

# TECNOLOGÍA ELECTRÓNICA DE COMPUTADORES

2º Curso – GRADO EN INGENIERÍA INFORMÁTICA  
EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

*Tema 3: Componentes electrónicos.  
Diodos y transistores*

*Lección 3. El diodo semiconductor*

## Tema 3: Componentes electrónicos. Diodos y transistores

### Lección 3. El diodo semiconductor

3.1. Principio de funcionamiento

3.2. Curva característica del diodo. Diodo real y curvas linealizadas

3.3. Tipos de Diodos. Diodo zener. LED. Fotodiodo. Otros diodos

3.4. Circuitos con diodos y aplicaciones

## Bibliografía de la lección

### Lectura clave

Capítulo 3 de diodos de A.P. Malvino  
Principios de Electrónica  
Editorial Mc. Graw Hill

### Otras lecturas complementarias

Capítulo 2 sobre semiconductores (Malvino)

Regulador de tensión con zener 5.1 y 5.2 de Malvino (exceptuando coef. temperatura)

Consultar <http://es.rs-online.com/web/>

<http://es.farnell.com/>

para buscar diferentes diodos

Funcionamiento diodo: <http://youtu.be/DbjR-2knrpo>

## 3.1. Principio de funcionamiento

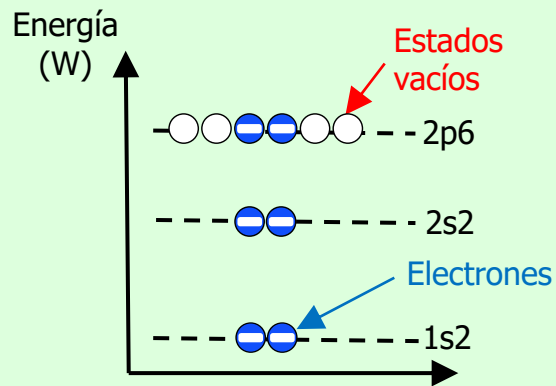
### Nociones de física de estado sólido: Concepto de bandas de energía

Estructura cristalina (cristal): es un espacio ordenado de átomos (o iones) en forma de bloque y repetido regularmente en tres dimensiones.

Ideas básicas:

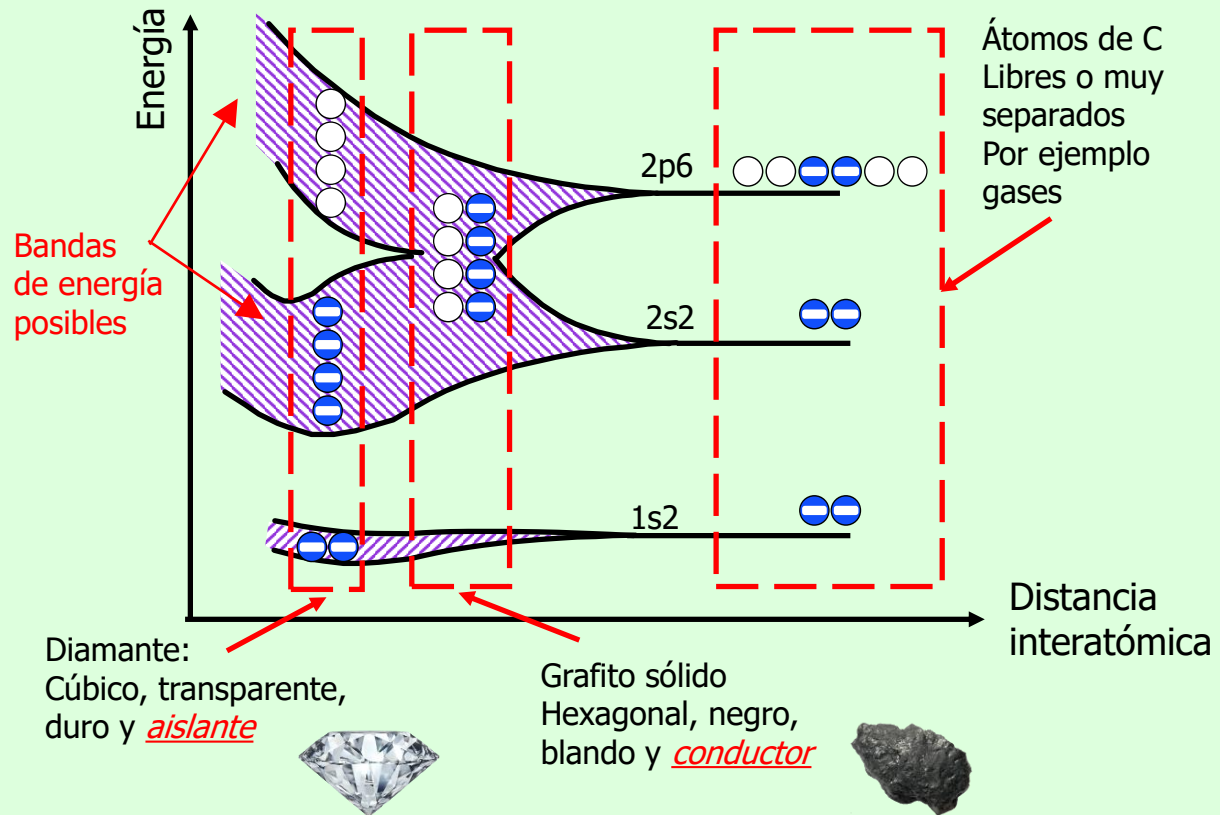
- a) Cuando los átomos forman un cristal, sólo los niveles de energía de los electrones de la capa exterior se ven afectados por la presencia de átomos vecinos: al acercarse a otros átomos, cambian los niveles de energía permitidos (ver ejemplo con el carbono)
- b) El acoplamiento de capas de electrones exteriores da lugar a unas BANDAS DE ESTADOS DE ENERGÍA muy próximos entre si
- c) En los niveles inferiores, los electrones están próximos al átomo (banda de valencia). Estos electrones forman parte de los enlaces entre los átomos
- d) En los niveles superiores, los electrones pueden extraerse fácilmente y desplazarse por el cristal facilitando la conducción
- e) Las energías de cada banda dependen del cristal: átomos que lo componen y ordenación

## Ejemplo con el carbono (C)



Capas y niveles de energía en el carbono

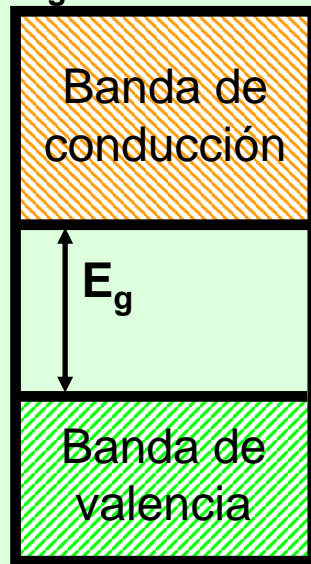
¿Que pasa al reducir la distancia entre átomos?



## Tipos de materiales, según sus propiedades eléctricas

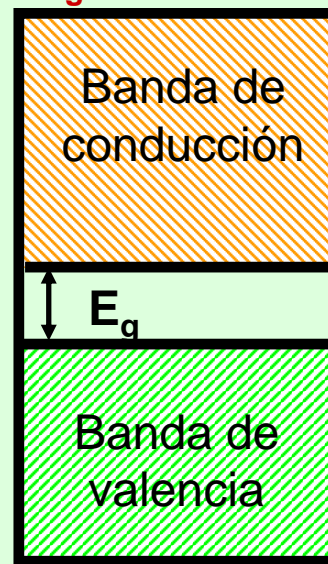
### Aislante

$E_g = 5 \text{ a } 10 \text{ eV}$



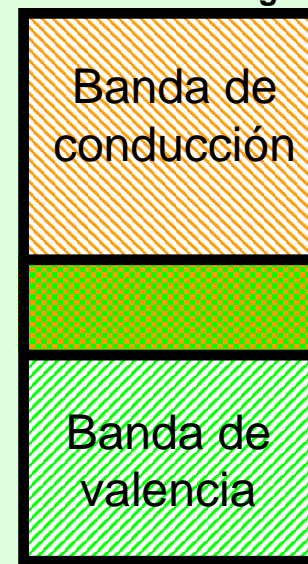
### Semiconductor

$E_g = 0,5 \text{ a } 2 \text{ eV}$



### Conductor

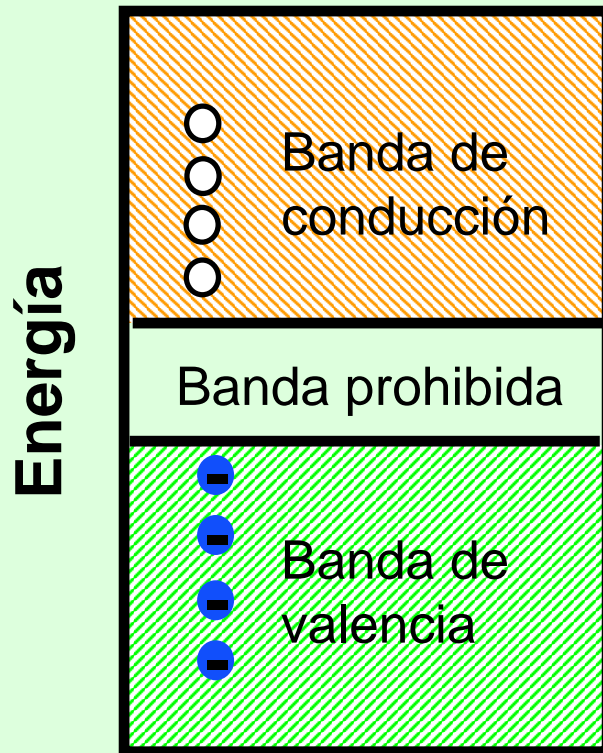
No hay  $E_g$



A más Temperatura mejor  
conducción

A menos Temperatura  
mejor conducción

## Material Semiconductor



A temperatura ambiente algunos electrones de la Banda de valencia poseen la energía necesaria para saltar a la Banda de conducción



Pueden moverse a estados vacíos de la banda de conducción de otros átomos vecinos



Se genera corriente eléctrica

## Semiconductores

### Semiconductores elementales:

Germanio (Ge) Silicio (Si)

- Tienen 4 e<sup>-</sup> en la última capa

Compuestos IV: SiC y SiGe

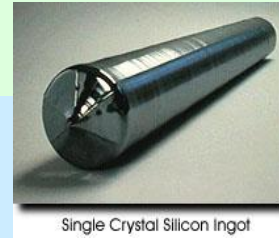
Compuestos III-V:

Binarios: GaAs, GaP, GaSb, AlAs, AlP, AlSb, InAs, InP y InSb

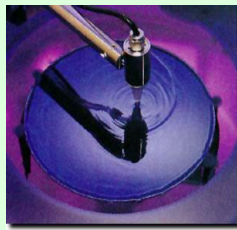
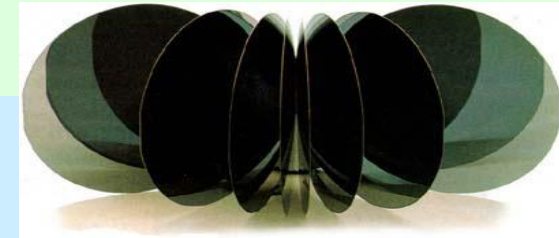
Ternarios: GaAsP, AlGaAs

Cuaternarios: InGaAsP

Compuestos II-VI: ZnS, ZnSe, ZnTe, CdS, CdSe y CdTe



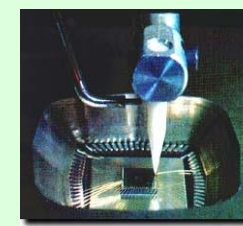
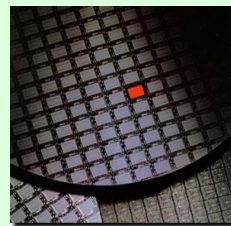
Single Crystal Silicon Ingot



Photoresist Application  
(Cortina)



Automated Acid Etch  
(SEZ)



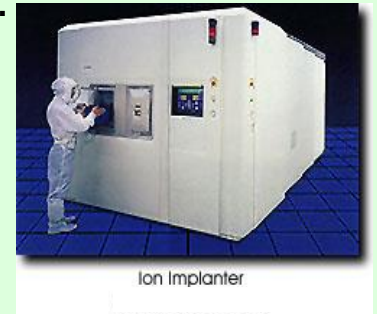
Wire Bonding  
(Kulicke & Soffa Industries, Inc.)



## Semiconductor EXTRÍNSECO = Semiconductor DOPADO

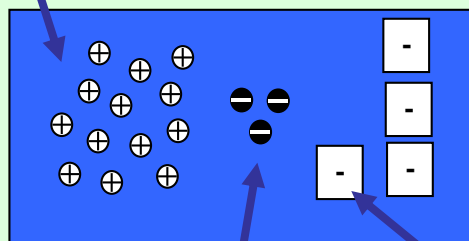
Los materiales empleados para dopar pertenecen al Grupo III (3 e<sup>-</sup> en la última capa: In, Al, Ga, B) o al Grupo V (5 e<sup>-</sup> en la última capa: As, Sb, Bi).

Los dopados se realizan mediante difusión o implantación iónica: se mantiene el semiconductor en una atmósfera de la sustancia "dopante" con concentración, temperatura y tiempo controlados.



Semiconductores **TIPO P:**  
(dopantes grupo III, p.e. In)

**Muchos huecos**

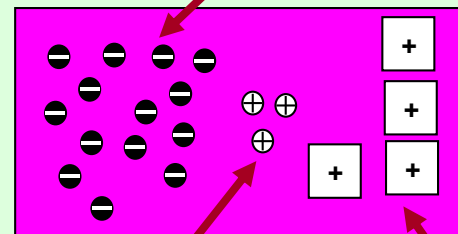


**Pocos e<sup>-</sup>**

**Iones negativos  
fijos en el cristal**

Semiconductores **TIPO N:**  
(dopantes grupo V, p.e. Sb)

**Muchos e<sup>-</sup> libres**



**Pocos  
huecos**

**Iones positivos  
fijos en el cristal**

Los dispositivos electrónicos surgen de la unión de trozos de semiconductor de dos tipos: P y N

Zéner, LED, Diodo  
Schottky, Fotodiodo ...

DIODOS  
**1 unión PN**

SCR, TRIAC, DIAC ...

TIRISTORES  
**varias uniones PN**

Bipolar, JFET, MOSFET  
Fototransistor ...

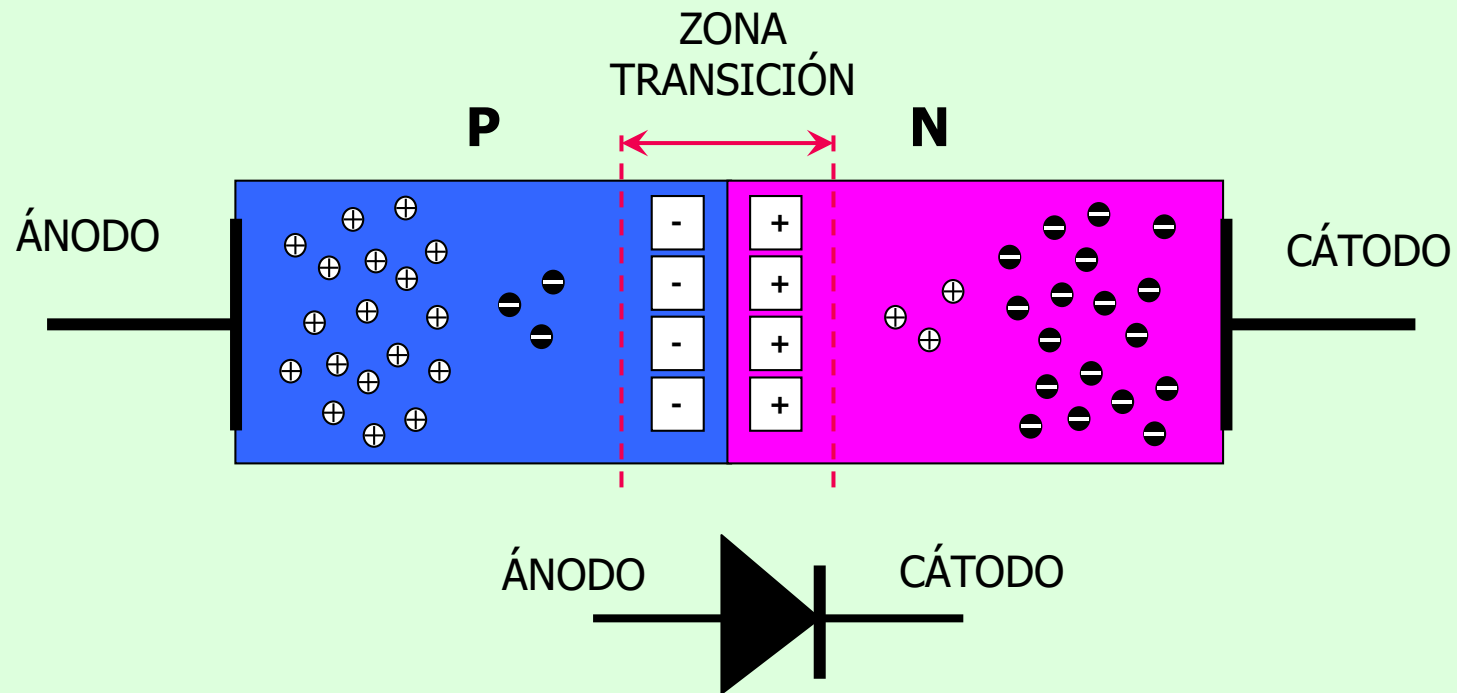
TRANSISTORES  
**2 uniones PN**

Asociación de dispositivos:  
**Optoacoplador, Display, Puente rectificador ...**

**iii CIRCUITOS INTEGRADOS iii**

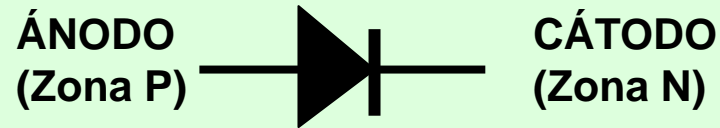
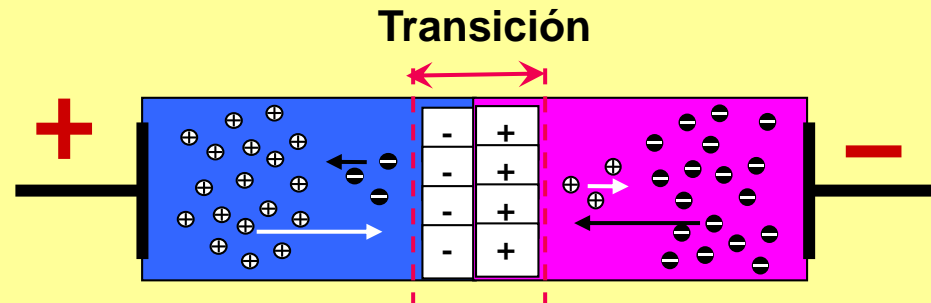
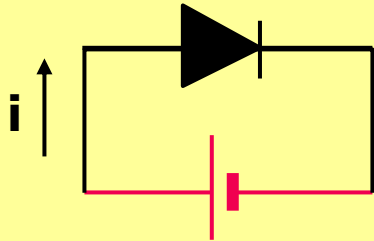
## Unión PN

Los semiconductores por sí solos, son poco útiles. El interés surge cuando se unen semiconductores P y N

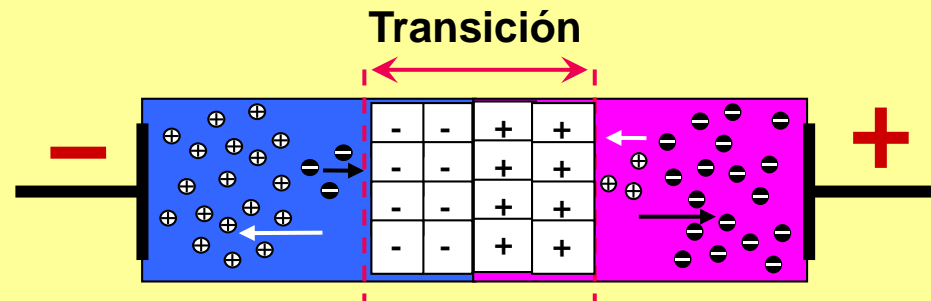
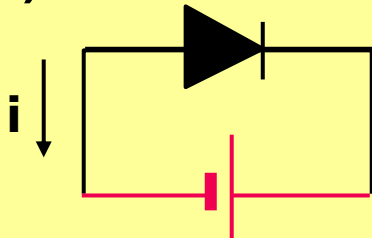


SÍMBOLO

Fue descubierto accidentalmente en los laboratorios Bell por Russel Ohl en 1940

Diodo semiconductor**a) Polarización directa**

Huecos (zona P) y  $e^-$  (zona N) "invaden" la zona de transición, estrechándola.  
La corriente directa (mayoritarios) puede ser importante.

**b) Polarización inversa**

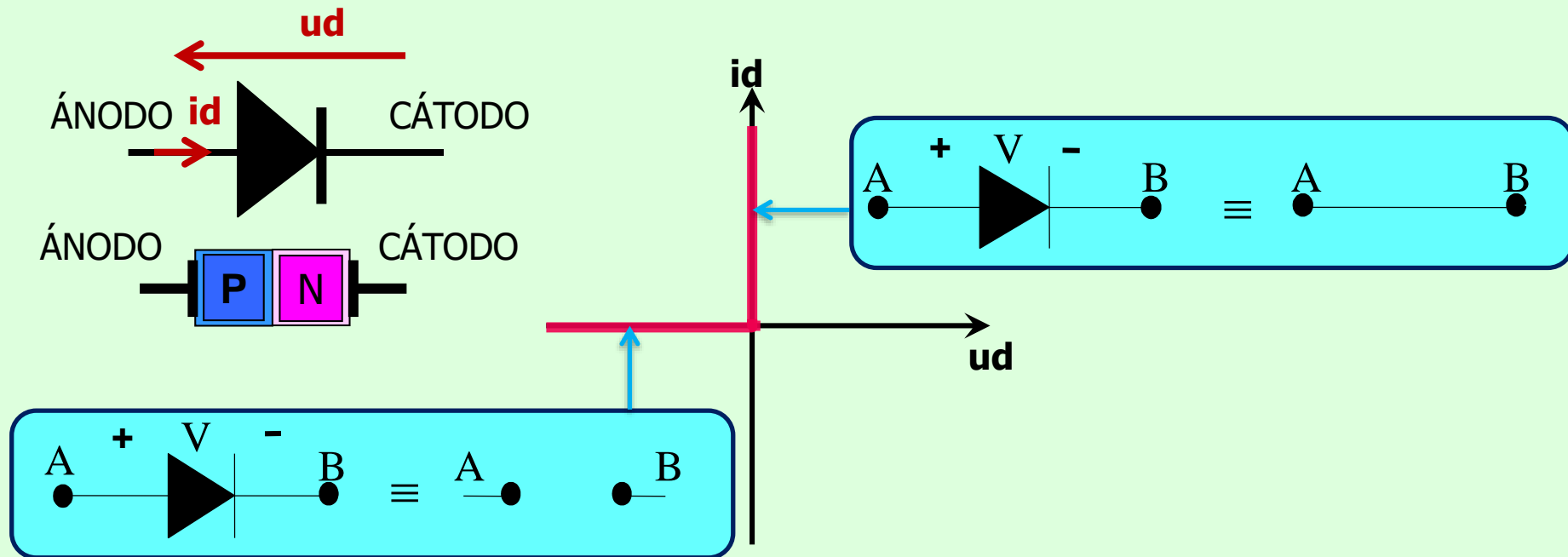
Huecos (zona P) y  $e^-$  (zona N) "escapan" de la zona de transición, ensanchándola.  
La corriente inversa (minoritarios) es muy pequeña, idealmente nula.

## 3.2 Curva característica del diodo. Diodo real y curvas linealizadas

Recordar: la curva característica es la representación del comportamiento del componente en un diagrama I-V

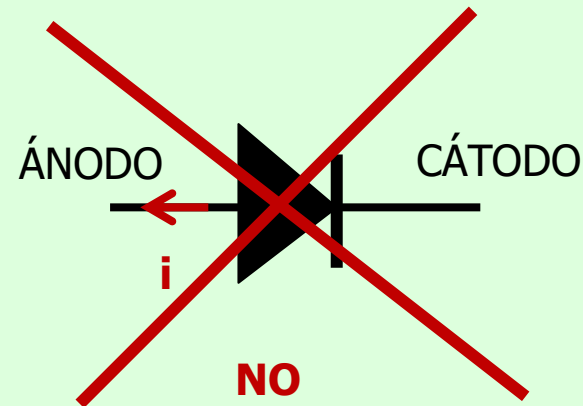
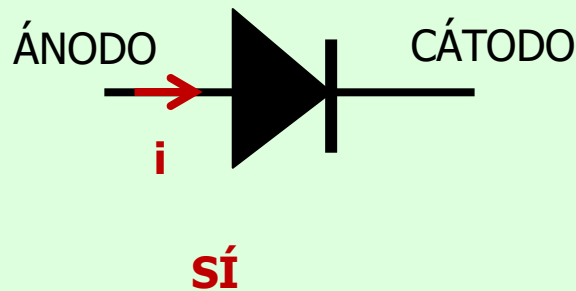
Un diodo ideal:

- Permite el paso de la corriente cuando  $i > 0$  (se comporta casi como un cortocircuito)
- No permite el paso de corriente cuando  $i < 0$  (se comporta como un abierto)



## RESUMEN del comportamiento de un diodo:

En esencia, un diodo es un dispositivo que sólo permite la conducción de la corriente en un sentido.

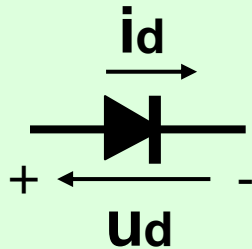


## Diodo real vs ideal

- **En bloqueo los diodos reales son casi ideales**, la corriente es prácticamente cero aunque no cero (corriente de fugas)
- **En conducción no son cortos perfectos**, hay una pequeña caída de tensión
- El paso de conducción a bloqueo o al revés es rápido, pero no instantáneo (no afecta a la curva, en principio)

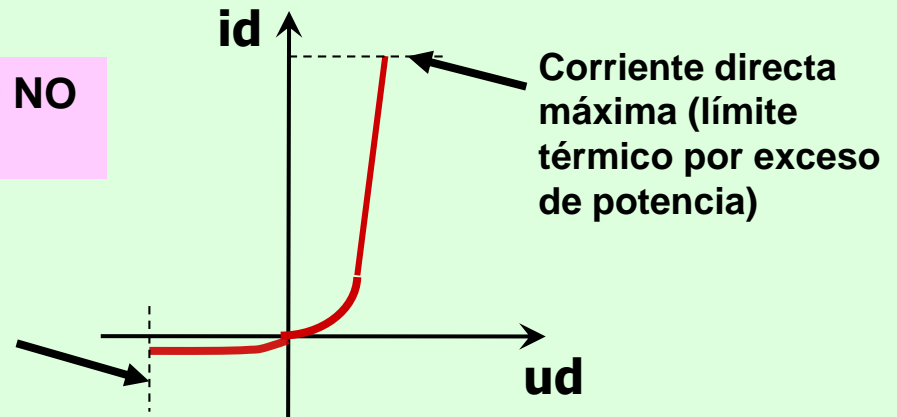
Diodo real: característica

Curva real (simulador, resolución gráfica)



!! COMPORTAMIENTO NO LINEAL !!

Tensión inversa máxima  
(ruptura por avalancha)



Ejemplo

**1N4148**

DO-204AH (DO-35 Glass)

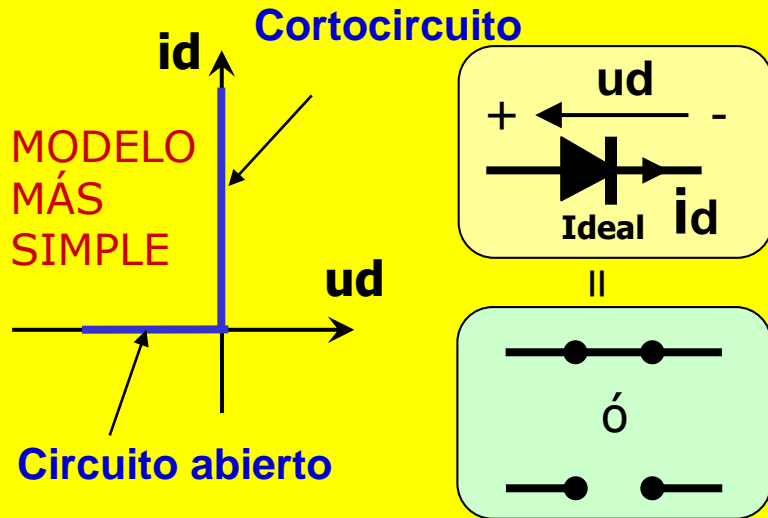
$V_R = 100V$   
 $I_{FMAX} = 150mA$   
 $V_F = 1V$   
 $I_R = 25 nA$

Tensión inversa máxima  
 Corriente directa máxima  
 Caída de tensión directa  
 Corriente inversa

Otros parámetros importantes: rapidez, caída de tensión

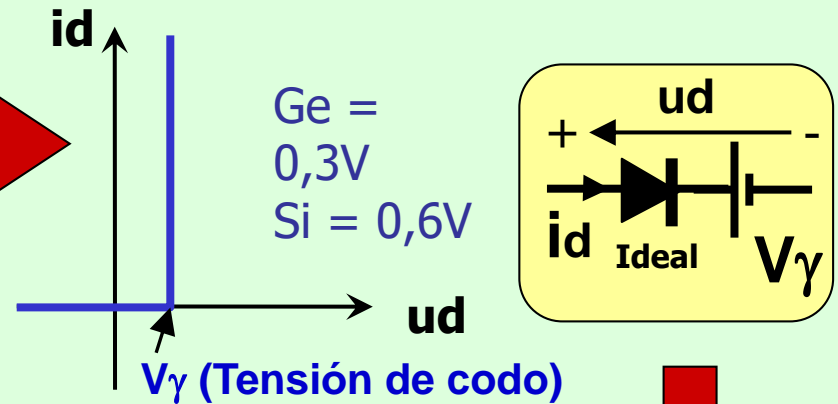
## Linealización de la curva característica: aproximaciones

### 1. Diodo ideal



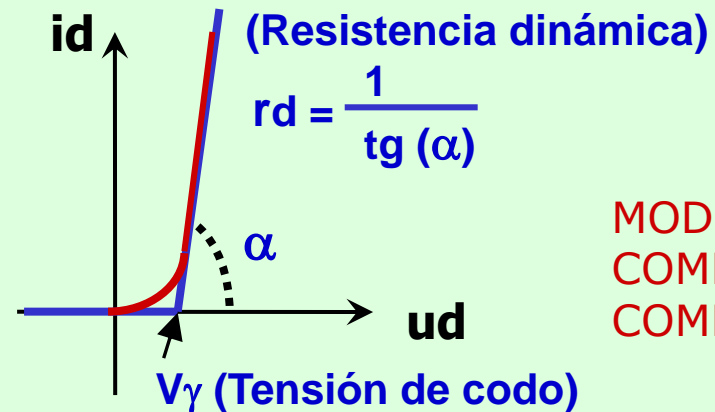
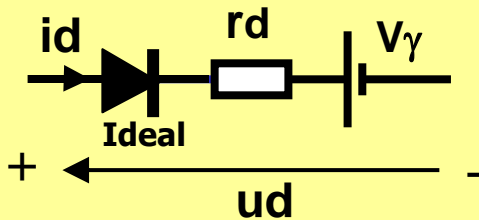
### 2. Linealización de la curva, con:

- Corriente inversa nula
- Resistencia dinámica nula



### 3. Linealización de la curva, con:

- Corriente inversa nula
- Resistencia dinámica no nula



**MODELO MÁS COMPLETO Y COMPLEJO**

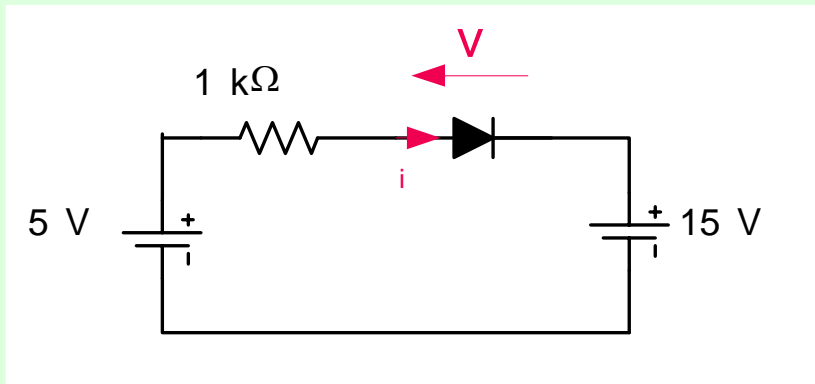


## Estrategias de análisis

1<sup>er</sup> método: hacer suposiciones arbitrarias sobre la zona de funcionamiento del diodo y tratar de ver si los resultados son compatibles con la suposición.

2<sup>o</sup> método: tratar de “ver” de antemano la zona de funcionamiento y ver si los resultados son compatibles.

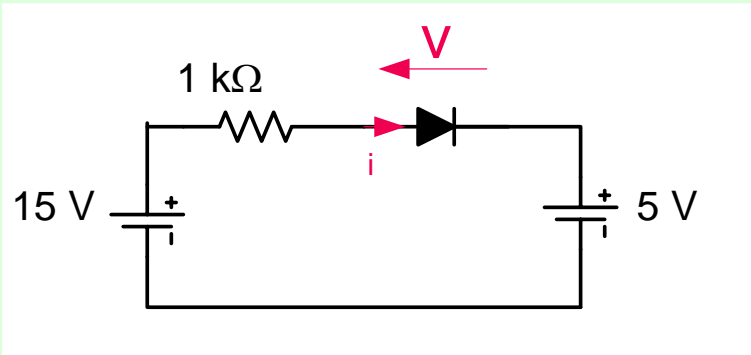
### Ejemplo 1: Determinar la corriente y la tensión en el diodo (ideal)



## Ejemplo de análisis 2

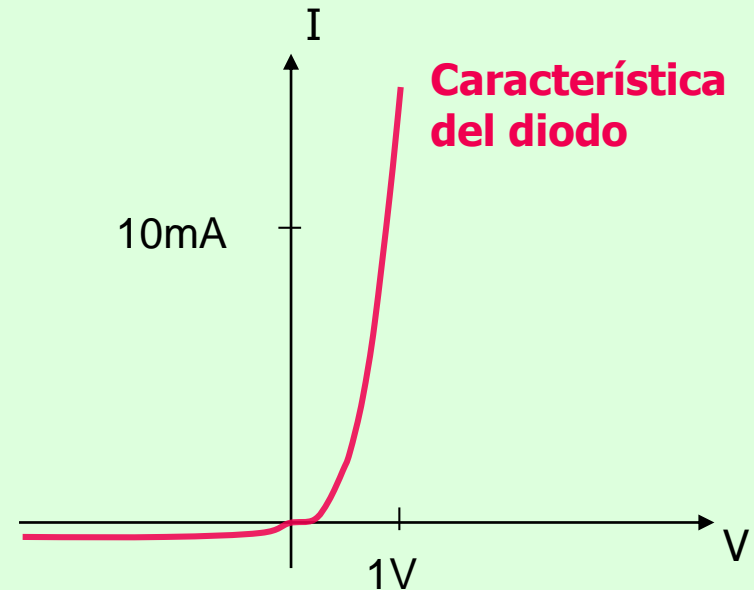
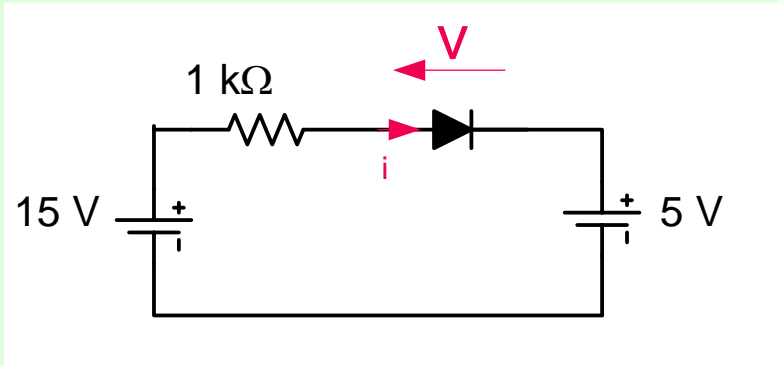
Calcular la corriente  $i$ , y la tensión,  $v$ :

1. Suponiendo diodo ideal
2. Suponiendo caída de tensión de 0,6 V
3. Suponiendo caída de tensión de 0,6 V y  $R_d = 0,1 \Omega$



### Ejemplo de análisis 3

Analizar el circuito de forma gráfica suponiendo que la curva característica es la que se indica en la figura

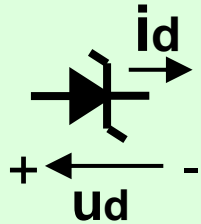
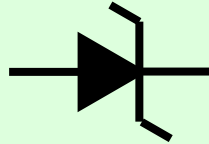


## Aspectos importantes

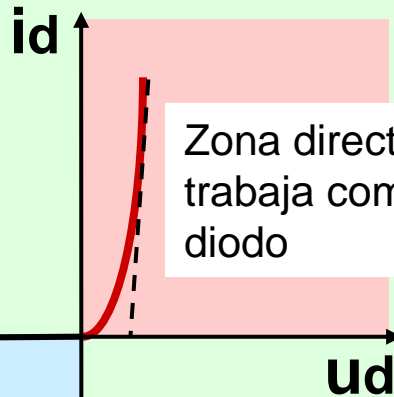
- Resolver circuitos con fuentes de tensión y/o fuentes de corriente, resistencias y varios diodos
- Resolver los circuitos tratando de ver de antemano el funcionamiento de los diferentes diodos
- Manejar con soldadura las diferentes linealizaciones
- Utilización de la recta de carga para la resolución gráfica
- Resolver circuitos en los que haya transitorios de primer orden (circuitos con resistencias y condensadores o bobinas) y haya diodos
- Buscar hojas de características de diodos populares (ej. D1N4148, D1N4007).

### 3.3. Tipos de Diodos. Diodo zener. LED. Fotodiodo. Otros diodos

#### El diodo zéner



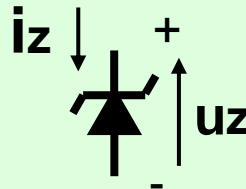
**Vz**  
Tensión Zener



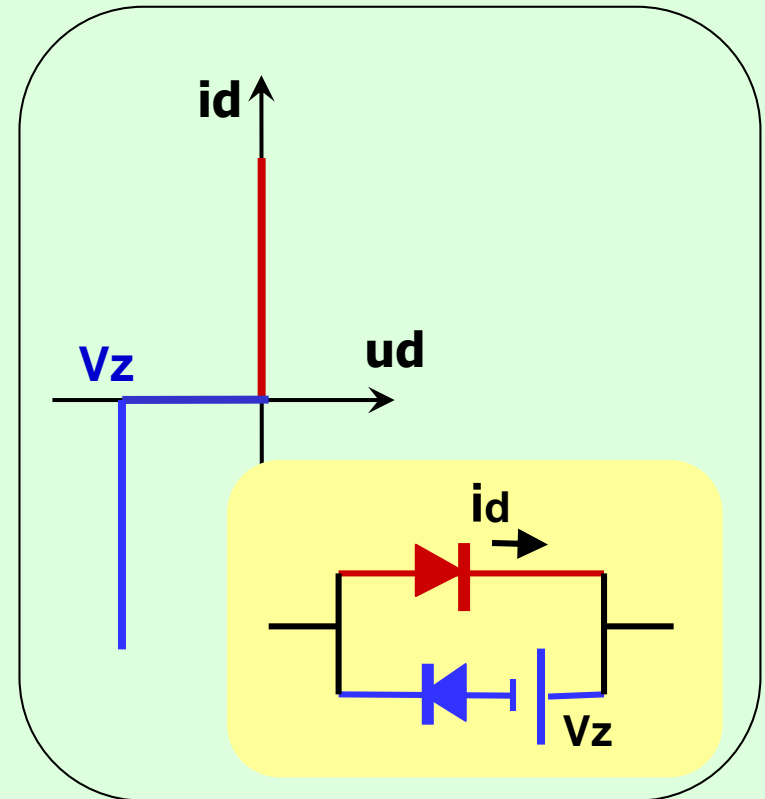
Zona directa:  
trabaja como  
diodo

Zona inversa: trabaja como zener,  
con una tensión de codo más  
elevada denominada tensión zener.

Nota: Si trabaja como zener, se  
suele tomar como referencia:

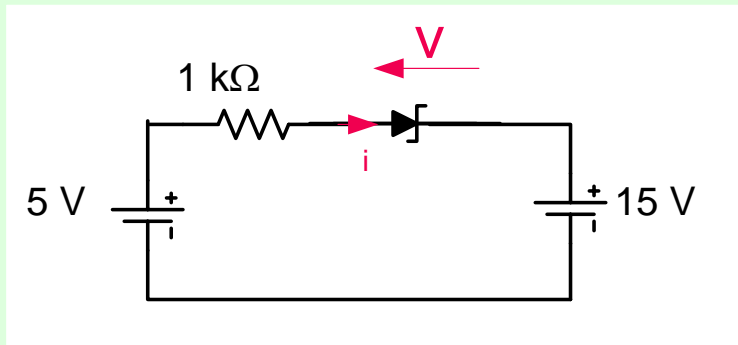


#### MODELO LINEALIZADO MÁS SIMPLE

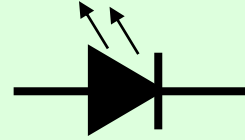


### Ejemplo de análisis 4

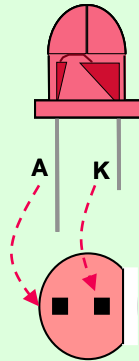
Calcular la corriente  $i$  y la tensión  $v$ , suponiendo zener ideal de tensión de zener 5 V



## El diodo emisor de luz (LED)

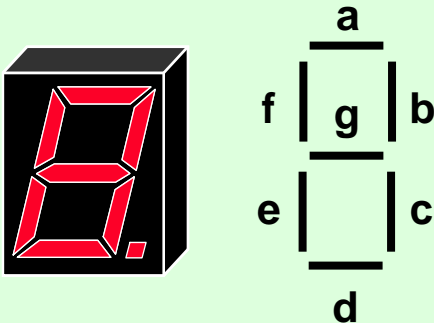


El semiconductor es un compuesto III-V (p.e. Ga As) que con la unión PN polarizada directamente emite fotones (luz) de una cierta longitud de onda (color).

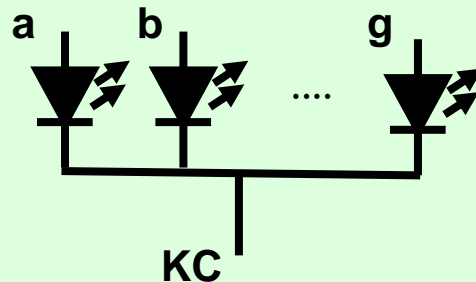


La tensión de codo " $V_\gamma$ " depende del color y no se desprecia (entre 1,5V y 2V, aprox.).  
La corriente media típica es 10mA.

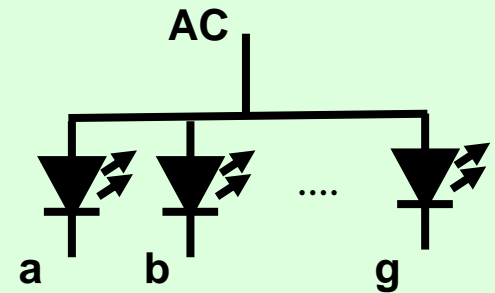
## Asociación (DISPLAY)



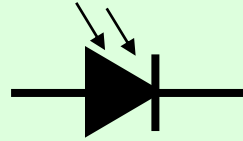
### Cátodo común



### Ánodo común

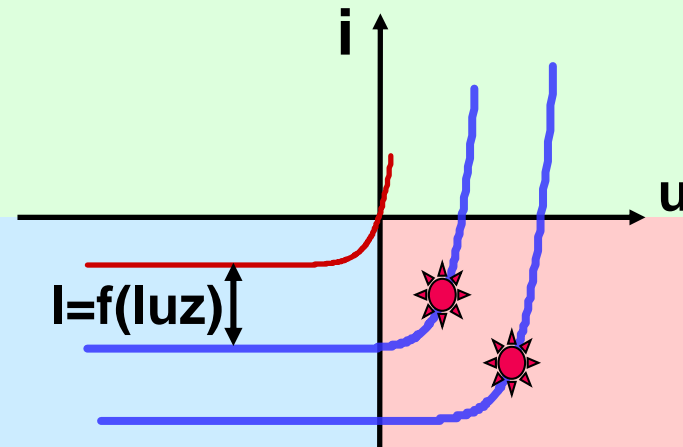


## El fotodiodo



Se basan en compuestos III-V que presentan una corriente inversa proporcional a la luz incidente (son sensibles a una determinada longitud de onda).

Aplicaciones:  
Sensores de luz  
Comunicaciones  
.....

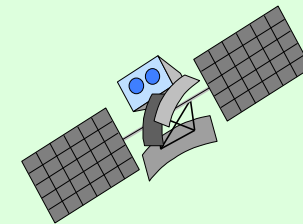
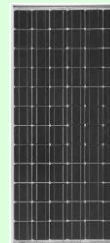


Zona de uso  
como CELDA  
SOLAR

Fotómetro



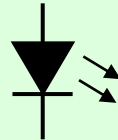
Panel solar



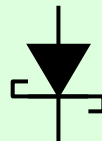


## Otros diodos

- **Diodos láser:** parecidos a los LED. Para que empiecen a funcionar como láser hay que superar una corriente umbral (typ. Entre 10 y 100 mA). Tienen algunas particularidades en su gobierno.



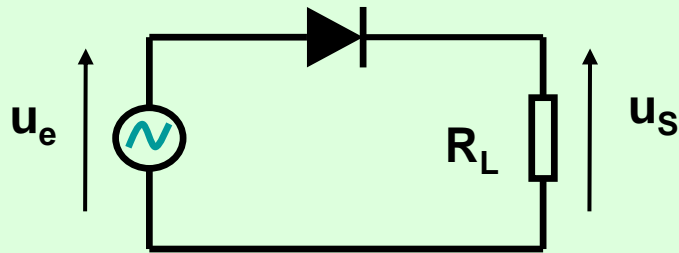
- **Diodos Schottky:** unión metal-semiconductor N. Usados en electrónica digital. Rápidos y caída de tensión baja, 0,2 V



- **Otros:** diodos Varicap, Diodos de efecto túnel, ...

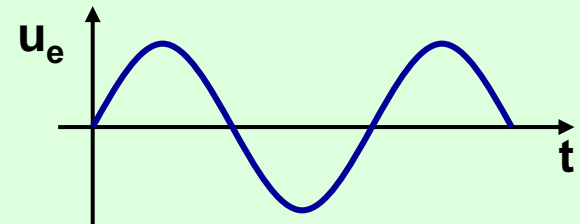
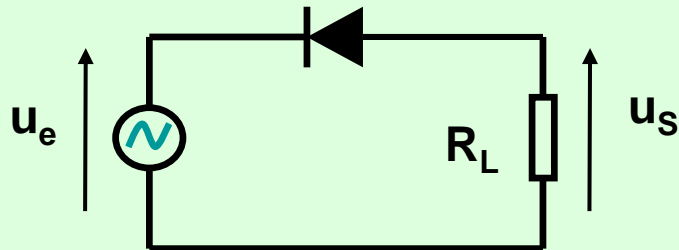
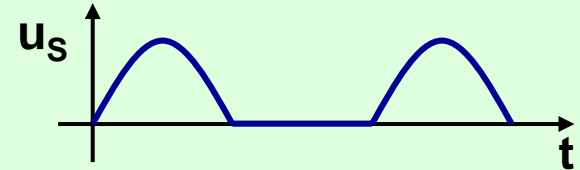
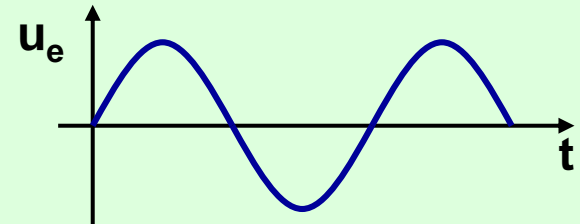
### 3.4. Circuitos con diodos y aplicaciones

#### Rectificador de media onda



$$u_e > 0 \Rightarrow u_s = u_e$$

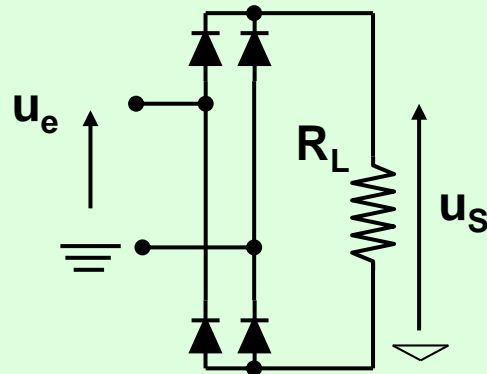
$$u_e < 0 \Rightarrow u_s = 0$$



*Obtener la salida para este circuito*

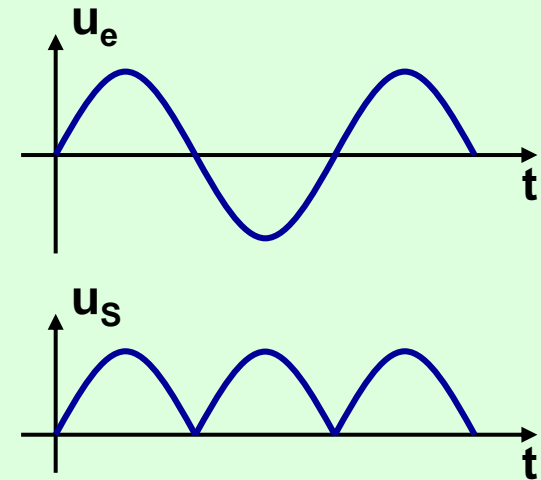
*Calcular el valor medio y el eficaz de  $u_s$*

*Analizar el circuito con una forma de onda cuadrada simétrica*

Rectificador de onda completa

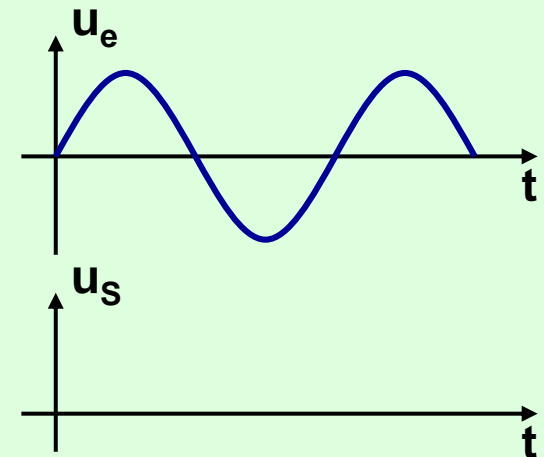
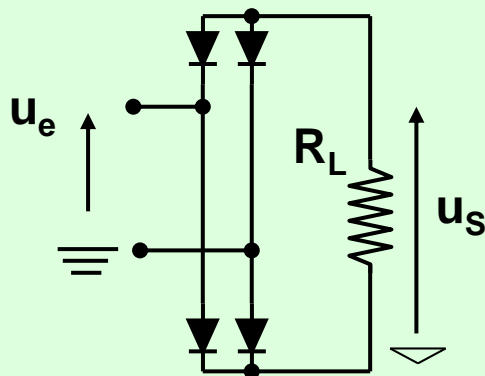
$$u_e > 0 \Rightarrow u_s = u_e$$

$$u_e < 0 \Rightarrow u_s = -u_e$$

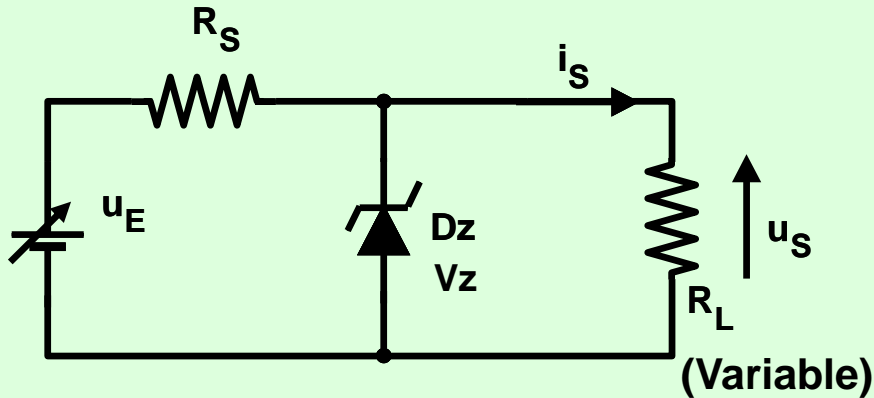


**¡¡ MASAS DIFERENTES EN LAS TENSIONES DE ENTRADA Y SALIDA !!**

Resolver:



## Regulador zéner



En zona zéner si:

$$u_E \cdot \frac{R_L}{R_S + R_L} > V_Z$$

*Demostrar esta expresión.*

*Razonar qué sucede si  $R_L \rightarrow 0$*

*Razonar qué sucede si  $R_L \rightarrow \infty$*