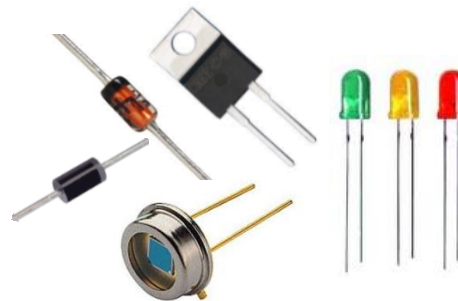




Electrónica Analógica

Capítulo 9: **Diodos**

Estructura, modelos y aplicaciones.





1. Introducción a los semiconductores

Materiales y propiedades. Nomenclatura.

2. Diodos de semiconductor

Estructura interna: curvas características

El diodo en gran señal. Aplicaciones.

Modelos y márgenes de funcionamiento.

3. Diodos zener

Zonas de funcionamiento.

4. Aplicaciones típicas

Conformación de ondas. Rectificadores.

5. Otros diodos

Introducción. Schottky y optoelectrónicos



Referencias



- ❑ Material de estudio:

- N. R. Malik, Circuitos Electrónicos

- *Capítulo 3, secciones 3.7, 3.9, 3.10 y 3.14*

- ❑ Otras referencias:

- Sedra Smith, Circuitos Microelectrónicos (4ª ed.)

- *Capítulo 3, secciones 3.1 a 3.2, y 3.4 a 3.9.*

- Hambley, Electrónica

- *Capítulo 3, secciones 3.1 a 3.8*



Índice de la sección actual



1. Introducción a los semiconductores

[Ver asignatura 600007- Ciencia de los Materiales]

- Clasificación de los materiales en función de su conductividad eléctrica
- Materiales semiconductores
- Semiconductores intrínsecos y extrínsecos
- Corriente eléctrica en semiconductores

2. Diodos de semiconductor

3. Diodos Zener

4. Aplicaciones típicas

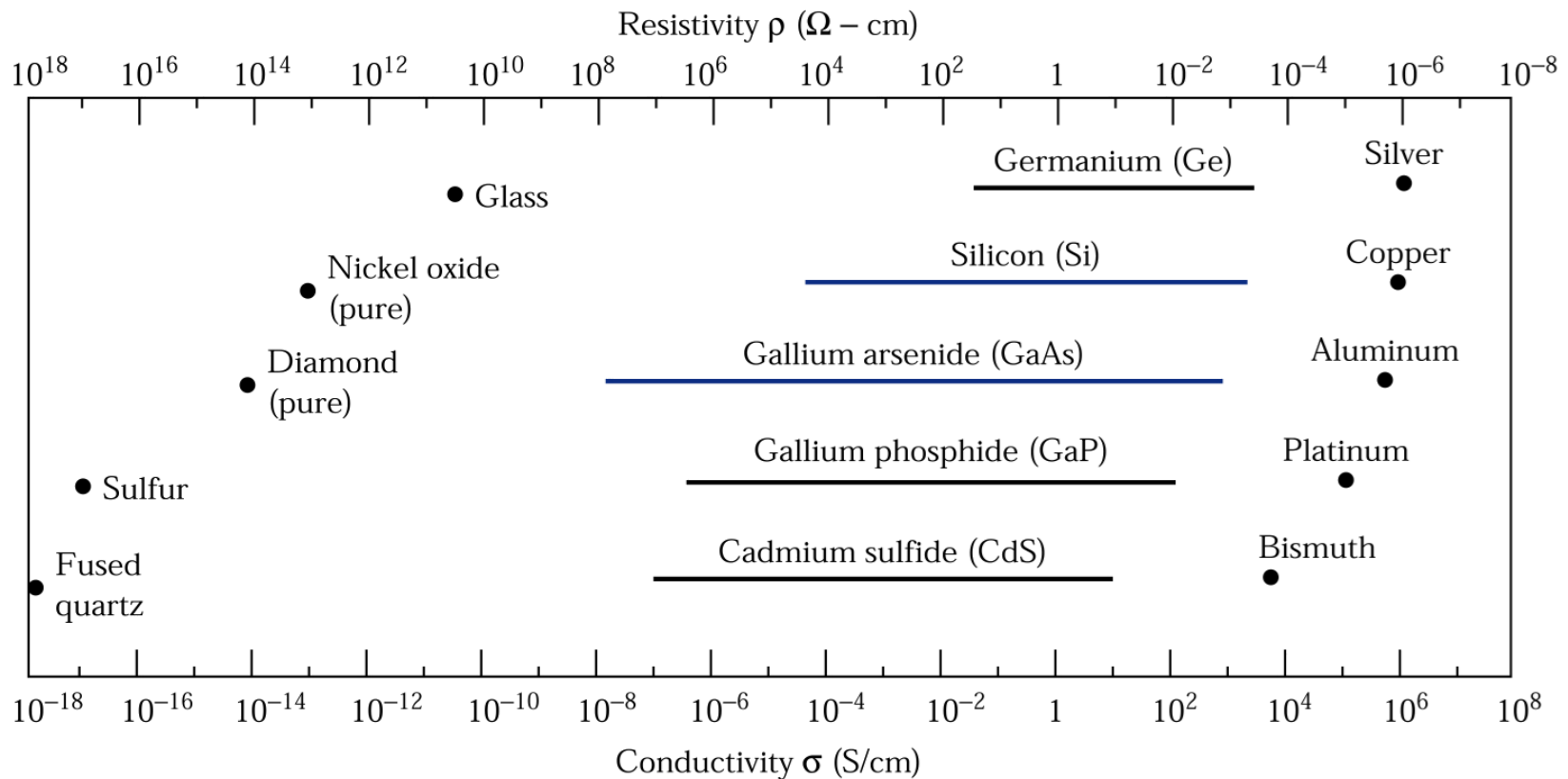
5. Otros diodos



1.1. Introducción a los semiconductores

□ Clasificación de los materiales según su **conductividad** eléctrica

σ = Facilidad para permitir el paso de carga en movimiento





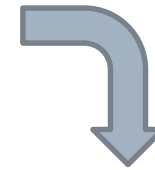
1.2. Materiales semiconductores



❑ Los semiconductores en la tabla periódica de elementos

Tipos de materiales semicond.::

- Simples: **Si, Ge**
- Compuestos:
 - ❑ **III-V**: GaAs, InP, GaN
 - ❑ **II-VI**: ZnSe, CdTe,...



Período	Grupo																18	
1	1															2	He	
1	1															10	Ne	
2	3	4															18	Ar
3	11	12															18	Ar
4	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
5	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
6	55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
7	87	88	89	104	105	106	107	108	109	110	111	112		114		116		118
	Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Uun	Uuu	Uub		Uuq		Uuh		Uuo
	Francio	Radio	Actino	Rutherfordio	Dubnio	Seaborgio	Bohrio	Hassio	Moscovio	Ununnilio	Ununnilio	Ununnilio		Ununquadio		Ununhexio		Ununoctio

III-V: GaAs, InP, GaN

II-VI: ZnSe, CdTe,...

III

IV

V

VI

II



1.2. Materiales semiconductores



❑ Elementos relacionados con la tecnología de semiconductores

Columnas **II a VI** de la tabla periódica de los elementos.

III		IV	V	VI	
13		14	15	16	
5	B	6	C	7	8
	Boro		Carbono		Nitrógeno
13	Al	14	Si	15	P
	Aluminio		Silicio		Fósforo
30	Zn	31	Ga	32	As
	Cinc		Gallio		Arsénico
48	Cd	49	In	50	Sn
	Cadmio		Indio		Estañ
80	Hg	81	Tl	82	Pb
	Mercurio		Talio		Plomo
112		114		116	

Semiconductores: *control de propiedades de conducción eléctrica*

El semiconductor más extendido es el **Si**

- Abundante $\Rightarrow$ *barato*
- Fácil manipulación $\Rightarrow$ *tecnología muy desarrollada*
- Comportamiento eléctrico muy estable.

También aleaciones ► Binarias (GaAs, ZnSe, PbTe, ...)

► Ternarias ($\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$, ...)

► Cuaternarias ($\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_y\text{Sb}_{1-y}$, ...)



Aplicaciones especiales



1.3. Portadores de carga



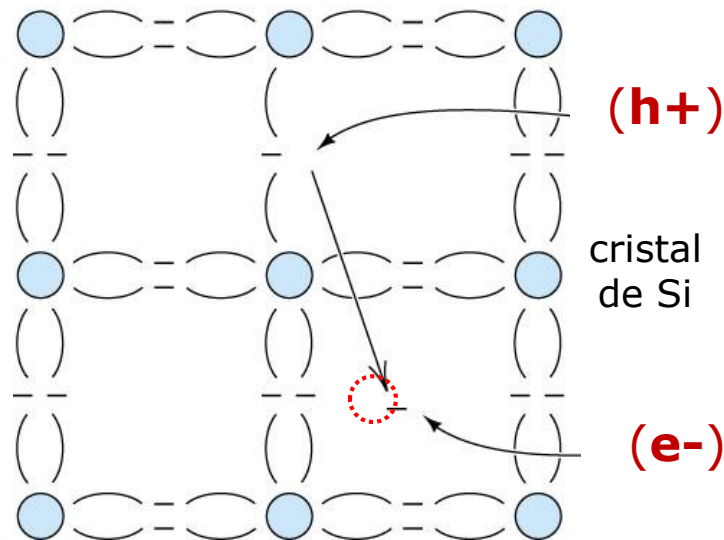
■ Tipos de portadores libres:

- **Electrones (n)** : portador libre con carga negativa (e^-)

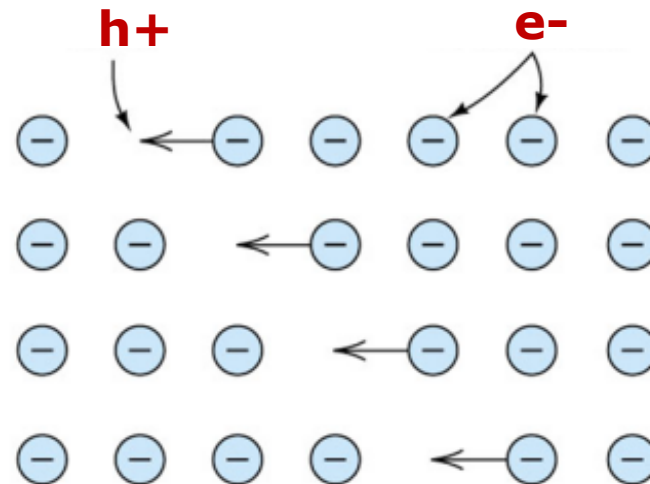
$$-q = -1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

- **Huecos (p)**: ausencia de electrón. Equivale a una carga positiva (h^+) de igual valor que la del e^- pero con menor movilidad.

$$+q = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$



¿cómo se mueven los "huecos", h^+ ?



$\mu_n \sim 3\mu_p$

Fuente: Hambley

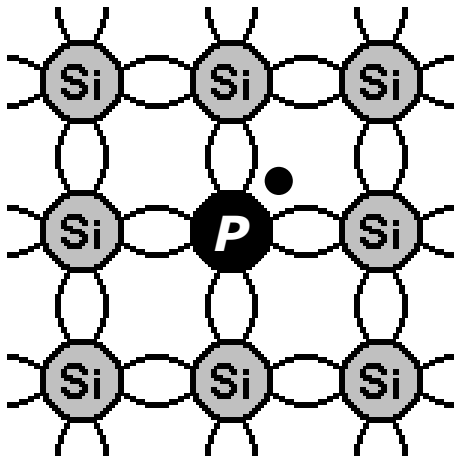


1.3. Semiconductores extrínsecos



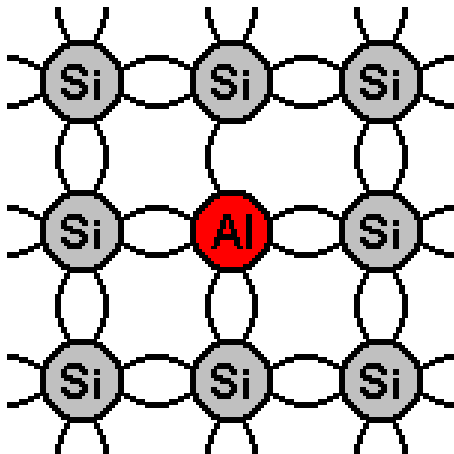
❑ Semiconductores *extrínsecos* :

Inclusión de **átomos extraños** al material semiconductor



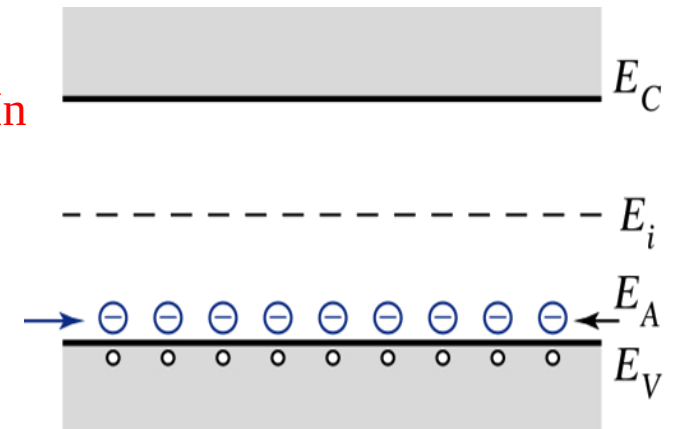
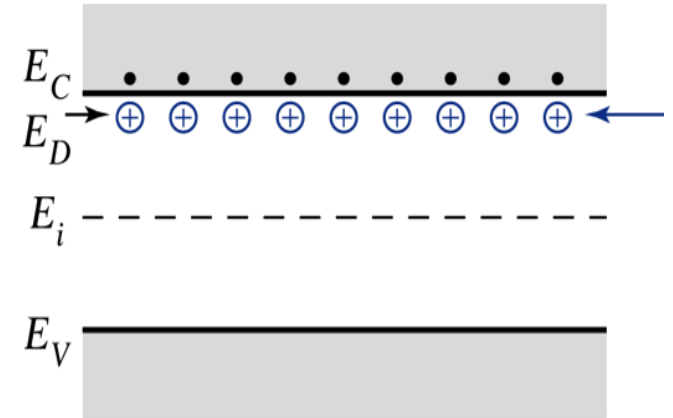
Impurezas dadoras (N_D)
Valencia +5 (V): P, As, Sb

Ceden electrones:
Semiconductor tipo ***n***



Impurezasceptoras (N_A)
Valencia +3 (III): B, Al, Ga, In

Capturan electrones:
Semiconductor tipo ***p***



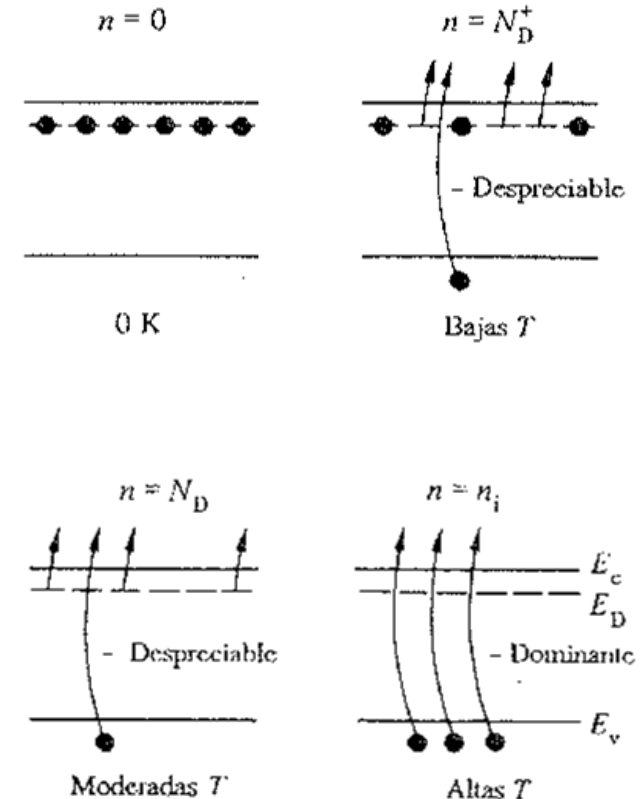
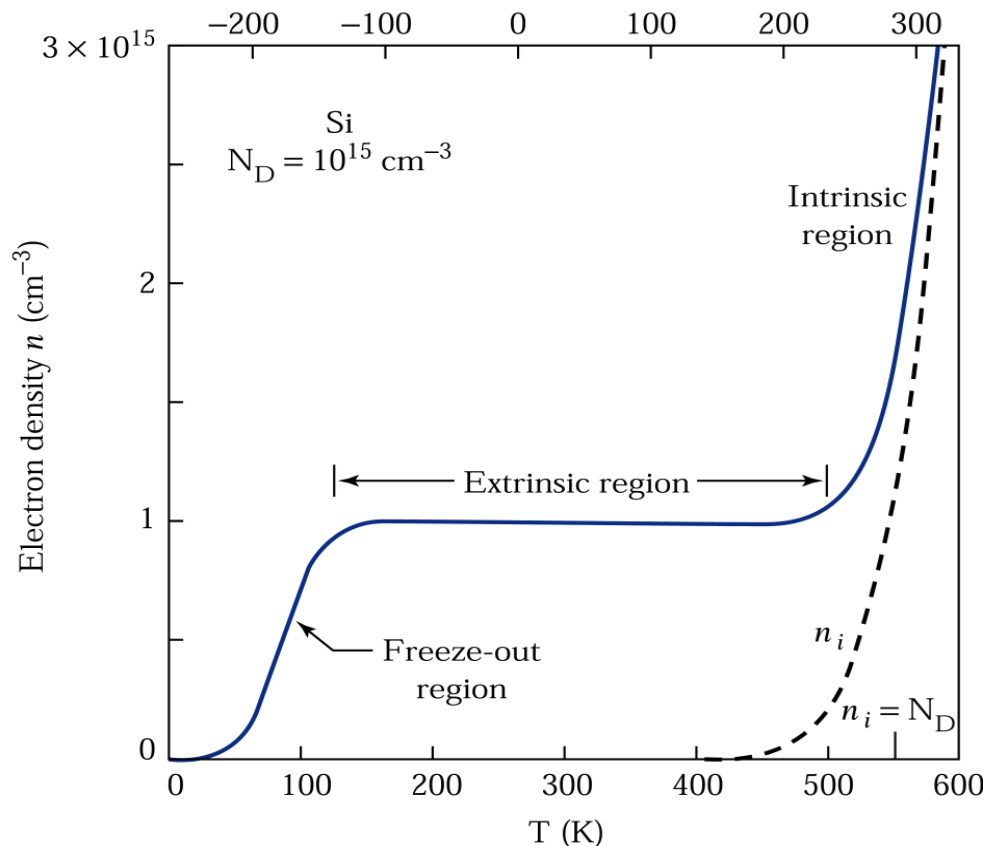


1.4. Corrientes en los semiconductores



❑ ¿Cuántos portadores hay en un semiconductor?

La concentración de portadores depende también de la temperatura





1.4. Corrientes en los semiconductores



❑ Corriente eléctrica en semiconductores: **Total**

■ Los portadores se ponen de manifiesto en presencia de una perturbación a través de:

- *Corriente de arrastre (J_a): corriente eléctrica debida a un $\vec{E}$.*
- *Corriente de difusión (J_d): corriente eléctrica debida a un Δc .*
- *Generación-recombinación: fenómenos que modifican c :*

⇒ modificarán las corrientes.

■ En el caso general:

$$J_p = q \cdot p \cdot \mu_p \cdot E - q \cdot D_p \frac{\partial p(x)}{\partial x}$$

$$J_n = \underbrace{q \cdot n \cdot \mu_n \cdot E}_{\mathbf{J_a}} + \underbrace{q \cdot D_n \frac{\partial n(x)}{\partial x}}_{\mathbf{J_d}}$$

Donde:

D_n, D_p : Coef. Difusión

n, p : concentración portadores

E : campo eléctrico

$\frac{\partial c(x)}{\partial x}$: gradiente de concentración

$$\mathbf{J_T = J_p + J_n}$$



Índice de la sección actual



1. Introducción a los semiconductores

2. Diodos de semiconductor

- Estructura interna: curvas características
- El diodo en gran señal. Aplicaciones.
- Modelos y márgenes de funcionamiento

3. Diodos Zener

4. Aplicaciones típicas

5. Otros diodos



2. Diodos de semiconductor



❑ Diodo Semiconductor:

- Componente electrónico de **dos** terminales



- Fabricado a partir de material semiconductor
- Estructura interna caracterizada por tener una unión *pn*

➔ **Dispositivo activo:**

- Deja pasar la corriente en un sentido y no en el otro, como un *interruptor*.
- Múltiples aplicaciones en los sistemas electrónicos

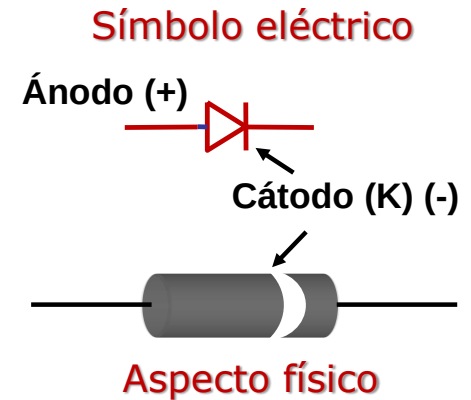
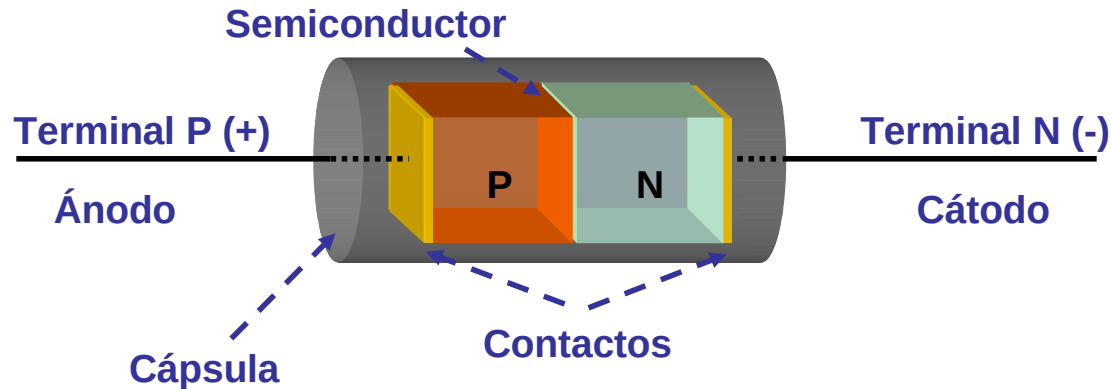




2.1. Diodos de semiconductor: estructura

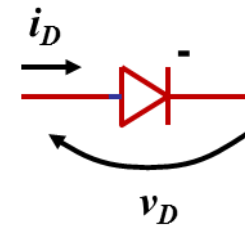


■ Estructura interna: unión PN.



■ Criterio de signos. Nomenclatura:

- $I_D > 0 \Rightarrow$ entrante por el lado p (ánodo).
- $V_D > 0 \Rightarrow$ medidas de lado p a n.
- F (forward) directa: lado p (ánodo) a mayor tensión que el lado n.
- R (reverse) inversa: lado n (cátodo) a mayor tensión que el lado p.

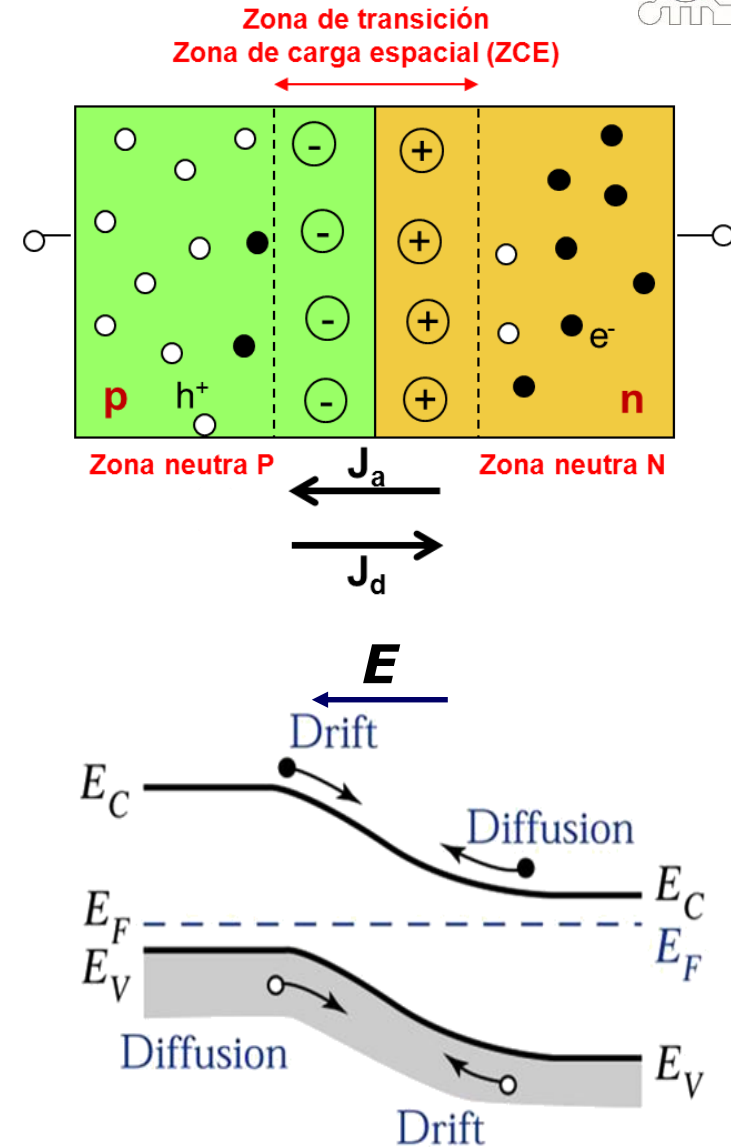




2.1. Diodos de semiconductor: unión $p-n$



- Una zona **p** junto con otra **n** en el mismo cristal presentan un comportamiento distinto al de un semiconductor dopado:
 - Fenómenos en la "unión **p-n**"
 - Estudio en Ciencia de Materiales
- Movimiento de portadores → efectos
 - Difusión de portadores (huecos h^+ y electrones e^-) hacia la zona en que son minoritarios.
 - Al difundirse los portadores, dejan tras de sí las impurezas ionizadas (carga fija) → Zona de transición → Distribución espacial de carga → **campo** y **potencial eléctrico**
- La **conducción** a través de la unión **p-n** es **no-lineal** → depende del potencial aplicado entre A y K.

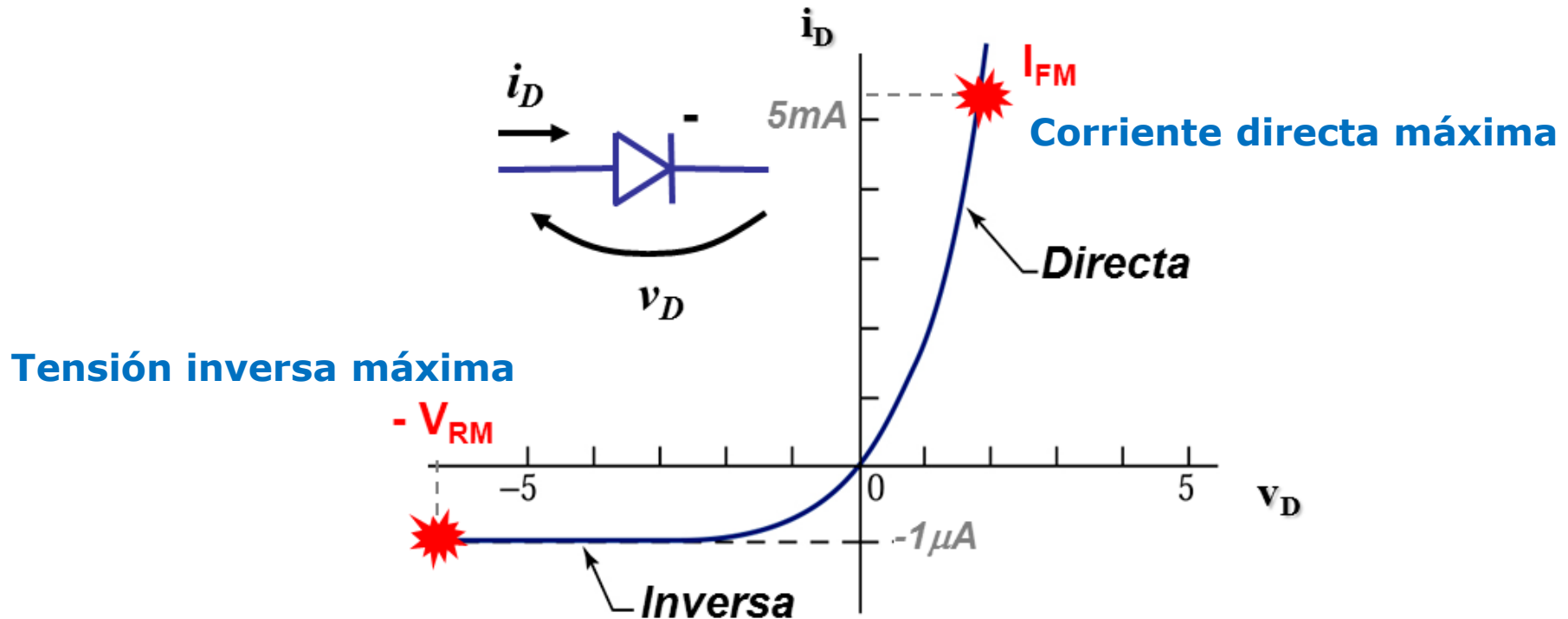




2.2. Diodos de semiconductor: curvas i - v



- Curva característica y límites de trabajo



Ecuación de **Schockley**
curva (i - v) del diodo:

$$i_D = I_s \cdot \left(e^{\frac{v_D}{n \cdot V_T}} - 1 \right) \left\{ \begin{array}{l} I_s \text{ corriente inversa de saturación} \\ V_T = K \cdot T / q: \text{ potencial térmico} \\ \rightarrow V_T = 0,026 \text{ V @ } 300 \text{ K} \end{array} \right.$$

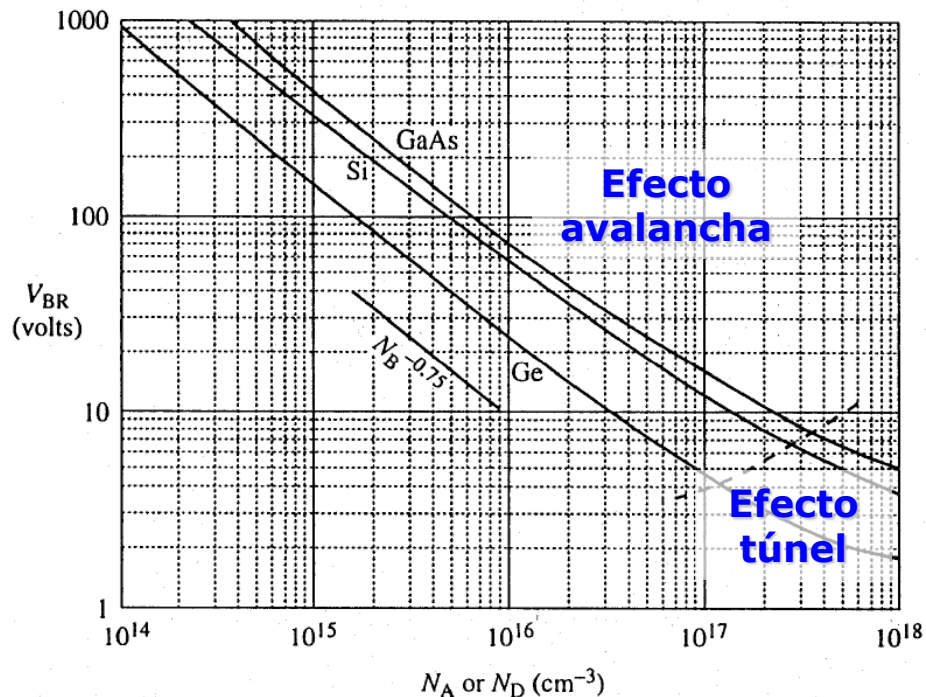


2.2. Diodos de semiconductor: curvas i - v

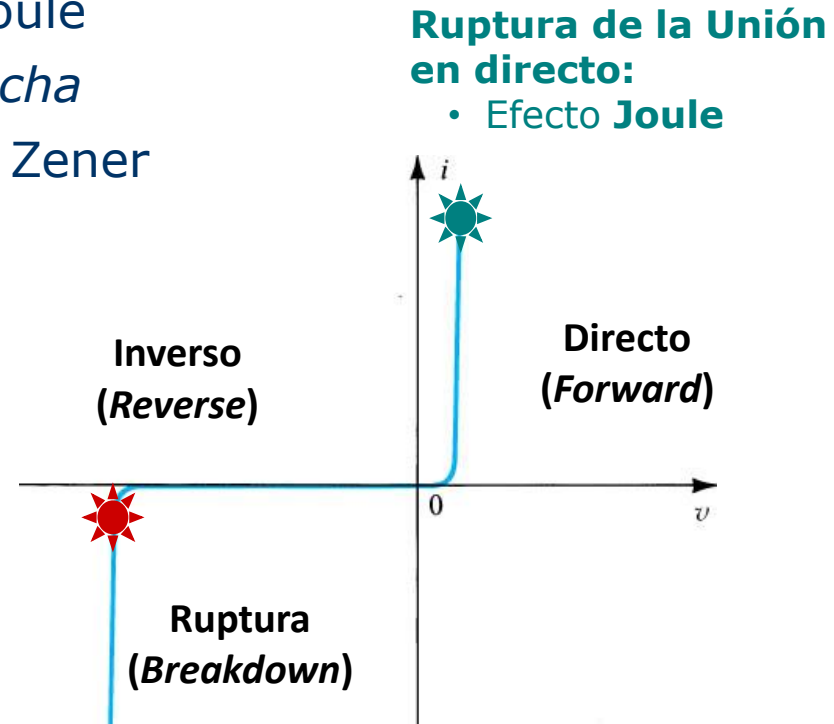


- ❑ Los límites de funcionamiento del diodo en directo (F) o en inverso (R) se deben a fenómenos de “**ruptura**” de la unión

- F : Inestabilidad térmica – efecto Joule
- R con dopaje bajo $\rightarrow$ efecto *avalancha*
- R con dopaje alto $\rightarrow$ efecto túnel o Zener



Source: John Wiley & Son ©



Ruptura de la Unión en inverso:

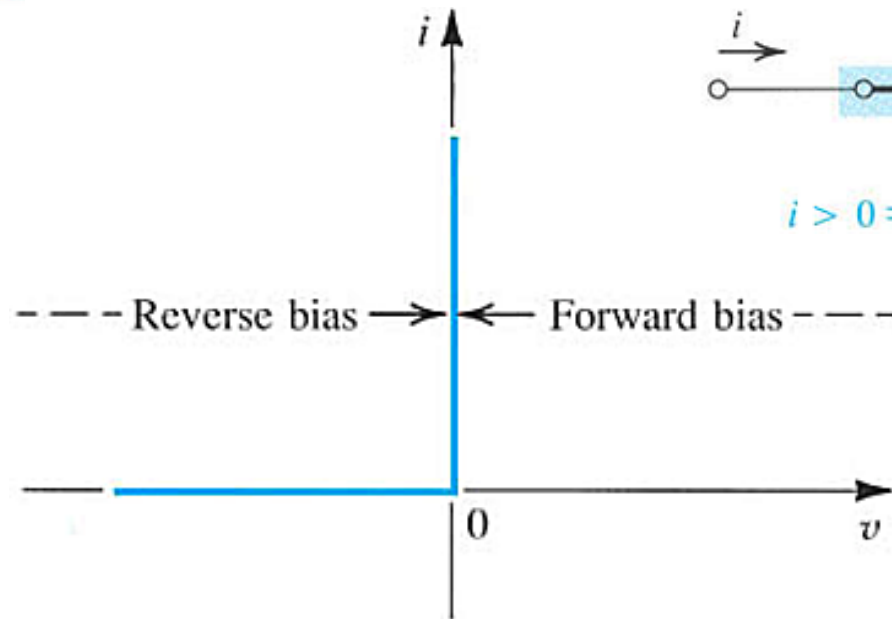
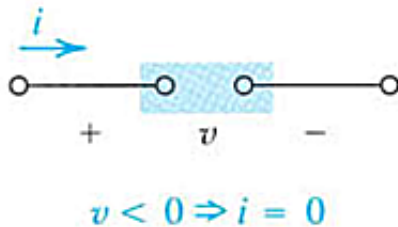
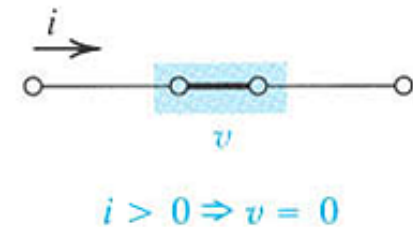
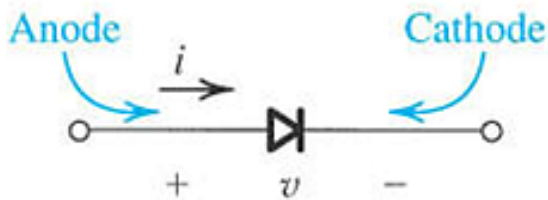
- Efecto **Avalancha** (*a tensiones altas*)
- Efecto túnel o **Zener** (*tensiones bajas*)



2.3. El diodo ideal: modelos en gran señal.



- ❑ La función **diodo ideal** se corresponde con estos dos estados:
 - **Cortocircuito**, para el diodo en (polarización) directa
 - **Circuito abierto**, para el diodo en (polarización) inversa
- ❑ Esta aproximación es válida con corrientes y tensiones *grandes*:



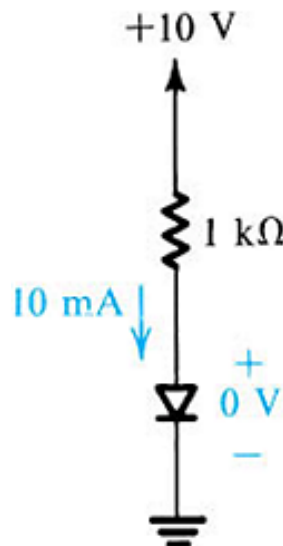


2.3. El diodo ideal: polarización.

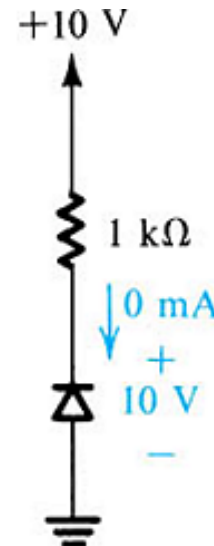


- El estado **directo** o **inverso** del diodo depende del cto. externo:
 - Éste **polariza** al dispositivo en una u otra zona.
 - El circuito de polarización más sencillo, en DC, consta de una pila y un resistor para limitar la corriente.

Polarización
en **directo**:
diodo en
corto-cto.



Polarización
en **inverso**:
diodo en
cto. abierto



- Antes de analizar un cto. con diodos hay que determinar su estado:
- Sólo sustituyendo el diodo por un modelo lineal, podrá resolverse la red con las técnicas de **análisis de circuitos** lineales.

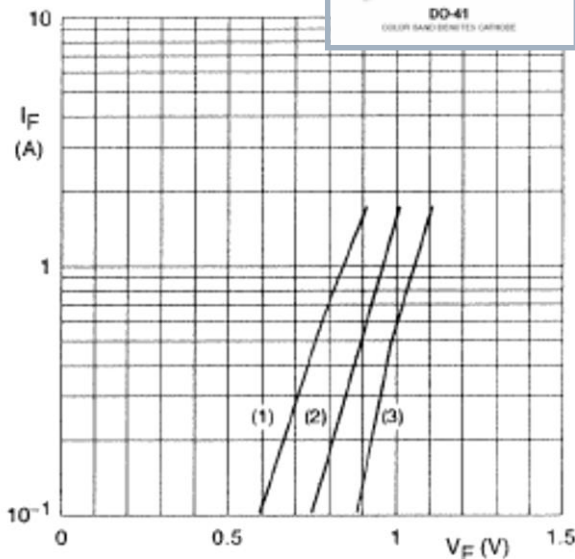


2.4. Diodos reales: límites y curvas (i - v)



□ Datos de diodos típicos (según su aplicación)

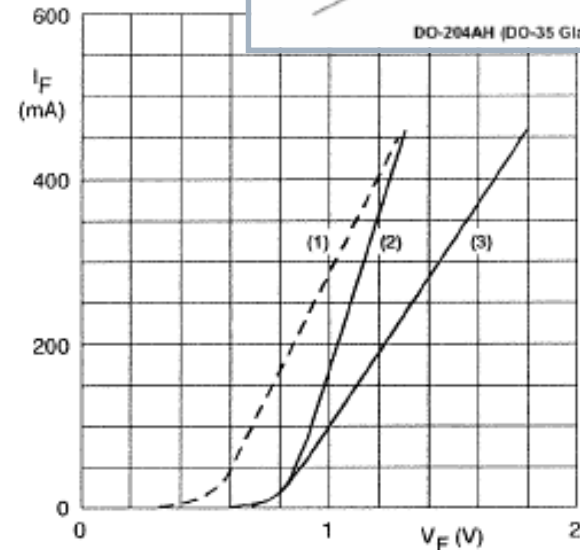
Rectificador



- (1) $T_{amb} = 100\text{ °C}$.
- (2) $T_{amb} = 20\text{ °C}$.
- (3) $T_{amb} = -50\text{ °C}$.

- $V_R = 1000\text{ V}$ (tensión inversa máxima)
- $I_{FM} = 1\text{ A}$ (corriente máxima en directa)
- $V_F = 1\text{ V}$ (caída de tensión directa)
- $I_R = 10\text{ }\mu\text{A}$ (corriente inversa)

De señal



- (1) $T_j = 175\text{ °C}$; typical values.
- (2) $T_j = 25\text{ °C}$; typical values.
- (3) $T_j = 25\text{ °C}$; maximum values.

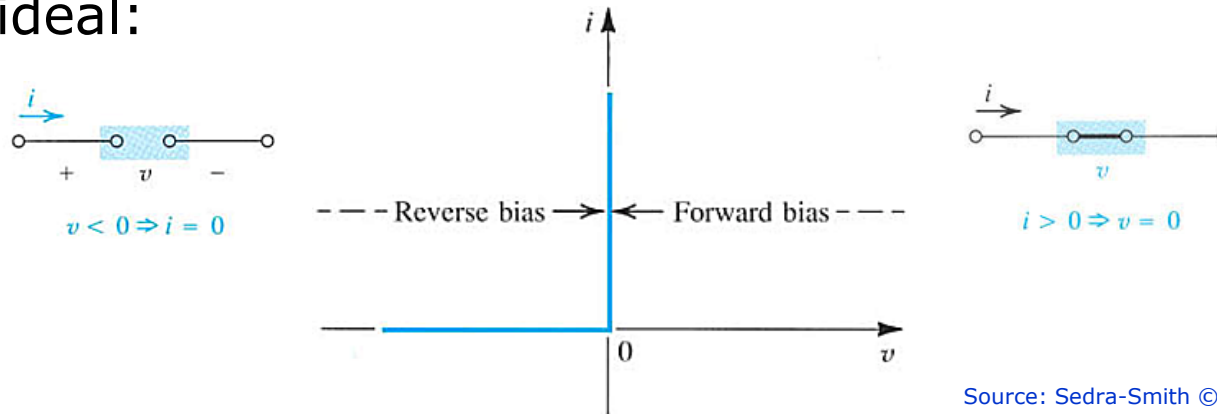
- $V_R = 75\text{ V}$ (tensión inversa máxima)
- $I_{FM} = 200\text{ mA}$ (corriente máxima en directa)
- $V_F = 1\text{ V}$ (caída de tensión directa)
- $I_R = 25\text{ nA}$ (corriente inversa)



2.4. Ajustando el modelo a las curvas reales

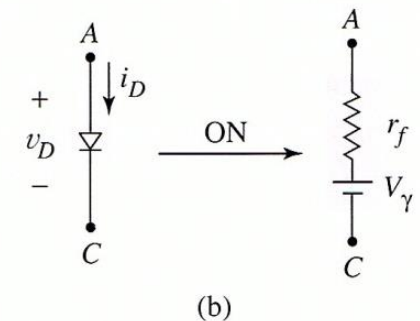
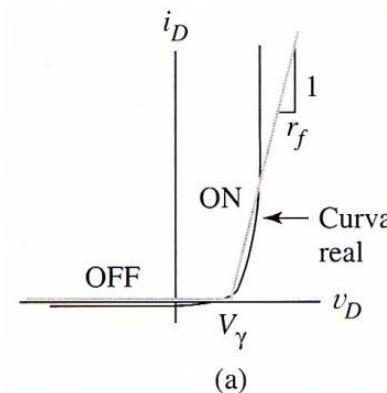
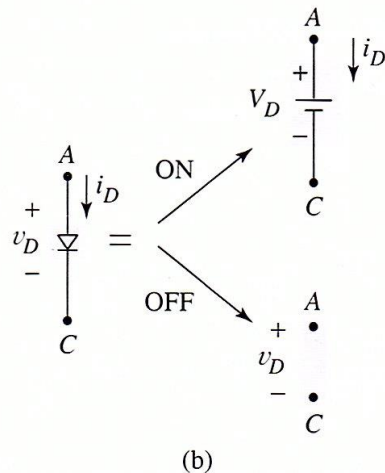
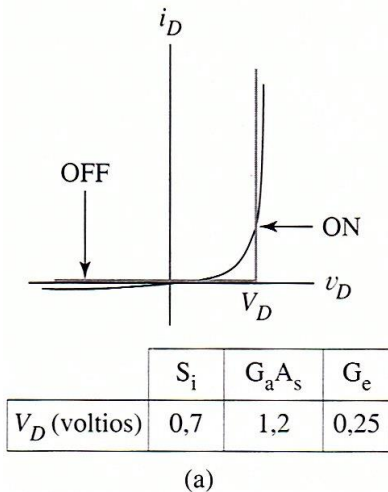


Modelo ideal:



Modelo ideal, con V_γ :

Modelo ideal, con V_γ y r_f :



Source: Malik ©



2.4. Observaciones finales: curvas del diodo



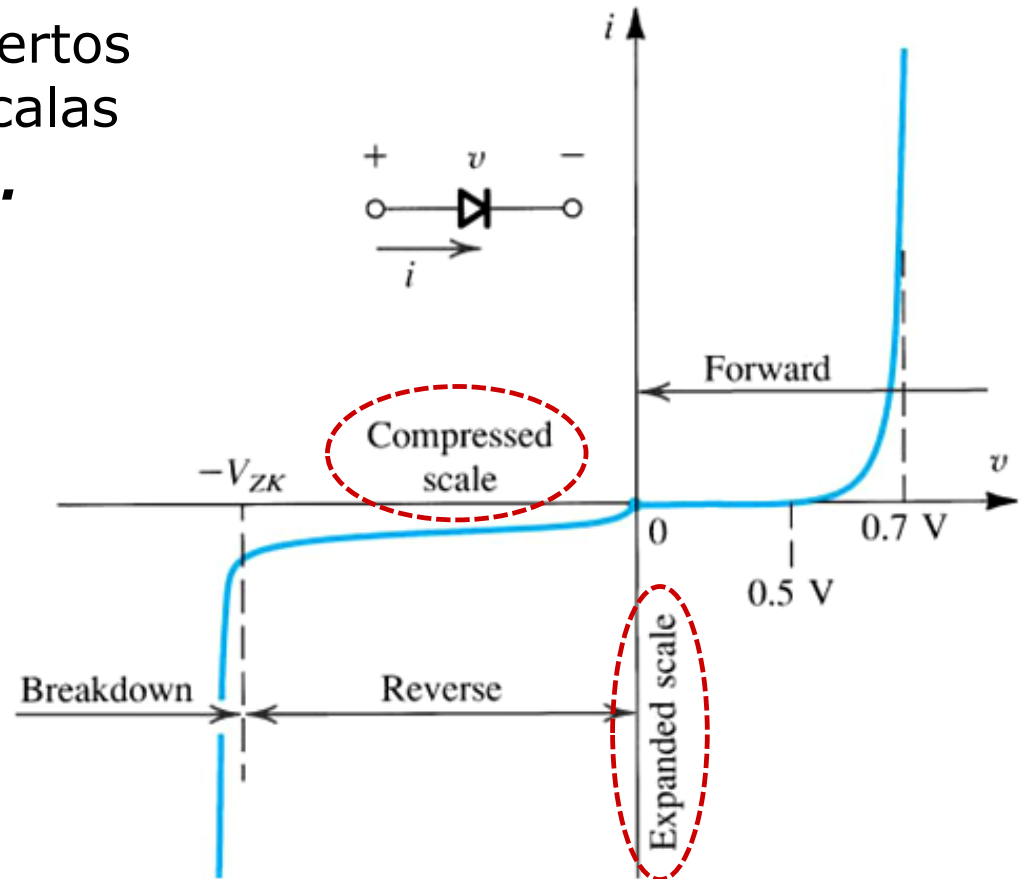
- ❑ La curva i - v del diodo sigue una ley de variación exponencial:

- Ecuación de **Schockley**.

- ❑ Pero para mostrar mejor ciertos detalles de la curva, las escalas de los ejes i - v **se alteran...**

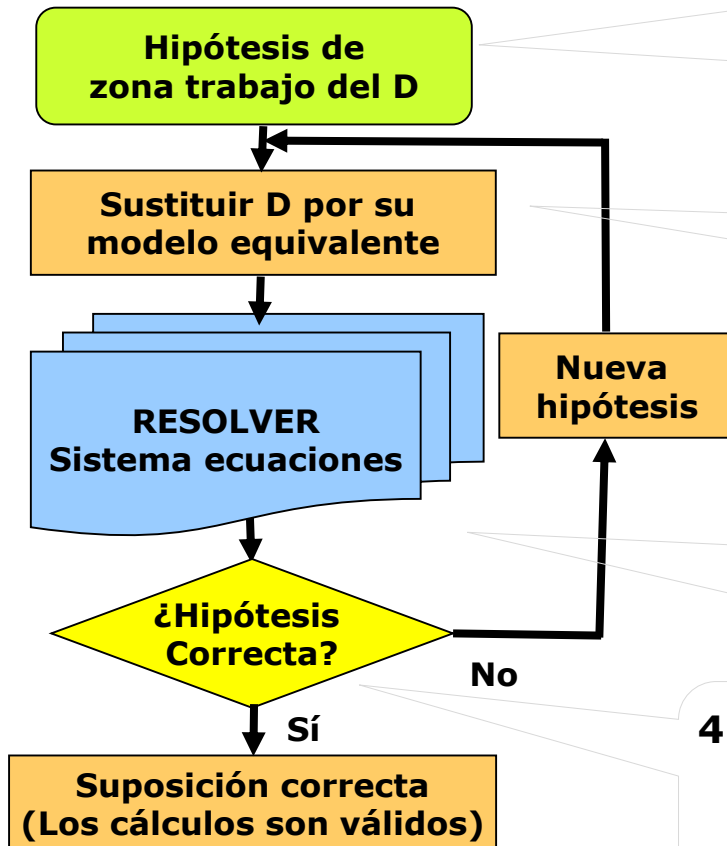
- Las zonas directa e inversa escalan sus corrientes y tensiones de forma diversa...

➔ No olvide este hecho a la hora de leer y/o valorar los datos que se muestran en dichas gráficas

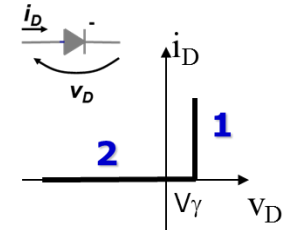


2.5. Diodo ideal. Análisis en DC.

□ Análisis de ctos. lineales:



1. Suposición acerca del estado de cada diodo (zona de trabajo): **conducción** o **corte**.



2. Redibujar el circuito sustituyendo por los modelos lineales equivalentes en la zona supuesta de trabajo.

3. Determinar:

- la corriente por los diodos supuestos en conducción (directo),
- la tensión entre terminales en los diodos supuestos en corte (inverso).

4. Comprobar que no existen contradicciones con la suposición inicial, esto es:

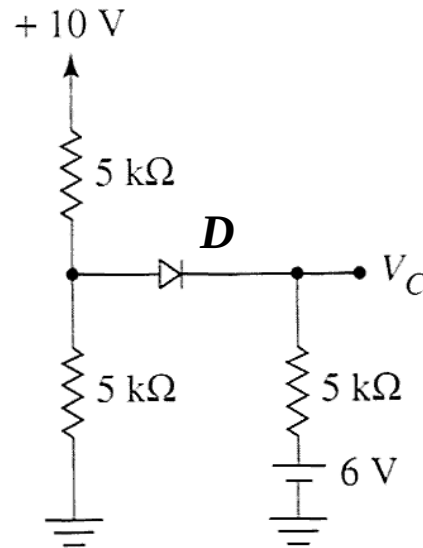
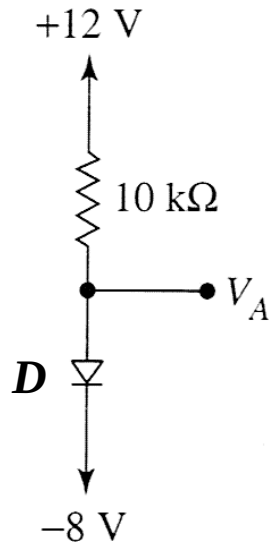
- corrientes **negativas** en los diodos en **conducción**.
- tensiones **positivas** en los diodos en **corte**.



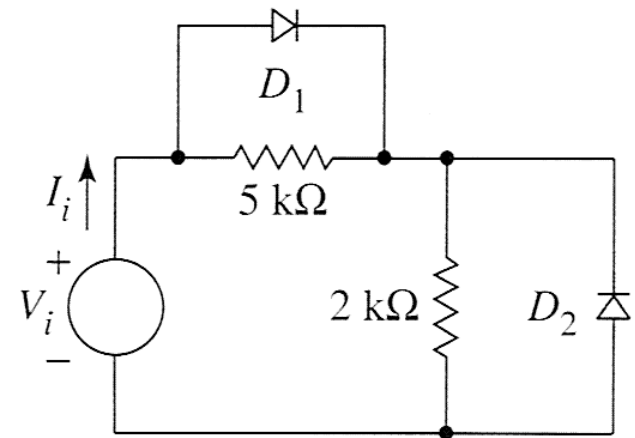
2.5. Algunos ejemplos



1. Supuestos diodos ideales, determine en los circuitos siguientes el estado de D y el valor de las tensiones de salida (V_A y V_C)



2. Obtenga I_i y v_{D2} en el cto. de la figura adjunta (suponga diodos ideales) con $V_i=12\text{V}$ y $V_i= -6\text{V}$:



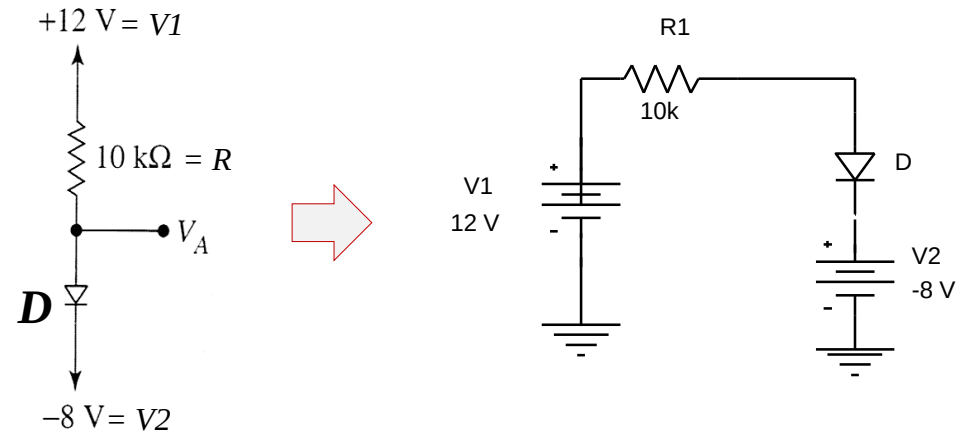


2.5. Algunos ejemplos

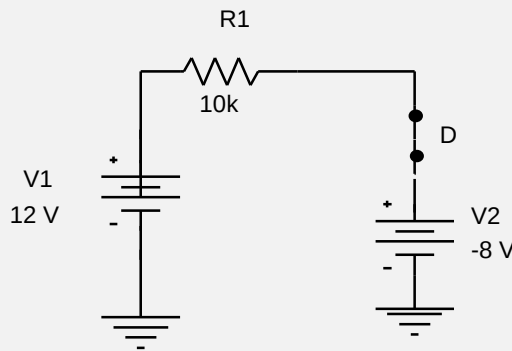


1. Supuestos diodos ideales, determine en el circuito siguiente el estado de D y el valor de la tensión de salida (V_A).

Solución:

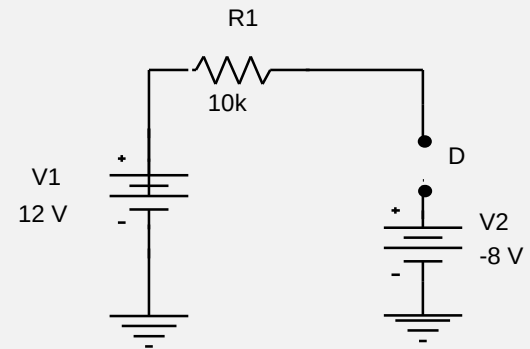


D On



$$i_D = \frac{V1 - V2 - v_D}{R} = \frac{12 + 8 - 0}{10k} = 2\text{mA} > 0$$

D Off



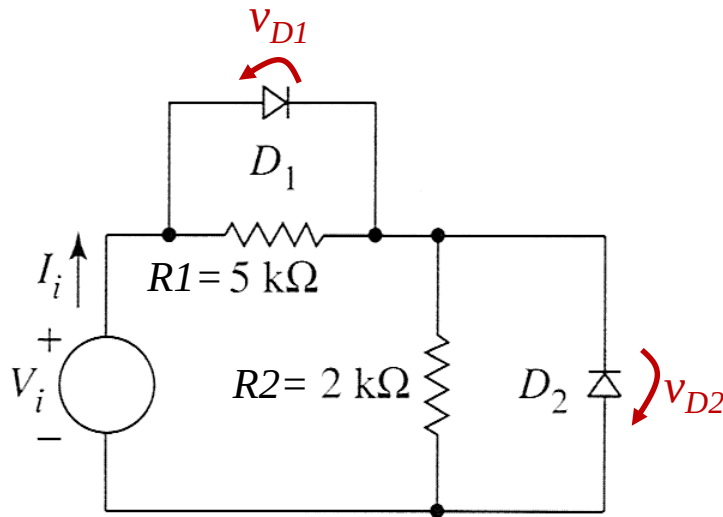
$$v_D = V1 - V2 - i_D \cdot R = 12 + 8 = 20\text{V} > 0!!$$



2.5. Algunos ejemplos



2. Obtenga I_i y v_{D2} en el cto. de la figura adjunta (suponga diodos ideales) con $V_i=12V$ y $V_i=-6V$:



a) $V_i=12V$
Hipótesis: $\left\{ \begin{array}{l} D1 \text{ On} \Rightarrow v_D = V_\gamma = 0 \\ \quad \quad \quad i_D > 0 \\ D2 \text{ Off} \Rightarrow v_D < V_\gamma \\ \quad \quad \quad i_D = 0 \end{array} \right.$

$$I_i = i_{D1} = \frac{V_i - v_{D1}}{R2} = \frac{12 - 0}{2k} = 6\text{mA} > 0 \Rightarrow D1 \text{ On}$$

$$v_{D2} = -I_i \cdot R2 = -6 \cdot 2 = -12V < V_\gamma \Rightarrow D2 \text{ Off}$$

b) $V_i=-6V$
Hipótesis: $\left\{ \begin{array}{l} D1 \text{ Off} \Rightarrow v_D < V_\gamma \\ \quad \quad \quad i_D = 0 \\ D2 \text{ On} \Rightarrow v_D = V_\gamma = 0 \\ \quad \quad \quad i_D > 0 \end{array} \right.$

$$I_i = -i_{D2} = \frac{V_i + v_{D2}}{R1} = \frac{-6}{5k} = -1.2\text{mA} \Rightarrow i_{D2} > 0 \Rightarrow D2 \text{ On}$$

$$v_{D1} = I_i \cdot R1 = -1.2 \cdot 5 = -6V < V_\gamma = 0 \Rightarrow D1 \text{ Off}$$



Índice de la sección actual



1. Introducción a los semiconductores

2. Diodos de semiconductor

3. Diodos Zener

- Curvas características: zonas de trabajo.
- Modelo y análisis en DC.
- Análisis mediante *rectas de carga*.

4. Aplicaciones típicas

5. Otros diodos



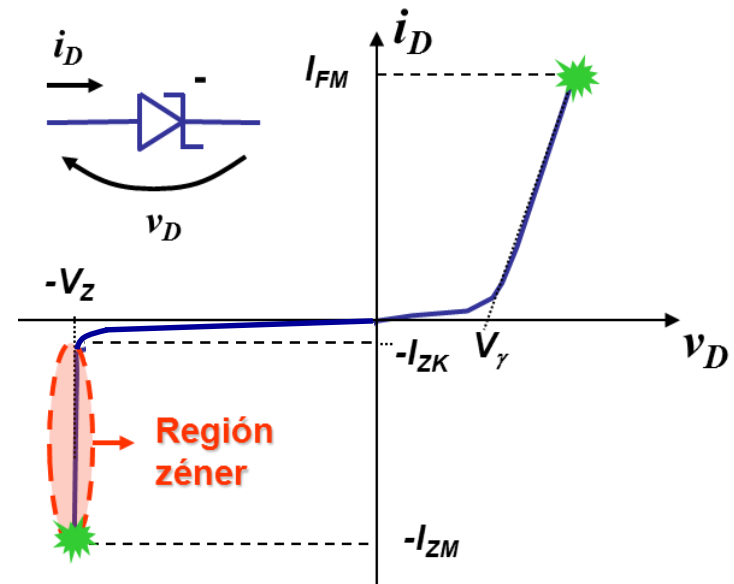
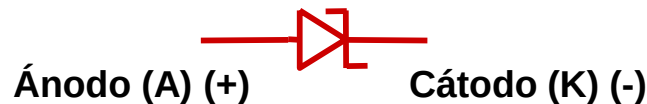
3. Diodo Zener.

- ❑ Diodo Zener: características y aplicaciones típicas
 - Aprovecha el fenómeno de *disrupción* con lo que puede conducir en inverso.
 - El voltaje en inverso se fija en V_Z (tensión zener), para un margen dado de corrientes en inverso:

$$\text{Si } -I_{ZM} \leq i_D \leq -I_{ZK} \Rightarrow v_D = -V_Z$$

⇒ Aplicaciones típicas como **estabilizadores o referencias de tensión.**

Símbolo eléctrico



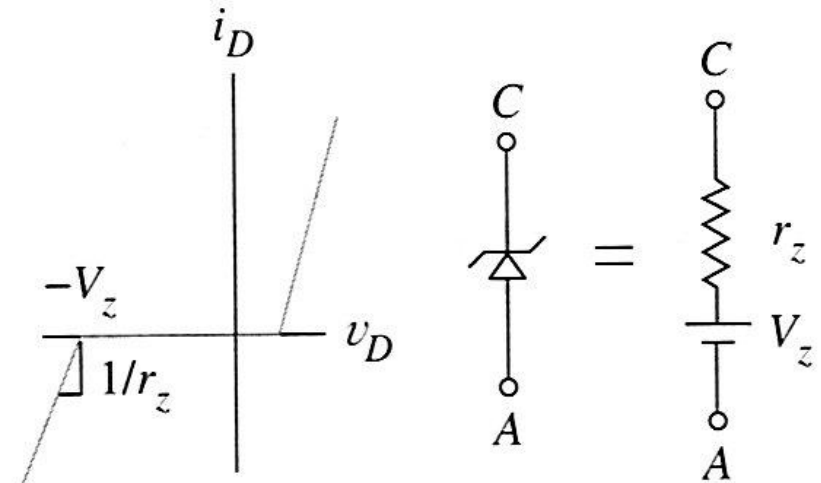


3.1. Diodo Zener: modelos en gran señal.



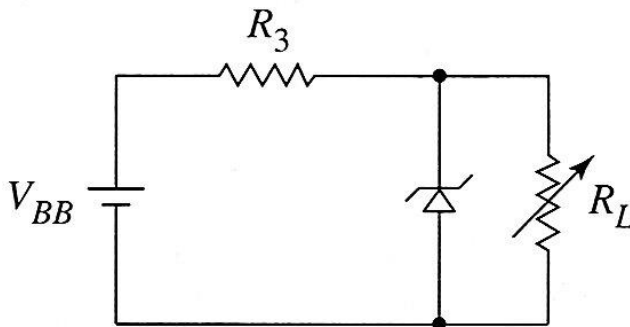
□ Dos zonas de conducción:

- *en directo*
 - *como el diodo convencional*
- *en zona zener (inverso)*
 - *modelo similar al directo, pero con V_z y r_z*

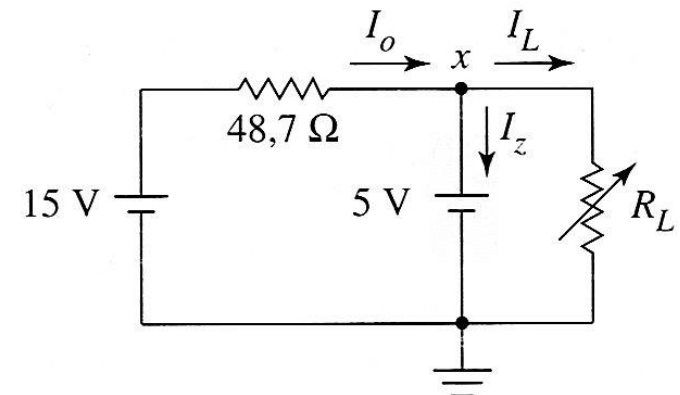


□ Aplicación como estabilizador

- Tensión DC constante en R_L



- Ejemplo 1: e-3.10 (Malik):

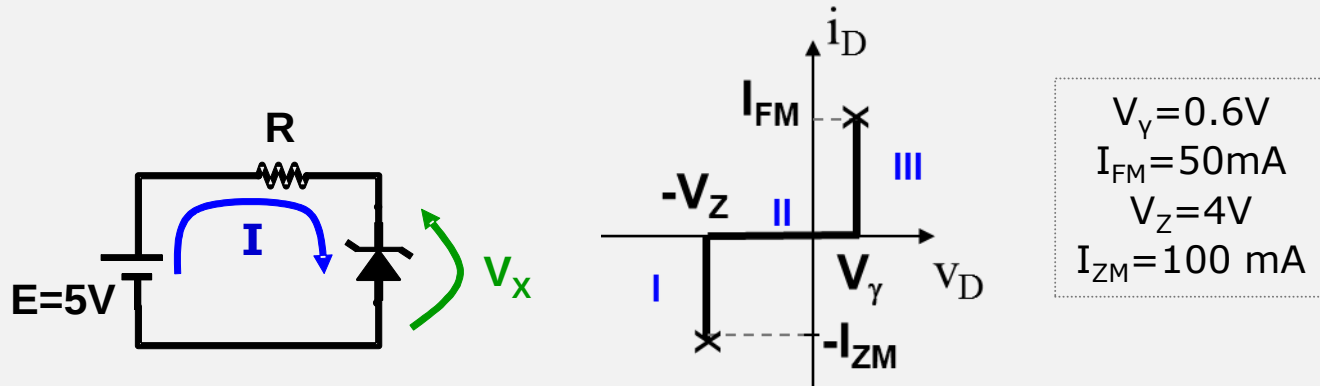




3.1. Diodo Zener: ejemplo de análisis



- Ejemplo 2: cálculo de la R de limitación de corriente.



a) Calcular el valor de R para no destruir el diodo Zener.

Caso límite: D en zona I $\Rightarrow V_x = V_Z = 4V$; $I_x = I_{ZM}$

$$E = I \cdot R + V_x \Rightarrow I = \frac{E - V_Z}{R} < I_{ZM} = 100\text{ mA}$$



$$R \geq \frac{1}{100\text{ mA}} = 10\ \Omega$$

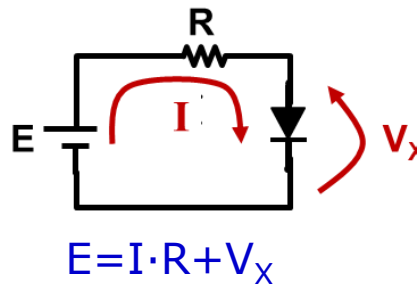
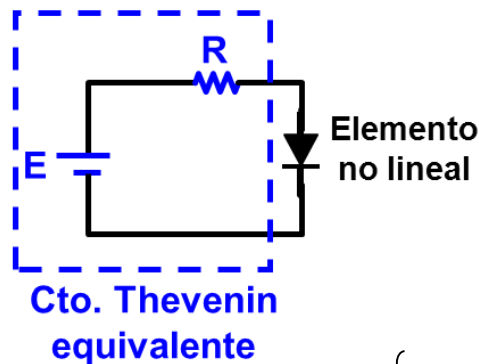
EJERCICIOS: Libro de Problemas de CE (R. Barea): Ejercicios: 4.1 y 4.2

3.2. Análisis mediante *rectas de carga*

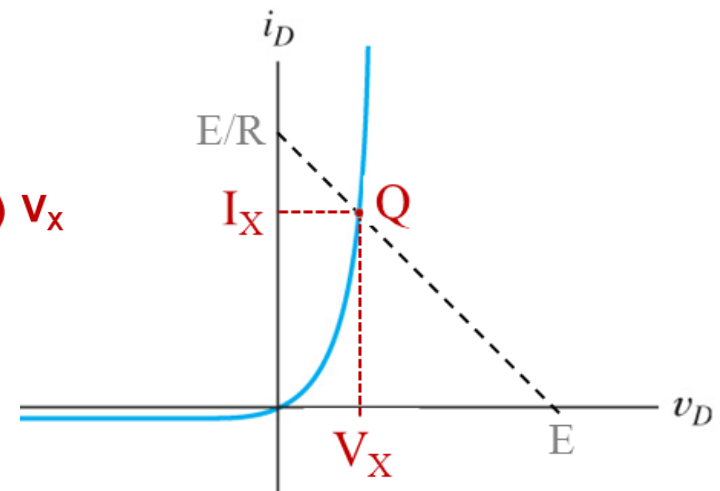
□ Recta de carga

DEF. Representación **gráfica** de las ecuaciones de malla.

- Circuito Thevenin equivalente $\Rightarrow$ representación de la recta de carga sobre la característica i - v del elemento a analizar (diodo)
- Obtención gráfica del **punto de polarización** o **p. de trabajo** (Q) de un elemento no lineal (V_x , I_x) dado por sus curvas (i - v)



$$\begin{cases} \bullet I=0 \Rightarrow V_x=E \\ \bullet V_x=0 \Rightarrow I=E/R \end{cases}$$



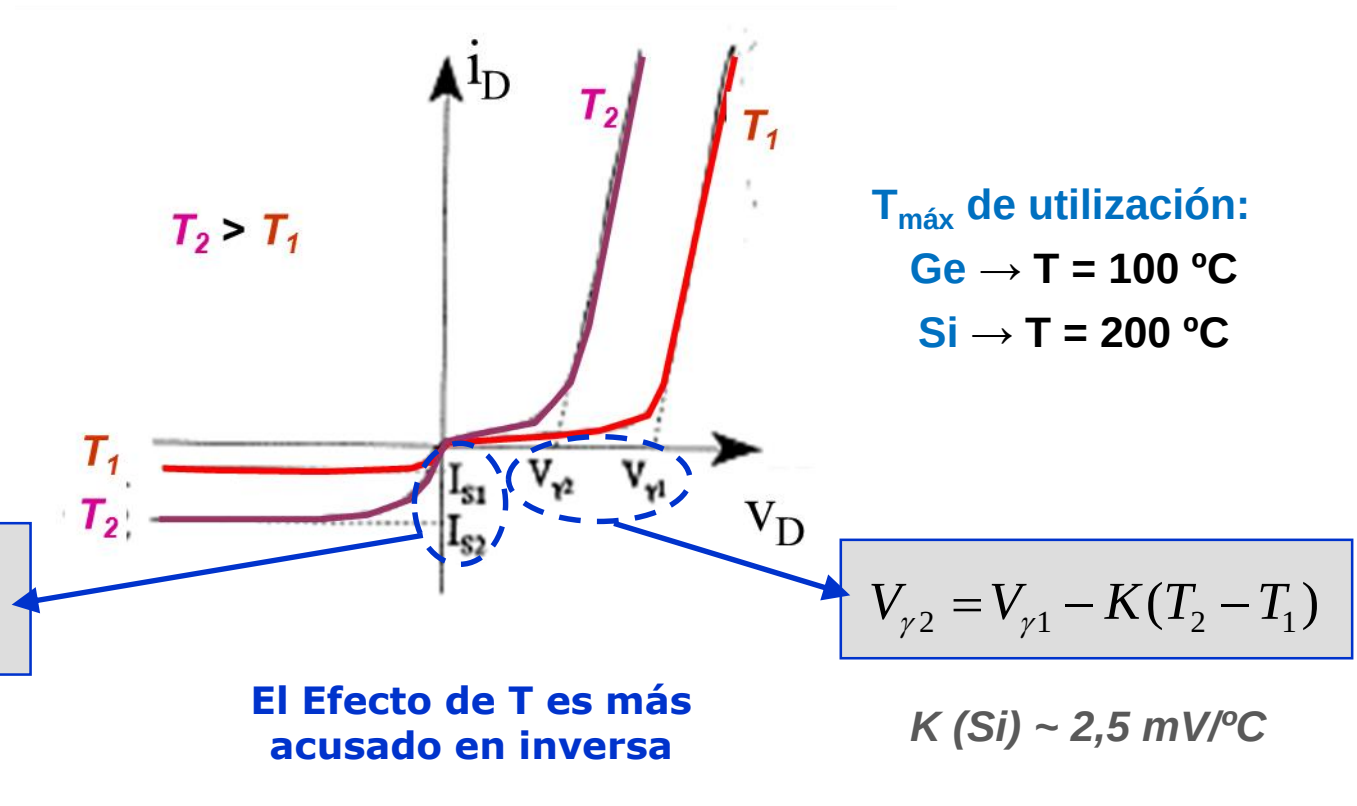
Pto. de trabajo Q : (V_x , I_x)



3.3. Dependencias con la temperatura, T.



- ❑ Efecto de T sobre la I-V $\Rightarrow$ el mismo que sobre la unión pn
 - Variación positiva de I_s si $T \uparrow$
 - Variación negativa de V_γ si $T \uparrow$



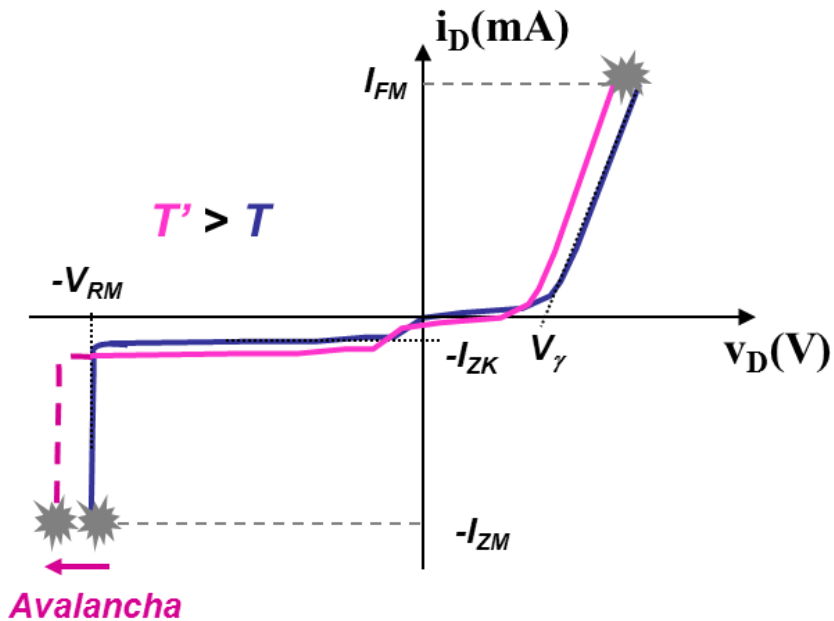


3.3. Dependencias con la temperatura, T.

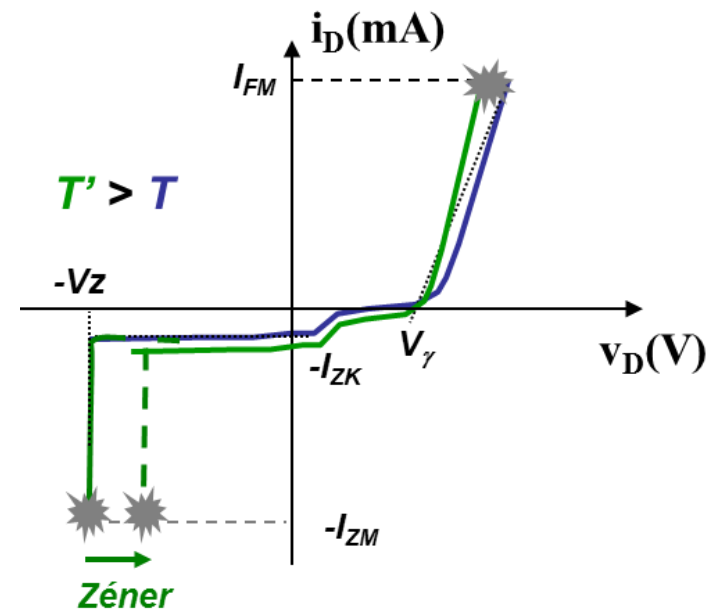


- Efecto de la temperatura sobre V_{RM} y V_Z
 - CTX depende del nivel de dopado.

Diodo rectificador



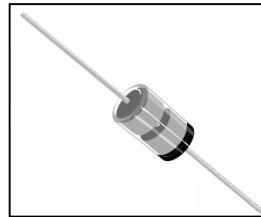
Diodo Zener



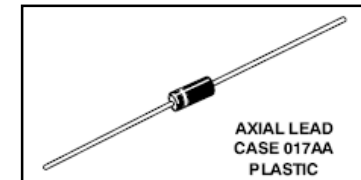
3.4. Curvas características de diodos zener

❑ Parámetros en hojas de características comerciales

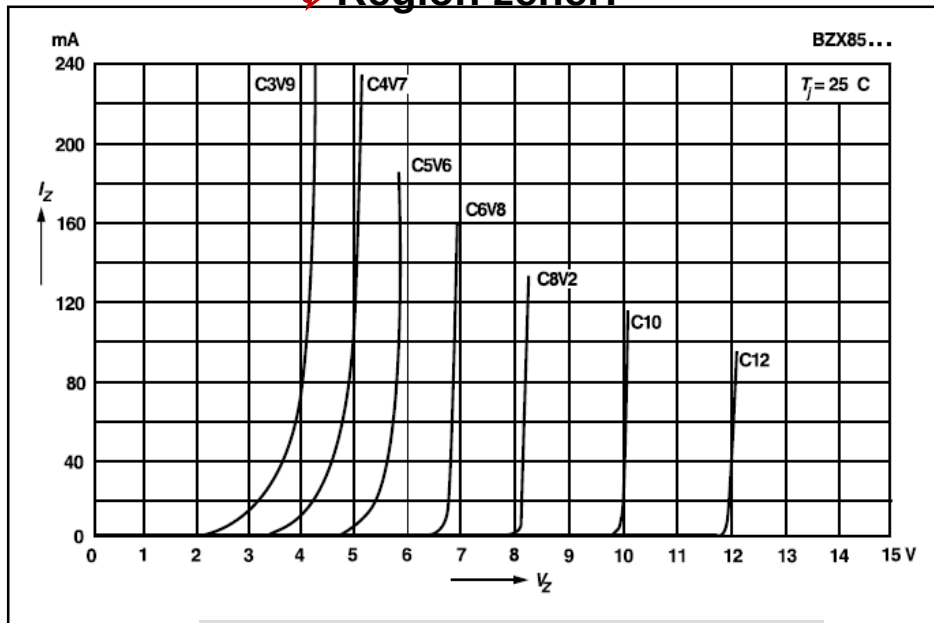
Familia BZX85



Familia 1N5333B

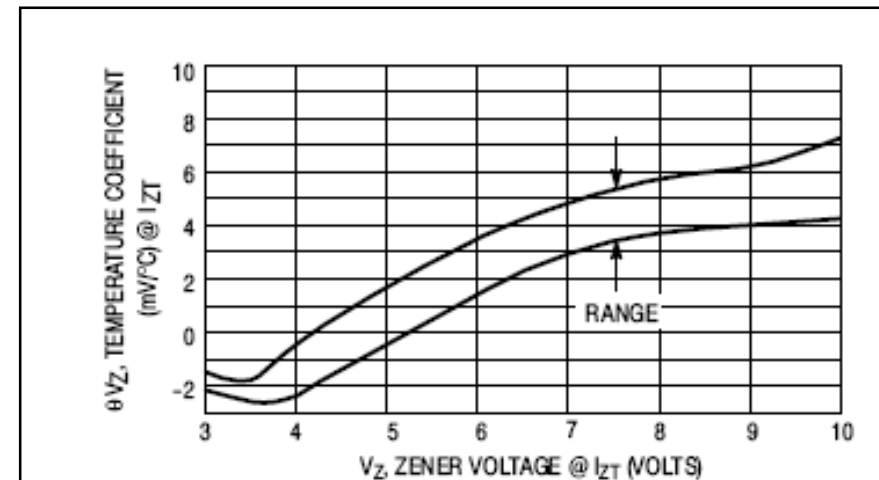


🔥 Región zener:



- $V_Z = 3\text{-}66\text{ V}$ (tensión zener)
- $I_{ZM} = 200\text{ mA}$ -100 (depende de V_Z)

🔥 Otros datos: CTV_Z



- *Signo CTV_Z depende de V_Z*



Índice de la sección actual



1. Introducción a los semiconductores

2. Diodos de semiconductor

3. Diodos zener

4. Aplicaciones típicas

- Limitadores/Recortadores.
- Conformación de ondas.
- Rectificadores
- Circuitos con AO's.

5. Otros diodos



4. Aplicaciones típicas: circuitos con diodos.



- ❑ El diodo es un dispositivo muy versátil
 - Es sencillo de insertar en múltiples lugares de un circuito dado, al disponer de solo dos terminales.
- ❑ Sus propiedades no lineales [relación ($i-v$)], permiten modificar ciertas características de las señales eléctricas:
 - Permiten modificar la forma de onda, ajustando o limitando sus niveles.
 - Permiten controlar el paso de energía entre diversas partes y/o bloques de un circuito o sistema electrónico.
 - Puede usarse tanto en *gran señal* (modelo **on-off**) como en *pequeña señal* o en *conmutación* (descritos en temas posteriores)
- ❑ En esta sección describiremos algunas aplicaciones sencillas
 - En circuitos con resistores y fuentes de tensión auxiliares
 - En circuitos con elementos capacitivos
 - Usados en conjunto con amplificadores operacionales

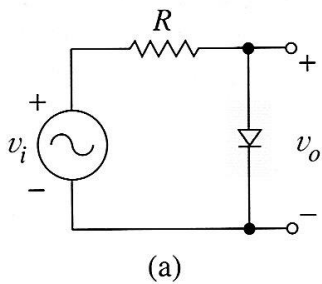


4.1. Limitadores/recortadores

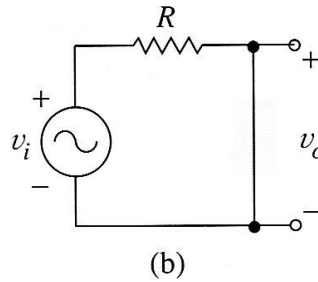


□ Circuito limitador/recortador:

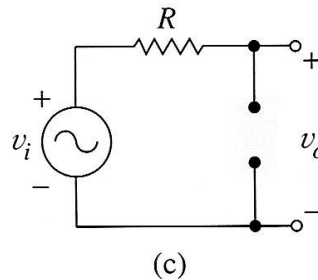
- Garantizan que en su salida las tensiones posibles están comprendidas entre los valores deseados
- Se usan, por ejemplo, para protección de otros circuitos



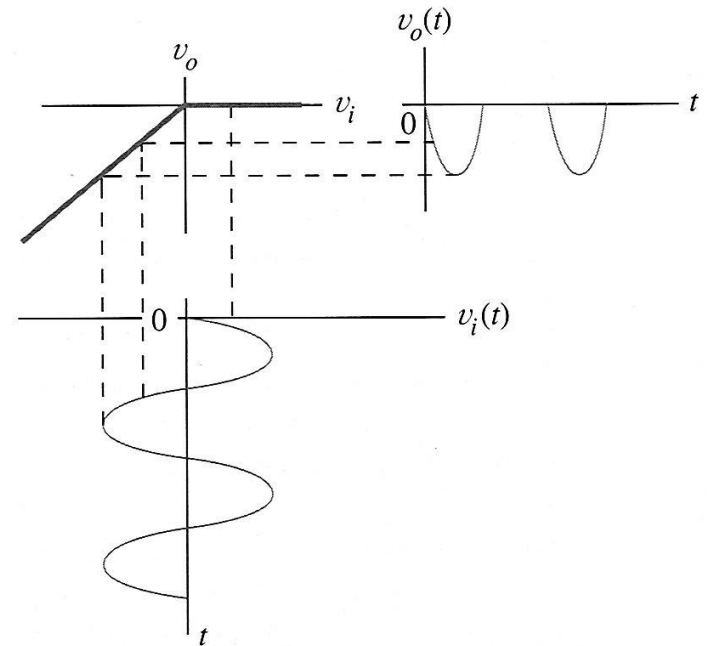
(a)



(b)



(c)



Source: Malik ©

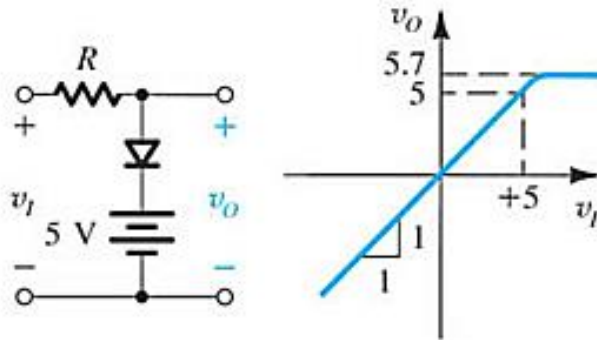


4.1. Limitadores/recortadores

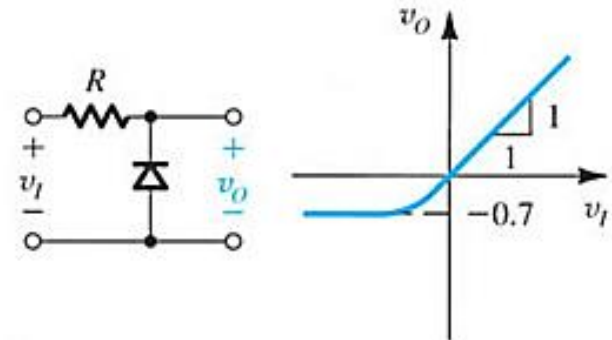


□ Ejemplos de circuitos limitadores

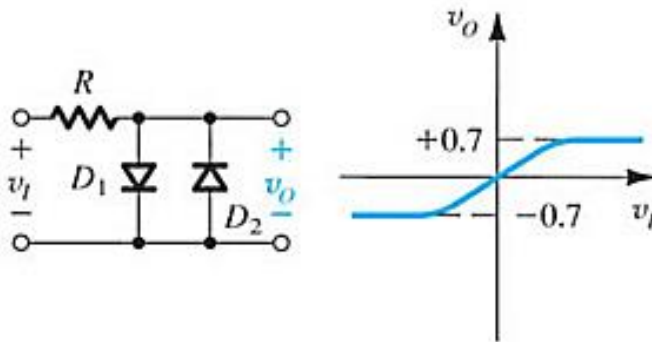
- Se pueden construir de múltiples maneras. Con más diodos y tensiones auxiliares, se tienen varios niveles de recorte.



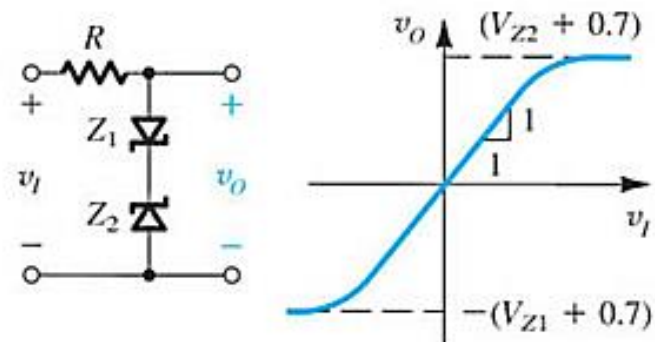
(a)



(b)



(c)



(d)



4.1. Limitadores/recortadores

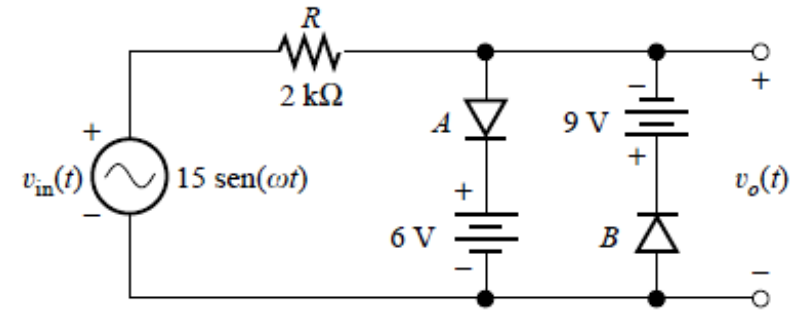


❑ ¿Cómo lograr las fuentes de tensión auxiliares?

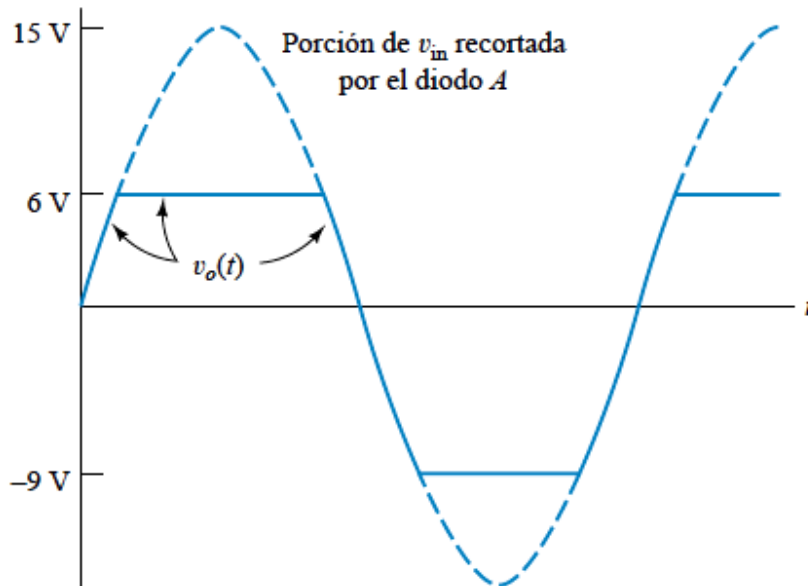
- Usaremos las alimentaciones, o bien otros diodos o *diodos Zener*, convenientemente polarizados.

❑ Ejemplo:

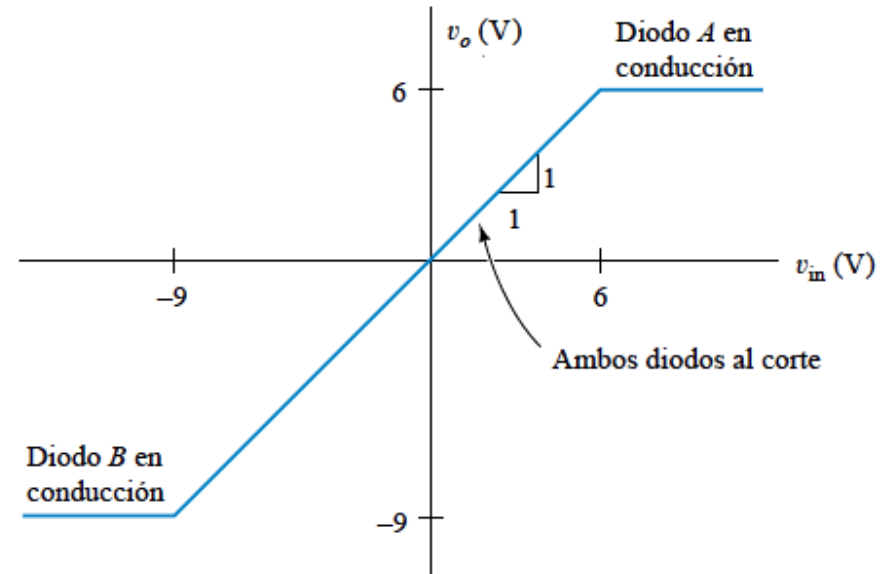
Recortador de dos niveles →



Formas de onda



Curva característica de transferencia

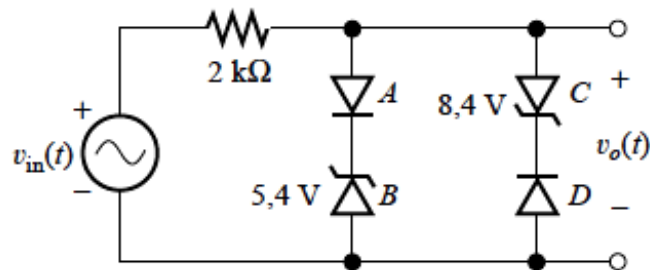




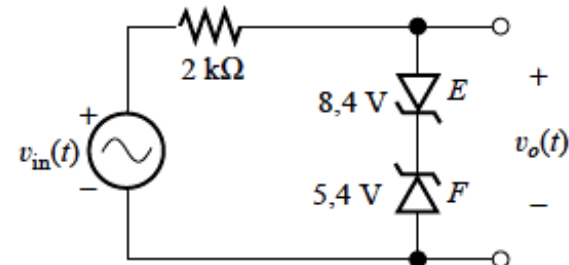
4.1. Limitadores/recortadores



- Observe que los siguientes circuitos se comportan exactamente igual...

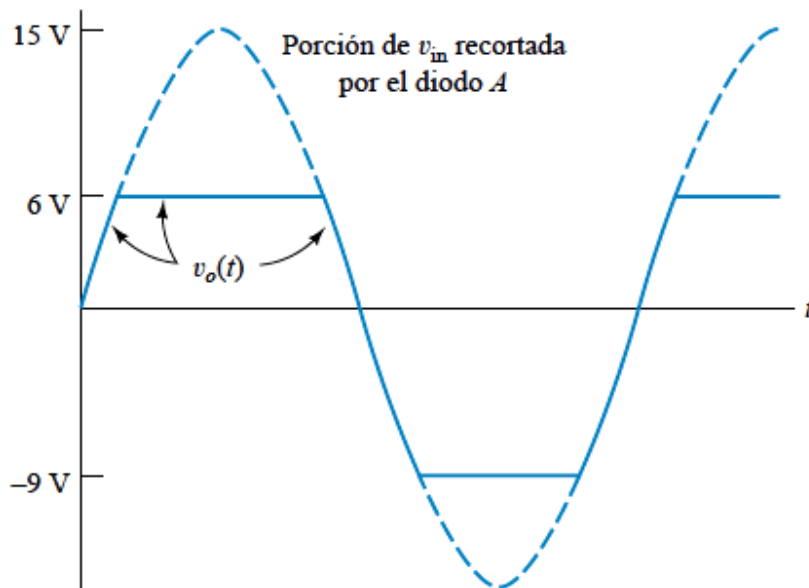


(a) Circuito con fuentes sustituidas por diodos zéner, donde se tiene en cuenta una caída de tensión directa del diodo de 0,6 V

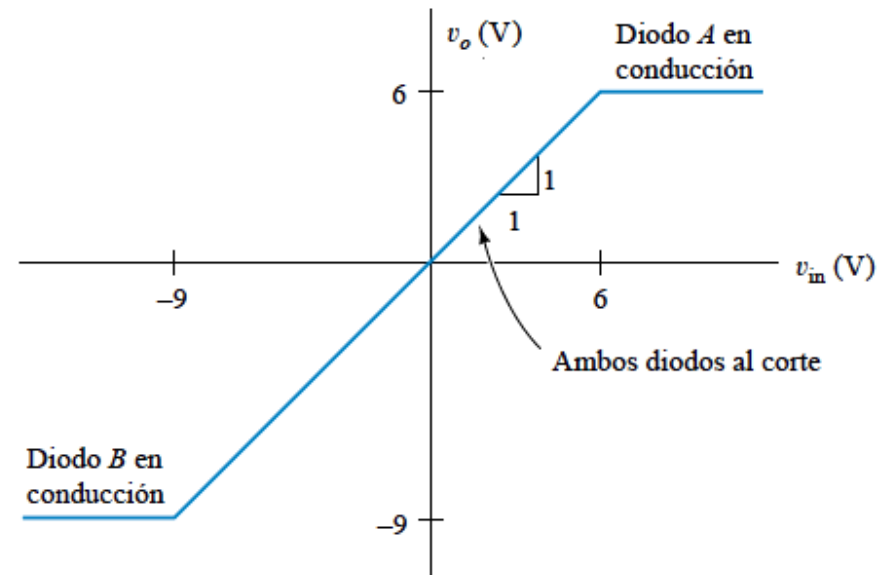


(b) Circuito más simple

Formas de onda



Curva característica de transferencia



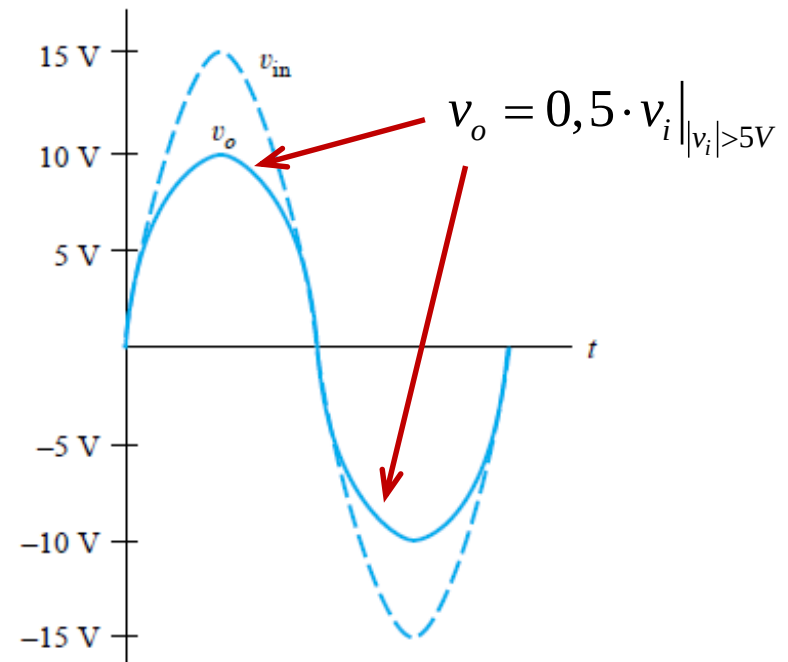
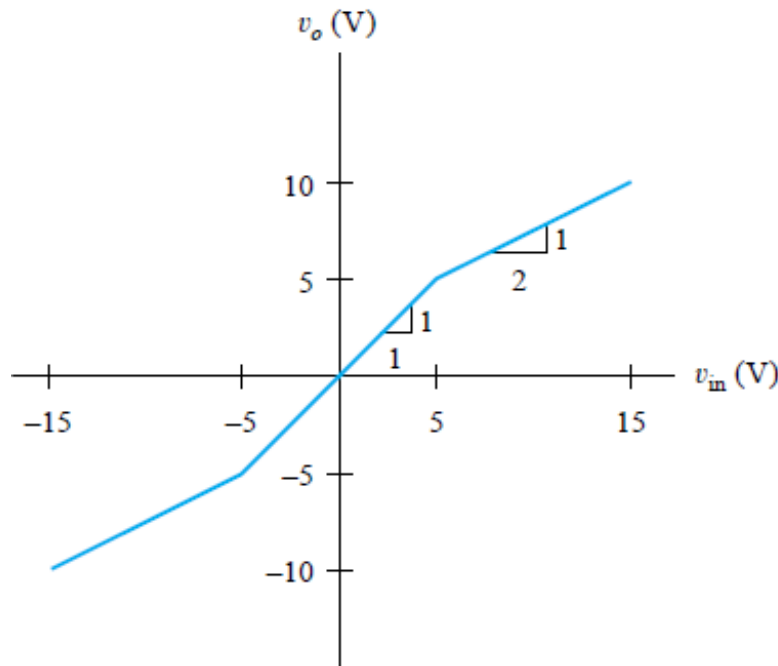
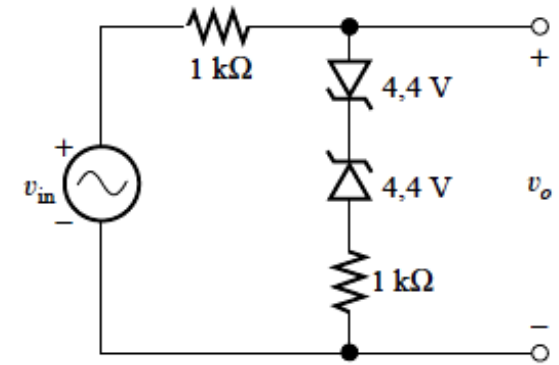


4.2. Conformadores de onda



❑ Alteran, no solo limitan, la forma de onda.

- F. de t. con varios tramos y pendientes, logrados con varios diodos, fuentes auxiliares (ó *zeners*) y resistores.
- Nótese que, en la salida, los picos +/- de la onda están *achatados*...



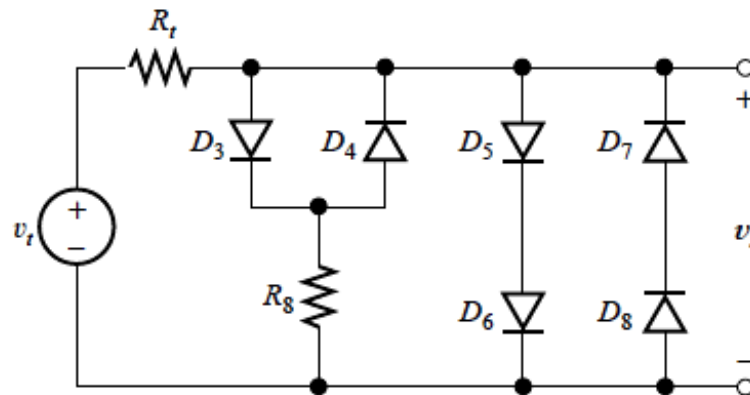


4.2. Conformadores de onda



□ Ejercicio:

1. Obtenga, analíticamente, la función de transferencia del cto. de la figura, en donde $R_t = 2,4k\Omega$ y $R_g = 1k\Omega$
2. Mediante Spice, obtenga la forma de onda de salida si en la entrada se introduce una señal triangular de 1kHz y $5V_{pp}$ de amplitud (sin componente continua). Use diodos de pequeña potencia, tipo 1N4148.

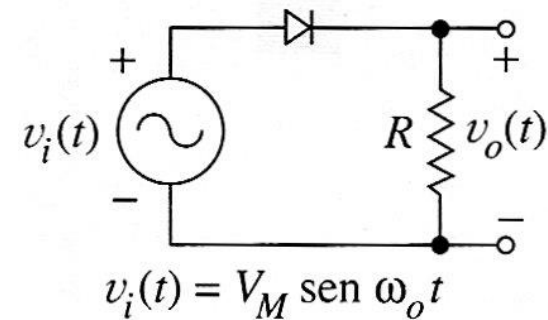
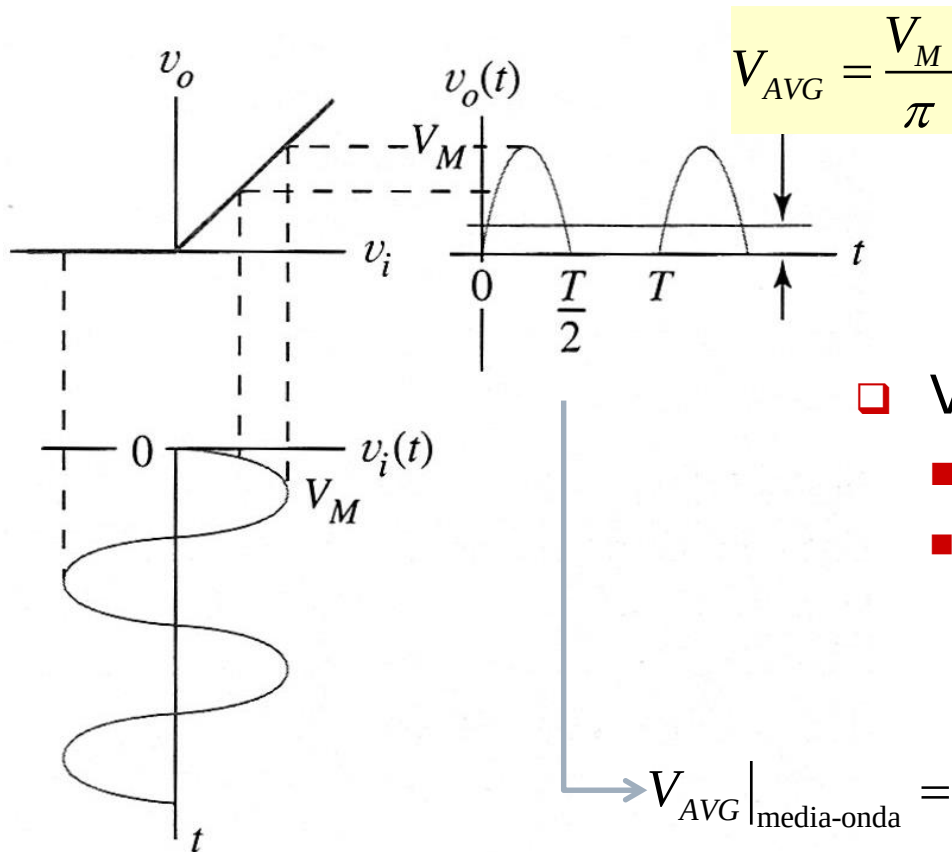




4.3. Rectificadores: media onda



- ❑ Función: transferir la energía de la entrada a una sola polaridad
 - El diodo suele estar en serie → la *energía* pasa a través del diodo
- ❑ Rectificador en media onda:



- ❑ Valor medio de la señal:

- $V_{AVG} = V_{Average} = V_{medio}$
- Se define como el valor de la integral de la señal en un periodo T , ponderado por dicho periodo T .

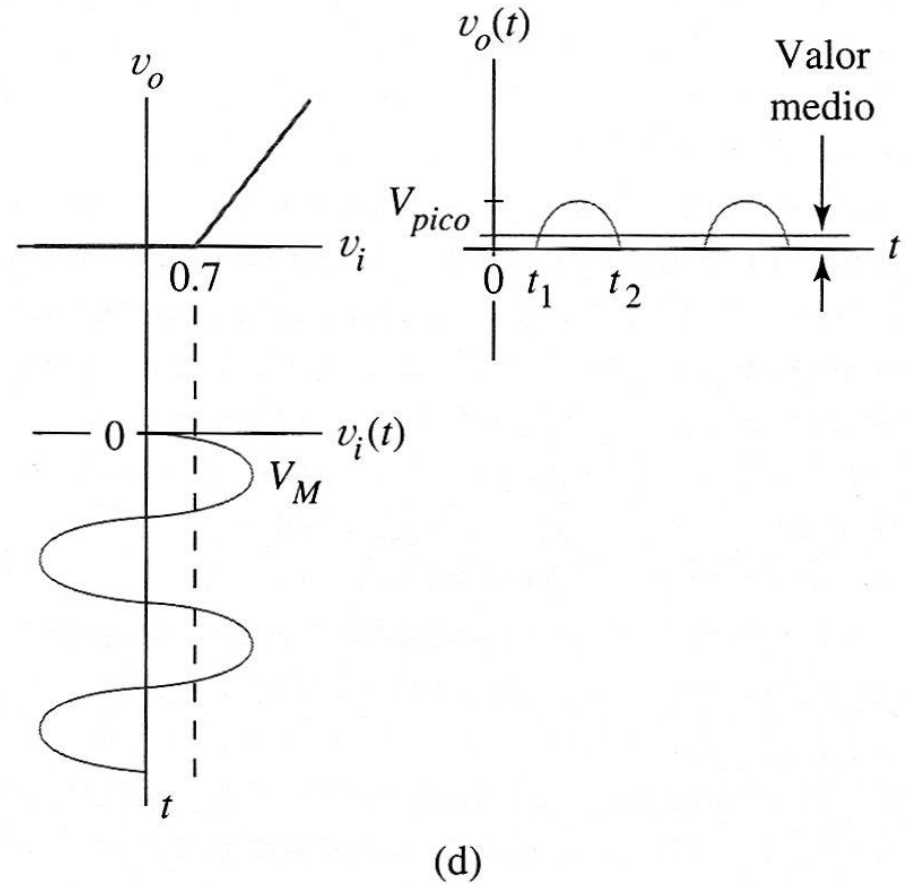
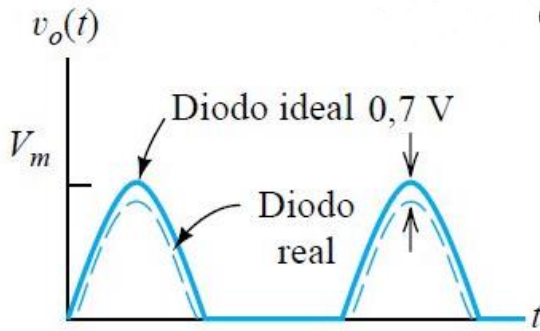
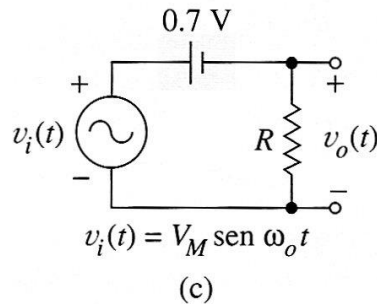
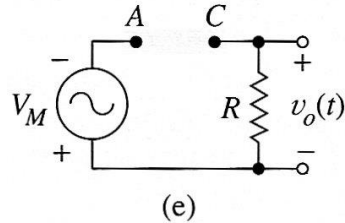
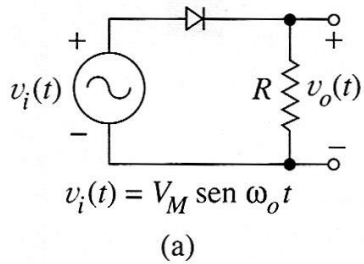
$$V_{AVG} |_{\text{media-onda}} = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T v_L(t) dt = \frac{1}{T} \cdot \int_0^{\frac{T}{2}} V_M \cdot \sin \omega t \cdot dt = \frac{V_M}{\pi}$$



4.3. Rectificadores: media onda



❑ Rectificador de media onda: efecto de la V_D





4.3. Rectificadores: onda completa



❑ Rectificadores de onda completa:

- **Mayor energía transferida** → aprovecha las dos polaridades de la onda de entrada.
- Alternativa 1 (Fig. 3.14): **Puente de diodos** → cuatro diodos
- Alternativa 2 (Fig. 3.13): dos diodos + transformador con salida doble

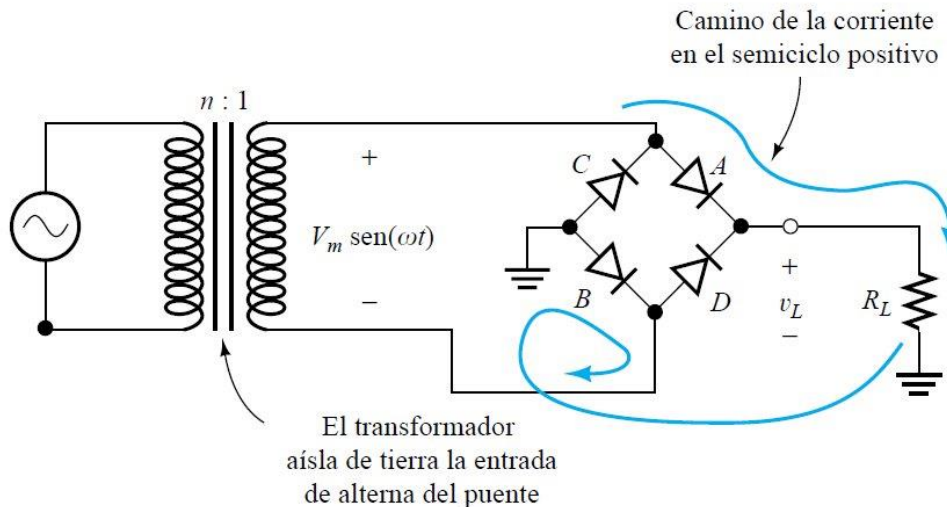


Figura 3.14. Rectificador de onda completa con puente de diodos.

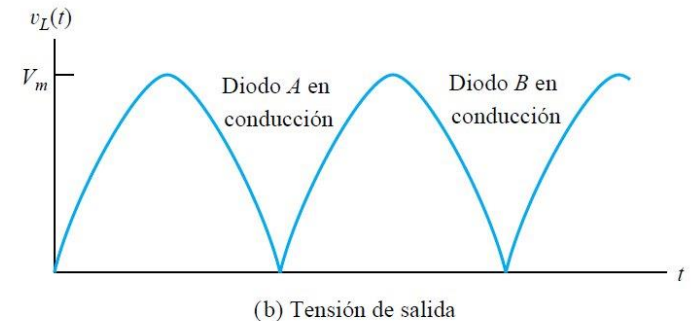
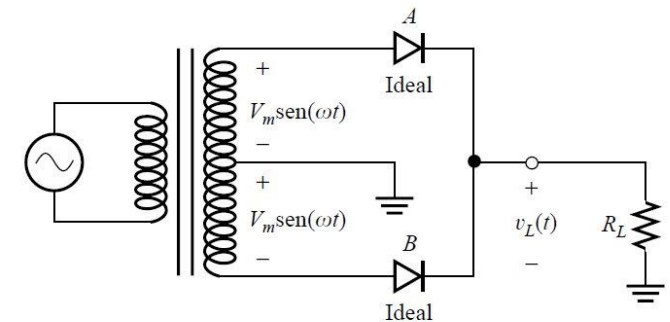


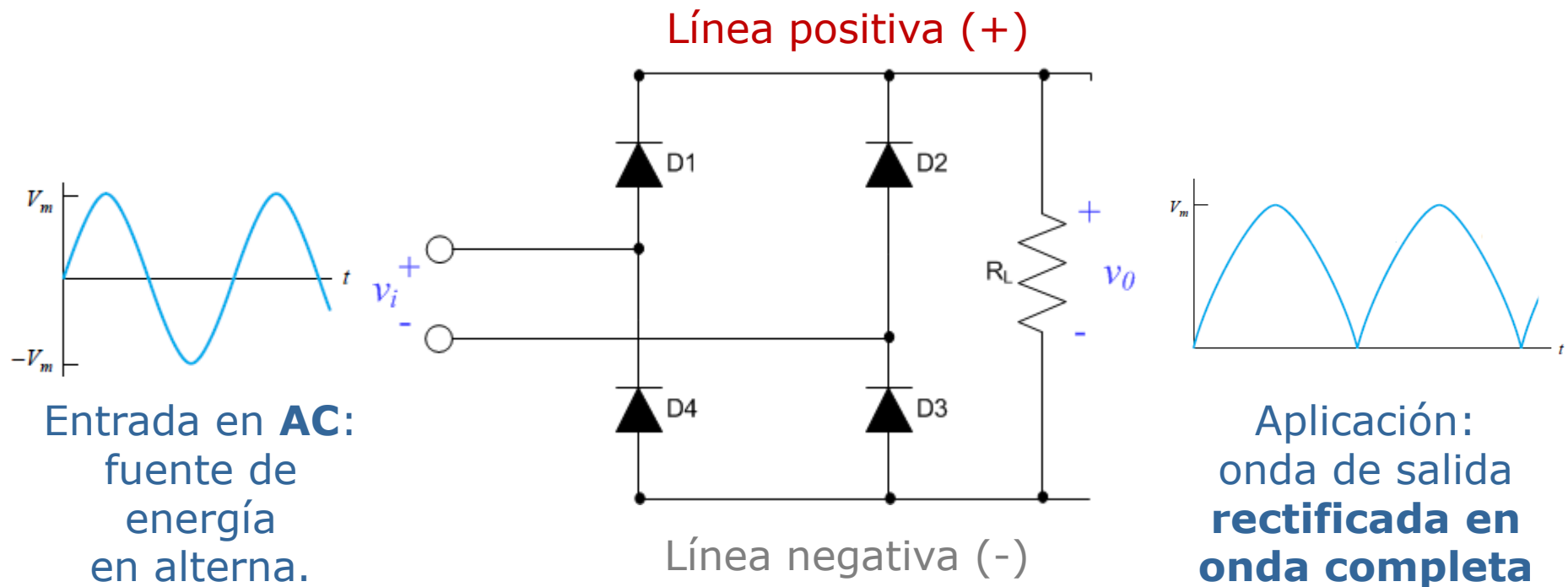
Figura 3.13. Rectificador de onda completa.



4.3. Rectificadores: onda completa



- ❑ Diferencias entre los circuitos con dos o cuatro diodos:
 - coste y valores límites i-v en diodos y transformadores
- ❑ Representación alternativa del rectificador en puente de diodos:
 - Facilita la descripción e interpretación de rectificadores más complejos, como los trifásicos [Materia: *Electrónica de Potencia*].





4.4. Asociación de diodos



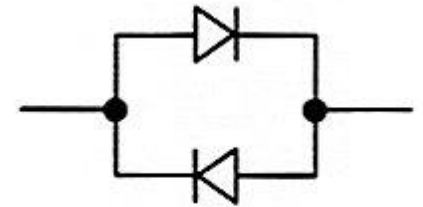
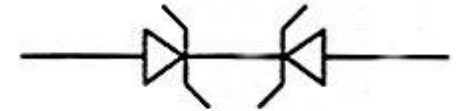
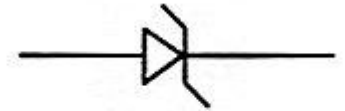
- En algunos de los circuitos vistos se utilizan los diodos asociados, en serie o paralelo:

- En serie: la **corriente** que los atraviesa es **la misma**

- *Y la tensión global resulta ser la suma de las tensiones individuales en cada diodo.*

- En paralelo: la **tensión** en ambos es **la misma**

- *Y la corriente global es la suma de las corrientes individuales por cada diodo.*



- Los diodos *asociados*, se pueden considerar y tratar como *nuevos dispositivos*...

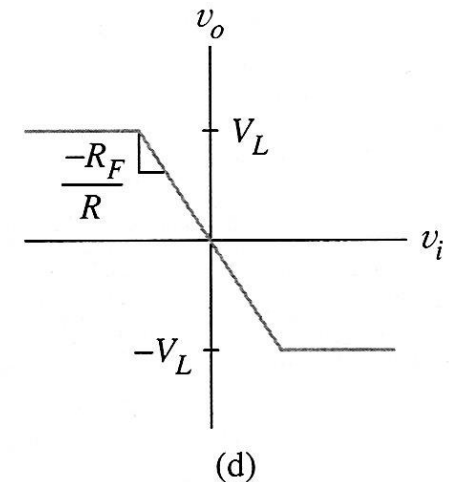
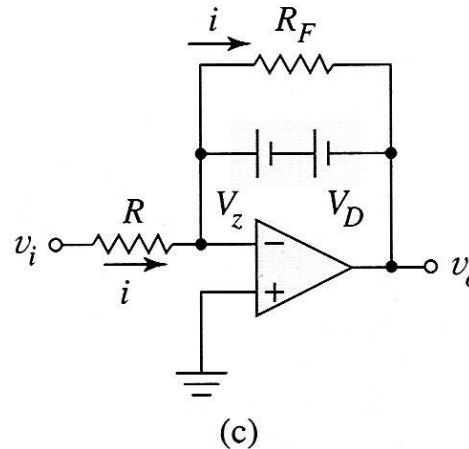
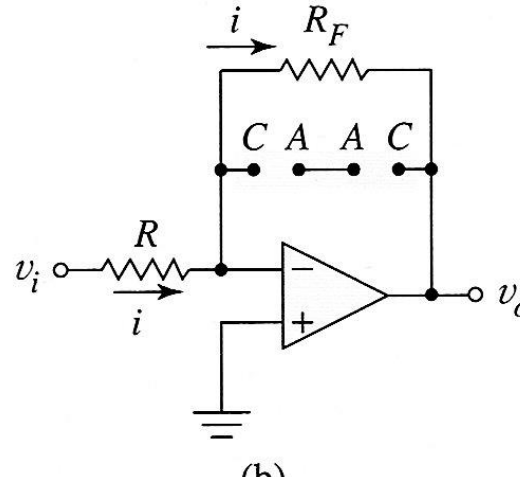
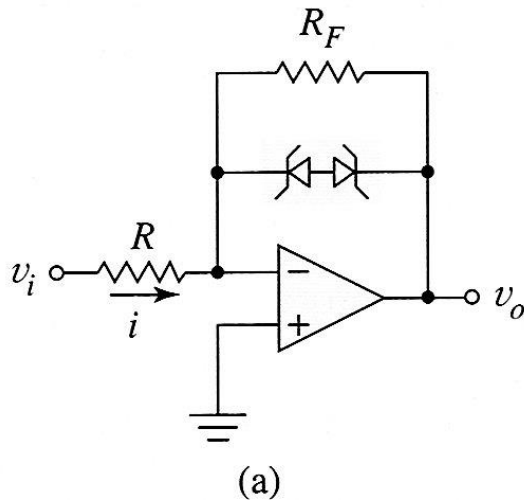
- Cuyas curvas (**$i-v$**) tienen características combinadas
- Dicha combinación se puede obtener a partir de las propiedades de la asociación (en serie o en paralelo)
- Ejercicio: obtenga las curvas (**$i-v$**) de los ejemplos mostrados aquí.



4.5. Circuitos con operacionales



- Conformadores de onda 'activos' → con amplificadores





4.5. Rectificadores de precisión (media onda)

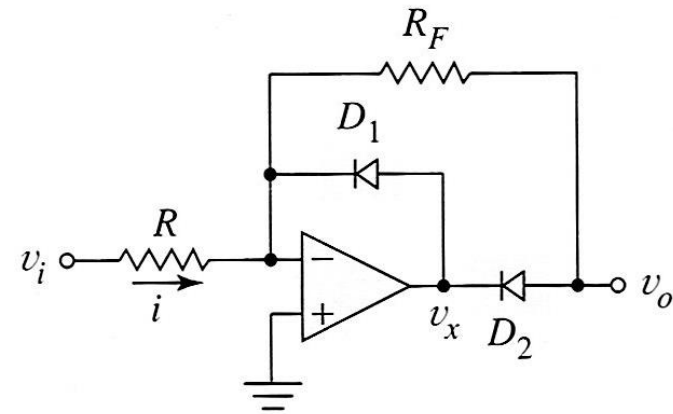


- Útiles para medidas en señales de pequeña amplitud:

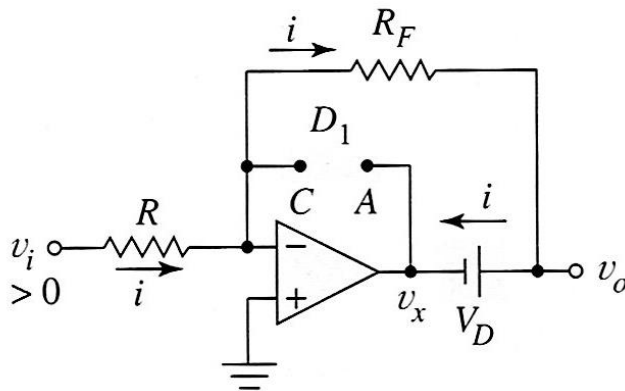
- Eliminan el error debido a las tensiones del diodo en conducción.

- Utilizan diodos junto con AO's

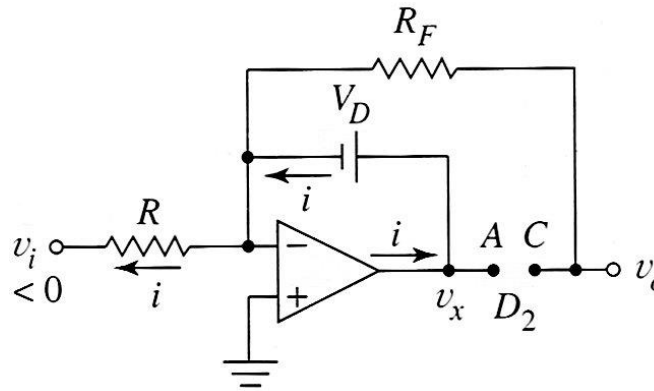
- Análisis:



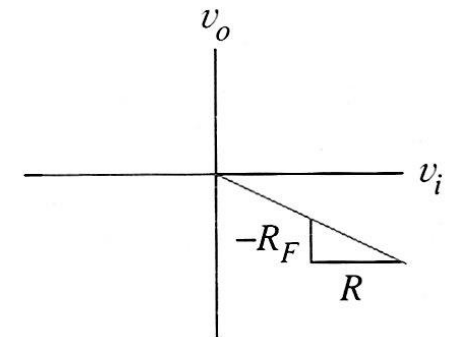
(a) Esquema



(b) Para $v_i > 0$



(c) Para $v_i < 0$



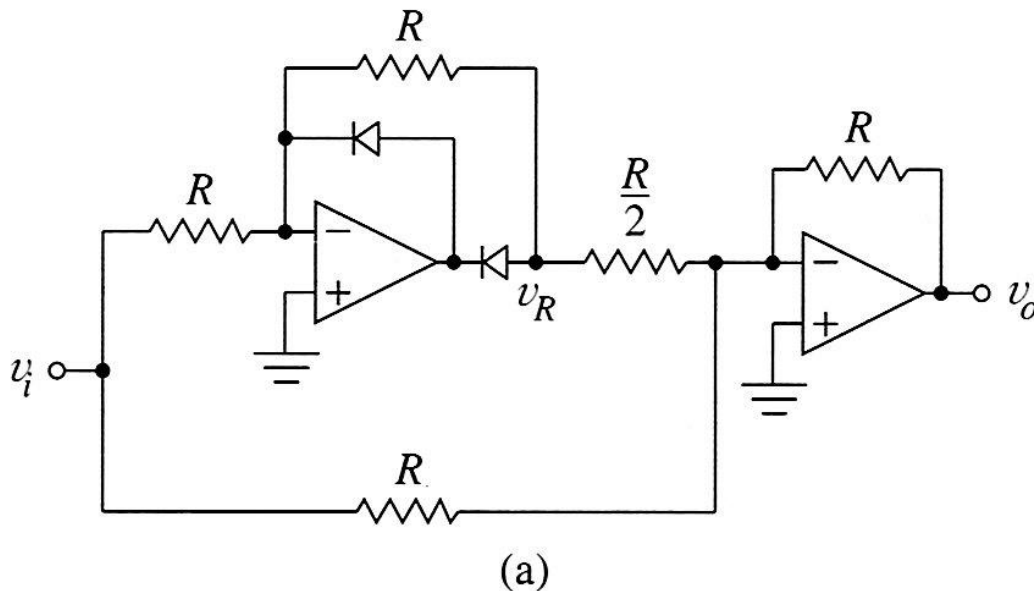
(d) f. de t.



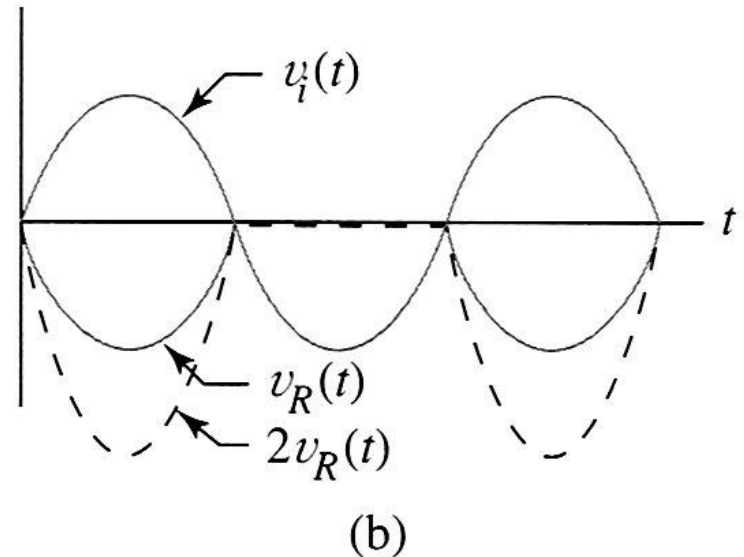
4.5. Rectificadores de precisión (onda completa)



- ❑ Basado en un rectificador de ½ onda y un sumador:
 - La señal de salida se compone al *combinarse*, mediante el sumador y con los pesos adecuados, la *señal original* y la procedente del *rectificador de media onda*



$$v_o(t) = -[v_i(t) + 2 \cdot v_R(t)]$$





Índice de la sección actual



1. Introducción a los semiconductores

2. Diodos de semiconductor

3. Diodos Zener

4. Aplicaciones típicas

5. Otros diodos

- Introducción.
- Diodos Schottky.
- Diodos optoelectrónicos.



5. Otros tipos de diodos



- ❑ Muchos y variados tipos de diodos basados en semiconductor:
Distintas propiedades según materiales y aplicaciones.

Rectificador



Zener



Tunel



Schottky



Tunel: resistencia diferencial negativa en un cierto intervalo de la característica I-V.

Schottky: conmutaciones muy rápidas (menos de 1ns).

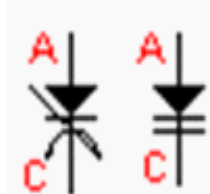
Varicap: con polarización inversa se obtiene un condensador variable controlado por tensión.

Varistor: Conduce una corriente significativa cuando el voltaje es elevado. Se usa como protector.

Fotodiodo: sensible a la incidencia de la luz (visible o infrarroja)

LED (Light-Emitting Diode): Emisor de luz de diferentes longitudes de onda(rojo, verde, azul, amarillo, infrarrojo, ...)

Varicap



Varistor



Fotodiodo



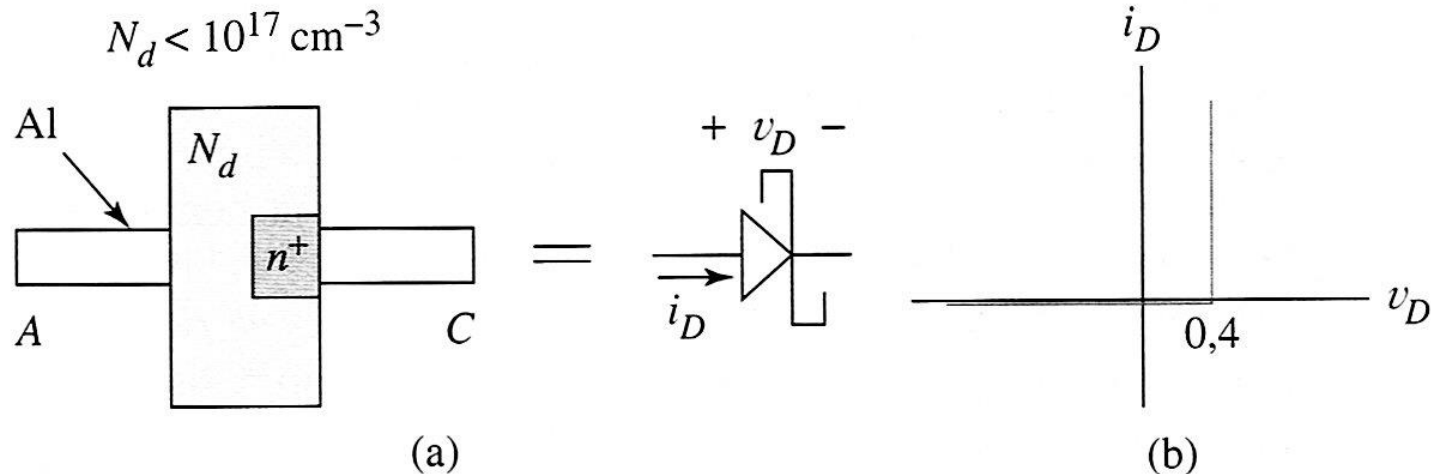
LED





5.1. Diodo Schottky

- ❑ Unión metal-semiconductor
 - Contacto Schottky en A y óhmico en K.
- ❑ Curva i - v como la del diodo de unión pn, pero con I_S mayor
 - Valores típicos de $I_S = 2 \cdot 10^{-11} \text{ A}$ (en el Si $\rightarrow I_S = 10^{-14} \text{ A}$)
 - Con esto la $V_\gamma \approx 0,4\text{V} \rightarrow$ conduce "antes" que el Si
 - Interesantes para acelerar la conmutación en circuitos digitales...
 - Contacto más vulnerable, menores tensiones de ruptura.



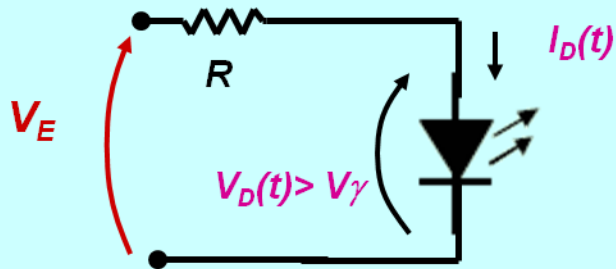


5.2. Diodos optoelectrónicos

Diodo emisor de luz. (*light emitting diode, LED*)

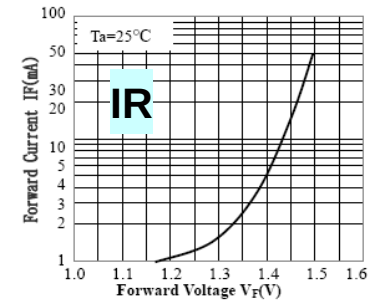
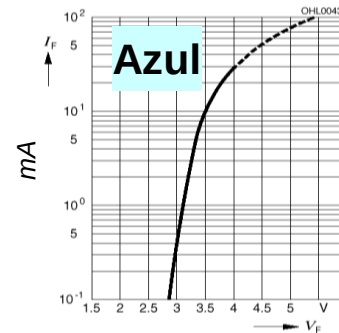
■ Principio de funcionamiento

Emisión de luz al polarizar en directo



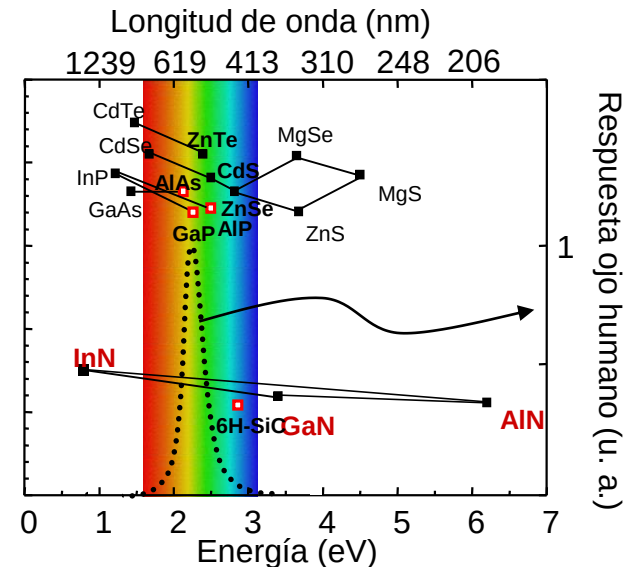
■ Característica I-V

V_γ depende de la longitud de onda (color)



□ Longitud de onda de emisión (color) depende del material:

- Monocromáticos (*figura adjunta*).
- LEDs Blancos, dos posibilidades:
 - Tres colores básicos (RGB) en el mismo encapsulado → pueden ser multicolores.
 - LED + Fósforo → sólo blanco.





5.2. Diodos optoelectrónicos

Diodo emisor de luz. (*light emitting diode, LED*)

- El circuito de polarización más simple es: batería + resistor serie
 - El brillo del indicador LED es función de la corriente por el diodo.
 - El resistor se deberá dimensionar teniendo muy en cuenta la posible variación de la tensión de excitación o de la $R_{total} = R_D + R_B$

Color	Material	Bandgap	V_f
Blue	SiC	2.64 eV	3.2–4.9
Green	GaP	2.19 eV	2.2–2.5
Yellow	GaP ₈₅ As ₁₅	2.11 eV	2.1–2.5
Orange	GaP ₆₅ As ₃₅	2.03 eV	1.9–2.2
Red	GaP ₄ As ₆	1.91 eV	1.7–2.7

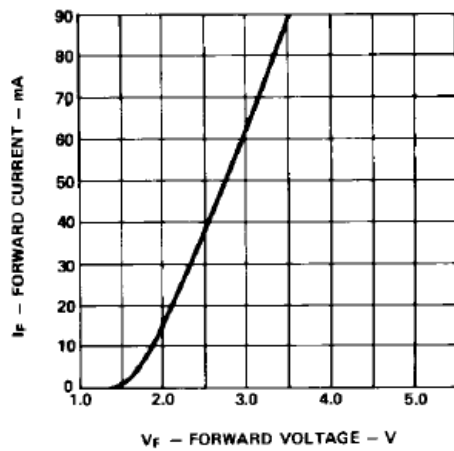


Figure 2. Forward Current vs. Forward Voltage Characteristics.

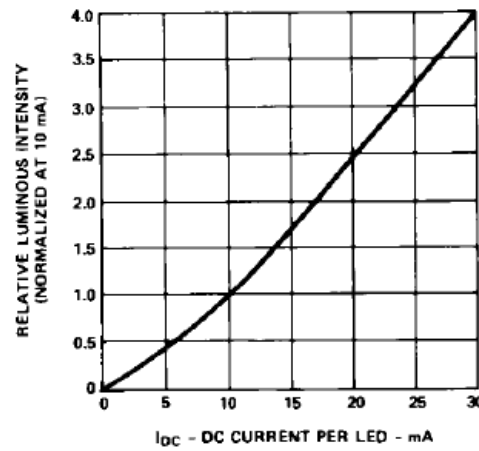
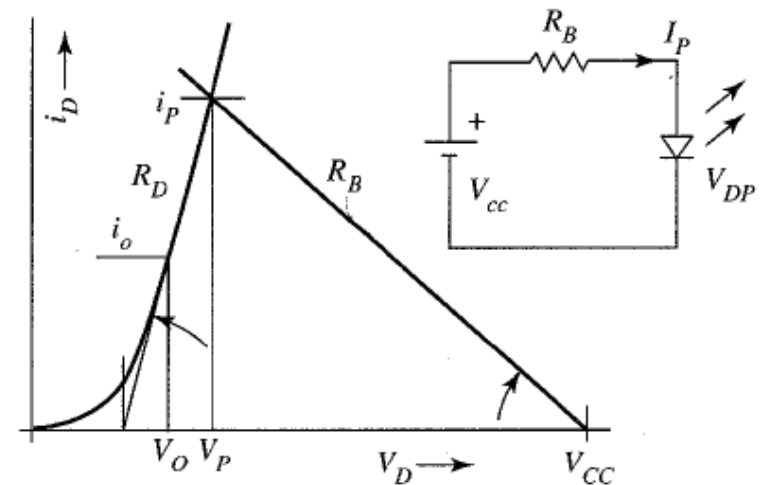


Figure 3. Relative Luminous Intensity vs. DC Forward Current.

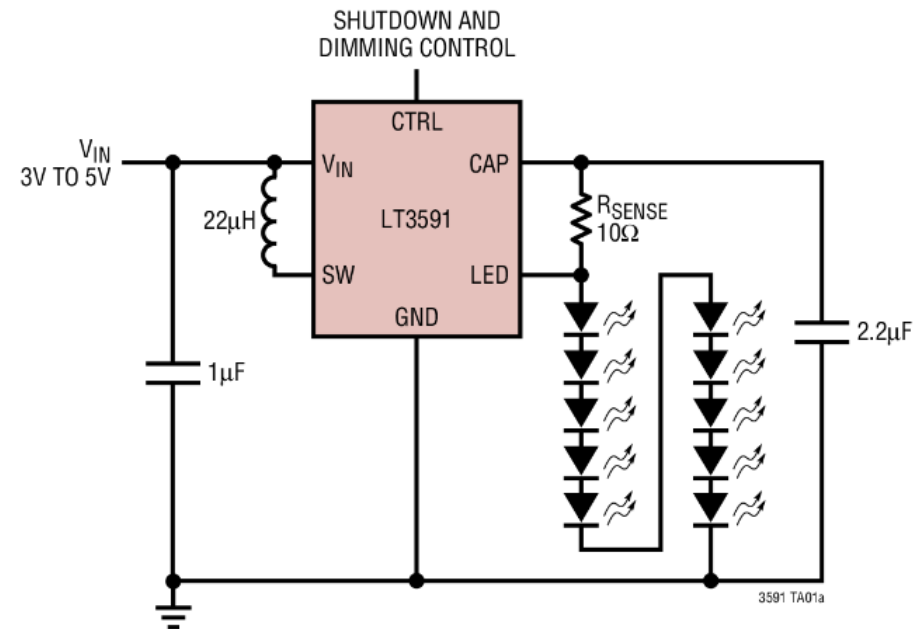
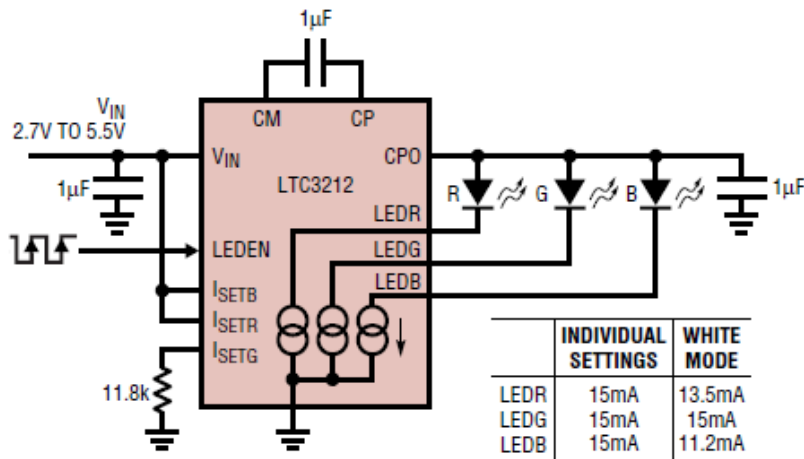




5.2. Diodos optoelectrónicos

Diodo emisor de luz. (*light emitting diode, LED*)

- Para tener un brillo estable y/o controlable puede ser necesario excitar los LED mediante corriente.
- Esta función se facilita con IC's especiales (*drivers*). Algunos ejemplos:
- LTC3212: control de LED RGB, 7 colores. Aplicación en telefonía móvil (LED de notificación multicolor)



➔ Fuente:
http://www.linear.com/products/LED_Driver_ICs

- LT3591: control de hasta 10 LED Blancos, en serie, a partir de baterías de baja tensión. Aplicación en telefonía móvil (iluminación de fondo de pantalla)



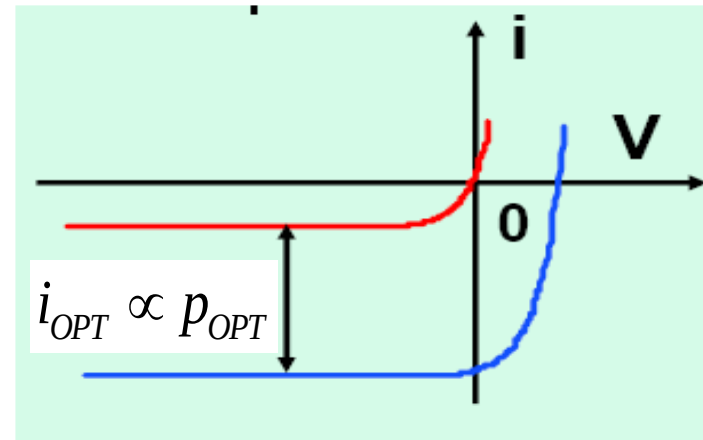
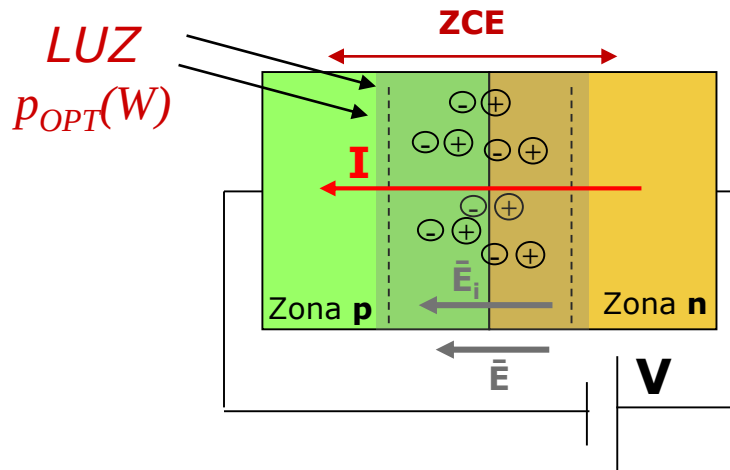
5.2. Diodos optoelectrónicos

Diodo detector de luz, fotodetectores

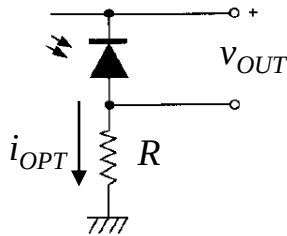
■ Principio de funcionamiento

⇒ La absorción de luz genera pares e-h en la ZCE.

⇒ En esas condiciones: polarización en inversa da lugar a corriente apreciable, i_{OPT}



■ Ejemplo de circuito de polarización



■ Caso especial: Célula solar.

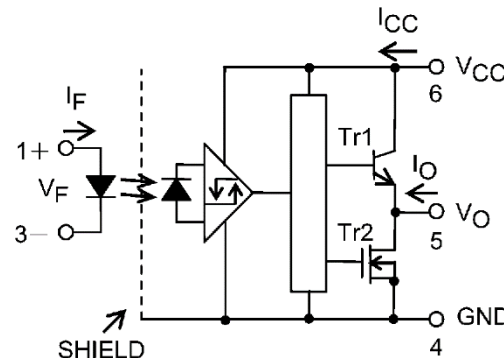
- ⇒ Optimizadas para absorber la radiación solar
- ⇒ Detector diseñado para trabajar en el cuarto cuadrante
- ⇒ Generan tensión y corriente.



5.3. Optoacoplamiento



- ❑ Transferencia inalámbrica de información:
 - Mediante dispositivos optoelectrónicos
- ❑ Emisor (LED) + receptor optoelectrónicos
 - En diferentes encapsulados → conexión remota
 - *por ejemplo los teledandos Infrarrojos o las barreras de seguridad:*
 - En el mismo encapsulado → **opto-acopladores**
 - *Interconexión de dos secciones aisladas de un mismo sistema (seguridad eléctrica, etc.)*





Control de revisiones



- 2016-11-27. Versión inicial.