

TEMA 3

DIODOS

CUD

FUNDAMENTOS DE
ELECTRÓNICA

CURSO 2020-2021



Centro Universitario
de la Defensa Zaragoza

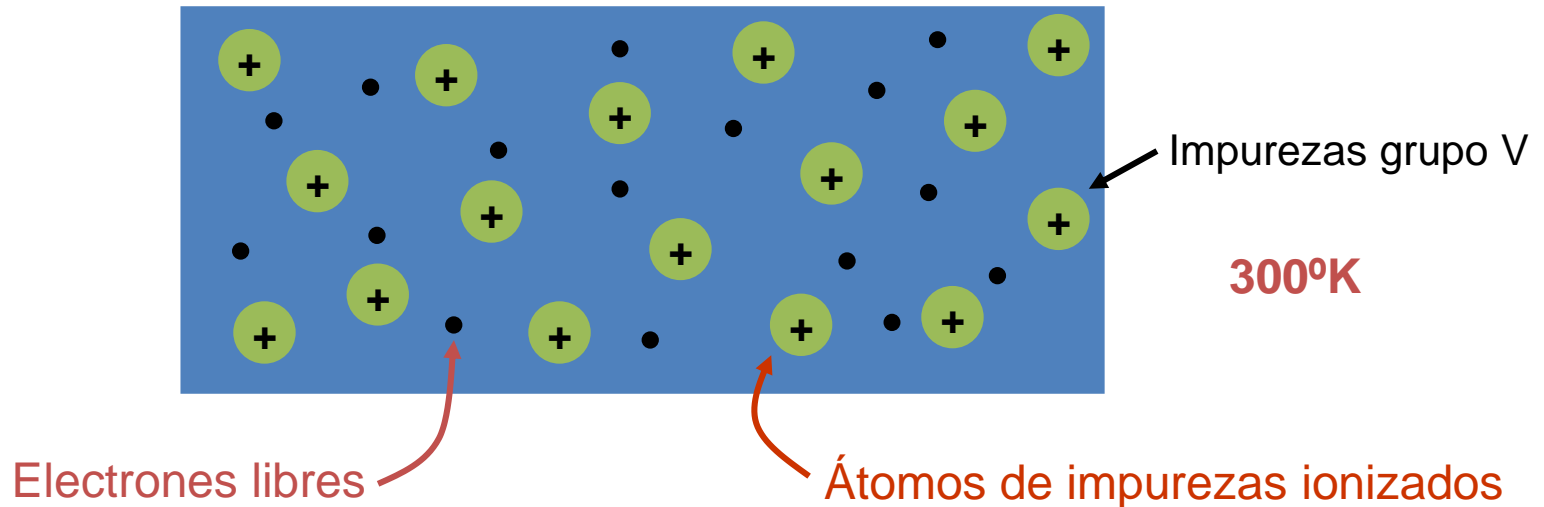
24 de septiembre de 2020

TEMA 3 – DIODOS

- Unión PN
- Tipos de diodos
- Aplicaciones de los diodos
- Modelos de gran señal



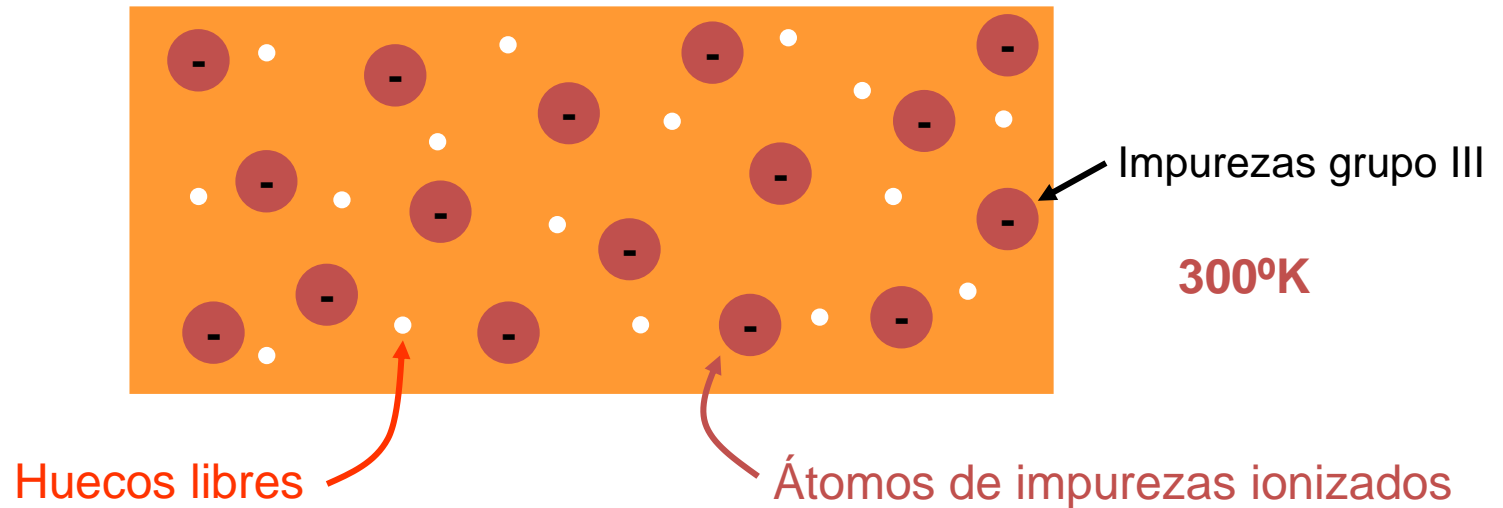
SEMICONDUCTOR EXTRÍNSECO TIPO N



Los portadores mayoritarios en un semiconductor tipo N son electrones libres

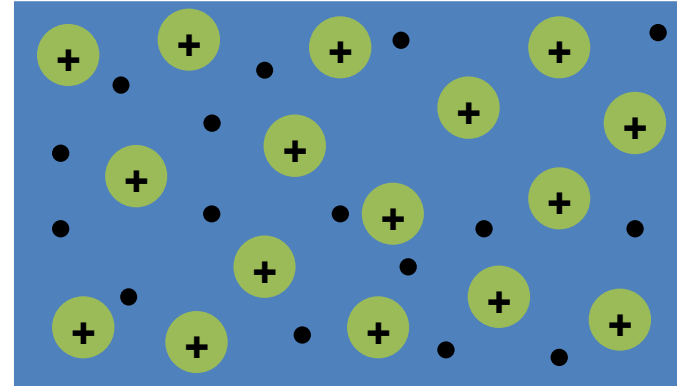
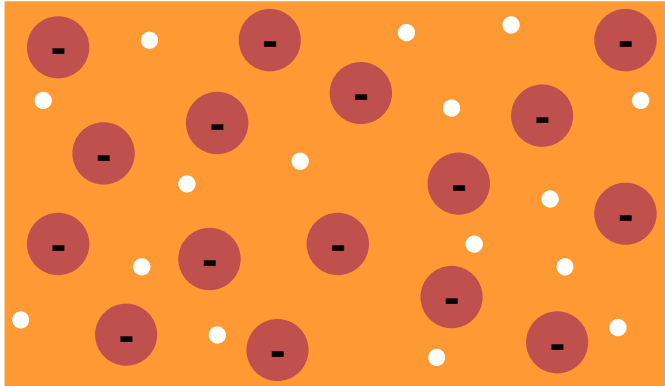
También existen huecos libres (minoritarios)

SEMICONDUCTOR EXTRÍNSECO TIPO P

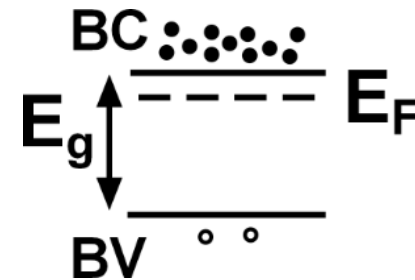
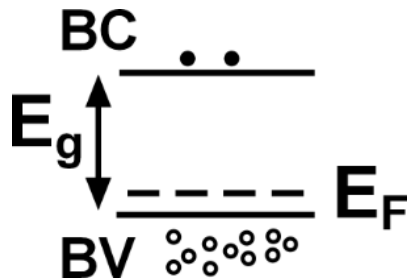


**Los portadores mayoritarios en un semiconductor tipo P son huecos.
Actúan como portadores de carga positiva.
También existen electrones libres (minoritarios)**

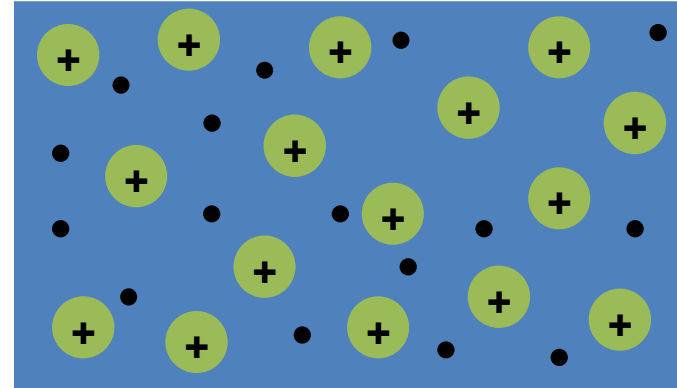
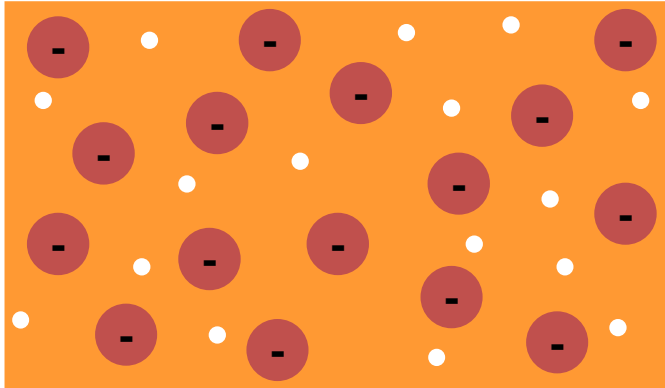
LA UNIÓN P-N EN EQUILIBRIO TÉRMICO



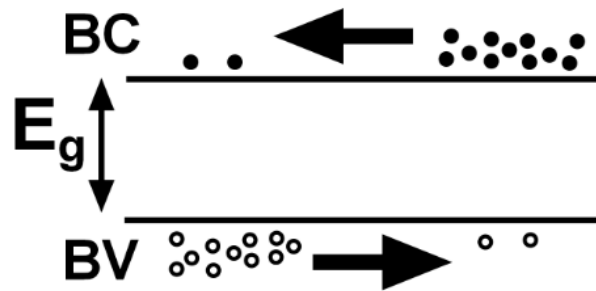
- Por separado, la situación para cada bloque semiconductor es homogénea. No hay movimiento de portadores



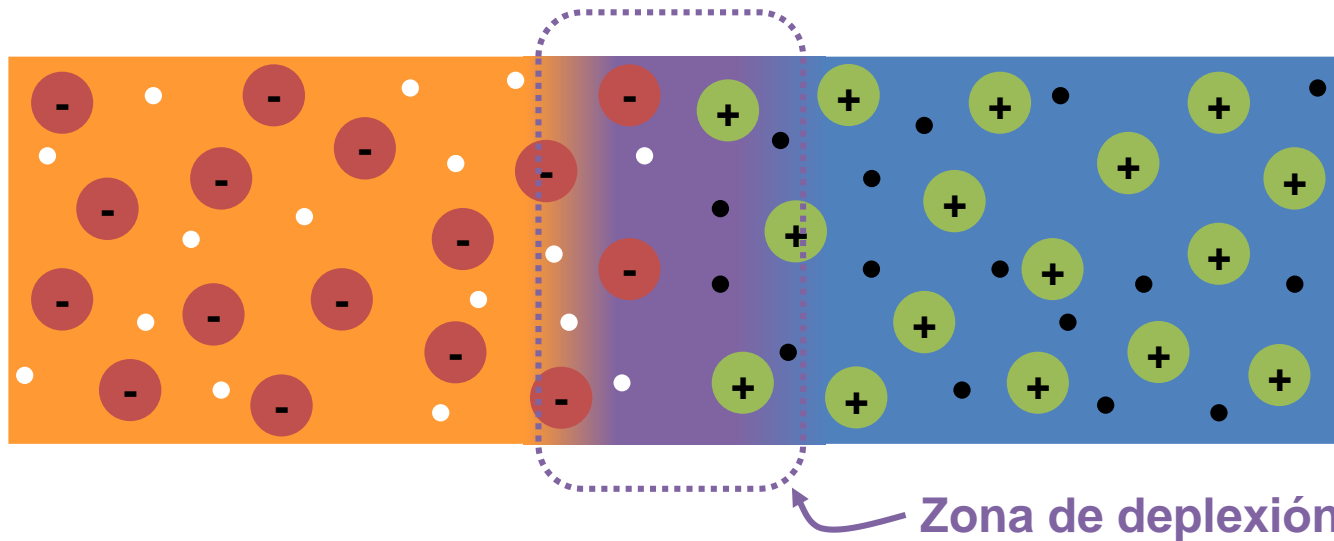
LA UNIÓN P-N EN EQUILIBRIO TÉRMICO



- Al ponerlos en contacto, se obtiene una situación no homogénea. Los portadores tienden a moverse lo que provoca un flujo dominante de mayoritarios

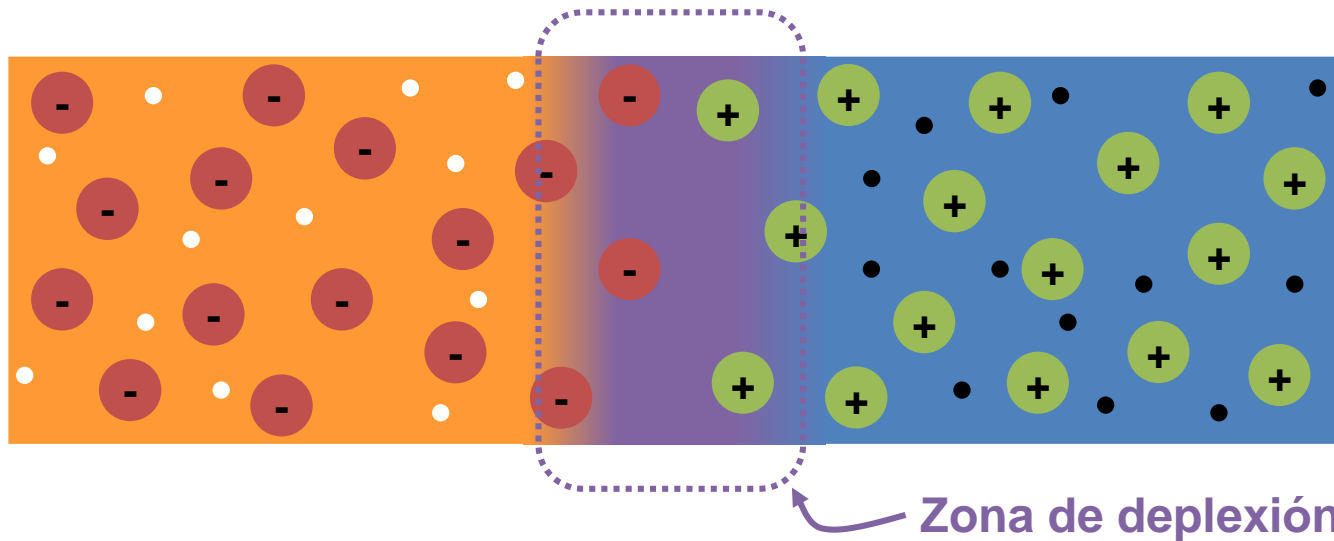


LA UNIÓN P-N EN EQUILIBRIO TÉRMICO

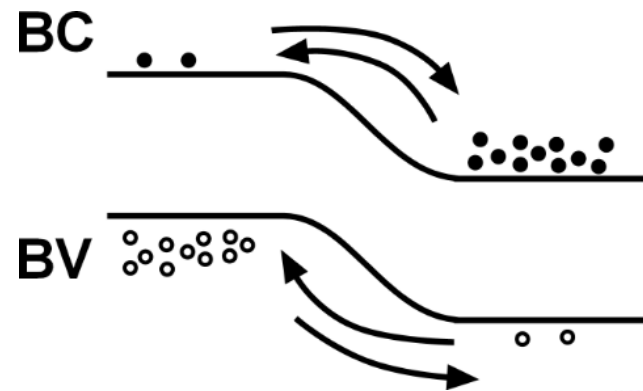


- Los portadores acaban recombinándose, por lo que se crea una zona vacía de portadores
- Se denomina zona de deplexión (o de transición). En ella existen cargas de polaridad opuesta que no pueden moverse (las impurezas), por lo que se genera un campo eléctrico interno.

LA UNIÓN P-N EN EQUILIBRIO TÉRMICO



- El campo eléctrico generado se opone al flujo de los mayoritarios y provoca movimiento de los minoritarios en sentido opuesto. El equilibrio se consigue cuando ambos están compensados.



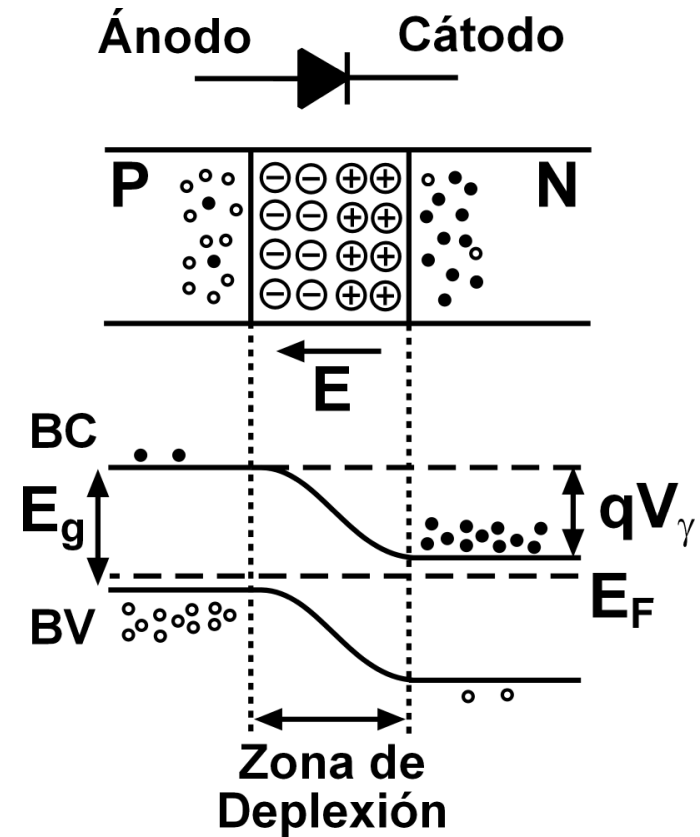
LA UNIÓN P-N EN EQUILIBRIO TÉRMICO

- El **campo eléctrico** (E) interno
 - Lo generan las impurezas existentes en la zona de deplexión
 - Es el responsable de mantener compensados los movimientos de portadores mayoritarios y minoritarios en equilibrio
 - Se manifiesta como una curvatura en las bandas a lo largo de la zona de deplexión, lo que conlleva una **barrera de potencial**

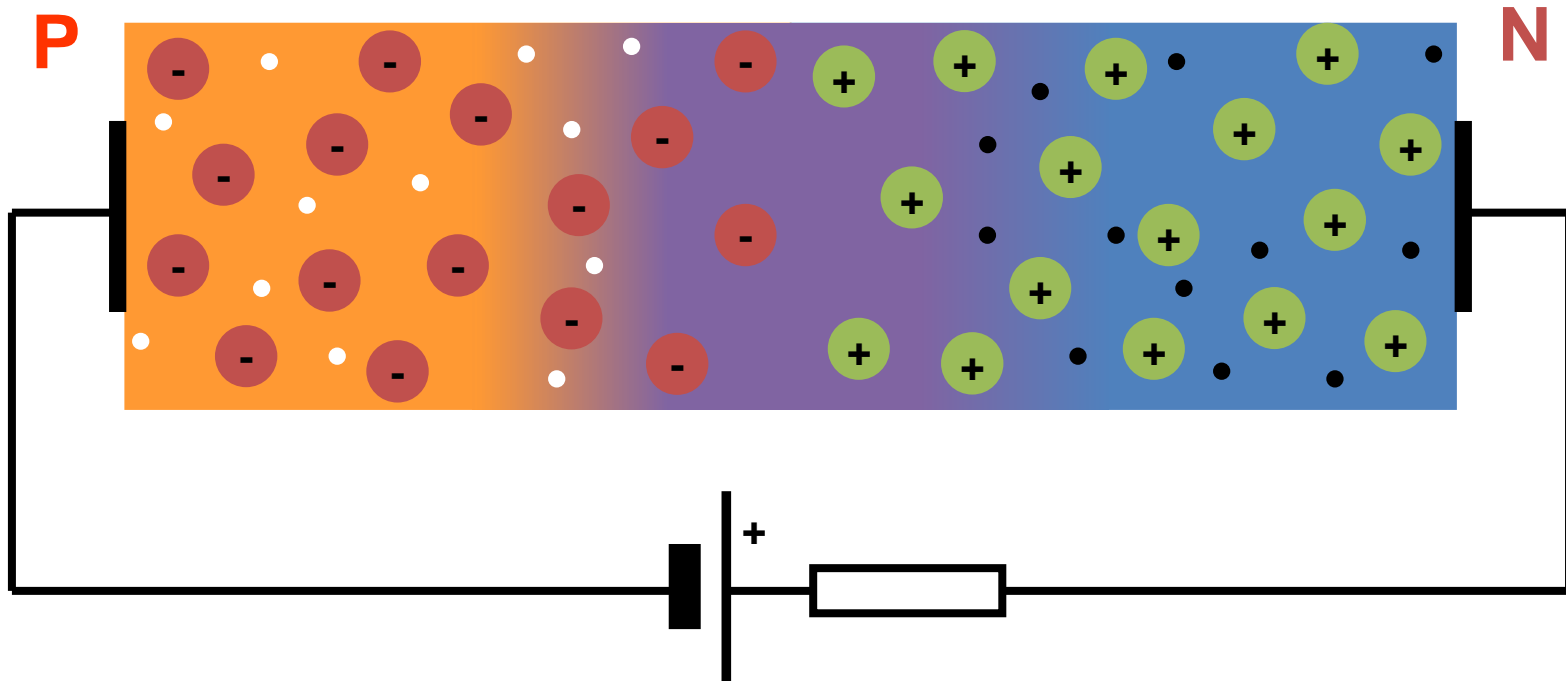
$$V_{\gamma} \approx 0,7 V (Si)$$

$$V_{\gamma} \approx 0,3 V (Ge)$$

- En equilibrio térmico existe un **nivel de Fermi único** para toda la estructura PN



UNIÓN P-N POLARIZADA EN INVERSA

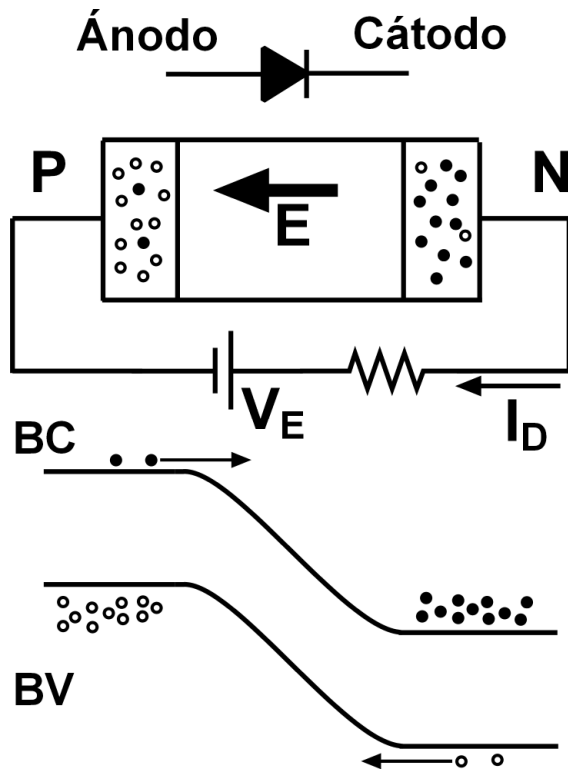


La zona de deplexión se hace más grande.

Con polarización inversa la circulación de corriente es prácticamente nula.

UNIÓN P-N POLARIZADA EN INVERSA

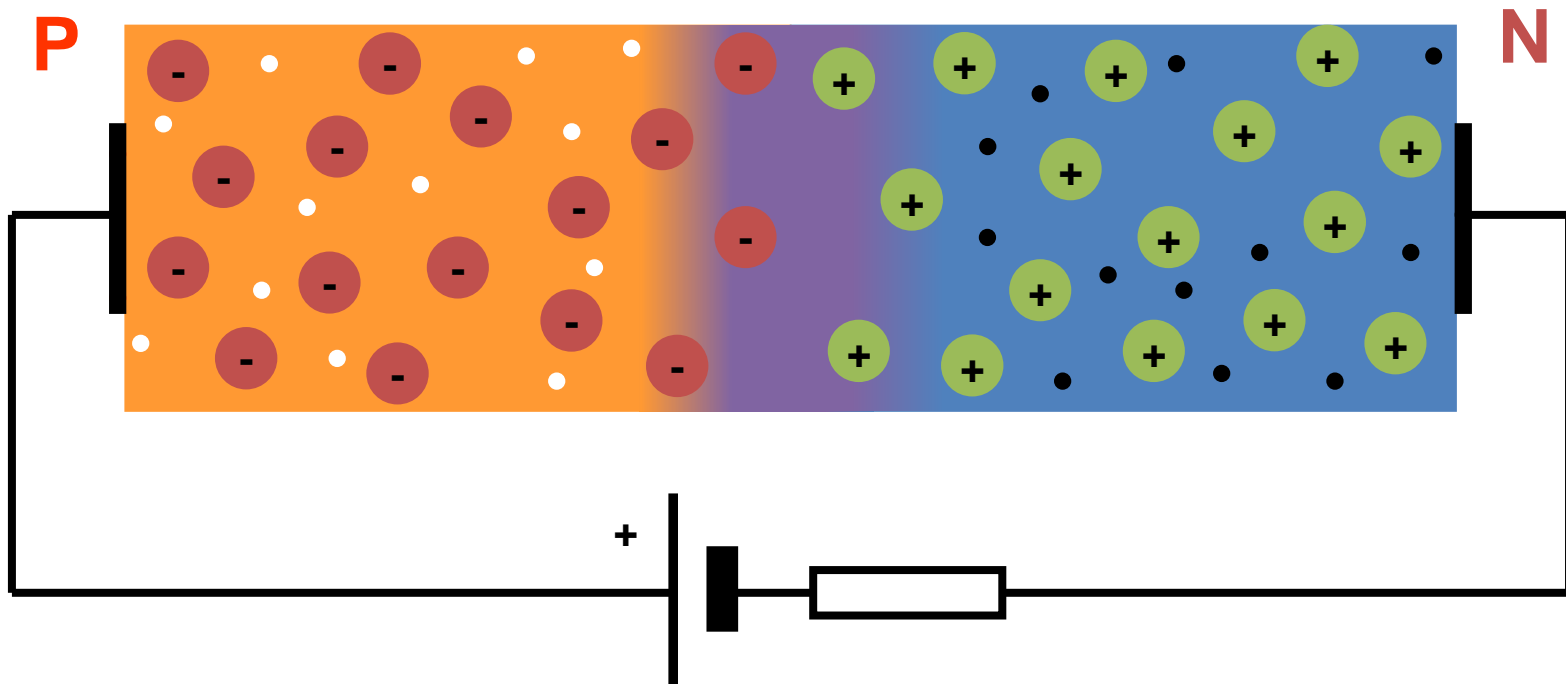
- Se incrementa la barrera de potencial respecto al caso de equilibrio térmico: se dificulta el movimiento de los portadores mayoritarios



- Se genera una corriente muy pequeña de N a P ($I_D < 0$) causada por el movimiento de los portadores minoritarios

La corriente generada en polarización inversa es independiente del valor de la tensión V_E .
Se denomina corriente inversa de saturación ($I_D = -I_S$).

UNIÓN P-N POLARIZADA EN DIRECTA

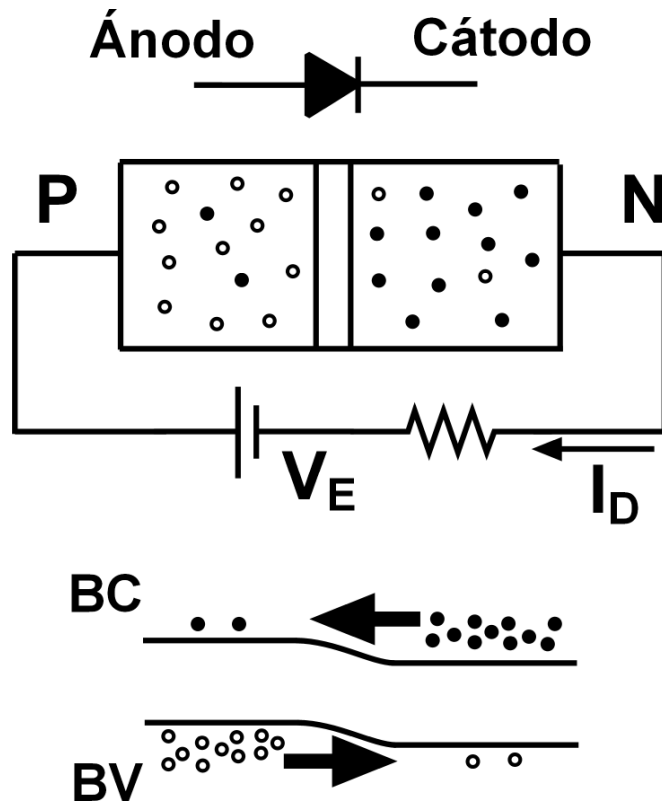


La zona de deplexión se hace más pequeña, hasta llegar a desaparecer.

Una vez que desaparezca, circulará una corriente apreciable.

UNIÓN P-N POLARIZADA EN DIRECTA

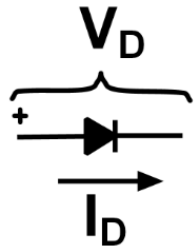
- Se reduce la barrera de potencial respecto al caso de equilibrio térmico: se favorece el movimiento de los portadores mayoritarios



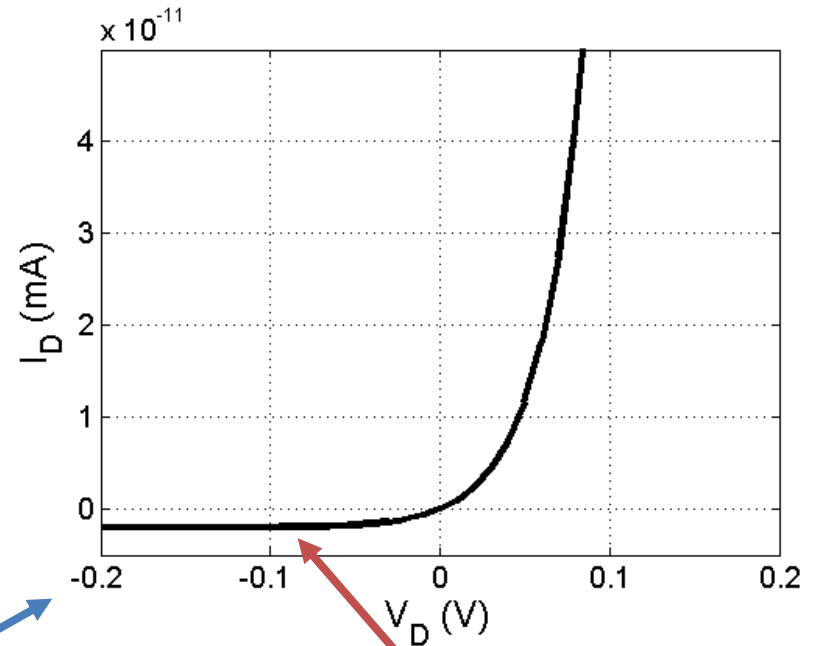
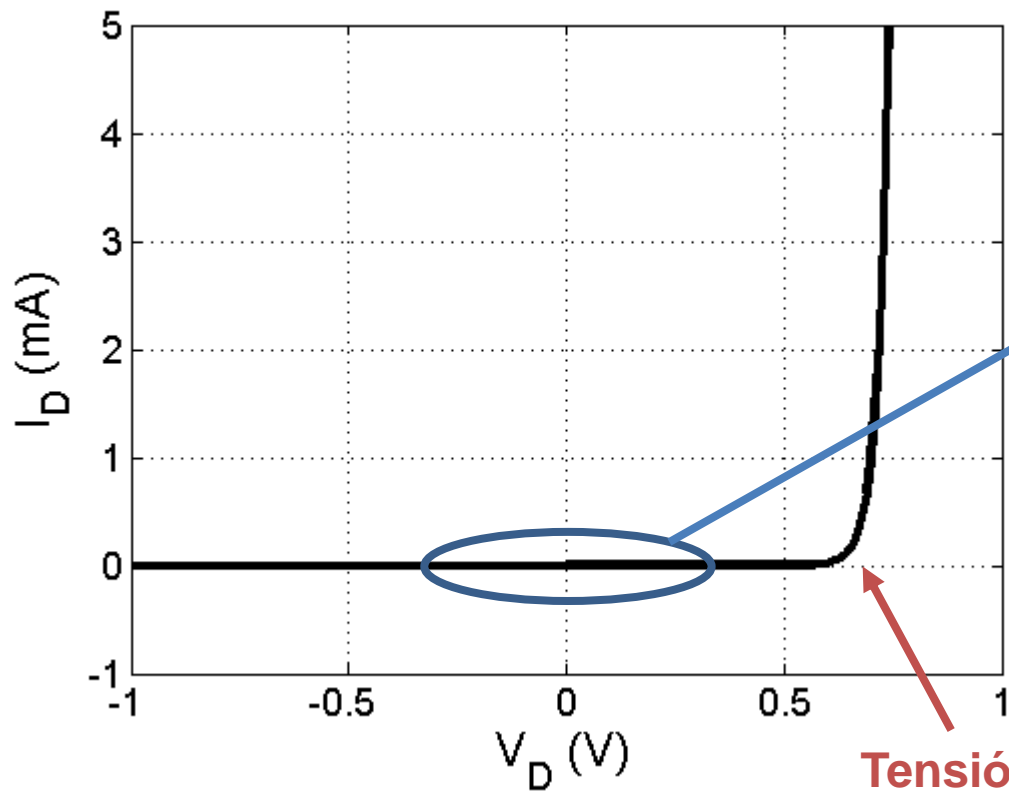
- Se generará una corriente de P a N ($I_D > 0$), causada por el movimiento de portadores mayoritarios

La corriente generada en polarización directa depende del valor de la tensión V_E , siendo apreciable una vez superada una tensión umbral, necesaria para compensar la barrera de potencial.

CURVA I-V PARA LA UNIÓN PN



$$I_D = I_S \left[e^{\frac{V_D}{V_T}} - 1 \right]$$



Corriente inversa de saturación (I_S)

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

Tensión umbral

TEMA 3 – DIODOS

- Unión PN
- Tipos de diodos
- Aplicaciones de los diodos
- Modelos de gran señal



TIPOS DE DIODOS

- **Diodo**
- **Diodo Zener: Aprovecha los fenómenos de ruptura**
- **Fotodiodo: Genera corriente a través de luz**
- **LED: Genera luz a través de corriente**
- **Diodo Laser: Genera luz laser a través de corriente**
- **Schottky**
- **Varactor**
- **Corriente constante**
- **...**

FENÓMENOS DE RUPTURA

➤ Según lo visto hasta ahora:

- Los diodos sólo conducen en directa
- En inversa tan sólo circula una pequeña corriente I_S
- La ecuación que rige este comportamiento es:

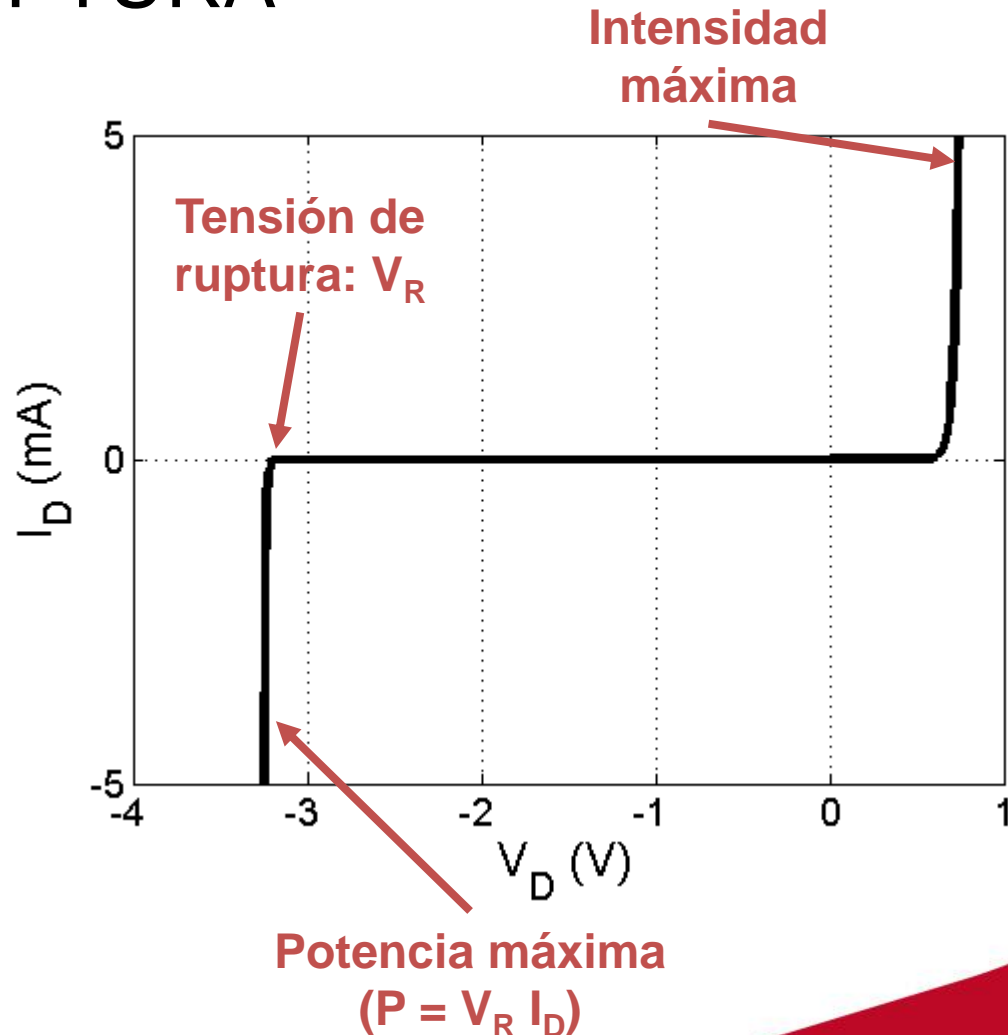
$$I = I_S \left[e^{\frac{V_D}{V_T}} - 1 \right]$$

➤ Algunos fenómenos no considerados modifican o limitan este comportamiento.

- Ruptura: originan la conducción en inversa del diodo cuando se aplican tensiones negativas a partir de cierto valor ($I \gg I_S$)
- Intensidad máxima en directa
- Potencia disipada máxima en inversa
- Detección/emisión de luz

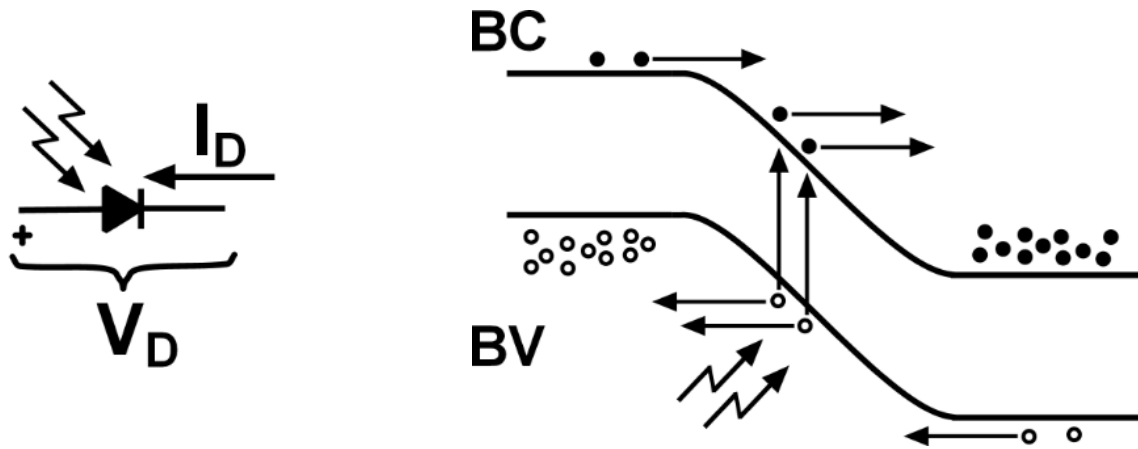
FENÓMENOS DE RUPTURA

- El fenómeno de ruptura no tiene por qué ser destructivo si se limita la corriente en inversa. De hecho, existen diodos especialmente diseñados para conducir en inversa (diodos Zener)
- La conducción en inversa puede deberse a dos fenómenos independientes: túnel o avalancha
- La intensidad máxima en directa y la potencia máxima en inversa sí son destructivos



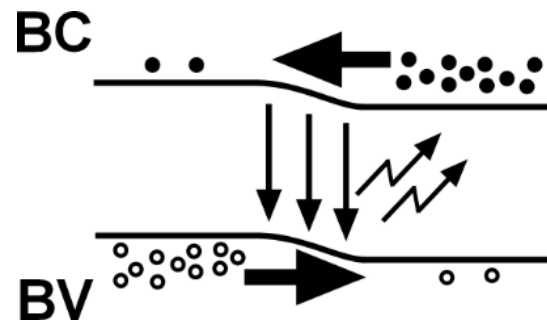
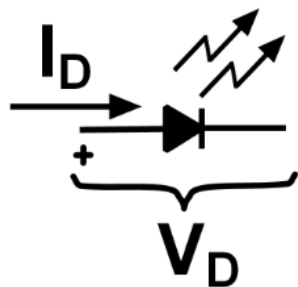
FOTODIODO

- Polarizado en la región inversa convierte la luz incidente en la zona de deplexión en corriente
- Funcionamiento en un rango de longitudes de onda, ya que la luz tiene que tener la energía suficiente para generar el par electrón hueco



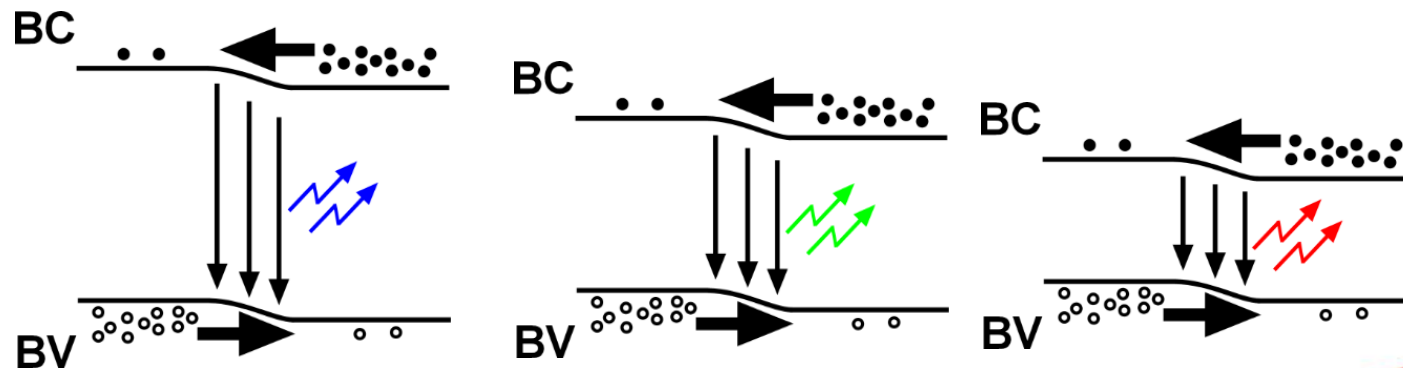
DIODOS EMISORES DE LUZ

- Se conocen por las siglas “LED” (“Light Emitting Diode”)
- Cuando estos diodos se polarizan en forma directa convierten corriente de polarización directa en luz
- La luz se produce por recombinación de los portadores mayoritarios
- Bajo determinadas circunstancias, pueden emitir luz laser, por lo que se denominan diodos laser



DIODOS EMISORES DE LUZ

- Emiten a diferentes longitudes de onda, λ (distintos colores), en función de la anchura de la banda prohibida
- Su tensión umbral de conducción es mayor que en los diodos de Silicio, ya que se basan en otros materiales. Depende del material y puede ser diferente según el color del LED. Valores típicos:
 - Azul: 3 - 3,6V; Verde: 2,2 - 2,8V; Amarillo: 2 – 2,6V; Rojo: 1,6 - 2,4V
- **Premio Nobel de Física 2014** al LED Azul, que permite diseñar bombillas de luz brillante con gran ahorro energético



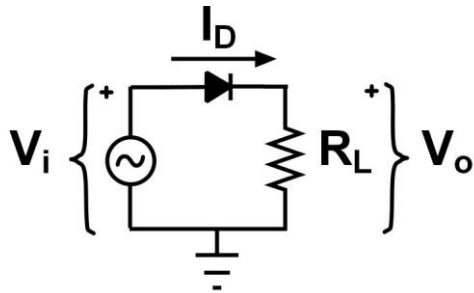
TEMA 3 – DIODOS

- Unión PN
- Tipos de diodos
- Aplicaciones de los diodos
- Modelos de gran señal



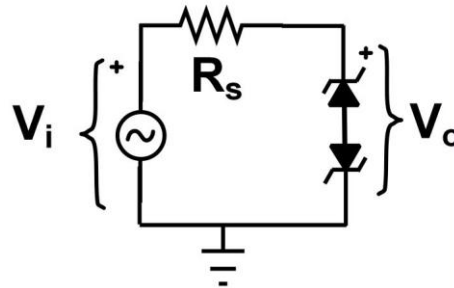
PRINCIPALES APLICACIONES

Rectificador



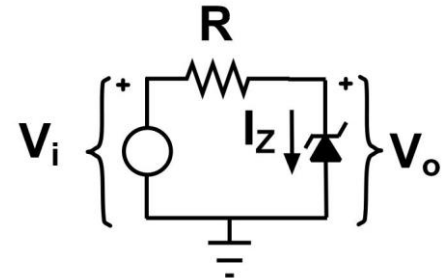
Tensión de salida solo positiva (o solo negativa)

Recortador



Tensión de salida limitada entre un máximo y/o un mínimo

Regulador



Tensión de salida constante (Zener en ruptura)

Alimentación AC
(230 V_{rms} 50 Hz)



Transformador

Rectificador

Filtro

Regulador



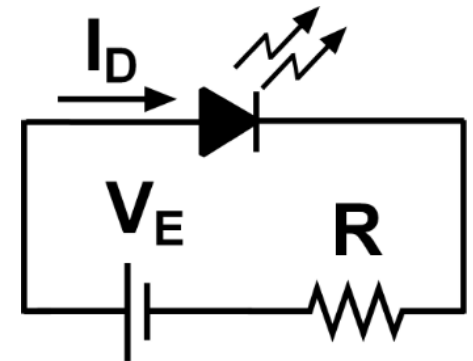
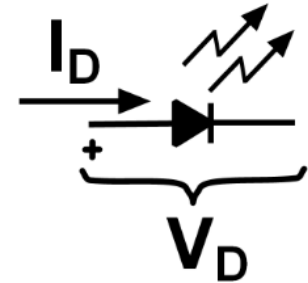
Alimentación DC (5V)

OTRAS APLICACIONES

- Detector de pico
- Multiplicador de voltaje
- Aproximación de funciones
- Circuitos de protección
- Varactor (Capacidad variable)
- Puertas lógicas
- Restauradores de nivel
- ...

OPTOELECTRÓNICA: EMISIÓN DE LUZ

- El LED o diodo laser debe de estar polarizado en directa para que emita luz.
- LED: la emisión se optimiza para una corriente de polarización determinada.
- Laser: la potencia emitida es proporcional a la corriente, para un rango de corrientes determinado.

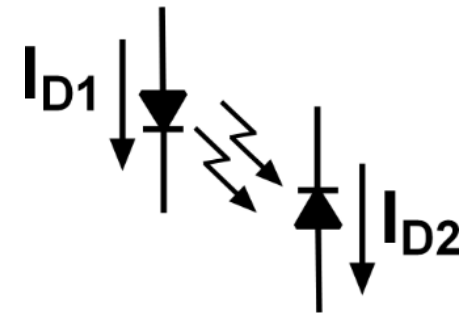
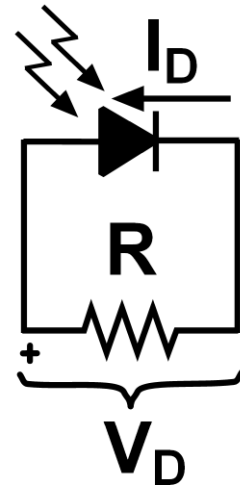


$$V_E = 5V \quad V_\gamma = 1,2V \quad I_{opt} = 20mA$$

$$R = \frac{V_E - V_\gamma}{I_{opt}} = \frac{5V - 1,2V}{20mA} = 190\Omega$$

OPTOELECTRÓNICA: DETECCIÓN DE LUZ

- El fotodiodo deberá estar en inversa para detectar luz.
- La corriente generada, proporcional a la luz captada, produce un voltaje en la resistencia.
- La combinación de un emisor (LED o laser) con un detector (fotodiodo) da lugar a un optoacoplador.
 - Se pueden usar a través del aire o canalizando la luz a través de una fibra óptica.



OPTOELECTRÓNICA: APLICACIONES

- Iluminación (bombillas, semáforos, farolas, vehículos...)
- Mandos a distancia (en el infrarrojo)
- Comunicaciones de datos por fibra óptica
- Grabadoras/Lectores de CD, DVD, Blu-rays...
- Impresoras láser, escáneres
- Pantallas, cámaras digitales
- Células solares
- Tratamientos odontológico con láser
- Depilación corporal láser
- Corte de piezas con láser
- ...

TEST

En un diodo en equilibrio, existe movimiento de:

- Mayoritarios
- Minoritarios
- Ambos

La barrera de potencial es generada por:

- Material base
- Impurezas
- Portadores

En la zona de deplexión, escasean:

- Material base
- Impurezas
- Portadores

En un diodo en directa la corriente fluye:

- De P a N
- De N a P
- No fluye

Los LEDs emiten luz si están polarizados en:

- Directa
- Inversa
- Ambas

TEMA 3 – DIODOS

- Unión PN
- Tipos de diodos
- Aplicaciones de los diodos
- Modelos de gran señal

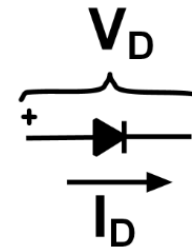


MODELOS I-V EN GRAN SEÑAL

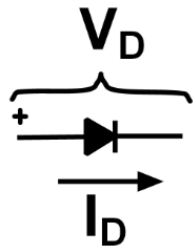
- La expresión exponencial resulta útil para resolver circuitos mediante ordenador (p.e. Spice), sin embargo no resulta ser cómoda para resolver circuitos a mano.

$$I = I_S \left[e^{\frac{V_D}{V_T}} - 1 \right]$$

- Para cálculos a mano se usan modelos **lineales por tramos**
- Un diodo tendrá dos estados
 - Corte (off, inversa,...): Definido por $I_D=0$
 - Conducción (on, directa...): Definido por $I_D>0$



MODELO LINEAL PARA EL DIODO

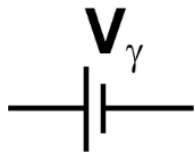


➤ OFF

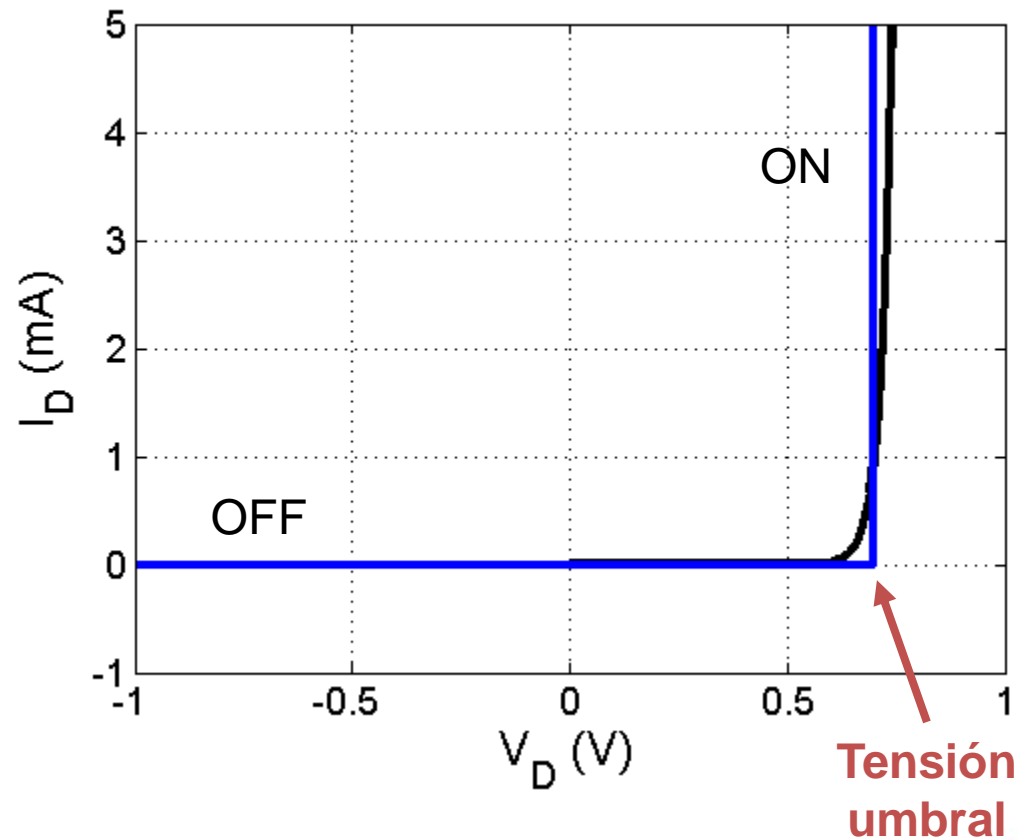


$$V_D < V_\gamma \quad I_D = 0$$

➤ ON

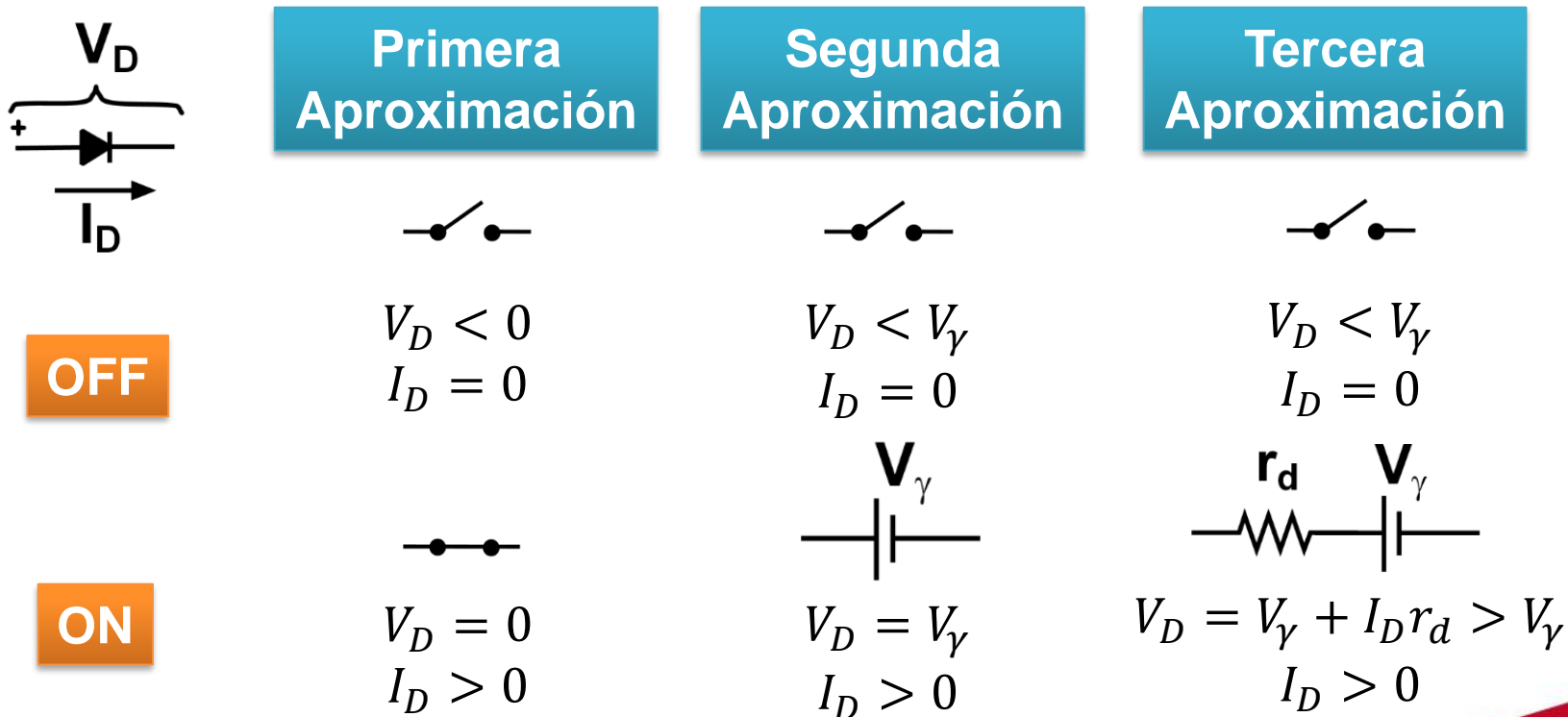


$$V_D = V_\gamma \quad I_D > 0$$



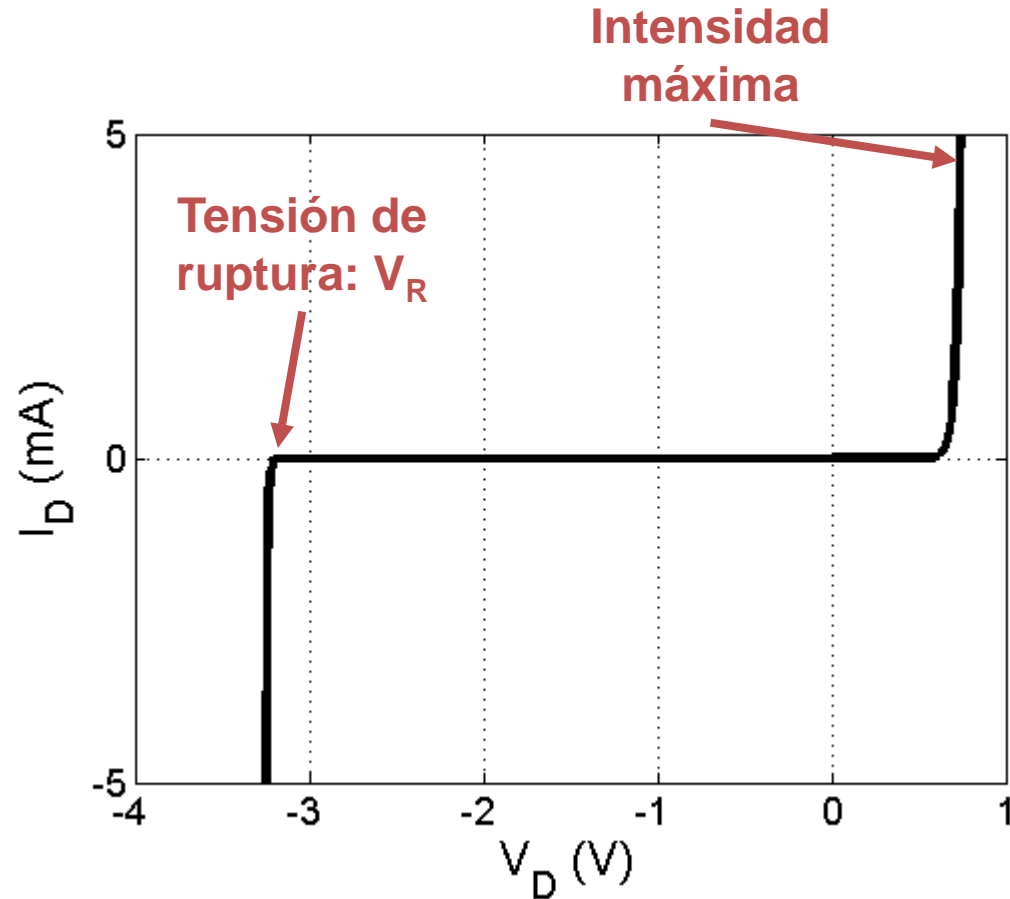
TRES APROXIMACIONES

- Existen tres aproximaciones para el modelo lineal
- Usamos preferentemente la segunda aproximación



LIMITACIONES

- El modelo lineal del diodo se acota entre los siguientes valores:
 - Intensidad máxima: I_{MAX}
 - Tensión de ruptura: V_R
- Para los diodos, serán valores a no alcanzar, por lo que:
 - no permitimos que los diodos conduzcan en inversa
 - no permitimos que los diodos se “quemen” por un exceso de corriente en directa

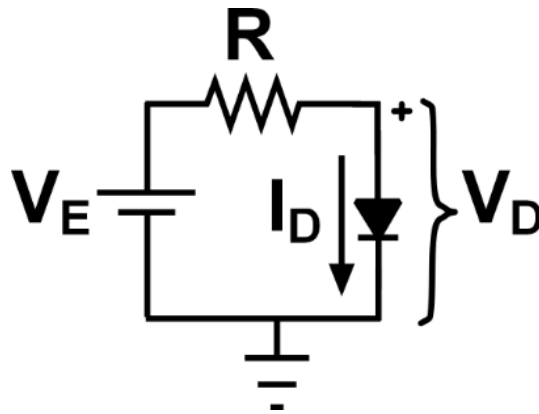


PRIMER CIRCUITO CON UN DIODO

Aplicando la segunda aproximación, calcular en el siguiente circuito:

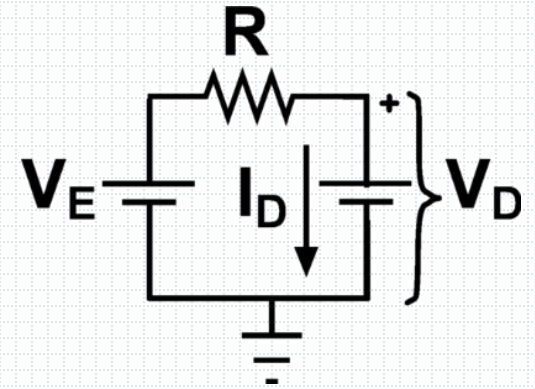
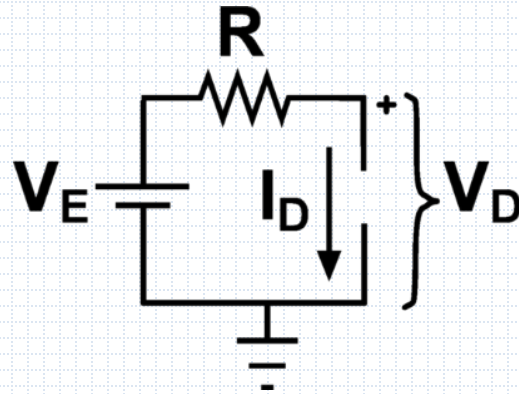
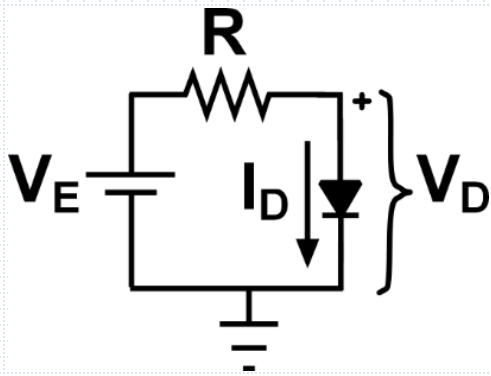
- la tensión V_E para la que el diodo cambia de estado.
- la intensidad I_D y la tensión que cae en el diodo V_D con $V_E = 5\text{ V}$.
- el rango de tensiones V_E para no sobrepasar los límites del diodo:

Datos: $R = 1,2k\Omega$, $V_\gamma = 0,65\text{V}$, $I_{MAX} = 25\text{mA}$, $|V_R| = 40\text{V}$



[Link simulador Falstad](#)

$$R = 1,2k\Omega, V_Y = 0,65V, I_{MAX} = 25mA, |V_R| = 40V$$



PRIMER CIRCUITO CON UN DIODO

Solución:

$$r_d = 30\Omega$$



Primera Aproximación

Segunda Aproximación

Tercera Aproximación

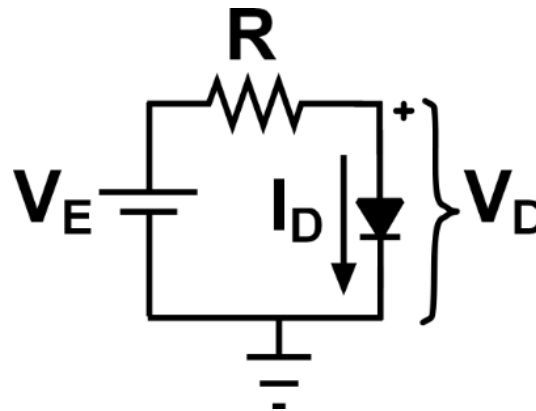
a)

$$V_E = 0 \begin{cases} V_E \geq 0 \text{ ON} \\ V_E \leq 0 \text{ OFF} \end{cases}$$

$$V_E = 0,65V \begin{cases} V_E \geq 0,65V \text{ ON} \\ V_E \leq 0,65V \text{ OFF} \end{cases}$$

b)

$$I_D = 4,17mA \\ V_D = 0$$



$$I_D = 3,54mA \\ V_D = 0,76V$$

c)

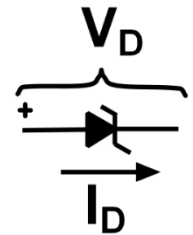
$$V_E = -40V: |V_R| \\ V_E = 30V: I_{MAX}$$

$$V_E = -40V: |V_R| \\ V_E = 31,4V: I_{MAX}$$

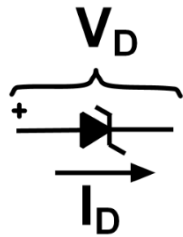
DIODO ZENER

- Diodo diseñado con una tensión de ruptura definida (V_Z)
- En directa tendrá un comportamiento equivalente a un diodo, pero su tensión umbral suele ser ligeramente mayor

- Por lo tanto, un diodo zener tendrá tres estados
 - Corte (off, inversa,...): Definido por $I_D=0$
 - Conducción (on, directa...): Definido por $I_D>0$
 - Zener (ruptura, conducción en inversa...): Definido por $I_D<0$



MODELO LINEAL PARA EL DIODO ZENER

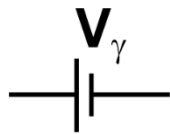


➤ OFF



$$-|V_Z| < V_D < V_\gamma \quad I_D = 0$$

➤ ON



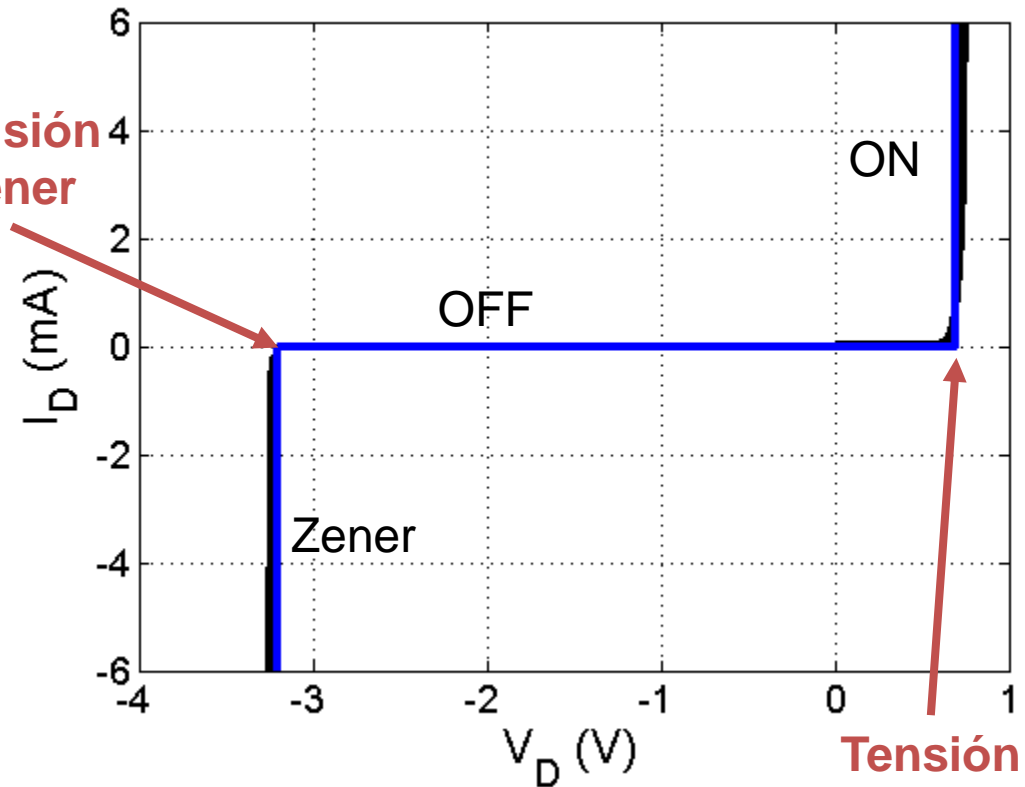
$$V_D = V_\gamma \quad I_D > 0$$

➤ Zener



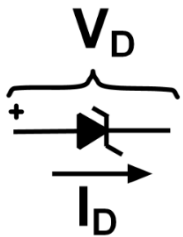
$$V_D = -|V_Z| \quad I_D < 0$$

Tensión Zener



Tensión umbral

TRES APROXIMACIONES



OFF

$$I_D = 0$$

ON

$$I_D > 0$$

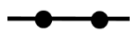
ZENER

$$I_D < 0$$

Primera Aproximación



$$-|V_Z| < V_D < 0$$



$$V_D = 0$$

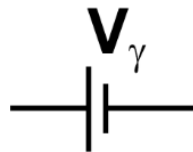


$$V_D = -|V_Z|$$

Segunda Aproximación



$$-|V_Z| < V_D < V_\gamma$$



$$V_D = V_\gamma$$

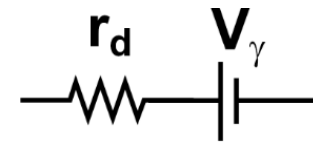


$$V_D = -|V_Z|$$

Tercera Aproximación



$$-|V_Z| < V_D < V_\gamma$$



$$V_D = V_\gamma + I_D r_d > V_\gamma$$

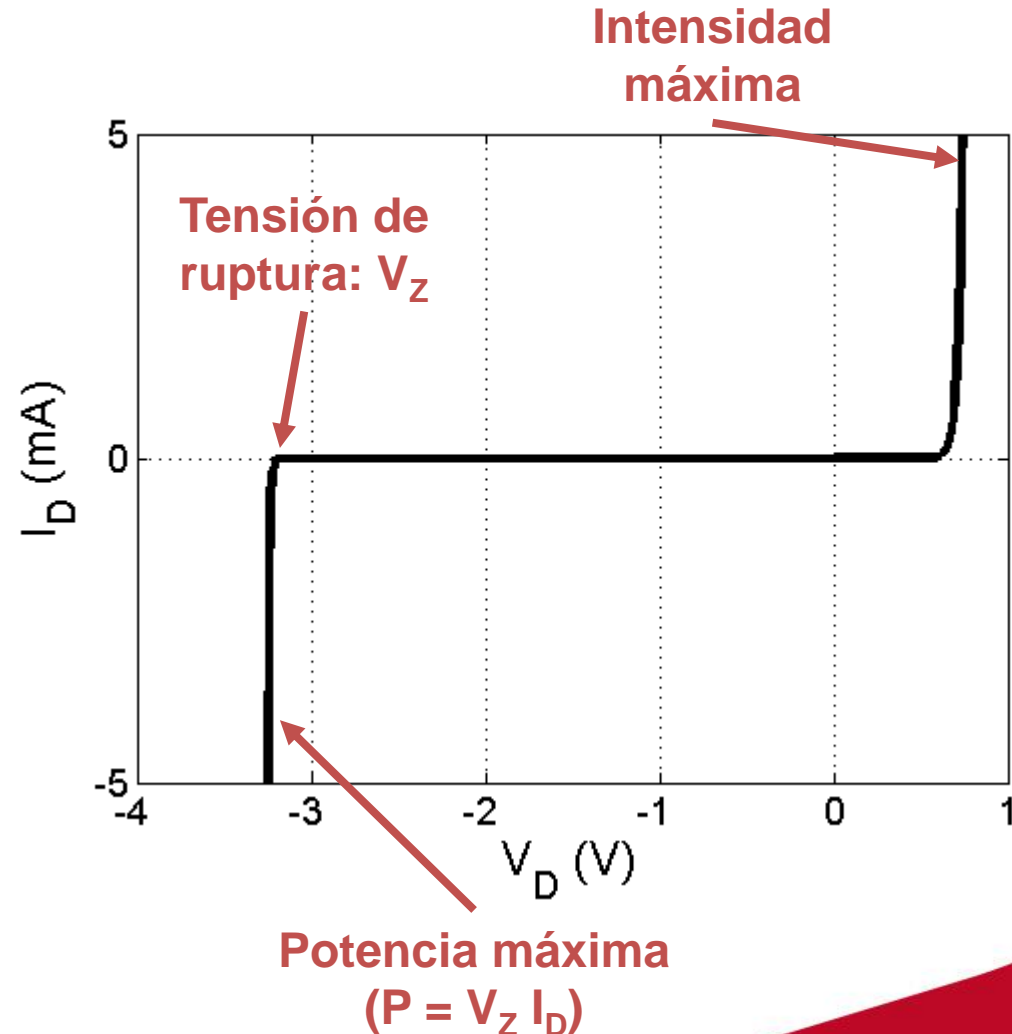


$$V_D = -|V_Z| + I_D r_z < -|V_Z|$$

➤ Usamos preferentemente la segunda

LIMITACIONES

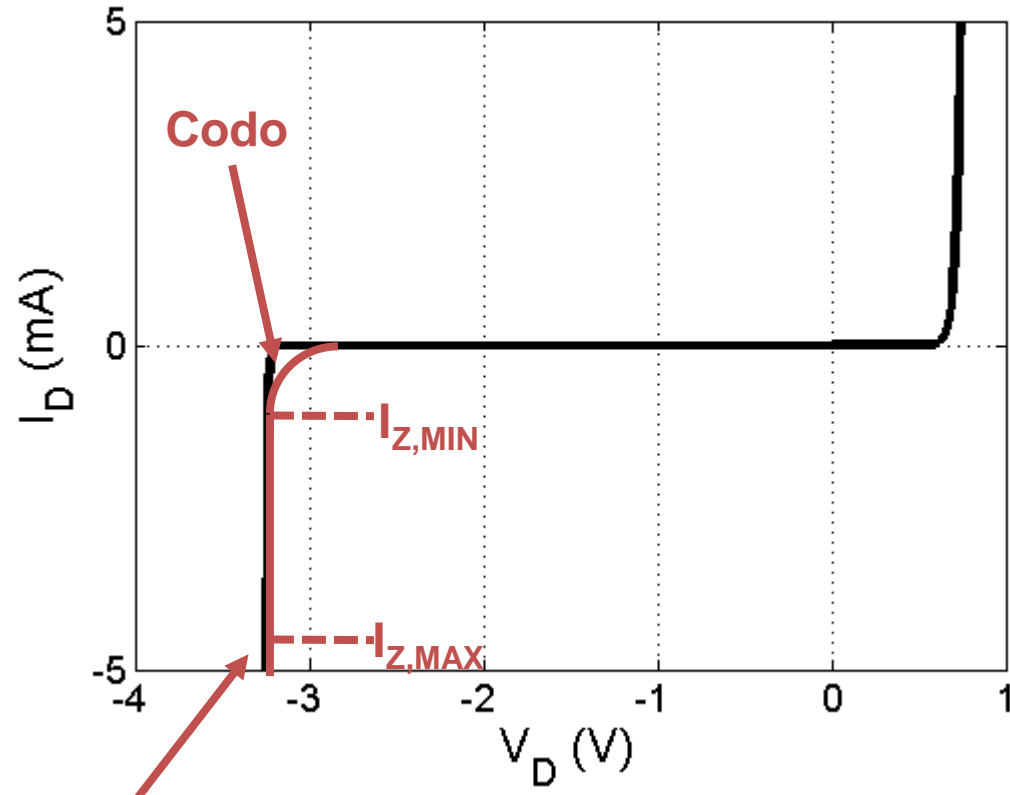
- El modelo lineal del diodo zener se acota entre los siguientes valores:
 - Intensidad máxima: I_{MAX}
 - Potencia máxima: $P_{Z,MAX}$
- Para los diodos zener, serán valores a no alcanzar, por lo que:
 - no permitimos que los zeners se “quemen” por un exceso de corriente en directa
 - no permitimos que los zeners se “quemen” por un exceso de potencia en inversa



ZONA ZENER

- Además, el modelo lineal aproxima bien en la zona zener (evitando el “codo”) a partir de un dato determinado de corriente:
 - Intensidad mínima: $I_{Z,MIN}$
- La intensidad máxima ($I_{Z,MAX}$) se calcula a partir de la potencia máxima ($P_{Z,MAX}$):

$$P_{Z,MAX} = V_Z I_{Z,MAX}$$



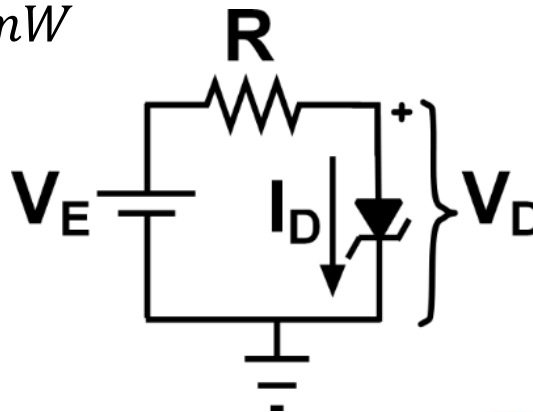
PRIMER CIRCUITO CON UN ZENER

Aplicando la segunda aproximación, calcular en el siguiente circuito:

- las tensiones V_E para las que el diodo zener cambia de estado.
- la intensidad I_D y la tensión que cae en el zener V_D con $V_E = 8\text{ V}$.
- la intensidad I_D y la tensión que cae en el zener V_D con $V_E = -8\text{ V}$.
- el rango de tensiones V_E para no sobrepasar los límites del zener.
- el rango de tensiones V_E para operar “bien” en zona zener.

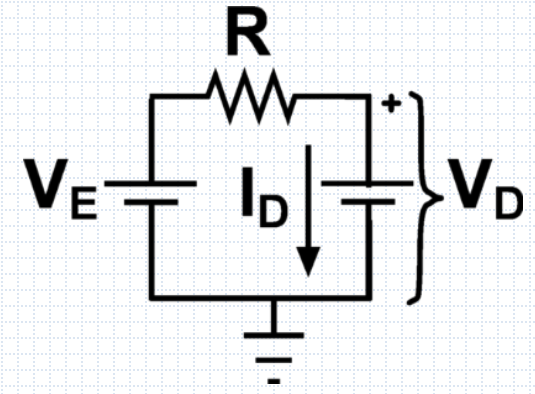
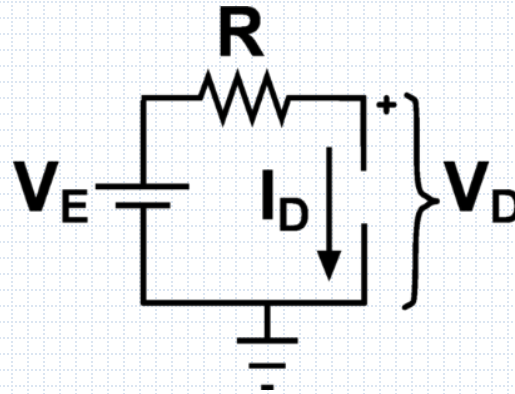
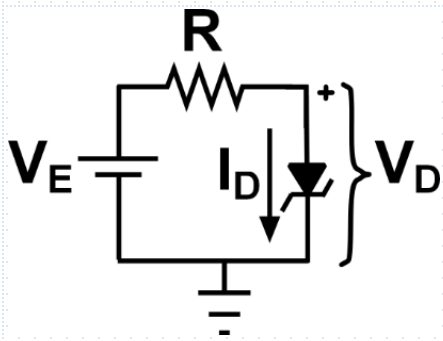
Datos: $R = 1,2k\Omega$, $V_\gamma = 0,65\text{V}$, $|V_Z| = 5,6\text{V}$, $I_{MAX} = 25\text{mA}$, $I_{Z,MIN} = 5\text{mA}$, $P_{Z,MAX} = 168\text{mW}$

$$I_{Z,MAX} = \frac{P_{Z,MAX}}{V_Z} = 30\text{mA}$$

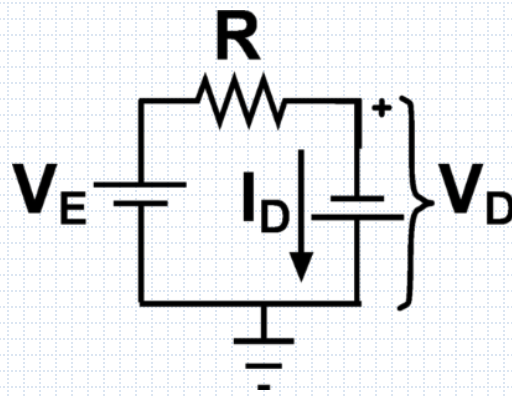
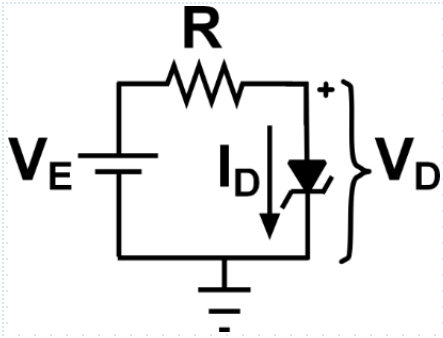


[Link simulador Falstad](#)

$$R = 1,2k\Omega, V_Y = 0,65V, |V_Z| = 5,6V, I_{MAX} = 25mA, I_{Z,MIN} = 5mA, P_{Z,MAX} = 168mW$$



$$R = 1,2k\Omega, V_Y = 0,65V, |V_Z| = 5,6V, I_{MAX} = 25mA, I_{Z,MIN} = 5mA, P_{Z,MAX} = 168mW$$



PRIMER CIRCUITO CON UN ZENER

Solución:

Primera Aproximación

a)

$$V_E \geq 0 \text{ ON}$$

$$-5,6V \leq V_E \leq 0 \text{ OFF}$$

$$V_E \leq -5,6V \text{ RUPT}$$

b)

$$I_D = 6,67mA$$

$$V_D = 0$$

c)

$$I_D = -2mA$$

$$V_D = -5,6V$$

d)

$$V_E = -41,6V: P_{Z,MAX}$$

$$V_E = 30V: I_{MAX}$$

e)

$$V_E = -41,6V: P_{Z,MAX}$$

$$V_E = -11,6V: I_{Z,MIN}$$

Tercera Aproximación

$$V_E \geq 0,65V \text{ ON}$$

$$-5,6V \leq V_E \leq 0,65V \text{ OFF}$$

$$V_E \leq -5,6V \text{ RUPT}$$

$$I_D = 5,98mA$$

$$V_D = 0,83V$$

$$I_D = -1,98mA$$

$$V_D = -5,62V$$

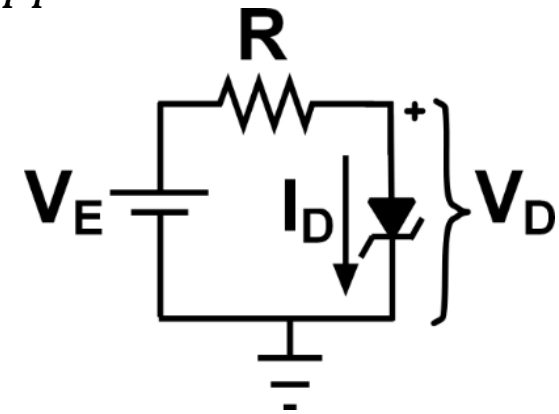
$$V_E = -41,9V: P_{Z,MAX}$$

$$V_E = 31,4V: I_{MAX}$$

$$V_E = -41,9V: P_{Z,MAX}$$

$$V_E = -11,65V: I_{Z,MIN}$$

← $r_z = 10\Omega$
 $r_d = 30\Omega$



CIRCUITOS CON DIODOS

Pasos para resolver a mano circuitos con diodos.

1. A priori se desconoce el estado de cada diodo. Por ello, debe hacerse una suposición (razonada) del estado de cada diodo.
2. Dibujar el circuito sustituyendo los diodos según el estado supuesto en el punto anterior.
3. Resolver el circuito y determinar la **corriente** por cada **diodo en conducción** y la caída de **tensión** en cada **diodo en corte**.
4. Comprobar que las suposiciones realizadas para cada diodo son correctas, es decir, que no se incurre en ninguna contradicción con los resultados obtenidos. Ésta existe cuando la caída de tensión en un diodo que se supone en corte es mayor que la tensión umbral o cuando la corriente es negativa en un diodo que se supone en directa.
5. Si hay contradicciones, hay que volver al punto (1) y hacer una nueva suposición sobre los estados de los diodos.

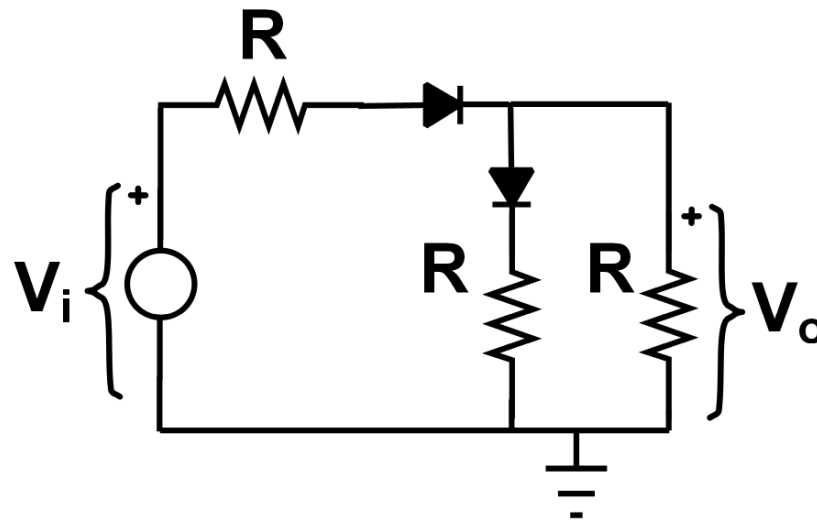
EJERCICIO 1

Obtener la relación $V_o(V_i)$ para $V_i \in (-\infty, \infty)$

Datos: $V_\gamma = 0,7V$, $R = 800\Omega$

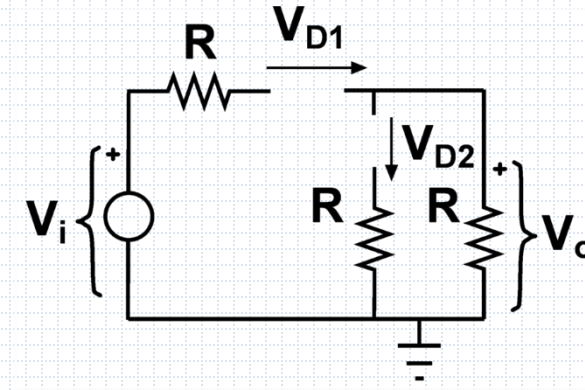
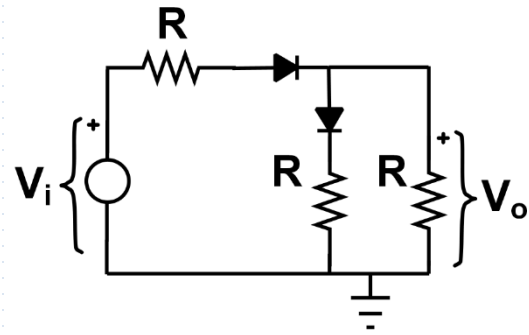
Acotar el rango de V_i para cumplir las limitaciones de los diodos:

Datos: $|V_R| = 50V$, $I_{max} = 25mA$

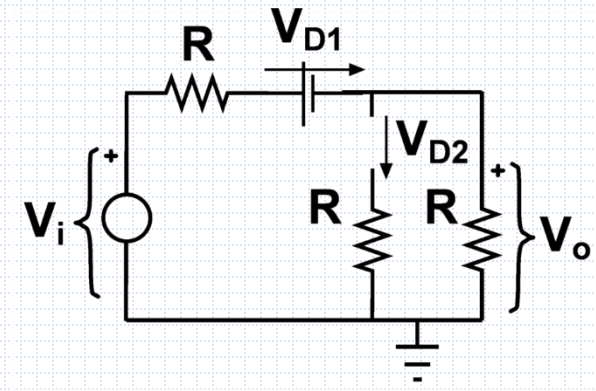
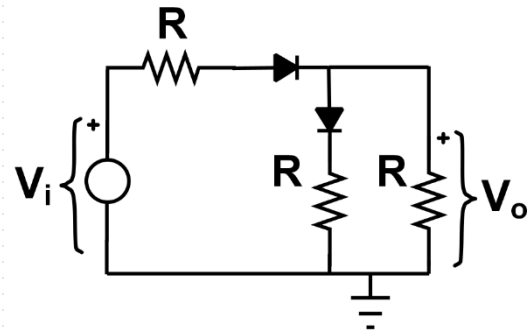


[Link simulador Falstad](#)

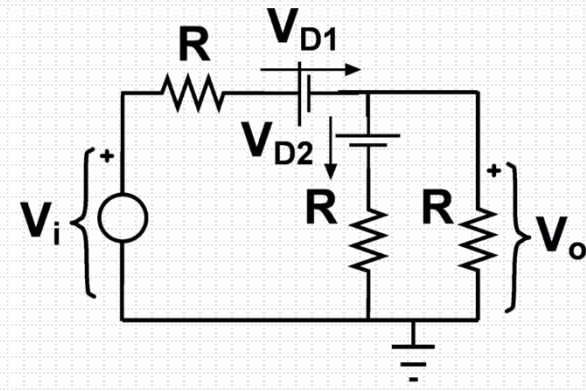
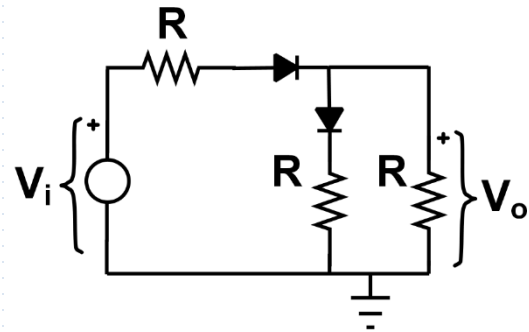
$$V_Y = 0,7V, R = 800\Omega, |V_R| = 50V, I_{max} = 25mA$$



$V_Y = 0,7V$, $R = 800\Omega$, $|V_R| = 50V$, $I_{max} = 25mA$



$V_Y = 0,7V, R = 800\Omega, |V_R| = 50V, I_{max} = 25mA$



CUESTIÓN 1

De las siguientes soluciones propuestas, indique la única válida:

$$V_o = \begin{cases} 7 & V_i \geq 4 \\ \frac{V_i}{2} + 5 & -3 \leq V_i \leq 2 \\ V_i + 6 & V_i \leq -6 \end{cases} \quad V_o = \begin{cases} 7 & V_i \geq 4 \\ \frac{V_i}{2} + 5 & -2 \leq V_i \leq 4 \\ V_i + 6 & V_i \leq -2 \end{cases} \quad V_o = \begin{cases} 8 & V_i \geq 4 \\ \frac{V_i}{2} + 5 & -2 \leq V_i \leq 4 \\ V_i + 4 & V_i \leq -2 \end{cases}$$

$$V_o = \begin{cases} 7 & V_i \geq 2 \\ \frac{V_i}{2} + 5 & -2 \leq V_i \leq 4 \\ V_i + 6 & V_i \leq -1 \end{cases} \quad V_o = \begin{cases} 11 & V_i \geq 4 \\ \frac{3V_i}{2} + 5 & -2 \leq V_i \leq 4 \\ 2V_i + 6 & V_i \leq -2 \end{cases} \quad V_o = \begin{cases} 7 & V_i \leq -4 \\ \frac{V_i}{2} + 5 & -4 \leq V_i \leq 2 \\ V_i + 6 & V_i \geq 2 \end{cases}$$

Nota: V_o y V_i tienen como unidad el Voltio

CUESTIÓN 2

En la siguiente tabla se indican las secuencias de estado de los diodos obtenidas de un circuito (D_1 diodo, D_2 Zener). Indique las secuencias válidas y sus posibles limitaciones

Limitación $V_i \rightarrow -\infty$	$V_i < -8 \text{ V}$	$-8 < V_i < 2$	$2 < V_i < 10$	$V_i > 10$	Limitación $V_i \rightarrow +\infty$
	D1: OFF D2: OFF	D1: ON D2: OFF	D1: ON D2: ON	D1: ON D2: RUPT	
	D1: OFF D2: RUPT	D1: OFF D2: OFF	D1: ON D2: OFF	D1: ON D2: ON	
	D1: RUPT D2: OFF	D1: OFF D2: OFF	D1: OFF D2: RUPT	D1: ON D2: RUPT	
	D1: ON D2: ON	D1: OFF D2: ON	D1: OFF D2: OFF	D1: OFF D2: RUPT	

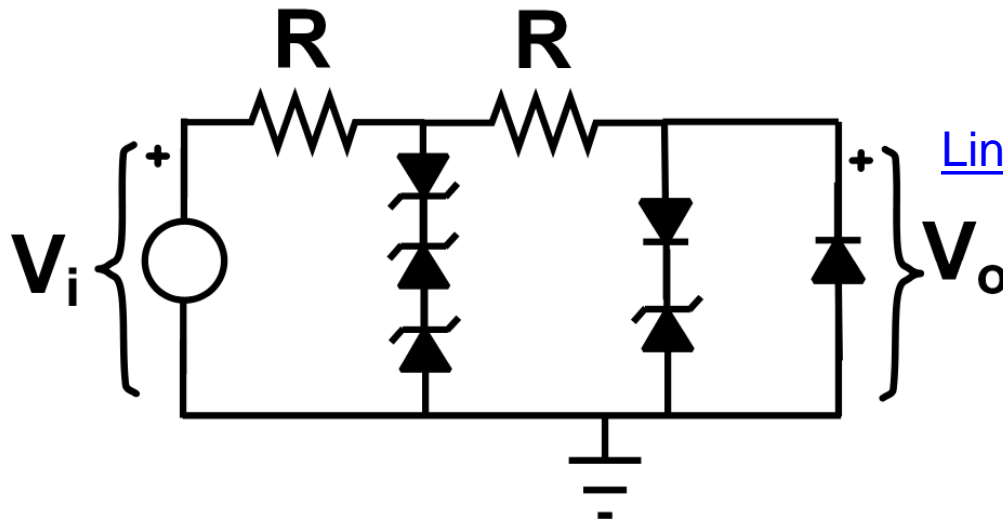
EJERCICIO 2

Obtener la relación $V_o(V_i)$ para $V_i \in (-\infty, \infty)$, indicando la secuencia de estados de los diodos

Datos: $V_\gamma = 0,7V$, $|V_Z| = 5,4V$, $R = 500\Omega$

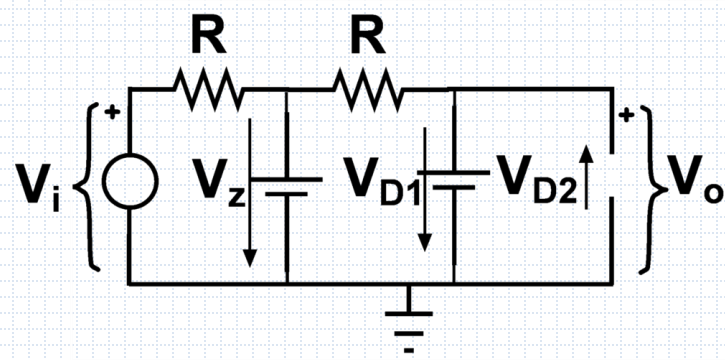
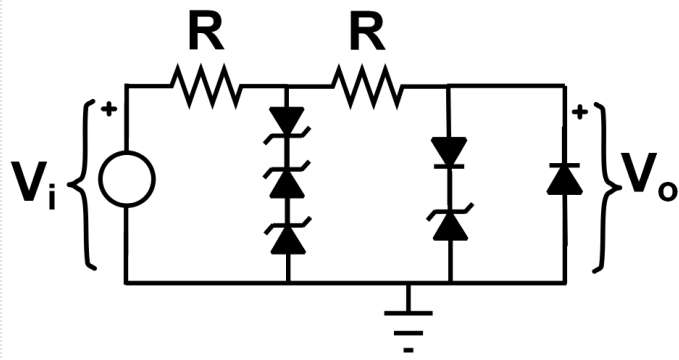
Acotar el rango de V_i para cumplir las limitaciones :

Datos: $|V_R| = 50V$, $I_{max} = 75mA$, $P_{z,max} = 270mW$

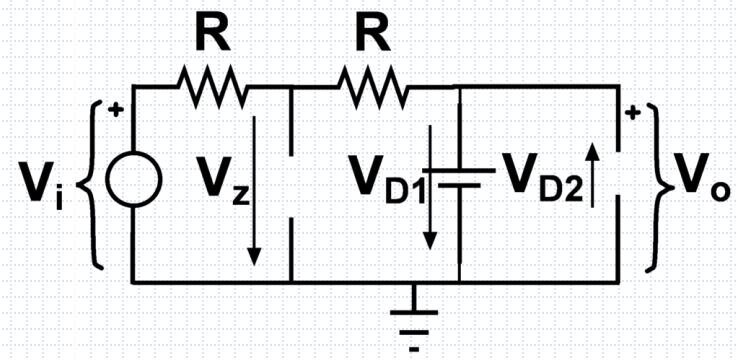
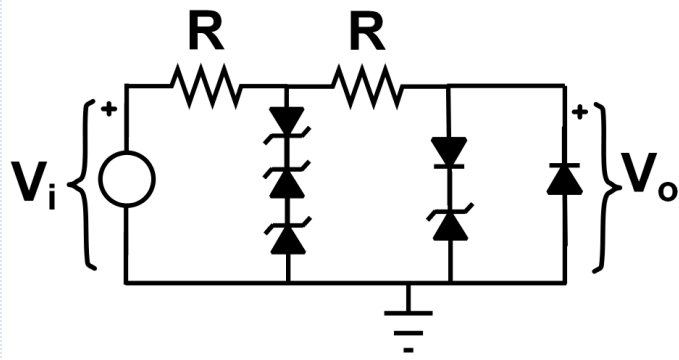


[Link simulador Falstad](#)

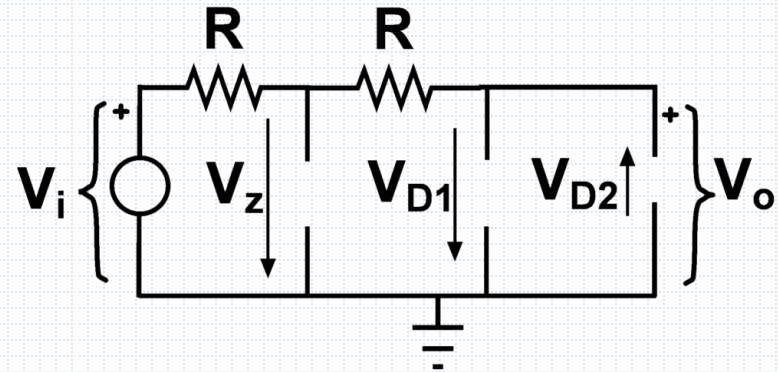
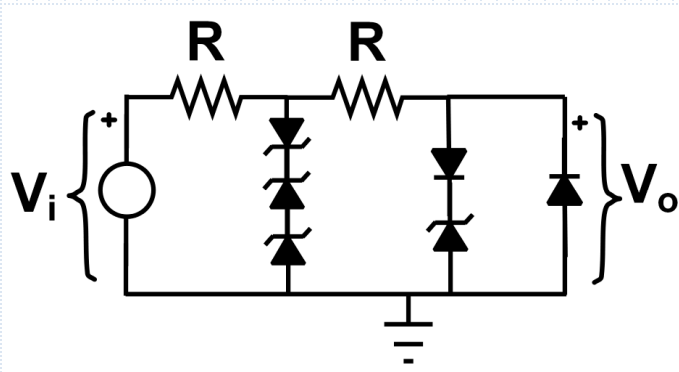
$$V_Y = 0,7V, |V_Z| = 5,4V, R = 500\Omega, |V_R| = 50V, I_{max} = 75mA, P_{z,max} = 270mW$$



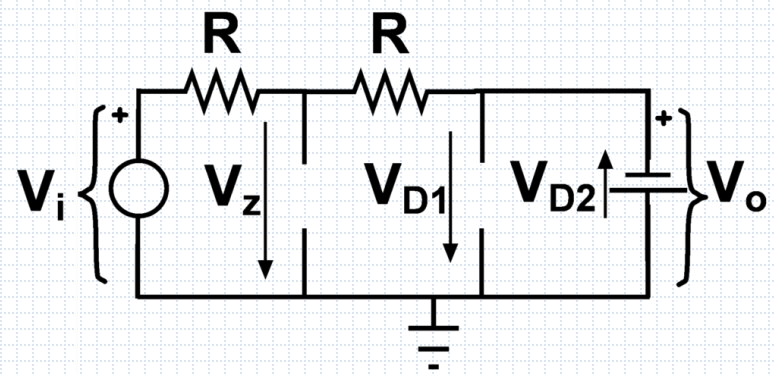
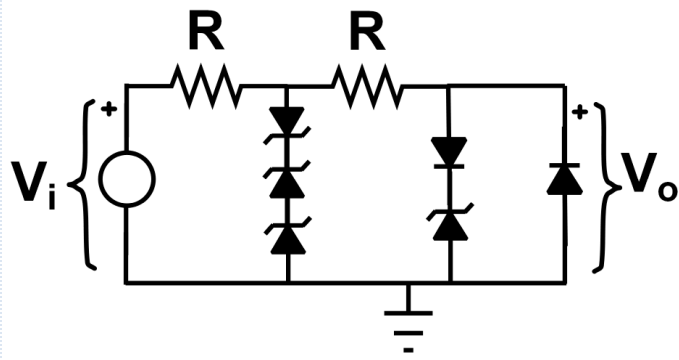
$V_Y = 0,7V$, $|V_Z| = 5,4V$, $R = 500\Omega$, $|V_R| = 50V$, $I_{max} = 75mA$, $P_{z,max} = 270mW$



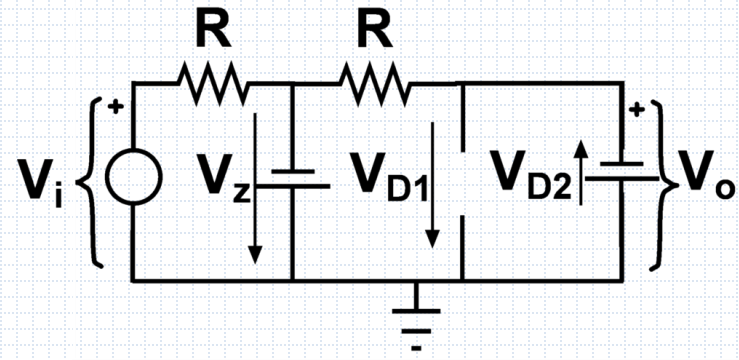
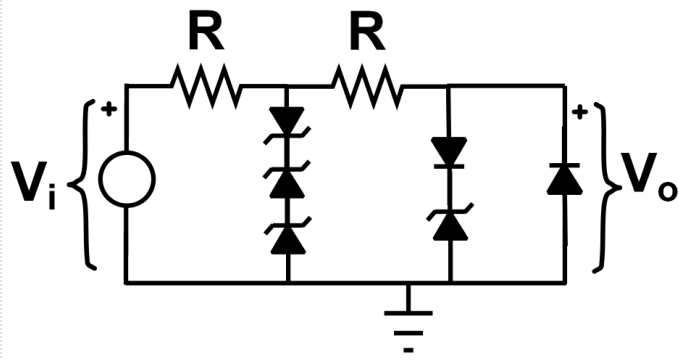
$$V_Y = 0,7V, |V_Z| = 5,4V, R = 500\Omega, |V_R| = 50V, I_{max} = 75mA, P_{z,max} = 270mW$$



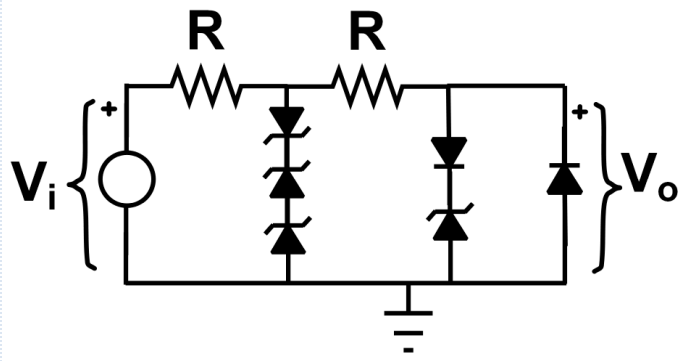
$V_f = 0,7V$, $|V_Z| = 5,4V$, $R = 500\Omega$, $|V_R| = 50V$, $I_{max} = 75mA$, $P_{z,max} = 270mW$



$V_Y = 0,7V$, $|V_Z| = 5,4V$, $R = 500\Omega$, $|V_R| = 50V$, $I_{max} = 75mA$, $P_{z,max} = 270mW$



$$V_Y = 0,7V, |V_Z| = 5,4V, R = 500\Omega, |V_R| = 50V, I_{max} = 75mA, P_{z,max} = 270mW$$



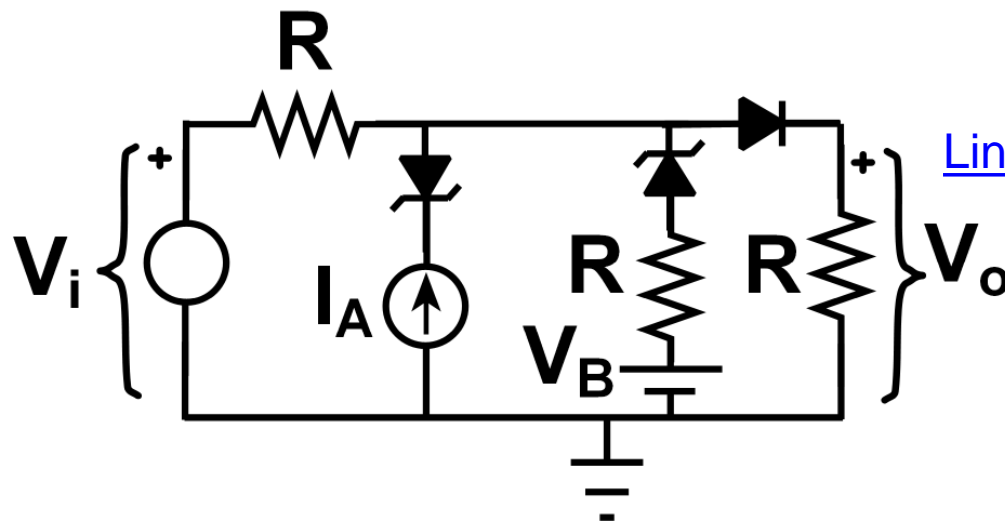
EJERCICIO 3

Obtener la relación $V_o(V_i)$ para $V_i \in (-\infty, \infty)$, indicando la secuencia de estados de los diodos

Datos: $V_\gamma = 0,7V$, $|V_Z| = 5,4V$, $R = 500\Omega$, $V_B = 9V$, $I_A = 5mA$

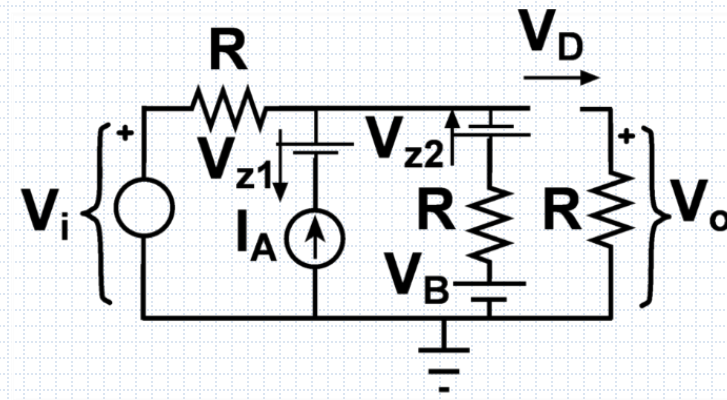
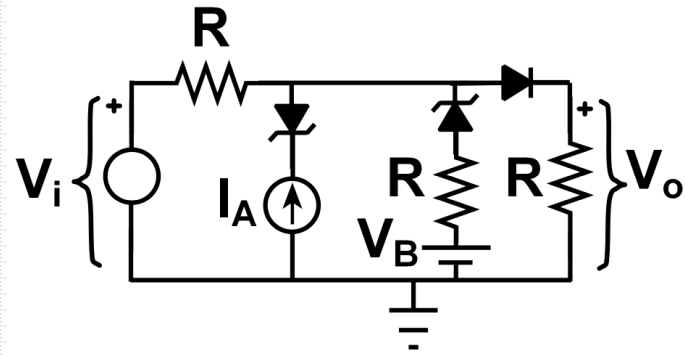
Acotar el rango de V_i para cumplir las limitaciones:

Datos: $|V_R| = 50V$, $I_{max} = 75mA$, $P_{z,max} = 270mW$

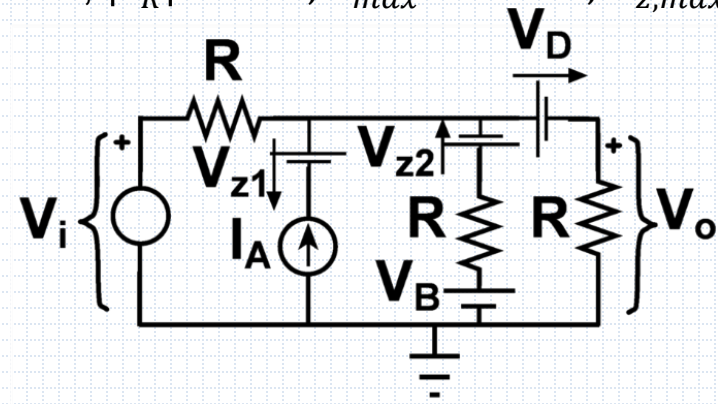
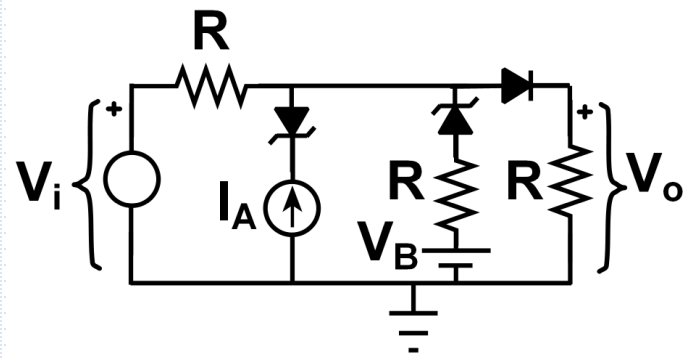


[Link simulador Falstad](#)

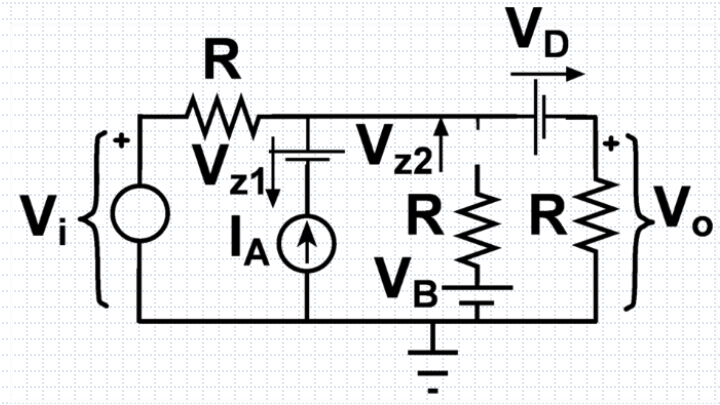
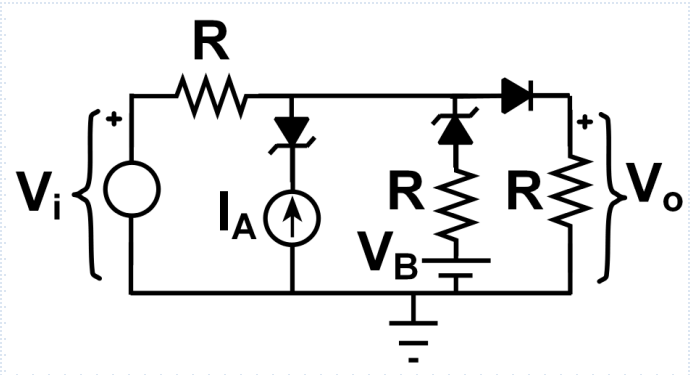
$$V_Y = 0,7V, |V_Z| = 5,4V, R = 500\Omega, V_B = 9V, I_A = 5mA, |V_R| = 50V, I_{max} = 75mA, P_{z,max} = 270mW$$



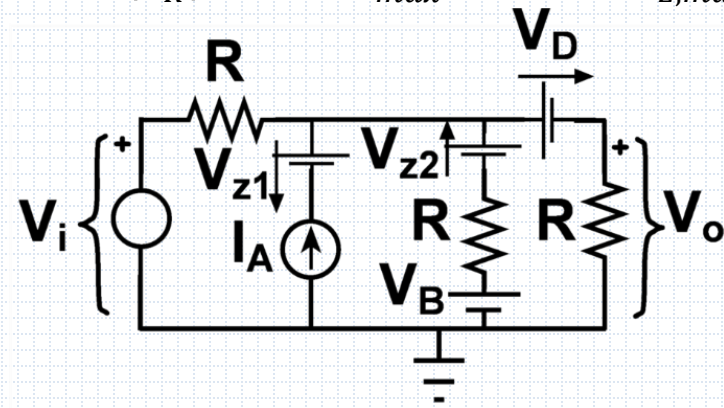
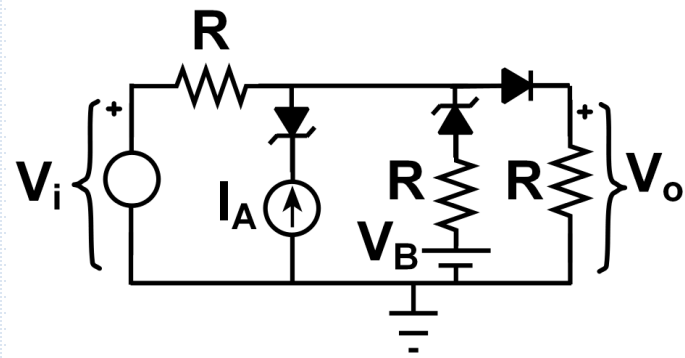
$$V_Y = 0,7V, |V_Z| = 5,4V, R = 500\Omega, V_B = 9V, I_A = 5mA, |V_R| = 50V, I_{max} = 75mA, P_{z,max} = 270mW$$



$V_Y = 0,7V$, $|V_Z| = 5,4V$, $R = 500\Omega$, $V_B = 9V$, $I_A = 5mA$, $|V_R| = 50V$, $I_{max} = 75mA$, $P_{z,max} = 270mW$



$$V_Y = 0,7V, |V_Z| = 5,4V, R = 500\Omega, V_B = 9V, I_A = 5mA, |V_R| = 50V, I_{max} = 75mA, P_{z,max} = 270mW$$



$$V_Y = 0,7V, |V_Z| = 5,4V, R = 500\Omega, V_B = 9V, I_A = 5mA, |V_R| = 50V, I_{max} = 75mA, P_{z,max} = 270mW$$

