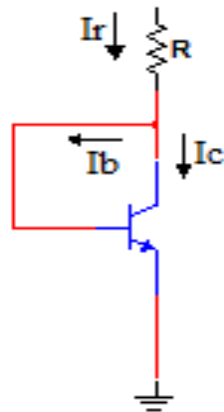
$$I_B = 0.031mA = 31 \mu A$$

$$I_C = \beta_F \cdot I_B = 100 \cdot 31 \mu A = 3.1mA$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot R_C$$

$$V_{CE} = 10 - 3.1 \cdot 2 = 3v$$

a) Transistor con realimentacion



$$I_R = \frac{V_R}{R} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R}$$

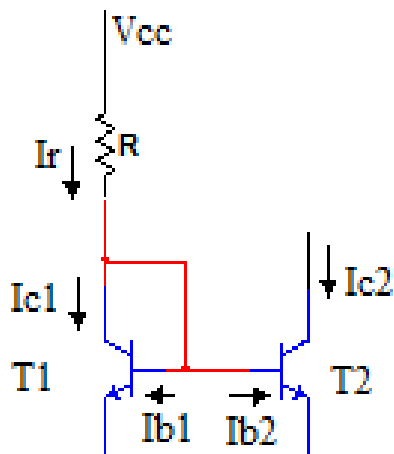
$$I_R = I_C + I_B = I_C + \frac{I_C}{\beta_F} = I_C \left(1 + \frac{1}{\beta_F}\right)$$

$$\frac{V_{CC} - V_{BE}}{R} = I_C \left(\frac{\beta_F + 1}{\beta_F}\right)$$

$$I_C = \left(\frac{\beta_F}{\beta_F + 1}\right) - \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R}$$

$$\beta_F \gg 1 \quad I_C \approx I_B$$

b) Transistor en montaje WIDLAR



$$I_R = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R}$$

$$I_R = I_{C1} + I_{B1} + I_{B2}$$

$$|T_1 = T_2| I_R = I_C + 2I_B = I_C + 2 \frac{I_C}{\beta_F}$$

$$I_R = I_C \left(1 + \frac{2}{\beta_F}\right) = \left(\frac{\beta_F + 2}{\beta_F}\right) I_C$$

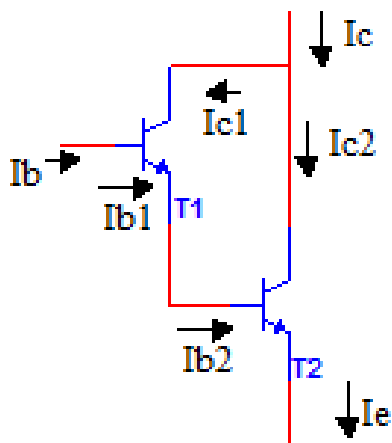
$$I_C = \left(\frac{\beta_F}{\beta_F + 2}\right) \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R}$$

Para n transistores la formula queda

$$I_R \approx I_C$$

$$I_C = \left(\frac{\beta_F}{\beta_F + n}\right) \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R}$$

c) Montaje DARLINGTON



$$I_C = I_{C1} + I_{C2} = \beta_{F1} \cdot I_{B1} + \beta_{F2} \cdot I_{B2}$$

$$I_{B1} = I_B$$

$$I_C = I_B \cdot \beta_{F1} + [(\beta_{F2} + 1) \cdot I_B] \cdot \beta_{F2}$$

$$I_{E1} = I_{B2} = (\beta_{F2} + 1) \cdot I_B$$

$$I_C = I_B (\beta_{F1} + \beta_{F2} + \beta_{F1} \cdot \beta_{F2})$$

$$\frac{I_C}{I_B} = \beta_{F1} + \beta_{F2} + \beta_{F1} \cdot \beta_{F2}$$

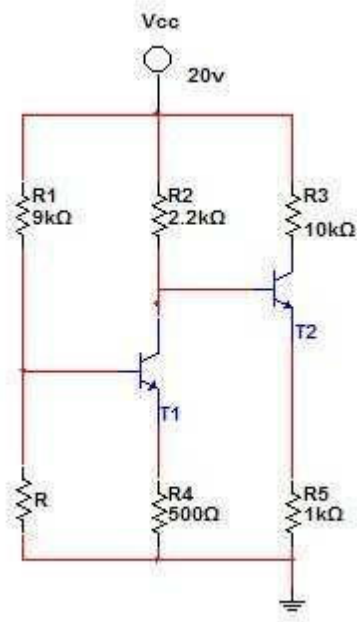
Transistor T1 (Ic pequeña, β_F muy grande)

Transistor T2 (Ic grande, β_F pequeña)

Con este montaje conseguimos mucha ganancia, pero a costa de una potencia relativamente alta

EJERCICIO

Calcular el valor de R para que T2 se encuentre en saturación, ¿cual es la tensión de polarización de T1 para que T2 se sature?



$T_2 \rightarrow \text{Saturado}$

$$V_{CE} = 0.2V$$

$$I_{C_{T2}} ; I_{E_{T2}}$$

Ibase de T2 prácticamente despreciable

$$V_{CC} - V_{CE} = I_{C_{T2}} \cdot R_3 + I_{E_{T2}} \cdot R_5$$

$$V_{CC} - V_{CE} = I_C (R_3 + R_5)$$

$$I_C = \frac{20 - 0.2}{10K + 1K} = 1.8mA$$

$$V_{R_5} = I_C \cdot R_5 = 1.8 \cdot 1K = 1.8V$$

$$V_R = V_{R_4} + V_{BE_{T1}} = 3.97 + 0.7 = 4.67V = 2.5V$$

$$I_{R_1} = \frac{V_{B_{T1}}}{9K} = \frac{4.67}{9K} = 0.5mA$$

$$7.95mA$$

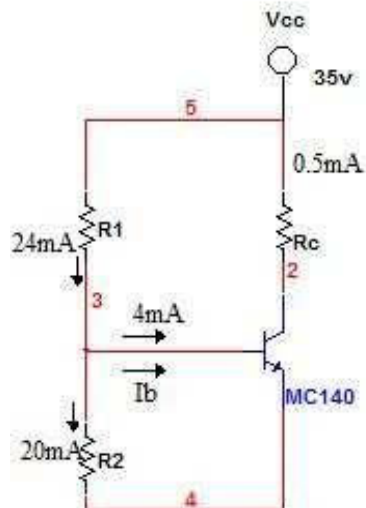
$$R = \frac{V}{I} = \frac{4.67}{0.5} = 9.34K\Omega$$

EJERCICIO

Diseñar un circuito(amplificador)utilizando el MC140 para sacar la máxima ganancia posible

Criterios de diseño:

Para no sobrecargar el transistor tomaremos como valores máximos, los máximos indicados por el fabricante menos un 10% para no dañar el transistor (circuito con valores aproximados)



$I_b < 10 I_{r1}$ para que no se vean influenciadas una de la otra
 $V_{ce} = 36 \text{ V}$ no se ve en la gráfica por lo que tomamos 35 V
 $I_{cm} = 0,9 \text{ A}$

Para obtener la máxima ganancia hay que concretar un punto que permita a la recta de carga moverse en ambos sentidos, con la mayor amplitud posible.
Tomamos como ese punto el punto medio de la recta para la intensidad de base de 4 mA
Punto Q = $0,5 \text{ mA}$ y 15 V

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{I_C} = \frac{35 - 15}{0.5} = 40K$$

TRANSISTORES DE EFECTO DE CAMPO

El BJT y el FET (Field Effect Transistor) poseen bastantes similitudes, aunque también se diferencian en ciertos aspectos. de las similitudes, la mas importante a destacar es que posee 3 terminales, que equivaldrían a los de un BJT (aunque con nombres distintos). Estos terminales son:

- **Fuente:** (S) es el terminal por donde entran los portadores mayoritarios al transistor. Este terminal equivaldría al *emisor* en un BJT.
- **Drenador:** (D) es el terminal por donde salen los portadores mayoritarios tras atravesar el canal. El terminal equivalente en un BJT sería el *colector*.
- **Puerta:** (G) es el terminal que controla la cantidad de portadores que atraviesan el canal. Se identifica con la *base* de un BJT.

Pero también existen diferencias entre un BJT y un FET. Las principales son:

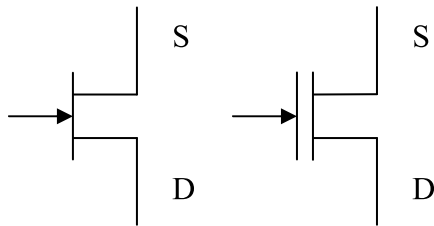
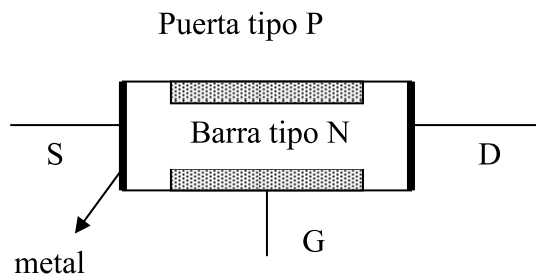
- El BJT es un transistor bipolar, lo que quiere decir que la corriente se debe tanto a portadores mayoritarios como a los minoritarios, mientras que en un FET la corriente sólo se debe a los portadores mayoritarios.
- En el FET, el drenador y la fuente se pueden intercambiar, ya que el dopaje es el mismo en ambos, mientras que en un BJT esto no se podía hacer debido a la diferencia existente en el dopaje de ambos terminales.
- El control del BJT provenía de la intensidad de la base, mientras que en el FET, se controla a través de la tensión puerta-fuente (G-S).

Para que un BJT funcionase, la unión base-emisor debía ser directa, pero en el FET ha de estar en inversa.

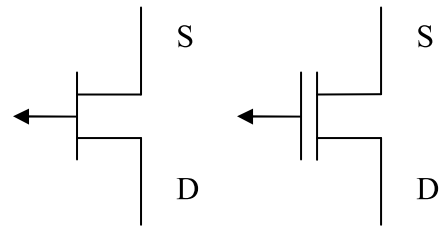
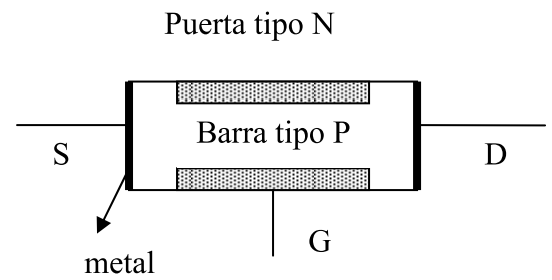
TIPOS

JFET:

Hay dos tipos: el tipo N (NFET) y el tipo P (PFET). En ambos casos se parte de una barra de silicio.

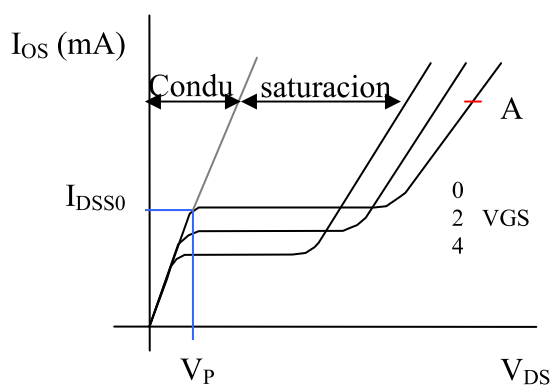
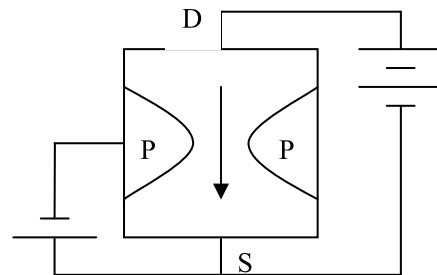
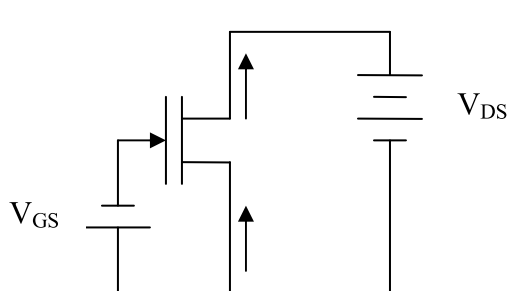


NJFET



PJFET

Polarización de un JFET de canal N:



$I_{DSS0} \rightarrow$ corriente de saturación drenador – fuente con $V_{GS} = 0$ o corriente de estrangulamiento.

$V_P \rightarrow$ tensión de estrangulamiento.

Si V_{DS} es menor que V_P , está en conducción y funciona con una pequeña resistencia y con una I_{DS} .

Si V_{DS} es mayor o igual que V_p , se encuentra en saturación y la $I_{DS} = I_{DSS}$.

Si V_{DS} es constante, según se va haciendo más negativa la tensión, se va saturando en un menor espacio de tiempo y disminuye I_{DSS} .

Si V_{DS} es variable, varía la resistencia y la I_{DS} . Aunque el transistor esté en saturación, no se incrementa mucho V_{DS} , pero I_{DS} se dispara y puede destruir el transistor (punto A).

Se utiliza mucho donde se requiere una gran impedancia de entrada (Z_1).

$$Z_1 = R_g = \frac{V_{GS}}{I_G}$$

Cuando I_G es cero, V_{GS} está polarizado inversamente.

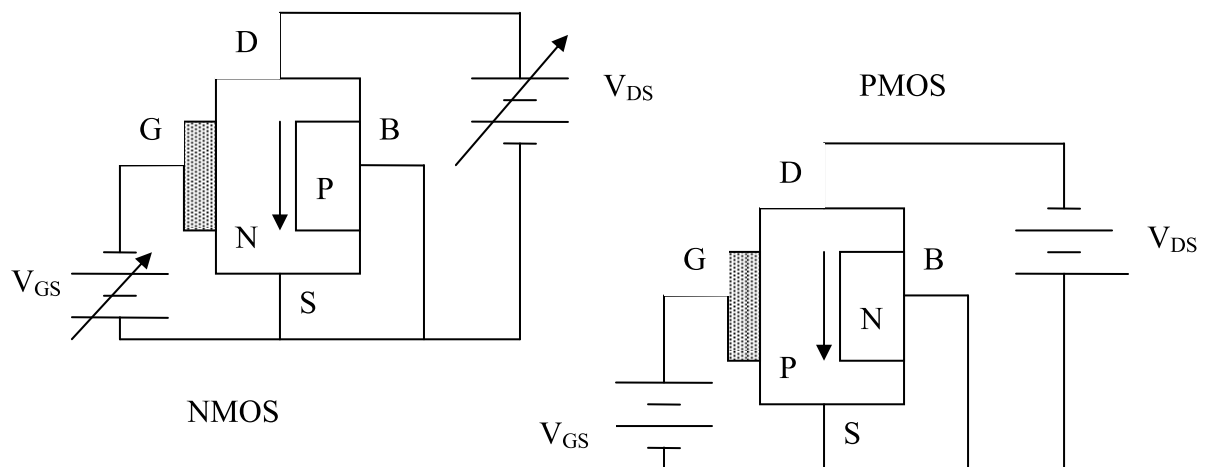
MOSFET:

Transistor de efecto campo metal – oxido semiconductor (MOSFET):

Estos transistores poseen cuatro terminales: D, S, G, B.

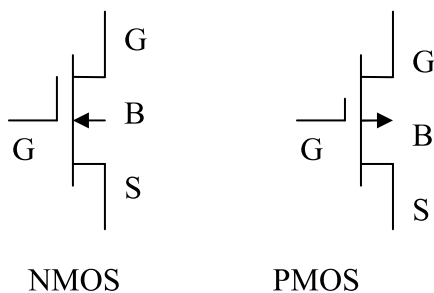
Hay dos tipos: enriquecido y empobrecido. Estos dos tipos se dividen en otros dos cada uno: NMOS y PMOS.

MOSFET de empobrecimiento:

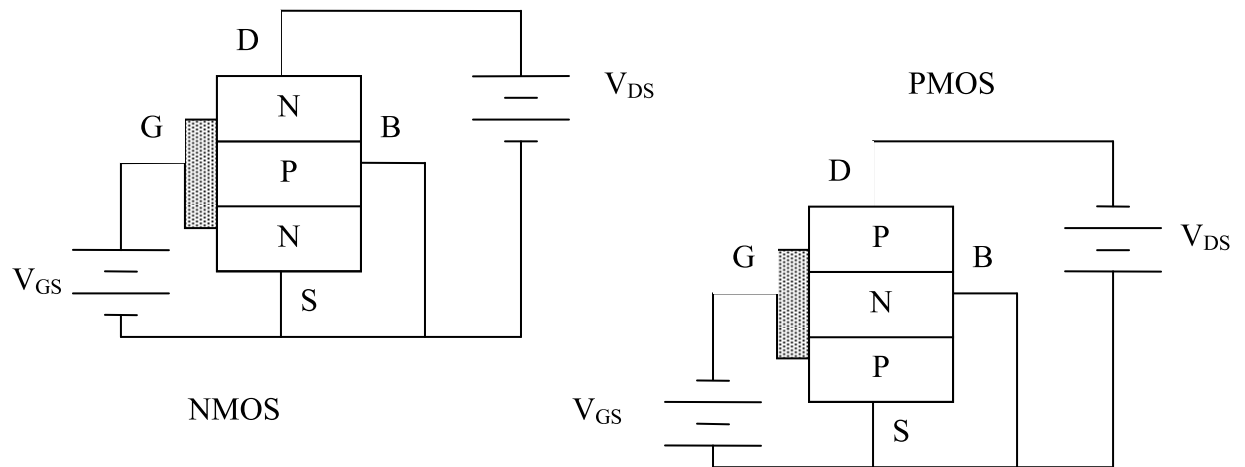


Cuando V_{GS} es mayor o igual a cero está en conducción y el canal está libre para que circule I_{DS} .

Si V_{GS} es menor a cero y mayor que la tensión umbral. Una corriente pasa por B y por G. A medida que aumenta V_{GS} de valor negativo, I_{DS} disminuye.

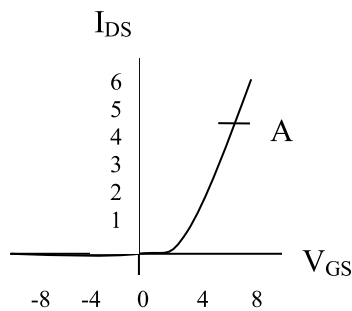


MOSFET de enriquecimiento:

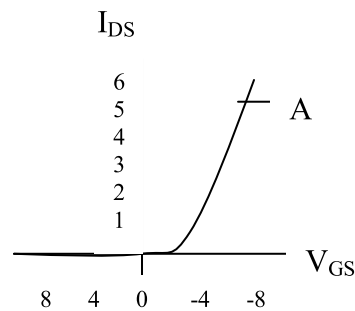


Si V_{GS} es mayor o igual a cero y menor que la tensión umbral, está en corte y la I_{DS} es cero.

Si V_{GS} es positiva y mayor que la tensión umbral (suele estar entre 1 y 5 voltios la tensión umbral).



NMOS

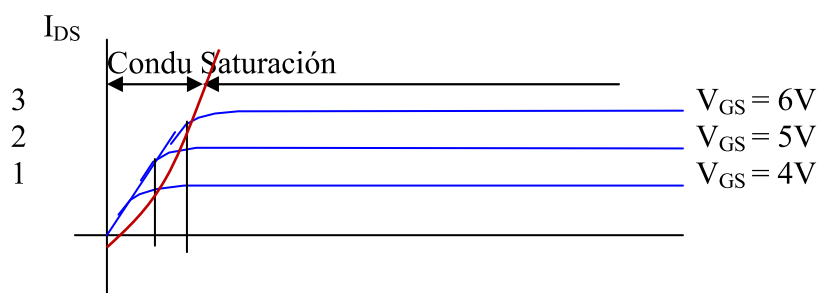


PMOS

En el NMOS, está en corte, cuando V_{GS} es menor que V_T y en conducción en el caso contrario. El PMOS, funciona a la viceversa del NMOS.

Curvas para identificar el MOSFET en estado de saturación:

NMOS:

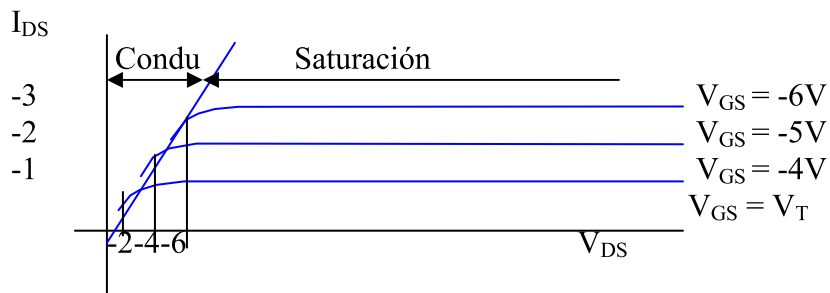


2 4 6

$V_{GS} = 3V$
 V_{DS}

En saturación $\rightarrow V_{DS} \geq V_{GS} - V_T$
 V_T es la tensión umbral (1-2 V).

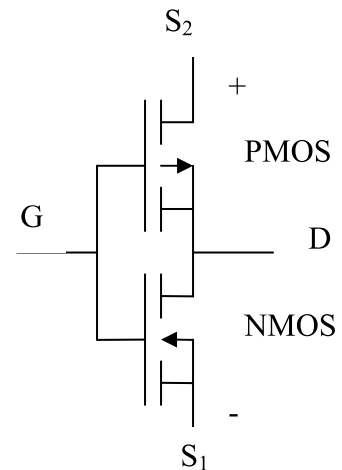
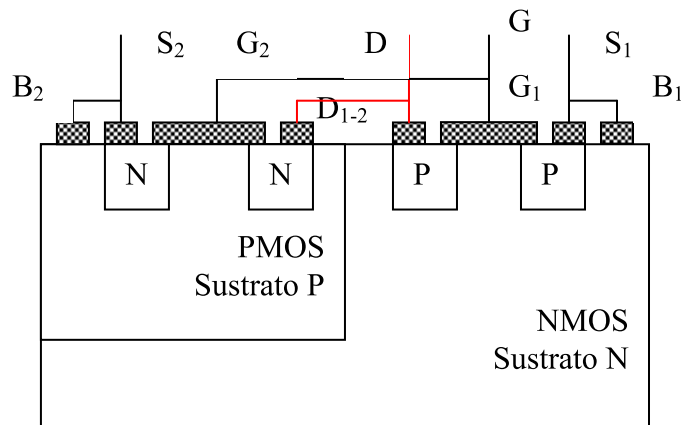
PMOS:



En saturación $\rightarrow V_{DS} \leq V_{GS} - V_T$
 V_T es la tensión umbral (1-2 V).

CMOS:

Transistor MOSFET de simetría complementaria (CMOS):



Sobre un sustrato tipo N se crean dos pozos tipo P dando lugar al transistor NMOS. Sobre dicho sustrato (tipo N) se difunden otros sustratos tipo P. Cuando en este último se crean dos pozos tipo N, dan lugar al transistor PMOS.

El circuito básico de la tecnología CMOS, lo constituye una puerta inversora. A partir de esta puerta inversora, se construyen todas las funciones lógicas básicas de esta tecnología. El número de unidades CMOS que se va a necesitar, vendrá determinado por la función lógica a diseñar y el número de entradas que tenga dicha función.

DIFERENCIAS ENTRE BJT Y FET

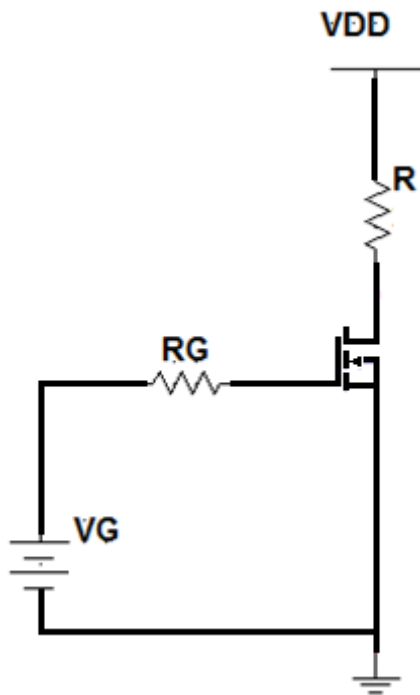
Bipolar

- Menor Ruido
- Menor offset
- Mayor ganancia
- Mayor tensión
- Mayor ancho de banda
- Mayor velocidad de conmutación

Mos

- Menor consumo
- Menor potencia
- Facilidad de diseño y de escalado
- Mayor densidad
- Alta inmunidad al ruido
- Mas lento

MOS COMO RESISTENCIA



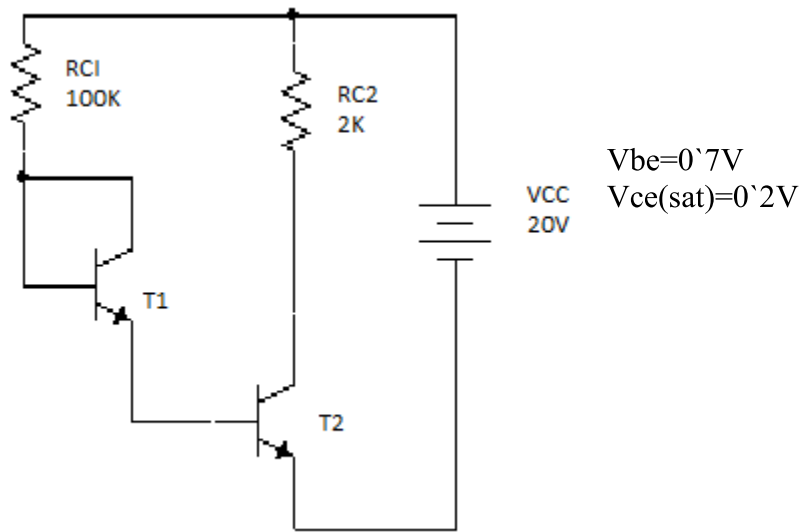
$$V_G = V_{DD} \cdot \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)$$

$$R_G = R_1 / R_2$$

EJERCICIO

En el circuito de la figura:

Calcular las I_c , I_b , I_e así como la V_{ce} de ambos transistores.



$$I_{RC1} = V_{RC1}/R_{C1} = (V_{CC} - V_{be1} - V_{be2})/R_{C1} = (20 - 0.7 - 0.7)/100 = 0.186 \text{ mA}$$

$$I_{RC1} = I_{e1} = I_{b2} = I_{b1} + I_{c1} = 0.186 \text{ mA}$$

$I_c = I_b \cdot \beta_f \rightarrow$ lo aplicamos al transistor 2 porque conocemos I_{b2}

$$I_{c2} = I_{b2} \cdot 140 = 0.186 \text{ mA} \cdot 140 = 26.04 \text{ mA}$$

Como vemos esta saturado

Calculamos $V_{ce2} = V_{CC} - I_{c2}R_{c2} = -32 \text{ V}??$ No es posible esta saturado
Por lo que tomamos $V_{ce}(\text{sat}) = 0.2 \text{ V}$

$$I_{c2} = (V_{CC} - V_{ce}(\text{sat}2))/R_{c2} = (20 - 0.2)/2 = 9.9 \text{ mA}$$

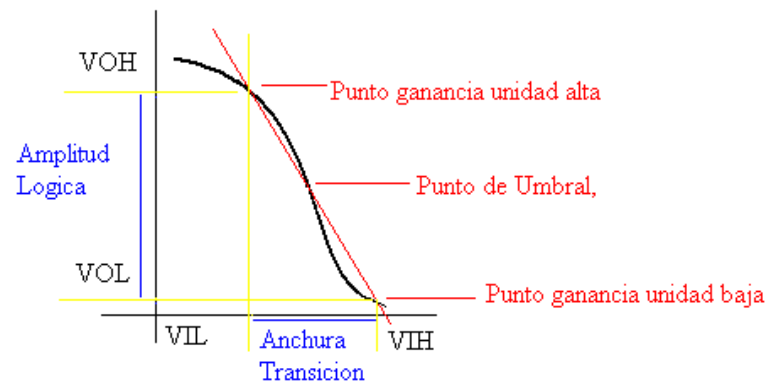
$$I_{e2} = I_{b2} + I_{c2} = 0.186 + 9.9 = 10.086 \text{ mA}$$

$$V_{ce1} = 0.7 \text{ V}$$

$$I_{b1} = I_{c1}/\beta_{f1} = 0.186/101 = 1.84 \text{ microA}$$

$$I_{c1} = 100 \cdot 1.84 = 184 \text{ microA}$$

FAMILIAS LOGICAS ELECTRONICAS



Ejemplo:

$$FAN_OUT_H = \frac{400}{40} = 10 \text{ puertas a nivel alto}$$

$$FAN_OUT_L = \frac{16}{1.6} = 10 \text{ puertas a nivel bajo}$$

4.- VELOCIDAD

- Tiempo de subida (tr)
- Tiempo de Bajada (tf)
- Tiempo de Propagación (tp)
- Tiempo de almacenamiento (ts)
- Frecuencia de reloj

5.- INMUNIDAD AL RUIDO

- Margen de ruido
 - NMO
 - NM1
- Sensibilidad al ruido
- Inmunidad al ruido

6.- CONSUMO

- Potencia nivel 1 (P_M) Potencia media
- Potencia nivel 0 (P_L)

7.- FACTOR DE MÉRITO

- Producto velocidad por potencia media
- Interesa que sea pequeño

8.- FLEXIBILIDAD LÓGICA

- Cableado lógico
- Salidas complementos
- Salidas especiales
- Compatibilidad con otras familias
- Versatilidad

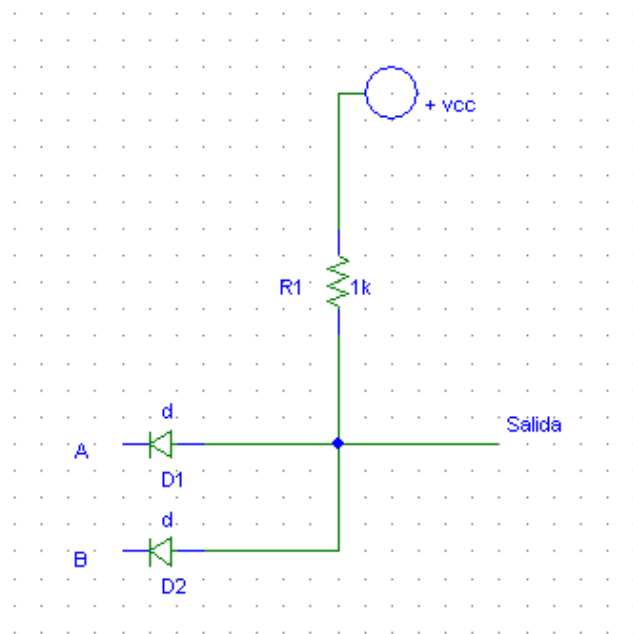
9.- MÁRGENES DE TEMPERATURA

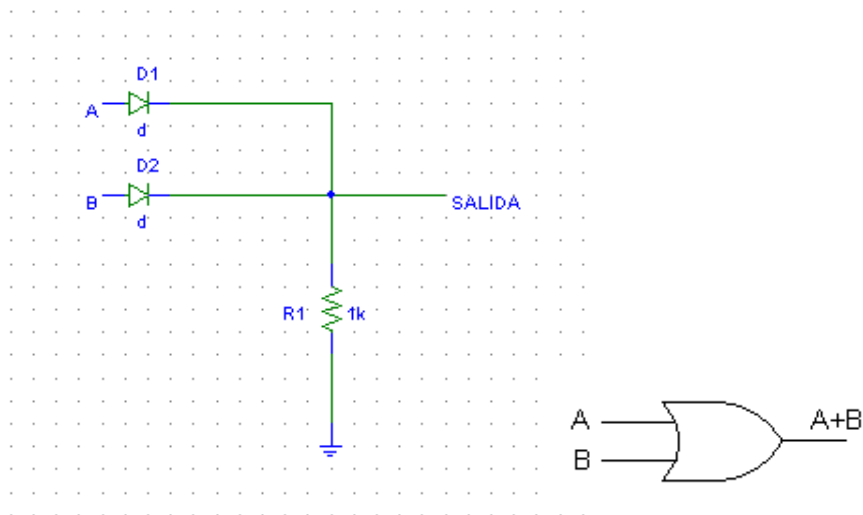
- Industrial → 0°C a 75°C Serie 74
- Militar → -55°C a 155°C Serie 54

10.- OTRAS CARACTERÍSTICAS

- Encapsulado
- Segundas fuentes
- Precio
- Disponibilidad

FAMILIA DRL





Si conectamos A a masa (Low) el diodo D1 \rightarrow no conduce = 0.7V
 Si conectamos A a un generador de tensión (Hight) D1 \rightarrow conduce

Tabla de verdad:

V_A	V_B	D_1	D_2	V_0
L	L	OFF	OFF	L
L	H	OFF	ON	H
H	L	ON	OFF	H
H	H	ON	ON	H

1
2
2
2

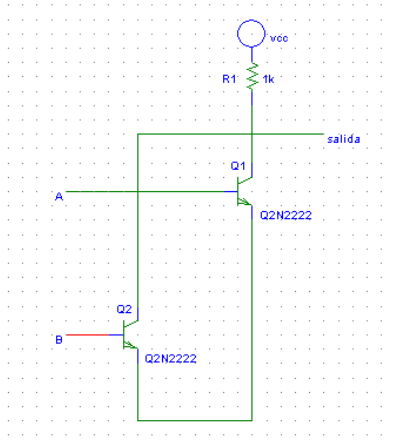
- (1) Si ponemos el diodo a masa , el diodo no conduce por lo que no existe intensidad.
- (2) Si ponemos el diodo a vcc, el diodo conduce por lo que la intensidad que hay en la salida será $v_{cc} - V_{\text{diodo}}$

La principal característica de esta tecnología es que podemos fabricar puertas lógicas, pero el inconveniente de esta será que al ir conectando puertas similares el nivel de salida irá aumentando.

FAMILIA DCTL

DCTL → Direct Coupled Transistor Logic

Lógica de transistores directamente acoplados, se basa en las condiciones de corte y saturación de un transistor. A cada una de las puertas se le hace corresponder un transistor que permitirá o no el paso de corriente hacia la salida según el nivel en que se encuentre su entrada correspondiente.



Si conectamos A a masa (Low) el transistor Q1 → no conduce

Si conectamos A a un generador de tensión (High) Q1 → conduce

La tensión colector-emisor de un transistor de silicio saturado es de 0,2 V

Tabla de verdad:

V_A	V_B	D_1	D_2	V_0	
L	L	OFF	OFF	H	1
L	H	OFF	ON	L	1
H	L	ON	OFF	L	1
H	H	ON	ON	L	2

(1) Si ponemos el transistor a masa, el diodo no conduce por lo que la intensidad de la salida será la del generador dividida por la resistencia.

(2) Si ponemos el transistor a vcc, este conduce por lo que la intensidad que hay en la salida será de 0.2v

Los inconvenientes en esta familia lógica son:

- Puerta lenta.
- Las corrientes inversas de saturación de todos los transistores de entrada se suman a la resistencia R del circuito del colector común y, a determinadas temperaturas, la caída de tensión puede ser tan baja que los transistores no saturan.
- Las diferentes características en los transistores pueden llegar a perturbar el buen funcionamiento de la puerta.
- Para solucionar este problema se crearon las puertas RTL, que consisten en el mismo tipo de circuito pero añadiendo unas resistencias en las bases de los transistores de las entradas. El funcionamiento es análogo a las DCTL.

FAMILIA DTL

DTL → Diode Transistor Logic

Es decir estamos tratando con una familia compuesta básicamente por diodos y transistores (sin olvidar a las resistencias). Los diodos se encargan de realizar la parte lógica y el transistor actúa como amplificador inversor. Esta separación de funciones nos permite empezar a estudiar esta familia viendo como se construye la lógica con los diodos.

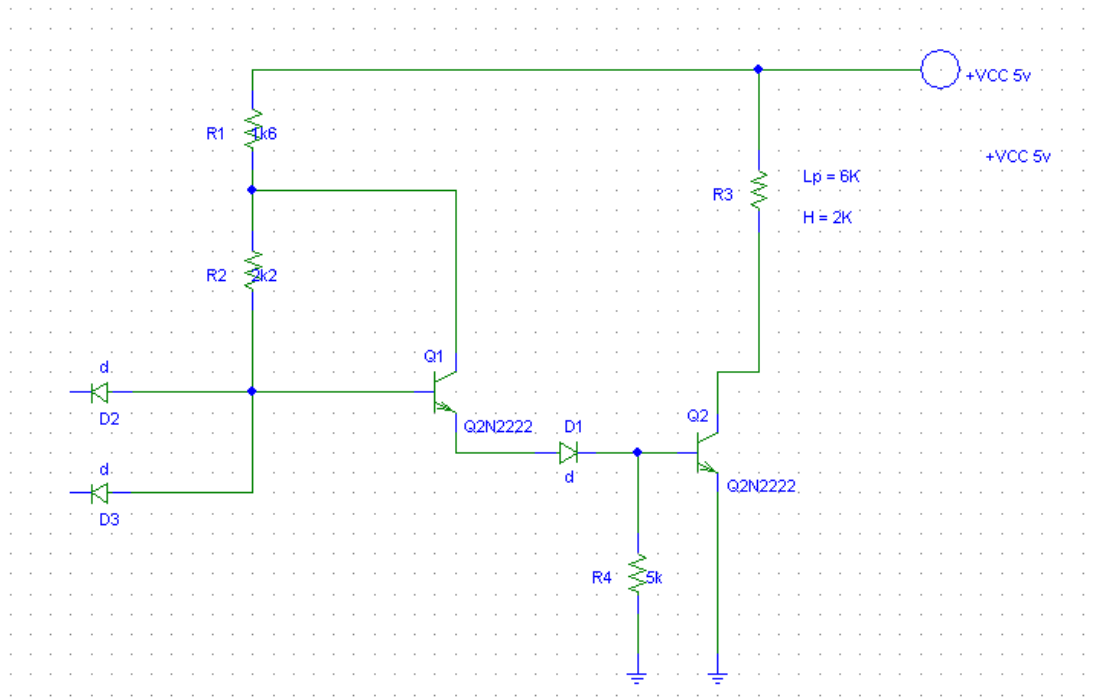


Tabla de verdad:

V _A	V _B	D2	D1	T1	D3	T2	V ₀
L	L	ON	ON	OFF	OFF	OFF	H
L	H	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	H
H	L	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	H
H	H	OFF	OFF	ON	ON	ON	L

FAMILIA TTL

TTL → *Transistor-Transistor Logic*

"Lógica Transistor a Transistor". Es una familia lógica o lo que es lo mismo, una tecnología de construcción de circuitos electrónicos digitales. En los componentes fabricados con tecnología TTL los elementos de entrada y salida del dispositivo son transistores bipolares.

Características:

- Su tensión de alimentación característica se halla comprendida entre los 4,75V y los 5,25V (como se ve un rango muy estrecho).
- Los niveles lógicos vienen definidos por el rango de tensión comprendida entre 0,2V y 0,8V para el estado L (bajo) y los 2,4V y V_{cc} para el estado H (alto).
- La velocidad de transmisión entre los estados lógicos es su mejor base, si bien esta característica le hace aumentar su consumo siendo su mayor enemigo. Motivo por el cual han aparecido diferentes versiones de TTL como FAST, LS, S, etc. y últimamente los CMOS: HC, HCT y HCTLS. En algunos casos puede alcanzar poco más de los 250 MHz
- Las señales de salida TTL se degradan rápidamente si no se transmiten a través de circuitos adicionales de transmisión (no pueden viajar más de 2 m por cable sin graves pérdidas)

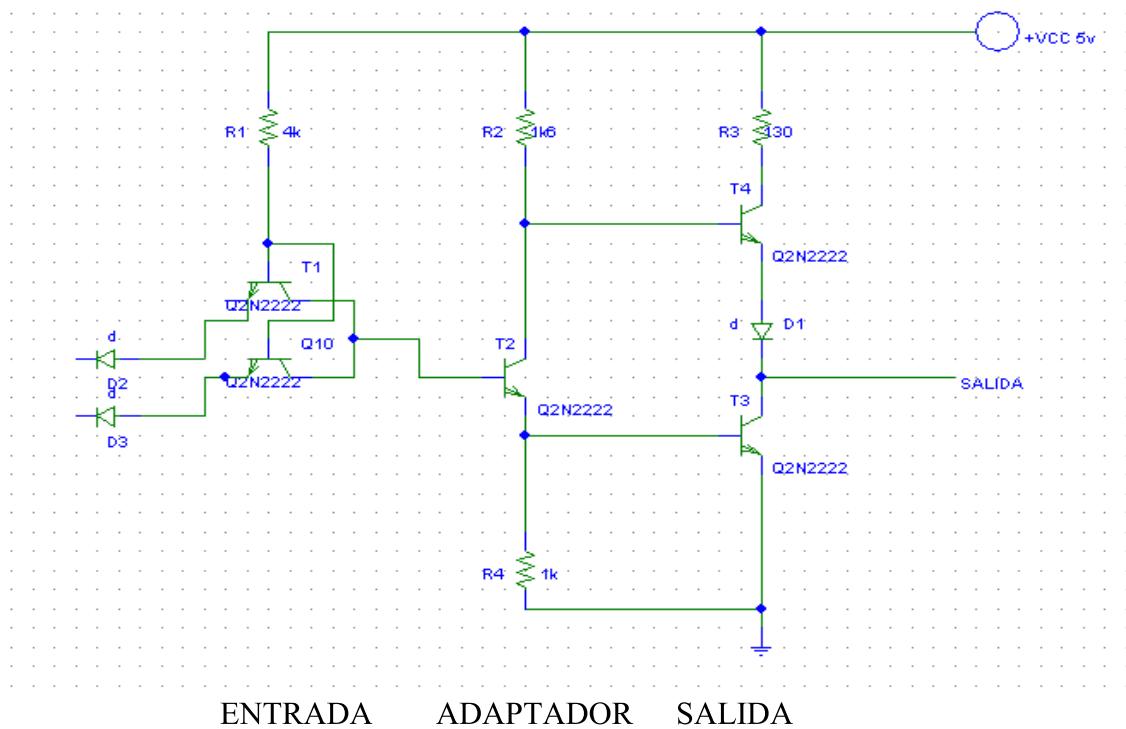
Familias TTL:

Los circuitos de tecnología TTL se prefijan normalmente con el número 74 (54 en las series militares e industriales). A continuación un código de una o varias cifras que representa la familia y posteriormente uno de 2 a 4 con el modelo del circuito.

Con respecto a las familias cabe distinguir:

- TTL: Serie estándar
- TTL-L (low power) : Serie de bajo consumo
- TTL-S (schottky): Serie rápida (usa diodos Schottky)
- TTL-AS (advanced schottky): Versión mejorada de la serie anterior
- TTL-ALS (advanced low power schottky): Versión mejorada de la serie AS
- TTL-F (FAST: Fairchild advanced schottky)
- TTL-AF (advanced FAST): Versión mejorada de la serie F
- TTL-HC (high speed C-MOS) : Realmente no se trata de tecnología TTL bipolar sino CMOS
- TTL-HCT (high speed C-MOS) : Serie HC dotada de niveles lógicos compatibles con TTL

Puerta NAND construida con tecnología TTL



1.-Función lógica:

V1	V1	T1	T2	T3	T4	Vo
L	L	AD	OFF	ON	ON	H
L	H	AD	OFF	ON	ON	H
H	L	AD	OFF	ON	ON	H
H	H	AI	ON	OFF	OFF	L

AD= activo directo

AI=activo indirecto

2.-Potencia media:

$$P_m = (P_h + P_l) / 2$$

Primero calcularemos P_h :

$$(I_{r1} + I_{r2} + I_{r4}) V_{cc} = (1'17 + 0 + 0) 5 = 5'87 \text{ mW}$$

$$I_{r1} = (V_{cc} - V_{be} - V_{il}) / R_1 = 1'17 \text{ mA}$$

Por las demas intensidades no hay carga asi que eso implica $I_{c4} = 0$, $I_{b4} = 0$

PL

$$(I_{R1} + I_{R2} + I_{R4}) \cdot V_{cc} = (0.775 + 2.56) \cdot 5 = 16.42 \text{ mW}$$

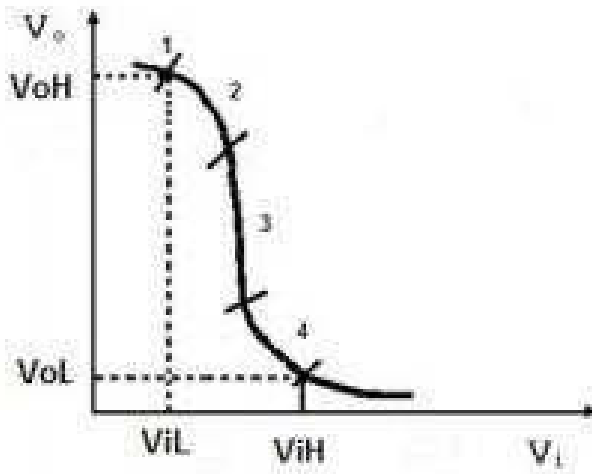
$$I_{R1L} = (V_{cc} - V_{BcT1} - V_{BeT2} - V_{BeT3}) / R1 = 0.775 \text{ mA}$$

$$I_{R2L} = (V_{cc} - V_{CeSaT2} - V_{BeT3}) / R2 = 2.56 \text{ mA}$$

$$I_{R4} = 0 \text{ mA} \rightarrow T4 = \text{Off}$$

$$PM = (5.87 + 16.42) / 2 = 11.14 \text{ mW}$$

3.- Característica de transferencia



Según la gráfica podemos distinguir 4 zonas:

- 1.- EL transistor T1 cambia de ACTIVO DIRECO a ACTIVO INVERSO
- 2.- T1 se encuentra en ACTIVO INVERSO, T2 en CONDUCCION y T3 en CORTE
- 3.- T1 en ACTIVO INVERSO , T2 está SATURADO y T3 en CONDUCCION
- 4.- T1 en ACTIVO INVERSO, T2 y T3 están SATURADOS

Los valores obtenidos para las distintas tensiones de entrada y salida son:

$$V_{oh} (3'6v) V_{oL} (0'2v) V_{ih} (1'4v) V_{iL} (0'7v)$$

4.- Cargabilidad FAN-OUT = 7 puertas

5.- Factor de merito $FM = PM \cdot t_p = 11'2 \cdot 10 \text{ ns} = 112 \text{ picoJulios(PJ)}$

6.- Margen de ruido para fan-out=0 $MR = V_{OH} - V_{OL} = 3'6 - 0'2 = 3'4v$

OTROS TIPOS DE TTL

TTL DE BAJA DISIPACIÓN (TTLL)

La diferencia respecto a la estándar son los valores de los componentes ya que consume mucho menos:

$R_1=40k$, $R_2=20k$, $R_3=12k$, $R_4=0.5k$

La P_m sería de $1mW$ -> **ventaja**

$T_p = 33nS$ -> **inconveniente**

TTL DE ALTA VELOCIDAD (TTLS)

Aquí varía el diseño del circuito ya que ahora la $P_m=2mW$ y $T_p = 6nS$. Gracias al montaje super-alfa adquiere una ganancia más grande y reduce el tiempo de conmutación.

TTLLS (mezcla de ambas)

Es un intento de unir las ventajas de la familia TTL de bajo y alto consumo. En esta se consigue lo siguiente:

$P_m=7mW$

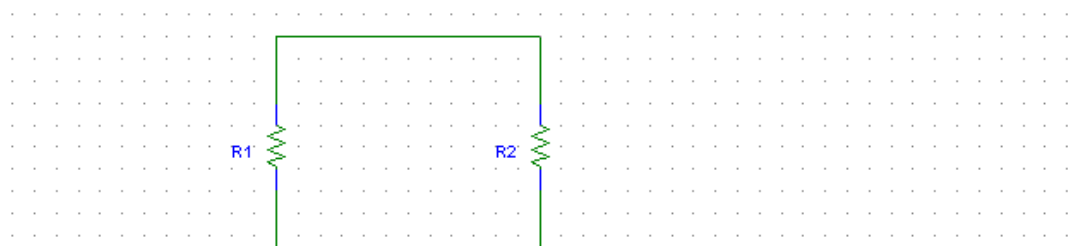
$T_p=6nS$

TTL DE COLECTOR ABIERTO

La configuración es exactamente igual a la de "Resistencia de colector", solamente que dicha resistencia no está integrada en el **circuito** si no que es la propia carga.

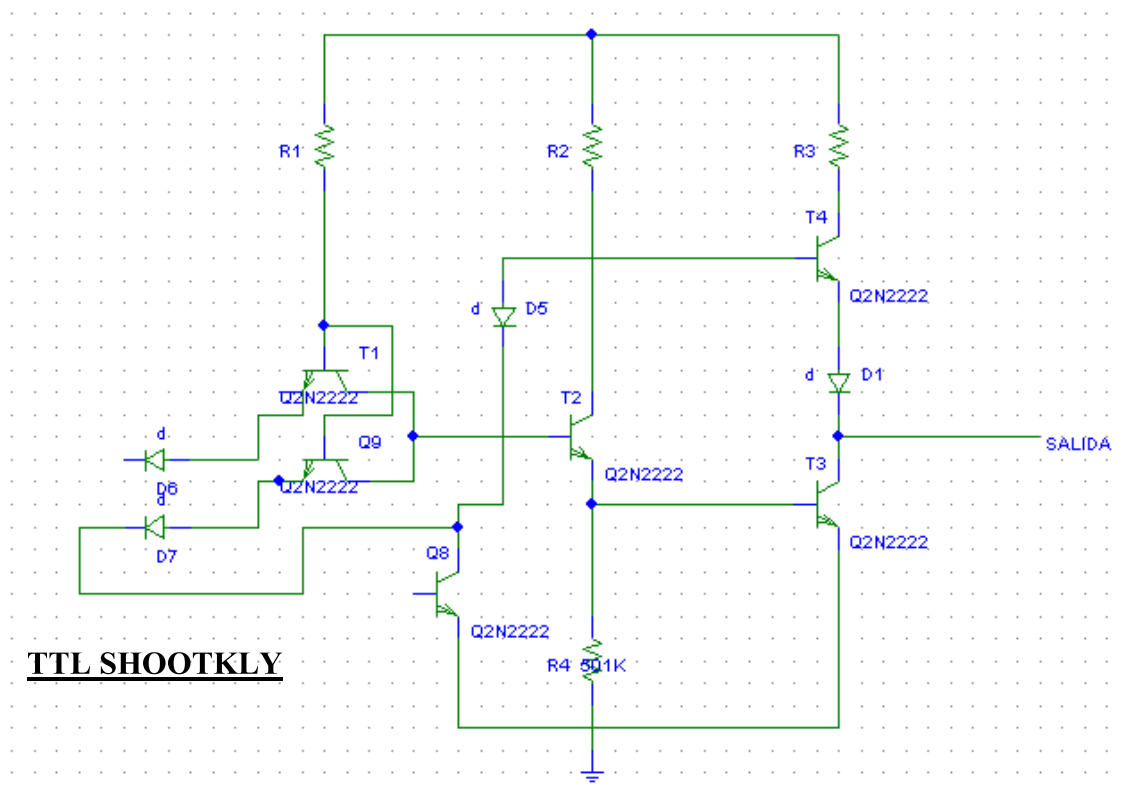
La principal utilización es el gobierno directo de cargas que precisan unas tensiones o corrientes superiores a los niveles de la familia.

Por otro lado permiten la realización de **puertas AND** por conexión con solo unir en paralelo las salidas de varios **circuitos integrados**.



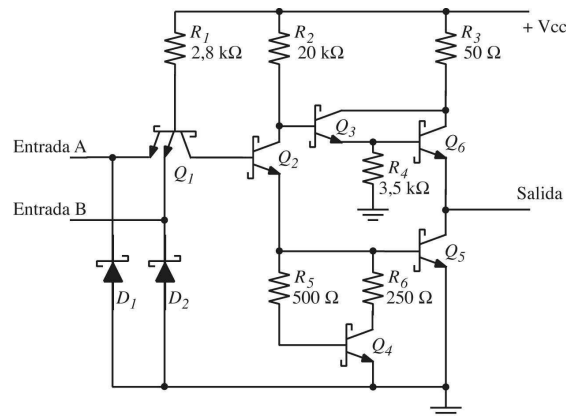
SALIDA TRIESTADO

Este tipo de puerta podríamos conectarlo a un motor de 12v y no se rompería el circuito, colector libre para conectar lo que queramos, hasta que aguante T3.
Puerta TRIESTADO construida con tecnología TTL:



Durante muchos años la serie Schottky TTL fue la de mayor velocidad entre las series TTL. La mayor velocidad se logra mediante la incorporación de diodos de barrera Schottky. Estos evitan que los transistores del circuito entren en total saturación al conducir. De esta forma es posible disminuir el tiempo que toman los transistores para entrar y salir de conducción. Por otra parte, las resistencias del circuito son incluso de menor valor que en los TTL estándar. La figura 3.27 muestra el circuito esquemático correspondiente a una compuerta NAND de la serie Schottky TTL.

El símbolo, tanto de los diodos como de los transistores corresponde a los de barrera Schottky. El retardo de propagación de una compuerta Schottky TTL es de unos 3ns y su disipación de potencia de alrededor de 20 mW.

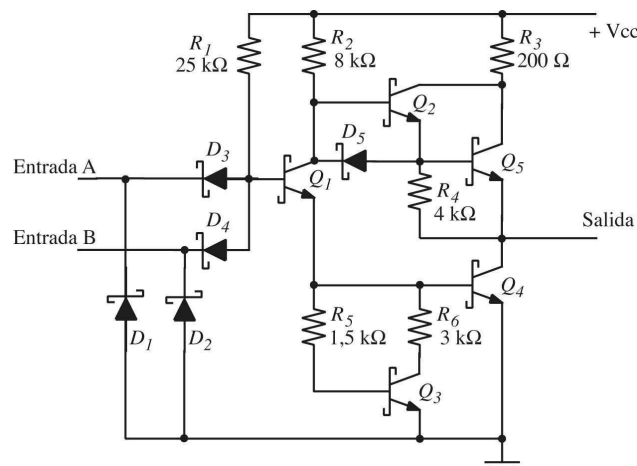


Serie Schottky TTL de bajo consumo

La serie Schottky TTL de bajo consumo ha sido la más utilizada en los últimos años. Esta, representa un compromiso entre la velocidad de operación y el bajo consumo de energía. Con un retardo de propagación de alrededor de 10 ns, funciona a la misma velocidad que la serie TTL estándar. Sin embargo, la disipación típica de una compuerta de esta serie es de unos 2mW, es decir, una quinta parte de la de una compuerta de la serie estándar. la figura 3.28 muestra el circuito esquemático de una compuerta NAND de esta serie.

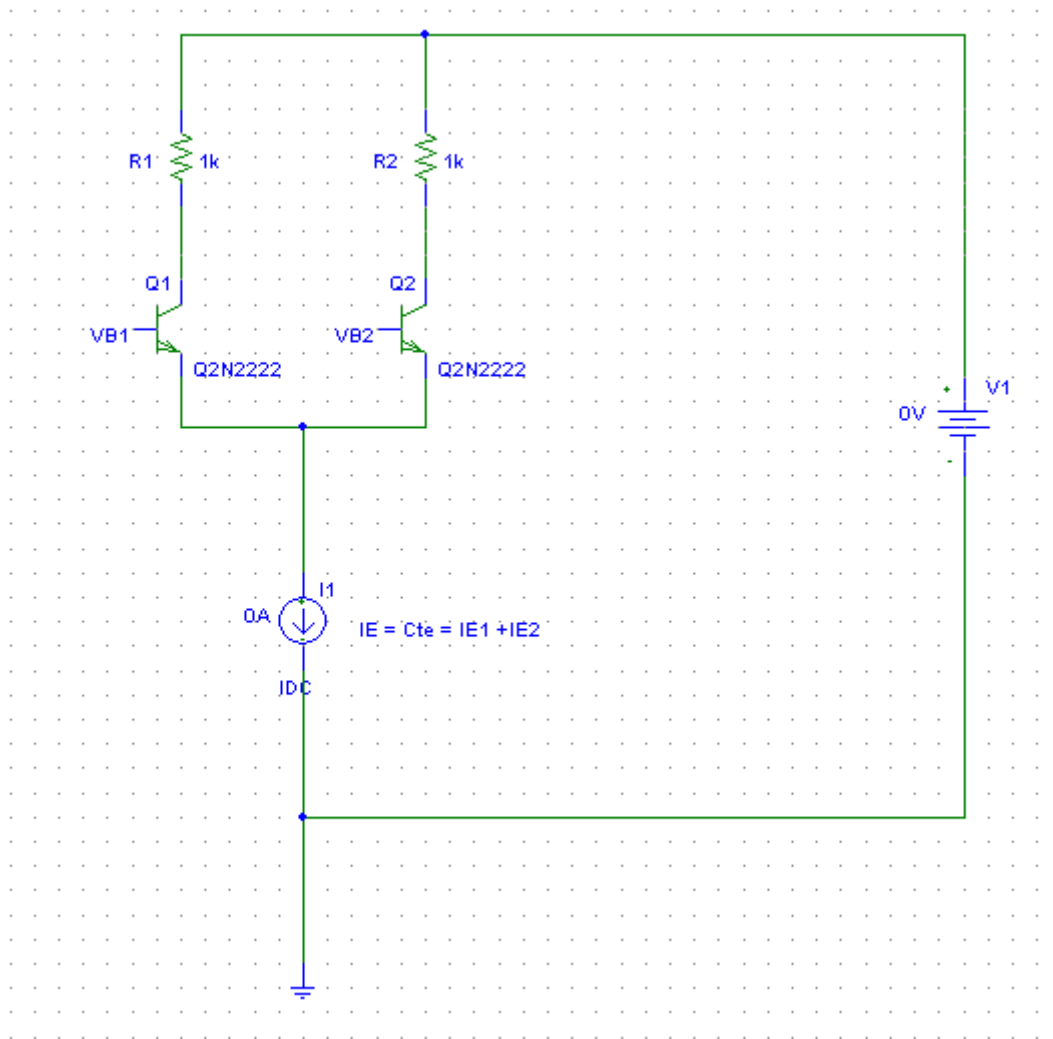
Serie Schottky Avanzada y Schottky de bajo consumo avanzada

Estas nuevas series son versiones tecnológicamente mas avanzadas de las series Schottky y Schottky de bajo consumo. En las compuertas de la serie AS, la disipación de potencia típica es de unos 8,5 mW y en las de la serie ALS es de alrededor de 1 mW. Los tiempos de retardo de propagación típicos para la serie AS son de 1,5 ns y para la serie ALS de unos 4 ns.



FAMILIA ECL

ECL → Emitter Coupled Logic (Lógica de emisores acoplados).



MODO COMÚN

$$V_{B1} = V_{B2} \rightarrow I_{C1} = I_{C2} = I_E/2$$

$$V_{BM1} = V_{BE1} + V_{EM1}$$

$$V_{BM2} = V_{BE2} + V_{EM2}$$

$$I_C = \alpha_F I_E$$

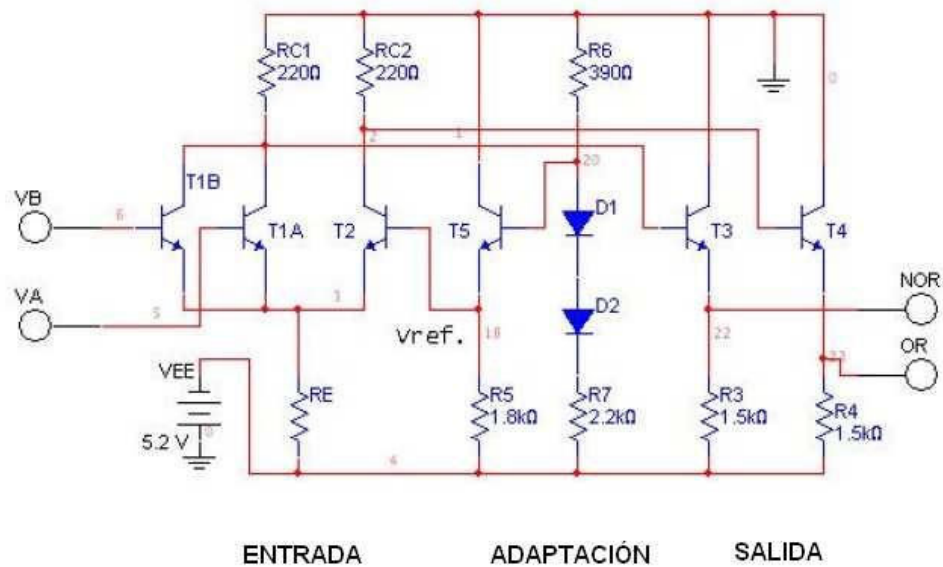
$$I_C = \alpha_F I_O$$

MODO DIFERENCIAL

$$V_d = V_{BM1} - V_{BM2} = (V_{BE1} + V_{EM1}) - (V_{BE2} + V_{EM2}) = V_{BE1} - V_{BE2}$$

Veamos un circuito completo ECL con las partes que lo caracterizan:

ENTRADA, ADAPTACION Y SALIDA:



Entrada: par diferencial

Este hace que el circuito sea muy sensible a pequeñas diferencias de tensión ya que rápidamente equilibra la intensidad de un transistor ante la carencia o exceso en el otro.

Adaptación:

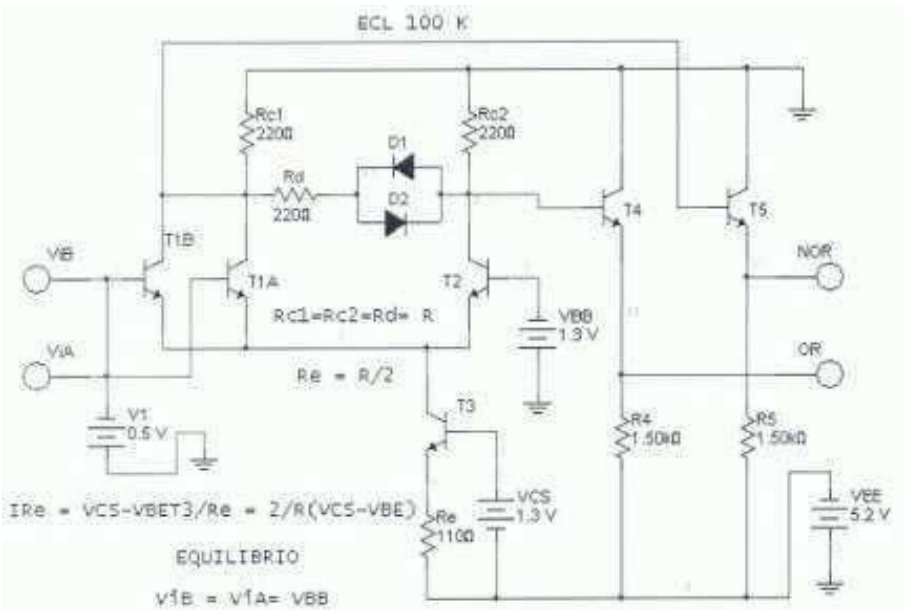
Caracterizada por utilizar diodos para que fluya la corriente en la dirección idónea.

Salida:

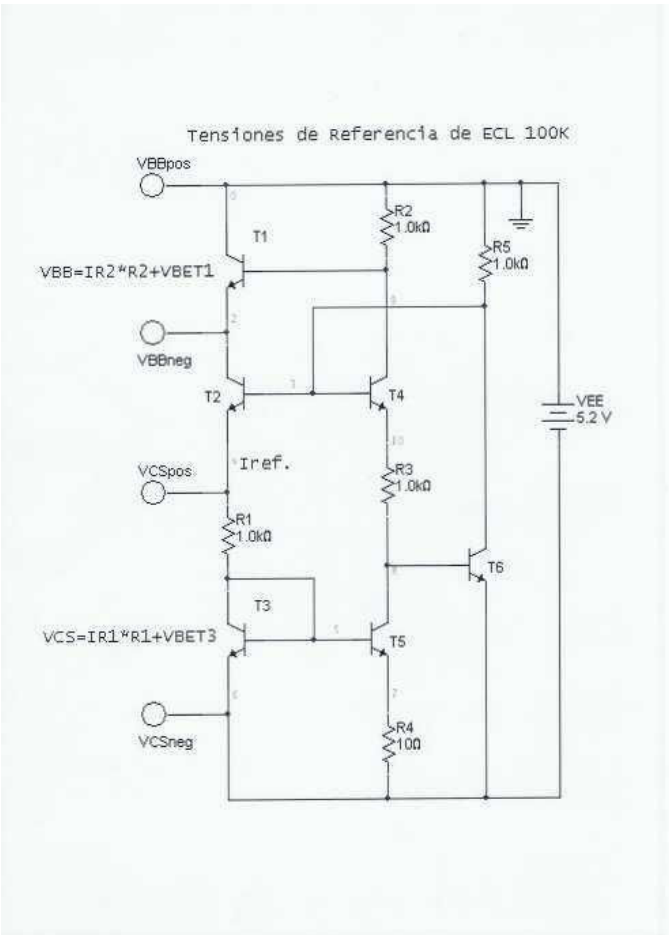
Las salidas son puertas NOR o OR.

MEJORA ECL: ECL 100K

Esta mejora hace que el circuito anterior sea más rápido cuando no está en equilibrio. El circuito es el siguiente:



Parte específica del circuito anterior, cómo se construye la parte de las tensiones de referencia:



PUERTA OR

CON
TECNOLOGÍA

ECL
ECL COMPATIBLE CON TTL

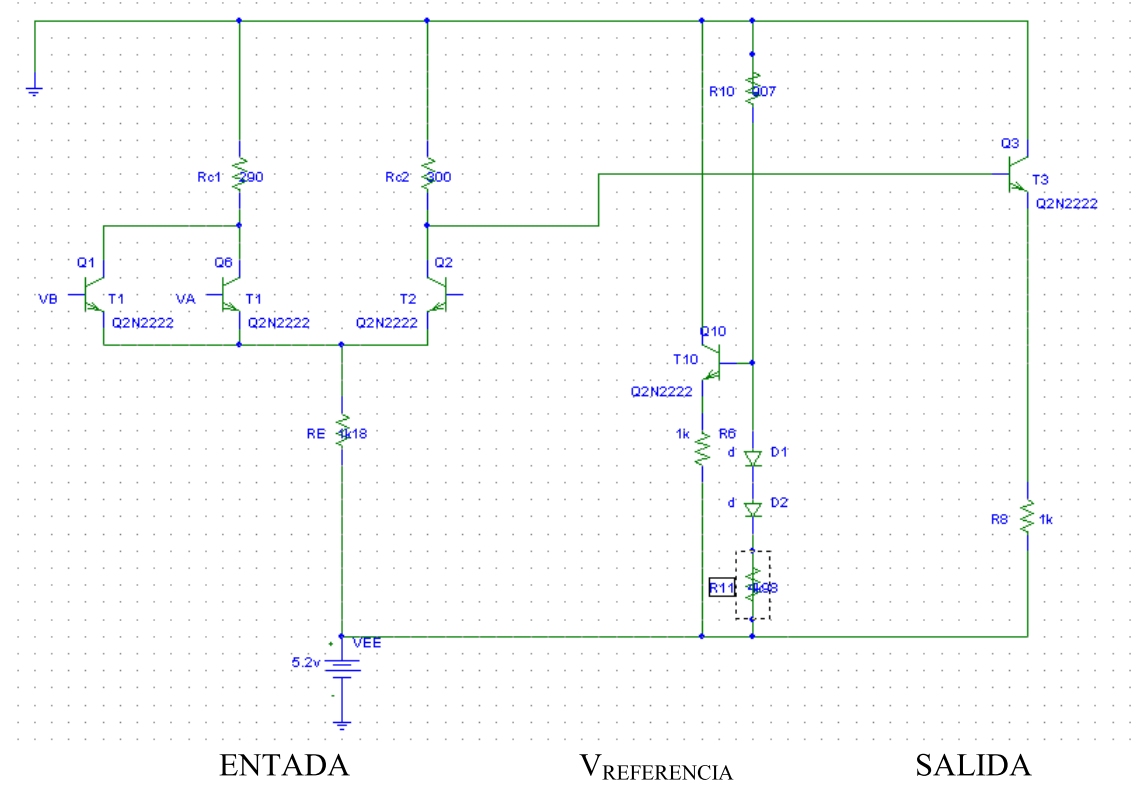


TABLA DE VERDAD:

V _A	V _B	T1	T1	T2	T3	V ₀
L	L	OFF	OFF	ON	OFF	L
L	H	OFF	ON	OFF	ON	H
H	L	ON	OFF	OFF	ON	H
H	H	ON	ON	OFF	ON	H

FAMILIAS LÓGICAS MOS. PUERTAS C-MOS Y N-MOS.

Es la más popular junto a la TTL. Tiene menos densidad de integración que la NMOS y la PMOS, pero disipa menos potencia y es más rápida.

CIRCUITOS LÓGICOS CMOS

Ventajas:

Bajo consumo

Muy pequeño

Posibilidad de montar muchos dispositivos.

Inconvenientes:

Lento

CMOS PUERTA NOR

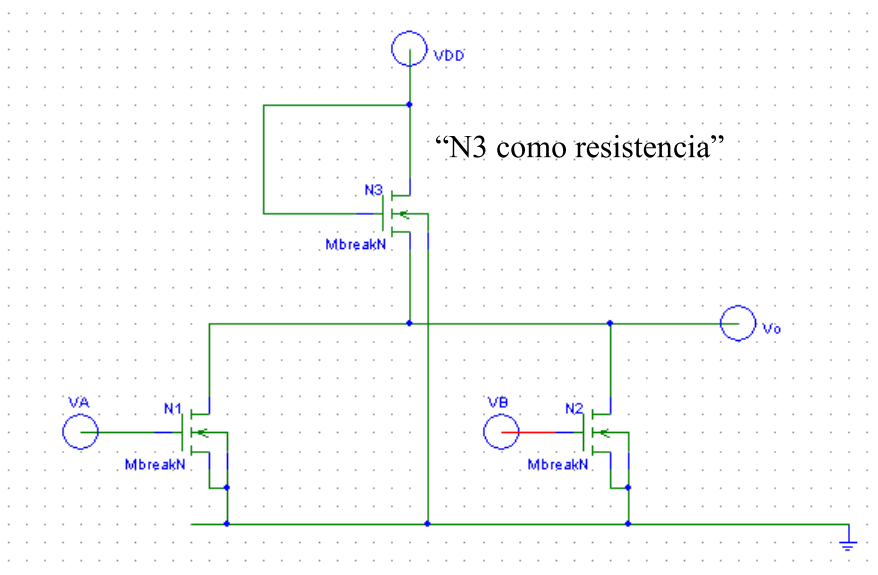


Tabla de verdad:

V_A	V_B	N1	N2	V_0	
L	L	OFF	OFF	H	(1)
L	H	OFF	ON	L	(2)
H	L	ON	OFF	L	(2)
H	H	ON	ON	L	(3)

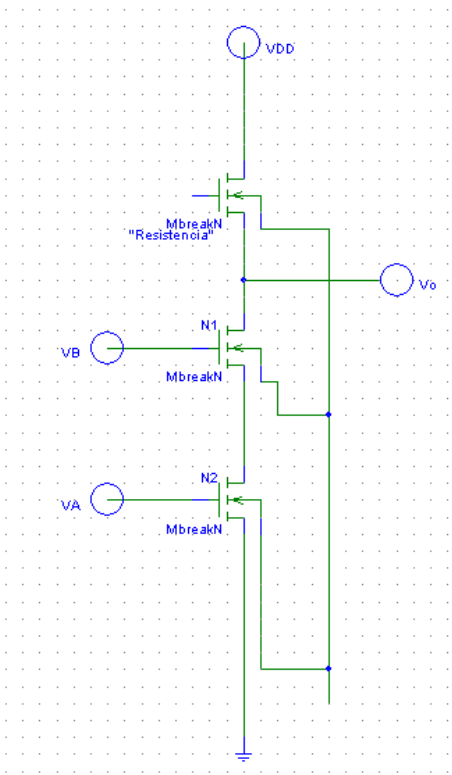
(1) Al estar N1 y N2 inactivos no pasa intensidad desde la fuente hasta masa, por lo que la salida V_0 es alta, sale por ella la intensidad que pasa por el transistor N3 que funciona como una resistencia.

(2) Al estar activo el transistor N1 o/y N2 la intensidad pasa por el mismo hasta llegar a masa

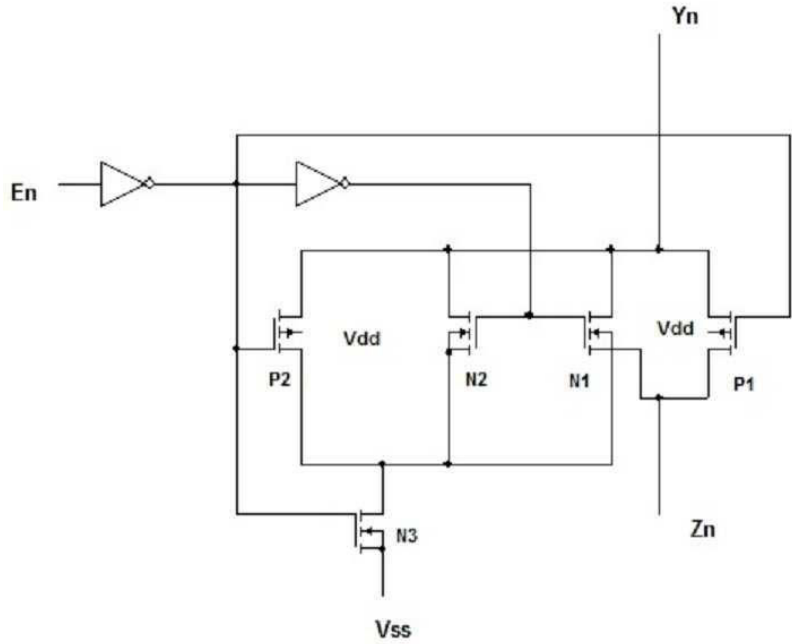
CMOS Puerta NAND

V_A	V_B	N1	N2	V_0
L	L	OFF	OFF	H
L	H	OFF	ON	H
H	L	ON	OFF	H
H	H	ON	ON	L

“Hasta que N1 y N2 no estén funcionando la corriente no pasara hasta masa”



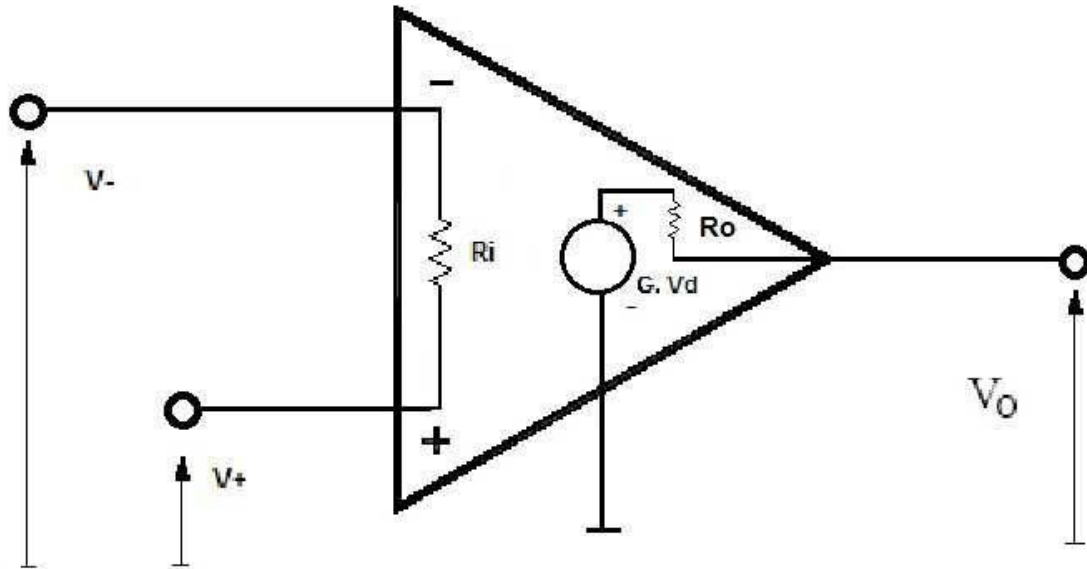
CMOS SALIDA TRIESTADO



En	Yn	Zn
L	L	ALTA Z
L	H	ALTA Z
H	L	L
H	H	H

AMPLIFICADORES OPERACIONALES

AMPLIFICADOR OPERACIONAL IDEAL



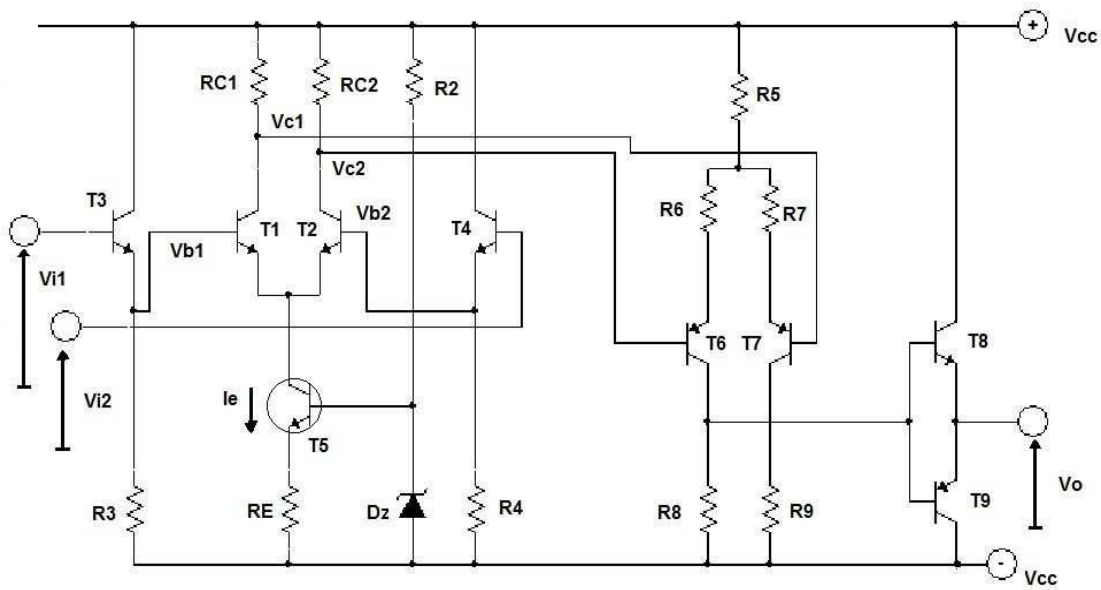
CARACTERÍSTICAS (IDEALES):

- 1.- Resistencia de entrada infinita ($R_i \rightarrow \infty$).
- 2.- Resistencia de salida nula ($R_o \rightarrow 0$).
- 3.- Ganancia en lazo abierto infinita ($G \rightarrow \infty$).
- 4.- Ancho de banda infinito ($W \rightarrow \infty$).
- 5.- Tensión de salida nula para tensión diferencial nula ($V_o = 0$, si $V^+ = V^-$).
- 6.- Función de transferencia lineal y vertical.
- 7.- Masa virtual en terminales de entrada.

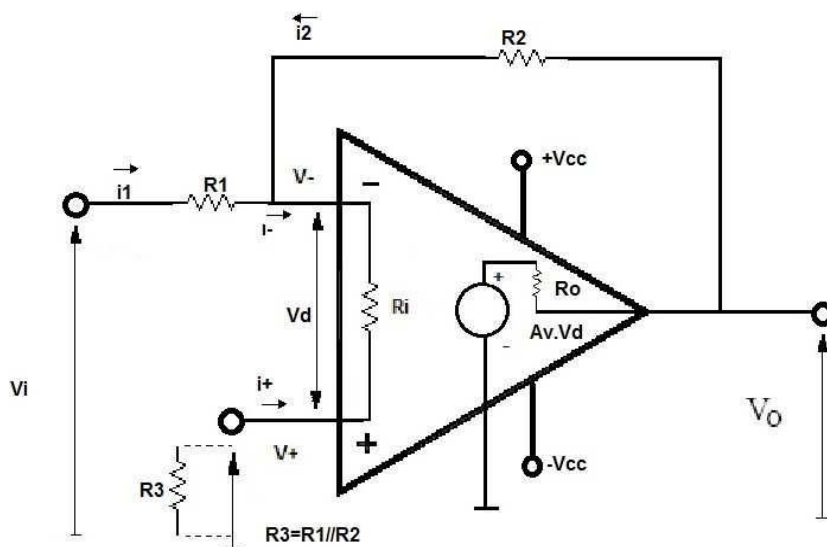
CARACTERÍSTICAS (REALES):

- 1.- Ganancia de tensión en lazo abierto muy alta: 1000 a 1000000.
- 2.- Gran ancho de banda, desde la amplificación en corriente continua hasta varios cientos de MHz.
- 3.- Resistencia de entrada muy elevada, superior a 1Mohm.
- 4.- Resistencia de salida muy baja, del orden de unos pocos ohmios.
- 5.- Ganancia en modo común distinta de cero, pero tiende a ser nula.

CIRCUITO AMPLIFICADOR OPERACIONAL



AMPLIFICADOR INVERSOR



$$\begin{aligned} i_1 &= i_2; \\ V_d &= 0; \\ V^+ &= V^-; \\ V_o &= K \cdot V_i; \end{aligned}$$

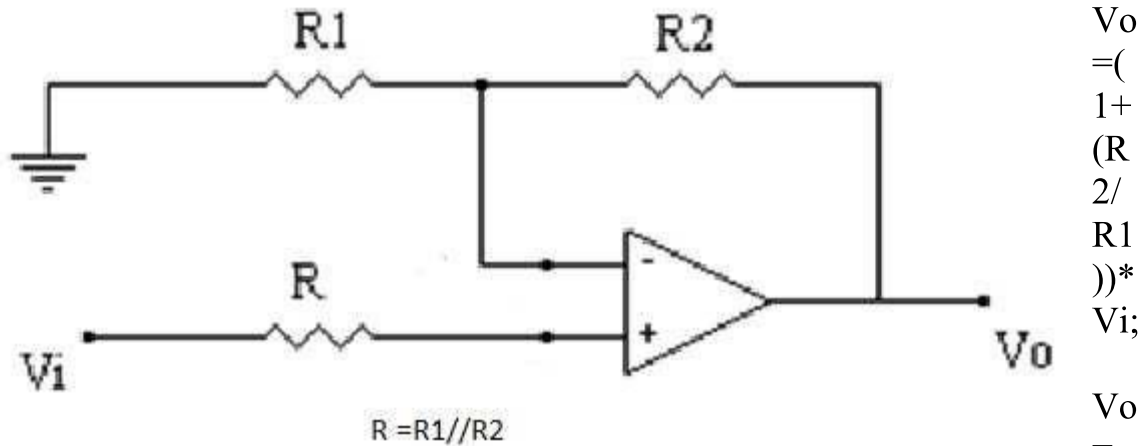
$$V_o = -\frac{R_2}{R_1} \cdot V_i$$

Además de como amplificador inversor también se puede emplear como:

-Circuito multiplicador $C=A \cdot B$; siendo $C=V_o$, $A=K=-\frac{R_2}{R_1}$, $B=V_i$

-Circuito divisor $C=A \div B$; siendo $C=V_o$, $A=V_i$, $B=1 \div K = 1 \div \left(-\frac{R_2}{R_1}\right)$, $R_2=1$

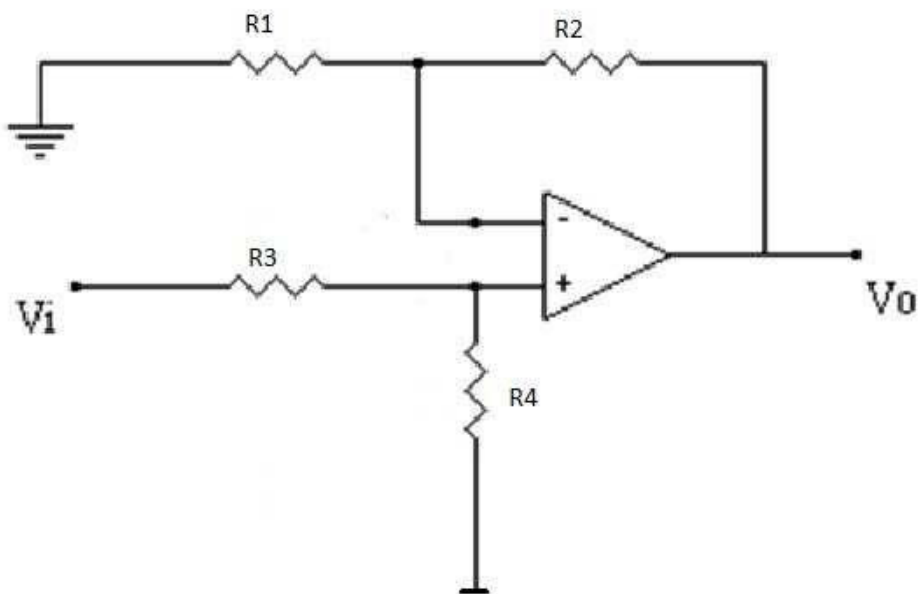
AMPLIFICADOR NO INVERSOR



$$V_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_i;$$
$$V_o = K V_i$$

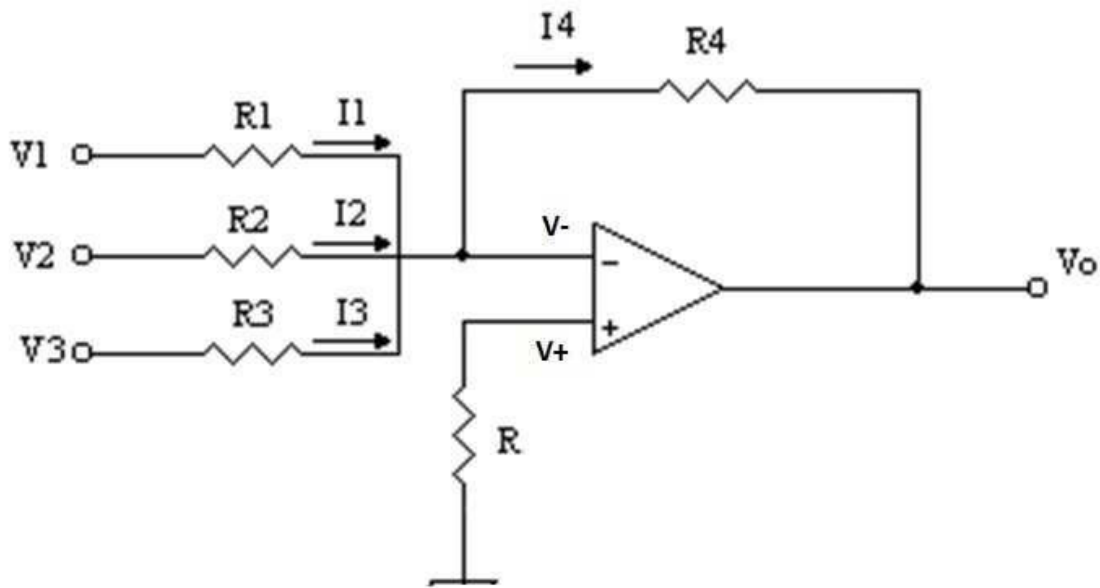
$$V_i; \quad K = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right);$$

AMPLIFICADOR NO INVERSOR CON DIVISOR EN LA ENTRADA



$$V_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4}\right) V_i;$$

SUMADOR INVERSOR

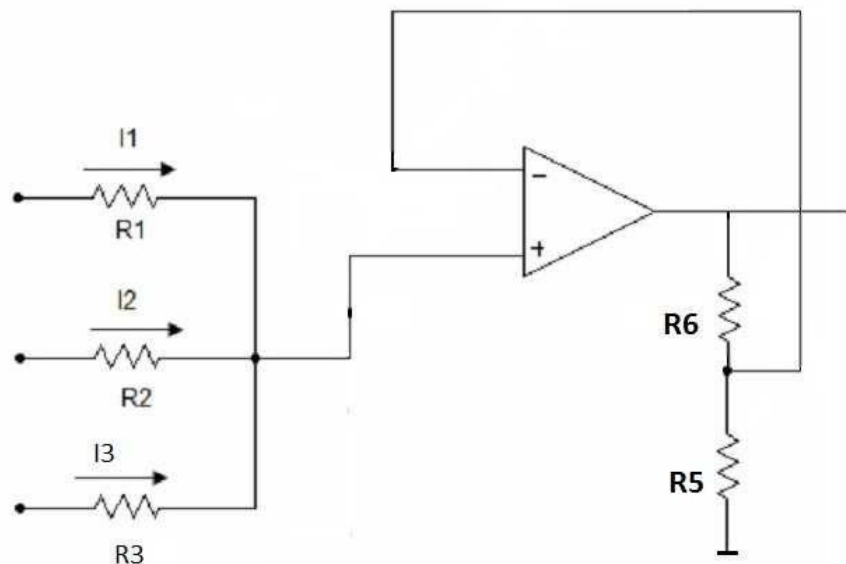


$$I_1 = V_1/R_1 ; I_2 = V_2/R_2 ; I_3 = V_3/R_4 ; I_4 = -V_4/R_4; \quad I_4 = I_1 + I_2 + I_3;$$

Haciendo $R_1 = R_2 = R_3 = R'$

$$V_o = -(R_4/R') \cdot (V_1 + V_2 + V_3) \Rightarrow V_o = K (V_1 + V_2 + V_3)$$

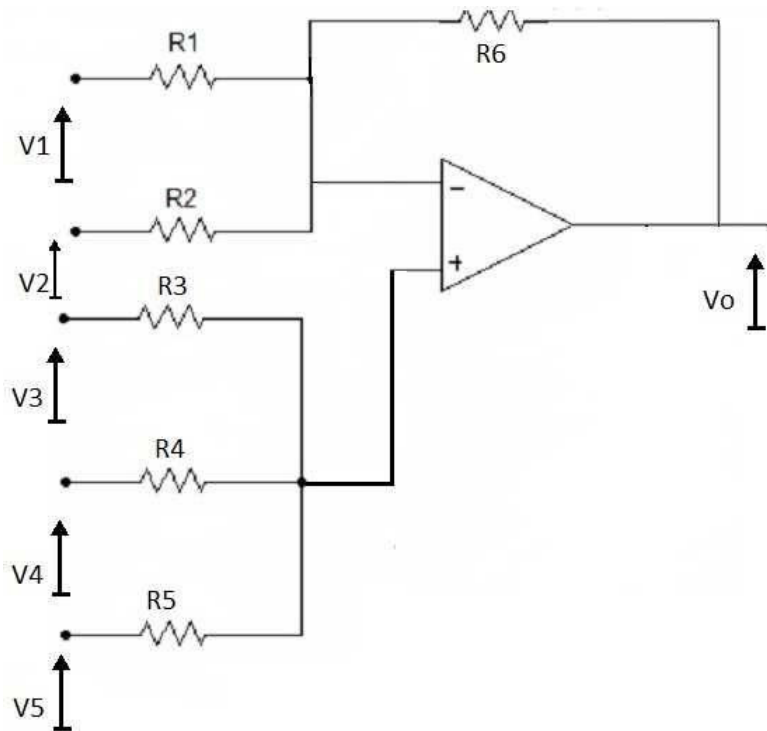
SUMADOR NO INVERSOR



Haciendo $R_1 = R_2 = R_3 \Rightarrow R_t = R/3$

$$V_o = R_t (1 + (R_6/R_5)) \cdot ((V_1/R_1) + (V_2/R_2) + (V_3/R_3))$$

CIRCUITO SUMADOR RESTADOR

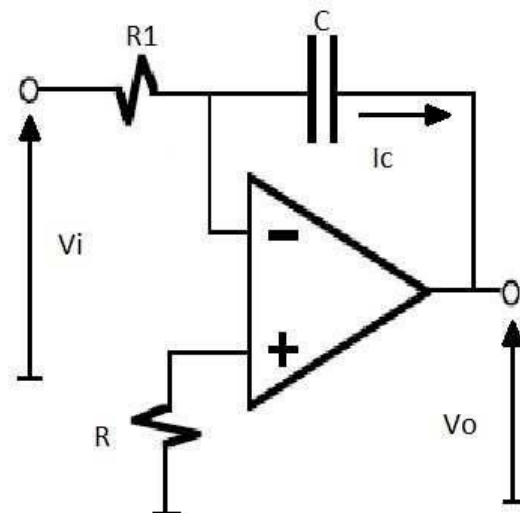


Hacemos $(1/R1) + (1/R2) + (1/R3) = (1/R_{t1})$;

$(1/R4) + (1/R5) = (1/R_{t2})$;

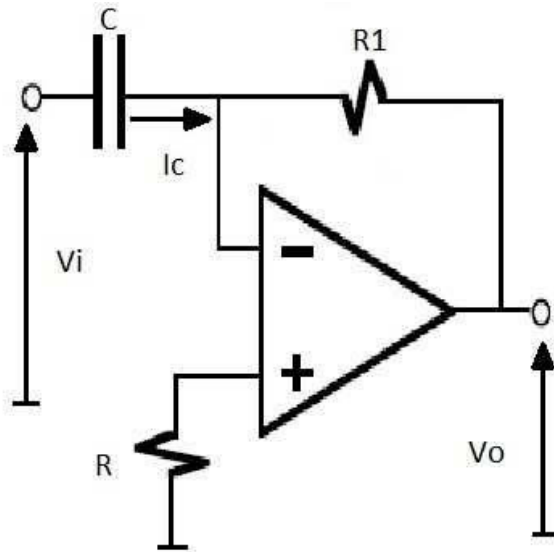
$V_o = R6 \left((R_{t2}/R_{t1} * R3) * V3 + (R_{t2}/R_{t1} * R4) * V4 + (R_{t2}/R_{t1} * R5) * V5 - (V1/R1) - (V2/R2) \right)$

INTEGRADOR



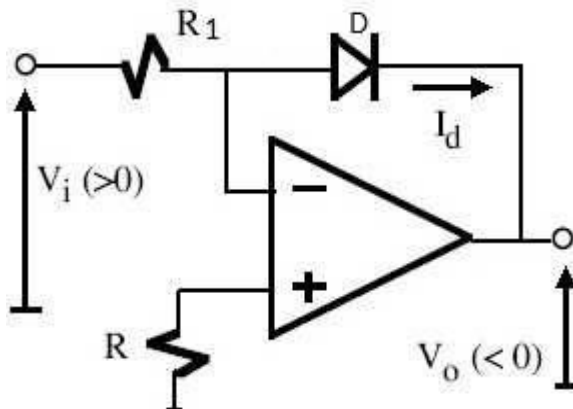
$$V_o = -\frac{1}{RC} \int V_i dt$$

DIFERENCIADOR



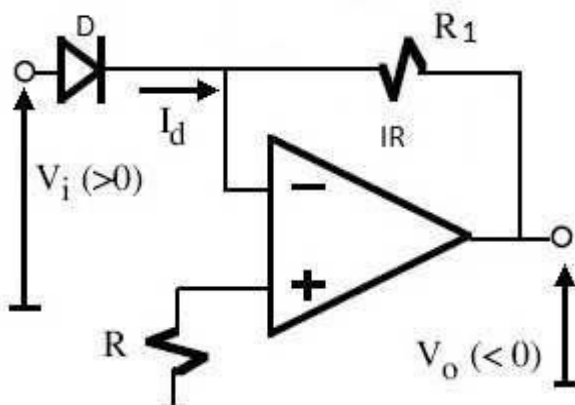
$$V_o = -R_1 C \frac{dV_i}{dt}$$

LOGARITMICO



$$V_o = -V_t \ln (v_i/R_1)$$

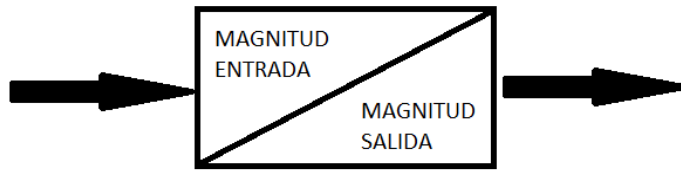
EXPONENCIAL



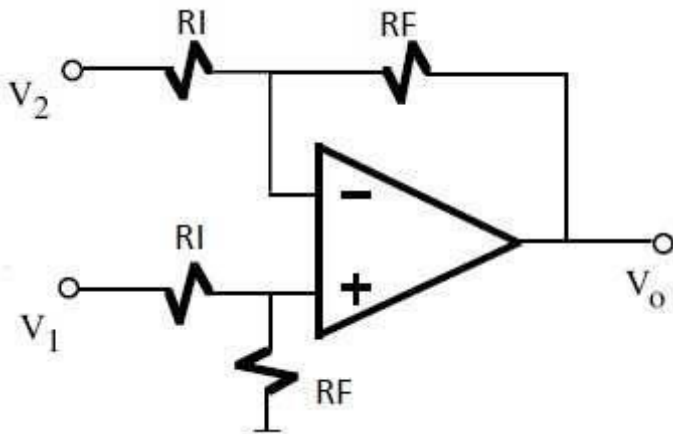
$$V_o = -I_R R_1; I_R = I_D;$$

$$V_o = K * e^{V_i/V_t};$$

CONVERTIDORES DE MAGNITUD

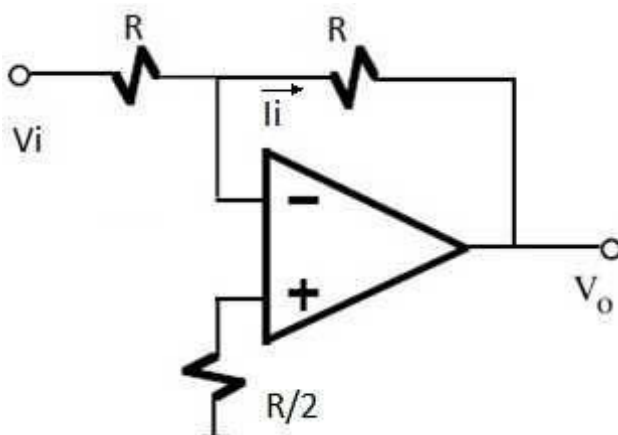


- CONVERTIDOR VOLTAJE A VOLTAJE



$$V_o = (R_F/R_I) * (V_1 - V_2);$$

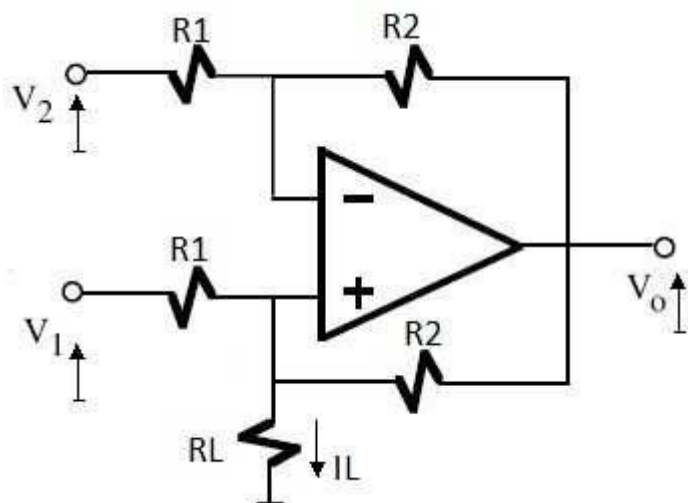
- CONVERTIDOR INTENSIDAD A VOLTAJE (SIMPLE)



$$V_i = I_i * R;$$

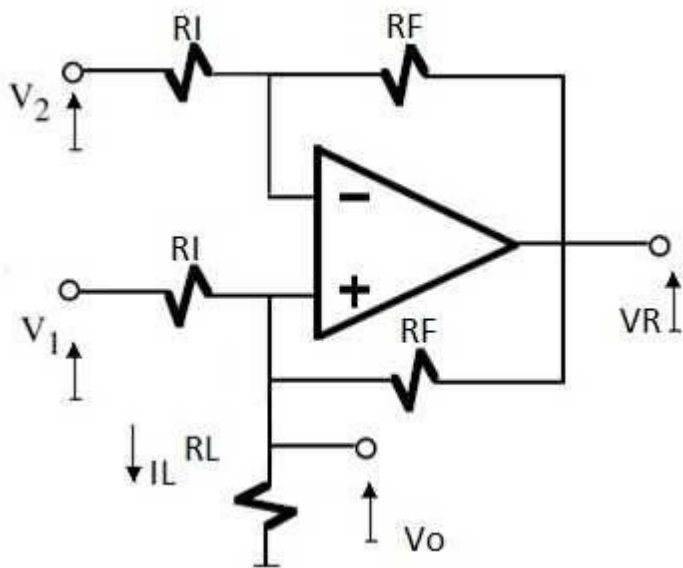
$$V_o = -R * I_i;$$

-CONVERTIDOR VOLTAJE A INTENSIDAD



$$I_L = (V_1 - V_2) / R_1;$$

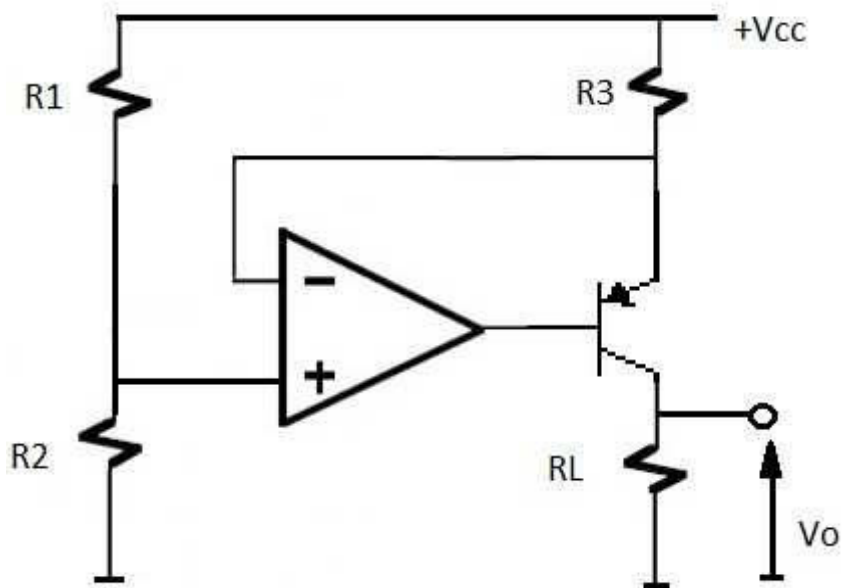
- CONVERTIDOR RESISTENCIA A VOLTAJE



$$I_L = (V_1 - V_2) / R_I;$$

$$V_o = (R_L / R_I) * (V_1 - V_2);$$

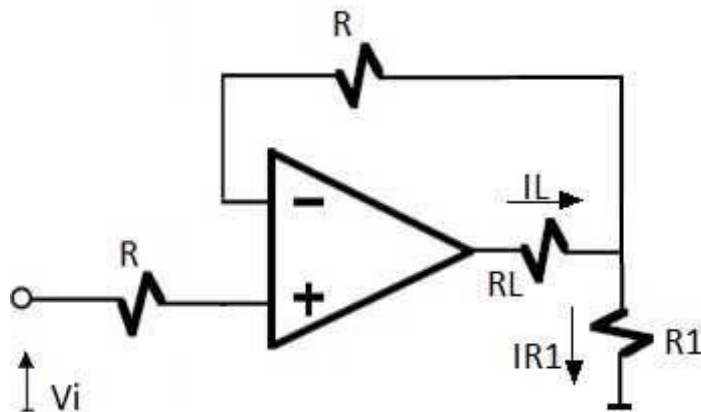
-CONVERTIDOR RESISTENCIA A VOLTAJE CON TRANSISTOR



$$I_L = (V_{cc} \cdot R_1) / ((R_1 + R_2) \cdot R_3);$$

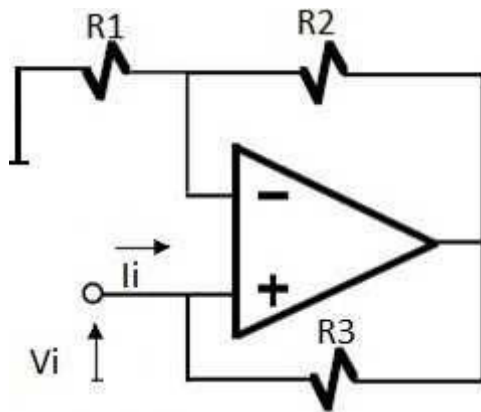
$$V_o = I_L \cdot R_L;$$

-CONVERTIDOR VOLTAJE A INTENSIDAD (SIMPLE)



$$I_L = V_i / R_i;$$

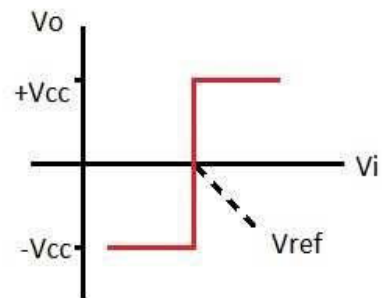
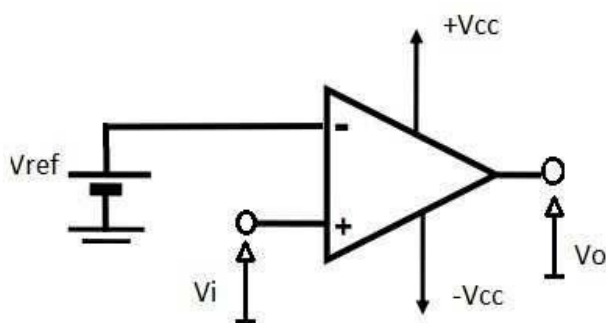
-CIRCUITO DE IMPEDANCIA NEGATIVA



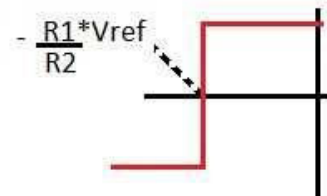
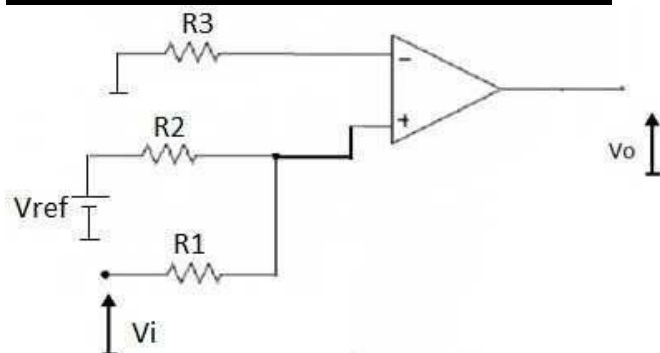
$$V_o = \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1} \right) V_i;$$

$$R_i = \frac{R_1 \cdot R_3}{R_2};$$

COMPARADORES

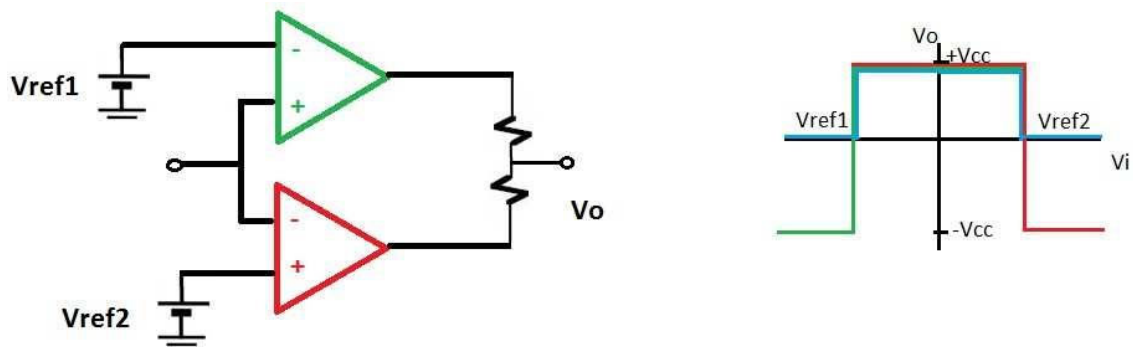


MODIFICADORES DE LA Vref

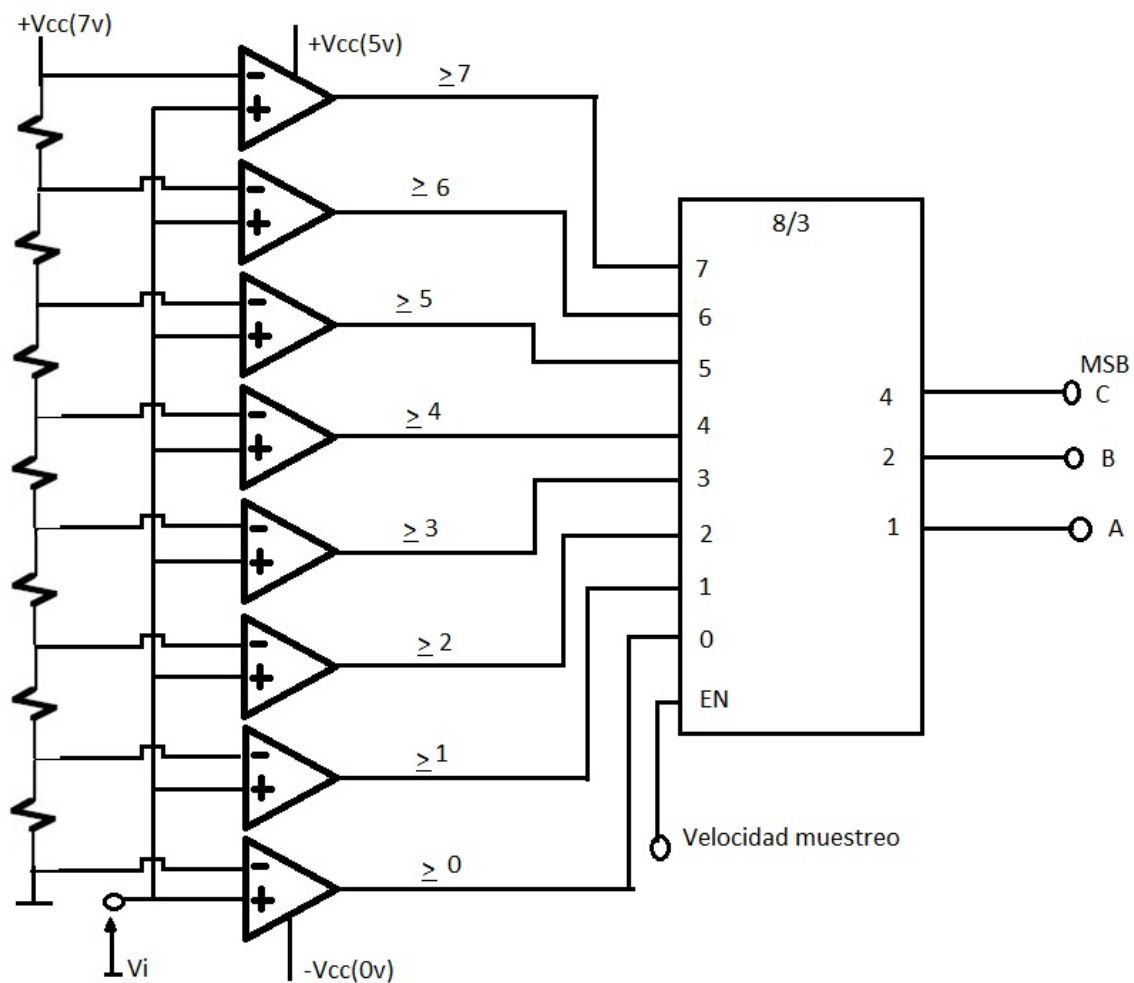


$$V_i = -\left(\frac{R_1}{R_2} \right) V_{ref};$$

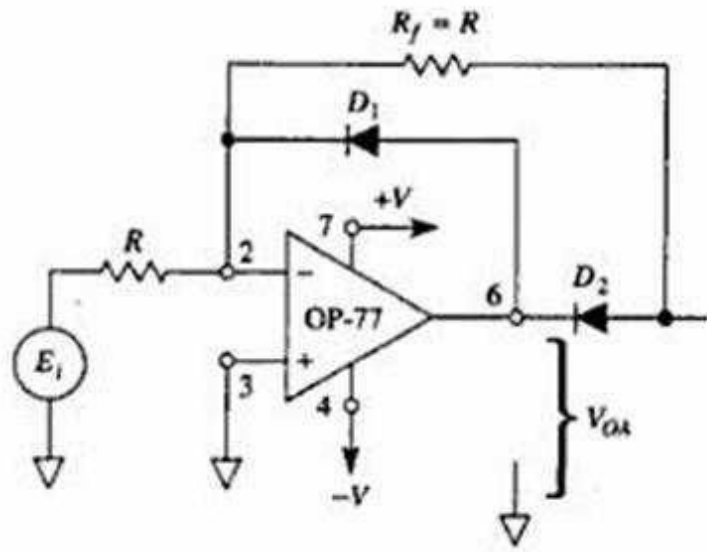
COMPARADOR DE VENTANA



CONVERTIDOR ANALOGICO/ DIGITAL



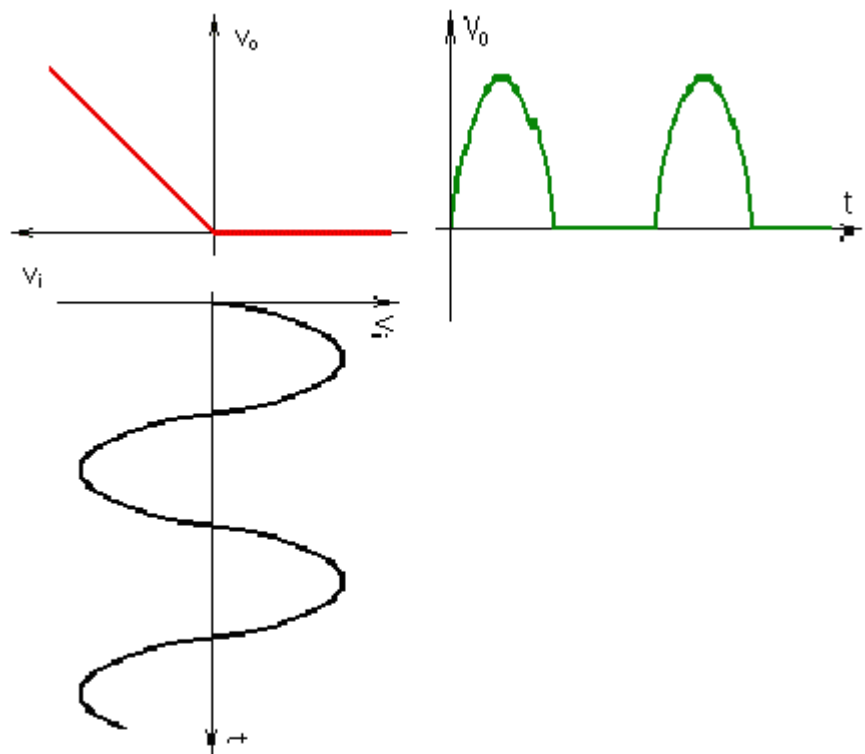
RECTIFICADOR DE PRECISION DE MEDIA ONDA



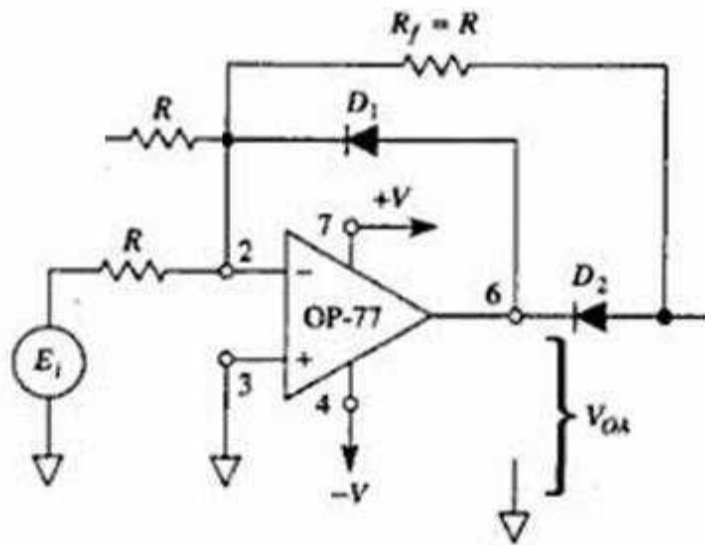
$$\frac{V_i - V^-}{R_1} + \frac{V_o - V^-}{R_2}$$

$$\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_o}{R_2} = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \cdot V^-$$

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

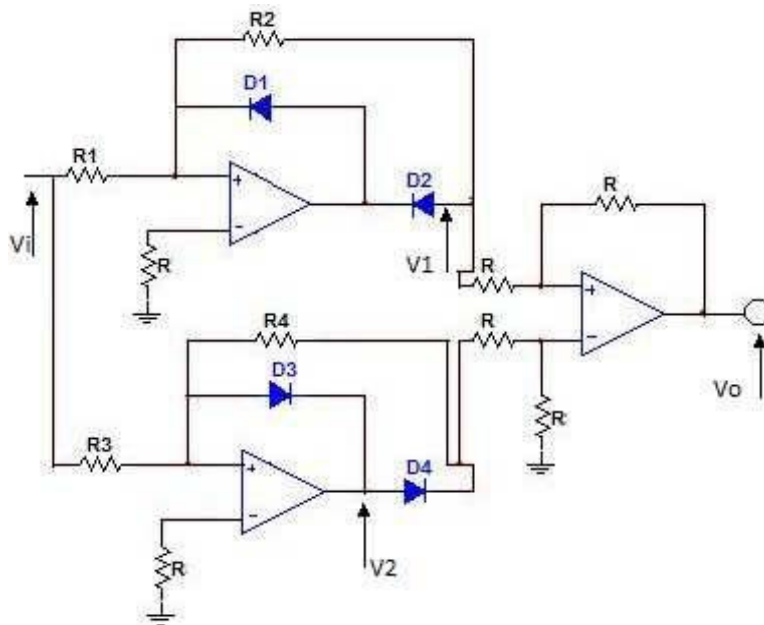


DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL DE VO=F(VI)

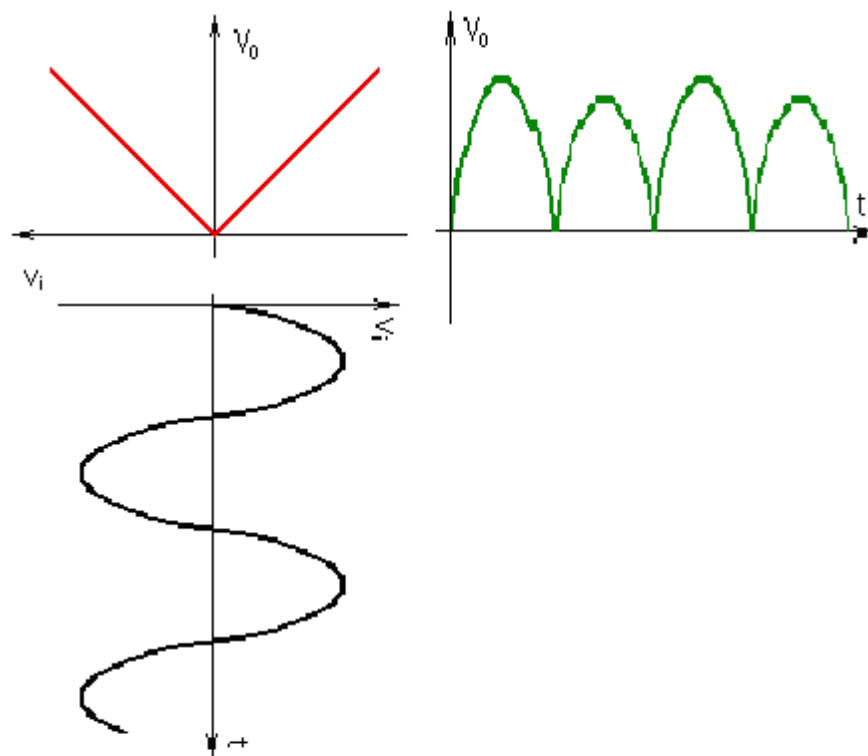


$$V_0 = -\frac{R_2}{R_1} \cdot V_i - \frac{R_2}{R_3} V_{REF}$$

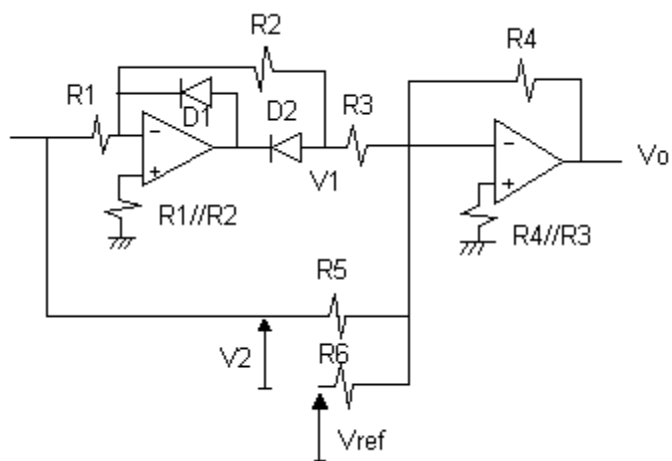
RECTIFICADOR DE PRECISION DE DOBLE ONDA



Cambia la característica de transferencia del 4º al 1er cuadrante



RECTIFICADOR ONDA COMPLETA TIPO II



CONVERTIDOR ANALÓGICO-DIGITAL

$$V_o = -\left(\frac{R_F}{R_A}V_A + \frac{R_F}{R_B}V_B + \frac{R_F}{R_C}V_C\right)$$

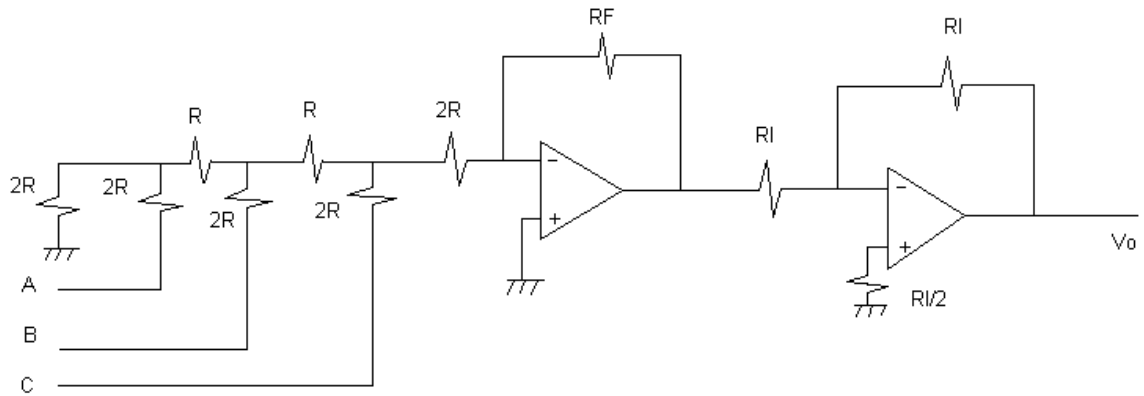
PARA TTL, $V_{\text{digital}}=5\text{V}$

$$\frac{R_F}{R_A} = \frac{1}{5}; \frac{R_F}{R_B} = \frac{2}{5}; \frac{R_F}{R_C} = \frac{4}{5};$$

RED DE RESISTENCIAS



RED DE 3 ENTRADAS

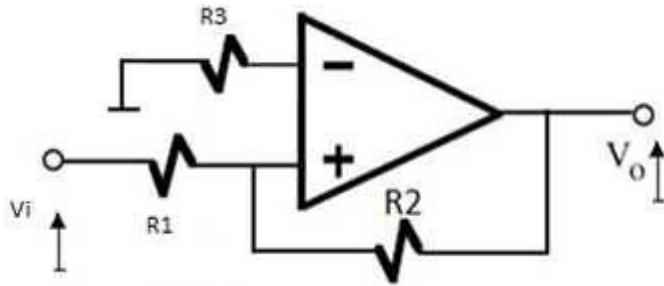


$$V_A \rightarrow \frac{I}{8} 2R = \frac{I \cdot R}{4}$$

$$V_B \rightarrow \frac{I}{8} 2R = \frac{I \cdot R}{2}$$

$$V_C \rightarrow \frac{I}{2} 2R = \frac{I \cdot R}{1}$$

DISPARADOR DE SCHMITT



Realimentación positiva

$$V_- : (0 - V_-) / R_3 = 0$$

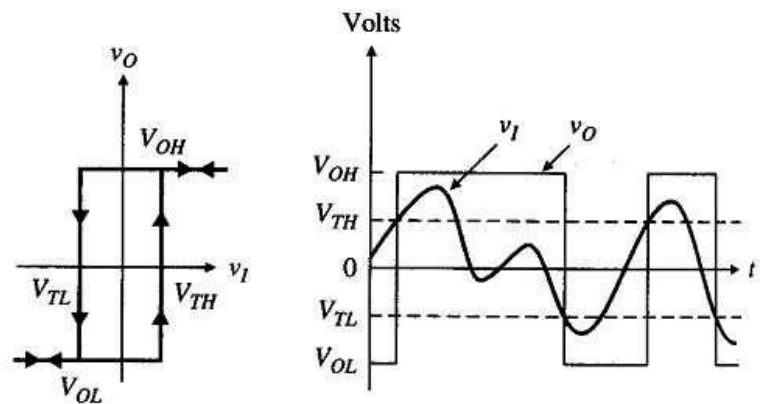
$$V_+ : (V_i - V_+) / R_1 + (V_o - V_+) / R_2 = 0$$

$$V_{TH} = -\frac{R_1}{R_2} V_{OL}$$

$$V_{TL} = -\frac{R_1}{R_2} V_{OH}$$

$$V_i / R_1 = -(V_o / R_2)$$

$$V_i = (-R_1 / R_2) V_o$$

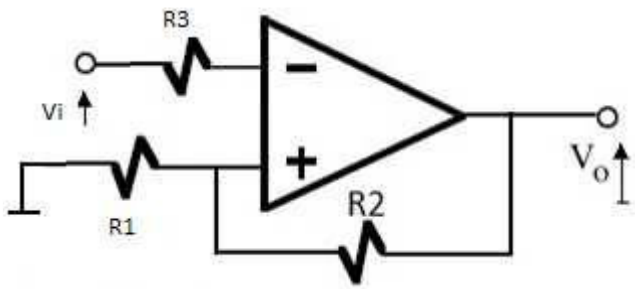


Un trigger Schmitt cambia su estado de salida cuando la tensión en su entrada sobrepasa un determinado nivel; la salida no vuelve a cambiar cuando la entrada baja de ese voltaje, sino que el nivel de tensión para el cambio es otro distinto, más bajo que el primero. A este efecto se conoce como ciclo de histéresis.

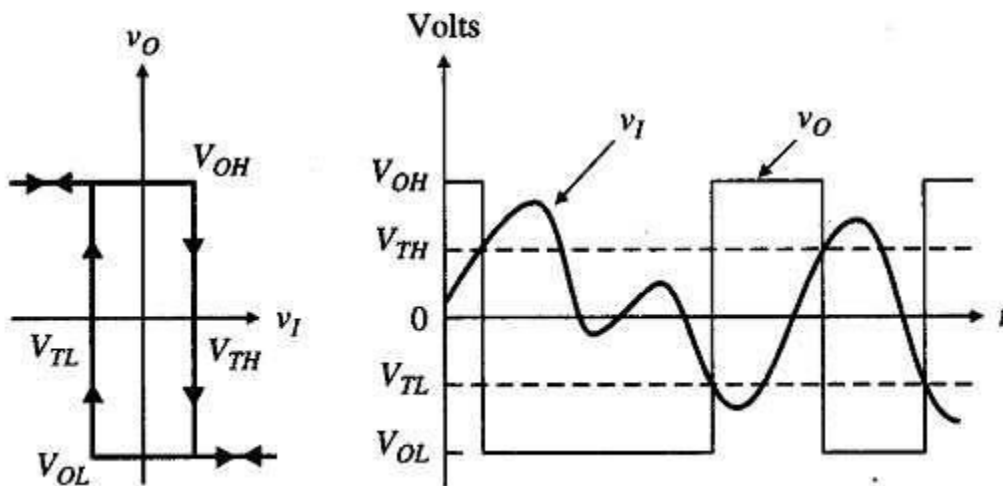
Ésta es la principal diferencia con un comparador normal, que es un simple amplificador operacional sin realimentación, y que su salida depende únicamente de la entrada mayor.

El trigger Schmitt usa la histéresis para prevenir el ruido que podría solaparse a la señal original y que causaría falsos cambios de estado si los niveles de referencia y entrada son parecidos.

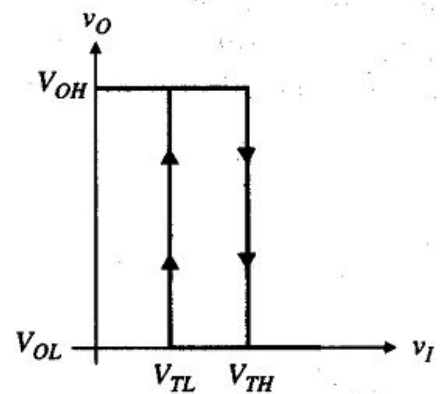
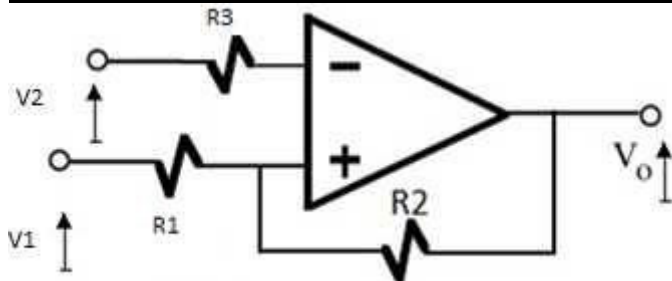
DISPARADOR DE SCHMITT TIPO 2



$$V_{TH} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{OH} \quad V_{TL} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{OL}$$

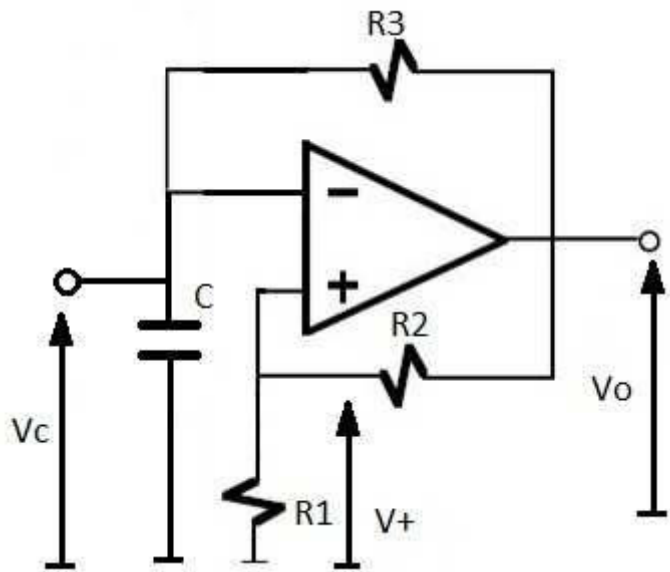


DISPARADOR DE SCHMITT TIPO 3



OSCILADOR DE RELAJACION CON

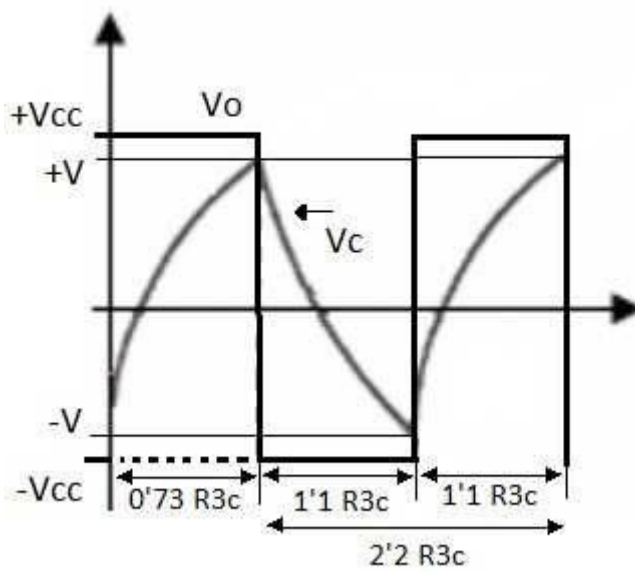
OPERACIONALES



$$V_o = \frac{(R_1 + R_2)}{R_1} V^+$$

$$V^+ = \frac{R_1}{(R_1 + R_2)} V_o$$

$$V^+ = V_o / 2$$



$$T = 2.2 R_3 c;$$

$$f = 1/T = 1/(2.2 R_3 c);$$