

Elementos no lineales

Laboratorio 3

Elementos no lineales

lâmpara
incandescente
o de filamento



diodos

comunes



rápidos



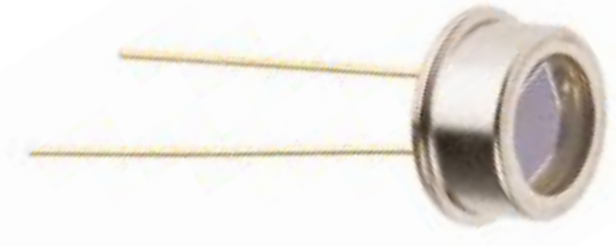
Zener



LED



fotodiodos



diodos
laser



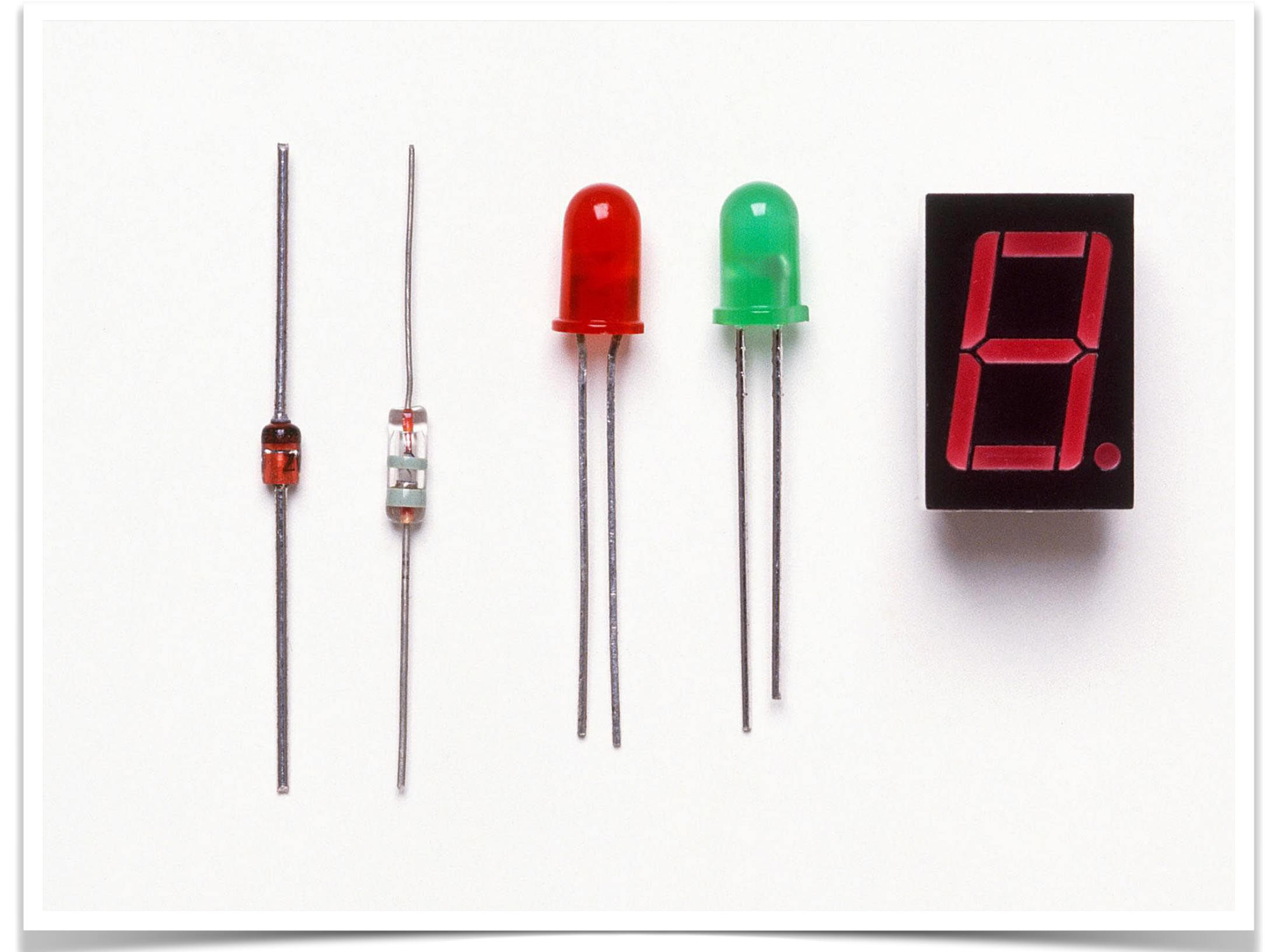
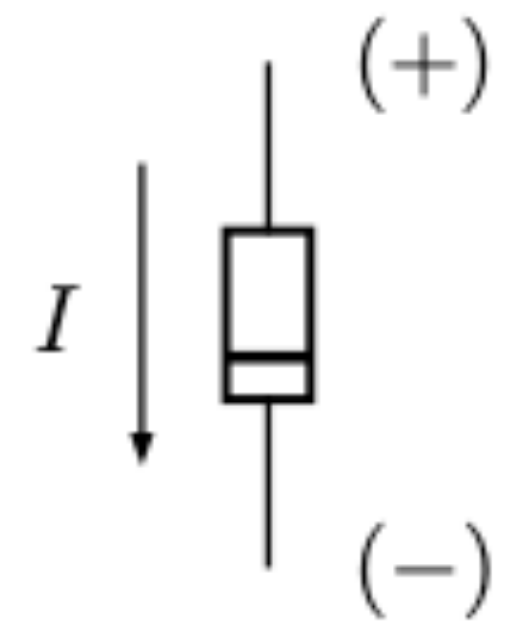
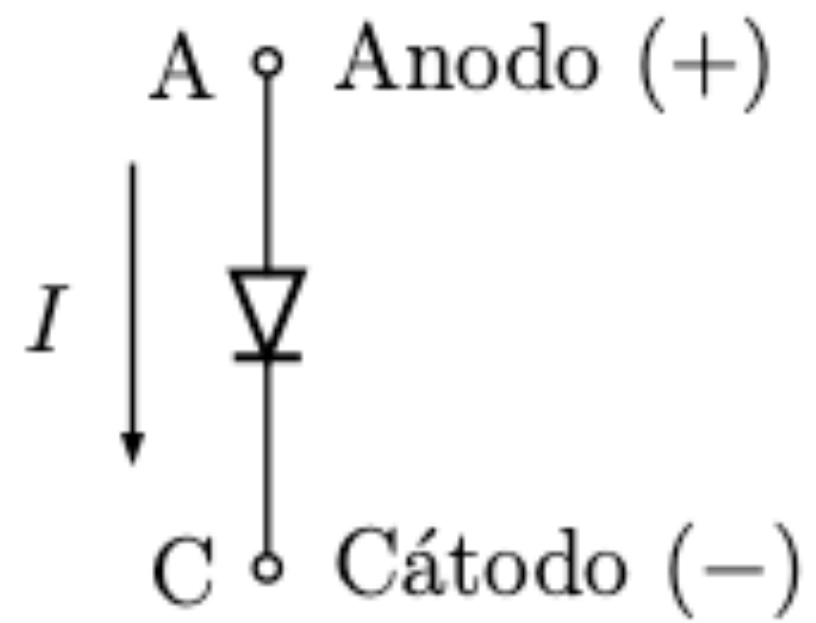
Lampara incandescente o de filamento



Para qué podría servir?

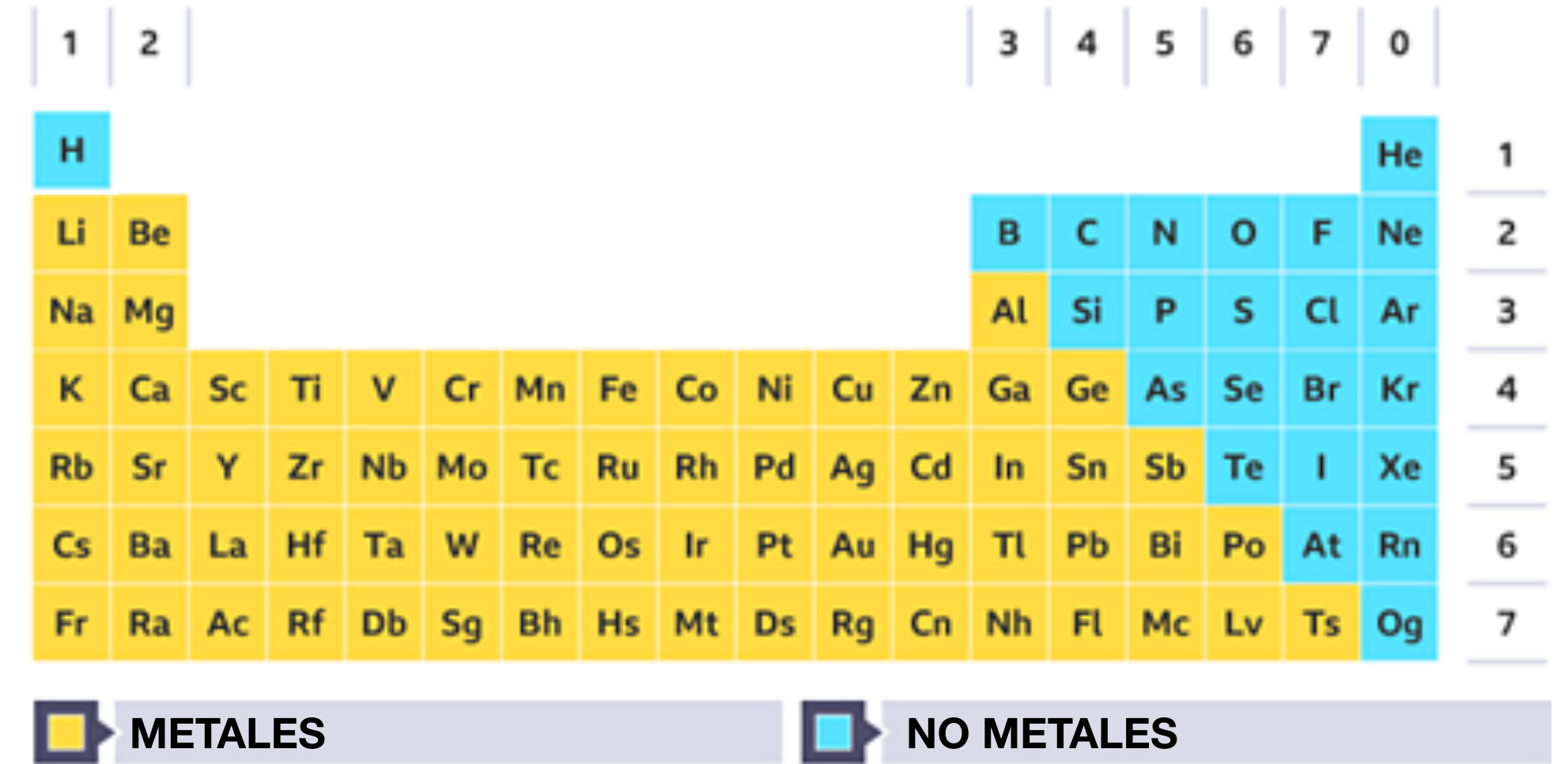
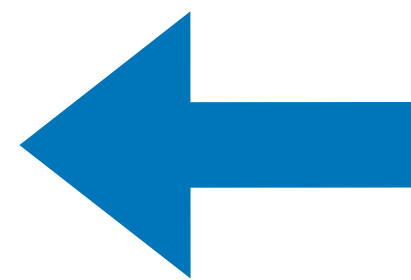
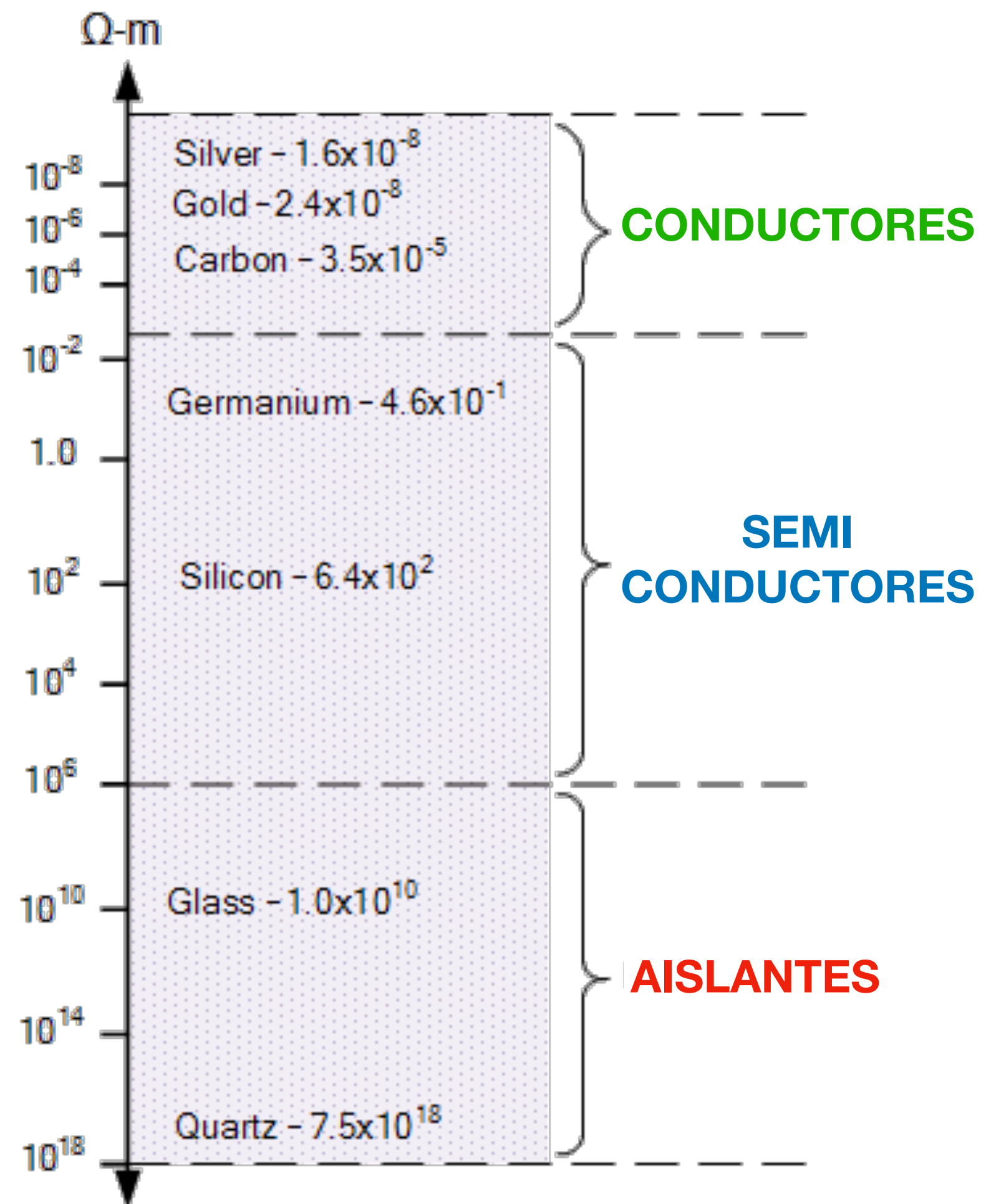
Diodos

ejemplos y diagramas basicos



Semiconductores

donde se ubican en resistividad



Período 1	1 H Hidrógeno 1,0																	2 He Helio 4,0		
2	3 Li Litio 6,9	4 Be Berilio 9,0																	9 F Flúor 19,0	10 Ne Neón 20,2
3	11 Na Sodio 23,0	12 Mg Magnesio 24,3																	17 Cl Cloro 35,5	18 Ar Argón 39,9
4	19 K Potasio 39,1	20 Ca Calcio 40,1	21 Sc Escandio 45,0	22 Ti Titanio 47,9	23 V Vanadio 50,9	24 Cr Cromo 52,0	25 Mn Manganeso 54,9	26 Fe Hierro 55,8	27 Co Cobalto 58,9	28 Ni Níquel 58,7	29 Cu Cobre 63,5	30 Zn Cinc 65,4	31 Ga Galio 69,7	32 Ge Germanio 72,6	33 As Arsénico 74,9	34 Se Selenio 79,0	35 Br Bromo 79,9	36 Kr Kriptón 83,8		
5	37 Rb Rubidio 85,5	38 Sr Estroncio 87,6	39 Y Itrio 88,9	40 Zr Circonio 91,2	41 Nb Niobio 92,9	42 Mo Molibdeno 95,9	43 Tc Tecnecio (99)	44 Ru Rutenio 101,1	45 Rh Rodio 102,9	46 Pd Paladio 106,4	47 Ag Plata 107,9	48 Cd Cadmio 112,4	49 In Indio 118,7	50 Sn Estaño 118,7	51 Sb Antimonio 121,8	52 Te Teluro 127,6	53 I Yodo 126,9	54 Xe Xenón 131,3		
6	55 Cs Cesio 132,9	56 Ba Bario 137,3	71 Lu Lutecio 175,0	72 Hf Hafnio 178,5	73 Ta Tantalo 180,9	74 W Volframio 183,8	75 Re Renio 186,2	76 Os Osmio 190,2	77 Ir Iridio 192,2	78 Pt Platino 195,1	79 Au Oro 197,0	80 Hg Mercurio 200,6	81 Tl Talio 204,4	82 Pb Plomo 207,2	83 Bi Bismuto 209,2	84 Po Polonio (210)	85 At Astatio (210)	86 Rn Radón (222)		
7	87 Fr Francio (233)	88 Ra Radio (266)	103 Lr Laurencio (262)	104 Rf Rutherfordio (261,1)	105 Db Dubnio (262,1)	106 Sg Seaborgio (263,1)	107 Bh Bohrio (264,1)	108 Hs Hassio (277)	109 Mt Meitnerio (268)	110 Ds Darmstatio (271)	111 Rg Roentgenio (272)	112 Cn Copernicio (285)	113 Nh Nihonio (284)	114 Fl Flerovio (289)	115 Mc Moscovio 288	116 Lv Livermorio (292)	117 Ts Teneso (294)	118 Og Oganesón (294)		

Número atómico: 8

Masa atómica: 15,9

Símbolo químico: **O**

Nombre: Oxígeno

- Gases nobles
- Halógenos
- No metales
- Metaloides
- Otros metales
- Metales de transición
- Alcalinotérreos
- Metales alcalinos
- Lantánidos
- Actínidos

GRUPOS

III				IV				V				VI											
5 B Boro 10,8	6 C Carbono 12,0	7 N Nitrógeno 14,0	8 O Oxígeno 15,9	13 Al Aluminio 27,0	14 Si Silicio 28,1	15 P Fósforo 31,0	16 S Azufre 32,1	31 Ga Galio 69,7	32 Ge Germanio 72,6	33 As Arsénico 74,9	34 Se Selenio 79,0	49 In Indio 118,7	50 Sn Estaño 118,7	51 Sb Antimonio 121,8	52 Te Teluro 127,6	81 Tl Talio 204,4	82 Pb Plomo 207,2	83 Bi Bismuto 209,2	84 Po Polonio (210)	113 Nh Nihonio (284)	114 Fl Flerovio (289)	115 Mc Moscovio 288	116 Lv Livermorio (292)

II

p n

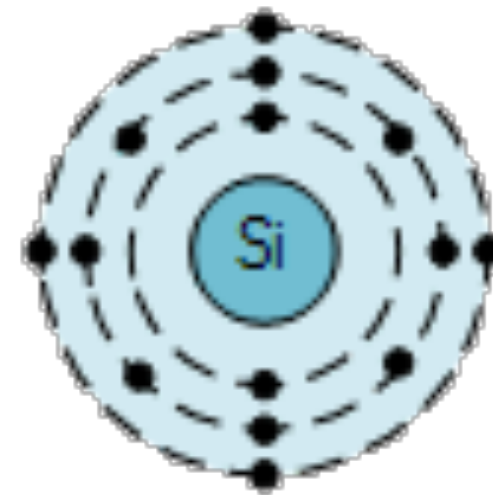
↑

Silicio (G IV)

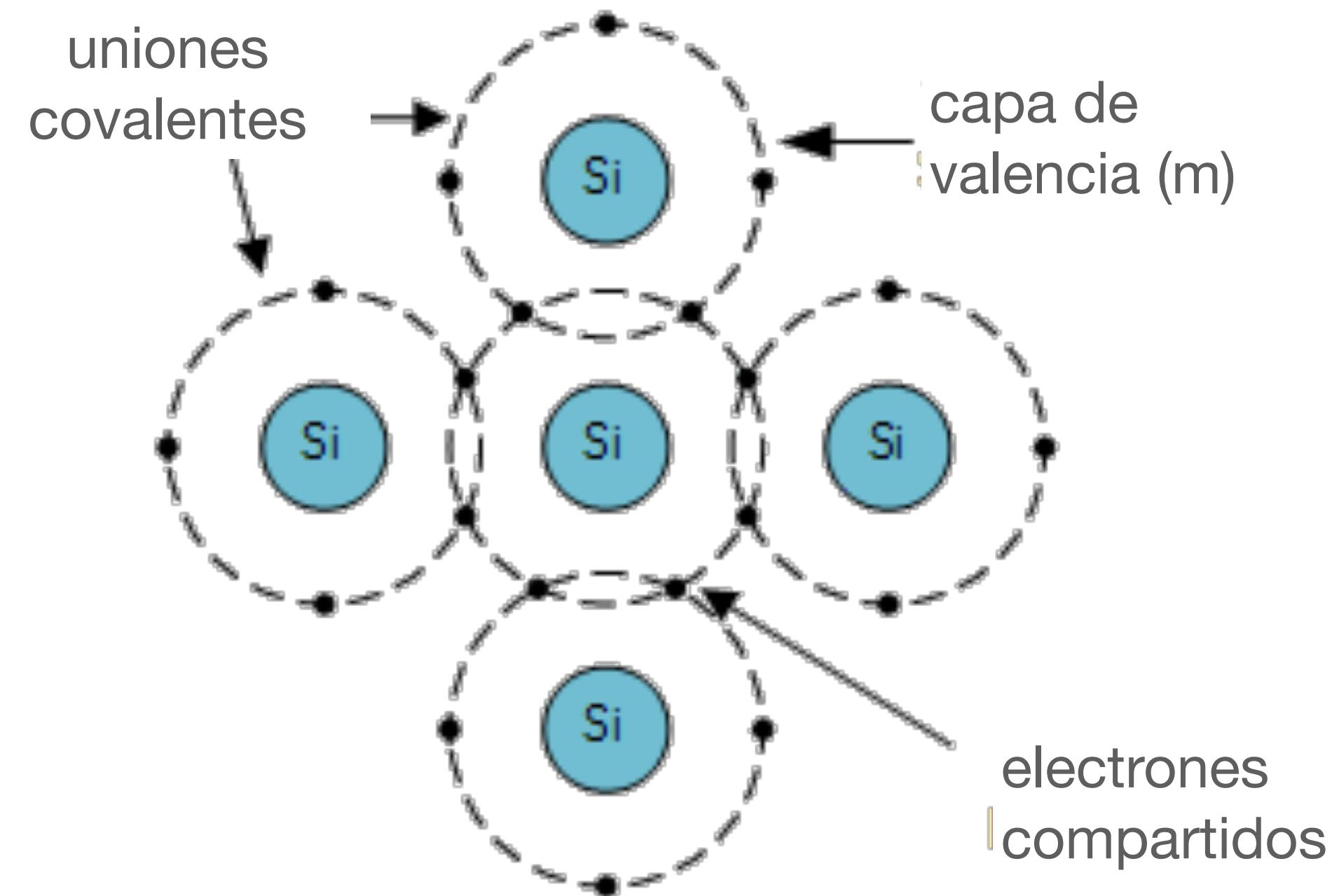
Semiconductores

Silicio y red de Silicio

Silicio
(NA = 14)



4 electrones en su capa de valencia (m)
(grupo IV en TPE)

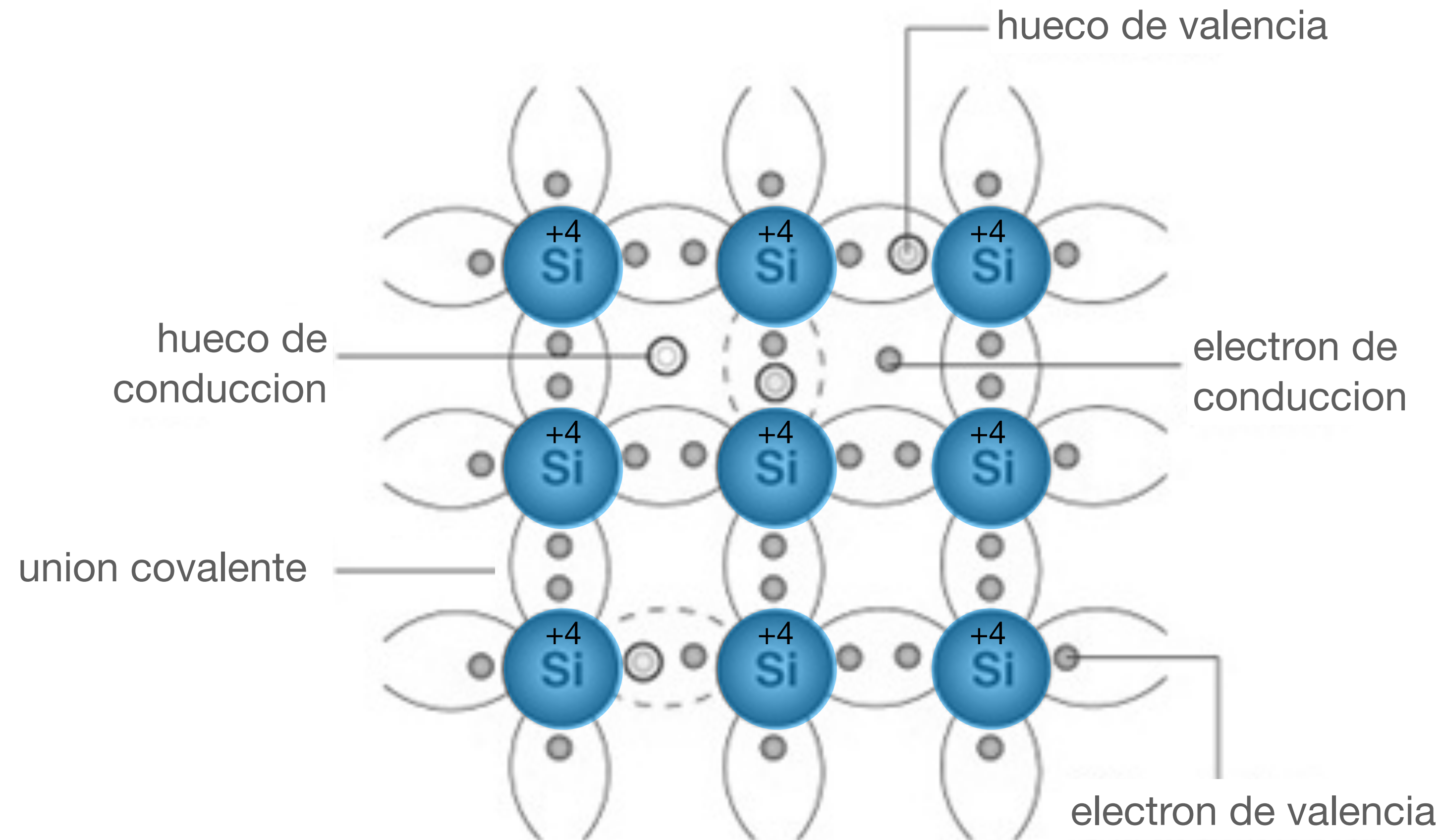


(no se muestran las demas!)

esquema de un cristal de Silicio 'puro'

Semiconductores

partamos de una red 'pura'



vamos ahora a 'dopar' el material implantando otros atomos en su red

Período 1	1 H Hidrógeno 1,0																	2 He Helio 4,0		
2	3 Li Litio 6,9	4 Be Berilio 9,0																	9 F Flúor 19,0	10 Ne Neón 20,2
3	11 Na Sodio 23,0	12 Mg Magnesio 24,3																	17 Cl Cloro 35,5	18 Ar Argón 39,9
4	19 K Potasio 39,1	20 Ca Calcio 40,1	21 Sc Escandio 45,0	22 Ti Titanio 47,9	23 V Vanadio 50,9	24 Cr Cromo 52,0	25 Mn Manganeso 54,9	26 Fe Hierro 55,8	27 Co Cobalto 58,9	28 Ni Níquel 58,7	29 Cu Cobre 63,5	30 Zn Cinc 65,4	31 Ga Galio 69,7	32 Ge Germanio 72,6	33 As Arsénico 74,9	34 Se Selenio 79,0	35 Br Bromo 79,9	36 Kr Kriptón 83,8		
5	37 Rb Rubidio 85,5	38 Sr Estroncio 87,6	39 Y Itrio 88,9	40 Zr Circonio 91,2	41 Nb Niobio 92,9	42 Mo Molibdeno 95,9	43 Tc Tecnecio (99)	44 Ru Rutenio 101,1	45 Rh Rodio 102,9	46 Pd Paladio 106,4	47 Ag Plata 107,9	48 Cd Cadmio 112,4	49 In Indio 118,7	50 Sn Estaño 118,7	51 Sb Antimonio 121,8	52 Te Teluro 127,6	53 I Yodo 126,9	54 Xe Xenón 131,3		
6	55 Cs Cesio 132,9	56 Ba Bario 137,3	71 Lu Lutecio 175,0	72 Hf Hafnio 178,5	73 Ta Tantalo 180,9	74 W Volframio 183,8	75 Re Renio 186,2	76 Os Osmio 190,2	77 Ir Iridio 192,2	78 Pt Platino 195,1	79 Au Oro 197,0	80 Hg Mercurio 200,6	81 Tl Talio 204,4	82 Pb Plomo 207,2	83 Bi Bismuto 209,2	84 Po Polonio (210)	85 At Astatio (210)	86 Rn Radón (222)		
7	87 Fr Francio (233)	88 Ra Radio (266)	103 Lr Laurencio (262)	104 Rf Rutherfordio (261,1)	105 Db Dubnio (262,1)	106 Sg Seaborgio (263,1)	107 Bh Bohrio (264,1)	108 Hs Hassio (277)	109 Mt Meitnerio (268)	110 Ds Darmstatio (271)	111 Rg Roentgenio (272)	112 Cn Copernicio (285)	113 Nh Nihonio (284)	114 Fl Flerovio (289)	115 Mc Moscovio 288	116 Lv Livermorio (292)	117 Ts Teneso (294)	118 Og Oganesón (294)		

Número atómico: 8

Masa atómica: 15,9

Símbolo químico: **O**

Nombre: Oxígeno

- Gases nobles
- Halógenos
- No metales
- Metaloides
- Otros metales
- Metales de transición
- Alcalinotérreos
- Metales alcalinos
- Lantánidos
- Actínidos

GRUPOS

III				IV				V				VI											
5 B Boro 10,8	6 C Carbono 12,0	7 N Nitrógeno 14,0	8 O Oxígeno 15,9	13 Al Aluminio 27,0	14 Si Silicio 28,1	15 P Fósforo 31,0	16 S Azufre 32,1	31 Ga Galio 69,7	32 Ge Germanio 72,6	33 As Arsénico 74,9	34 Se Selenio 79,0	49 In Indio 118,7	50 Sn Estaño 118,7	51 Sb Antimonio 121,8	52 Te Teluro 127,6	81 Tl Talio 204,4	82 Pb Plomo 207,2	83 Bi Bismuto 209,2	84 Po Polonio (210)	113 Nh Nihonio (284)	114 Fl Flerovio (289)	115 Mc Moscovio 288	116 Lv Livermorio (292)

II

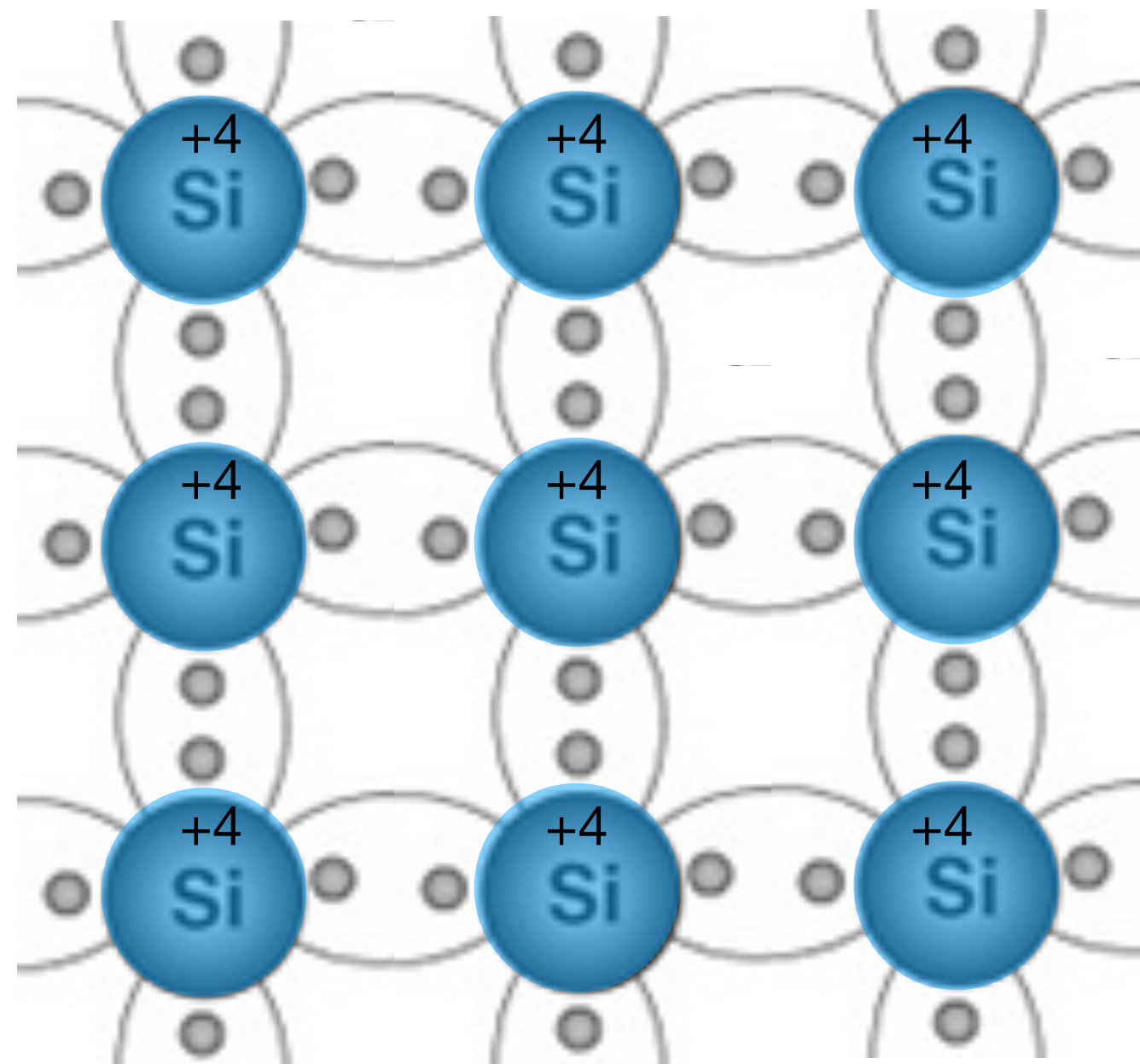
p n

↑

Silicio (G IV)

Semiconductores tipo 'p'

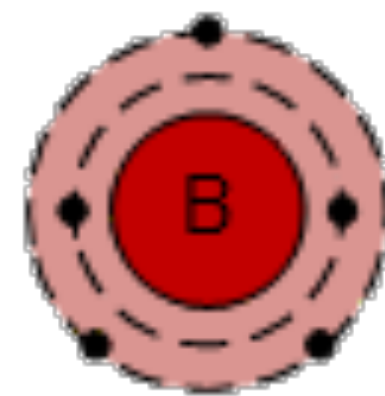
dopemos al material implantando otros atomos en su red



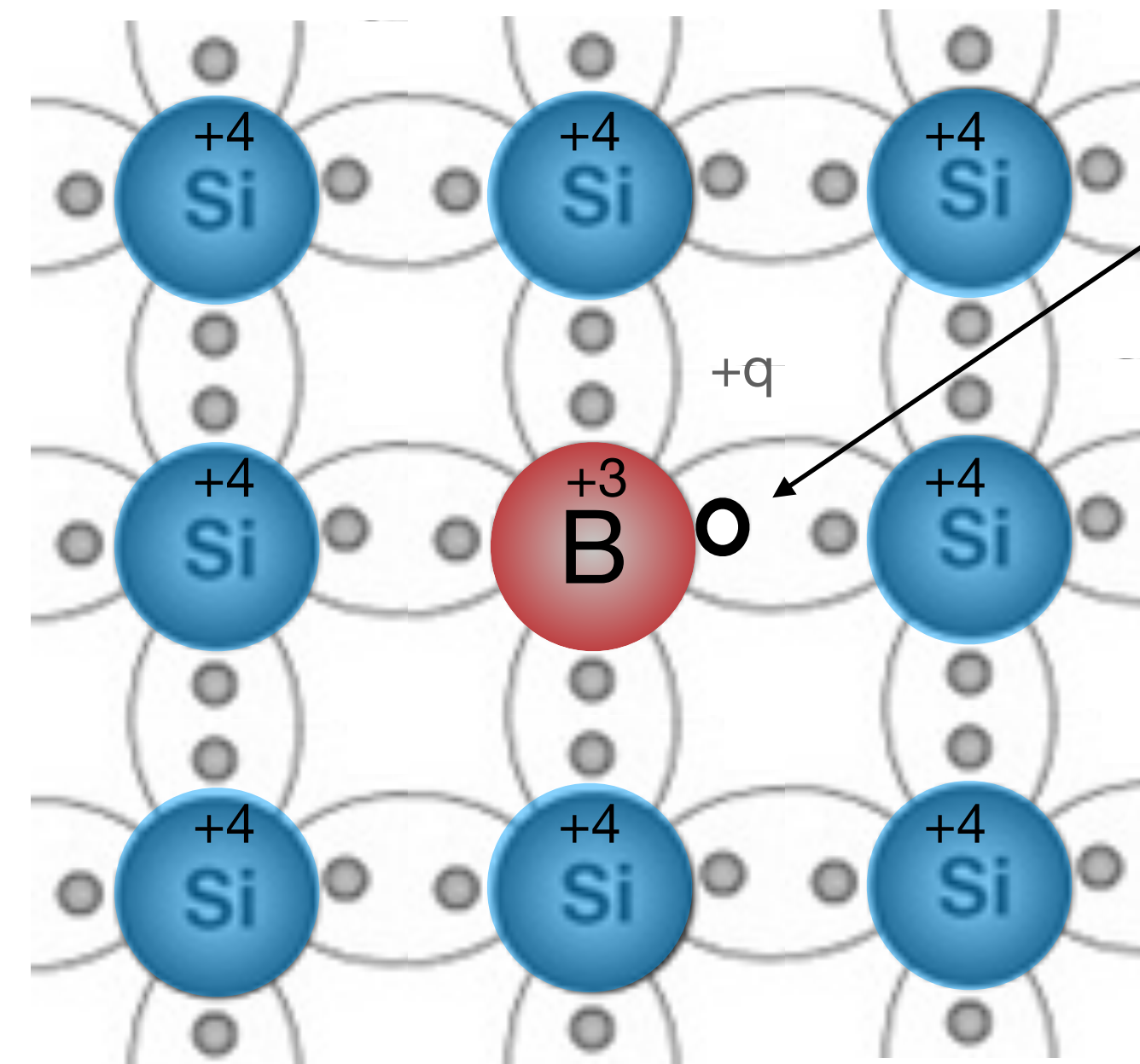
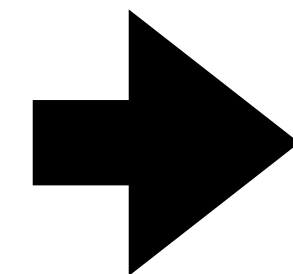
esquema de un cristal de Silicio 'puro'

+

Boro
(NA = 5)



3 electrones en su capa de valencia (L)
(grupo III en TPE)



hueco o agujero (+q)
debido a la ausencia de un electron

semiconductor de Si tipo 'p'

portadores mayoritarios de carga son h+

(notar que tiene carga total nula)

Período 1	1 H Hidrógeno 1,0																	2 He Helio 4,0		
2	3 Li Litio 6,9	4 Be Berilio 9,0																	9 F Flúor 19,0	10 Ne Neón 20,2
3	11 Na Sodio 23,0	12 Mg Magnesio 24,3																	17 Cl Cloro 35,5	18 Ar Argón 39,9
4	19 K Potasio 39,1	20 Ca Calcio 40,1	21 Sc Escandio 45,0	22 Ti Titanio 47,9	23 V Vanadio 50,9	24 Cr Cromo 52,0	25 Mn Manganeso 54,9	26 Fe Hierro 55,8	27 Co Cobalto 58,9	28 Ni Níquel 58,7	29 Cu Cobre 63,5	30 Zn Cinc 65,4	31 Ga Galio 69,7	32 Ge Germanio 72,6	33 As Arsénico 74,9	34 Se Selenio 79,0	35 Br Bromo 79,9	36 Kr Kriptón 83,8		
5	37 Rb Rubidio 85,5	38 Sr Estroncio 87,6	39 Y Itrio 88,9	40 Zr Circonio 91,2	41 Nb Niobio 92,9	42 Mo Molibdeno 95,9	43 Tc Tecnecio (99)	44 Ru Rutenio 101,1	45 Rh Rodio 102,9	46 Pd Paladio 106,4	47 Ag Plata 107,9	48 Cd Cadmio 112,4	49 In Indio 118,7	50 Sn Estaño 118,7	51 Sb Antimonio 121,8	52 Te Teluro 127,6	53 I Yodo 126,9	54 Xe Xenón 131,3		
6	55 Cs Cesio 132,9	56 Ba Bario 137,3	71 Lu Lutecio 175,0	72 Hf Hafnio 178,5	73 Ta Tantalo 180,9	74 W Volframio 183,8	75 Re Renio 186,2	76 Os Osmio 190,2	77 Ir Iridio 192,2	78 Pt Platino 195,1	79 Au Oro 197,0	80 Hg Mercurio 200,6	81 Tl Talio 204,4	82 Pb Plomo 207,2	83 Bi Bismuto 209,2	84 Po Polonio (210)	85 At Astatio (210)	86 Rn Radón (222)		
7	87 Fr Francio (233)	88 Ra Radio (266)	103 Lr Laurencio (262)	104 Rf Rutherfordio (261,1)	105 Db Dubnio (262,1)	106 Sg Seaborgio (263,1)	107 Bh Bohrio (264,1)	108 Hs Hassio (277)	109 Mt Meitnerio (268)	110 Ds Darmstatio (271)	111 Rg Roentgenio (272)	112 Cn Copernicio (285)	113 Nh Nihonio (284)	114 Fl Flerovio (289)	115 Mc Moscovio 288	116 Lv Livermorio (292)	117 Ts Teneso (294)	118 Og Oganesón (294)		

Número atómico: 8

Masa atómica: 15,9

Símbolo químico: **O**

Nombre: Oxígeno

- Gases nobles
- Halógenos
- No metales
- Metaloides
- Otros metales
- Metales de transición
- Alcalinotérreos
- Metales alcalinos
- Lantánidos
- Actínidos

GRUPOS

III				IV				V				VI											
5 B Boro 10,8	6 C Carbono 12,0	7 N Nitrógeno 14,0	8 O Oxígeno 15,9	13 Al Aluminio 27,0	14 Si Silicio 28,1	15 P Fósforo 31,0	16 S Azufre 32,1	31 Ga Galio 69,7	32 Ge Germanio 72,6	33 As Arsénico 74,9	34 Se Selenio 79,0	49 In Indio 118,7	50 Sn Estaño 118,7	51 Sb Antimonio 121,8	52 Te Teluro 127,6	81 Tl Talio 204,4	82 Pb Plomo 207,2	83 Bi Bismuto 209,2	84 Po Polonio (210)	113 Nh Nihonio (284)	114 Fl Flerovio (289)	115 Mc Moscovio 288	116 Lv Livermorio (292)

II

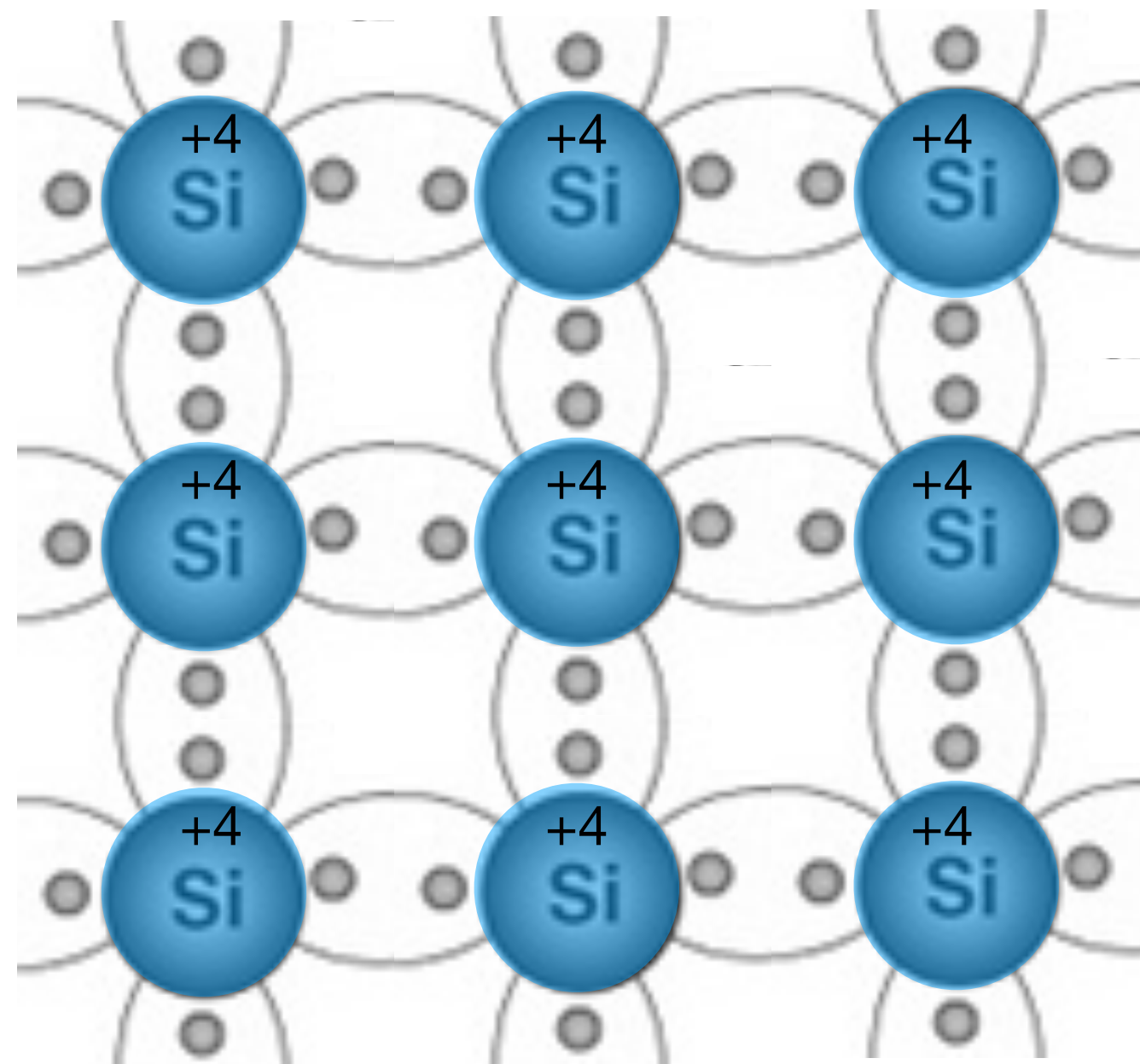
p n

↑

Silicio (G IV)

Semiconductores tipo 'n'

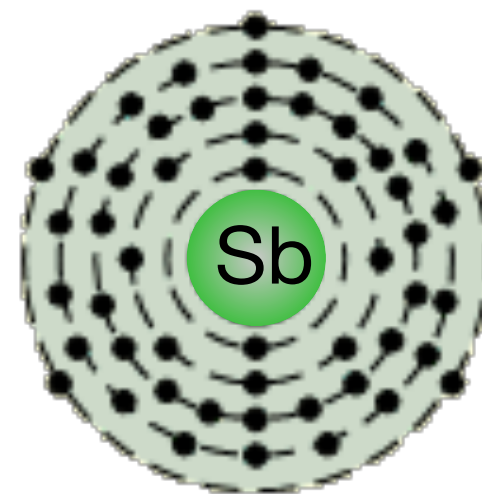
dopemos al material implantando otros atomos en su red



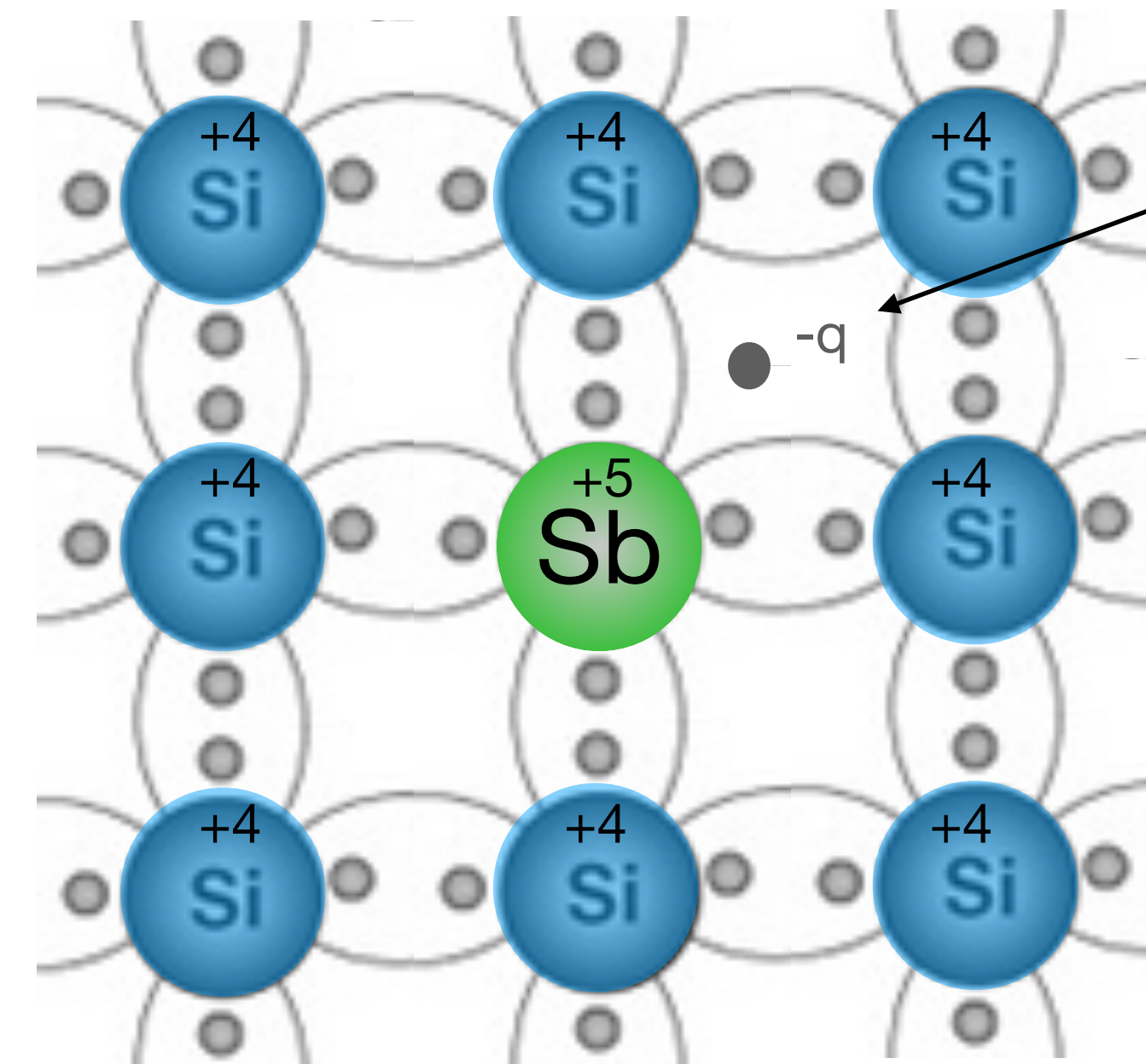
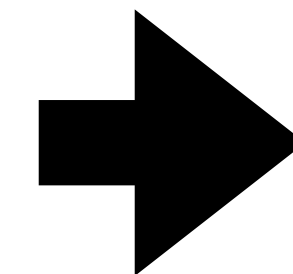
esquema de un cristal de Silicio 'puro'

+

Antimonio
(NA = 51)



5 electrones en su capa de valencia
(grupo V en TPE)

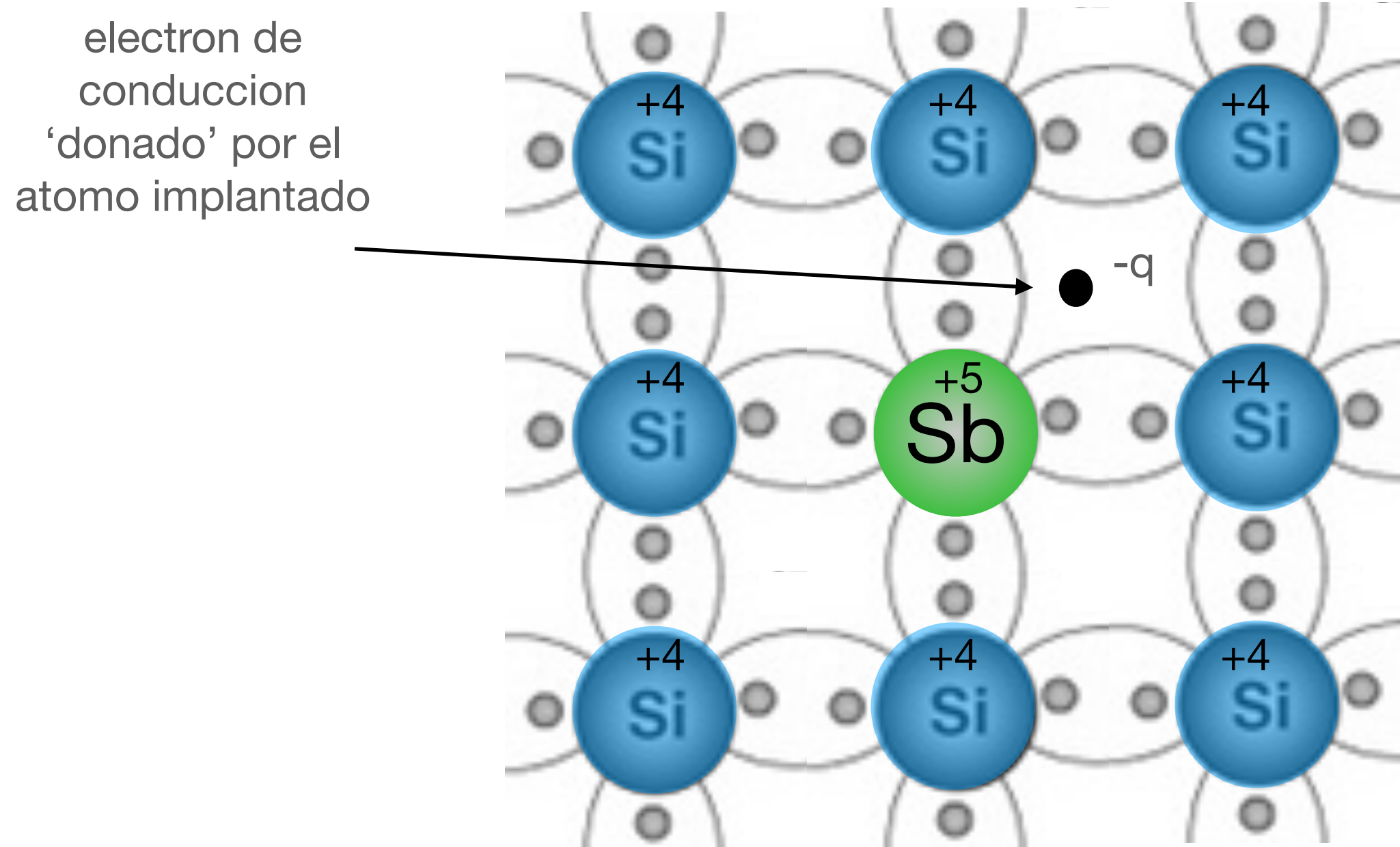


electron de conduccion
'donado' por el atomo implantado

semiconductor de Si tipo 'n'
portadores mayoritarios de carga son e-

(notar que tiene carga total nula)

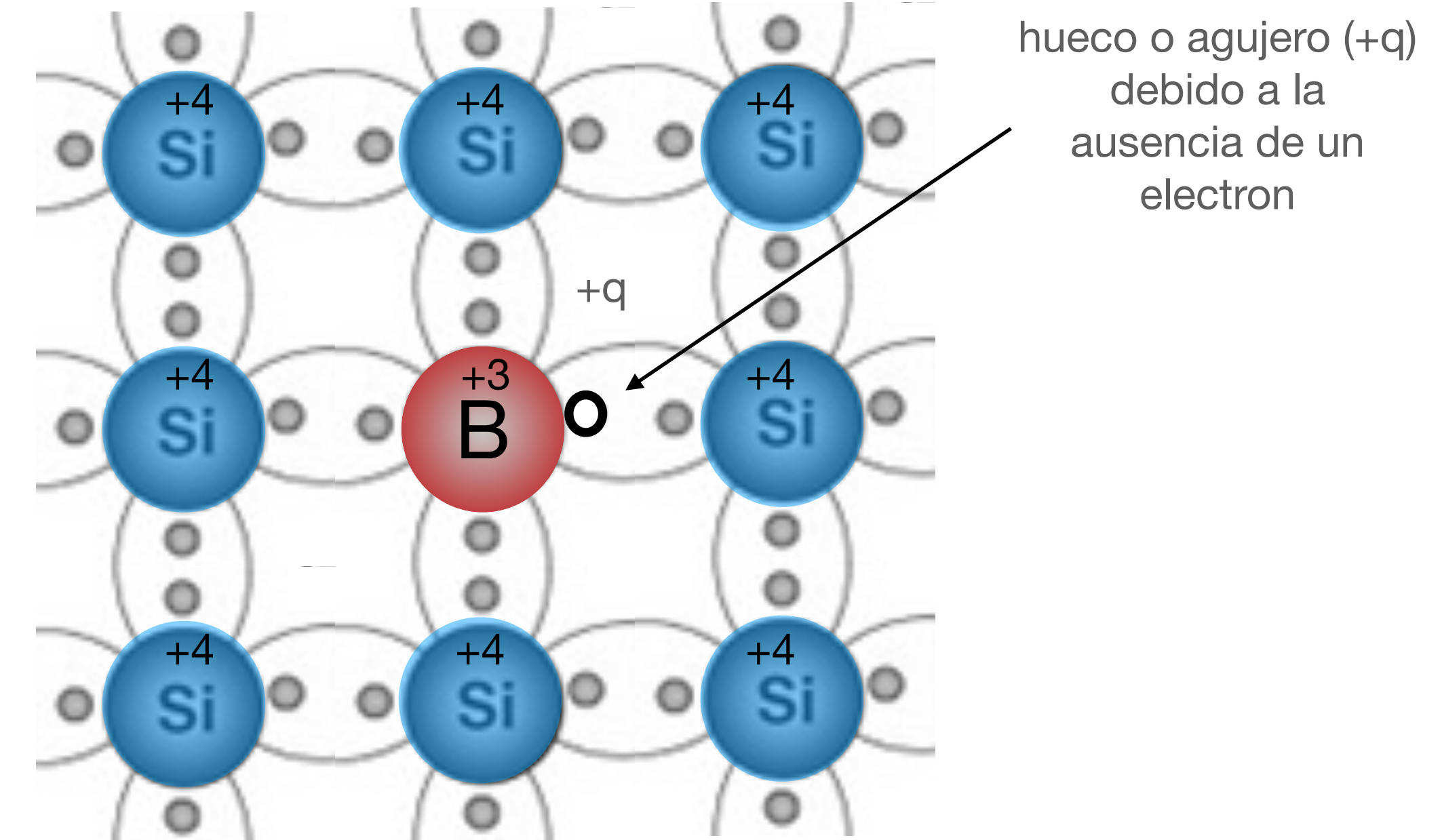
Semiconductores tipo 'n'



semiconductor de Si tipo 'n'

portadores mayoritarios de carga son e-

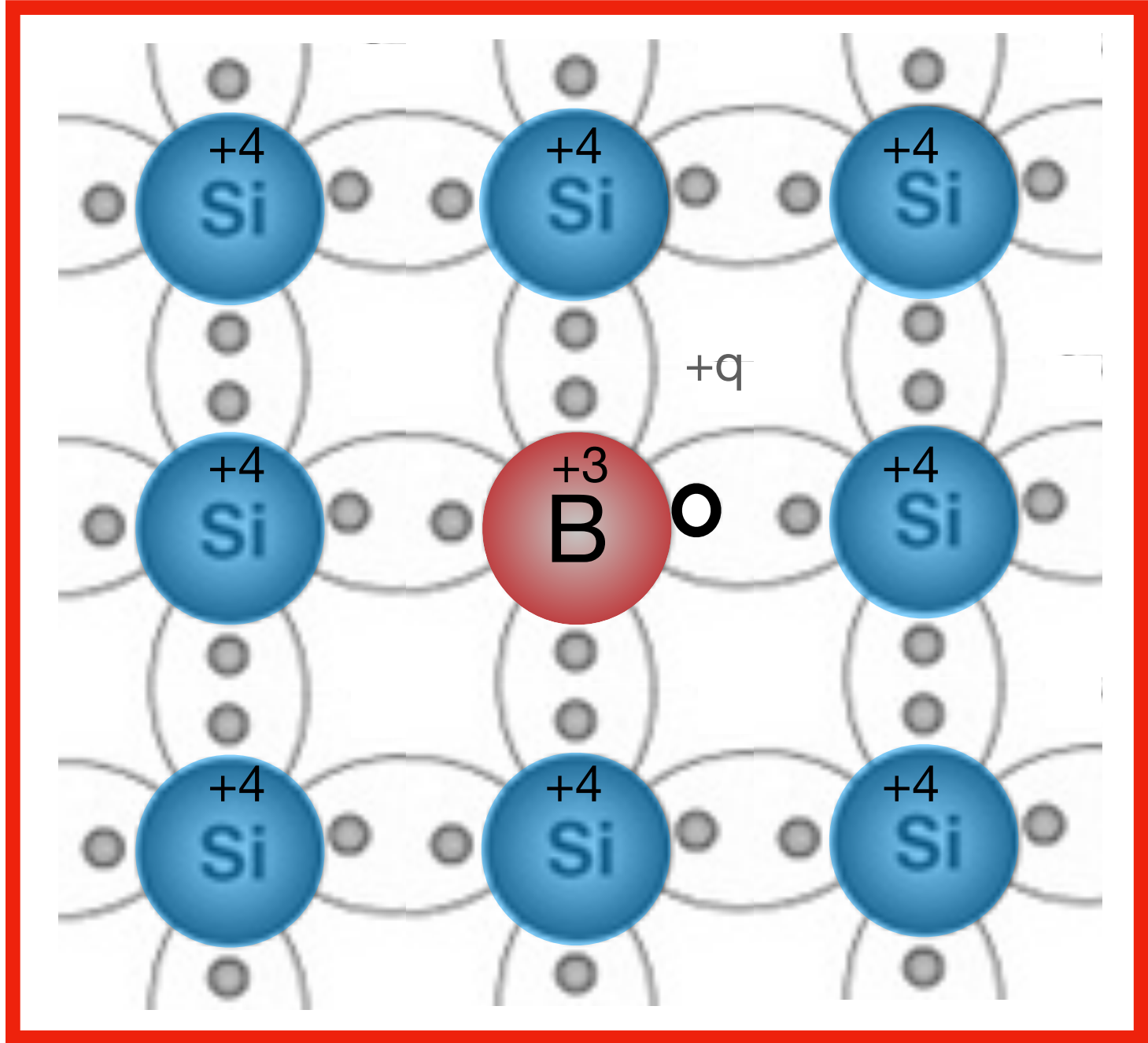
(notar que tiene carga total nula)



semiconductor de Si tipo 'p'

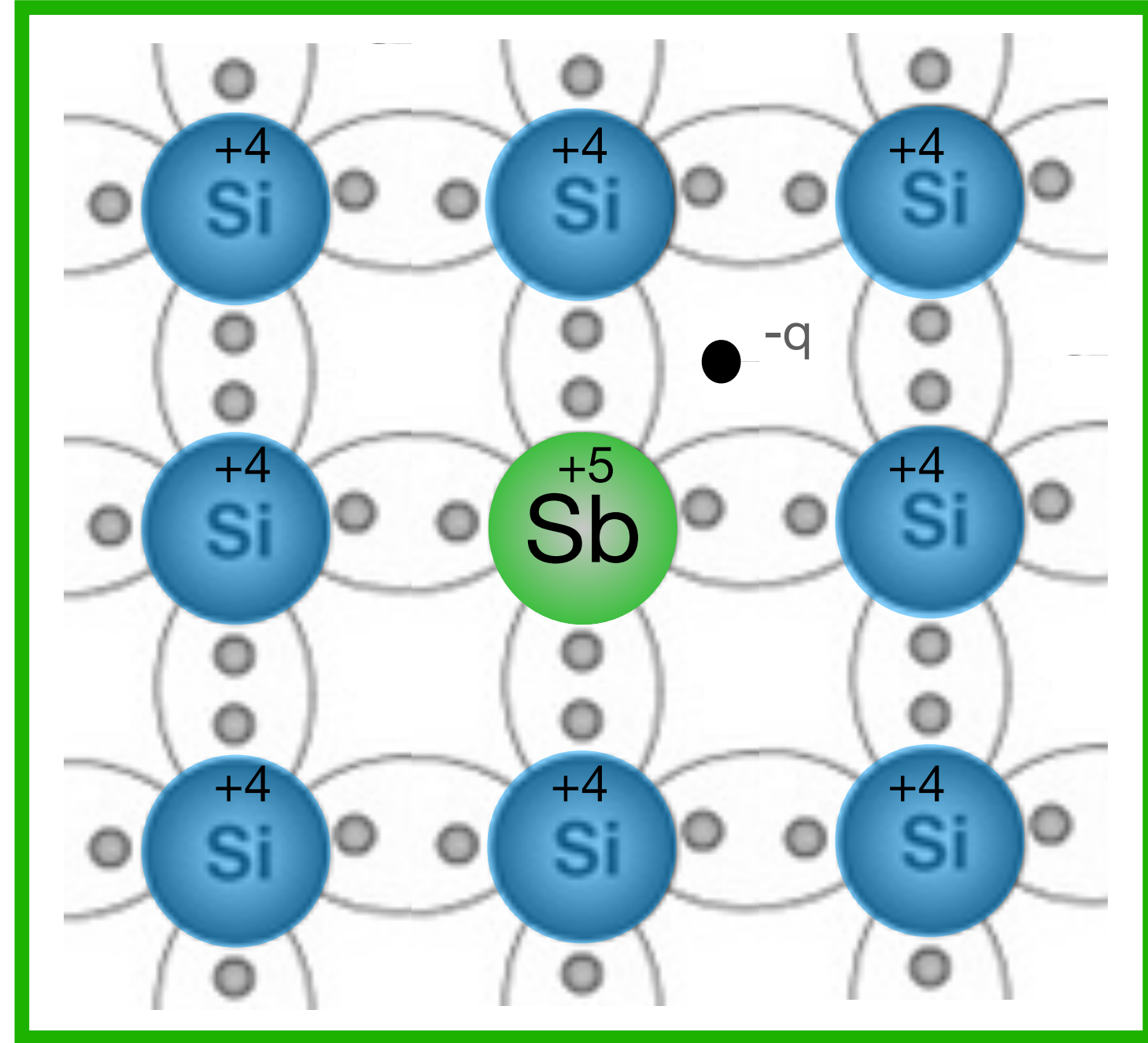
portadores mayoritarios de carga son h+

(notar que tiene carga total nula)

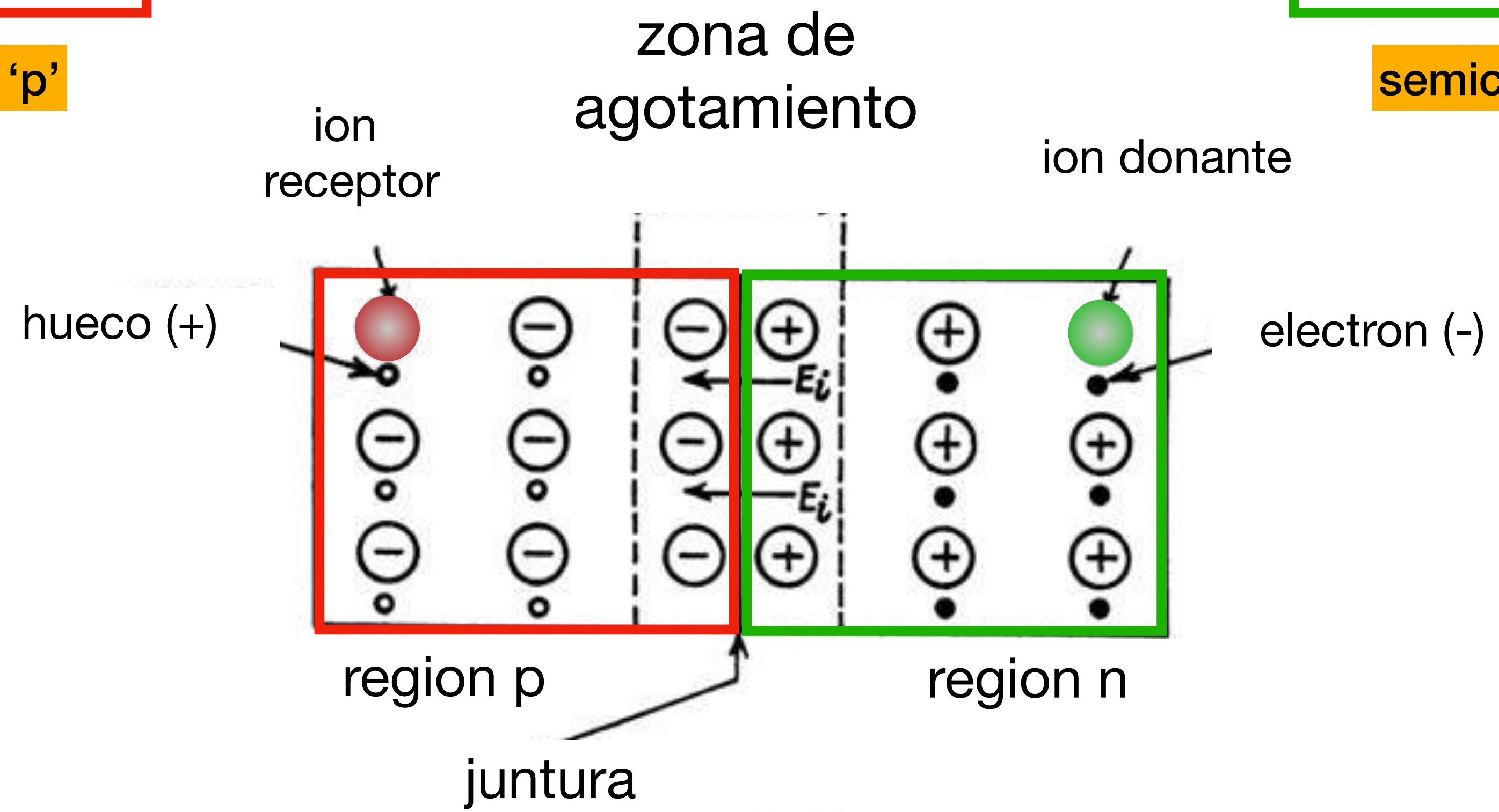


semiconductor de Si tipo 'p'

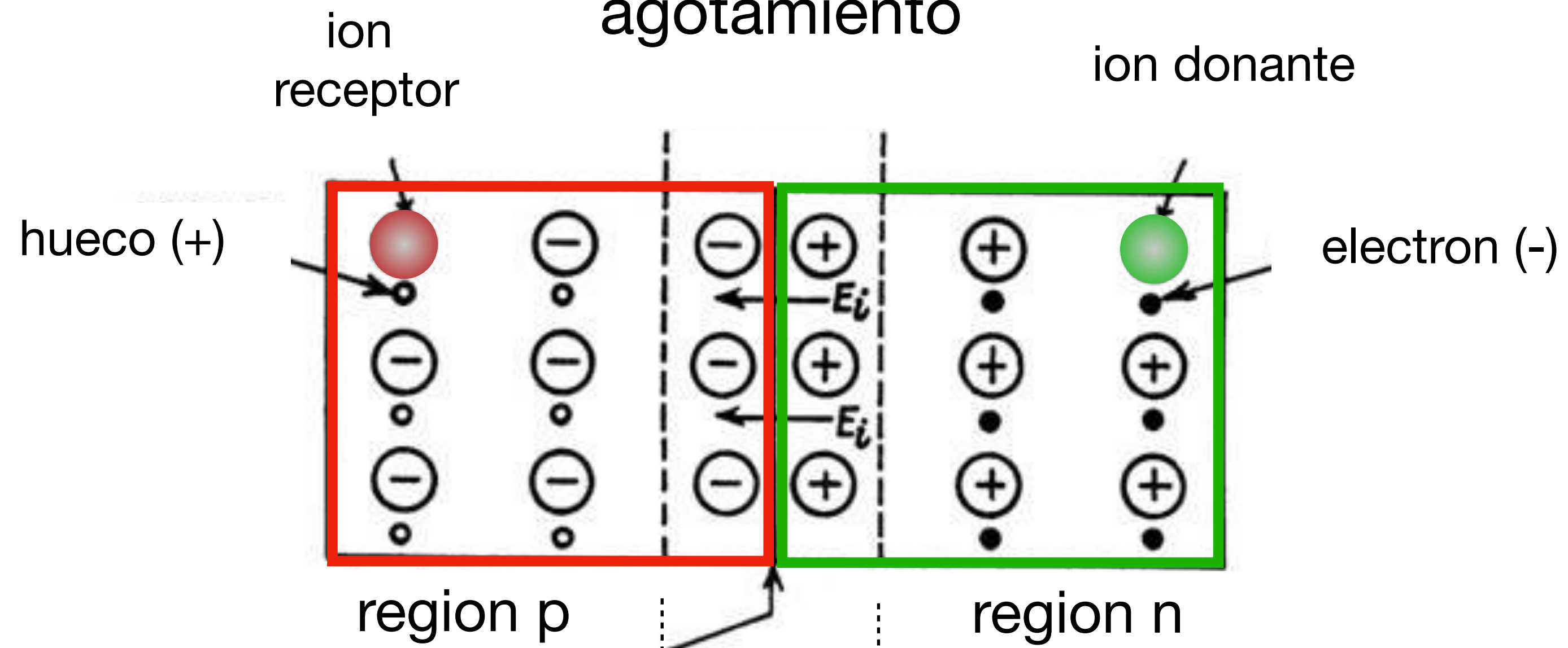
al 'unirlos'
tenemos una
juntura n-p



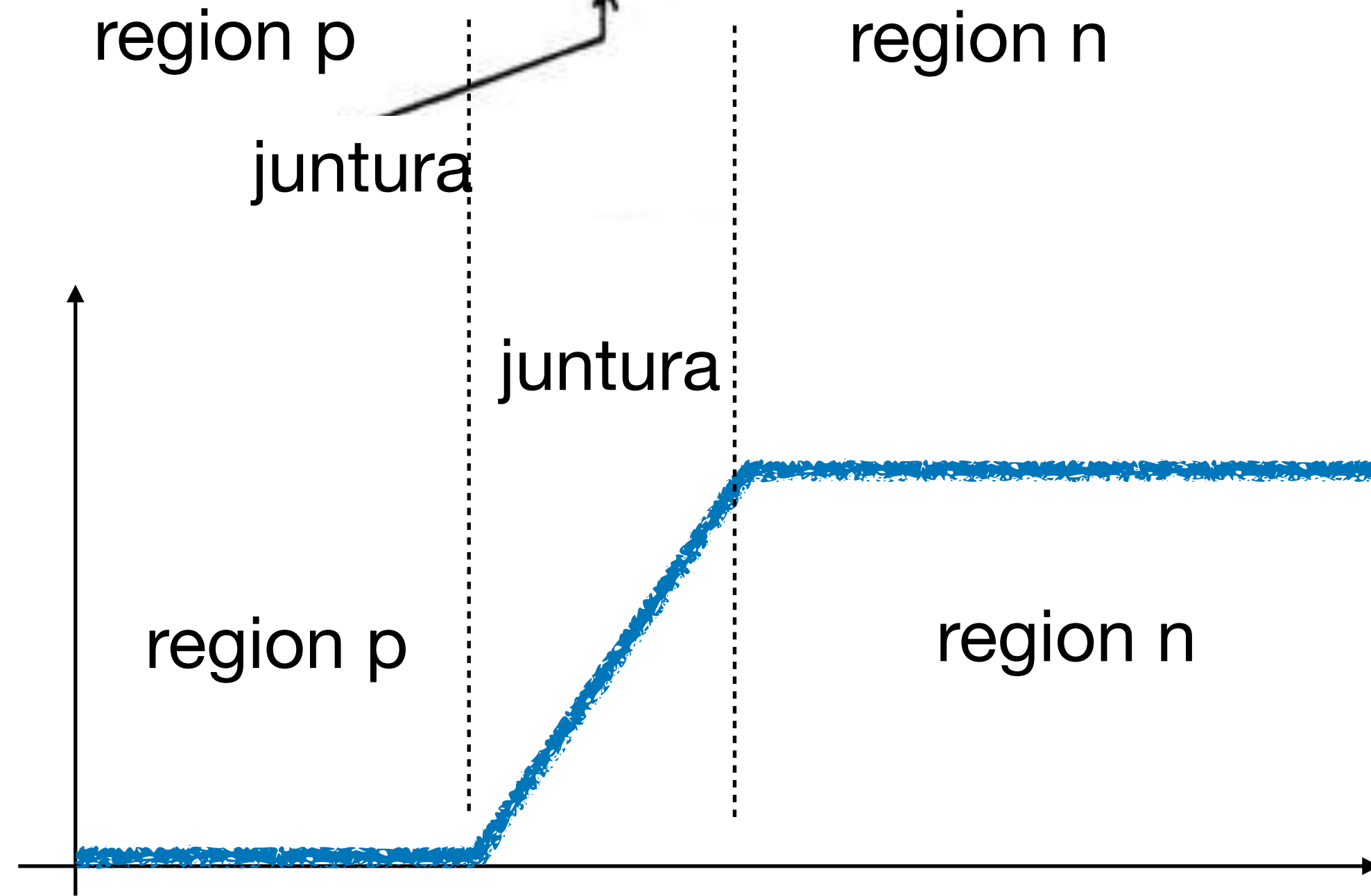
semiconductor de Si tipo 'n'



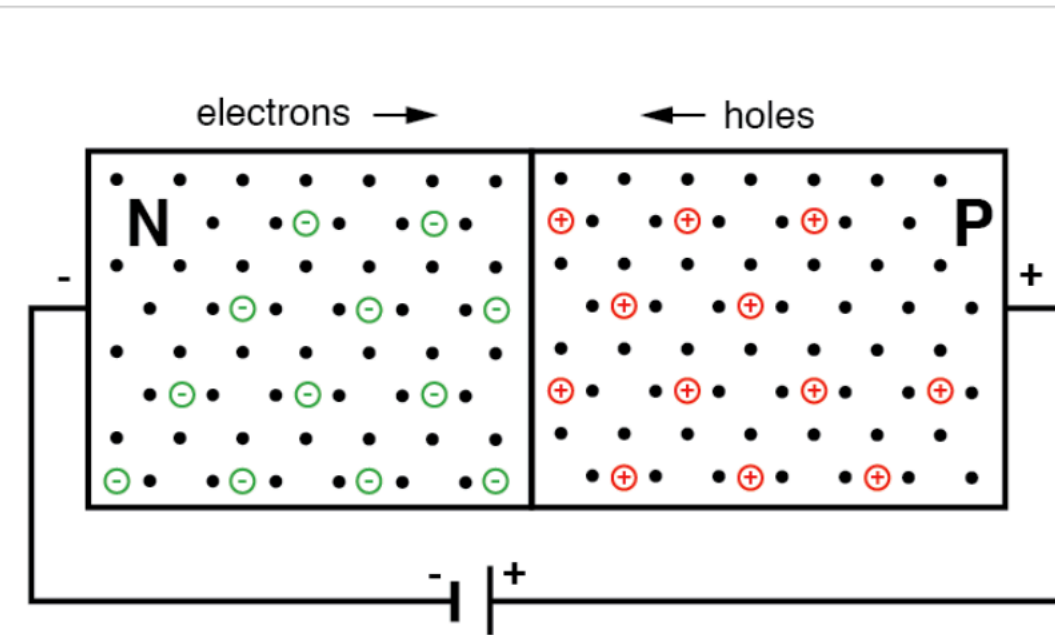
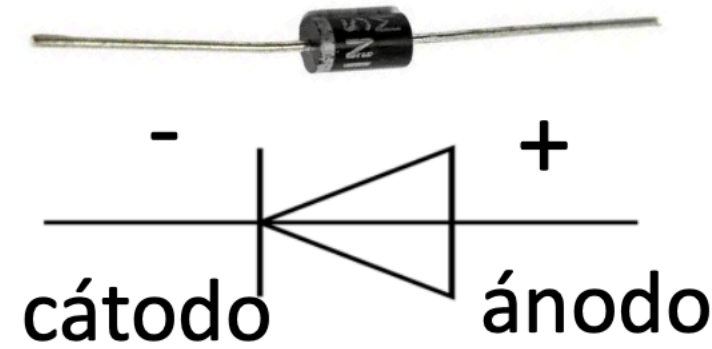
zona de agotamiento



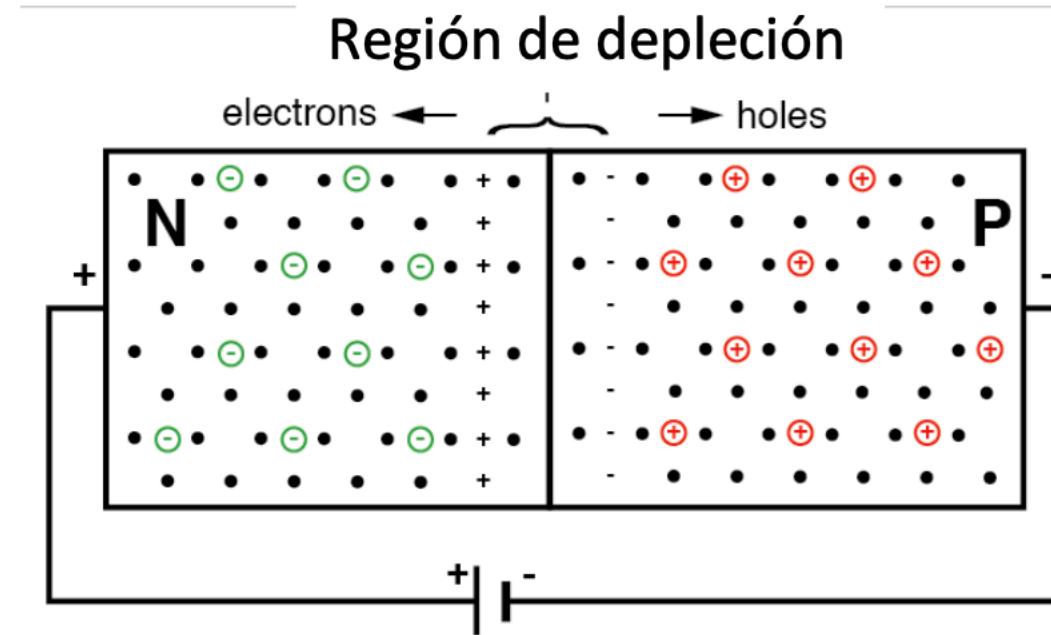
tension sobre el material



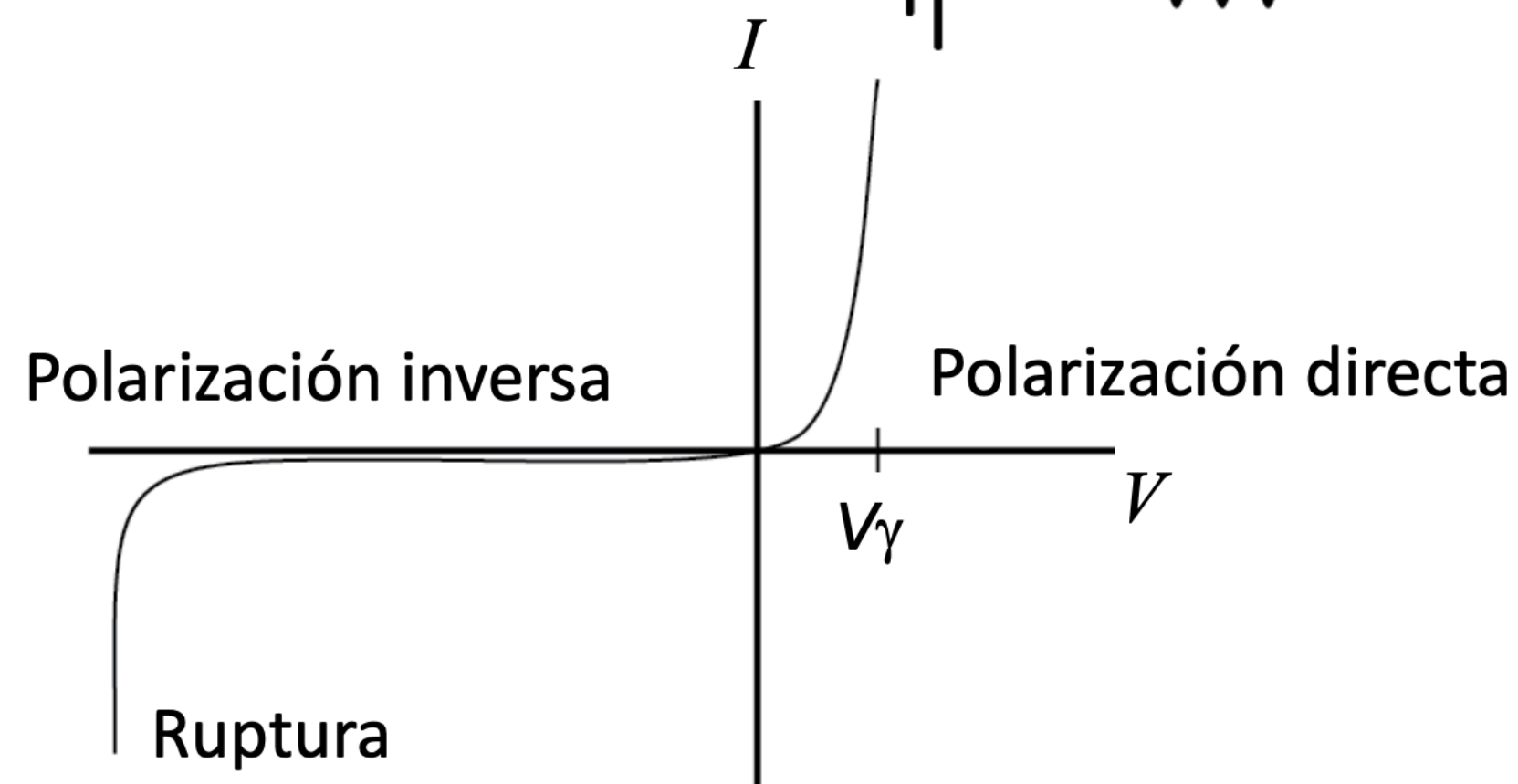
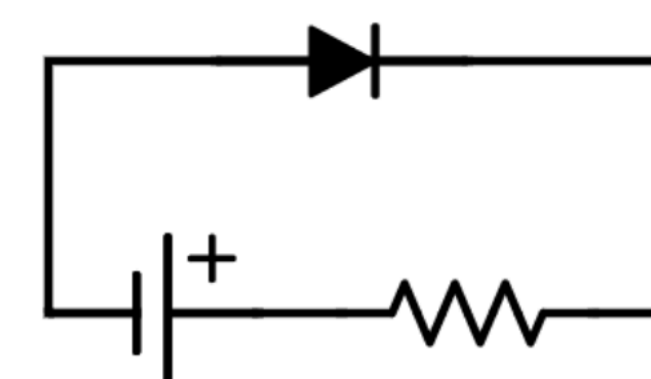
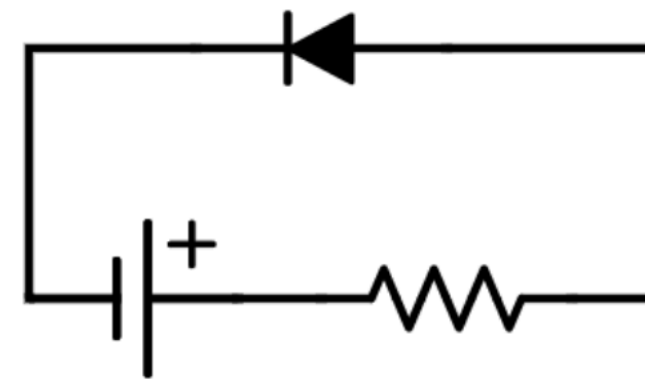
Juntura n-p polarizada en directa y/o en inversa



Polarización directa



Polarización inversa



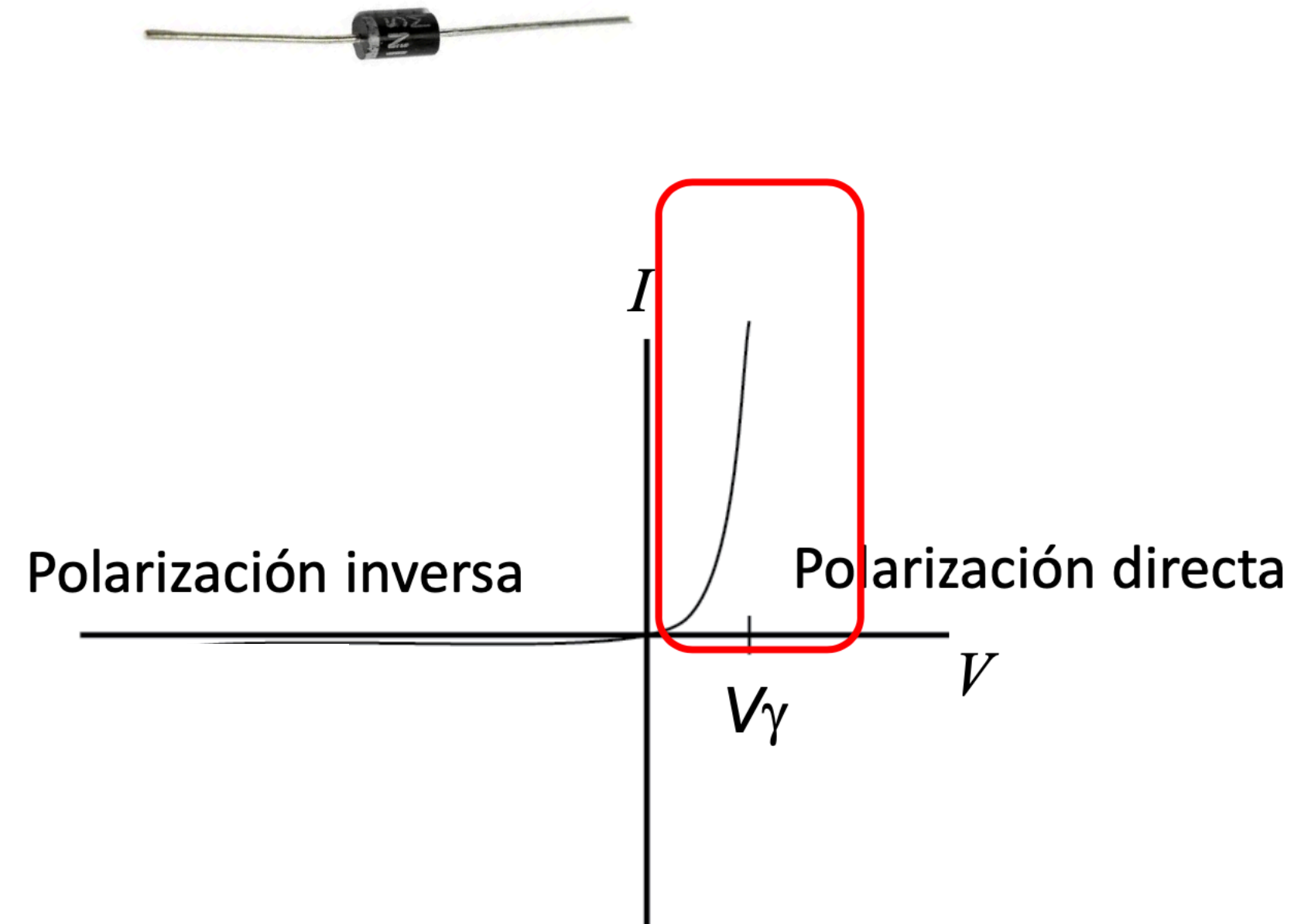
V_γ **tensión umbral o de codo**

Tensión a partir de la cual la corriente empieza a incrementarse rápidamente.

Diodo de silicio $V_\gamma \sim 0.7 \text{ V}$

Ecuación del diodo

Modelo de Shockley



$$I = I_0 * (e^{V/\eta V_T} - 1)$$

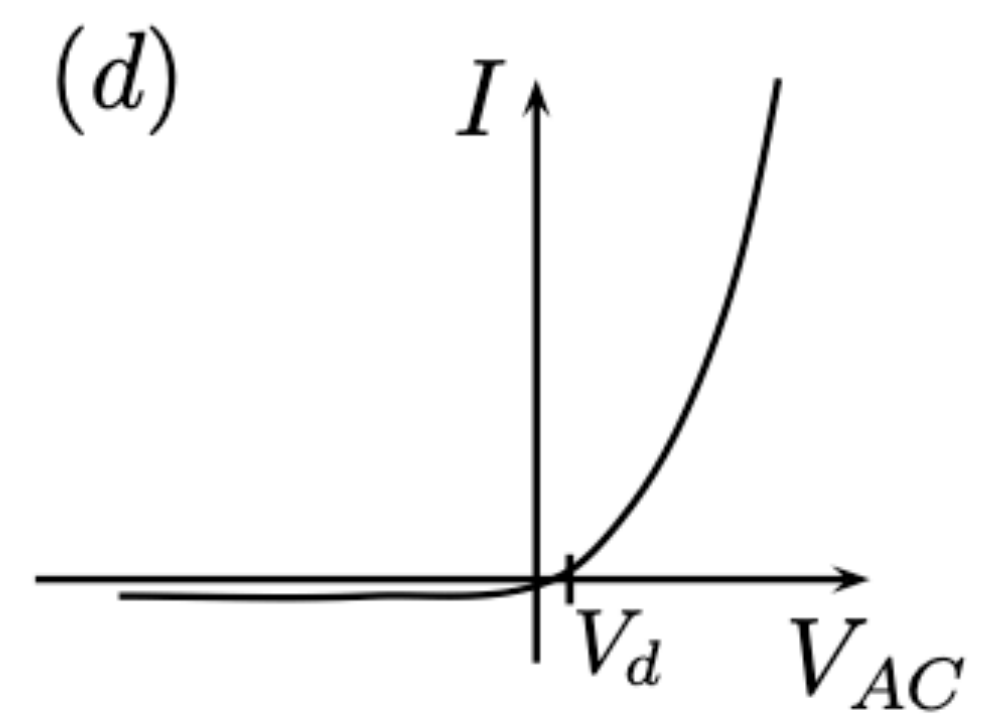
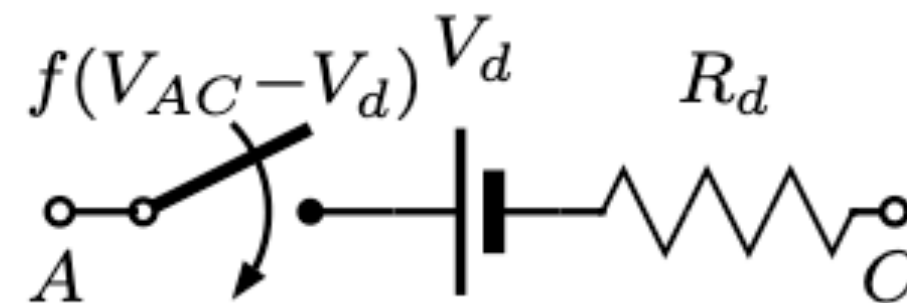
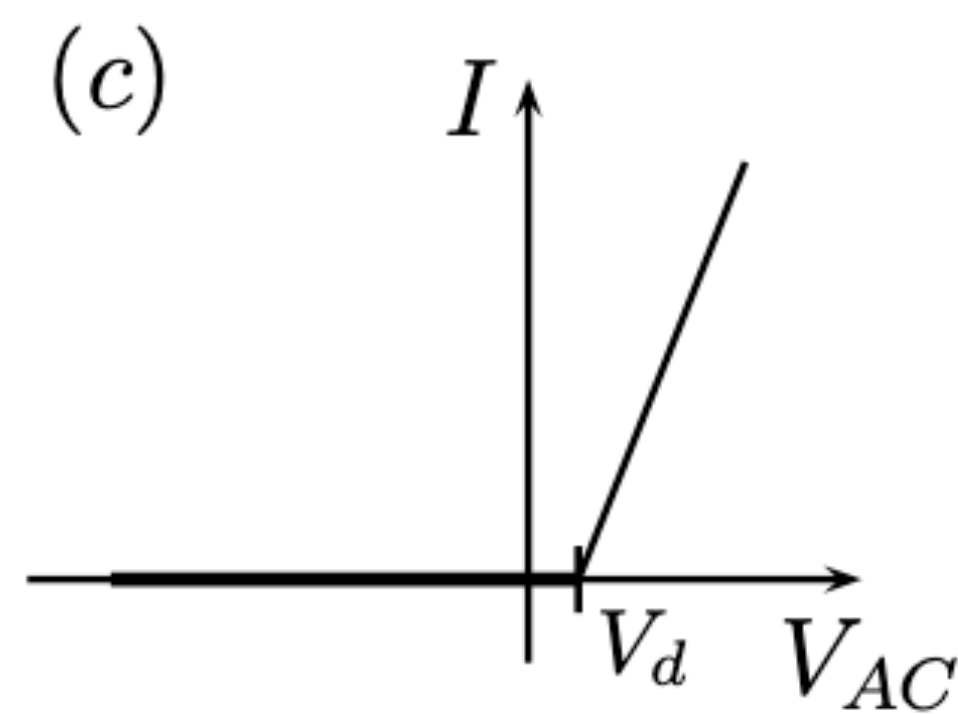
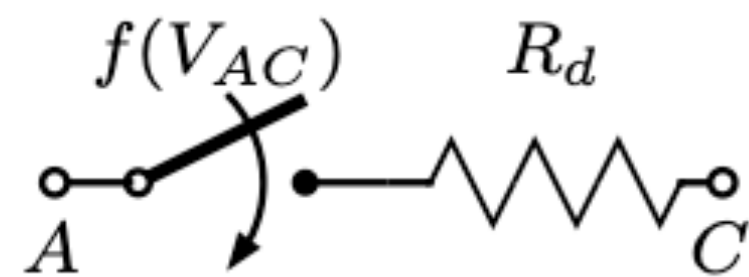
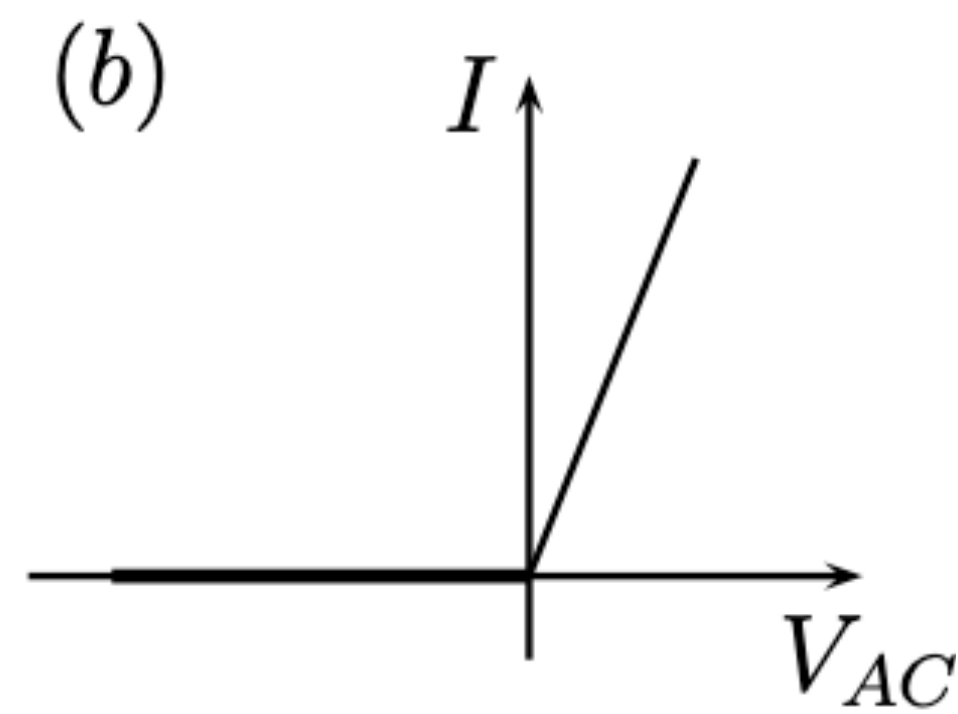
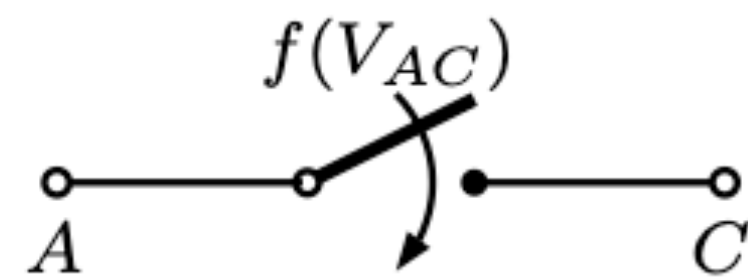
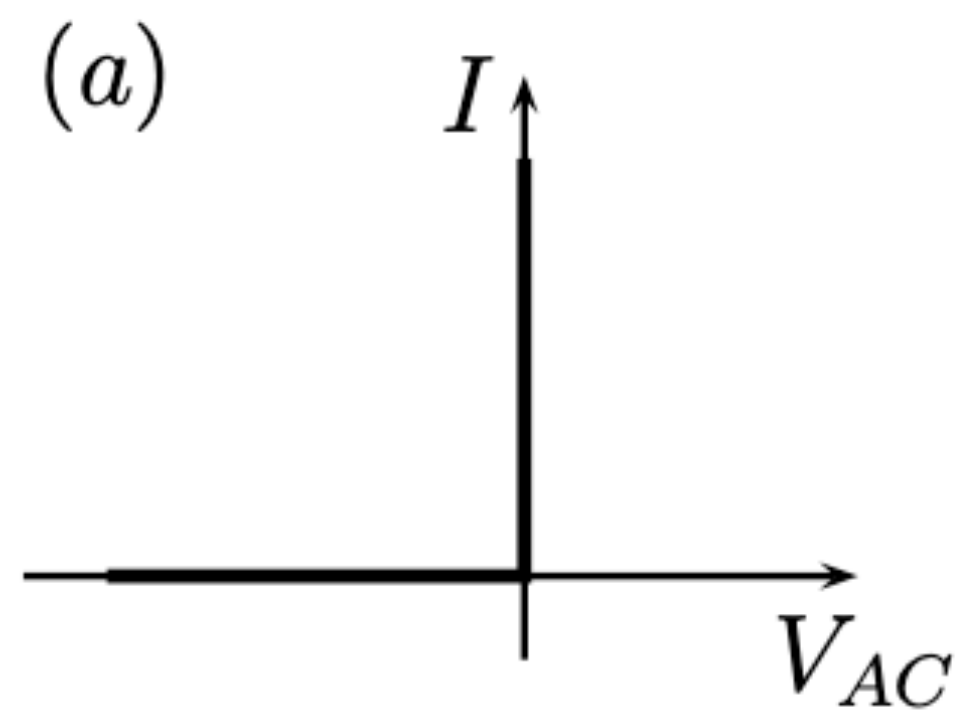
Ecuación del diodo de Shockley

$I_0 \sim 10^{-12}$ A
Corriente de saturación

$V_T \sim 25$ mV
Tensión térmica $\propto T$

$\eta = 1$ (Ge) o 2 (Si)
Coeficiente dependiente
del material

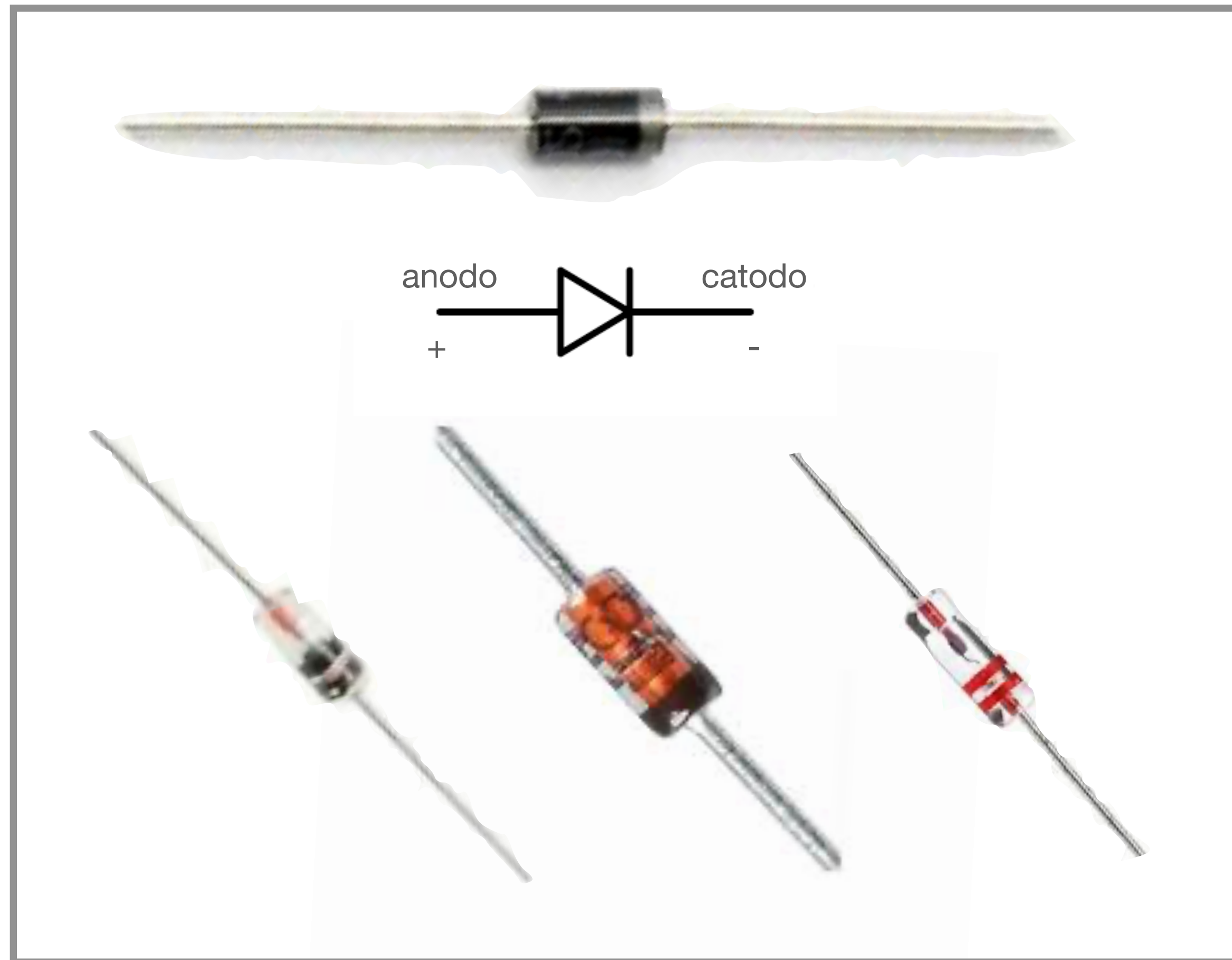
Diodos: modelos lineales por partes



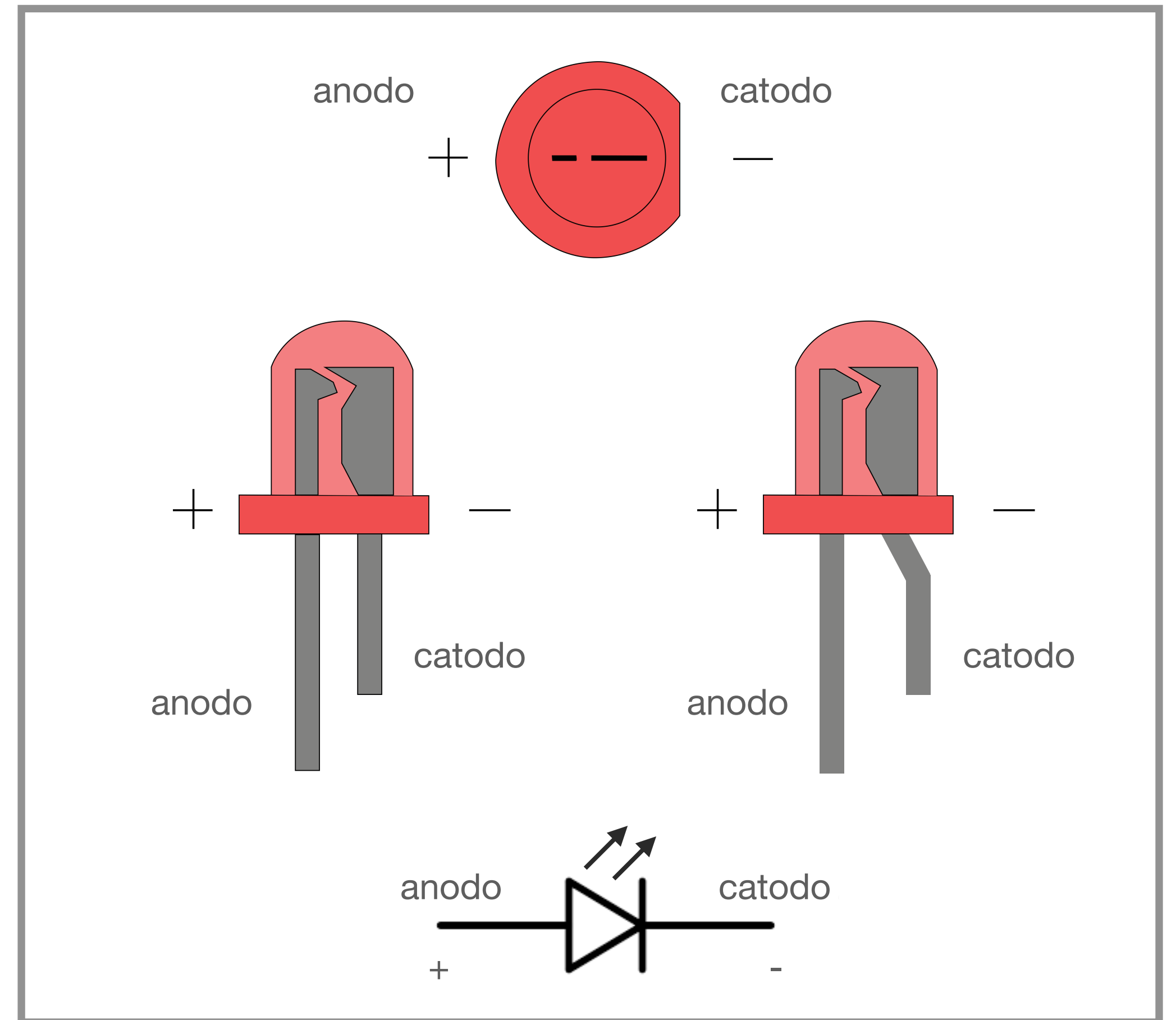
$$I \approx I_0(e^{V_d/V_T} - 1)$$

Como distinguir ánodo de cátodo?

usando 'señas particulares'

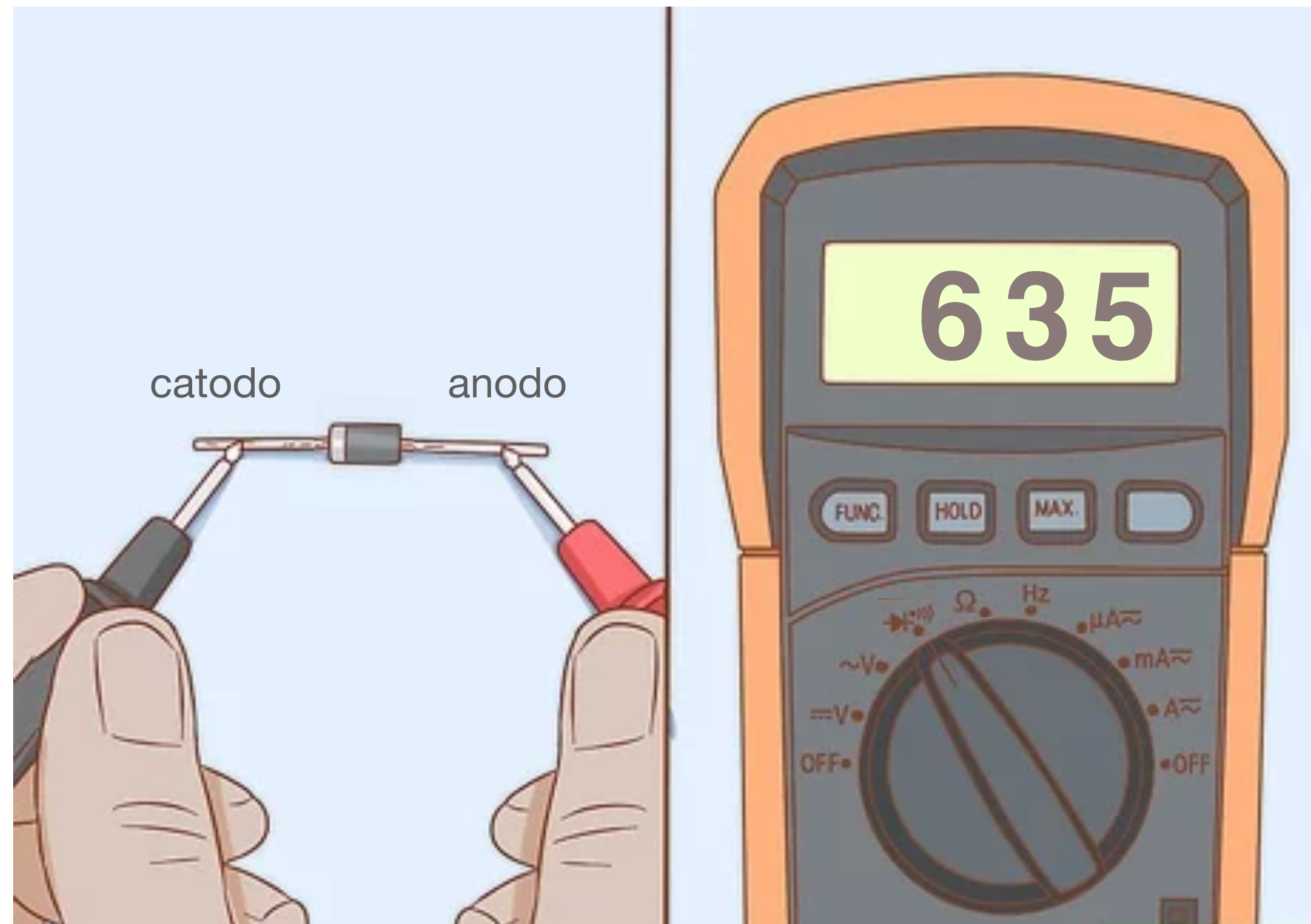


DIODOS COMUNES (Ge, Si, etc)



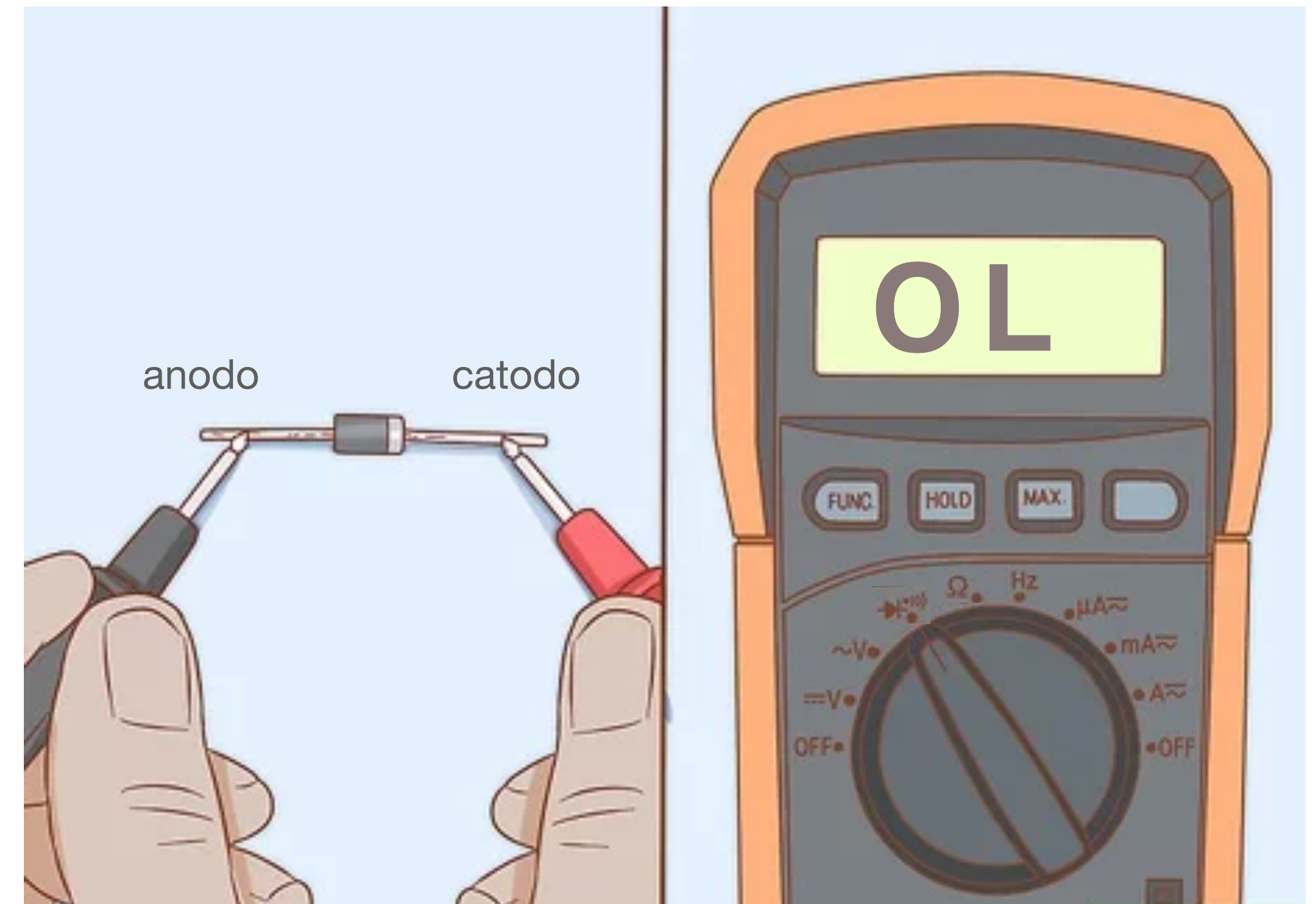
DIODOS EMISORES DE LUZ (LEDs)

Como distinguir anodo de catodo? usando un multimetro



diodo conectado (fortuitamente) en polarizacion directa

el multimetro devuelve la tension umbral
o de caida del diodo (en mV)



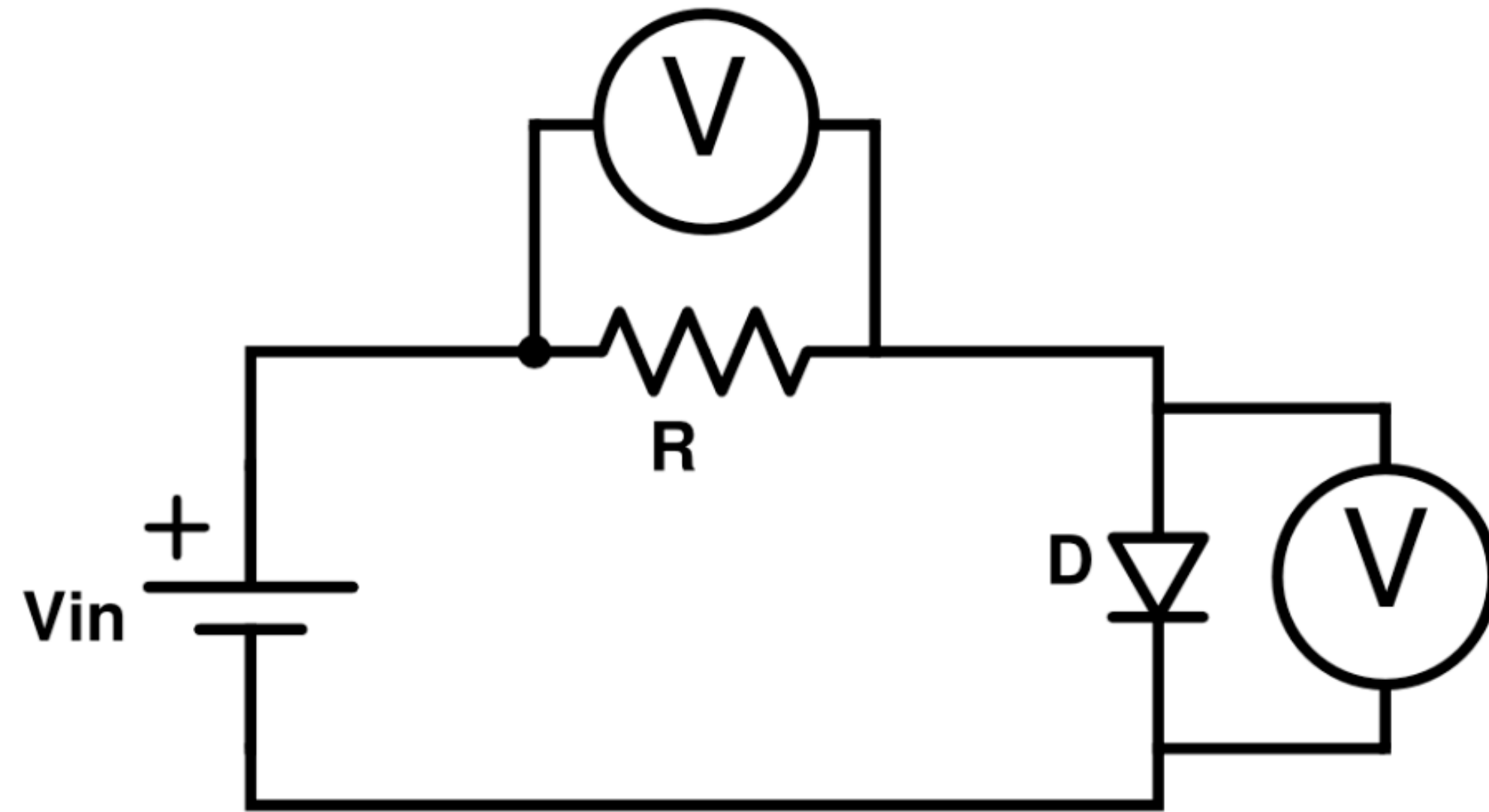
diodo conectado (fortuitamente) en polarizacion inversa

el multimetro devuelve 'fuera de escala'

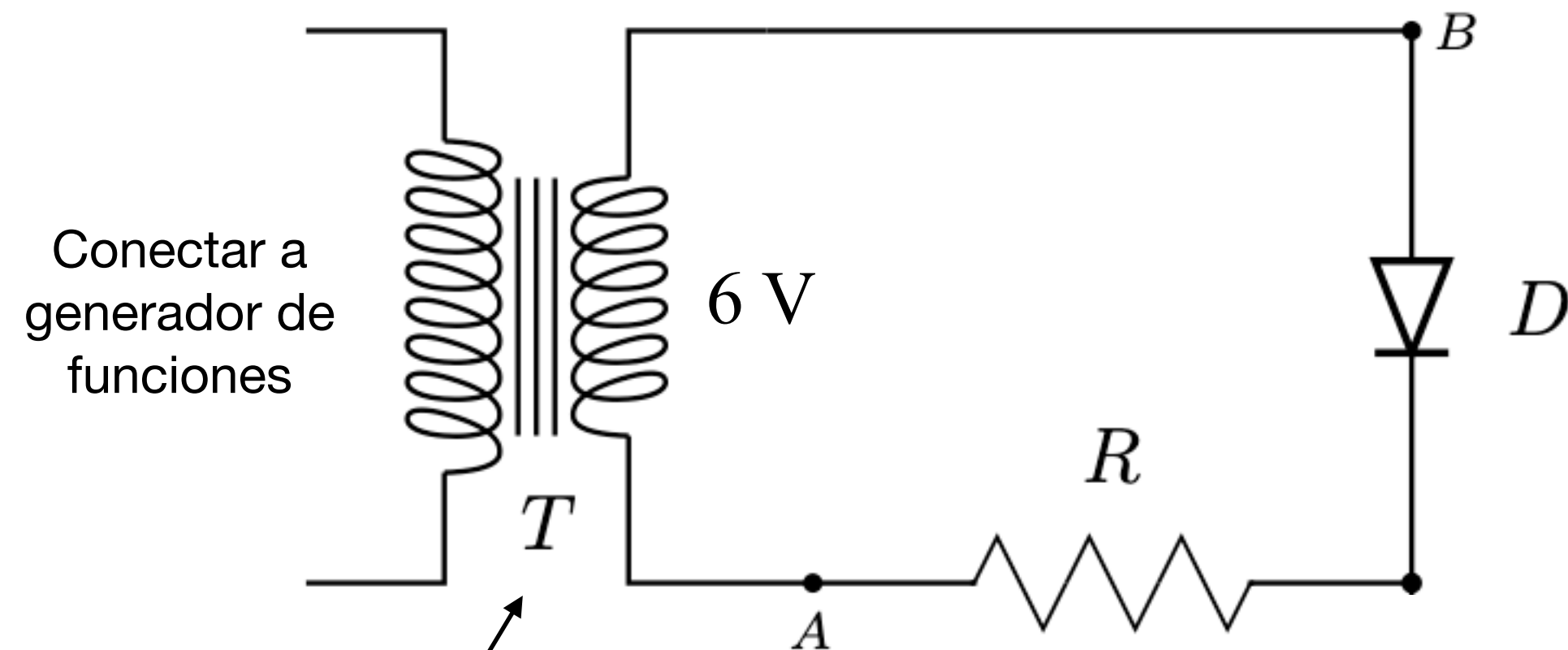
Objetivos para hoy

Curva I-V de un diodo

metodo simple usando corriente continua



Curva I-V de un diodo usando corriente alterna



Conectar a
generador de
funciones

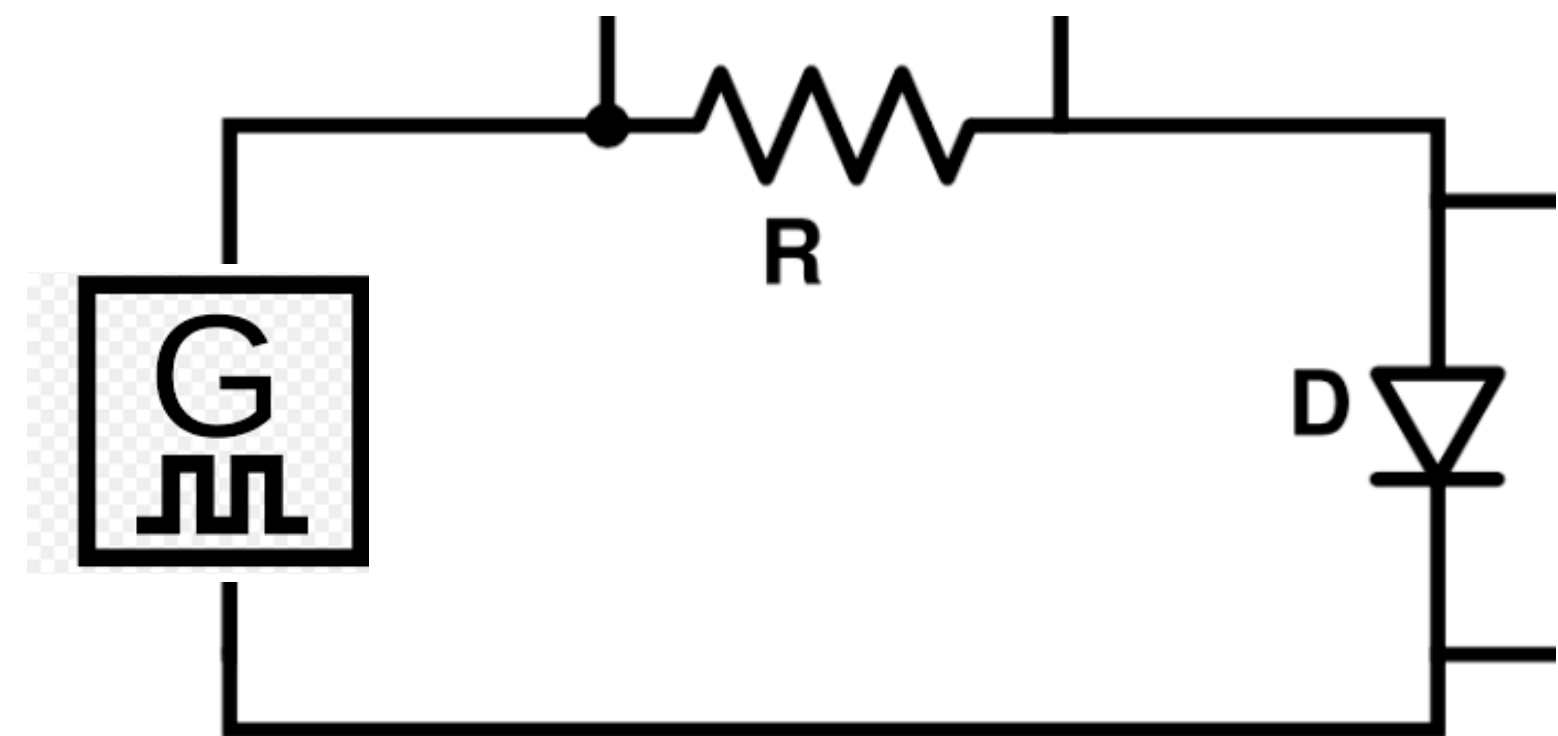


transformador
para protoboard

- Armar el circuito de la figura*
- Usar el osciloscopio para medir la corriente por el circuito y la tensión sobre el diodo.
- Sugerencia: puede ser útil aprovechar la capacidad de graficar en el osciloscopio en X-Y.
- ***Cuidado!** Calcule la resistencia para trabajar sin quemar el equipamiento.

Velocidad de conmutación

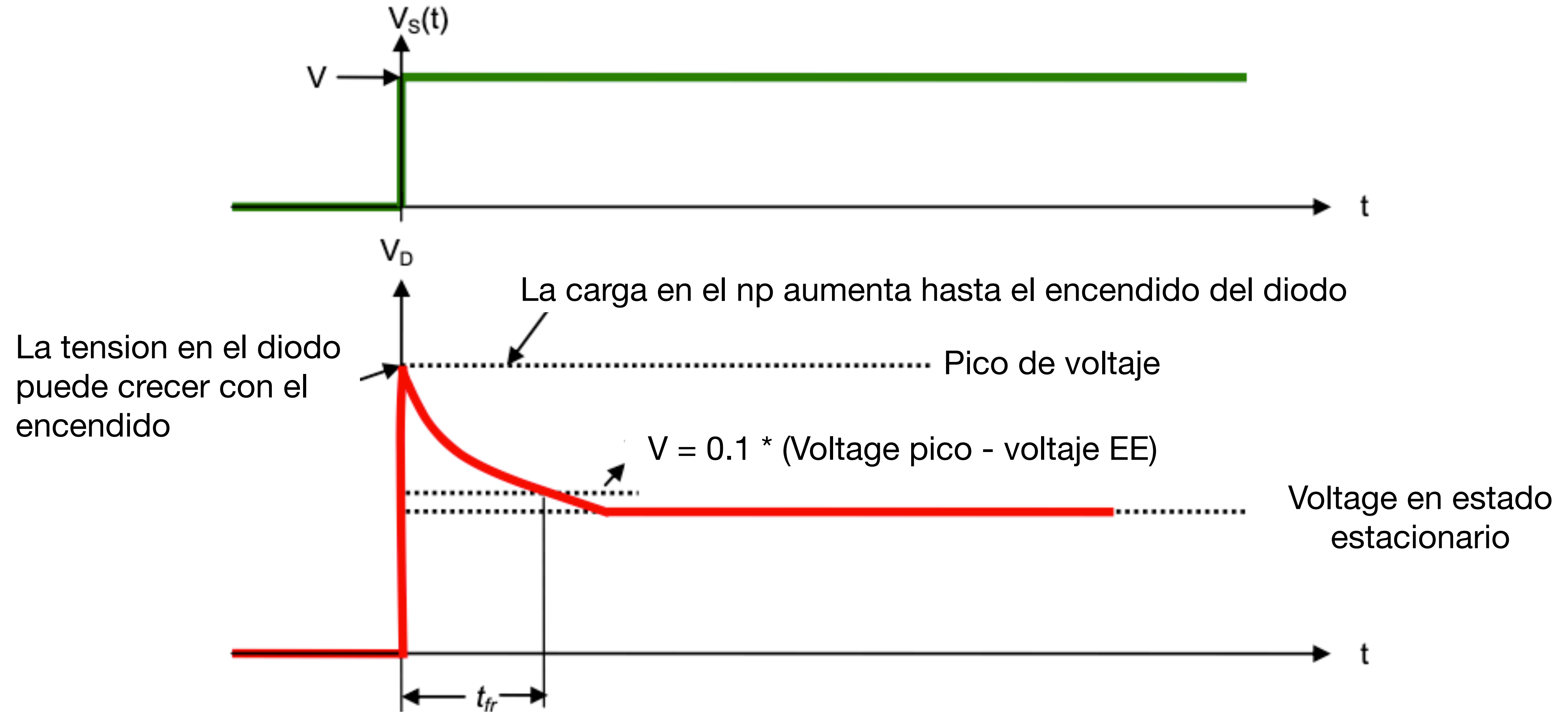
(respuesta temporal de un diodo)



- Armar el circuito de la figura
- Estudiar la variación de la caída de tensión sobre la carga cuando se varía:
 - la tensión de la fuente
 - la resistencia de carga
- Comparar con lo que se obtendría de no incluir el Zener.

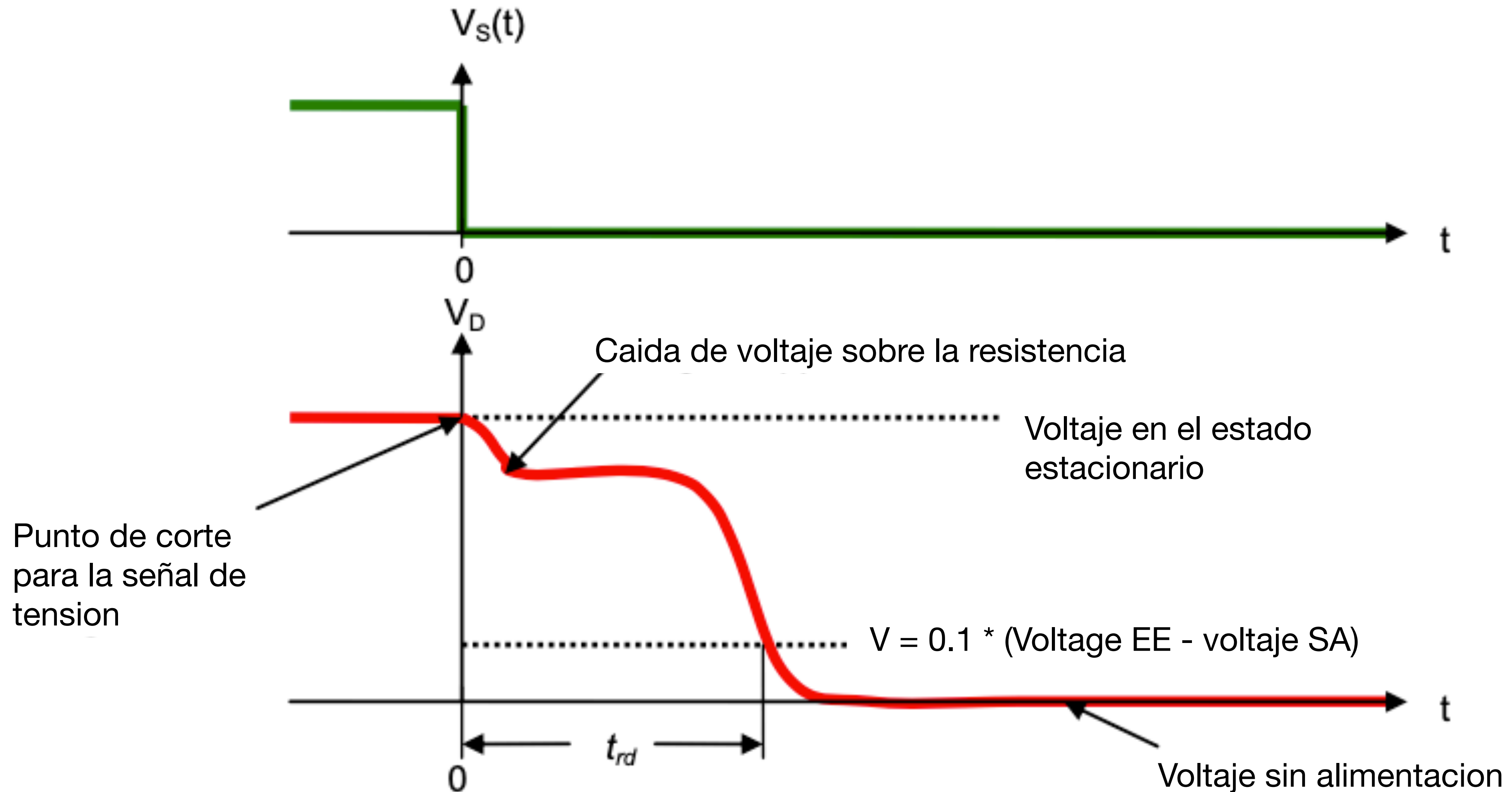
Velocidad de conmutacion

flanco ascendente



Velocidad de conmutacion

flanco descendente



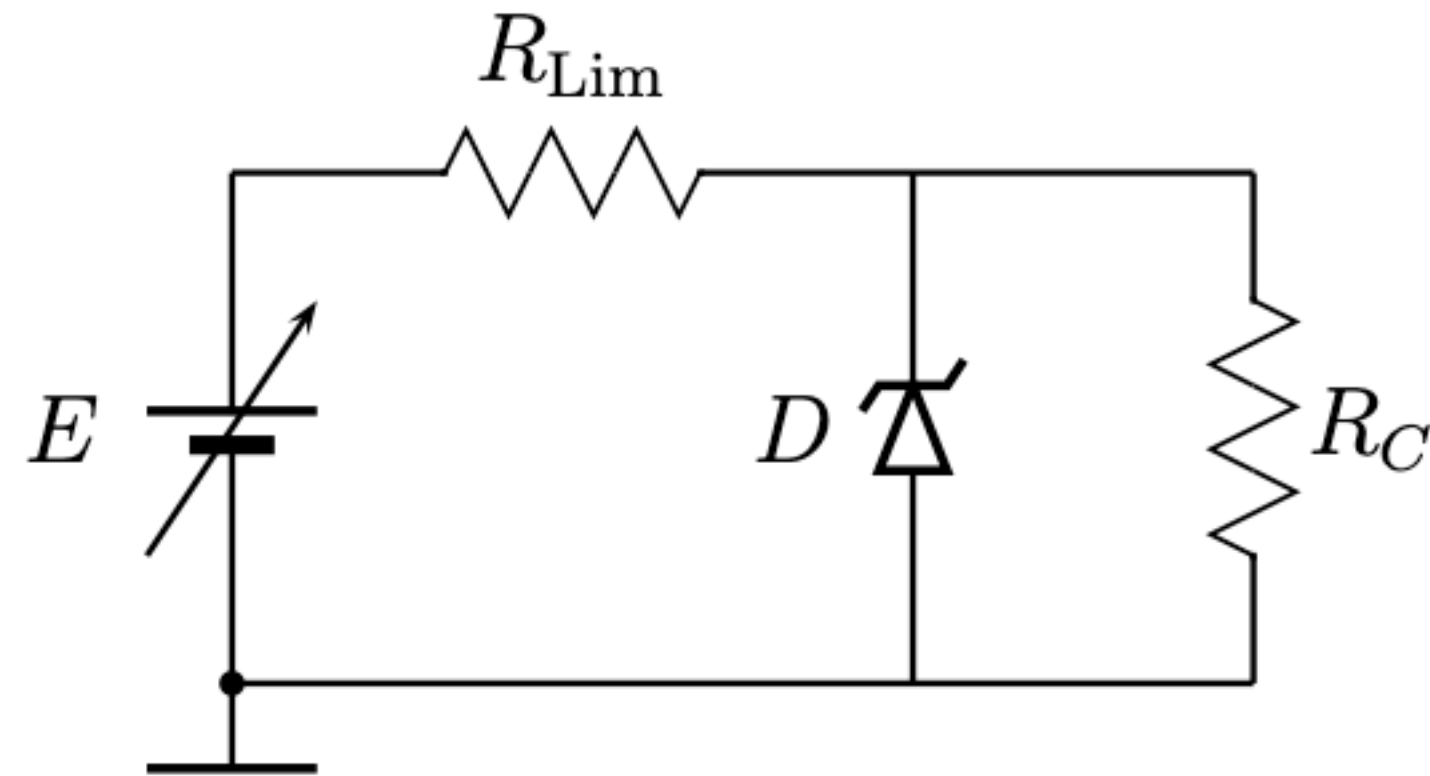
Resumen de objetivos para hoy

Experimentos con elementos no lineales

- Medir curva I-V de una lampara incandescente (usando AC y/o DC)
 - Medir las curvas I-V de los siguientes diodos:
 - 1N4007 (lento)
 - 1N4148 (rapido)
 - Zener
 - LED
- asegurarse de trabajar en AC y DC*
- Estudiar la velocidad de conmutacion de dos diodos (lento/rapido)
 - OPCIONAL: estudiar el regulador de tension basado en un diodo zener (aplicacion #3)

Regulador de tension con Zener

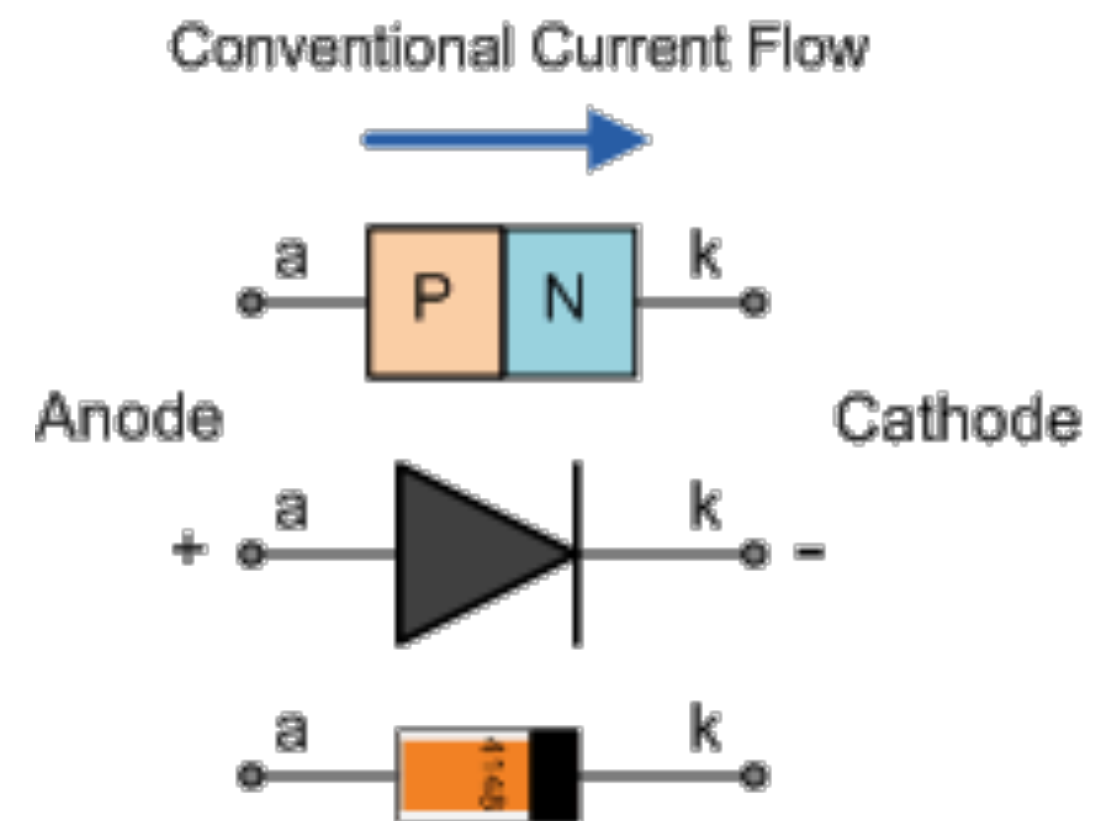
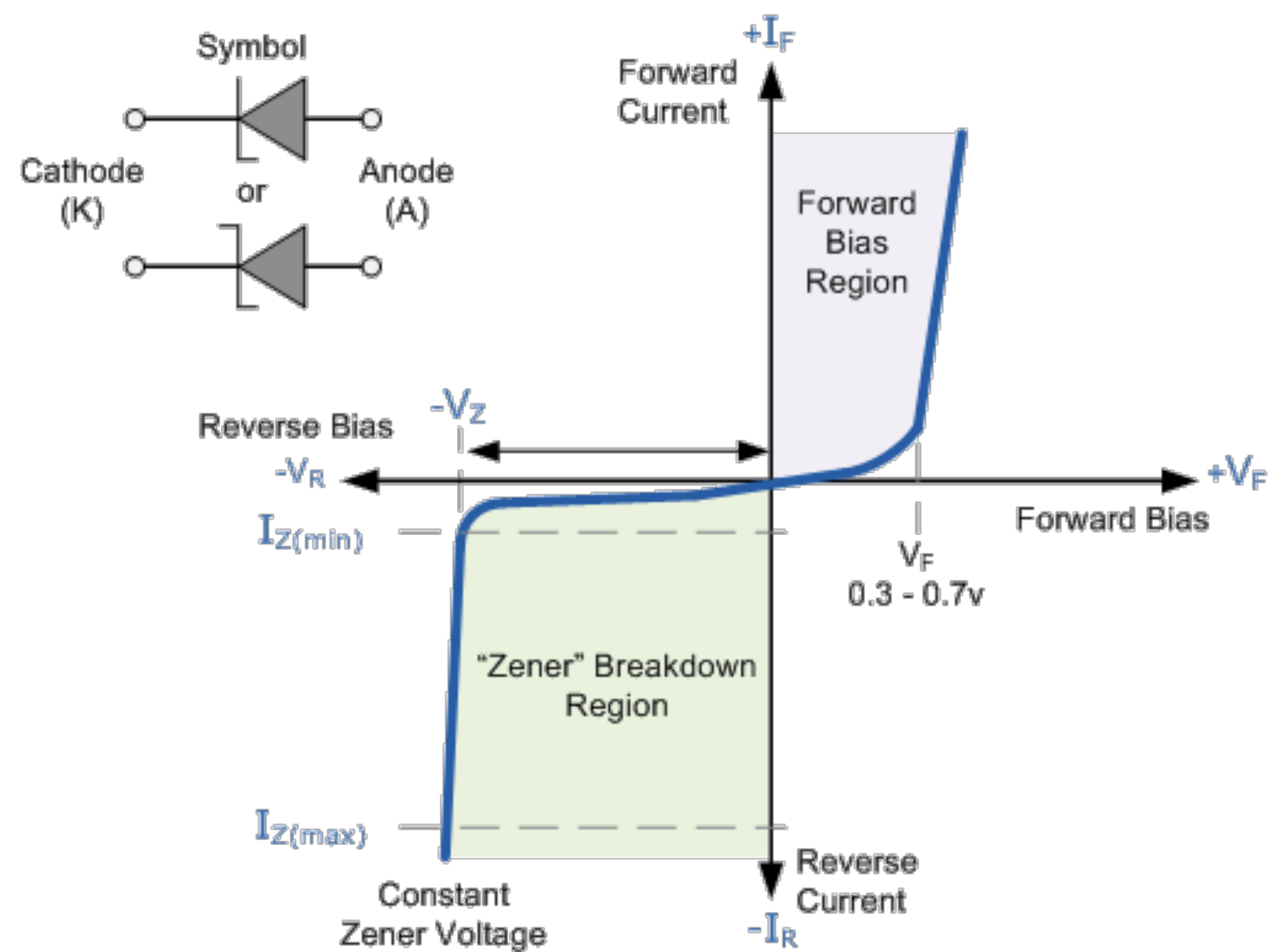
como aplicacion



- Armar el circuito de la figura
- Estudiar la variacion de la caida de tension sobre la carga cuando se varia:
 - la tension de la fuente
 - la resistencia de carga
- Comparar con lo que se obtendria de no incluir el Zener.

Curvas de diodos

Especificaciones de manuales y hojas de datos



Silicon Diode and its V-I Characteristics

