

Tecnología de Computadores

1º Curso del Grado en Ingeniería Informática



Tema 1. PARTE 1ª

Semiconductores. Principios básicos.

Prof. Rafael López de Ahumada. DIESIA

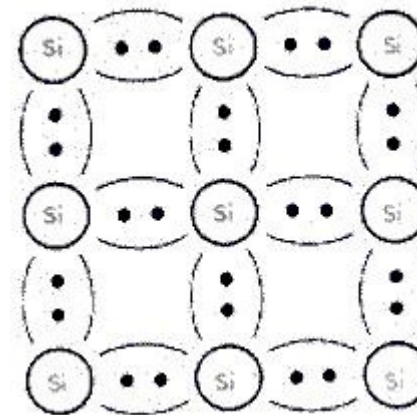
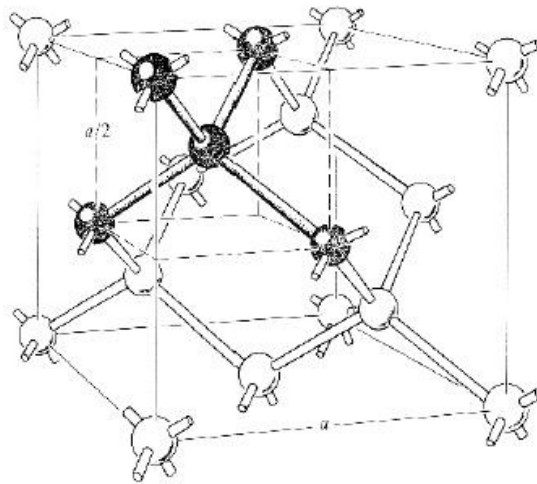
- **CONDUCTORES, AISLANTES Y SEMICONDUCTORES**
- **TIPOS DE SEMICONDUCTORES**
- **LA UNIÓN P-N**
- **DIODOS**
- **TRANSISTORES BIPOLARES BJT**

CONDUCTORES, AISLANTES Y SEMICONDUCTORES

- Una de las propiedades características de los materiales es la resistividad (ρ), que es la inversa de la conductividad (σ).
- En función del valor de dicha propiedad los materiales son:
 - SEMICONDUCTORES $\rho \approx 10^{-2}$
 - CONDUCTORES $\rho \approx 10^{-6}$
 - AISLANTES $\rho \approx 10^4$
- DIFERENCIAS PRINCIPALES
 - ✓ SEMICONDUCTORES
 - Tienen dos tipos de portadores: electrones y huecos.
 - Al aumentar la temperatura disminuye la resistividad.
 - ✓ CONDUCTORES
 - Tienen un solo tipo de portador: electrones.
 - Al aumentar la temperatura aumenta la resistividad.

SEMICONDUCTORES

- Los SEMICONDUCTORES son sólidos cristalinos con enlaces covalentes.
- Podemos distinguir:
 - ✓ Elementales: Si, Ge.
 - ✓ Compuestos: AsGa, PGa, OZn, y otras aleaciones.
- La estructura cristalina del Si, base de la "inteligencia artificial", es idéntica a la del C, base de la "inteligencia humana": se trata de la *estructura diamantina*.

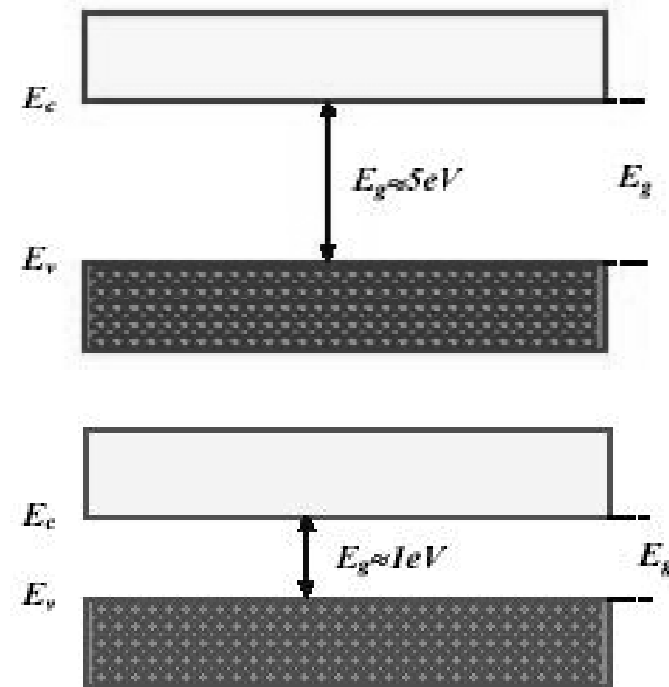
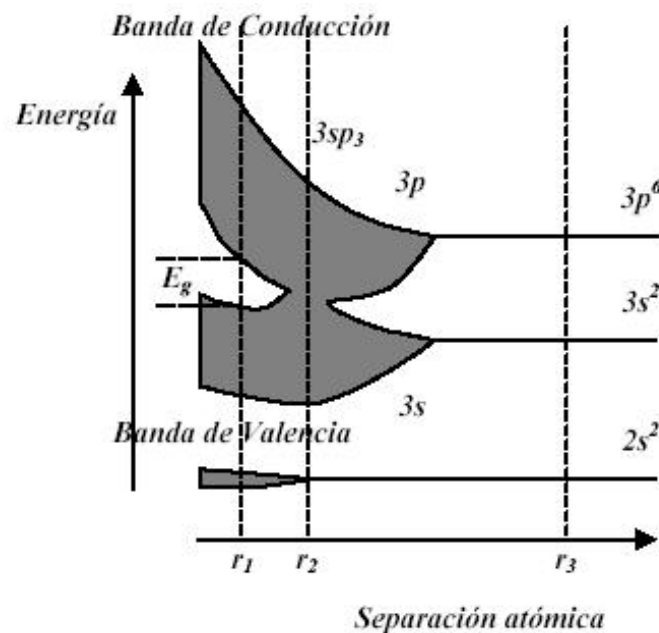


SEMICONDUCTORES

- Para estudiar las propiedades de conducción de los semiconductores se utiliza el modelo de **Bandas de Energía**, basado en la aglomeración de los diferentes niveles de energía de los orbitales atómicos.
- Tres tipos de bandas:
 - ✓ Banda de Electrones de Valencia (BV)
 - ✓ Banda de Electrones de Conducción (BC)
 - ✓ Banda Prohibida (BP) o gap
- La distancia que define la periodicidad de una red cristalina, determina el grado de interacción entre los electrones de los orbitales externos (valencia).
 - ✓ Las Bandas de Conducción y de Valencia pueden adoptar diferentes configuraciones, dependiendo si quedan separadas por una Banda Prohibida, o si resultan solapadas así como por el grado de ocupación de los orbitales contenidos en cada capa

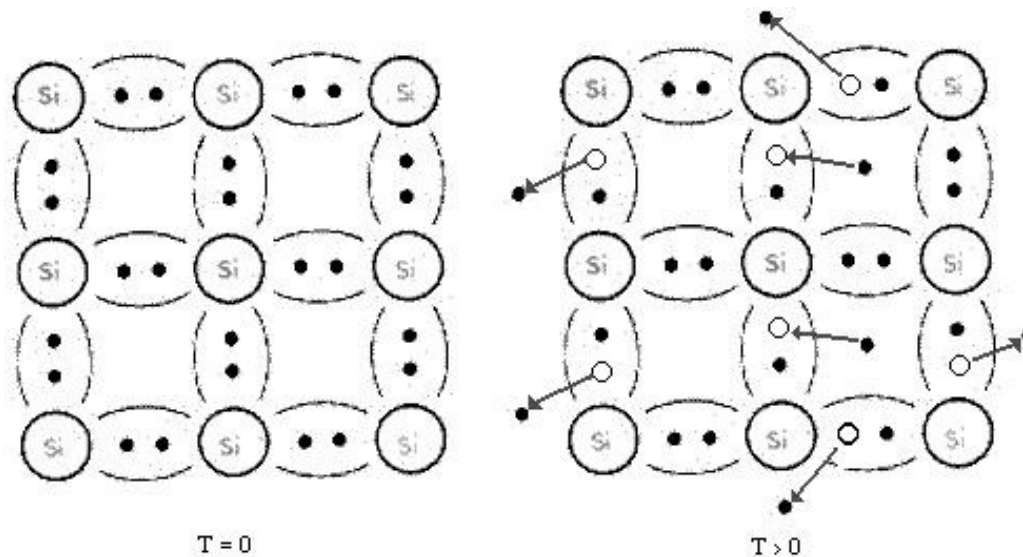
SEMICONDUCTORES

- Así, si la distancia de cristalización se correspondiese con r_1 las Bandas de Conducción y de Valencia quedarían separadas por una Banda Prohibida de valor E_g (energía del gap).
 - Estos materiales no son conductores de modo espontáneo
 - ✓ Si el valor de E_g supera los 5 eV, el material tiende a ser aislante
 - ✓ Si el valor de E_g está en torno a 1eV, el material puede conducir



SEMICONDUCTORES

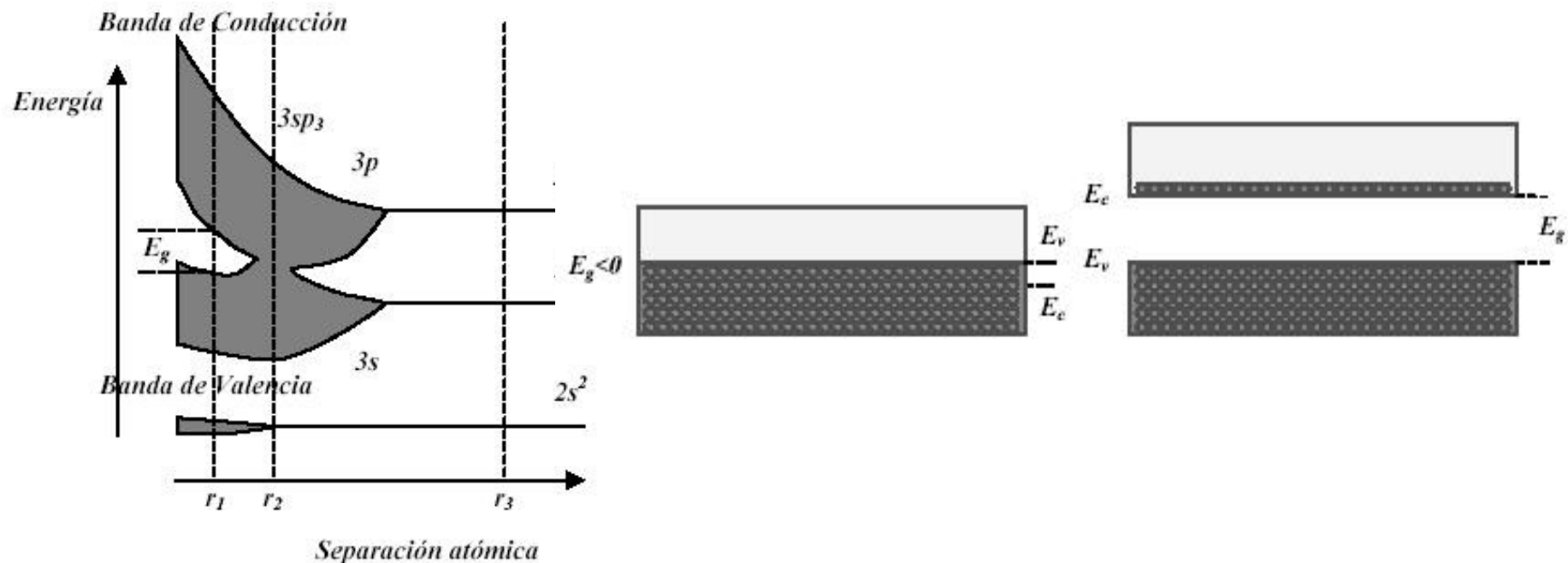
- Ese el caso del **Si**, algunos estados en la Banda de Conducción pueden ser ocupados por electrones que hayan saltado desde la Banda de Valencia y en este caso el material será débilmente conductor.
 - ✓ pero sólo a partir de una cierta temperatura, ya que a 0°K el material será totalmente aislante.



- A este tipo de materiales se le denomina Semiconductores

SEMICONDUCTORES

- Si la distancia de cristalización corresponde al caso r_2 da lugar a un solapamiento de la Banda de Conducción y la de Valencia, y en este caso los electrones pueden moverse con total libertad, pues romper un enlace para conducir requiere muy poca energía, y a temperaturas fuera de los 0°K esto sucede de forma natural.



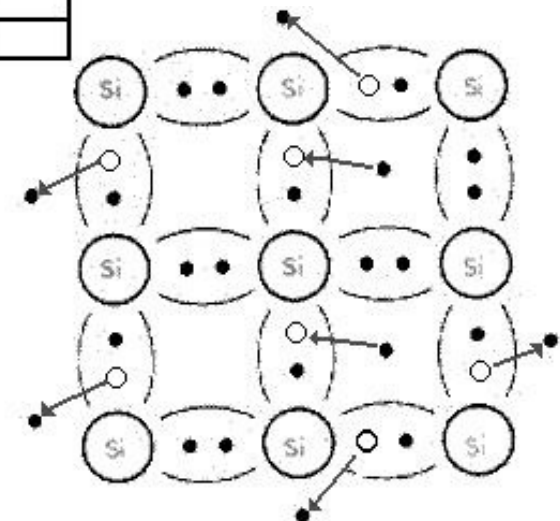
- Este material es de tipo Conductor.

TIPOS DE SEMICONDUCTORES

- Los **Semiconductores Intrínsecos** son aquellos materiales que presentan una conductividad nula a bajas temperaturas, pero que pueden ser débilmente conductores a temperatura ambiente.
- Algunos de los semiconductores intrínsecos, o en estado de máxima pureza más conocidos son el Silicio (Si), el Germanio (Ge), o el Arseniuro de Galio (AsGa).

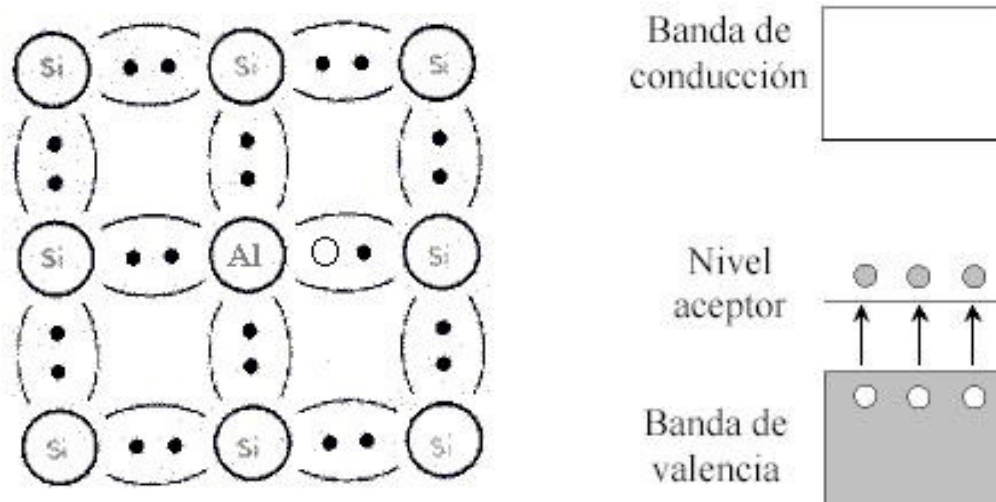
Símbolo	Nombre	Ancho BP (eV)	Mov. elec. ($\text{cm}^2/\text{V.s}$)	Mov. huecos ($\text{cm}^2/\text{V.s}$)	Dist. crist. (Å)
SPb	Galena	0,37	575	200	5,93
SZn	Blenda	3,60	110	-	5,41
Ge	Germanio	0,67	3900	1900	5,65
Si	Silicio	1,11	1350	480	5,43
AsGa	Arseniuro de Galio	1,43	8500	400	5,65

- En este tipo de semiconductor existe un equilibrio entre el número de **electrones** libres (**n**) el número de **huecos** libres (**p**)



TIPOS DE SEMICONDUCTORES

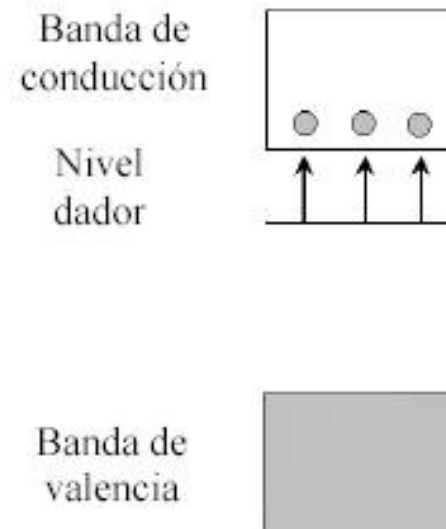
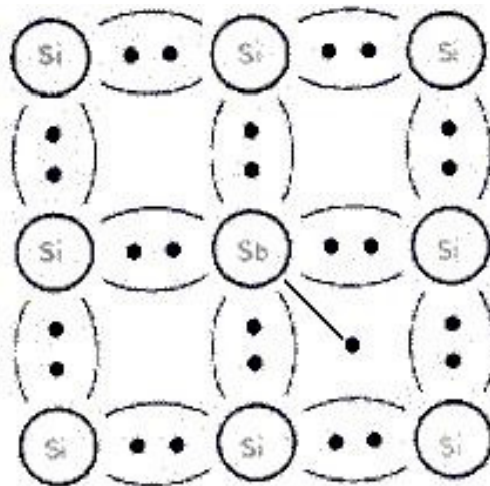
- Los semiconductores **extrínsecos**, son aquellos en que se ha introducido un elemento contaminante, llamado impureza, que cambia drásticamente las propiedades de conducción del material intrínseco, reduciendo enormemente la resistividad del mismo.
- Si el material contaminante es del tipo III (B, Al, Ga, In), los átomos de dicho material completan solamente tres enlaces covalentes, quedando un enlace covalente incompleto, que puede ser completado por un electrón de un orbital vecino de un átomo de Si con una pequeña aportación de energía del entorno. Si esto sucede, se genera un hueco. El material recibe el nombre de acentador.



- El semiconductor tiene entonces un exceso de huecos ($n < p$). Se trata de un tipo **p**.

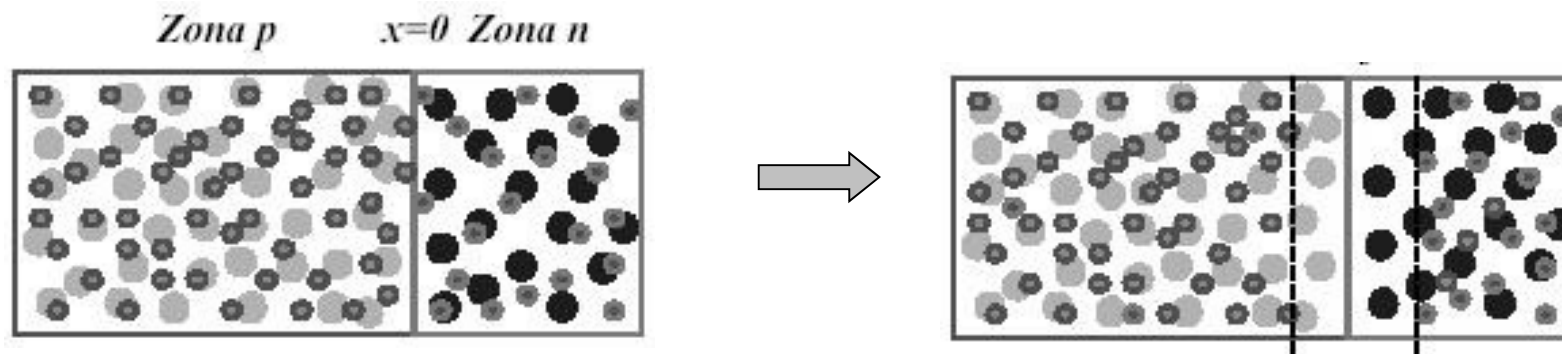
TIPOS DE SEMICONDUCTORES

- Si la impureza es del grupo V (P, As, Sb) se completarían los cuatro enlaces covalentes con los cuatro átomos vecinos de Si, sobrando un electrón débilmente ligado, que podría pasar a la Banda de Conducción.
- Este tipo de material recibe el nombre de **donador** y al existir un exceso de electrones ($n > p$) el semiconductor es del tipo **n**.



LA UNIÓN P-N

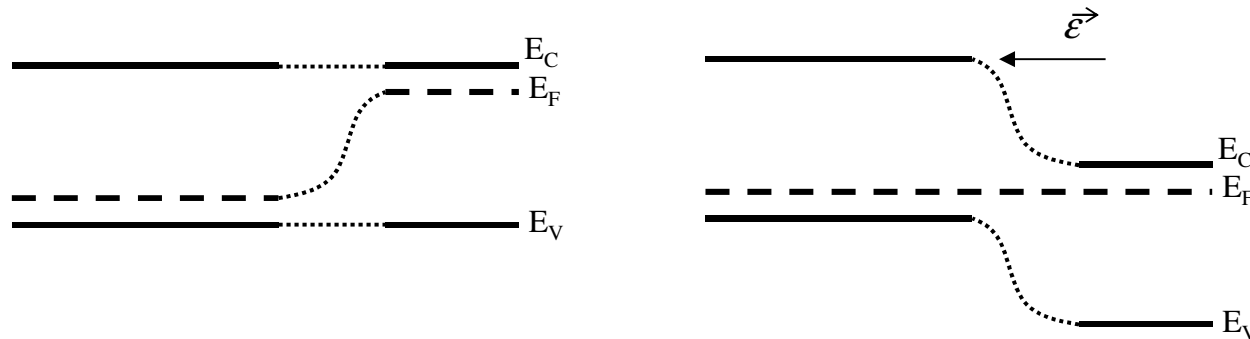
- Se trata de la unión de un semiconductor tipo **p** y uno de tipo **n**.
- Su fruto será la obtención de un dispositivo semiconductor llamado **diodo de unión**.
- Cuando un semiconductor de tipo n y otro del tipo p se “unen”, las concentraciones inicialmente desiguales de electrones y huecos dan lugar a una transferencia de **electrones** a través de la unión desde el lado p al n y de **huecos** desde el lado n al p.



- En la unión se forma una zona llamada **deplexión**.

LA UNIÓN P-N

- En atención a las bandas de energía E_F debe ser constante, con lo que se produce una curvatura de las bandas de energía.
- Esta curvatura implica la aparición de un campo eléctrico hacia la izquierda, y como consecuencia una variación de potencial en la zona de transición, el potencial de contacto **V_{bi}** .



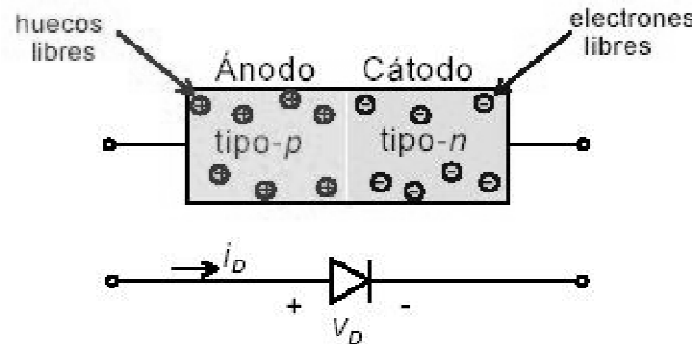
$$V_{bi} = V_T \ln \frac{N_d N_a}{n_i^2}$$

$$V_T = \frac{KT}{q}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} K = 1.381 \times 10^{-23} \text{ J/K} \\ T = 300^\circ \text{ K} \\ q = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C} \\ V_T (T=300\text{K}) = 0.0259 \text{ V} \\ n_i (T=300\text{K}) = 1.45 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3} \end{array} \right.$$

DIODOS

- Un diodo es básicamente una unión p-n.



- Se trata de un dispositivo semiconductor que permite el paso de la corriente en un solo sentido.
- Cuando aplicamos un voltaje externo a la unión que facilite la combinación entre electrones y huecos, la corriente fluye fácilmente.
 - ✓ La unión está entonces directamente polarizada ($V_D > 0$).
- Cuando aplicamos un voltaje opuesto sólo circula una pequeña corriente que puede despreciarse.
 - ✓ La unión está inversamente polarizada ($V_D < 0$).

DIODOS

- Se puede aplicar un voltaje negativo suficientemente grande como para forzar la corriente en sentido inverso, se entra entonces en una zona de ruptura o avalancha.
- La característica I-V del diodo es:



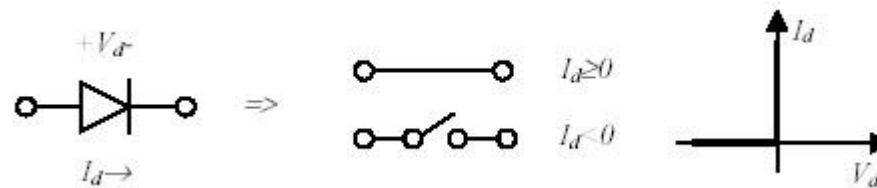
- V_F es la tensión directa de polarización y vale unos 0.7 V. V_B es la tensión de ruptura y varía entre 3.3 V y algunos kV.
- En polarización inversa la corriente que fluye por el diodo es negativa y con un valor $I_S \cong 10^{-12}$ A.
- Se puede modelar por la ecuación de Shockley:

$$I_D = I_S (e^{V_D/nV_T} - 1) \quad V_D = nV_T \ln\left(\frac{I_D}{I_S} + 1\right)$$

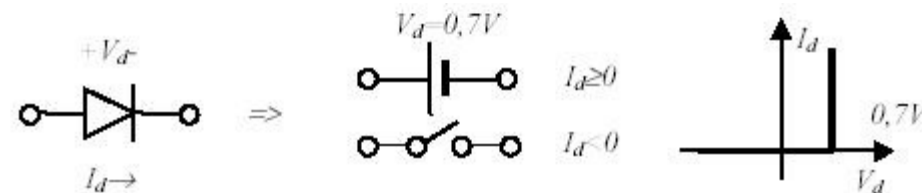
DIODOS: MODELOS MATEMÁTICOS

- Debido a la complejidad de la ecuación de Shockley, en la resolución de circuitos con diodos se suelen usar otros modelos más simples:

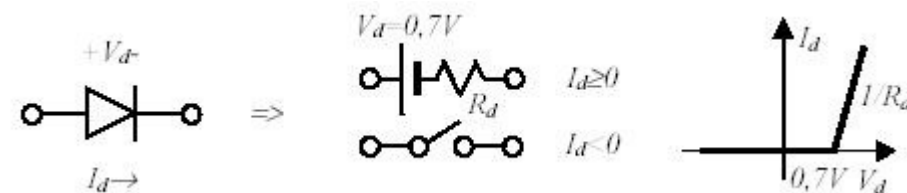
- ✓ Modelo Elemental de Conmutador de Corriente



- ✓ Modelo de Conmutador de Corriente con caída de Tensión

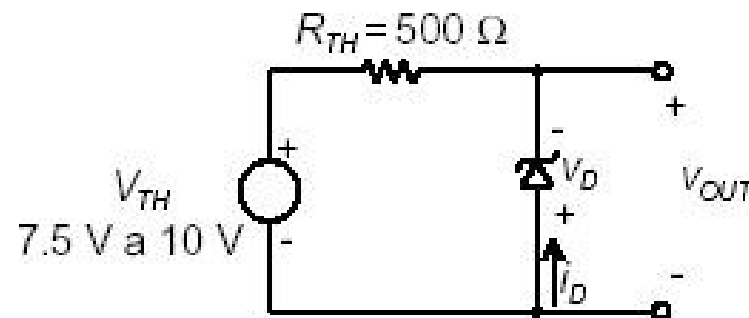


- ✓ Modelo de Conmutador de Corriente con caída de Tensión y Resistencia Equivalente



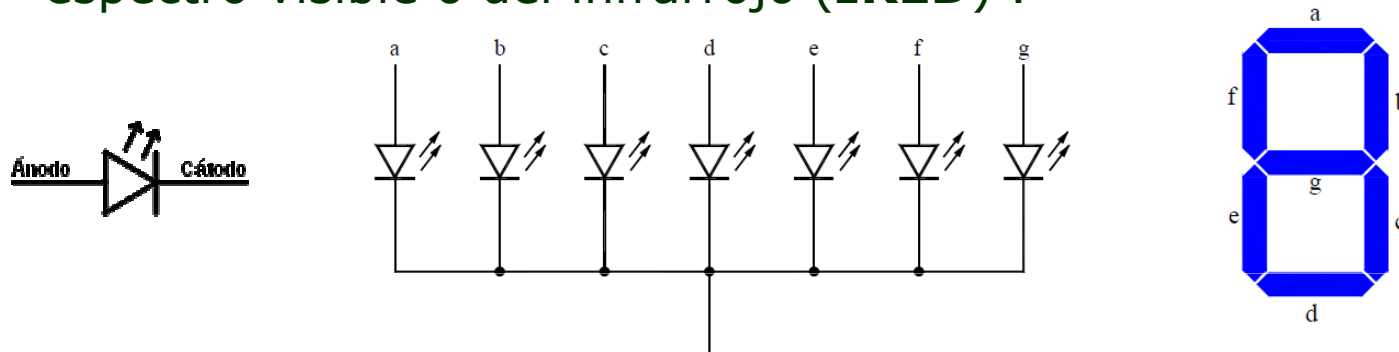
TIPOS DE DIODOS: ZENER

- Se trata de un diodo que suele trabajar en la zona de ruptura.
 - Cuando la tensión de ruptura V_B está por debajo de los 10V se suele denominar tensión **Zener** V_Z .
-
- ✓ El diodo se comporta como una fuente de alimentación con valor V_Z bastante estable.
 - ✓ Por ello una de las aplicaciones es la estabilización y regulación de fuentes de tensión

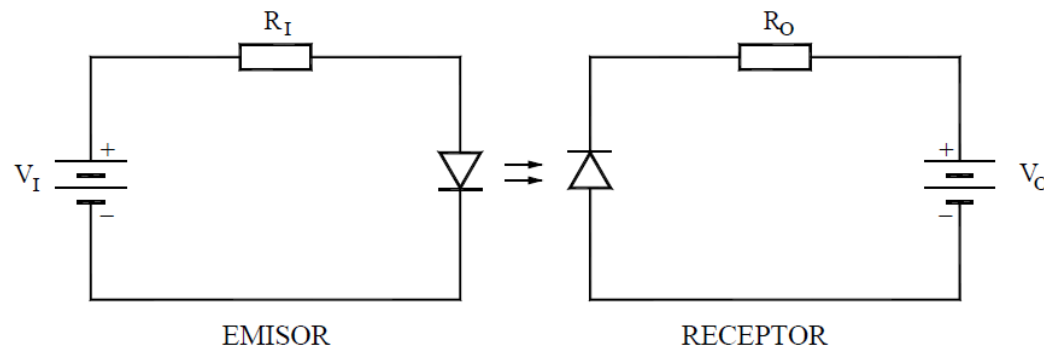


TIPOS DE DIODOS: LED

- Son diodos que emiten Luz (**Light-Emitting Diode**).
 - ✓ La colisión de un electrón con un hueco supone la reconstrucción de un enlace covalente, perdiendo el electrón el exceso de energía que portaba, que resulta emitida en forma de un fotón, bien en el espectro visible o del infrarrojo (**IRED**) .



- ✓ Dicha radiación puede excitar un **foto-diodo**, obligándolo a proporcionar corriente. Un dispositivo así formado es un **optoacoplador**.



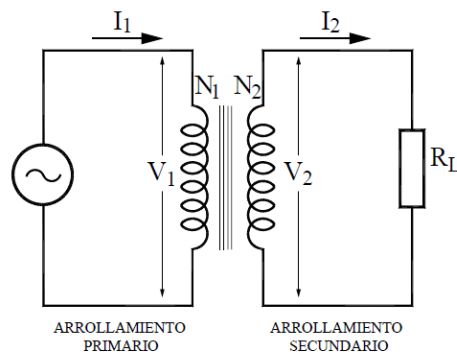
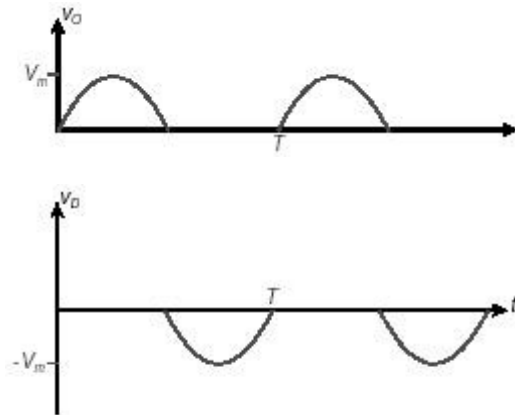
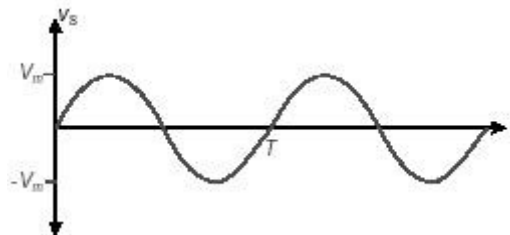
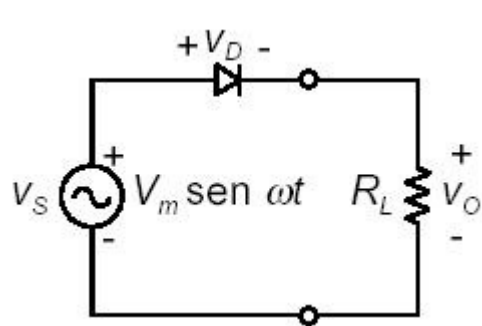
TIPOS DE DIODOS: SCHOTTKY

- El Schottky es un diodo constituido por la unión de un semiconductor tipo n y un metal. Se conoce también como diodo de barrera.
- Ventajas:
 - ✓ conducen más rápidamente (mejor para altas frecuencias)
 - ✓ $V_F \cong 0.35V$.
- Desventajas:
 - ✓ mayor I_s .
 - ✓ menor V_B .
- Su símbolo:



APLICACIONES: RECTIFICADOR DE MEDIA ONDA

- Esta aplicación permite convertir voltaje AC en DC.
 - ✓ Durante el semiciclo positivo el diodo conduce (ON) y durante el semiciclo negativo no (OFF).



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

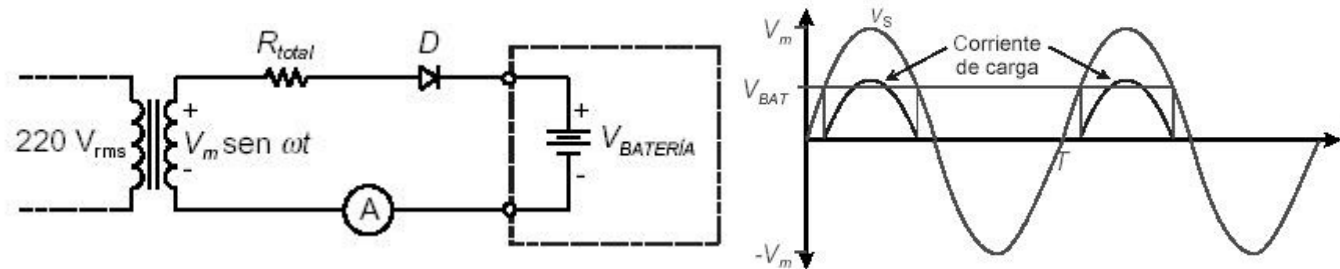
$$V_{\text{eficaz}} = V_{\text{rms}} = \frac{1}{\sqrt{2}} V_P = 0,707 V_P$$

$$V_P = V_{\text{max}}$$

APLICACIONES: RECTIFICADOR DE MEDIA ONDA

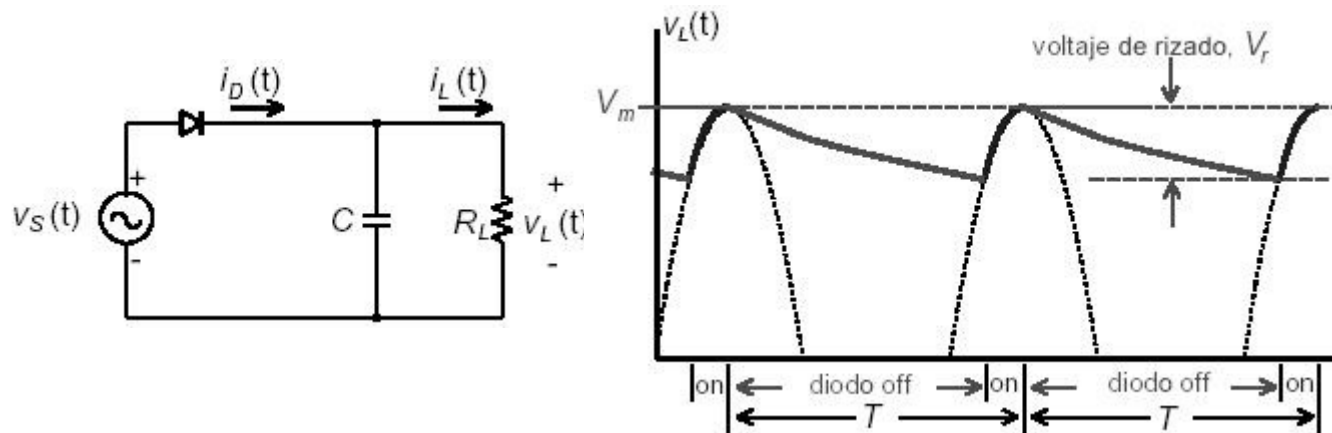
- **CIRCUITO CARGADOR DE BATERIA**

- ✓ La corriente fluye solo cuando $V_m \sin(\omega t) < V_{BAT}$.



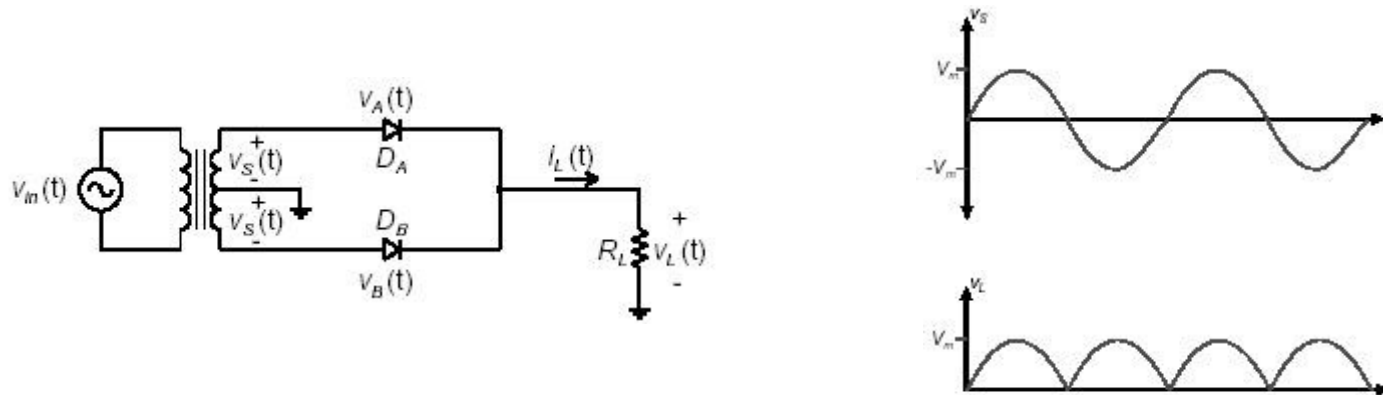
- **RECTIFICADOR FILTRADO**

- ✓ También llamado detector de pico, se construye con un rectificador y un condensador C en paralelo con la carga.
- ✓ El resultado es una señal prácticamente DC.



APLICACIONES: RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA I

- Este circuito usa un transformador con derivación central, creando dos fuentes de entrada efectivas.

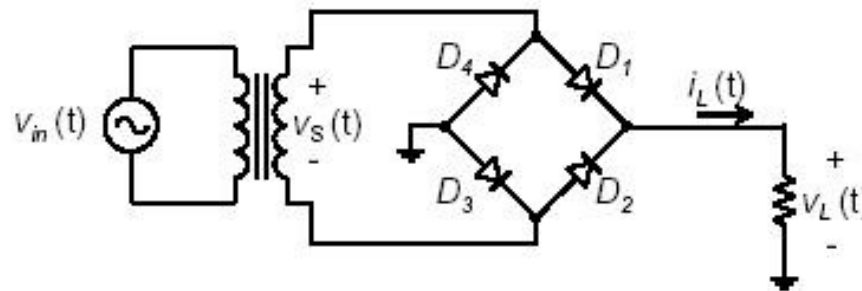


- ✓ Durante el semiciclo positivo D_A (ON) y D_B (OFF). En el semiciclo negativo al contrario.

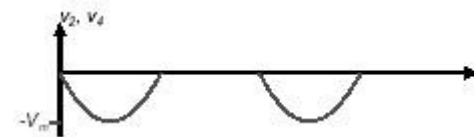
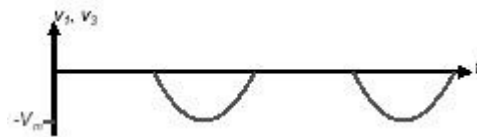


APLICACIONES: RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA II

- En lugar de usar un transformador con derivación central, este circuito usa un puente de diodos, resultando más barato y más moderno.



- Semiciclo positivo: D1 y D3 (ON), D2 y D4 (OFF)
- Semiciclo negativo: D1 y D3 (OFF), D2 y D4 (ON)

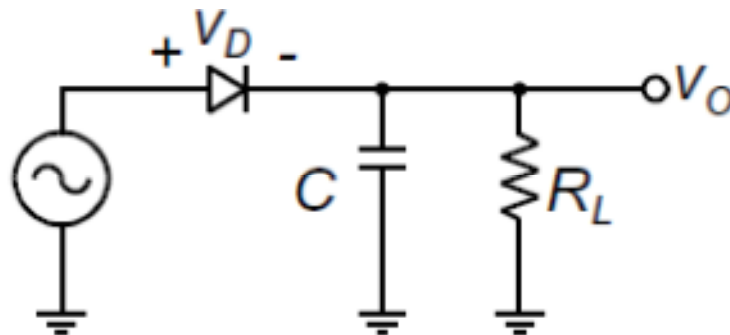


- ✓ Para filtrado, como la salida del rectificador es de “onda completa”, el condensador C se descarga aproximadamente la mitad de tiempo.

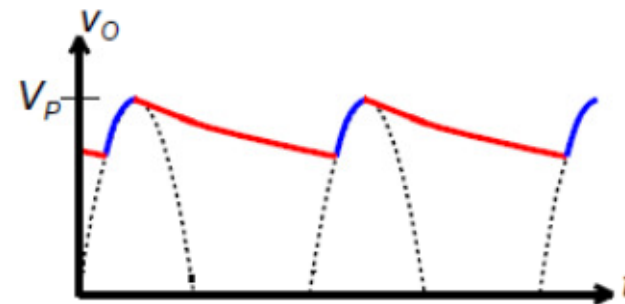
$$C \cong \frac{V_m}{2V_r f R_L} \quad \text{si} \quad V_r \ll 1$$

APLICACIONES: CONVERTIDOR AC-DC

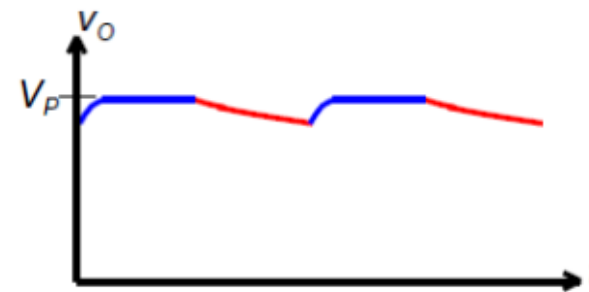
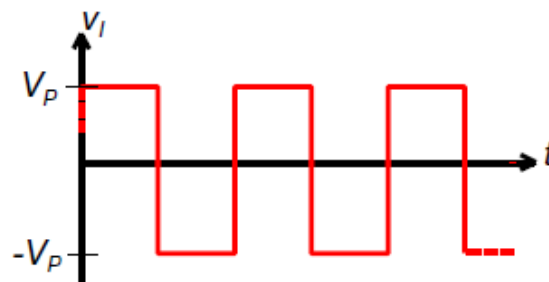
- El circuito rectificador con el condensador es en esencia un circuito que convierte corriente alterna en continua



- Señal de entrada Senoidal

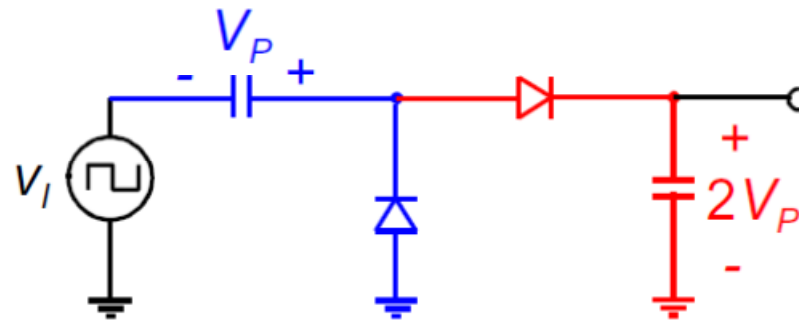


- Señal de entrada Cuadrada

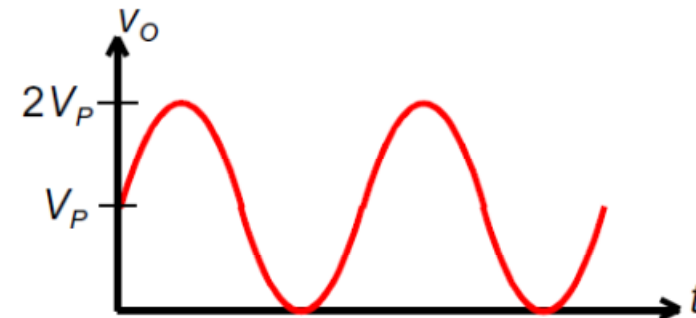
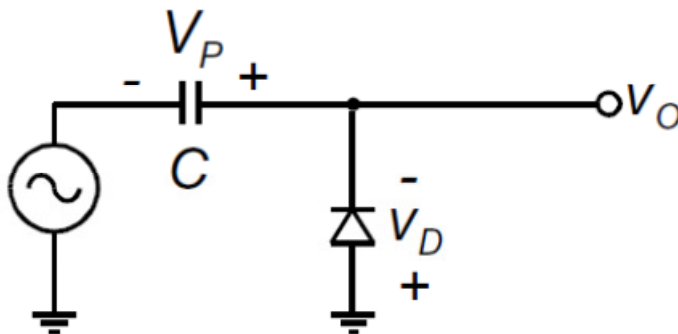


APLICACIONES: CONVERTIDOR DC-DC (multiplicador)

- Los convertidores de DC-DC se denominan también multiplicadores, ya que a la salida se obtiene el valor de la entrada multiplicado n veces.



- Dos etapas:
 - ✓ un cambiador/fijador de nivel.
 - ✓ un rectificador.



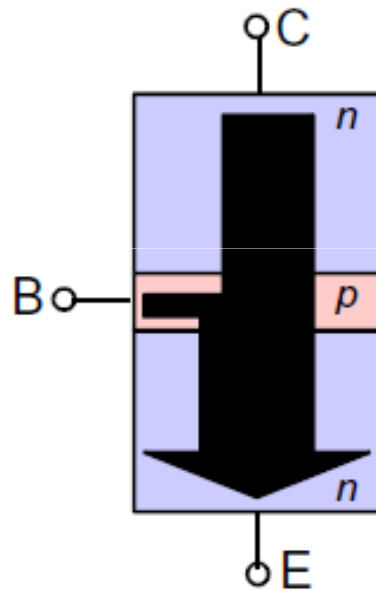
TRANSISTORES BIPOLARES: BJT

- **BJT** significa *Bipolar Junction Transistor* (Transistor de Unión Bipolar).
- Se trata de un dispositivo no lineal semiconductor basado en el diodo de unión p-n.
- Su uso fue frecuente hasta 1975, fecha a partir de la cual se usó más el transistor **MOS**.
- La tecnología bipolar actual hace uso preferentemente de un híbrido **BICMOS**.
- Tienen dos principales aplicaciones:
 - ✓ Como amplificador en circuitos analógicos
 - ✓ Como conmutador en circuitos digitales

TRANSISTORES BIPOLARES: BJT NPN

- **ACCIÓN DE TRANSISTOR:**

- ✓ consiste en la captación de portadores minoritarios provenientes de una unión PN directamente polarizada, que los emite por otra unión PN inversamente polarizada y muy cercana a la anterior.



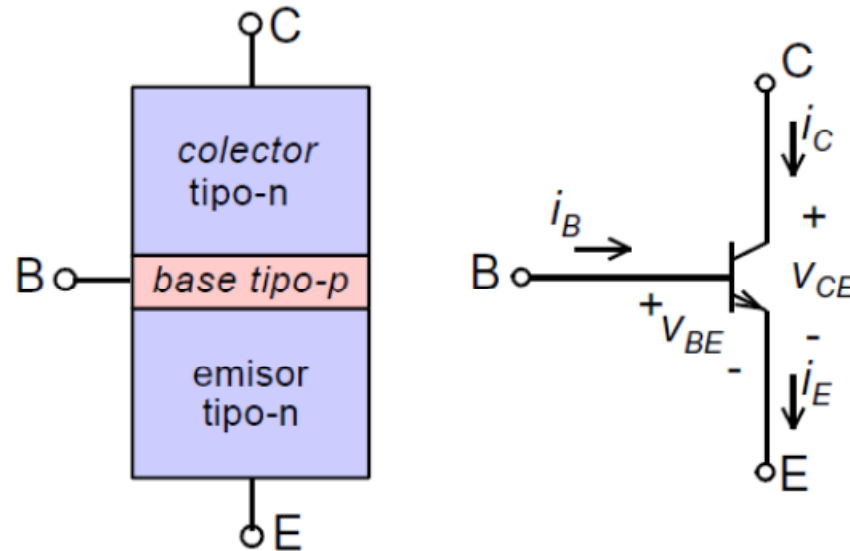
$$I_C = \alpha_F I_E$$

$$I_B = \left(\frac{1 - \alpha_F}{\alpha_F} \right) I_C$$

- Una pequeña corriente en la base proporciona una gran corriente en el emisor: AMPLIFICACIÓN

TRANSISTORES BIPOLARES: BJT NPN

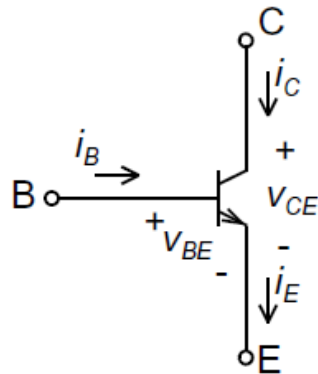
- BJT NPN



REGIÓN	Unión B-E	Unión B-C	Característica
Corte (OFF)	Inversa	Inversa	$I_E = I_B = I_C = 0$
Activa Directa (ZAD)	Directa	Inversa	Amplificador
Saturación (SAT)	Directa	Directa	$V_{CE} \sim 0$
Activa Inversa (ZAI)	Inversa	Directa	Poco uso

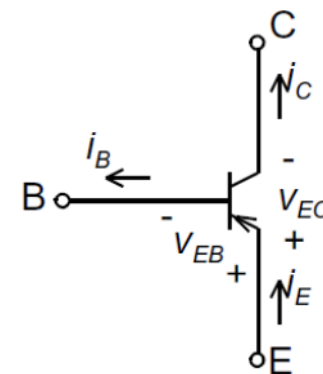
TRANSISTORES BIPOLARES: BJT

- Las ecuaciones matemáticas que describen el comportamiento de los transistores Bipolares son las ecuaciones de **Ebers-Moll**.



$$I_E = I_B + I_C$$

$$V_{CE} = V_{BE} - V_{BC}$$



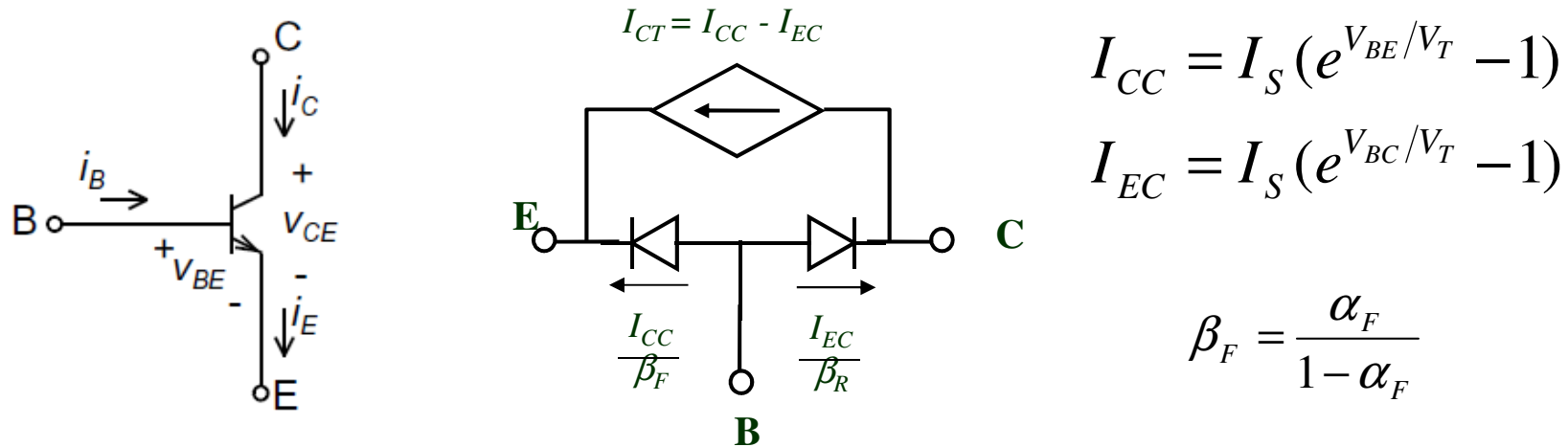
$$V_{EC} = V_{EB} - V_{CB}$$

$$I_C = I_S (e^{V_{BE}/V_T} - 1) - \frac{I_S}{\alpha_R} (e^{V_{BC}/V_T} - 1)$$

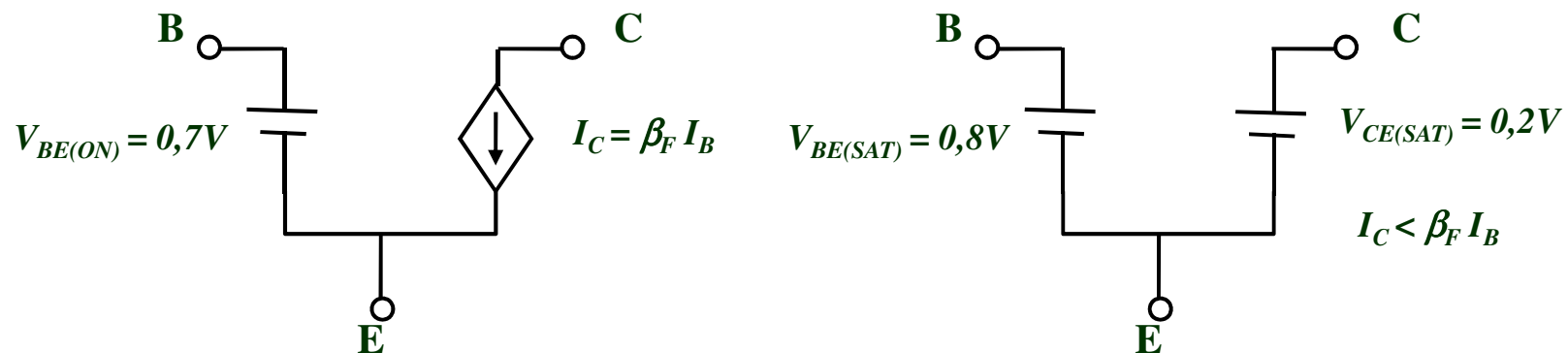
$$I_E = \frac{I_S}{\alpha_F} (e^{V_{BE}/V_T} - 1) - I_S (e^{V_{BC}/V_T} - 1)$$

TRANSISTORES BIPOLARES: BJT NPN

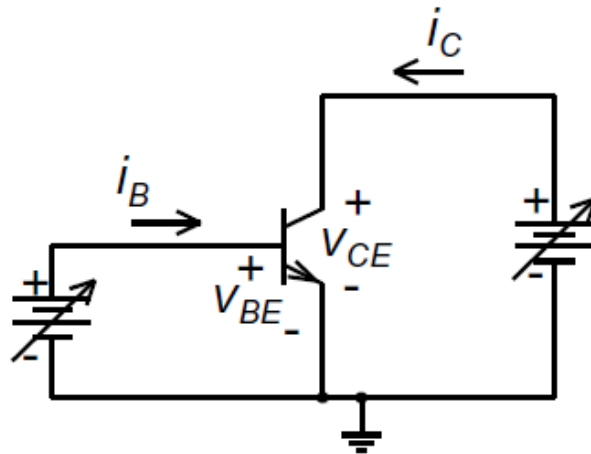
- Modelo matemático en π .



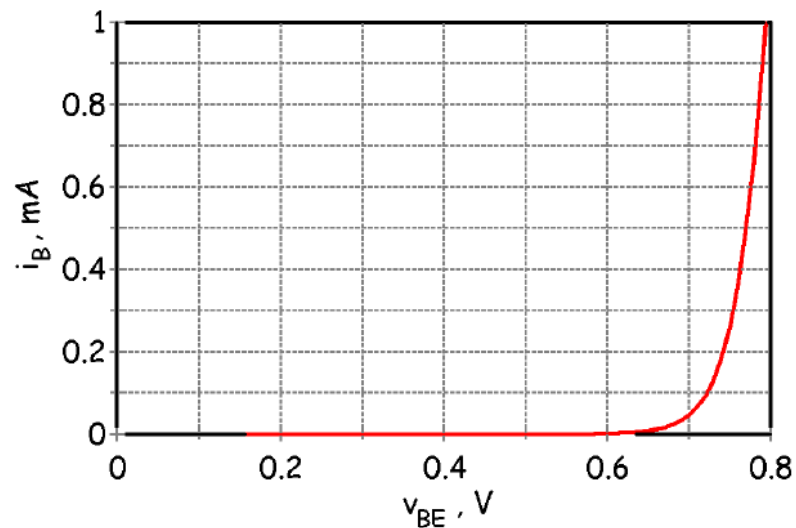
- Modelos Simples en ZAD y SAT.



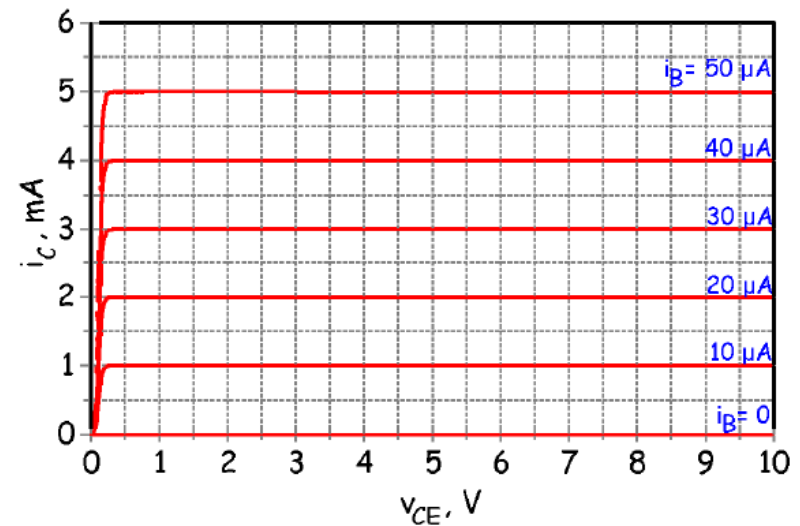
TRANSISTORES BIPOLARES: BJT NPN



Característica de Entrada

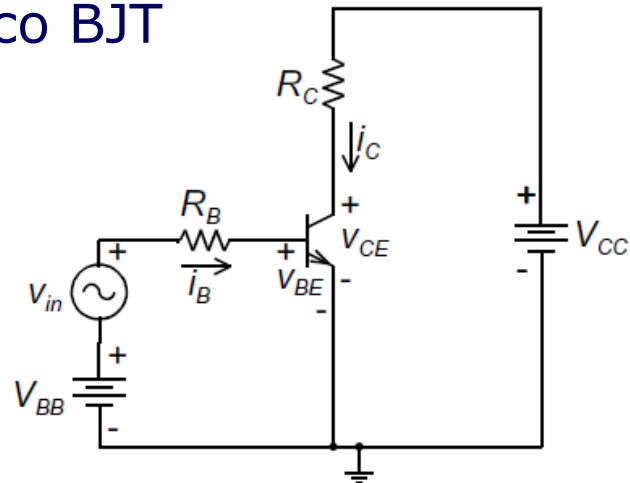


Característica de Salida.

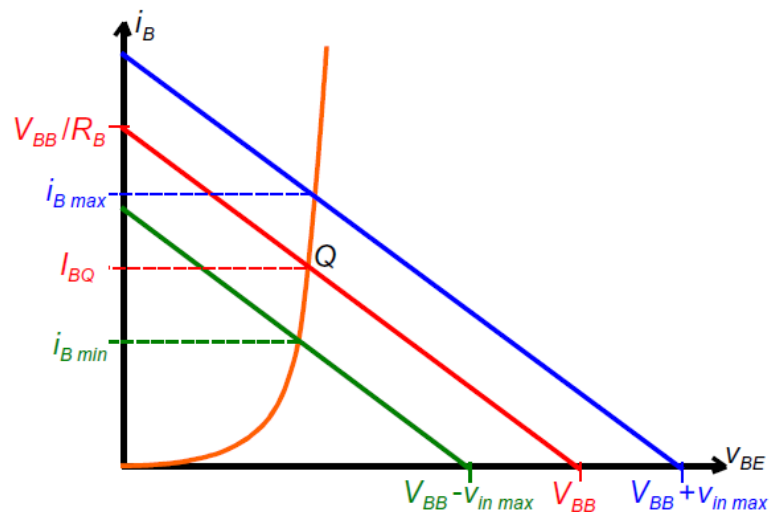


TRANSISTORES BIPOLARES: BJT NPN

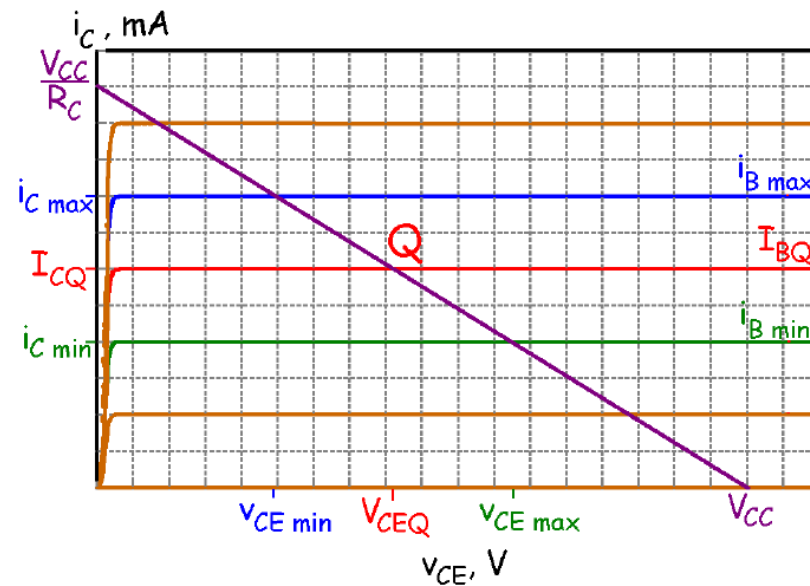
- Amplificador Básico BJT



Recta de Carga de Entrada

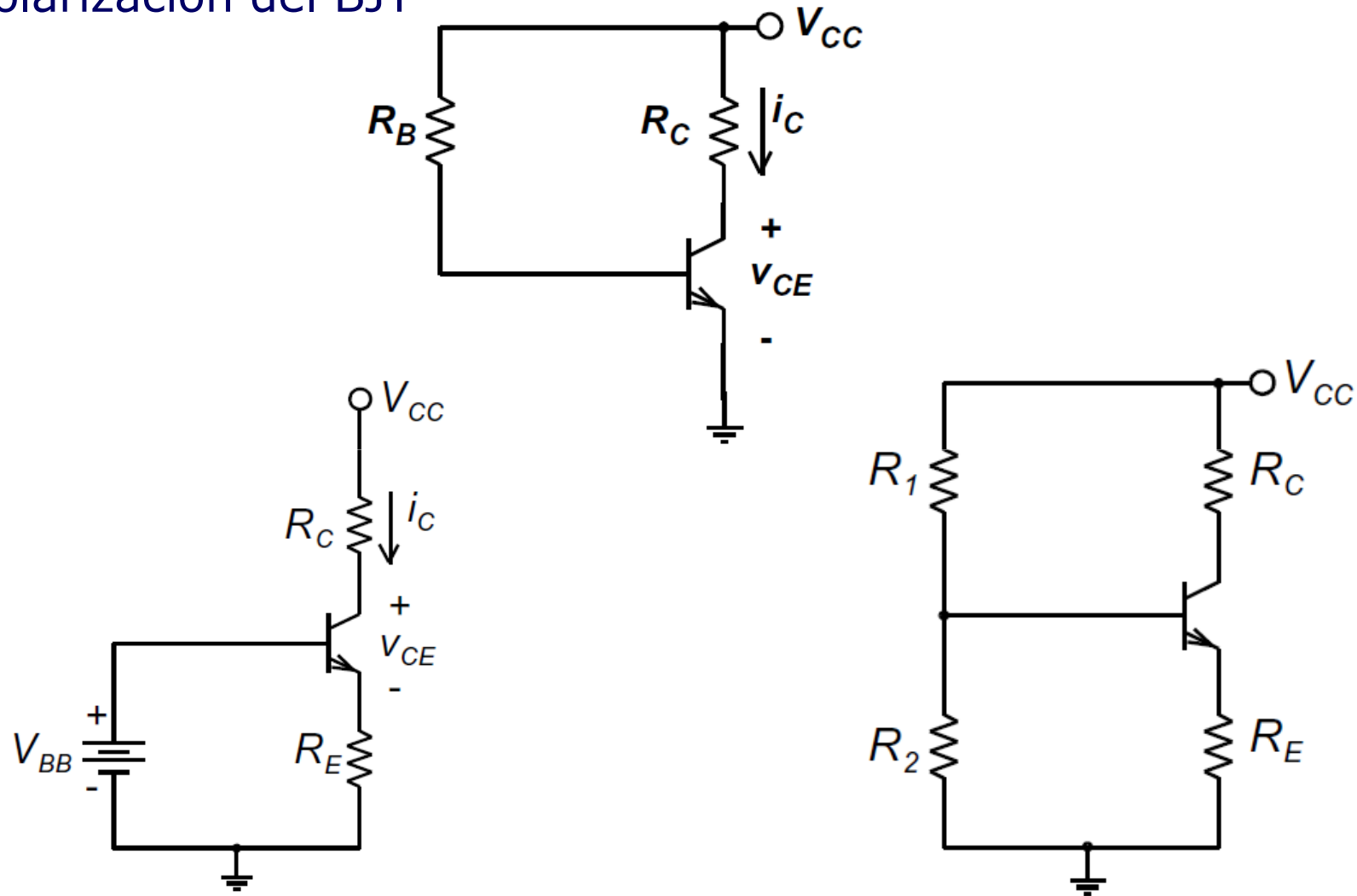


Recta de Carga de Salida.



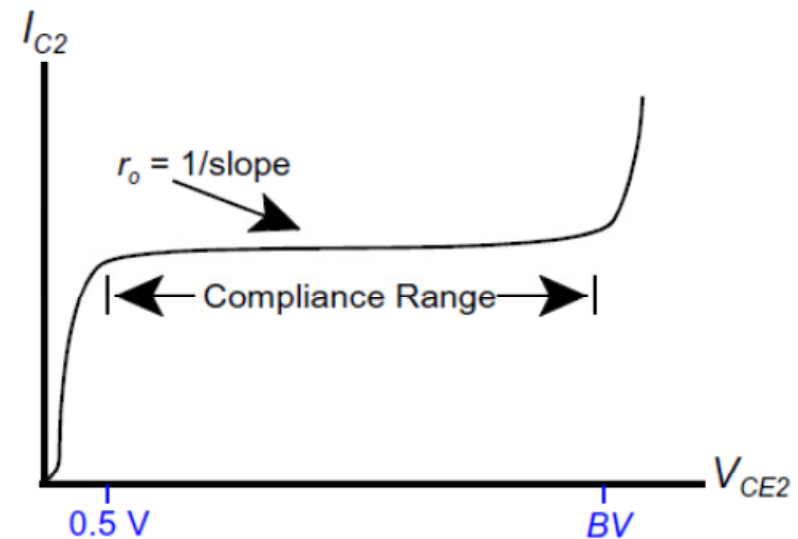
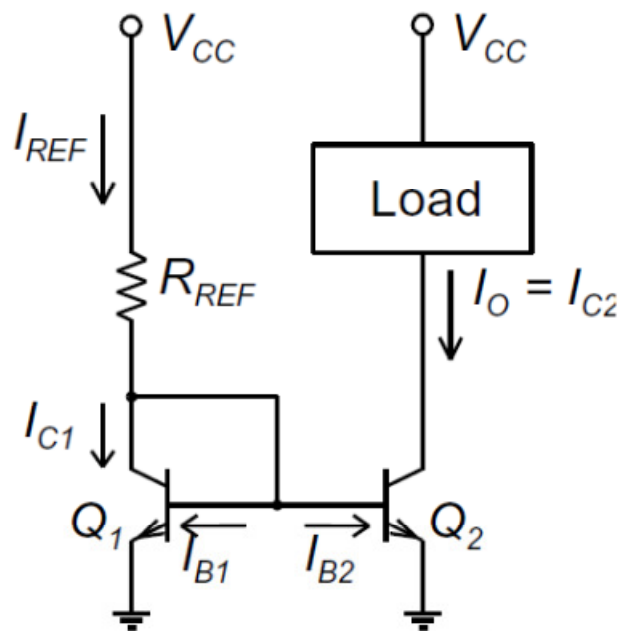
TRANSISTORES BIPOLARES: BJT NPN

- Polarización del BJT



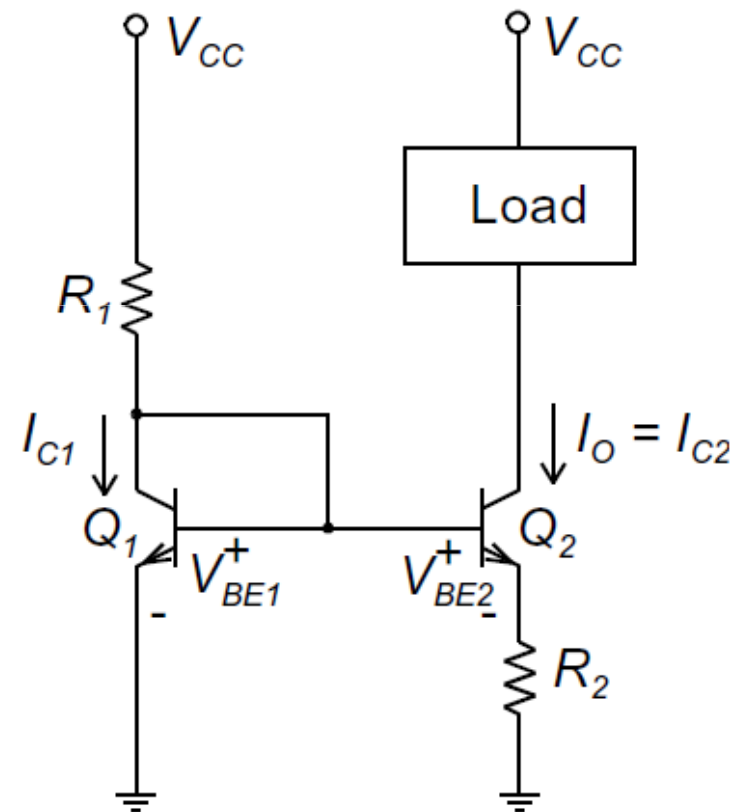
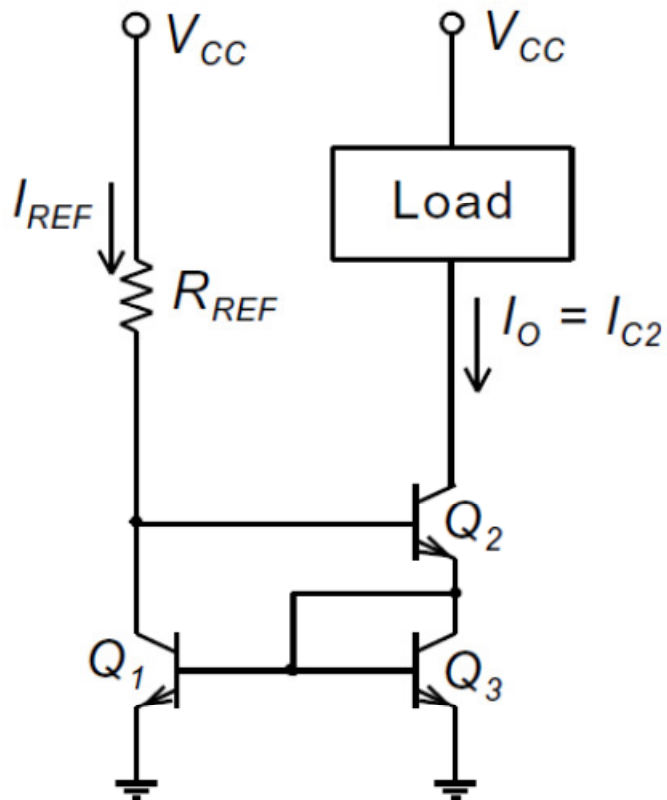
APLICACIONES BJT (I)

- Espejo de Corriente Básico



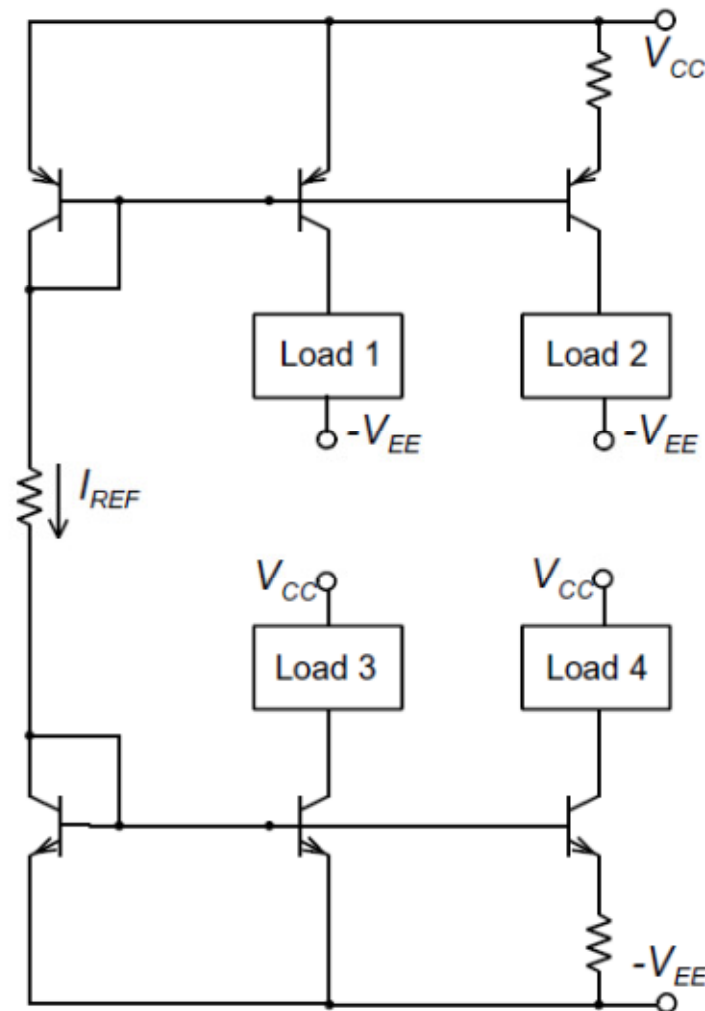
APLICACIONES BJT (II)

- Espejo de Corriente **WILSON** y Espejo de Corriente **WIDLAR**



APLICACIONES BJT (III)

- Espejo de corriente múltiple



Tecnología de Computadores

1º Curso del Grado en Ingeniería Informática



**Universidad
de Huelva**

Tema 1

**Semiconductores.
Principios básicos.**

Fin de la primera parte

Prof. Rafael López de Ahumada. DIESIA