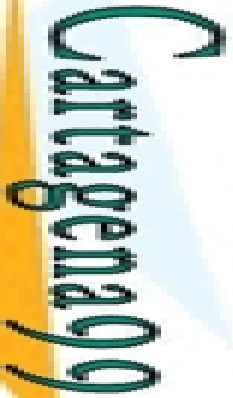


MPLIFICADORES OPERACIONALES

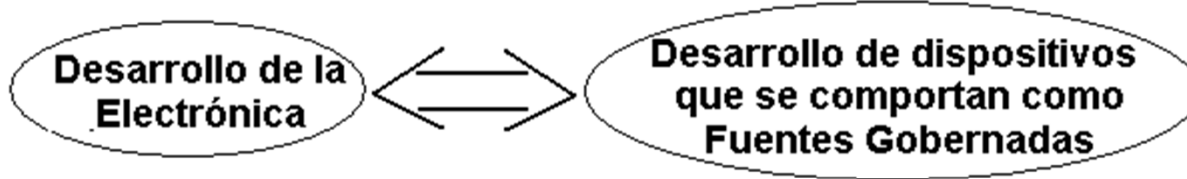
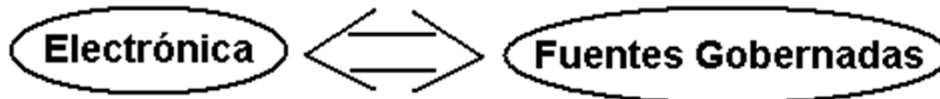
- El amplificador operacional ideal
- Análisis simplificado de circuitos con AO
- Aplicaciones lineales del AO
- Integradores y diferenciadores
- Filtros activos: análisis de la función de transferencia

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
-- --
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



PLIFICADORES OPERACIONALES...

ón a los dispositivos electrónicos



Desarrollo de la
Electrónica

Electrónica de
Sólido

Dispositivos
Semiconductores

Válvula de Vacío 1906
Primer Transistor 1948
Primer CI 1958
Primer μ P 1970

...

Optoelectrónica

...

**Dispositivos de
Efectos Cuánticos**

1956 Bardeen, Brattain y Shokley-- Transistor

1964 B́asov, Prórorov y Townes -- Electrónica Cuántica

1973 Esaki -- Dispositivos de Efecto T́nel en Semiconductores

2000 Kilby -- Primer Circuito Integrado
 Alferov -- Laser de Semiconductor

2009 Boyle y Smith -- Dispositivos Sensores de Imagen

2014 Akasaki, Amano y Nakamura -- LED Azul

**↑
Premios Nobel
de Física**

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

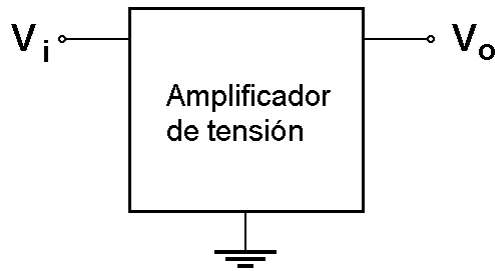
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

AMPLIFICADORES OPERACIONALES

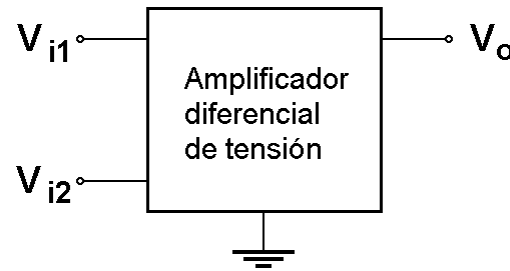
or: circuito o dispositivo que proporciona a la salida del mismo una señal al a la de su entrada y de mayor amplitud.

or diferencial: circuito o dispositivo que proporciona a la salida del mismo proporcional a la diferencia de señales entre sus entradas.

amente, si las señales a amplificar son tensiones,



$$v_o = A_{vo} v_i$$



$$v_o = A_{vo} (v_{i1} - v_{i2})$$

nte no mostrar de forma explícita el punto de referencia de las tensiones del r, cuando todas ellas están referidas al mismo punto.

al, los circuitos o dispositivos amplificadores tienen numerosas aplicaciones iendo necesario en algunos casos elementos transductores que transformen bil a amplificar en señal eléctrica.

electrocardiógrafos, sistemas de seguimiento sísmico, reproductores de

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

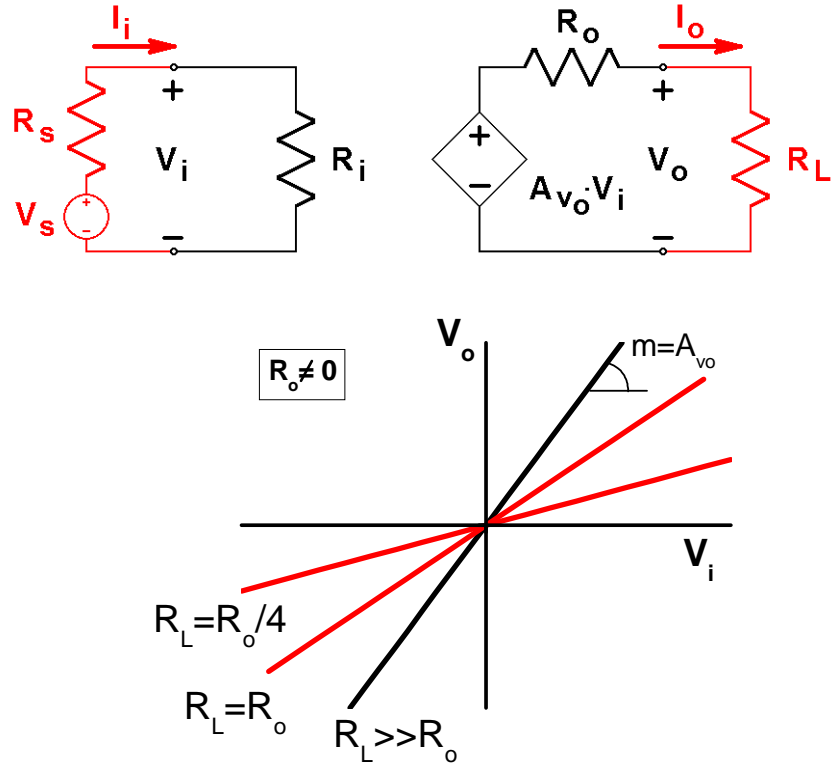
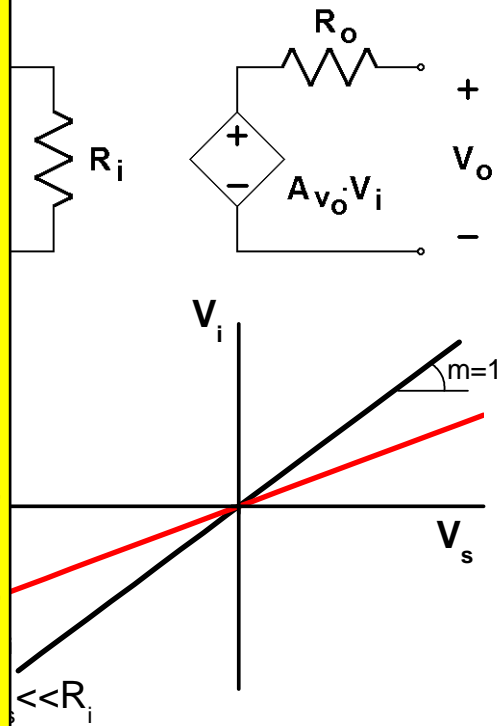
AMPLIFICADORES OPERACIONALES

Modelo ideal de un amplificador de tensión:

R_i, R_o : resistencias de entrada y salida del amplificador

A_{vo} : ganancia de tensión en circuito abierto; supondremos A_{vo} real, con $A_{vo} > 0$

Un buen amplificador de tensión debe tener $R_i \rightarrow \infty$ y $R_o = 0$ (así como ganancia adecuada) para tener un óptimo aprovechamiento de las señales de entrada y salida



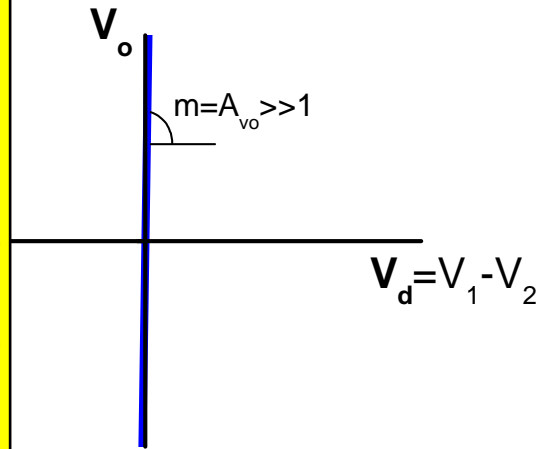
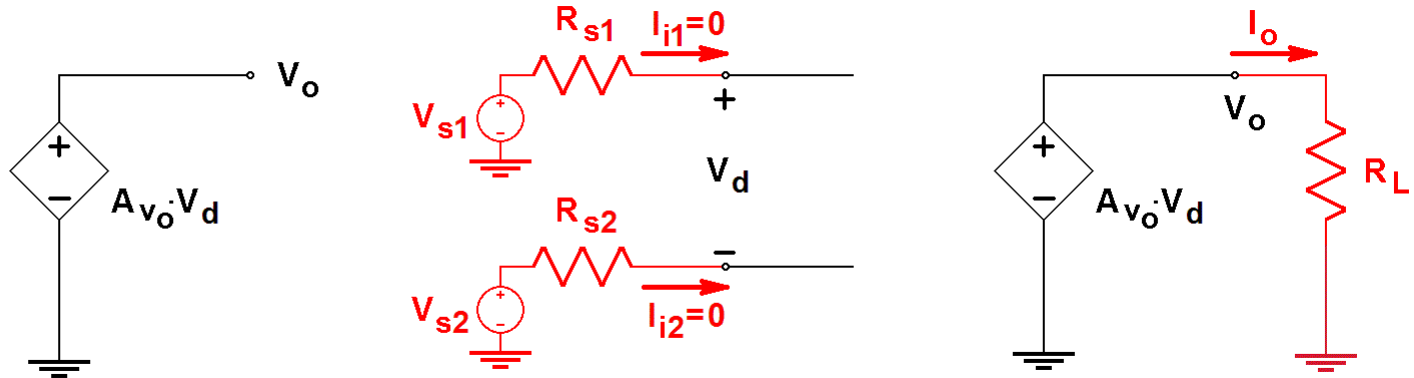
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

AMPLIFICADORES OPERACIONALES

Amplificador operacional ideal es un amplificador diferencial de tensión tal que:

$$R_i \rightarrow \infty, R_o = 0 \text{ y } A_{v_o} \gg \gg 1$$

es,



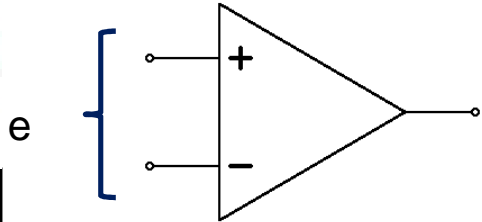
(Característica de transferencia)

- Si $A_{v_o} \equiv A_o = \text{ganancia en lazo abierto}$,
 $\Rightarrow v_o = A_o v_d = A_o (v_1 - v_2) = A_o (v_{s1} - v_{s2})$,
 pues $I_{i1} = 0, I_{i2} = 0$
- $A_o \gg \gg 1$ y v_o finita $\Rightarrow v_d \approx 0$ (ó $v_1 \approx v_2$)
(Principio de "cortocircuito virtual")
- Observación: $A_o \gg \gg 1$ puede no ser deseable

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

AMPLIFICADORES OPERACIONALES

Simbología y terminales del A.O. ideal



Terminal de salida

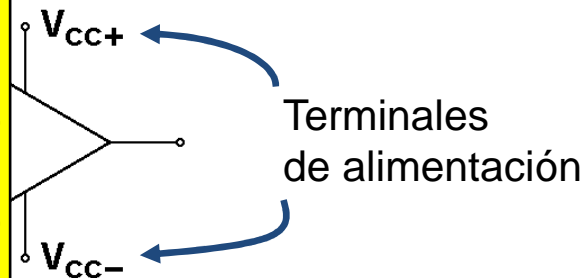
$$v_o = A_o (v_+ - v_-)$$

- Si $v_- = 0$, $sg(v_o) = sg(v_+)$
- Si $v_+ = 0$, $sg(v_o) = -sg(v_-)$

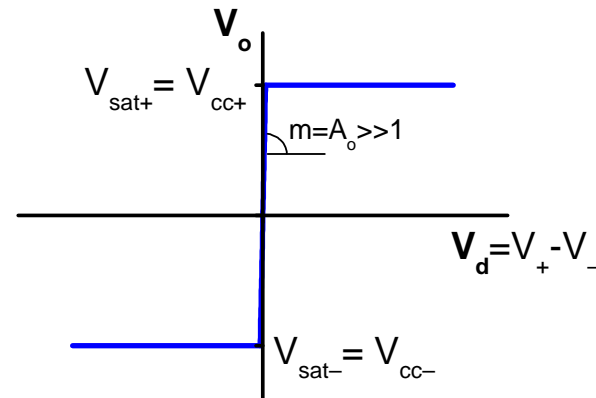
Se suele omitir el terminal de referencia de las tensiones cuando es el mismo para las entradas y para la salida.

Operación semi-ideal

Se aproxima más fielmente el comportamiento de un A.O. real, al tener en cuenta que la salida siempre está limitada. Mantiene las propiedades $R_i \rightarrow \infty$ y $R_o = 0$.



Simbología

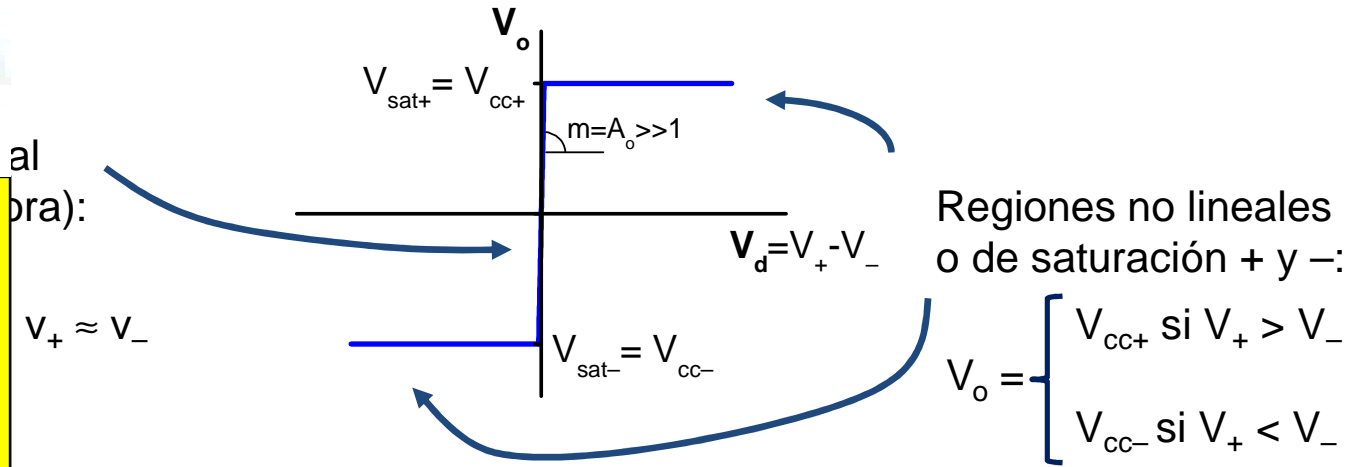


Curva característica de transferencia

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

AMPLIFICADORES OPERACIONALES

Regiones de funcionamiento del A.O. semi-ideal



En: La región de trabajo de un A.O. va a depender del circuito en el que se encuentra:

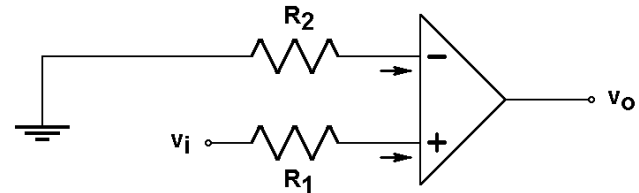
- Si el circuito "permite" al A.O. hacer próximos los valores de tensión de sus entradas, el A.O. trabajará en la región lineal
- Si no lo permite, trabajará en una de las regiones de saturación

1:

$$\begin{aligned} \Rightarrow v_+ &= v_i \\ \Rightarrow v_- &= 0 \end{aligned}$$

V_{sat+} si $v_i > 0$, V_{sat-} si $v_i < 0$ (y $v_o = 0$ si $v_i = 0$)

o que compara la tensión v_i con la tensión $V_{ref} = 0$



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

PLIFICADORES OPERACIONALES

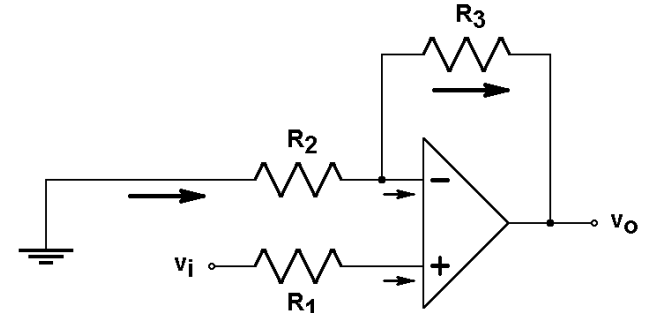
2:

$$\begin{aligned} \Rightarrow v_+ &= v_i \\ \Rightarrow i_{R2} &= i_{R3}; \quad \frac{-v_-}{R_2} = \frac{v_- - v_o}{R_3} \end{aligned}$$

está prefijada \Rightarrow el A.O. tiene libertad para hacer $v_+ \approx v_-$ adecuando las corrientes i_{R2} e i_{R3}

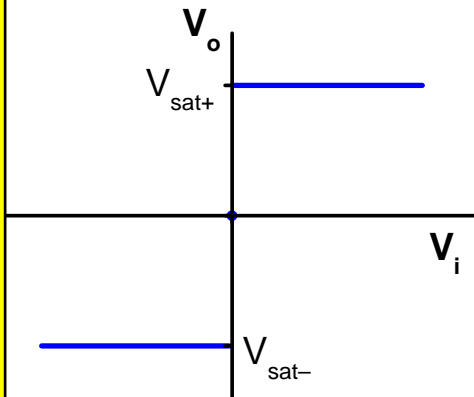
Conocer v_o , podríamos utilizar además $v_o = A_o (v_+ - v_-) = A_o (v_i - v_-)$
habitualmente se desconoce el valor de A_o , se suele aproximar $v_+ = v_-$:

$$\frac{v_i - v_o}{R_3} \Rightarrow v_o = \left(1 + \frac{R_3}{R_2}\right) v_i \quad \text{Amplificador de tensión de ganancia: } A_v = \left(1 + \frac{R_3}{R_2}\right)$$

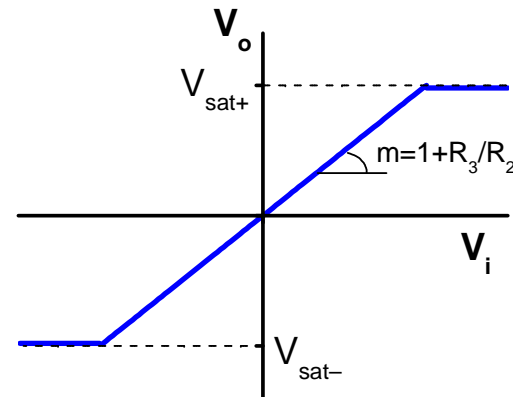


Características de transferencia de estos circuitos:

1: circuito comparador



♣ Ejemplo 2: circuito amplificador no inversor



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

PLIFICADORES OPERACIONALES

to de realimentación

olos anteriores corresponden a dos configuraciones de circuitos con A.O. que como:

o abierto: no hay conexiones entre las entradas del A.O. y su salida

alimentación negativa: hay conexión entre la entrada inversora del A.O. y su

de permitir al A.O. equilibrar las tensiones de sus entradas, la realimentación realiza otra función: eliminar variaciones entre las tensiones de entrada debidas eléctrico que pueda existir en un circuito real:

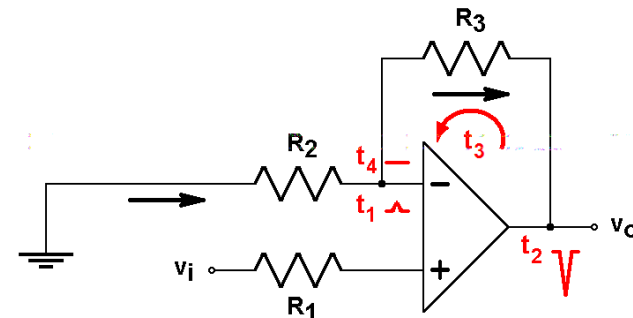
$$v_-(t_0) = \left(1 + \frac{R_3}{R_2}\right) v_i$$

aparición de ruido eléctrico en v_-

$$v_-(t_2) = v_-(t_0) - A_0 \cdot v_{\text{ruido}}$$

propagación de “ $-A_0 \cdot v_{\text{ruido}}$ ”

extinción del origen del ruido, $v_- = v_+$



tercer tipo de circuitos con A.O., en los que hay conexión entre la entrada no su salida: circuitos con realimentación positiva. Es fácil comprobar que en variaciones entre las tensiones de entrada se refuerzan a través del lazo de ón, provocando el paso del A.O. de la región lineal a una de las regiones de

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

AMPLIFICADORES OPERACIONALES

Definición:

El A.O. es un amplificador diferencial de resistencia de entrada infinita, resistencia de salida nula y ganancia de tensión muy elevada.

Debido a su elevada resistencia de entrada, las corrientes en sus terminales de entrada son nulas: $i_+ = 0$, $i_- = 0$ (¡pero puede suministrar corriente a la salida!)

El A.O. presenta dos regiones de funcionamiento: lineal y de saturación

El funcionamiento en la región lineal sólo es posible en circuitos con realimentación negativa. En esta región se verifica que $v_o = A_0 v_d$ y que $v_+ \approx v_-$

Como generalmente no se conoce A_0 , por lo que se hace uso de la aproximación $v_+ = v_-$ para poder conocer la tensión de salida del circuito cuando el A.O. trabaja en la región lineal

El funcionamiento en la región de saturación tiene lugar en configuración de lazo abierto o con realimentación positiva. También con realimentación negativa, cuando se intenta "forzar" obtener del A.O. valores de tensión más allá de los de alimentación

Para conocer la tensión de la salida en circuitos en lazo abierto (V_{sat+} ó V_{sat-}), basta evaluar el signo de la tensión $v_d = v_+ - v_-$

Para conocer la tensión de la salida en circuitos con realimentación positiva (V_{sat+} ó V_{sat-}), puede no ser suficiente evaluar el signo de la diferencia $v_+ - v_-$. (En el estudio de esta configuración no se abordará este curso)

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
--
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

AMPLIFICADORES OPERACIONALES

Aplicaciones lineales del A.O.

para permitir amplificar señales de tensión con la ganancia deseada, hay otras aplicaciones interesantes de los circuitos con A.O. realimentados negativamente. Estas son algunas de ellas:

Amplificador de tensión (o buffer de corriente):

$$v_- = v_o$$

$$v_+ - v_- = A_0(v_i - v_o) \Rightarrow v_o = \frac{A_0 v_i}{A_0 + 1}, \quad \text{o bien: } \boxed{A_v = \frac{A_0}{A_0 + 1}}$$

Si se conoce A_0 , se puede tomar $v_+ = v_-$:

$$\boxed{A_v = 1}$$

En la expresión anterior: $\lim_{A_0 \rightarrow \infty} A_v \rightarrow 1$

$$\text{Impedancia de entrada: } \boxed{Z_i \rightarrow \infty}$$

Amplificador inversor:

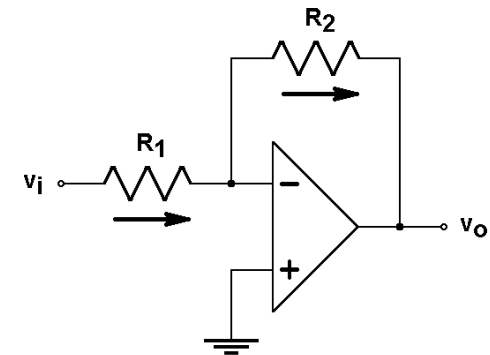
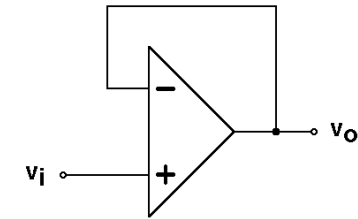
$$\frac{v_i - v_-}{R_1} = \frac{v_- - v_o}{R_2}$$

$$v_- = v_+ \Rightarrow v_o = -\frac{R_2}{R_1} v_i; \quad \boxed{A_v = -\frac{R_2}{R_1}}$$

Si se conoce A_0 puede demostrarse que

$$\boxed{A_v = -\frac{A_0 R_2}{R_1(1 + A_0) + R_2}}$$

$$\text{Impedancia de entrada: } \boxed{Z_i = R_1}$$



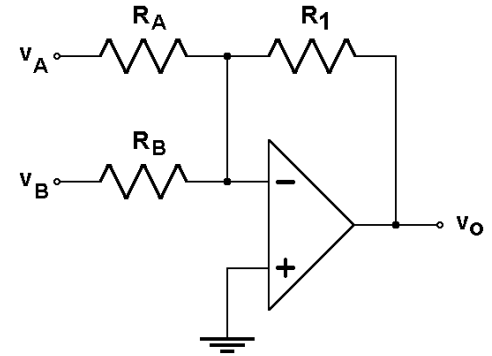
(solución exacta)

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70
 CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

PLIFICADORES OPERACIONALES

Aplicaciones lineales del A.O.

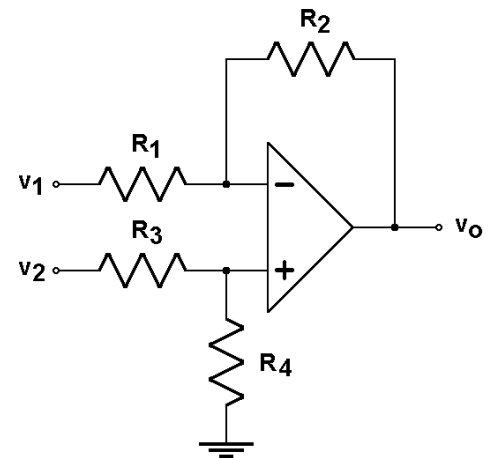
En estos circuitos, se hará uso del principio de cortocircuito virtual, para mayor



$$i_{R_A} + i_{R_B} = i_{R_1}; \frac{v_A - v_-}{R_A} + \frac{v_B - v_-}{R_B} = \frac{v_- - v_o}{R_1};$$

$$v_- \left(\frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B} + \frac{1}{R_1} \right) = \frac{v_A}{R_A} + \frac{v_B}{R_B} + \frac{v_o}{R_1}$$

$$v_+ = v_- = 0 \Rightarrow v_o = -R_1 \left(\frac{v_A}{R_A} + \frac{v_B}{R_B} \right)$$



$$i_{R_1} = i_{R_2}; \frac{v_1 - v_-}{R_1} = \frac{v_- - v_o}{R_2}; v_- \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = \frac{v_1}{R_1} + \frac{v_o}{R_2}$$

$$i_{R_3} = i_{R_4}; \frac{v_2 - v_+}{R_3} = \frac{v_+}{R_4}; v_+ \left(\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \right) = \frac{v_2}{R_3}$$

$$v_+ = v_- \Rightarrow v_o = -\frac{R_2}{R_1} v_1 + \frac{R_4}{R_1} \frac{R_1 + R_2}{R_3 + R_4} v_2$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

PLIFICADORES OPERACIONALES

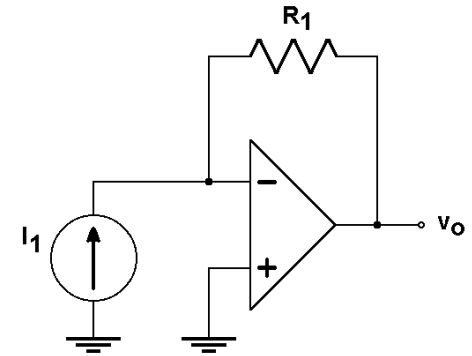
Aplicaciones lineales del A.O.

Para I-V:

$v_o = 0$

$$i_1 R_1 \Rightarrow v_o = -R_1 \cdot i_1 \quad \text{Además, } Z_i = 0$$

La resistencia R_1 , además de una resistencia, es el factor de conversión corriente-tensión, y es habitual expresarlo en V/mA.



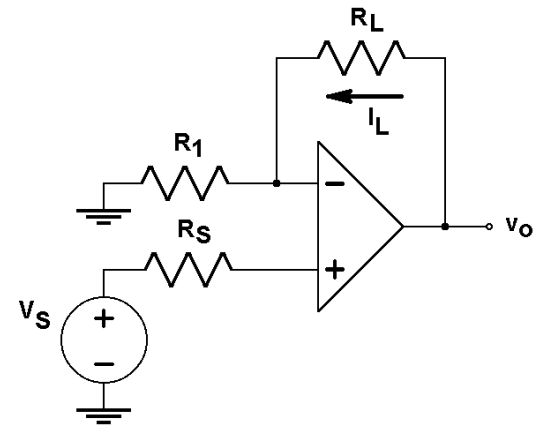
Para V-I:

$$v_+ = v_s$$

$$v_- = \frac{v_-}{R_1}$$

$$I_L = \frac{V_s}{R_1}$$

Conclusión: la corriente I_L será la misma, independientemente de cuál sea el valor asignado a la resistencia R_L .



¿Quién suministra esa corriente?: la salida del A.O. Recordar que el A.O. puede suministrar (o sumir) corriente, con independencia de que en sus entradas sea nula.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

PLIFICADORES OPERACIONALES

Aplicaciones lineales del A.O.

$$v_i = 0$$

$$-V_C = -\frac{Q_C}{C} = -\frac{\int Idt}{C} = -\frac{\int V_e / R dt}{C}$$

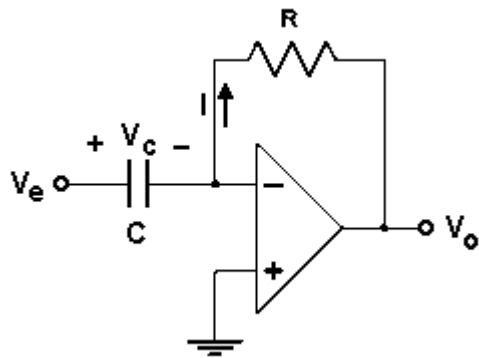
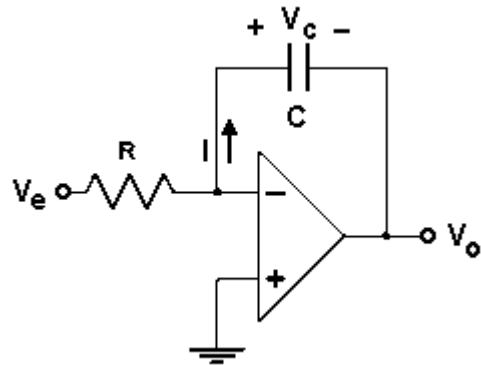
$$v_o = -\frac{1}{RC} \int V_e \cdot dt$$

Integrador:

$$v_i = 0 \quad V_C = V_e - v_-$$

$$-IR = -R \frac{dQ_C}{dt} = -R \frac{d(CV_C)}{dt} = -RC \frac{dV_C}{dt}$$

$$v_o = -RC \frac{dV_e}{dt}$$



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

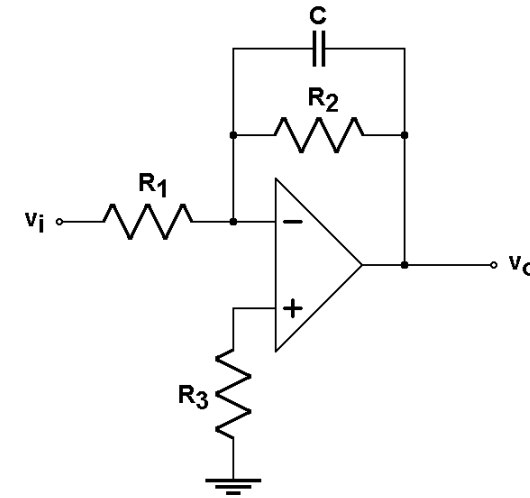
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

PLIFICADORES OPERACIONALES

Aplicaciones lineales del A.O.

v_o :

Las redes del circuito con A.O. contienen elementos reactivos, y la señal de entrada es alterna, por lo que la salida dependerá del valor de su frecuencia. Este tipo de circuitos se comportan como un filtro con un elemento reactivo. El circuito de la figura:



$$v_o = v_+ = 0$$

$$v_o = -v_i \frac{Z_p}{R_1}, \text{ siendo } Z_p \equiv R_2 \parallel Z_C$$

$$\frac{v_o}{v_i} = -\frac{Z_p}{R_1} = -\frac{R_2}{R_1} \frac{1}{1 + j\omega R_2 C}$$

$$\frac{v_o}{v_i} = \frac{R_2}{R_1} \frac{1}{\sqrt{1 + (2\pi R_2 C f)^2}}; \quad \varphi(f) = \pi - \arctg(2\pi R_2 C f)$$

El resultado indica que el circuito es un filtro paso-bajo, con una ganancia máxima de R_2/R_1 . Escogiendo $R_2 > R_1$, el circuito tendrá ganancia mayor que 1, a diferencia del filtro paso-bajo pasivo que se estudió en el tema anterior, en el que la ganancia máxima era 1.

Se pueden construir filtros activos paso-alto, paso-banda y rechaza-banda

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

: Diodos

- a) Curva característica del diodo de unión p-n
- b) Modelos lineales
- c) Circuitos recortadores
- d) Otros diodos: Zener, LED y fotodiodo

The logo for Cartagena99 features the word "Cartagena99" in a stylized, green, cursive font. The text is set against a background of a light blue and yellow gradient that resembles a stylized sun or a wave.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

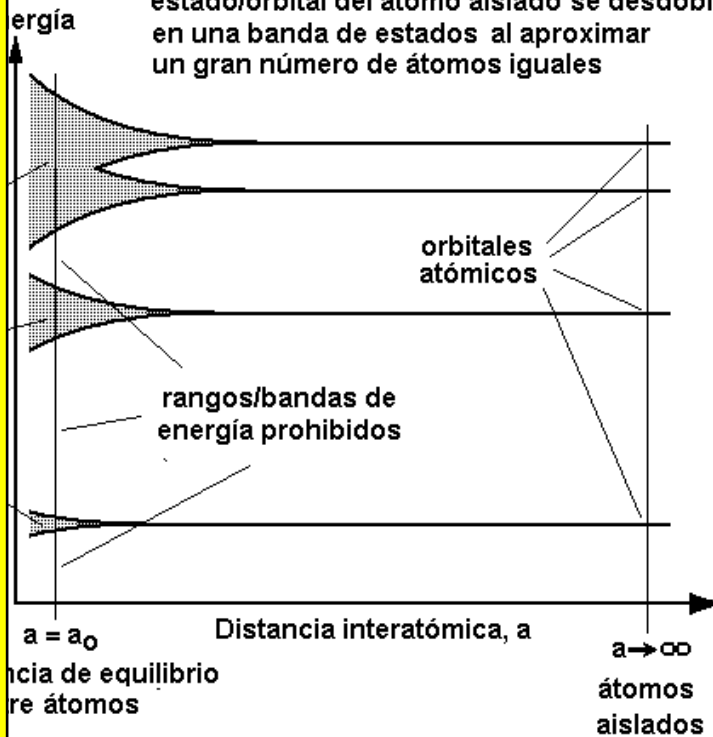
--

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Estados de energía en sólidos

Estados electrónicos en un sólido

Debido al Principio de Exclusión cada estado/orbital del átomo aislado se desdobra en una banda de estados al aproximar un gran número de átomos iguales

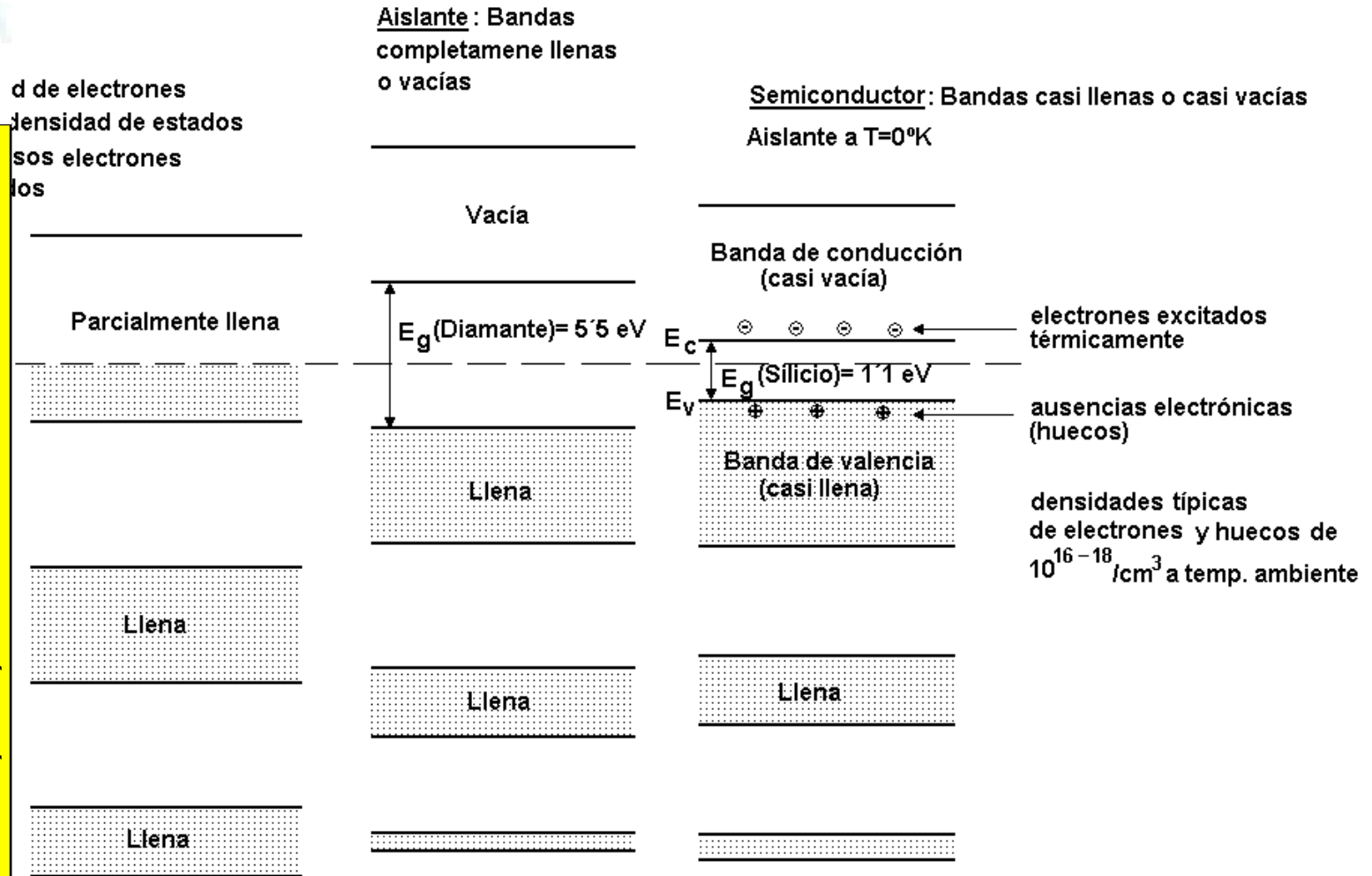


- Un orbital ocupado da lugar a una banda llena de electrones
- Un orbital desocupado da lugar a una banda vacía de electrones
- Un orbital parcialmente ocupado (p. ej. en átomos de la 1ª columna, dos estados con la misma energía y diferente spin, ocupado sólo uno de ellos) da lugar a una banda parcialmente llena
- Una banda completamente llena de electrones no contribuye a la conducción de corriente: hay tantos electrones con velocidad en una dirección como en la opuesta, y no hay más estados a los que los electrones puedan ser acelerados

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

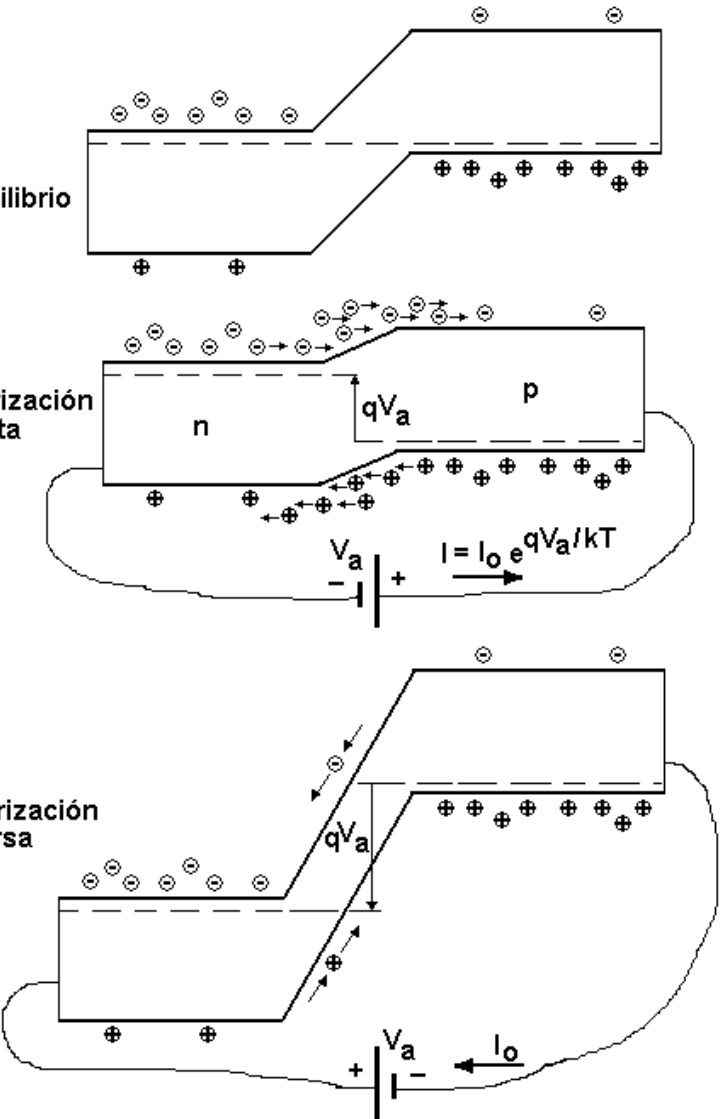
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

s, aislantes y semiconductores



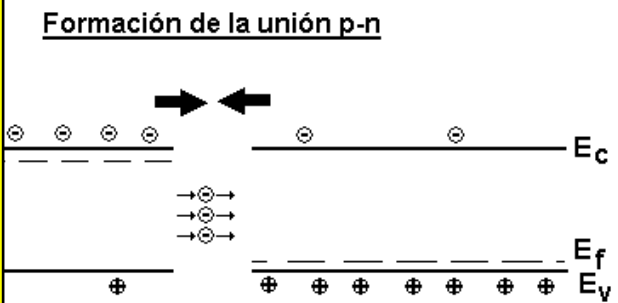
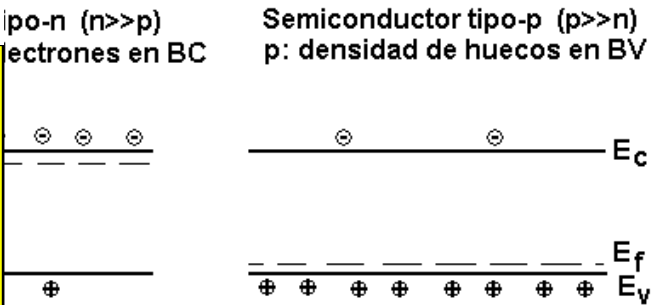
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



IDOS

on p-n



ipo-n ($n \gg p$)
electrones en BC

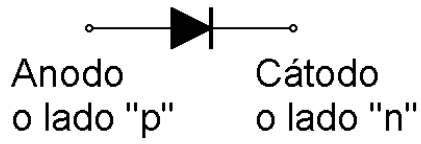
Semiconductor tipo-p ($p \gg n$)
p: densidad de huecos en BV

Cartagena99

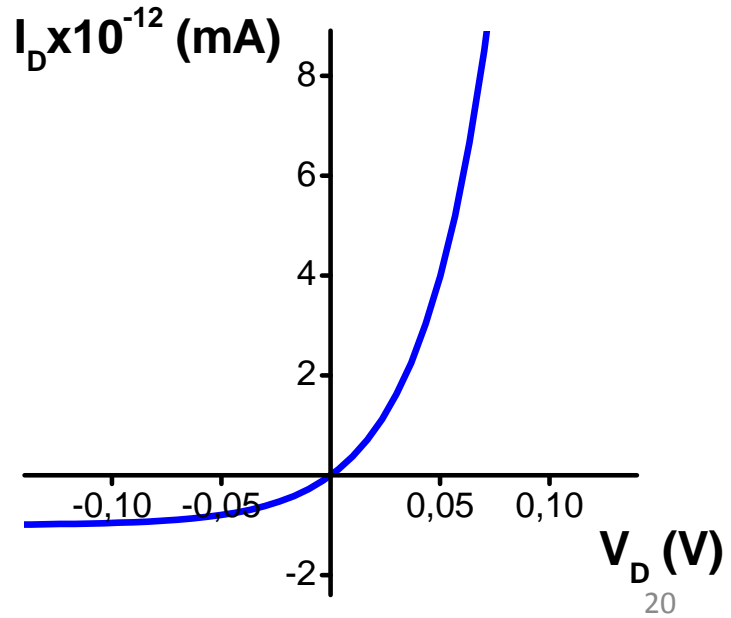
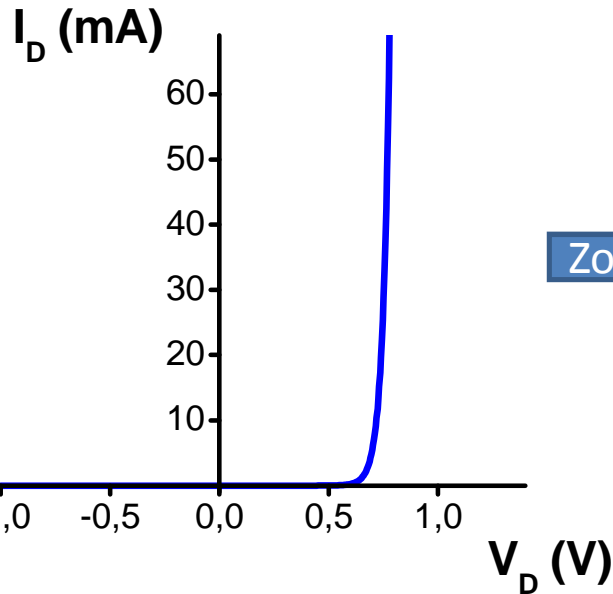
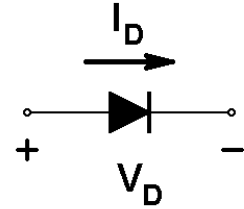
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

El **unión o diodo p-n** es un dispositivo semiconductor de dos terminales, de tipo no lineal, que conduce en un único sentido. Debido a esta propiedad se dice que el diodo tiene carácter "rectificador". Se construye a partir de la unión de dos semiconductores de diferente comportamiento eléctrico, llamados "p" ó "n".

Simbología, terminales y curva característica del diodo p-n



Convenio de tensiones y corrientes:



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

La característica I-V del diodo de Si muestra que éste sólo conduce corrientes (~mA) cuando la tensión entre sus terminales es $V_D \approx 0,5-0,7V$ (**conducción**), y se comporta como un circuito abierto para tensiones inferiores (**corte**).

La matemática que mejor describe la característica I-V del diodo es una exponencial (ecuación de Shockley):

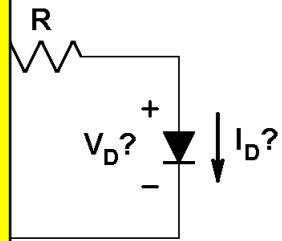
$$I_D = I_s \left(e^{\frac{V_D}{nV_T}} - 1 \right)$$

I_s : Corriente inversa de saturación ($I_s \approx 10^{-15} A$ en Si)

n : Coeficiente de idealidad ($1 < n < 2$)

$V_T \equiv kT/q_e$: tensión equivalente a temperatura

Caracterización del diodo: valores de I_D y V_D en un circuito con fuentes de c.c.



Polarización directa: $V_s > 0$

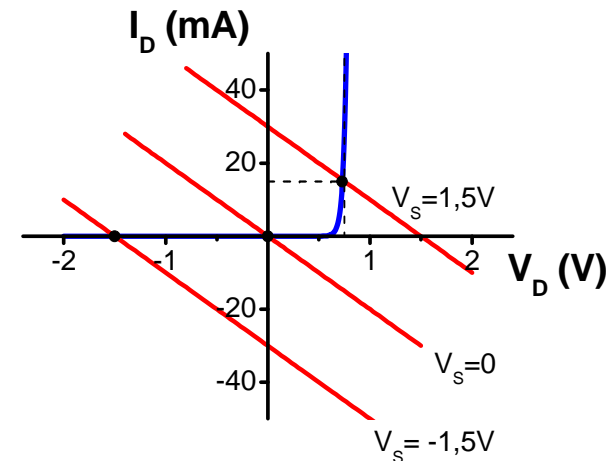
Polarización inversa: $V_s < 0$

Balance de tensiones:

$$-V_s + I_D R + V_D = 0$$

Resolviendo para la corriente:

$$I_D = \frac{V_s}{R} - \frac{1}{R} V_D$$

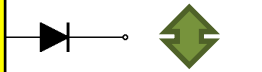
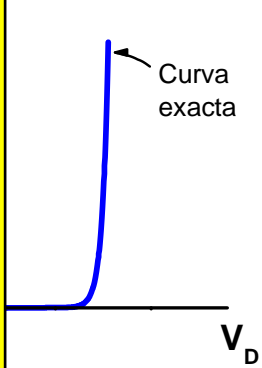


CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

do sólo puede conducir con polarización directa suficiente ($V_s \sim 0,6V$)
 ensión aplicada es inferior a la del codo de la exponencial, $I_D \approx 0$, $V_D \approx V_s$
 ensión aplicada es superior a la del codo, I_D y V_D se pueden determinar
 amente o bien resolviendo un sistema de ecuaciones trascendente
 tos de polarización más complejos o con mayor número de diodos:
 sidad de utilizar un modelo aproximado (no exponencial) para el diodo

Modelos lineales (aproximados)

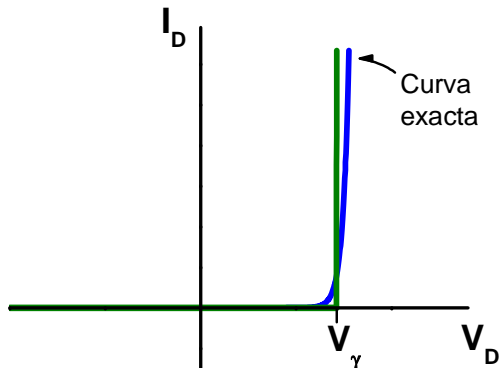
Modelo de diodo



Corte: ($I_D = 0$, $V_D < V_\gamma$)

Cond: ($I_D > 0$, $V_D = V_\gamma$)

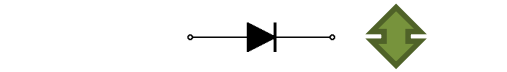
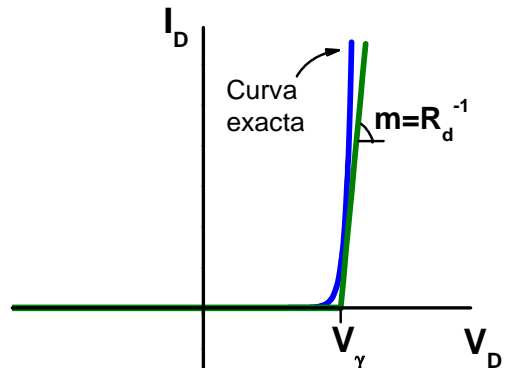
Modelo de diodo con resistencia dinámica



Corte: ($I_D = 0$, $V_D < V_\gamma$)

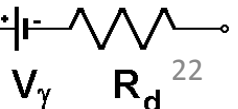
Cond: ($I_D > 0$, $V_D = V_\gamma$)

Modelo de diodo con resistencia dinámica y resistencia de carga



Corte: ($I_D = 0$, $V_D < V_\gamma$)

Cond: ($I_D > 0$, $V_D > V_\gamma$)



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

La tensión umbral y la resistencia dinámica del diodo (V_γ y R_d) son parámetros que dependen del rango de corrientes que circulan por él.

Estos valores pueden ser obtenidos experimentalmente, a partir de la pendiente de la tangente a la curva en un cierto punto y su corte con el eje de tensiones.

Supongamos que se nos proporcionen los valores de los parámetros del modelo que vamos a considerar:

Problema: determinación (aproximada) del punto de polarización de los diodos del circuito de la figura, considerando a) $R=19k\Omega$; b) $R=4k\Omega$. Datos: suponer para ambos diodos una tensión umbral $V_\gamma=0,6V$.

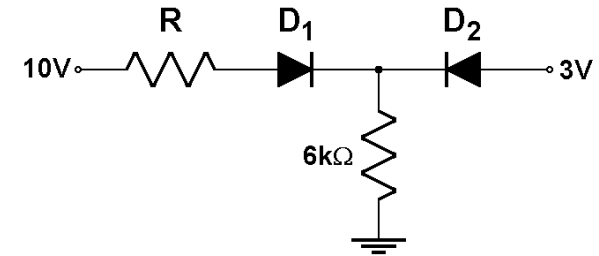
Al analizar y plantear ecuaciones observamos que, consideradas individualmente:

- fuente de 10V: polariza a D_1 en directa
- fuente de 10V: polariza a D_2 en inversa
- fuente de 3V: polariza a D_1 en inversa
- fuente de 3V: polariza a D_2 en directa

¿Cuál es el estado de conducción de D_1 y D_2 ? 4 posibilidades. Supondremos una de ellas y hallaremos las tensiones y corrientes en el circuito y verificaremos la hipótesis (“reducción al absurdo”).

Como $10V > 3V$, parece lógico suponer que D_1 conduce y que D_2 está en corte.

Suposición: si D_1 y D_2 estuvieran en serie, sólo existirían 2 posibilidades.



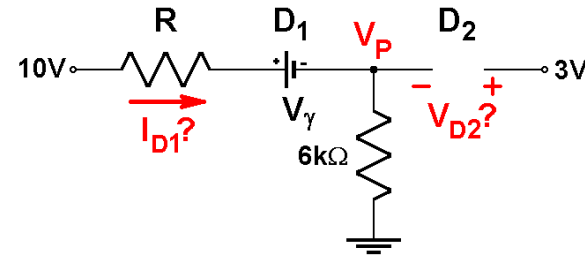
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

DOS

Usamos los diodos por los modelos correspondientes, y resolvemos el circuito mediante las técnicas de resolución de circuitos estudiadas:

$$I_{D1} + V_{\gamma} + 6k\Omega I_{D1} = 0 \Rightarrow I_{D1} = \frac{10V - 0,6V}{R + 6k\Omega};$$

a) $I_{D1} = 0,376\text{mA}$; b) $I_{D1} = 0,94\text{mA}$



$$V_P = 3V - 6k\Omega I_{D1};$$

a) $V_{D2} = 0,744V$; b) $V_{D2} = -2,64V$

Usamos los resultados en ambos casos:

\Rightarrow inconsistente, si D_2 en corte \Rightarrow hipótesis falsa

\Rightarrow consistente con D_2 en corte; $I_{D1} > 0 \Rightarrow$ consistente con D_1 en conducción

datos de polarización: $(V_{D1}, I_{D1}) = (0,6V, 0,94\text{mA})$, $(V_{D2}, I_{D2}) = (-2,64V, 0)$

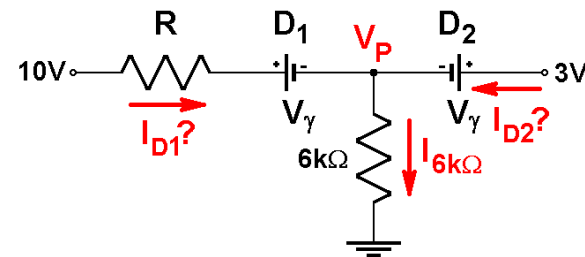
Usamos una nueva hipótesis para el caso a): D_1 y D_2 en conducción.

$$V_{\gamma} = 2,4V$$

$$I_{D1} = \frac{V_P + V_{\gamma}}{R} = \frac{7V}{19k\Omega} = 0,368\text{mA} > 0$$

$$I_{D2} = \frac{V_P}{6k\Omega} - 0,368\text{mA} = 0,032\text{mA} > 0$$

datos de polarización: $(V_{D1}, I_{D1}) = (0,6V, 0,368\text{mA})$, $(V_{D2}, I_{D2}) = (0,6V, 0,032\text{mA})$

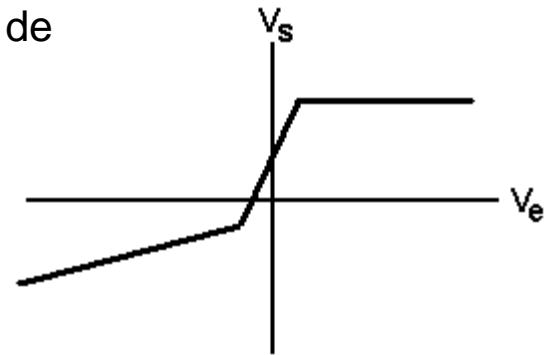


CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVIÁ WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

os con diodos. Circuitos limitadores y rectificadores

unto de operación del diodo va pasando periódicamente de conducción a no , a causa de fuentes de valor variable, es muy útil determinar previamente la característica de transferencia de tensión del circuito (comportamiento de V_s en V_e).

izamos modelos lineales para determinar esta curva, la relación obtenida está formada por la concatenación de segmentos rectilíneos, cada uno de los cuales se corresponde con uno de los posibles estados de corte de los distintos diodos del circuito.



Construcción de la curva característica

Una de las posibles combinaciones de corte de los distintos diodos:

Reemplazamos cada diodo por su modelo lineal correspondiente

del circuito lineal resultante y determinar la relación $V_s(V_e)$

Buscar, en ese circuito, el rango de tensiones de V_e en el que, para todos los componentes del circuito, los valores de I_D o V_D son compatibles con su modelo lineal usado

($V_D < V_\gamma$)

La construcción de los circuitos debe hacerse en las condiciones de carga en que trabaje

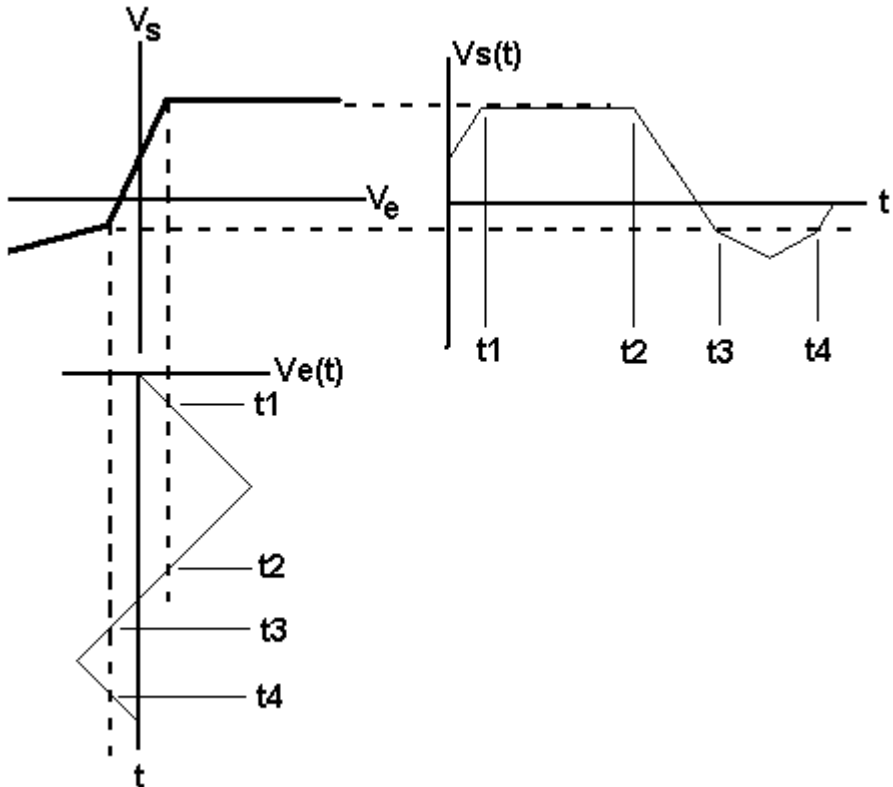
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

er combinaciones de estados de conducción/corte que no sean posibles en
 go de tensiones de entrada. Con frecuencia estas combinaciones son
 s sin necesidad de hacer una resolución completa del circuito.

simples puede ser más sencillo, para hallar los intervalos de tensión,
 simultáneamente $I_D=0$ y $V_D=V_\gamma$), lo que nos da el punto donde se unen dos

resultante nunca puede ser discontinua

terminada la curva
 ca de transferencia,
 determinar la forma
 salida para cualquier
 ariación de la tensión



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

4: Consideremos el siguiente circuito, y el modelo de la tensión umbral para los diodos, siendo V_e una fuente de tensión que puede adoptar cualquier valor real.

Con este circuito, con dos diodos, se pueden dar cuatro situaciones:

1) Ninguno de los diodos conduce

2) Solo el diodo D1 conduce

3) Solo el diodo D2 conduce

4) Los dos diodos conducen

$$I = \frac{V_e}{R + R_L} \cdot R_L = \frac{R_L}{R + R_L} V_e$$

Por lo tanto:

$$R < V_\gamma \Rightarrow V_e < \frac{R + R_L}{R} V_\gamma \quad \text{y}$$

$$-R_L < V_\gamma \Rightarrow V_e > -\frac{R + R_L}{R_L} V_\gamma$$

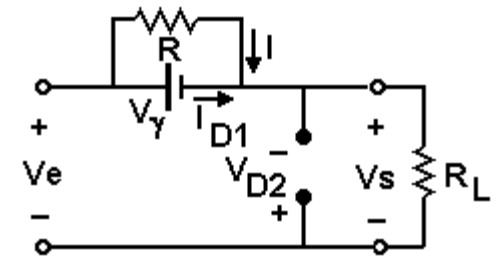
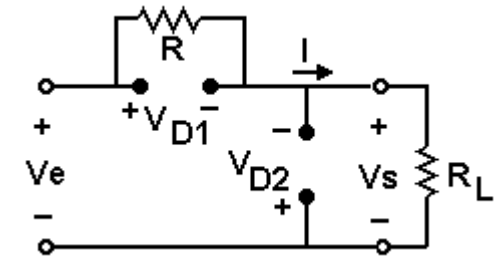
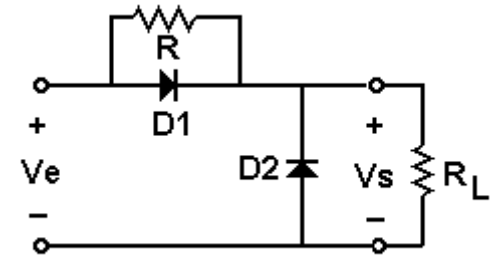
$$V_e - V_\gamma$$

Por lo tanto:

$$-V_s < V_\gamma \Rightarrow V_e > 0 \quad \text{y}$$

$$|I_{D1} + I| - |I| > 0 \Rightarrow \frac{V_s}{R_L} - \frac{V_\gamma}{R} > 0 \Rightarrow V_e > \frac{R + R_L}{R} V_\gamma$$

Esta condición es más restrictiva que la primera)



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

CONDICIONES

$$-V_\gamma$$

es:

$$V_\gamma + V_e) < V_\gamma \Rightarrow V_e < 0 \quad \text{y}$$

$$[(I_{D1} + I_{D2}) - I_L] > 0 \Rightarrow \frac{-V_e - V_\gamma}{R} - \frac{V_\gamma}{R_L} > 0 \Rightarrow V_e < -\frac{R + R_L}{R_L} V_\gamma$$

(la segunda condición es más restrictiva que la primera)

Los tres rangos anteriores cubren todos los valores de V_e desde $-\infty$ a $+\infty$, no se da cuenta a que se dé la cuarta situación; pero, además ¿podemos darnos cuenta de que si los dos diodos estuvieran en conducción simultáneamente, en el nodo V_s habría cuatro corrientes positivas? (¡¡¡en contra de la 1ª Ley de Kirchhoff !!!)

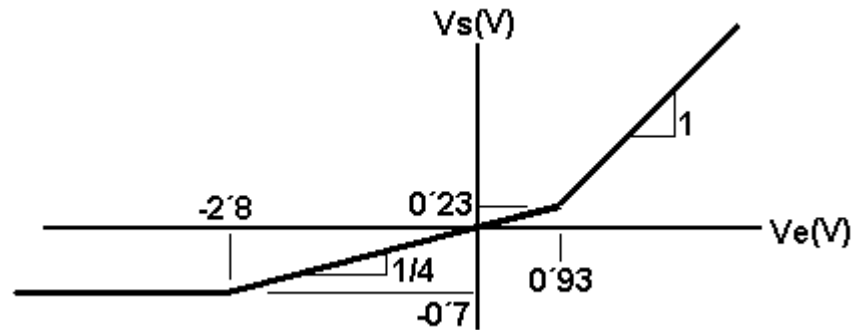
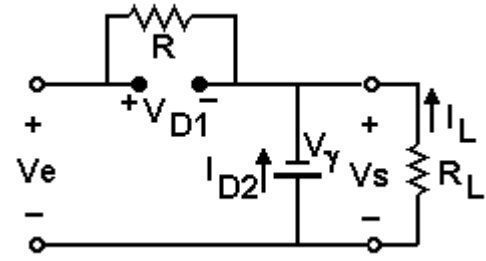
En el punto anterior, suponiendo

$R = 3R_L$, obtenemos:

$$V_e < -0.8V \rightarrow V_s = -0.7V$$

$$-0.8V < V_e < -0.93V \rightarrow V_s = 1/4 V_e$$

$$\rightarrow V_s = V_e - 0.7V$$



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

PROBLEMAS

5: Consideremos el siguiente circuito, y el modelo de diodo con tensión umbral para el diodo, siendo $v_e(t) = V_p \sin(\omega t)$.

Analizar el circuito en dos situaciones:

1) Cuando $v_e(t) > V_\gamma$

$$v_e(t) - V_\gamma$$

$$\frac{v_e(t) - V_\gamma}{R_L} > 0 \Rightarrow v_e(t) > V_\gamma$$

$$v_e(t) = 0$$

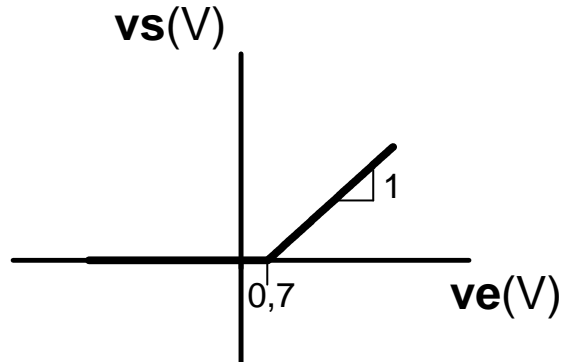
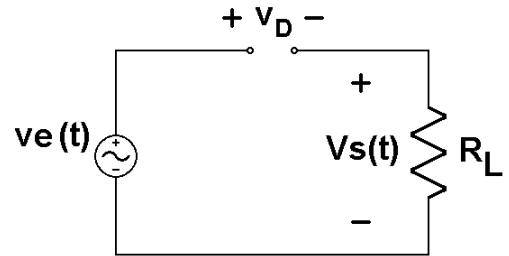
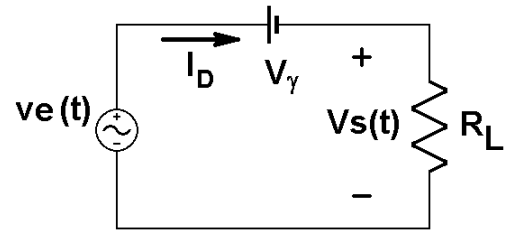
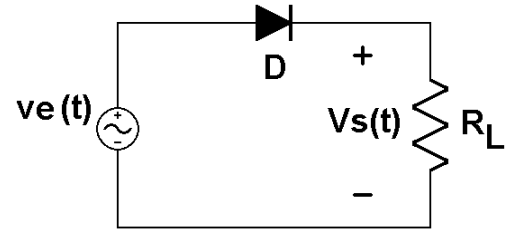
2) Cuando $v_e(t) < V_\gamma$ (como era de esperar)

En el circuito anterior, suponiendo

$V_p = 4,0V$, obtenemos:

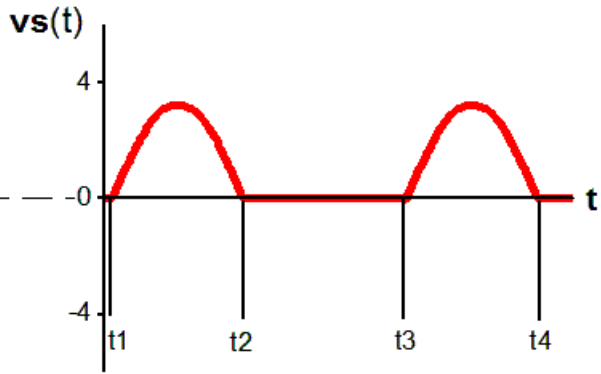
$$v_e(t) < 0,7V \rightarrow V_s(t) = 0$$

$$v_e(t) > 0,7V \rightarrow V_s(t) = v_e(t) - V_\gamma$$

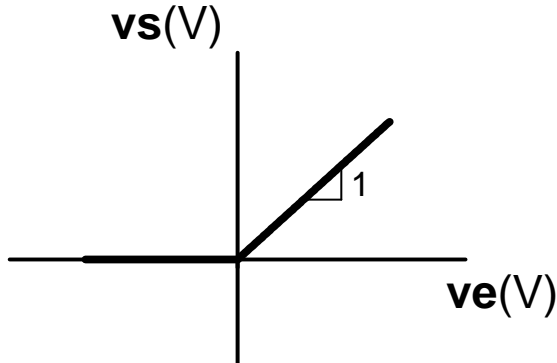


CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVIÁ WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

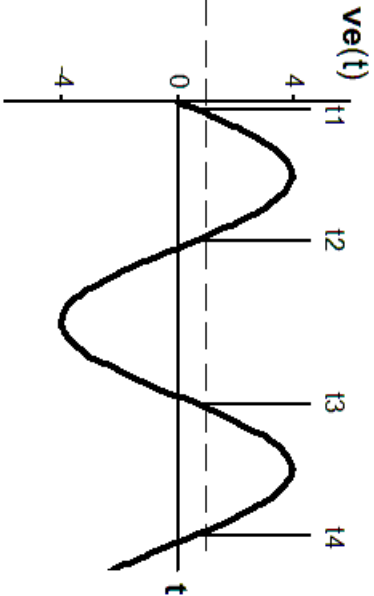
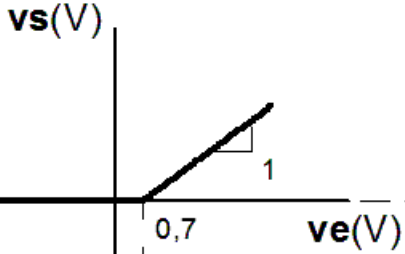
La onda resultante corresponde a un rectificador de media onda:



- Si $V_p \gg V_\gamma$, es buena la aproximación del modelo de interruptor y el valor de pico de la salida coincide con el de la entrada



- Al invertir la posición del diodo, permanecen a la salida los semiciclos negativos de $vs(t)$

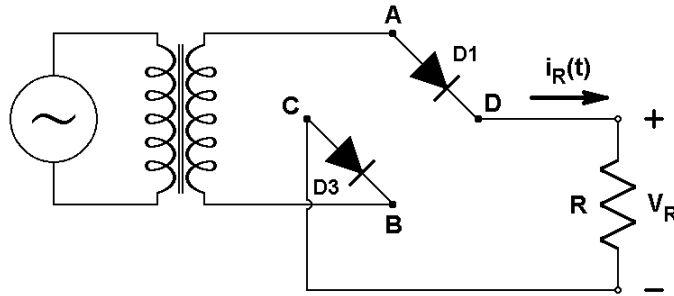
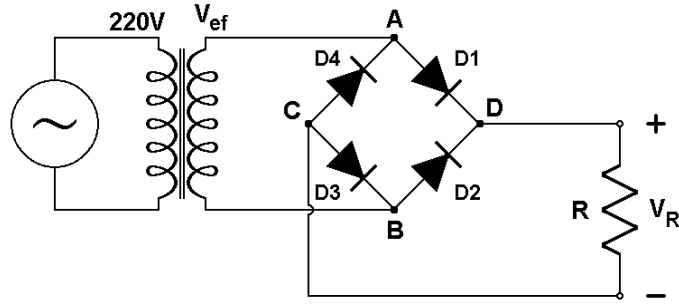


CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

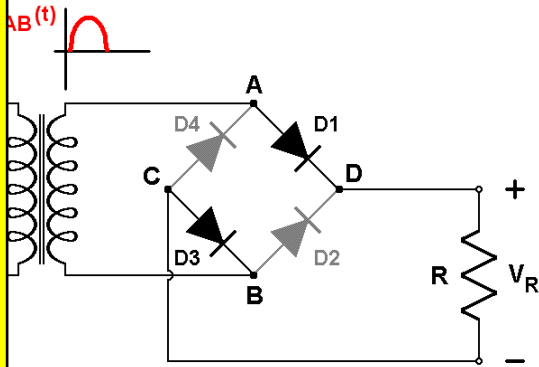
Convertidor de onda completa por puente de diodos

Los diodos son idénticos
 o de la tensión umbral
 es independiente de cada semiciclo



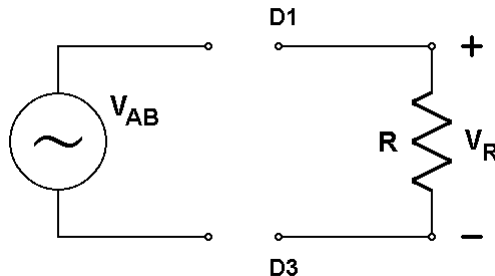
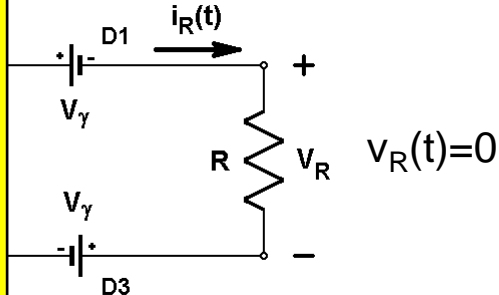
$$V_R(t) = V_{AB} - V_{D1} - V_{D3};$$

$$V_R(t) > 0 \Rightarrow V_{D1}, V_{D3} = V_\gamma, V_{AB} > 2V_\gamma$$



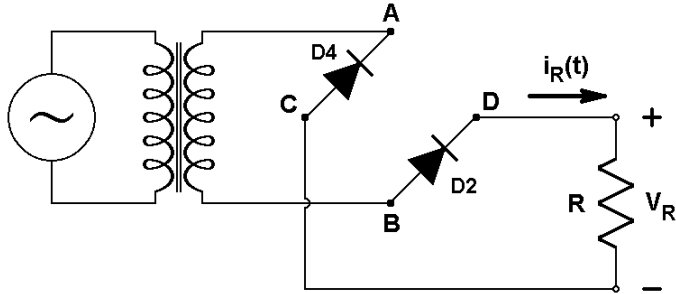
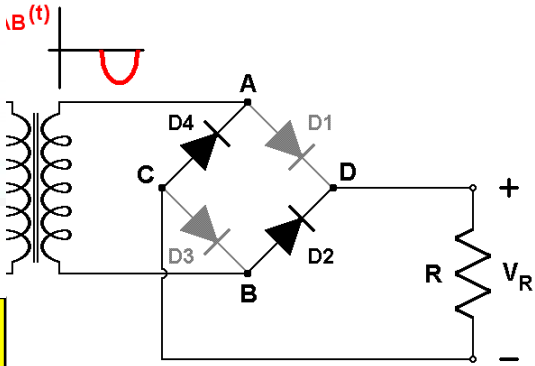
$\Rightarrow v_A > v_C, v_D > v_B \Rightarrow$ D1 y D3, directa, D2 y D4, en pol. inversa

$$V_{AB} > 2V_\gamma \quad V_{AB} < 2V_\gamma$$



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

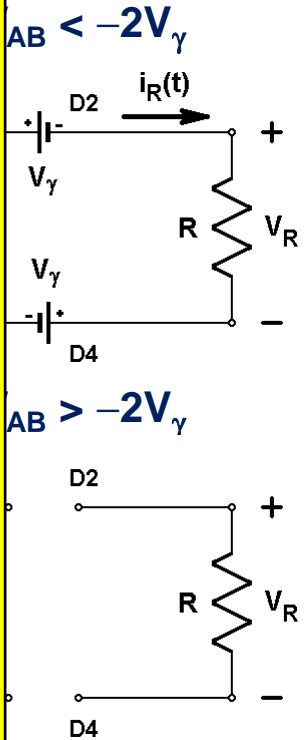
INDOS



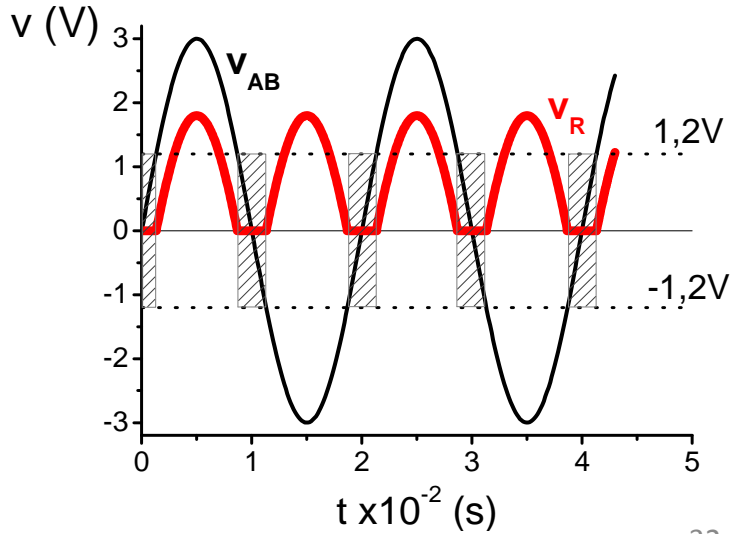
$\Rightarrow v_A < v_C, v_D < v_B \Rightarrow D1$ y $D3$,
inversa, $D2$ y $D4$, en pol. directa

$$v_R(t) = -v_{AB} - V_{D2} - V_{D4};$$

$$v_R(t) > 0 \Rightarrow V_{D2}, V_{D4} = V_\gamma, v_{AB} < -2V_\gamma$$



o: Si $v_{AB}=3V, V_\gamma=0,6V, f=50Hz$



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Nombre:

do de unión es un dispositivo semiconductor de dos terminales, de comportamiento no lineal, que conduce de forma apreciable en un único sentido cuando se alcanza entre sus terminales un cierto valor umbral de tensión

Podemos obtener los valores (I_D , V_D) -punto de trabajo- gráficamente, a partir del punto de intersección entre la característica del diodo y la recta de carga

Debido al comportamiento exponencial de la característica I-V, se trabaja habitualmente con tres modelos lineales aproximados por tramos: de interruptor, de resistencia umbral y de la resistencia dinámica

En circuitos con diodos en que todas las fuentes son constantes se denominan circuitos de polarización. Para conocer los valores (I_D , V_D) en estos circuitos se aplican hipótesis sobre el estado de los diodos y se confirman

En circuitos que presentan fuentes de valor variable, el punto de operación del diodo puede pasar de conducción a corte. En tal caso:

1. Si la fuente es constante, determinaremos la curva característica de transferencia

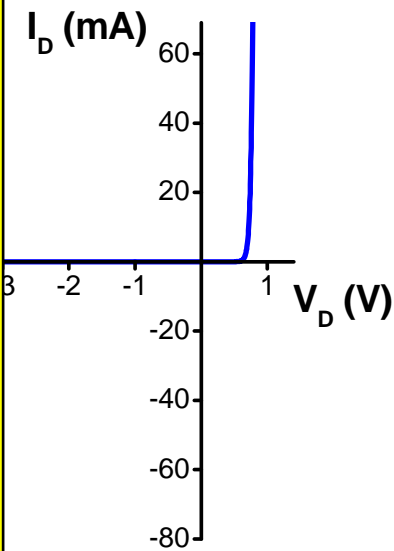
2. Si la fuente varía temporalmente, determinaremos la forma de onda de salida a partir de la característica de transferencia

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
--
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Diodos: Zéner, LED y fotodiodo

Los diodos de unión p-n, existen otros tipos de diodos muy habituales en aplicaciones prácticas.

Zéner: en polarización directa se comporta como un diodo de unión, mientras que en polarización inversa presenta también una región de conducción llamada región de zéner, en la que la tensión varía poco.

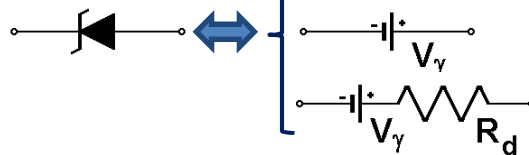


– Modelos lineales en polarización directa:

Corte:



Cond.:

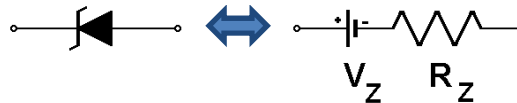


– Modelos lineales en polarización inversa:

Corte:



Cond.:



V_z, R_z : tensión y resistencia de zéner

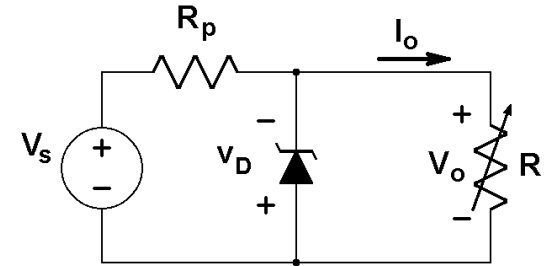
El análisis de los circuitos con zéner es análogo al de los diodos de unión, teniendo en cuenta que en el zéner hay tres regiones de funcionamiento.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

como dispositivo regulador de tensión

o de la figura, la resistencia R varía entre 0 e ∞ ,
uce cambios en el funcionamiento del zéner, aún
stantes conocidas los restantes valores nominales.
os la tensión en R en función de la corriente por ella.
os $V_s > V_Z$, siendo R_Z y V_Z también conocidos.



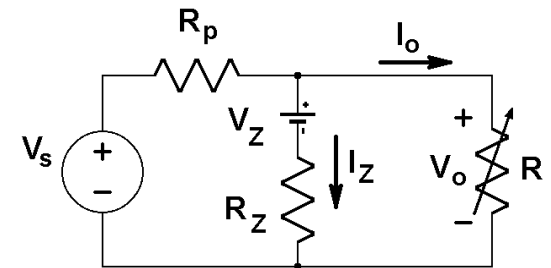
h inversa \Rightarrow zéner en corte o en conducción inversa. ¡Al no ser el circuito de
la condición $V_s > V_Z$ no garantiza la conducción del diodo!

nes extremas:

$V_D = 0$, zéner en corte, $I_o = I_{o\text{ máx}} = V_s / R_p$
alla única y $V_s > V_Z \Rightarrow$ conducción inversa, $I_o = 0$

h límite: $I_Z = 0$, $V_D = -V_Z \Rightarrow$

$$\frac{V_s - V_Z}{R_p} = \frac{V_Z}{R}; R = R_p \frac{V_Z}{V_s - V_Z} \equiv R_{\text{lím}}$$



corte)

$R > R_{\text{lím}}$ (conducción inversa)

$$R_p I_o$$

$$\frac{V_s - V_o}{R_p} = \frac{V_o - V_Z}{R_Z} + I_o; V_o(I_o) = \frac{R_p}{R_Z + R_p} V_Z + \frac{R_Z}{R_Z + R_p} V_s - \frac{R_Z R_p}{R_Z + R_p} I_o$$

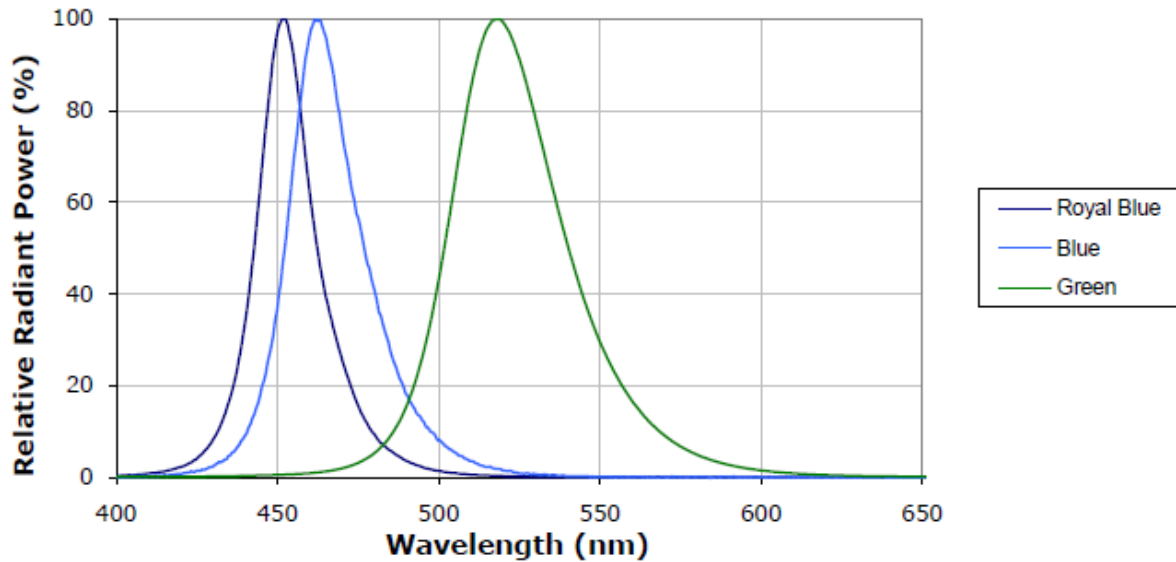
Si el zéner conduce en inversa y $R_Z \ll R_p$, entonces $V_o(I_o) \approx V_Z - R_Z I_o \approx V_Z$
regula la tensión manteniéndola aproximadamente constante con R .

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

lodos: Zéner, LED y fotodiodo

π-emitting diode): es un diodo de unión p-n que emite luz cuando se polariza ón de conducción. Esta propiedad se da sólo en los dispositivos fabricados los materiales semiconductores.

La luz emitida no es monocromática, la intensidad emitida presenta un máximo longitud de onda que depende del material con que se fabrique. Esto se observa típica típica de distribución espectral siguiente:



se define la *eficiencia de emisión*: $\eta \equiv \frac{P_{lum}}{P_{el}}$, P_{lum} = potencia emitida, $P_{el} = I_D V_D$

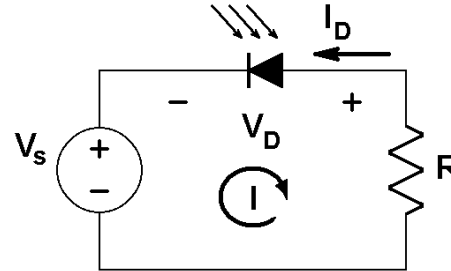
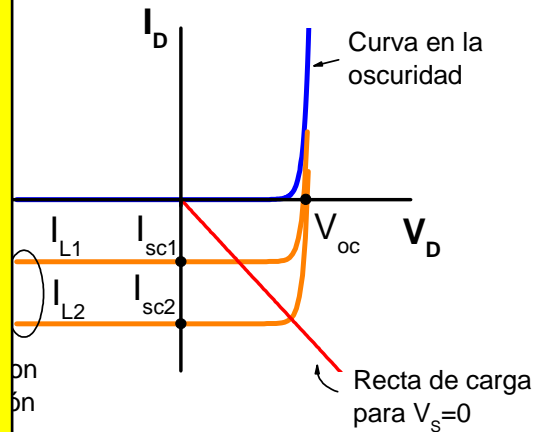
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Diodos: Zéner, LED y fotodiodo

El fotodiodo es un diodo de unión p-n construido de forma que la luz puede llegar al semiconductor. La irradiación de éste produce una corriente inversa a la habitual en el diodo, y esta corriente se suma a la corriente que es suministrada por el circuito.

La corriente inversa es más evidente bajo polarización inversa, y es proporcional al número de fotones incidentes (a la intensidad luminosa).



Recta de carga:

$$I_D = -\frac{V_S}{R} - \frac{V_D}{R}$$

El dispositivo trabaja en el cuarto cuadrante de la característica, recibe el nombre de célula fotovoltaica, y proporciona al circuito una potencia igual al producto de la corriente por el voltaje. En una célula se definen:

Corriente de cortocircuito ($V_D=0$): I_{sc} Tensión de circuito abierto ($I_D=0$): V_{oc}

Eficiencia o rendimiento: $\eta \equiv \frac{P_{m\acute{a}x}}{P_{lum}}$, P_{lum} = Potencia luminosa incidente

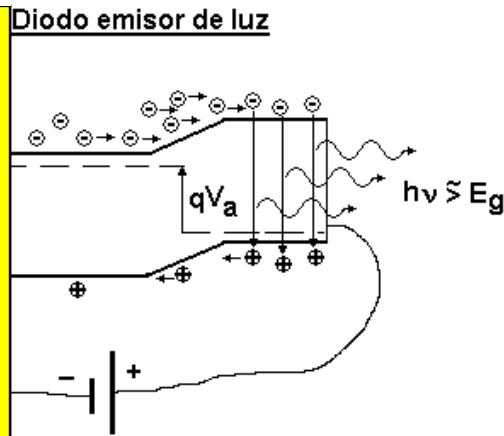
$P_{m\acute{a}x}$ = Potencia máxima que proporciona

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

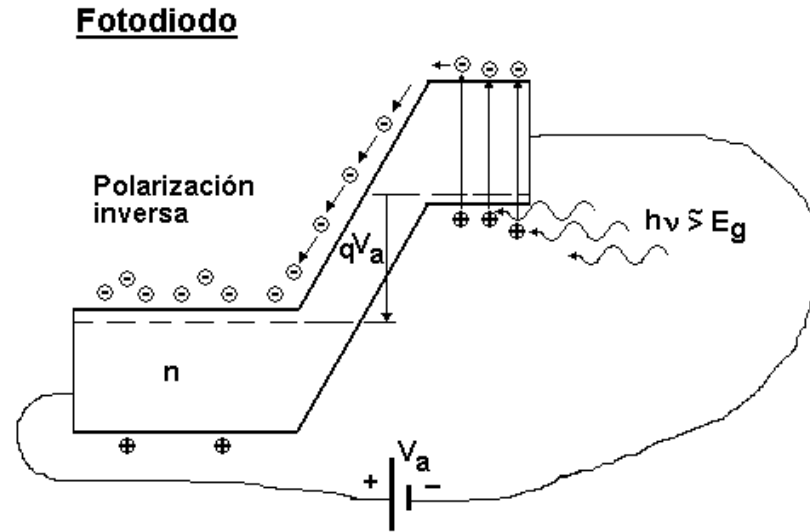
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

lodos: Zéner, LED y fotodiodo

namiento se basa en la variación de energía de los portadores con oio de energía luminosa bajo ciertas condiciones:



- Electrones inyectados desde el lado n se recombinan con los huecos de la región p
- Alta eficiencia de emisión radiativa
- Depende del material semiconductor (E_g)
- Longitud de onda de emisión
- La región p muy estrecha y superficial
- Los electrones se generan muy cerca de la unión y escapan fácilmente



Unión p-n con la región p muy estrecha y superficial

Fotones con energía mayor que E_g son absorbidos por electrones de la BV del lado p, pasando a la BC y dejando un hueco

Los electrones abandonan fácilmente esa estrecha región p y son acelerados por el campo eléctrico hacia el lado n

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



Transistores

- a) Transistor bipolar de unión (BJT)
- b) Transistor de efecto campo metal-óxido-semiconductor (MOSFET)

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

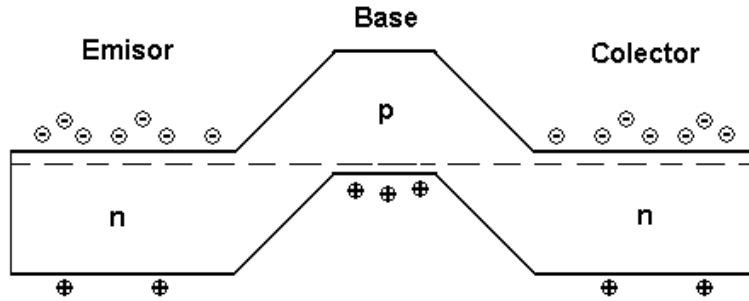
--

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

TRANSISTORES

Estructura n-p-n

Equilibrio

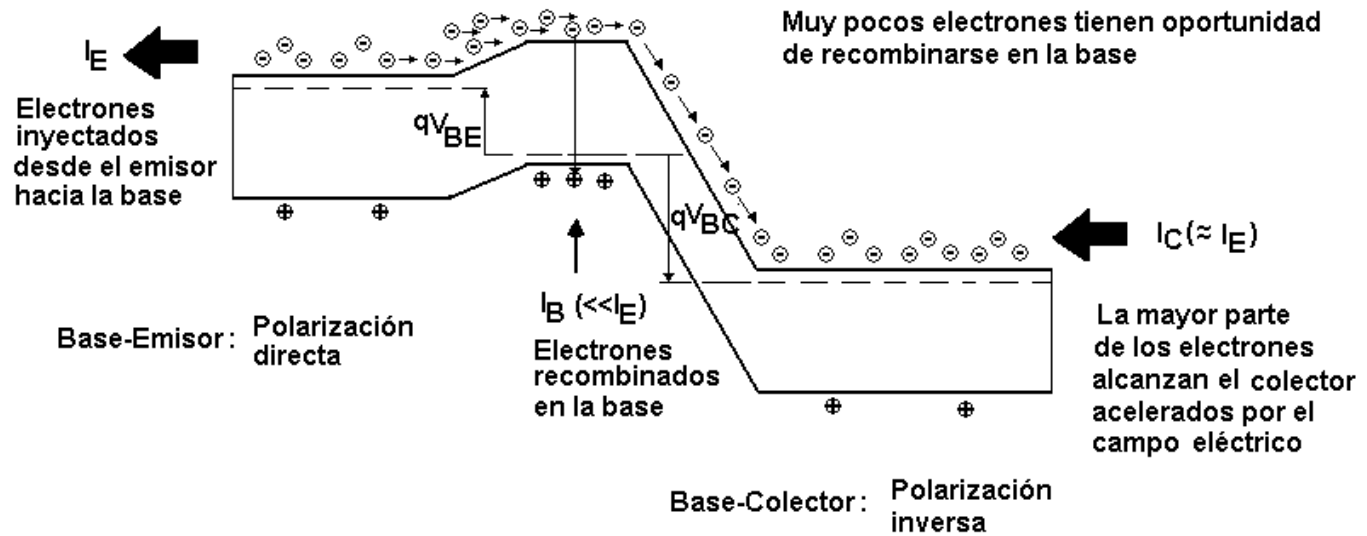


$$V_{BE} = 0$$

$$V_{BC} = 0$$

Equilibrio

Ancho de la región de base muy pequeño



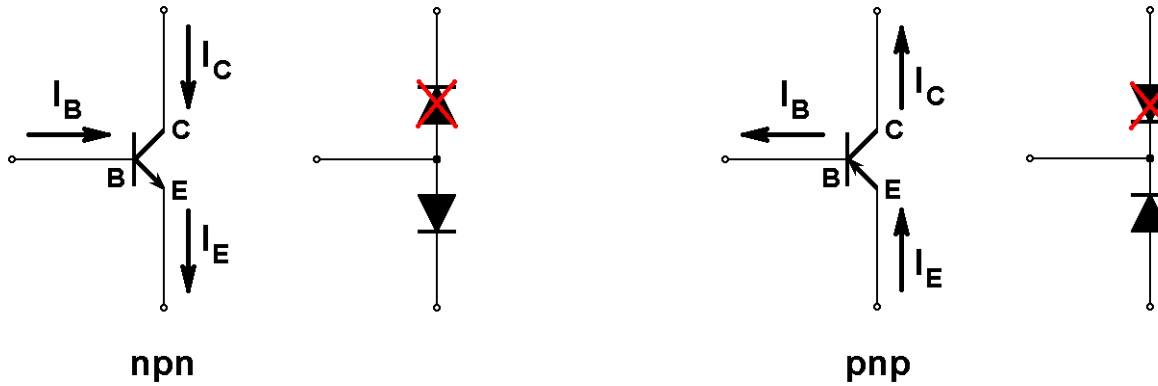
Activo

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

TRANSISTORES

El **transistor bipolar de unión** es un dispositivo semiconductor de tres terminales, de funcionamiento no lineal, que bajo ciertas condiciones se comporta como un controlador de corriente. Se construye a partir de dos diodos de unión que comparten dos terminales (aunque no se comporta de forma equivalente, debido a la estrechez del terminal compartido).

Tipos y terminales



La unión base-emisor se comporta de forma similar a la de un diodo, como se verá en los ejemplos siguientes. Los diodos sólo pueden circular en los sentidos indicados y se verifican las L.K.. De acuerdo con el convenio para las corrientes:

$$I_B + I_C = I_E$$

$$V_{CB} + V_{BE} = V_{CE}$$

Se necesitan 4 variables para describir su comportamiento: I_B , I_C , V_{BE} , V_{CE}

De las 4 variables se eligen 2 dependientes (I_C y V_{BE}) y 2 independientes (I_B y V_{CE})

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

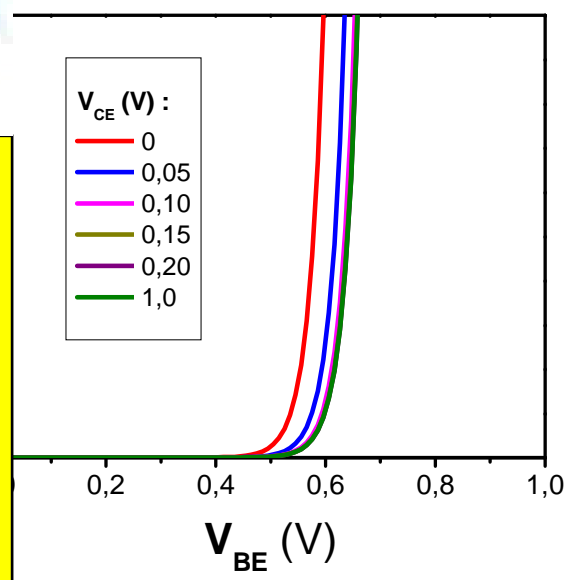
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



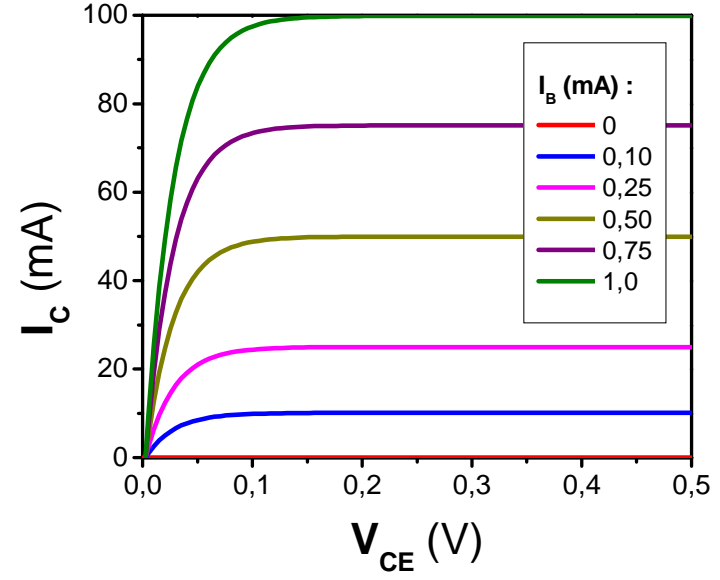
TRANSISTORES

Gráficas de curvas características y regiones de funcionamiento (npn)

Características de entrada típicas



Características de salida típicas

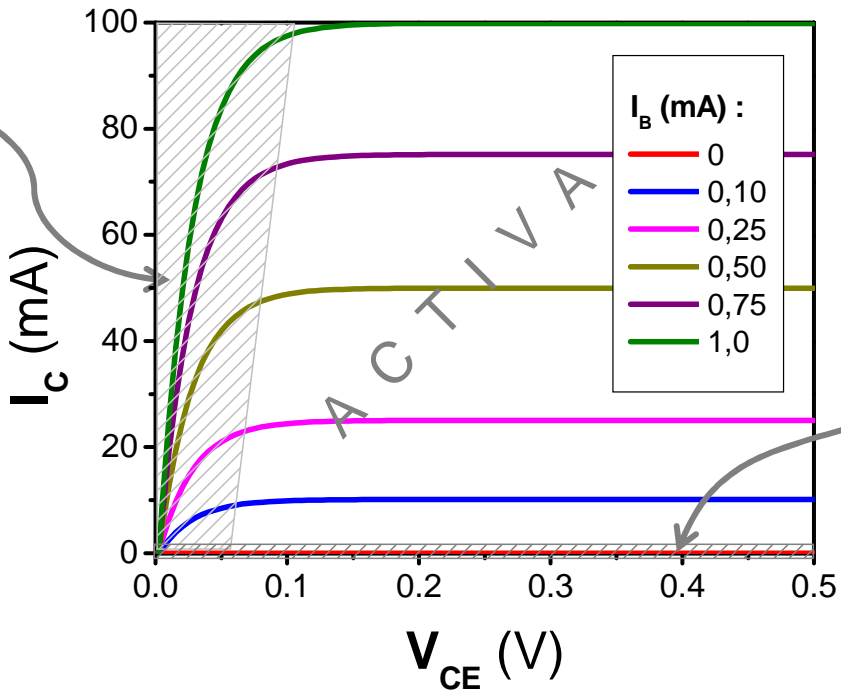


CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

simulaciones 2D \Rightarrow una de las variables independientes se toma como parámetro
Las gráficas reproducen las curvas características reales de un transistor de Silicio tipo npn
Las curvas características de entrada son funciones de tipo exponencial
Se considera que el comportamiento de la unión BE es similar al de un diodo, y que I_B depende un poco del parámetro V_{CE}
Las características de salida son distintas de cero siii. la unión BE está polarizada en directa, es decir:
 $V_{BE} > 0,6V \Rightarrow I_B > 0 \Rightarrow I_C > 0 (\Rightarrow I_E > 0)$, $V_{BE} < 0,5-0,6V \Rightarrow I_B = 0 \Rightarrow I_C = 0 (\Rightarrow I_E = 0)$
Las características de salida se distinguen tres regiones de funcionamiento:



Características de salida típicas



	I_B	I_C	I_E	V_{CE}	V_{BE}
	0	0	0	Indet.	<0,5-0,6V
	>0	βI_B	$(1+\beta)I_B$	$\geq 0,15V$	$\sim 0,5-0,6V$
ión	>0	$< \beta I_B$	$< (1+\beta)I_B$	$\leq 0,15V$	$\sim 0,5-0,6V$

ancia de corriente del transistor

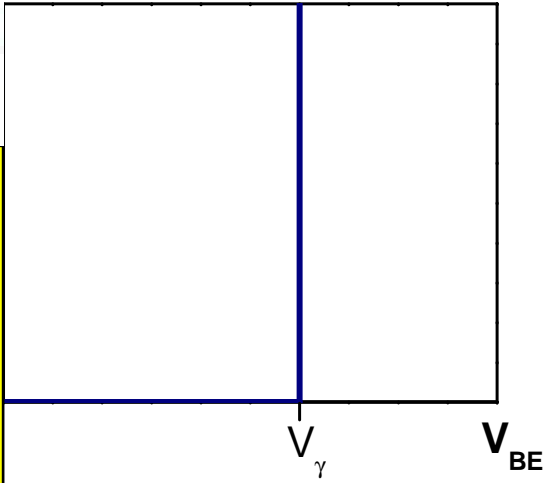
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

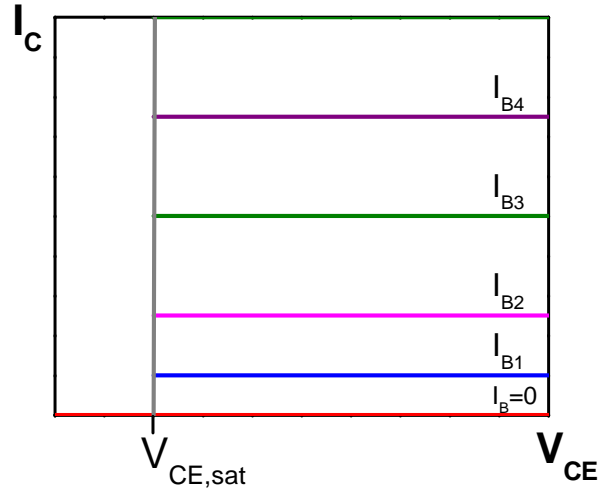
TRANSISTORES

Modelo lineal aproximado (npn)

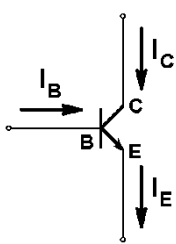
Características de entrada: aprox. lineal



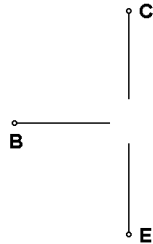
Características de salida: aprox. lineal



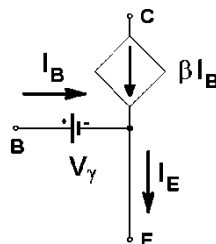
	I_B	I_C	I_E	V_{CE}	V_{BE}
	0	0	0	Indet.	$<V_\gamma$
	>0	βI_B	$(1+\beta)I_B$	$\geq V_{CE,sat}$	$=V_\gamma$
Saturación	>0	$<\beta I_B$	$<(1+\beta)I_B$	$=V_{CE,sat}$	$=V_\gamma$



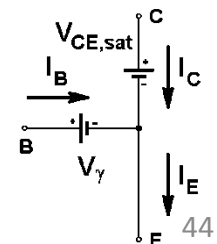
Corte



Activa



Saturación



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

TRANSISTORES

análisis de la operación del transistor

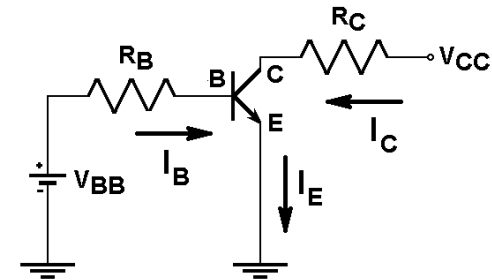
Las características y tensiones en un transistor dependen del circuito en que se encuentre. Mostraremos uno de los circuitos de polarización más simple que podemos utilizar. Consideraremos el modelo lineal del transistor, y supondremos conocidos los parámetros característicos del mismo, β , V_γ y $V_{CE,sat}$:

\Rightarrow corte $\Rightarrow I_B=0, I_C=0;$

$V_{CE}=V_{CC}$

\Rightarrow conducción $\Rightarrow V_{BE}=V_\gamma;$

de base: $V_{BB} - R_B I_B - V_\gamma = 0 \Rightarrow I_B = \frac{V_{BB} - V_\gamma}{R_B}$



de colector: $V_{CC} - R_C I_C - V_{CE} = 0;$ ¿ I_C, V_{CE} ?

Es necesario plantear hipótesis sobre el estado del transistor, activa o saturación:

si suponemos que está en activa,

$I_C = \beta I_B = \beta \frac{V_{BB} - V_\gamma}{R_B} \Rightarrow V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C; \quad V_{CE} = V_{CC} - R_C \beta \frac{V_{BB} - V_\gamma}{R_B}$

Verificación: debe obtenerse $V_{CE} > V_{CE,sat}$, de lo contrario, la hipótesis es falsa

si suponemos que está en saturación,

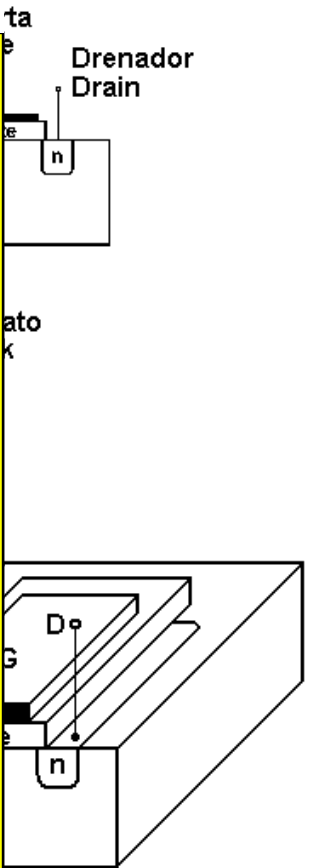
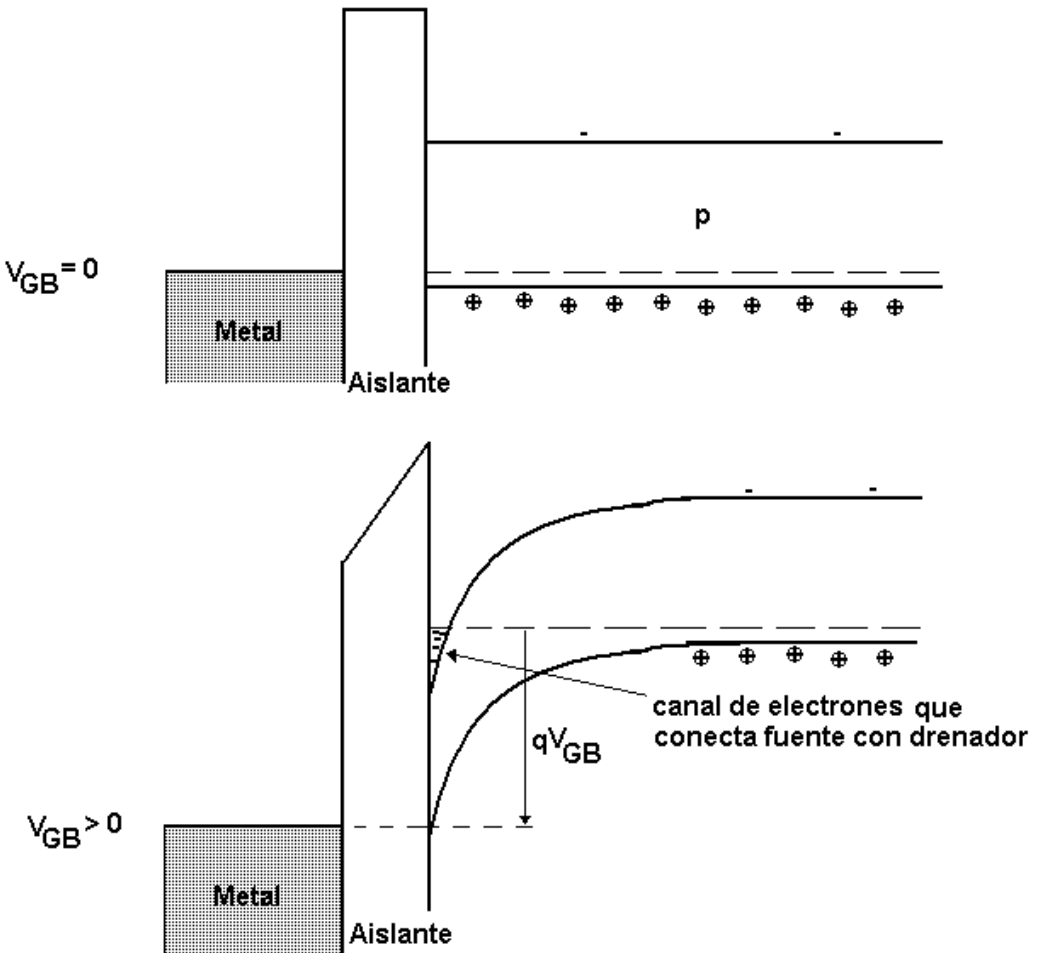
$V_{CE} = V_{CE,sat} \Rightarrow I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE,sat}}{R_C}$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

TRANSISTORES

Modo de funcionamiento del transistor de efecto campo: la estructura MOS

MOSFET (Metal Oxide Semiconductor)



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

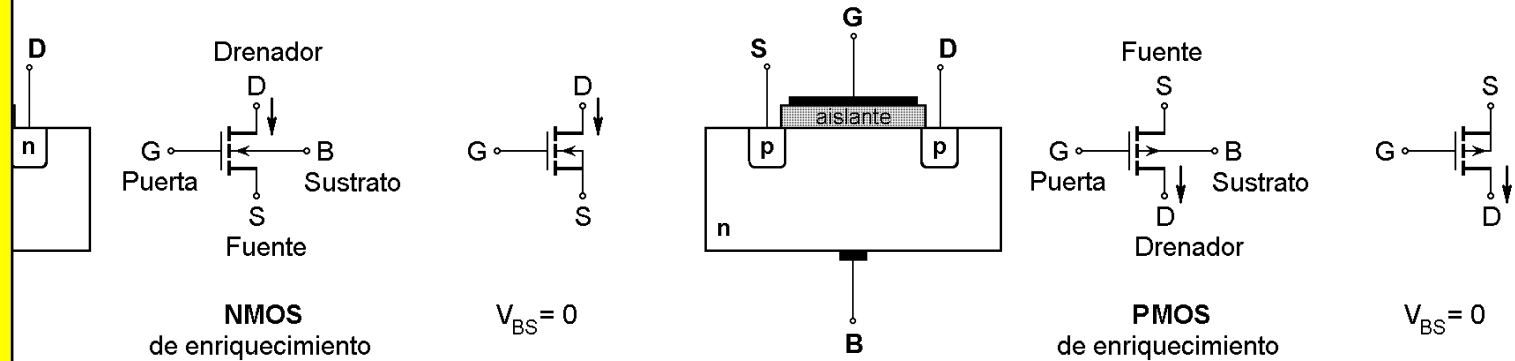
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



TRANSISTORES

El transistor de efecto campo de la familia MOSFET (*metal-oxide-semiconductor field effect transistor*) es un dispositivo semiconductor de cuatro terminales, de funcionamiento no lineal, en el que la conducción entre dos zonas o terminales del dispositivo se realiza a través de un canal, cuya anchura se regula a través de la tensión entre los otros dos terminales.

Tipos y terminales (dispositivos de enriquecimiento)



La corriente sólo puede circular entre fuente (S) y drenador (D), debido al óxido de la puerta (G) \Rightarrow sólo familia de curvas características de salida

Para que haya corriente es necesario comunicar eléctricamente S y D

El terminal de sustrato (B) se conecta a la fuente (S), quedando sólo dos terminales independientes en el dispositivo

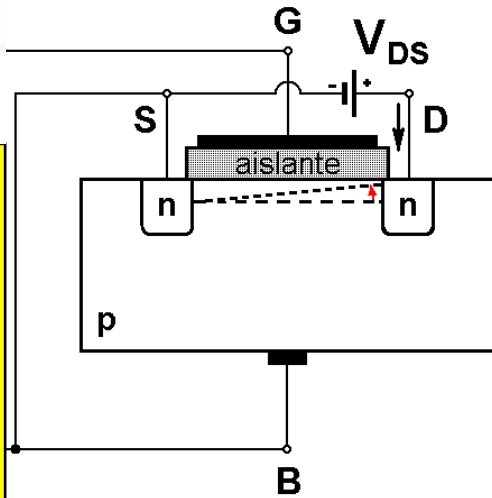
Se verifican las L.K.: $I_D = I_S$

$$V_{DS} - V_{GS} = V_{DG}$$

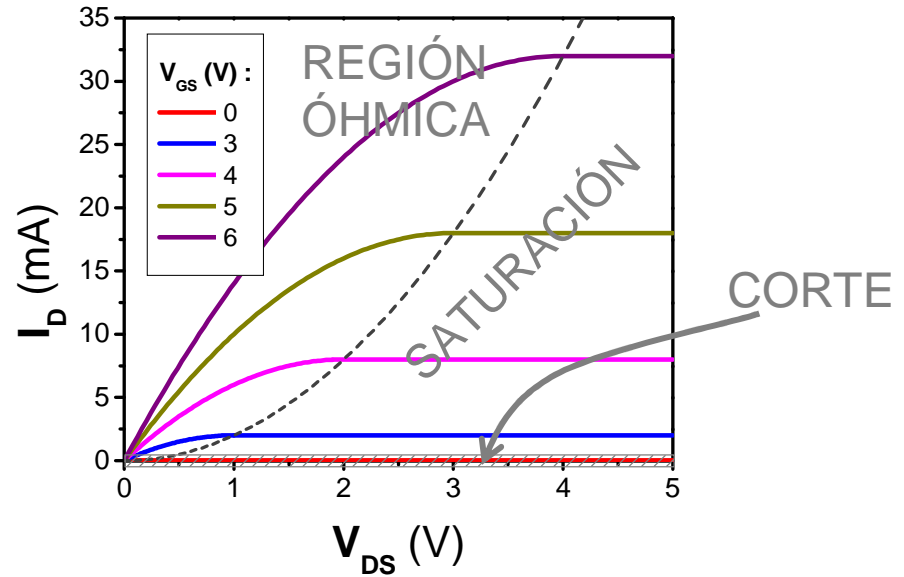
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

TRANSISTORES

Diagrama de curvas características de salida y regiones de funcionamiento



Curvas características típicas



> corte: $i_D=0$; $V_{GS} > V_T$ (tensión umbral) \Rightarrow "canal" de carga \rightarrow conducción
 de conducción:

> región óhmica ($V_{DS} < V_{GS} - V_T$): comportamiento resistivo controlado por tensión

$$i_D = K[2(v_{GS} - V_T)v_{DS} - v_{DS}^2]$$

> saturación ($V_{DS} > V_{GS} - V_T$): comportamiento de fuente de corriente dep.

$$i_D = K(v_{GS} - V_T)^2$$

> esto se debe a la estrangulación del canal en el drenador cuando $V_{DS} = V_{GS} - V_T$

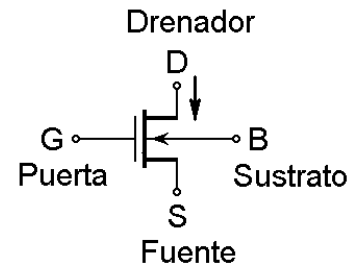
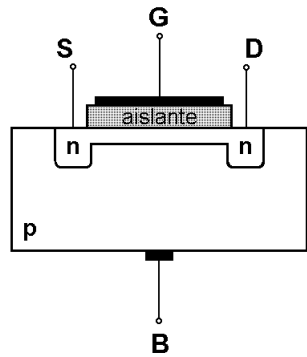
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

TRANSISTORES

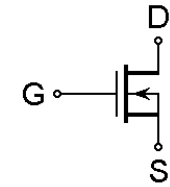
Transistores de canal N y P (dispositivos de empobrecimiento o vaciamiento)

El funcionamiento de un transistor de canal N (de empobrecimiento) es análogo al de un transistor de canal P (de empobrecimiento), pero se construyen con un canal de tipo N y una fuente y drenador de tipo P $\Rightarrow i_D > 0$ con $V_{GS} = 0$

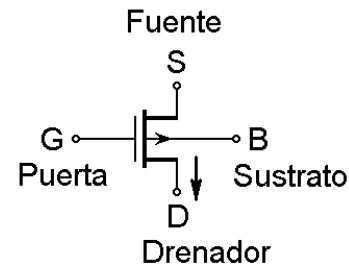
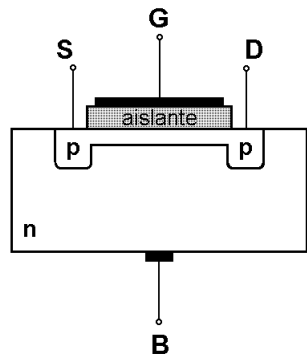
Una polarización de $V_{GS} \neq 0$ hace aumentar o disminuir la anchura del canal ya presente



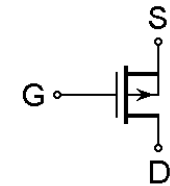
NMOS
de deplexión



$V_{BS} = 0$



PMOS
de deplexión



$V_{BS} = 0$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70