

ELECTRICIDADE E ELECTRÓNICA



TECNOLOXÍA E ENXEÑERÍA I



Tema 4: Electrónica analóxica

TEMA 3: ELECTRÓNICA ANALÓGICA.....	4
1. Introducción.....	4
1.1. Definición de electrónica.....	4
1.2. Diferenza entre electricidade e electrónica.....	4
1.3. Compoñentes pasivos e compoñentes activos.....	4
2. Compoñentes pasivos: o resistor.....	5
2.1. Definición.....	5
2.2. Resistencias fixas.....	5
2.2.1. Valor das resistencias fixas.....	6
2.2.2. Clasificación das resistencias fixas.....	8
2.3. Resistencias variables.....	8
2.4. Resistencias dependentes.....	9
2.5. Asociación de resistencias.....	9
2.5.1. Serie.....	9
2.5.2. Paralelo.....	10
3. Compoñentes pasivos: o condensador.....	11
3.1. Definición.....	11
3.2. Descrición física.....	11
3.3. Capacitancia ou capacidade.....	12
3.4. Funcionamento do condensador.....	12
3.5. Carga e descarga do condensador.....	13
3.5.1. Carga.....	13
3.5.2. Descarga.....	14
3.5.3. Constante de tempo.....	16
3.6. Tipos de condensadores.....	16
3.7. Asociación de condensadores.....	17
3.7.1. Serie.....	17
3.7.2. Paralelo.....	18
4. Compoñentes pasivos: a bobina.....	19
4.1. Definición.....	19
4.2. Descrición física.....	19
4.3. Simbología e características.....	19
4.4. Utilidades.....	19
4.5. Asociación de bobinas.....	20
4.5.1. Serie.....	20
4.5.2. Paralelo.....	20
5. Semicondutores.....	22
5.1. Tipos de materiais segundo a condución eléctrica.....	22
5.2. Bandas de enerxía.....	22
5.3. Semicondutores intrínsecos.....	23
5.4. Semicondutores extrínsecos.....	24
6. Compoñentes activos: o diodo.....	27
6.1. Definición e características.....	27
6.2. Polarización do diodo.....	27

6.2.1. Polarización directa.....	27
6.2.2. Polarización inversa.....	27
6.3. Tipos de diodos.....	28
6.4. Funcionamento dos diodos reais.....	29
6.4.1. Polarización.....	29
6.4.2. Curva característica.....	30
7. Componentes activos: o transistor.....	31
7.1. Definición.....	31
7.2. Descrición física.....	31
7.3. Funcionamento.....	32
7.4. O transistor como interruptor e amplificador.....	35
7.4.1. Interruptor.....	35
7.4.2. Amplificador.....	35
7.5. Curva característica do transistor.....	35
7.5.1. Curva característica de entrada.....	35
7.5.2. Curva característica de saída.....	36
7.5.3. Recta de carga.....	37
7.5.4. Punto de traballo.....	38
8. Atribución da propiedade intelectual.....	39
8.1. Textos.....	39
8.2. Imaxes, figuras e fotografías.....	39

TEMA 3: ELECTRÓNICA ANALÓXICA

1. Introducción

1.1. Definición de electrónica

A electrónica é a parte da ciencia que se encarga do estudo e control do movemento dos electróns a través de diversos medios, como condutores e semicondutores.

1.2. Diferenza entre electricidade e electrónica

A electricidade é unha forma de enerxía.

A electrónica é unha rama da física. Empregando a electrónica, obtense ou transfórmase información a través de dispositivos que son capaces de aproveitar o fluxo de corrente eléctrica.

1.3. Compoñentes pasivos e compoñentes activos

Os compoñentes pasivos son aqueles que deixan pasar os sinais sen actuar sobre eles: **resistores, condensadores e bobinas**.

Os compoñentes activos son aqueles que permiten controlar os sinais: amplificalos, regulalos ou conmutalos, como **diodos e transistores**.



Figura 1: esquema. Imaxes de [Sinisa Maric](#).

2. Compoñentes pasivos: o resistor

2.1. Definición

É común chamarlle resistencia, pero hai que ter en conta que a resistencia é a propiedade física que se define como a oposición ao paso da corrente eléctrica e que se mide en **ohmios** (Ω). Sería máis correcto referirse ao compoñente como **resistor**.

Un resistor é un compoñente electrónico pasivo de dous terminais sen polaridade que se opón ao paso da corrente eléctrica, o que produce unha caída de tensión entre os seus terminais cando o atravesa dita corrente eléctrica.

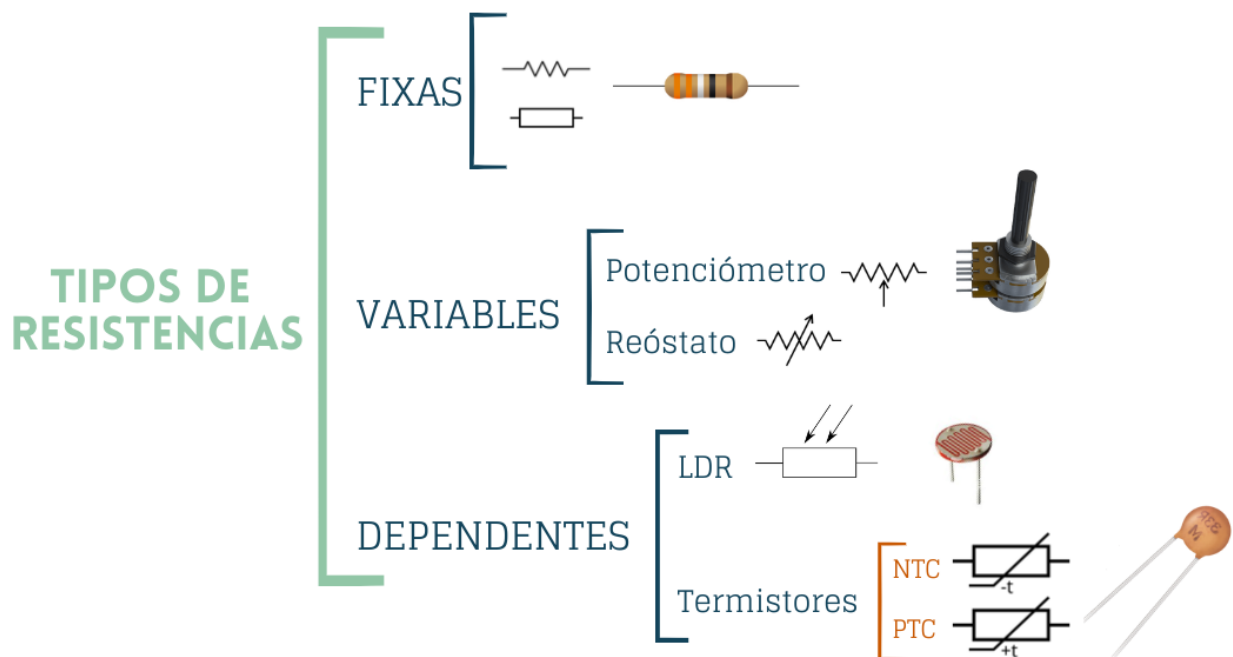


Figura 2: esquema. Imaxes de [Sinisa Maric](#).

2.2. Resistencias fixas

Teñen un valor constante e que se identifica mediante o seu código de cores.

Pódense representar con dous símbolos segundo a normativa: o europeo e o americano:



Podemos dicir que as resistencias fixas teñen dous valores:

- **Valor nominal:** é o valor teórico da resistencia, que se calcula mediante un **código de cores**.
- **Valor real:** é o que nos indica un instrumento de medida como un **multímetro** ou un **óhmetro**.

Imaxen de
Sinisa Maric en
Pixabay

VALOR DUNHA RESISTENCIA



NOMINAL

Valor teórico

Calculado co código de cores

REAL

Valor real

Medido cun instrumento de medida

Valor mínimo < Valor real < Valor máximo

$$R = \text{Valor nominal} \pm \text{Tolerancia}$$

Figura 3: esquema. Imaxe de [Sinisa Maric](#).

2.2.1. Valor das resistencias fixas

Valor nominal

O valor nominal dunha resistencia é o valor teórico.

Cando se fabrica unha resistencia deséñase para que teña ese valor nominal. Non obstante, e debido ao proceso de fabricación e aos materiais cos que está fabricada, **o valor real da resistencia variará entre un valor mínimo e un valor máximo.**

Esta variación vén determinada pola **tolerancia** da resistencia, que se expresa en forma de porcentaxe.

O valor dunha resistencia exprésase da seguinte maneira: **$R = \text{Valor nominal} \pm \text{tolerancia}$**

Por exemplo, se temos unha resistencia co seguinte valor $R = 50 \, \Omega \pm 5\%$

- **Valor nominal da resistencia:** $50 \, \Omega$.
- **Tolerancia da resistencia:** 5%
 - **Valor máximo da resistencia:** $50 + 50 \cdot 0.05 = 50 + 2.5 = 52.5 \, \Omega$
 - **Valor mínimo da resistencia:** $50 - 50 \cdot 0.05 = 50 - 2.5 = 47.5 \, \Omega$

O valor máximo da resistencia calcúlase sumando ao valor nominal o 5% do valor nominal e o valor mínimo calcúlase restando ao valor nominal o 5% do valor nominal.

Polo tanto, o valor real da resistencia terá que estar comprendido entre $47.5 \, \Omega$ e $52.5 \, \Omega$.

Código de cores

Para coñecer o valor nominal da resistencia, temos que empregar o código de cores.

No corpo da resistencia atopamos varias franxas de cores, xeralmente catro. Estas cores son as que indican o valor nominal e a tolerancia da resistencia.

Vexamos como saber o valor dunha resistencia mediante este código de cores:

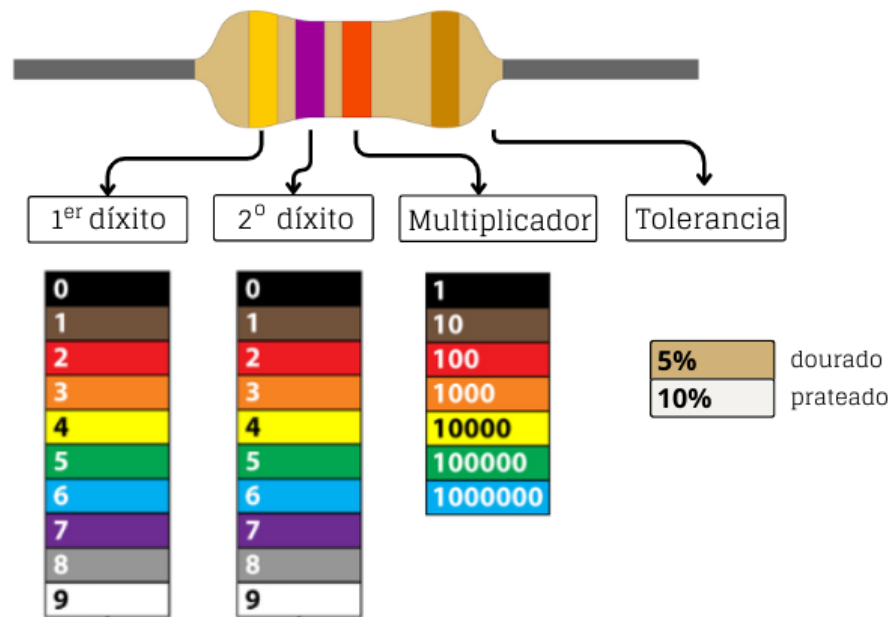


Figura 4: Código de cores.

1. **Colocamos a banda da tolerancia á dereita.** Soe ser de cor dorada ou prateada e está máis separada que as outras tres liñas.
2. Comezamos a ler as bandas de esquerda a dereita.
3. **1^a banda:** constitúe o primeiro dígito do valor nominal da resistencia. No caso do exemplo a banda é de cor amarelo, polo tanto o primeiro dígito será un **4**.
4. **2^a banda:** constitúe o segundo dígito do valor nominal da resistencia. No caso do exemplo, a banda é de cor violeta, polo tanto o segundo dígito será un **7**.
5. **3^a banda:** indica o multiplicador, é dicir o número de ceros que temos que engadir aos dous díxitos anteriores. No caso do exemplo o multiplicador é de cor vermello, polo tanto temos que multiplicar por 100 ou o que é o mesmo, engadir **dous ceros**.
6. **4^a banda:** indica a tolerancia. No caso do exemplo a banda é de cor dourado, polo que a tolerancia será do **5%**.
7. Polo tanto: **$R = 4700 \, \Omega \pm 5\%$**

Valor real

O valor real dunha resistencia fixa é aquel que obtemos medindo cun multímetro ou óhmetro.

Este valor ten que estar comprendido entre o valor mínimo e o valor máximo da resistencia.

Se seguimos co exemplo anterior, no que **$R = 4700 \, \Omega \pm 5\%$** , temos que:

$$4465 \, \Omega < \text{Valor real} < 4935 \, \Omega$$

2.2.2. Clasificación das resistencias fixas

Vexamos algúns tipos de resistencias fixas dependendo da súa fabricación

- **Resistores de película de carbono:**

- Moi empregadas na electrónica.
- Sobre un soporte con forma de tubo de material cerámico depositase unha película de carbono.
- Son baratas e eficientes.
- Son menos precisas que outras e teñen un límite de potencia máis baixo.



Figura 5: sección de resistor de película de carbono.
Imaxe de [TubeTimeUS](#)

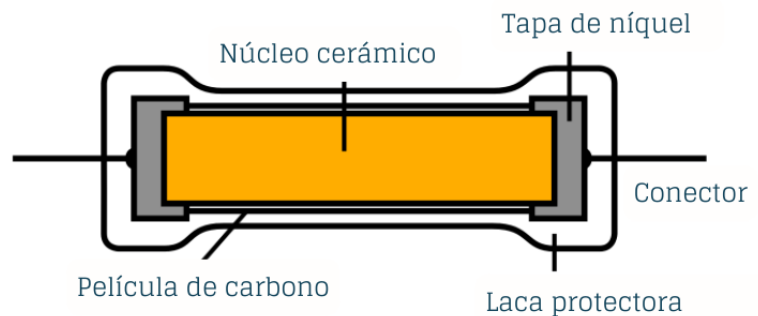


Figura 6: esquema de resistor de película de carbono.
Imaxe de [jibeard](#)

- **Resistores de película metálica:**

- Empregadas sobre todo cando se necesita precisión e estabilidade.
- Fábranse como as de capa de carbono pero depositando unha capa de metal, como o níquel-cromo (NiCr), sobre un substrato cerámico.
- Presentan alta precisión e estabilidade e son lixeiras e compactas.

- **Resistores bobinados:**

- Foron un dos primeiros tipos que se fabricaron, e aínda se utilizan cando se precisan potencias de disipación altas.
- Están formados por un fío condutor enrolado en forma de hélice ou espiral (como unha rosca de parafuso) sobre un substrato cerámico.
- Canto máis longo e con máis sección é o arame, máis potencia disipan.

- **Resistores de carbono prensado:**

- Tamén foron das primeiras en fabricarse.
- Están formados maiormente por grafito en po, que se presiona ata formar un tubo.

2.3. Resistencias variables

Permiten axustar manualmente o seu valor óhmico mediante un control e, a diferenza dos fixos, teñen 3 bornes.

Existen dous tipos:

- **Potenciómetros:**

- Conéctanse en paralelo.
- Utilízanse como divisores de voltaxe.



Figura 7: potenciómetro. Imaxe de [lainf](#)

- **Reostatos:**

- Conéctanse en serie.
- Empréganse como divisores de corrente.

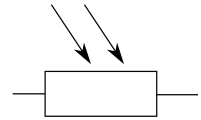


2.4. Resistencias dependentes

O valor óhmico destas resistencias depende de variables externas:

- **LDR (Light Dependent Resistance)**

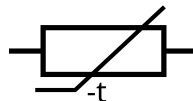
Son resistencias cuxo valor óhmico depende da luz que incide sobre elas. A resistencia que ofrecen ao paso da corrente **diminúe cando a luz incide** sobre elas e aumenta cando non reciben luz.



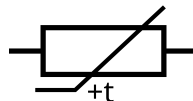
- **Termistores: NTC e PTC**

Son resistencias dependentes da temperatura. Hai dous tipos:

- **NTC:** Cando a temperatura aumenta, a resistencia diminúe.



- **PTC:** Cando a temperatura aumenta, a resistencia aumenta.



2.5. Asociación de resistencias

As resistencias poden asociarse nos circuitos en montaxes en serie, paralelo ou mixtas. Podes repasar o tema 1 do curso onde se explica a asociación de resistencias máis amplamente.

Os valores da resistencia equivalente, voltaxe equivalente e intensidade equivalente calcúlanse do seguinte xeito:

2.5.1. Serie

Nunha asociación en serie de resistencias como a que se amosa na figura, os valores na resistencia equivalente son os seguintes:

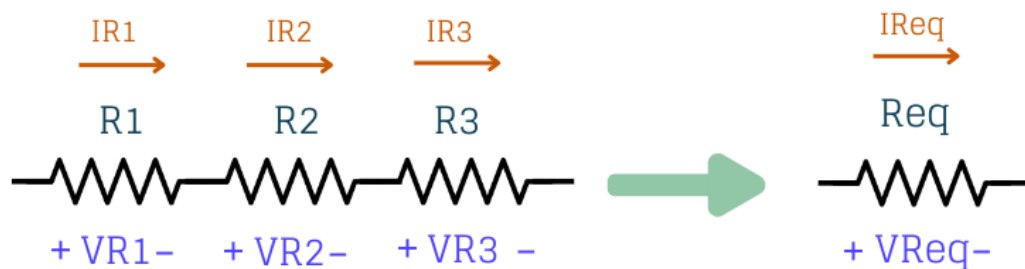


Figura 8: asociación serie de resistencias.

- **Resistencia equivalente, R_{eq}**

Calcúlase coa seguinte fórmula: $R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3$

- **Tensión equivalente, V_{Req}**

A tensión na resistencia equivalente será igual á suma das tensións de cada resistencia:

$$V_{Req} = V_{R1} + V_{R2} + V_{R3}$$

- **Intensidade equivalente, I_{Req}**

A intensidade será a mesma en todas as resistencias, é dicir:

$$I_{Req} = I_{R1} = I_{R2} = I_{R3}$$

2.5.2. Paralelo

Nunha asociación en paralelo de resistencias como a que se amosa na figura, os valores na resistencia equivalente son os seguintes:

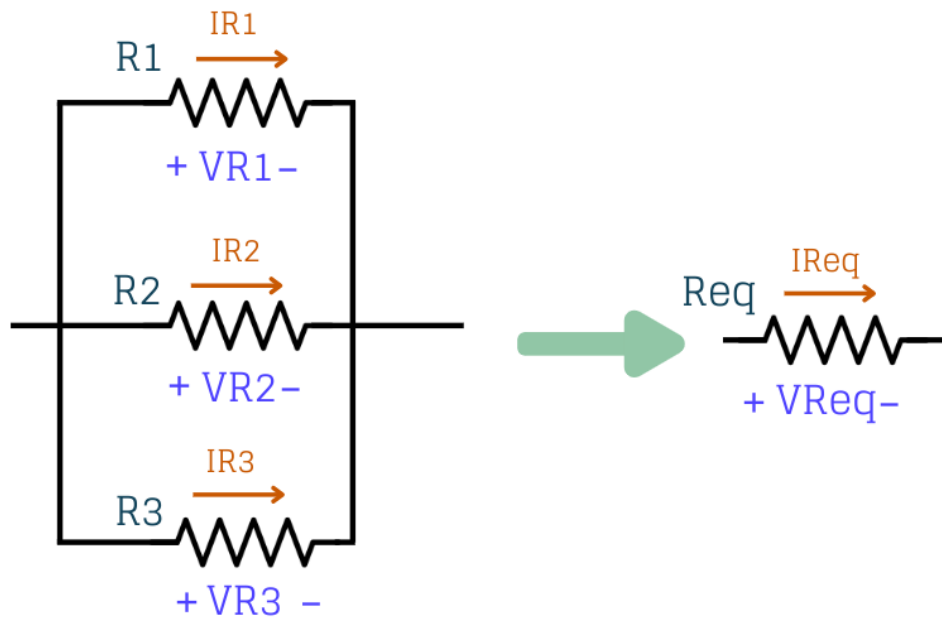


Figura 9: asociación paralelo de resistencias.

- **Resistencia equivalente, R_{eq}**

Calcúlase coa seguinte fórmula:

$$R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

- **Tensión equivalente, V_{Req}**

A tensión na resistencia equivalente será igual ás tensións en cada resistencia, é dicir:

$$V_{Req} = V_{R1} = V_{R2} = V_{R3}$$

- **Intensidade equivalente, I_{Req}**

A intensidade equivalente será igual á suma das intensidade de cada resistencia:

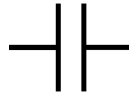
$$I_{Req} = I_{R1} + I_{R2} + I_{R3}$$

3. Compoñentes pasivos: o condensador

3.1. Definición

É un compoñente electrónico pasivo de dous terminais capaz de almacenar carga.

Representase co seguinte símbolo:



3.2. Descrición física

O modelo teórico típico é o denominado **condensador de placas paralelas** e está formado por **dúas placas metálicas ou armaduras** separadas por un illante denominado **dieléctrico**.

O dieléctrico adoita ser cerámico, papel ou vidro e a súa función é facilitar o funcionamento do condensador aumentando a súa capacidade.

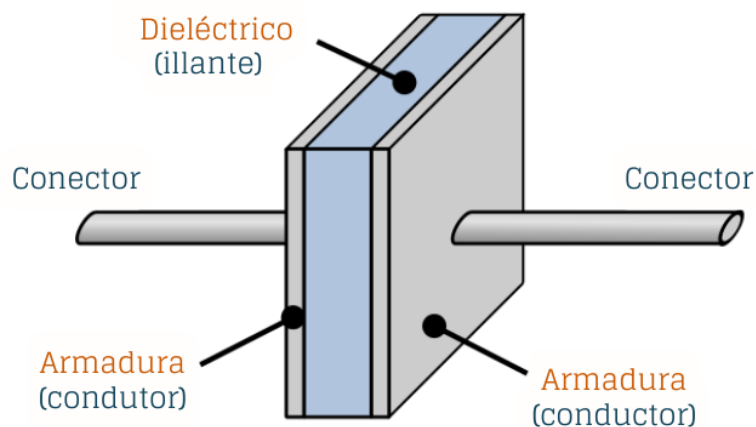


Figura 10 condensador de placas paralelas. Imaxe de [Cepheiden](#).

Non obstante, un condensador típico real está formado por follas metálicas enroladas, separadas por un dieléctrico envolto nunha funda de plástico. É por iso que **a maioría teñen forma cilíndrica**.

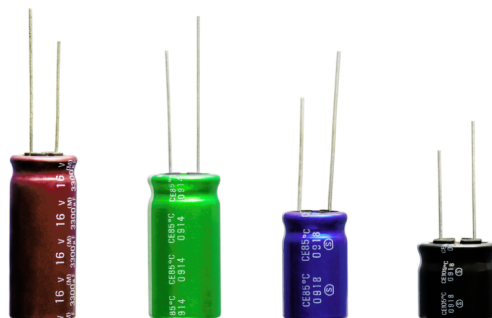


Figura 11: condensadores cilíndricos. Imaxe de [Canva](#).

3.3. Capacitancia ou capacidade

A **capacitancia ou capacidade dun condensador** é a **propiedade que ten de almacenar carga**.

Defínese a capacidade como a cantidade de carga eléctrica que é capaz de almacenar por unidade de tensión, e represéntase coa seguinte fórmula:

$$C = \frac{Q}{V}$$

Onde:

- C: capacidade medida en faradios [F].
- Q: carga eléctrica medida en culombios [C].
- V: voltaxe medida en voltios [V].

A unidade de medida da capacidade é o **faradio [F]**. Pero o faradio é unha unidade moi grande polo que o máis habitual é empregar submúltiplos como o microfaradio, o nanofaradio ou o picofaradio.

UNIDADE DE MEDIDA DA CAPACIDADE			
Nome	Abreviatura	10	Decimal
milifaradio	mF	10^{-3}	0,001
microfaradio	μ F	10^{-6}	0,000001
nanofaradio	nF	10^{-9}	0,000000001
picofaradio	pF	10^{-12}	0,000000000001

3.4. Funcionamento do condensador

As armaduras ou placas condutoras do condensador están feitas dun material metálico condutor. Se o condensador **non está conectado** a ningunha fonte de electricidade, as armaduras do condensador están en **equilibrio eléctrico**, é dicir, non teñen carga positiva nin negativa porque teñen o mesmo número de electróns que de protóns.

Agora ben, **se conectamos o condensador** a unha fonte eléctrica, os polos da batería xerarán unha corrente eléctrica e os electróns se moverán. Deste xeito, perderase o equilibrio eléctrico e cando o condensador estea completamente cargado, unha das armaduras estará **cargada positivamente e a outra negativamente**, como se amosa na seguinte imaxe:

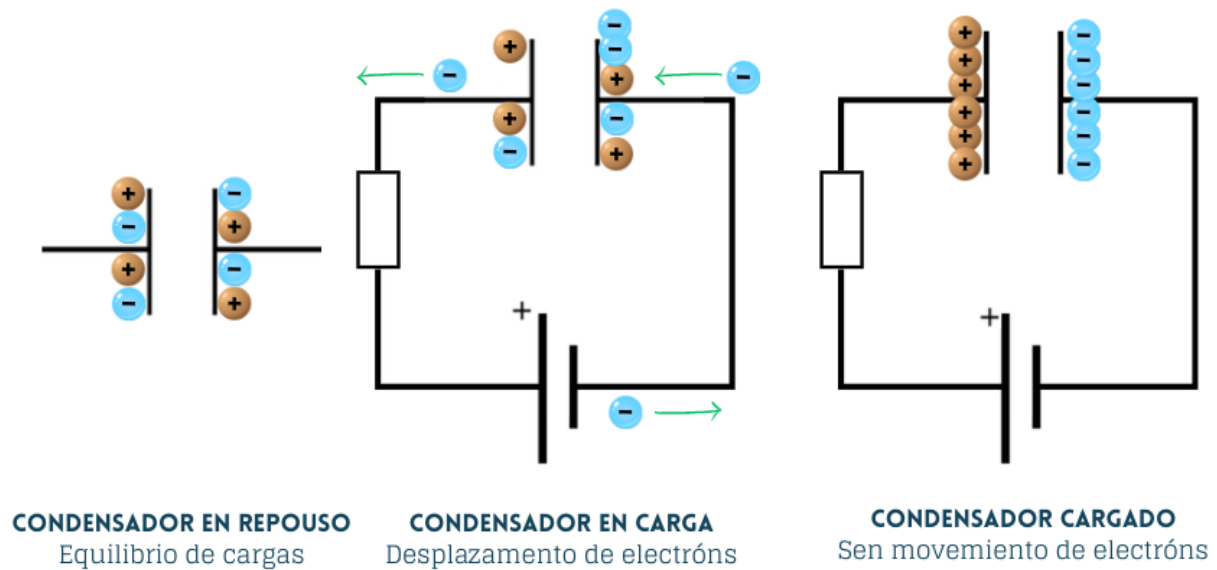
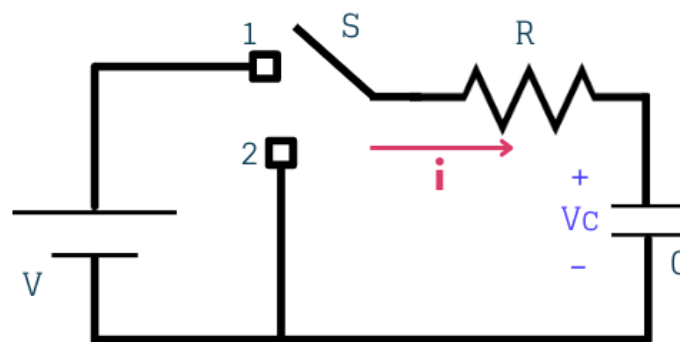


Figura 12: Proceso de carga do condensador

Unha vez que todas as cargas se movan e o condensador estea **completamente cargado**, xa non haberá máis movemento de electróns. Nese momento, e se non se desconecta o condensador da pila, **a corrente que circula polo circuíto é nula**.

3.5. Carga e descarga do condensador

Para explicar a carga e descarga do condensador utilizaremos o seguinte circuíto:



3.5.1. Carga

Cando o interruptor **S** está na **posición 1**, o circuíto estará formado por unha resistencia, o condensador e unha pila. **Nesta posición prodúcese a carga do condensador**.

O tempo de carga dependerá da capacidade do condensador e da resistencia e obedece á seguinte expresión:

$$t_c = 5RC$$

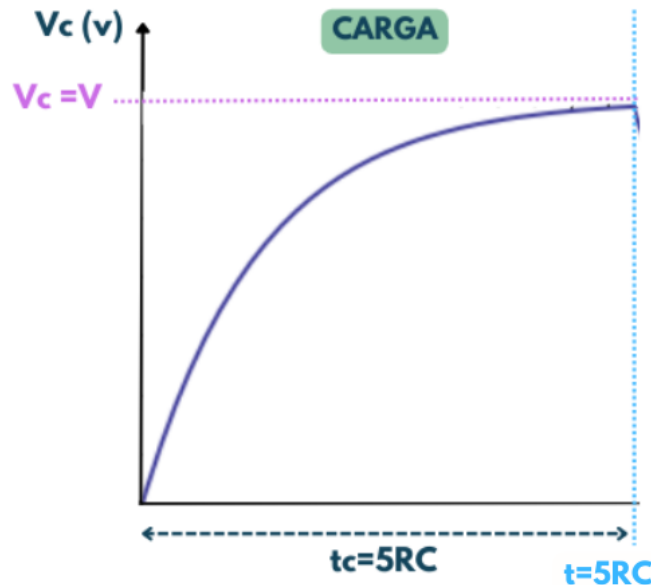
Onde:

- t_c : tempo de carga medido en segundos [s].
- R : resistencia medida en ohmios [Ω].
- C : capacidade do condensador medida en faradios [F]

A resistencia do circuíto recibe o nome de **resistencia de carga** e a súa función é dificultar o paso da corrente eléctrica cara ao condensador, por iso, canto maior sexa R , maior será o tempo de carga.

É importante a presenza da resistencia de carga xa que de non estar, a corrente de carga podería ser demasiado alta e queimar o condensador.

A seguinte gráfica representa a curva de carga do condensador:



Gráfica 1: Carga do condensador

Como se pode observar, **no momento no que o condensador está completamente cargado, a voltaxe do condensador será igual á voltaxe da pila:**

$$V_C = V$$

Unha vez que o condensador está cargado, deixa de circular corrente polo que podemos considerar ao condensador como un interruptor aberto, pero tendo en conta que presenta unha voltaxe V_C .

3.5.2. Descarga

Cando o interruptor **S está na posición 2**, temos un circuíto formado por unha resistencia e un condensador. Nesta situación, **prodúcese a descarga do condensador.**

Igual que sucede coa carga, a descarga non é instantánea e a súa duración tamén depende do valor da resistencia e da capacidade do condensador.

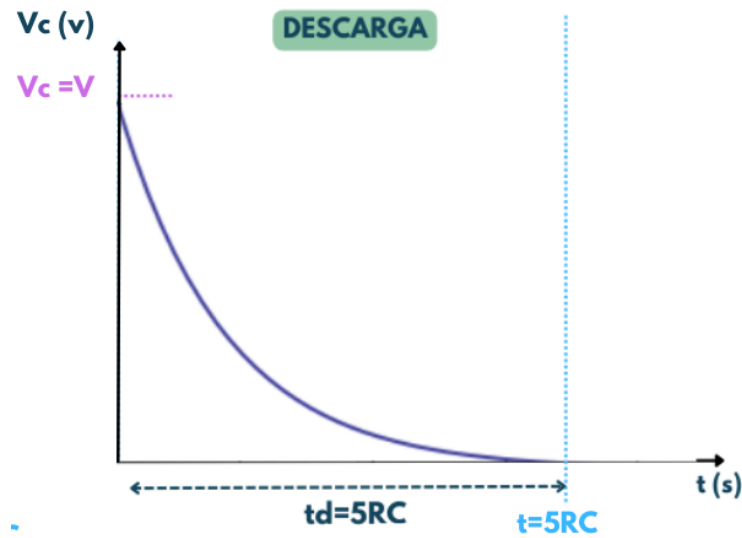
A fórmula para o tempo de descarga é a mesma que para o tempo de carga:

$$t_d = 5RC$$

Onde:

- t_d : tempo de descarga medido en segundos [s].

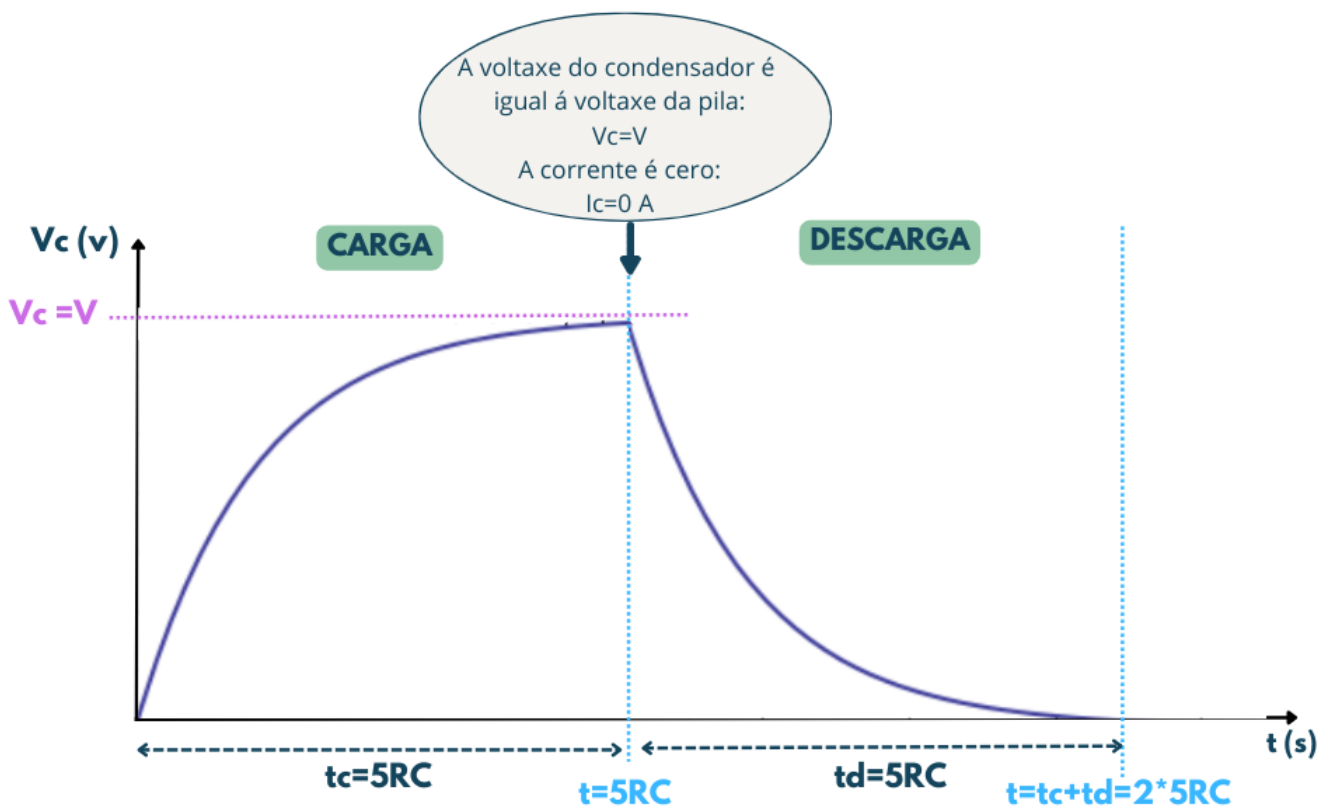
- R: resistencia medida en ohmios [Ω].
- C: capacidade medida en faradios [F].



Gráfica 2: Descarga do condensador.

Da mesma forma que non é recomendable cargar un condensador sen resistencia de carga, tampouco o é descargalo sen resistencia de descarga. Estaríamos provocando un cortocircuíto, cunha corrente moi grande de descarga que provocaría que se queimase o condensador.

A gráfica completa da carga e a descarga do condensador é a seguinte:



Gráfica 3: Carga e descarga do condensador.

3.5.3. Constante de tempo

Ao produto RC chámasele **constante de tempo** ou **tempo de relaxación**. Representase coa letra grega tau:

$$\tau = RC$$

Polo tanto, podemos expresar os tempos de carga e descarga en función da constante de tempo, obtendo as seguintes expresións:

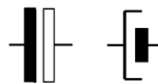
$$t_c = t_d = 5\tau$$

3.6. Tipos de condensadores

Os condensadores poden clasificarse atendendo a diferentes criterios:

- **Segundo o tipo de dieléctrico:**

- **Papel.**
- **Cerámica.**
- **Aire.**
- **Plástico.**
- **Electrolíticos:** son condensadores que teñen polaridade, é dicir, teñen un terminal positivo e outro negativo para a súa conexión.
O seu símbolo é o seguinte:



Un material moi empregado para a fabricación destes condensadores é o **tántalo** pola súa gran capacidade de almacenamento e o seu poder de miniaturización. A fabricación de condensadores con este material, é moi controvertida, xa que procede do coltán.

O **coltán** é un material moi empregado na fabricación de dispositivos electrónicos, pero é considerado por moitos o causante dos conflitos bélicos na República Democrática do Congo. Ademais, as condicións dos traballadores que extraen o coltán nas minas de África son consideradas de semiescravidade.

Para saber **como conectar un condensador electrolítico** nun circuíto temos que fixarnos nas súas patas, xa que unha é máis longa que a outra: a pata longa é o terminal positivo e a pata curta o terminal negativo. Xeralmente, o condensador trae unha **marca na carcasa** que indica algún dos terminais.



Figura 13: condensadores. Imaxe de [Canva](#).

- **Segundo a capacidade fixa ou variable:**

- **Fixos:** a súa capacidade é fixa.
- **Variables:** a súa capacidade pode axustarse electrónica ou manualmente, xa que unha das súas placas ou armaduras é móbil.

A continuación podes ver o símbolo do condensador variable e unha fotografía de dous condensadores variables reais. Fíxate como teñen un mando para poder cambiar a capacidade.

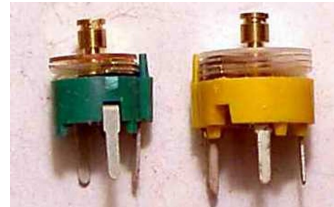
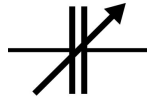


Figura 14: condensadores variables. Imaxe de [Glenn](#).

3.7. Asociación de condensadores

Igual que ocorre coas resistencias, os condensadores pódense asociar en serie, en paralelo e en montaxes mixtas. Vexamos como calcular o valor do condensador equivalente neses casos.

3.7.1. Serie

Nunha asociación en serie de condensadores como a que se amosa na figura, os valores no condensador equivalente son os seguintes:

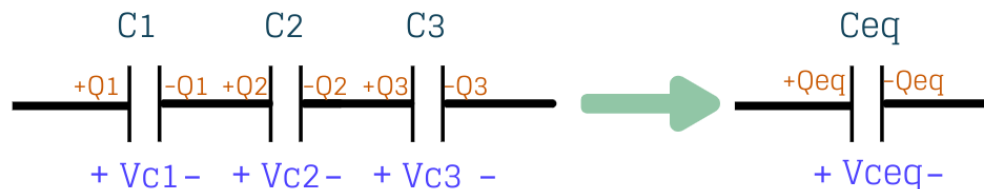


Figura 15: asociación serie de condensadores.

- **Capacidade equivalente, C_{eq}**

Calcúlase coa seguinte fórmula:

$$C_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}}$$

- **Tensión equivalente, V_{ceq}**

A tensión no condensador equivalente será igual á suma das tensións de cada condensador:

$$V_{Ceq} = V_{C1} + V_{C2} + V_{C3}$$

- **Carga equivalente, Q_{eq}**

A carga será a mesma en tódolos condensadores, é dicir:

$$Q_{Ceq} = Q_{C1} = Q_{C2} = Q_{C3}$$

3.7.2. Paralelo

Nunha asociación en paralelo de condensadores como a que se amosa na figura, os valores no condensador equivalente son os seguintes:

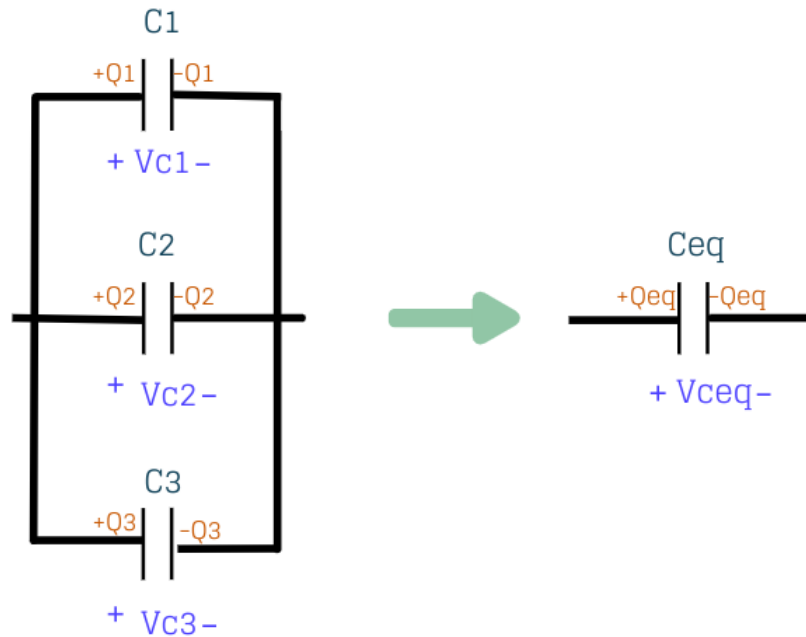


Figura 16: asociación paralelo de condensadores.

- **Capacidade equivalente, C_{eq}**

Calcúlase coa seguinte fórmula: $C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3$

- **Tensión equivalente, V_{ceq}**

A tensión no condensador equivalente será igual ás tensións nos condensadores, é dicir:

$$V_{Ceq} = V_{C1} = V_{C2} = V_{C3}$$

- **Carga equivalente, Q_{eq}**

A carga equivalente será igual á suma das cargas de cada condensador:

$$Q_{Ceq} = Q_{C1} + Q_{C2} + Q_{C3}$$

4. Compoñentes pasivos: a bobina

4.1. Definición

Unha bobina ou inductor é un compoñente electrónico pasivo de dous terminais que debido ao fenómeno da autoinducción magnética almacena enerxía en forma de campo magnético.

Os principios físicos que describen o funcionamento dunha bobina son os formulados polos científicos **Oersted e Faraday**. Sen entrar en describir estes principios físicos, que constitúen as bases do electromagnetismo, podemos resumir a autoinducción como o fenómeno polo cal cando unha corrente circula por unha bobina aparecerán unha tensión e unha corrente opostas á de alimentación.

4.2. Descrición física

Xeralmente, a bobina consiste nun núcleo cilíndrico de material magnético ou aire ao redor do cal se enrola repetidamente un fío de material condutor como o cobre.

4.3. Simbología e características

A bobina represéntase co seguinte símbolo:



Igual que o condensador ten a capacidade, a bobina ten unha característica que se chama inductancia, e que se define como a medida da oposición ao cambio de corrente eléctrica.

A inductancia represéntase coa letra L e mídese en Henrios [H].

4.4. Utilidades

Utilízanse fundamentalmente en circuitos de corrente alterna e son fundamentais na fabricación de motores eléctricos.

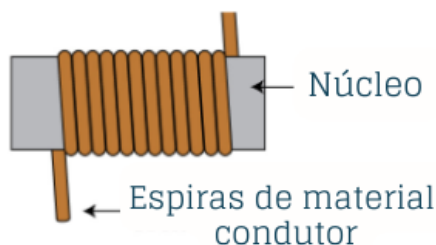


Figura 17: Bobinas. Imaxe de [Canva](#).

Unha das características das bobinas é que se opón aos cambios bruscos na intensidade de corrente eléctrica.

4.5. Asociación de bobinas

Igual que ocorre coas resistencias, as bobinas pódense asociar en serie, en paralelo e en montaxes mixtas. Vexamos como calcular o valor da bobina equivalente neses casos.

4.5.1. Serie

Nunha asociación en serie de bobinas como a que se amosa na figura, os valores na bobina equivalente son os seguintes:

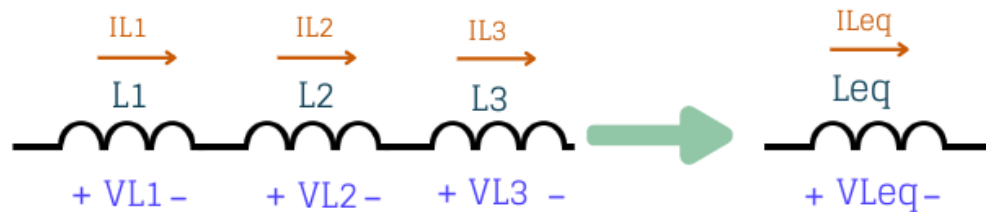


Figura 18: asociación serie de bobinas.

- **Inductancia equivalente, L_{eq}**

Calcúlase coa seguinte fórmula: $L_{eq} = L_1 + L_2 + L_3$

- **Tensión equivalente, V_{Leq}**

A tensión na bobina equivalente será igual á suma das tensións de cada bobina:

$$V_{Leq} = V_{L1} + V_{L2} + V_{L3}$$

- **Intensidade equivalente, I_{Leq}**

A intensidade será a mesma en todas as bobinas, é dicir:

$$I_{Leq} = I_{L1} = I_{L2} = I_{L3}$$

4.5.2. Paralelo

Nunha asociación en paralelo de bobinas como a que se amosa na figura, os valores na bobina equivalente son os seguintes:

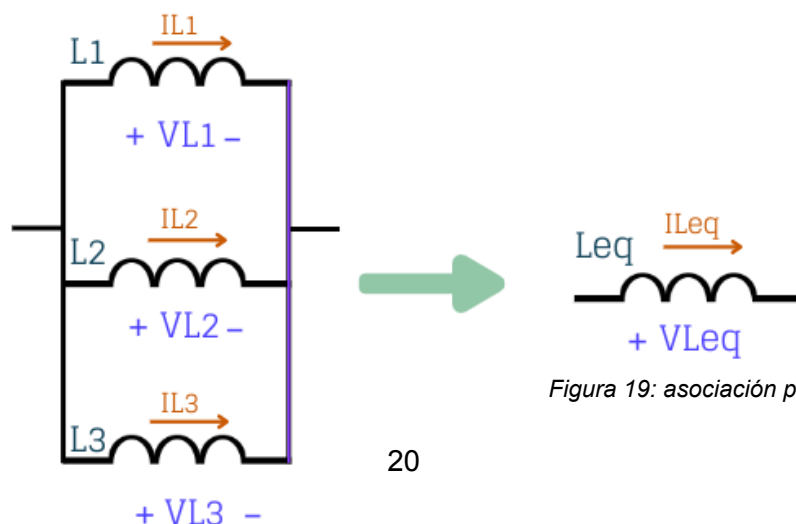


Figura 19: asociación paralelo de bobinas

- **Inductancia equivalente, L_{eq}**

Calcúlase coa seguinte fórmula:
$$L_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3}}$$

- **Tensión equivalente, V_{Leq}**

A tensión na bobina equivalente será igual ás tensións nas bobinas, é dicir:

$$V_{Leq} = V_{L1} = V_{L2} = V_{L3}$$

- **Intensidade equivalente, I_{Leq}**

A intensidade equivalente será igual á suma das intensidades de cada bobina:

$$I_{Leq} = I_{L1} + I_{L2} + I_{L3}$$

5. Semicondutores

5.1. Tipos de materiais segundo a condución eléctrica

Ata o de agora considerabamos a existencia de dous tipos de materiais segundo o seu comportamento con respecto á corrente eléctrica: **condutores e illantes**.

A diferenza entre un material condutor e un illante é que nun condutor os electróns poden moverse con facilidade mentres que nun material illante os electróns non se poden mover ou móvense con moita dificultade.

Polo tanto, **os condutores permiten o paso da corrente eléctrica e os illantes non**.

Os semicondutores son materiais que en circunstancias normais non conducen a electricidade, pero en determinadas circunstancias convértense en condutores.

Os factores que provocan o movemento dos electróns son diversos, entre eles o aumento da temperatura, a presenza dun campo magnético, o aumento da presión, etc.

Por iso se di que son materiais que están nun punto intermedio entre condutores e illantes.

Existen dos tipos de semicondutores: **intrínsecos y extrínsecos**.

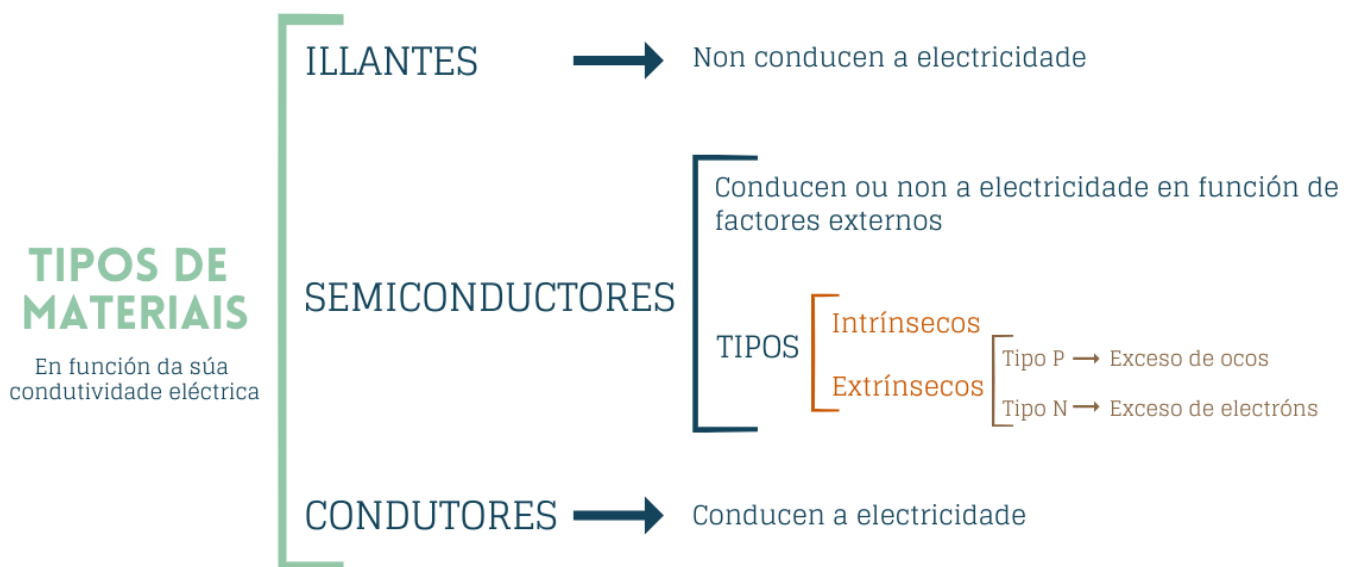


Figura 20: esquema.

5.2. Bandas de enerxía

O átomo está formado polo **núcleo e as órbitas**: no núcleo hai protóns (con carga positiva) e neutróns (sen carga) e nas órbitas hai electróns (con carga negativa).

A última órbita dun átomo chámase **capa de valencia** e os electróns que se atopan nesa capa son os **electróns de valencia**.

Cando temos un fragmento de material o número de átomos que temos é moi grande, polo que en lugar de considerar átomos coas súas órbitas consideramos **bandas de enerxía**.

Para comprender a diferenza entre metais, semicondutores e illantes eléctricos, temos que definir os seguintes termos da física do estado sólido:

- **Banda de valencia:** está ocupada polos electróns de valencia dos átomos, é dicir, aqueles electróns que se atopan na última capa ou nivel de enerxía dos átomos. Os electróns de valencia son os que forman os enlaces entre os átomos, pero non interveñen na condución eléctrica.
- **Banda de condución:** está ocupada por electróns libres, é dicir, aqueles que foron separados dos seus átomos e poden moverse con facilidade. Estes electróns son os encargados de conducir a corrente eléctrica.
- **Banda prohibida:** é a que está entre a banda de valencia e a banda de condución.

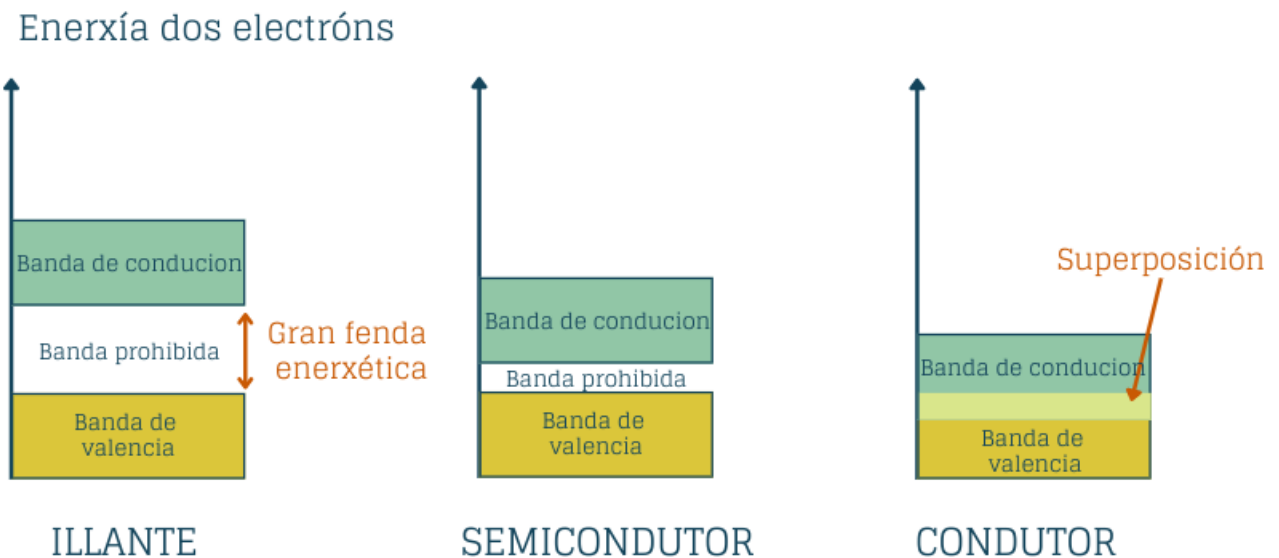


Figura 21: bandas de enerxía en función do tipo de material.

Para que un electrón pase da banda de valencia á banda de condución e polo tanto o material conduza a electricidade, é necesario que os electróns reciban a enerxía que lles permita facer ese “salto”.

- **Nos condutores non hai banda prohibida** xa que as bandas de condución e valencia se solapan e os electróns de valencia pasarían moi facilmente á banda de condución.
- Os **semicondutores** teñen unha dificultade intermedia para transferir electróns de valencia a electróns de condución xa que teñen un intervalo de **banda prohibida, pero non é moi amplo**.
- Nos **illantes a banda prohibida é moi ampla** e é moi difícil que os electróns adquiren enerxía suficiente para moverse á banda de condución.

5.3. Semicondutores intrínsecos

Un material semiconductor feito só dun só tipo de átomo chámase semiconductor intrínseco.

Os materiais máis empregados para fabricar semicondutores adoitan ser o **xermanio** (Ge) e o **silicio** (Si); sendo este último o máis utilizado (porque é moito máis abundante e pode traballar a temperaturas máis altas que o xermanio).

Todos os semicondutores intrínsecos son materiais que teñen os seus átomos unidos por **enlaces covalentes**. Cada átomo dun semiconductor ten **4 electróns de valencia** que comparte cos átomos adxacentes formando **4 enlaces covalentes**. Deste xeito, cada átomo

ten **8 electróns na súa capa máis externa**, formando unha rede cristalina, na que o enlace entre os electróns e os seus átomos é moi forte.

En consecuencia, nesta rede, os electróns non se moven facilmente e o material en **circunstancias "normais" compórtase como illante**.

Non obstante, ao aumentar a temperatura, a presión ou estar en presenza dun campo magnético, os electróns gañan enerxía, polo que algúns poden separarse do enlace e intervir na condución eléctrica.

Cando un electrón salta do seu enlace covalente, dise que deixa un oco xa que é susceptible de ser enchido por outro electrón. Os electróns liberados pola enerxía térmica ás veces tamén caen nos ocos deixados por outros electróns. Hai un equilibrio dinámico entre os electróns que se liberan pola enerxía térmica e os electróns que caen de novo nos ocos, é dicir, o número de electróns libres (que será exactamente o mesmo que o número de ocos) é constante a temperatura constante.

Un oco considérase unha carga positiva a efectos de condución eléctrica.

O fenómeno descrito, no que os electróns ocupan ocos noutros átomos é equivalente a unha corrente eléctrica.

Na seguinte imaxe podemos ver a estrutura dun semiconductor de silicio intrínseco. Podes ver os 4 enlaces covalentes dos que falamos anteriormente.

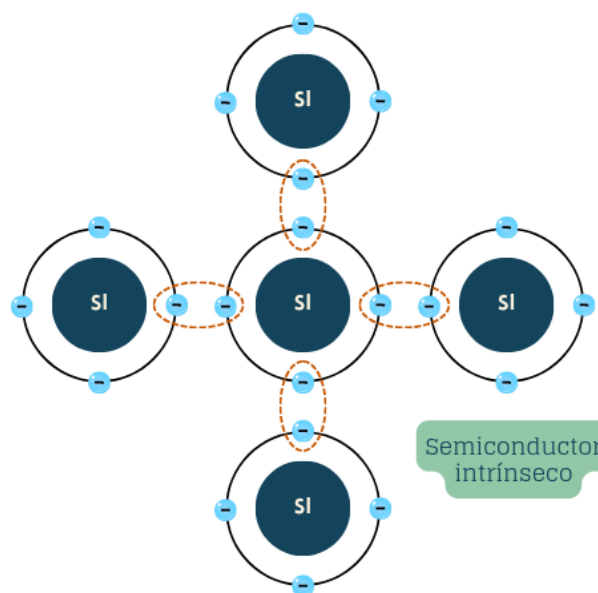


Figura 22: enlace entre 5 átomos de semiconductor intrínseco.

5.4. Semicondutores extrínsecos

Para mellorar as propiedades dos semicondutores intrínsecos, estes son sometidos a un proceso de impurificación artificial denominado **dopaxe**, **que consiste en introducir átomos doutros elementos no material co fin de aumentar a súa condutividade**. O semiconductor obtido chámase **semiconductor extrínseco**. Segundo a estrutura atómica do material co que se realiza o dopaxe, tamén chamado material **doador**, distinguimos dous tipos de semicondutores extrínsecos:

- **Semiconductor tipo N:** empréganse **elementos pentavalentes** como impurezas, é dicir, elementos que teñen 5 electróns de valencia, como o Fósforo (P), o Arsénico (As) ou o Antimonio (Sb). O doador proporciona electróns en exceso que, ao non estar unidos a ningún átomo, moveranse facilmente pola rede cristalina, aumentando a condutividade. Na seguinte imaxe vemos como o dopante (fósforo) forma 4 enlaces covalentes co silicio e queda un electrón de valencia libre.

Así, **un semiconductor de tipo N ten máis electróns libres que o semiconductor intrínseco correspondente e, polo tanto, a condutividade é maior.** Tamén o número de electróns libres é maior que o número de ocos.

O material de tipo N tamén se denomina **doador de electróns**.

- **Semiconductor tipo P:** os dopantes empregados son **elementos trivalentes**, é dicir, que teñen 3 electróns de valencia, como o Boro (B), o Indio (In) ou o Galio (Ga).

O átomo do material dopante (boro na imaxe de abaixo) proporciona 3 electróns de valencia que forman 3 enlaces covalentes cos átomos de silicio, polo que se crea un **oco**, que non é outra cousa que a ausencia dun electrón e que se considera unha carga de signo positivo.

Nun semiconductor P hai ocos debido á falta de electróns para formar enlaces covalentes. O número de ocos será, polo tanto, maior nun semiconductor dopado con P que no semiconductor intrínseco correspondente e, como resultado, a condutividade será maior.

Estes ocos aceptarán electróns. Así, o material de tipo P tamén se denomina **doador de ocos** (ou aceptador de electróns).

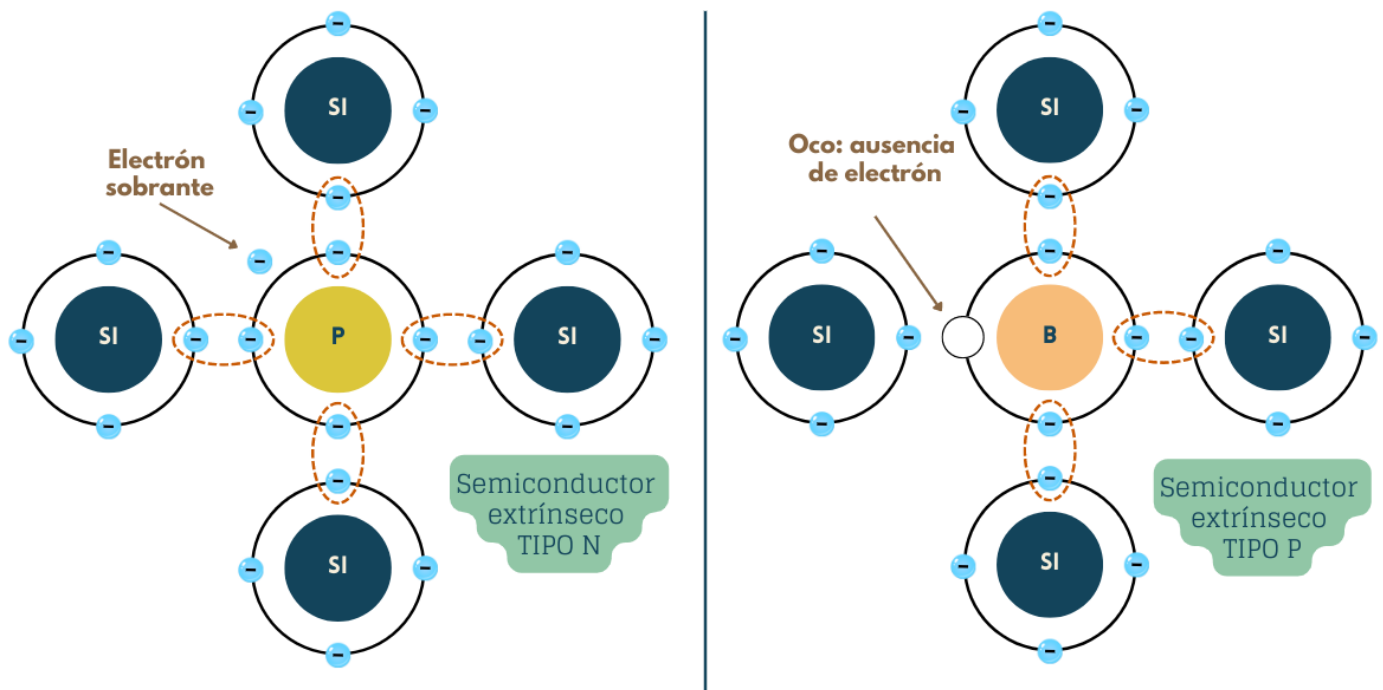


Figura 23: Enlaces en semicondutores extrínsecos. Esquerda tipo N, dereita tipo P.

TIPOS DE SEMICONDUCTORES EXTRÍNSECOS

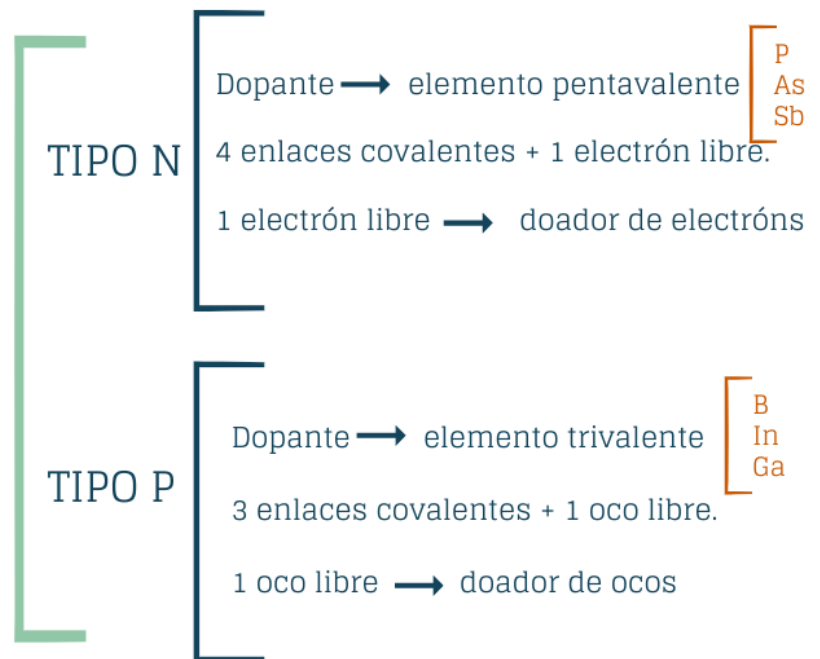


Figura 24: esquema.

6. Compoñentes activos: o diodo

6.1. Definición e características.

Os diodos son dispositivos electrónicos activos de dous terminais que permiten que a corrente circule nun sentido e impiden que circule no outro.

As súas principais aplicacións son como **interruptor**, **rectificador** ou **filtro**.

Están formados por un cristal semiconductor extrínseco no que metade é de tipo P e a metade de tipo N, que ao entrar en contacto forma unha **unión PN**.

O símbolo do diodo permítelle identificar o sentido do fluxo de corrente e o sentido de bloqueo, diferenciando a zona P da zona N.

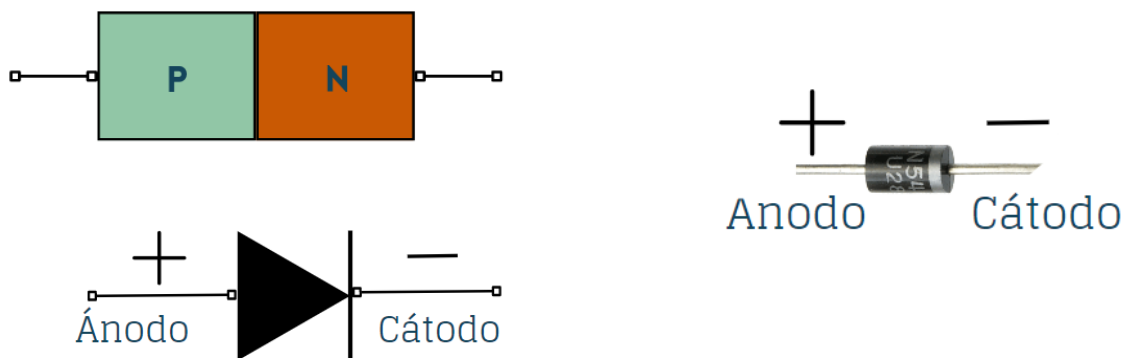


Figura 25: relación entre a unión PN, o símbolo do diodo e un diodo real.

6.2. Polarización do diodo

6.2.1. Polarización directa:

Conséguese a polarización directa conectando o **terminal positivo da fonte á zona P**, e o **terminal negativo á zona N**, ou o que é o mesmo, conectando o ánodo ao terminal positivo e o cátodo ao terminal negativo. Nun diodo **ideal**, estando nesta situación, **o diodo conducirá e haberá corrente a través del**.

O diodo sería considerado un interruptor pechado.

Non obstante, os diodos reais teñen unha pequena tensión que debe ser superada para que poidan conducir, esta tensión chámase **tensión limiar ou tensión directa**. Neste caso, a tensión da fonte debe ser maior que ese valor de tensión, aproximadamente 0,7 V para un diodo de silicio, para que o diodo conduza.

Entendemos por diodo ideal aquel no que a tensión limiar ou tensión directa é de 0 voltios.

6.2.2. Polarización inversa

Para o diodo ideal, conséguese conectando o **terminal positivo da fonte á zona N** e o **terminal negativo á zona P**, ou o que é o mesmo, conectando o ánodo ao terminal negativo e o cátodo ao terminal positivo. O diodo non permitirá o paso de corrente por el, **comportándose como un interruptor aberto**.

Todos os diodos reais teñen unha **tensión máxima ou voltaxe inversa** (normalmente 50 V ou máis) e se se supera o diodo fallará e permitirá que unha corrente grande circule en sentido inverso. A esta tensión chámasele **tensión de rotura, V_R** , e o diodo en ese estado dise que está en **rotura**.

Na seguinte imaxe pódense ver os circuitos de polarización directa e inversa dun diodo ideal, onde V é a voltaxe da pila, V_d é a tensión no diodo e I_d é a corrente no diodo, que só existe na polarización directa.

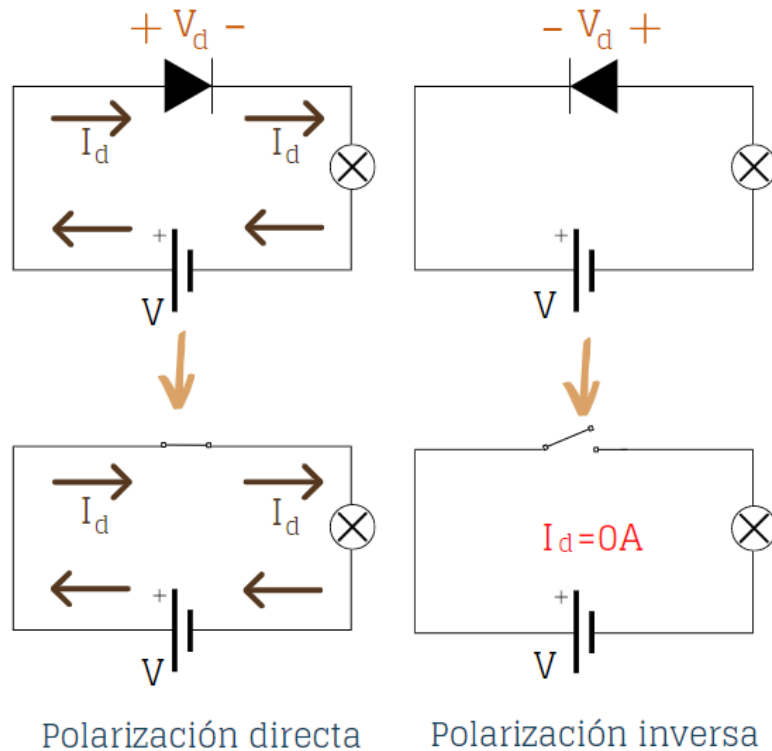


Figura 26: circuitos de polarización do diodo. Esquerda en directa, dereita en inversa.

6.3. Tipos de diodos

- **Universal ou rectificador:** permite o paso da corrente nun sentido, impedíndoo no outro.



Figura 27: diodo universal. Imaxe de [Canva](#).

- **LED:** son diodos que traballan en polarización directa, e que **emiten luz ao conducir corrente**. Un LED ten unha pata máis longa que a outra: a longa corresponde ao ánodo. Isto debemos telo en conta xa que é un dispositivo con polaridade.

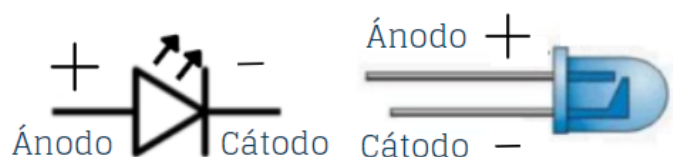


Figura 28: diodo LED. Imaxe de [Canva](#).

- **Fotodiodo:** son diodos nos que a **intensidade da corrente varía proporcionalmente á luz que reciben**. Utilízanse en sensores de movemento.

Figura 29: Fotodiodo. Imaxe de [Canva](#).

6.4. Funcionamento dos diodos reais

6.4.1. Polarización

Anteriormente dixemos que os diodos reais se consideran circuitos pechados en caso de que estean polarizados directamente. Isto quere dicir que a voltaxe que hai nos seus extremos en polarización directa é 0 V, pero tamén quere dicir que para que o diodo estea polarizado directamente, a tensión entre os seus extremos ten que ser superior a 0 V.

Pero nun diodo real, para que conduza, é dicir, que estea polarizado en directa, é necesario que a tensión nos extremos dos díodos sexa superior a un valor de tensión denominado **tensión limiar, V_Y** . Representase co subíndice γ , que é a letra grega gamma.

Os valores da tensión limiar soen considerarse de 0,7 V para os diodos de silicio e 0,3 V para os diodos de germanio.

Por tanto, no caso dun díodo real:

- **Polarización directa:**
 - A tensión en bornes do díodo ten que ser igual ou superior a V_Y e o díodo funcionará como unha pila de valor V_Y .
- **Polarización inversa:**
 - A tensión en bornes do díodo será inferior a V_Y e o díodo funcionará como un interruptor aberto.

Na seguinte imaxe aparece unha comparativa entre o díodo real e o díodo ideal:

DIODO IDEAL VS DIODO REAL					
	Tensión limiar	Polarización directa		Polarización inversa	
IDEAL	$V_Y = 0 \text{ V}$	$V_d > 0 \text{ V}$		$V_d < 0 \text{ V}$	
REAL	$V_Y = 0,7 \text{ V}_{(Si)}$	$V_d \geq 0,7 \text{ V}$		$V_d < 0,7 \text{ V}$	

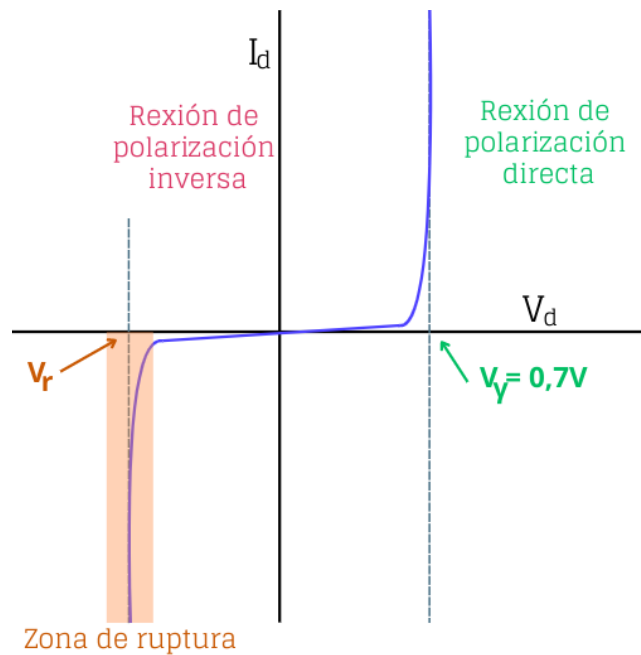
6.4.2. Curva característica

A curva característica dun diodo **representa a corrente que circula polo diodo, I_d , fronte á tensión nos seus terminais, V_d** . O resultado desta representación gráfica é unha curva na que se poden distinguir perfectamente as zonas de funcionamento do diodo.

A continuación vemos a curva característica dun diodo real de silicio. Na gráfica podemos observar as seguintes zonas:

- **Zona de polarización directa:** $V_d \geq V_Y$
- **Zona de polarización inversa:** $V_d < V_Y$
- **Zona de rotura:** $V_d = V_r$

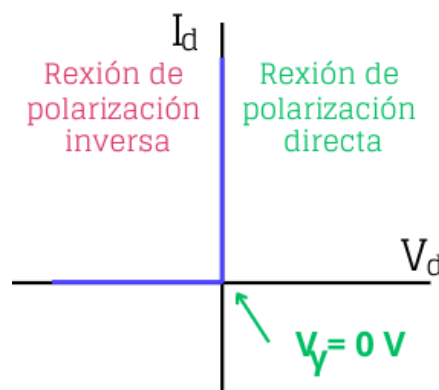
Existen máis zonas de funcionamento do diodo pero non entraremos a explicalas en este tema.



Gráfica 4: Curva característica dun diodo real de silicio.

Para repasar as zonas de funcionamento do diodo podes ir ao [punto 6.2 do presente tema](#).

No caso dun diodo ideal, sabemos que a tensión limiar é 0, polo que a gráfica terá o seguinte aspecto:



Gráfica 5: Curva característica dun diodo ideal.

É importante sinalar que os díodos teñen unha **corrente máxima de traballo, I_{max}** , por encima da cal se produce a destrución do dispositivo.

7. Compoñentes activos: o transistor

7.1. Definición

Os transistores **son dispositivos electrónicos activos de tres terminais** feitos con tres cristais de material semiconductor extrínseco que, como os diodos, **poden deixar pasar corrente ou non, pero tamén poden decidir a intensidade da corrente que circula**.

Así podemos afirmar que teñen dúas funcións principais: **conmutación e amplificación**.

Existen distintos tipos de transistores, pero neste tema centrarémonos no estudo dos **transistores bipolares ou BJT** (Bipolar Junction Transistor). Os transistores BJT están formados pola unión alterna de tres cristais semicondutores P e N. Podemos atopar dúas combinacións:

- **NPN.**
- **PNP.**

7.2. Descrición física

Cada cristal semiconductor do transistor está unido a un terminal. Os terminais reciben os seguintes nomes:

- **Emisor.**
- **Base.**
- **Colector.**

Para saber que pata é cada terminal, colocámolo como se mostra a continuación e miramos onde están o emisor, a base e o colector.

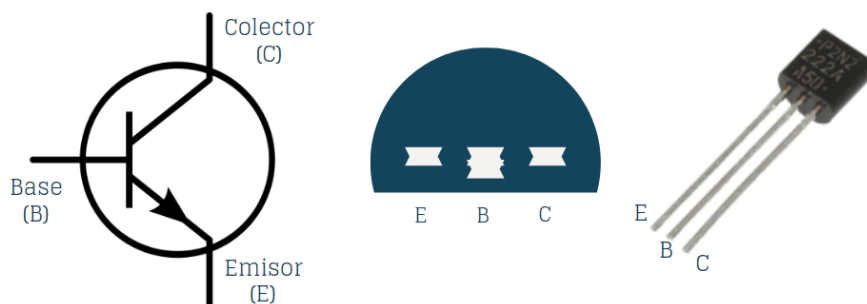


Figura 30: símbolo do transistor, identificación dos terminais e transistor real. Imaxe de [Canva](#).

Nas seguintes imaxes podemos ver os dous tipos de transistores BJT e a distribución dos cristais semicondutores e dos conectores. Ademais, para cada tipo amósase a dirección do fluxo de correntes e tensións:

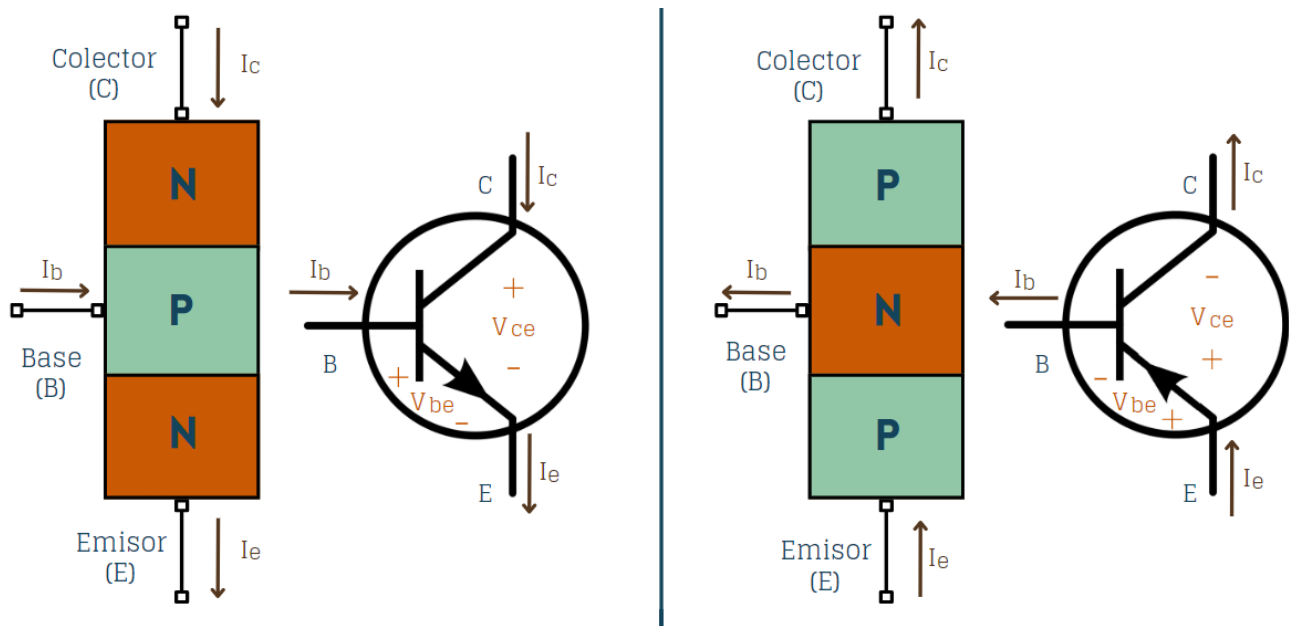


Figura 31: transistor NPN á esquerda e PNP á dereita.

A continuación faremos unhas consideracións xerais sobre o transistor que se ampliarán máis adiante cando se explique o seu funcionamento::

- **A corrente de base controla o funcionamento do transistor.**
- Se existe circulación de corrente, esta **fluirá dende o colector ata o emisor nun NPN**. Isto indícase no símbolo gráfico mediante a frecha. No PNP a corrente circulará de emisor a colector.
- **O aumento que pode xerar a corrente de base na corrente de emisor denomínase ganancia.** A ganancia dun transistor represéntase coa letra beta, β , e relaciona ás correntes de base e colector coa seguinte fórmula:

$$\beta = \frac{I_c}{I_b}$$

- Podemos considerar as unións BE (base-emisor) e CE (colector-emisor) como **unións PN**. É dicir, como se fosen cada unha un diodo. Polo que poderán estar polarizadas en directa ou en inversa.
- En todos os transistores, o seguinte é sempre verdadeiro:
 - A corrente que circula polo emisor (I_e) é igual á suma da corrente que circula pola base (I_b) máis a corrente que circula polo colector (I_c):

$$I_e = I_b + I_c$$

- A tensión entre o colector e o emisor (V_{ce}) é igual á suma da tensión entre a base e o emisor (V_{be}) e a tensión entre o colector e a base (V_{cb}).

$$V_{ce} = V_{be} + V_{cb}$$

7.3. Funcionamento

Podemos considerar os terminais do seguinte xeito:

- A **base** funciona como un terminal de control.
- O **emisor** é a saída de corrente.

- O **colector** é a entrada de corrente.

Polo tanto, en xeral podemos afirmar que aplicando unha pequena corrente á base é posible manipular a corrente que circula entre o colector e o emisor.

Para entender o funcionamento do transistor, é moi común empregar un símil cunha billa de auga:

- A **entrada** da billa sería o **colector**.
- A **saída** da billa sería o **emisor**.
- O **mando da billa** sería a **base** do transistor:
 - Se a billa está pechada non sairá auga → **non circulará corrente entre colector e emisor**.

$$I_b = 0 \Rightarrow I_e = 0$$

- Canto máis abras a billa, máis auga sairá dela → **canta máis corrente base, máis corrente emisora**. $\Delta I_b \Rightarrow \Delta I_e$
- Canto menos abras a billa, menos auga sairá dela → **canto menos corrente base, menos corrente emisora**

$$\nabla I_b \Rightarrow \nabla I_e$$

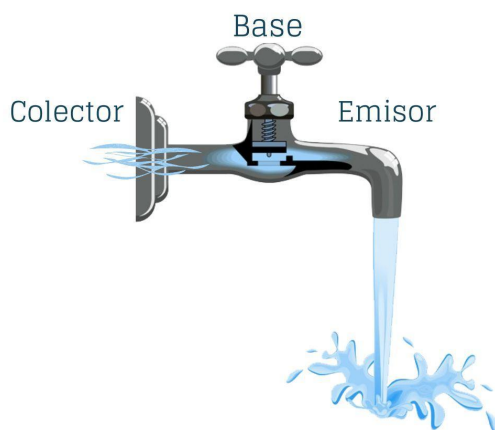


Figura 32: símil transistor- billa. Imaxe de [Canva](#).

Defínense **tres zonas ou rexións de funcionamento** para o transistor:

- **Zona de corte:**
 - Non hai corrente na base ($I_b=0$ A) ou é demasiado pequena e non circula corrente entre o colector e o emisor:

$$I_c = I_e = 0$$

- Unión BC en polarización inversa.
- Unión BE en polarización inversa.
- Sóese comparar ao transistor cun **interruptor aberto**.

- **Rexión de saturación:**

- Entre emisor e colector pasa a máxima corrente posible:

$$I_c = I_e = I_{\text{maxima}} \quad I_c < \beta I_b$$

- Unión BC en polarización directa.
- Unión BE en polarización directa.
- Sóese comparar ao transistor cun **interruptor pechado**.

- **Rexión activa:**

- Rexión intermedia entre corte e saturación.

$$I_c = \beta I_b$$

- Unión BC en polarización inversa.
- Unión BE en polarización directa.
- Esta rexión é a máis importante se o que queremos é empregar o transistor como un **amplificador**.

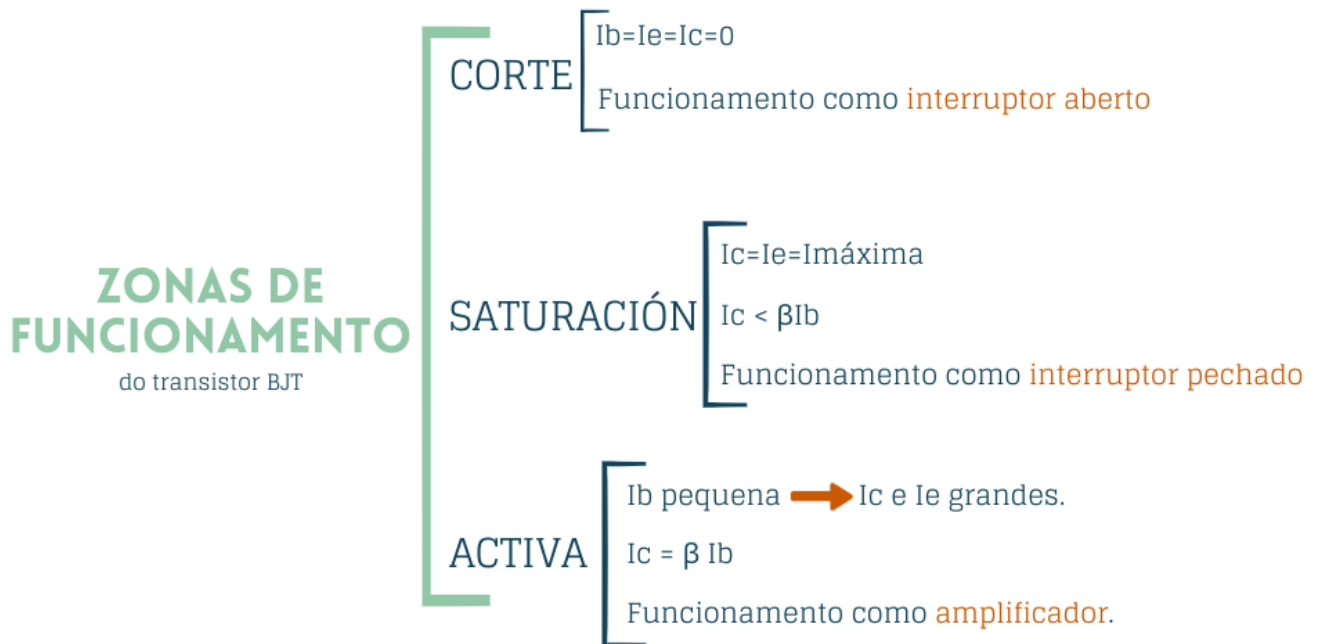
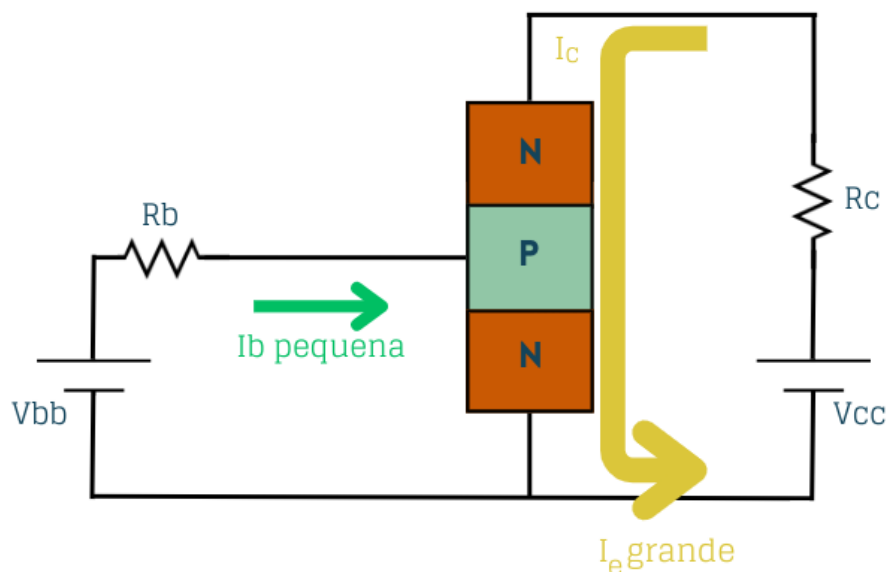


Figura 33: esquema.

O seguinte circuíto amosa un transistor traballando en zona activa (como amplificador). Amósanse as correntes de base e colector- emisor empregando a representación do diodo como unións PN:



7.4. O transistor como interruptor e amplificador

7.4.1. Interruptor

Cando o transistor funciona como **interruptor**, úsase como compoñente na **electrónica dixital**; de feito, un circuíto integrado está formado por transistores.

Neste tipo de operación, o transistor xerará un sinal alto ou baixo que se corresponde cun 1 ou un 0 respectivamente. Este sinal xerado polo transistor estará controlado pola corrente base.

7.4.2. Amplificador

Cando o transistor funciona como un **amplificador**, úsase como compoñente na **electrónica analóxica**.

O sinal de entrada será a corrente base e o sinal de saída será a corrente emisor-colector, que será moito maior.

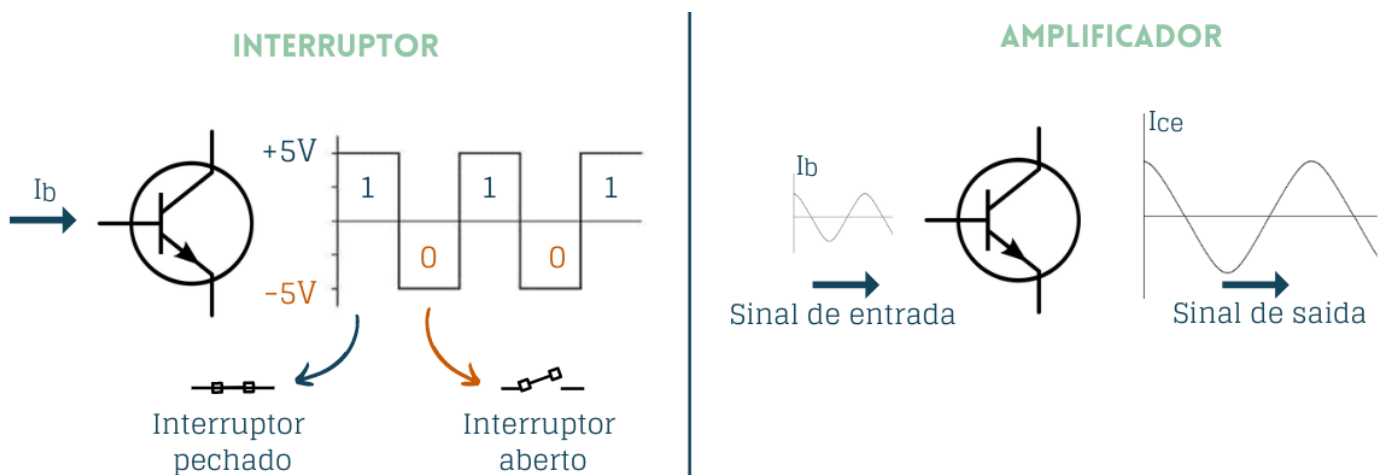


Figura 34: transistor como interruptor á esquerda e como amplificador á dereita.

7.5. Curva característica do transistor

Podemos estudar o funcionamento dun transistor a través das súas curvas características.

Neste tema simplemente mencionaremos o máis importante de cada curva característica para poder facer unha análise cualitativa de cada unha, xa que non é obxecto de estudo deste curso.

Existen diferentes curvas características en función do terminal do transistor que se analice en dita gráfica.

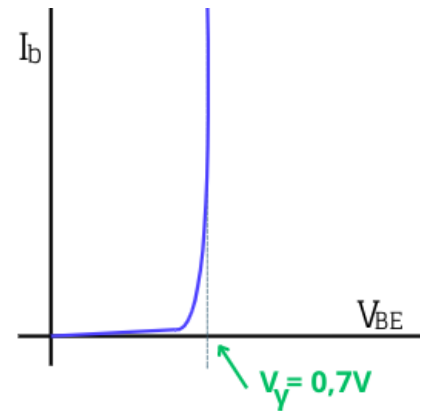
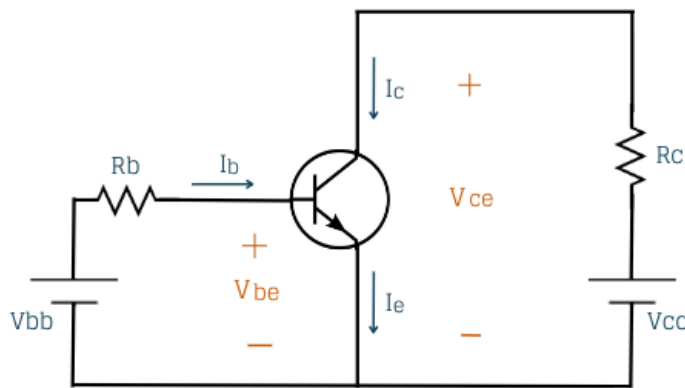
7.5.1. Curva característica de entrada

Esta gráfica representa a corrente de base que circula en función da voltaxe na unión base-emisor. No eixe X aparece a V_{BE} e no eixe Y aparece I_b .

Esta gráfica é igual que a dun diodo, onde a tensión limiar será a tensión limiar da unión BE (recorda que se pode considerar como un diodo).

Na seguinte imaxe aparece o circuíto de polarización do transistor e a curva característica de entrada. E a expresión matemática da corrente de base nese circuíto é:

$$I_b = \frac{V_{bb} - 0,7}{R_b}$$

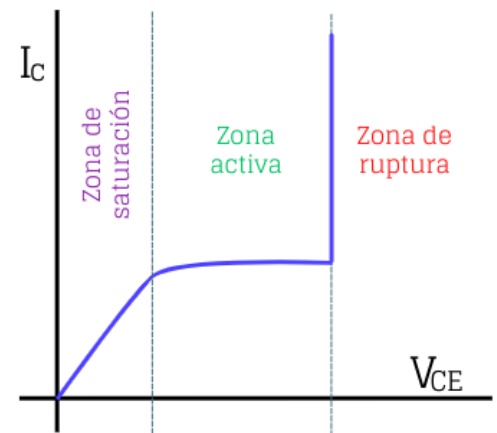
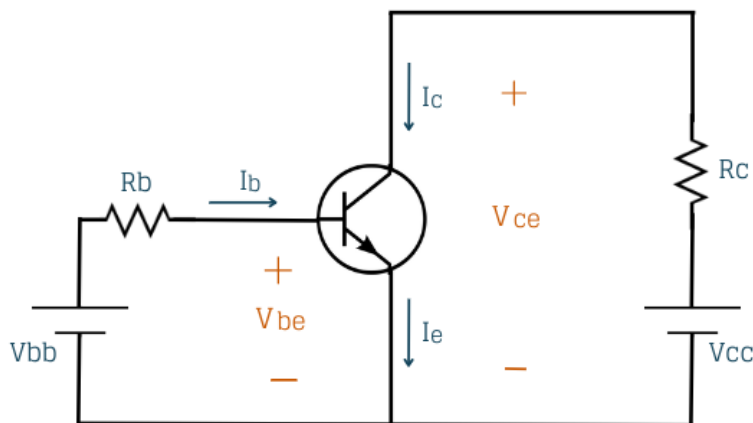


7.5.2. Curva característica de saída

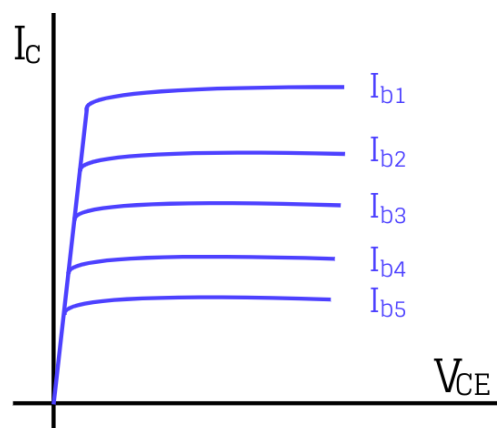
Esta gráfica representa a corrente de colector que circula en función da voltaxe na unión base-colector. No eixe X aparece a V_{CE} e no eixe Y aparece I_C .

O circuíto de polarización do transistor é o mesmo que para o caso anterior. E a expresión matemática da corrente de colector nese circuíto é:

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_c}$$



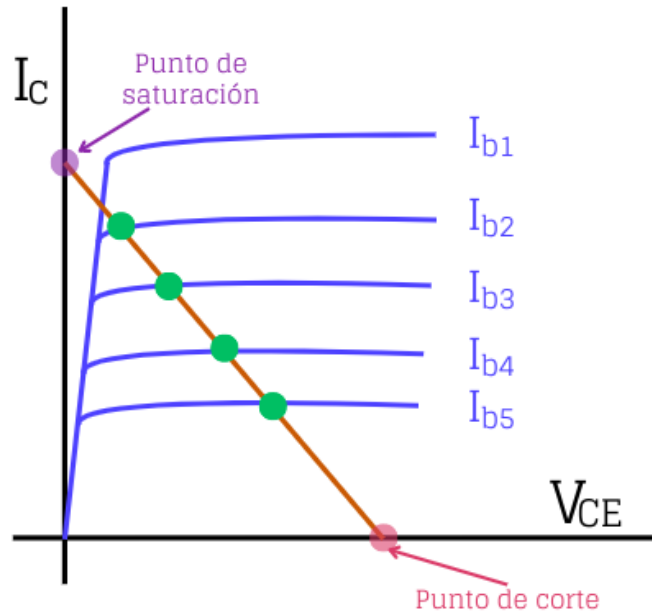
Se se determinan os valores de I_C e V_{CE} para diferentes valores de I_b , obtemos unha **familia de curvas características saída**. Estas curvas son moi importantes para analizar e deseñar diferentes circuíto con transistores.



7.5.3. Recta de carga

É unha liña recta que corta ás curvas de saída, e **marca todos os valores posibles que I_C e V_{CE} poden tomar para diferentes valores de I_b en determinadas condicións de V_{CC} e R_C .**

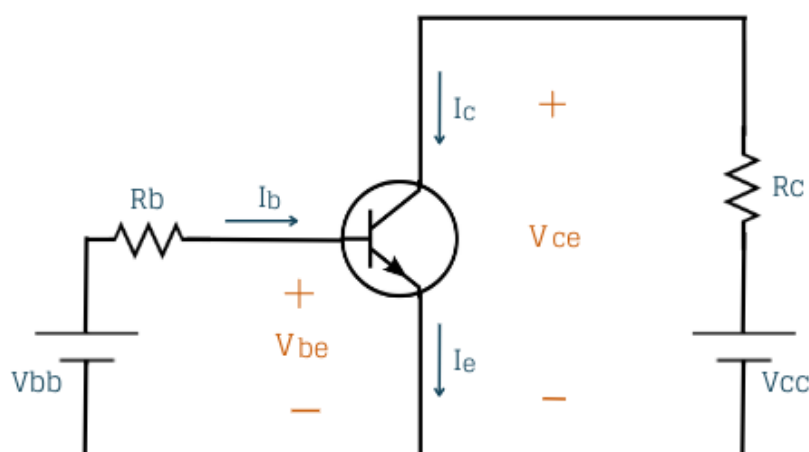
Vexamos como se representa:



Os puntos de inicio e fin da recta de carga márcanse da seguinte maneira:

- **Punto de corte:** a corrente de base é cero e non circula corrente, polo tanto o valor de V_{CE} será igual a V_{CC} , e o valor de I_C será igual a 0.
- **Punto de saturación:** a unión colector-emisor está polarizada en directa, polo que consideramos $V_{CE}=0$ e o valor da corrente de colector será igual a V_{CC}/R_C .

Ten en conta que estes valores saen do circuíto que indicamos anteriormente:



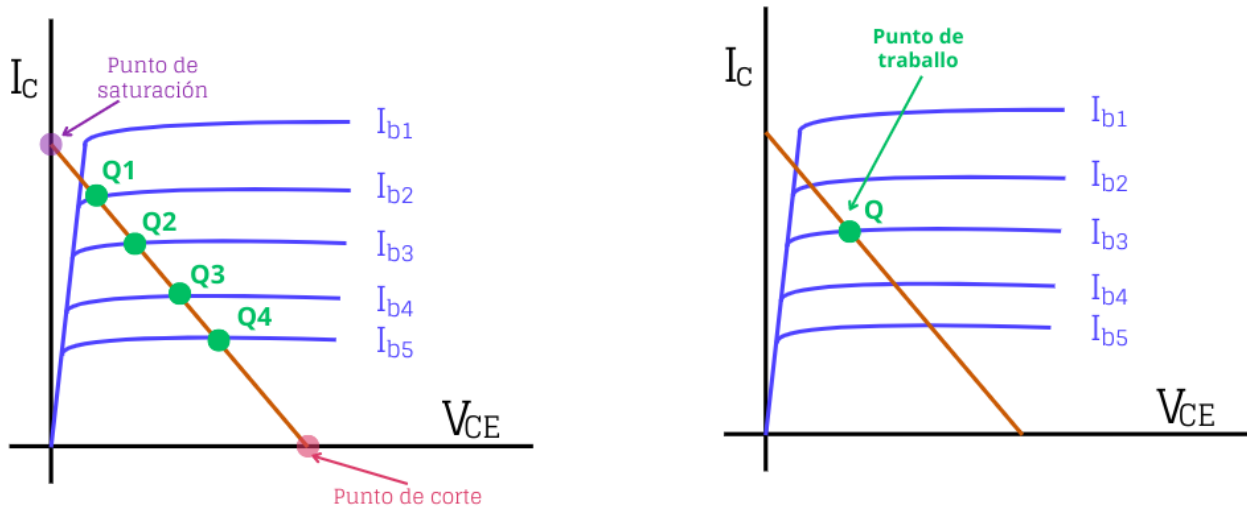
Unha vez que están determinados os dous extremos da recta de carga, xa podemos trazala.

Os puntos onde a recta de carga corta ás curvas de I_b indican os valores de V_{CE} e I_C para o circuíto anterior.

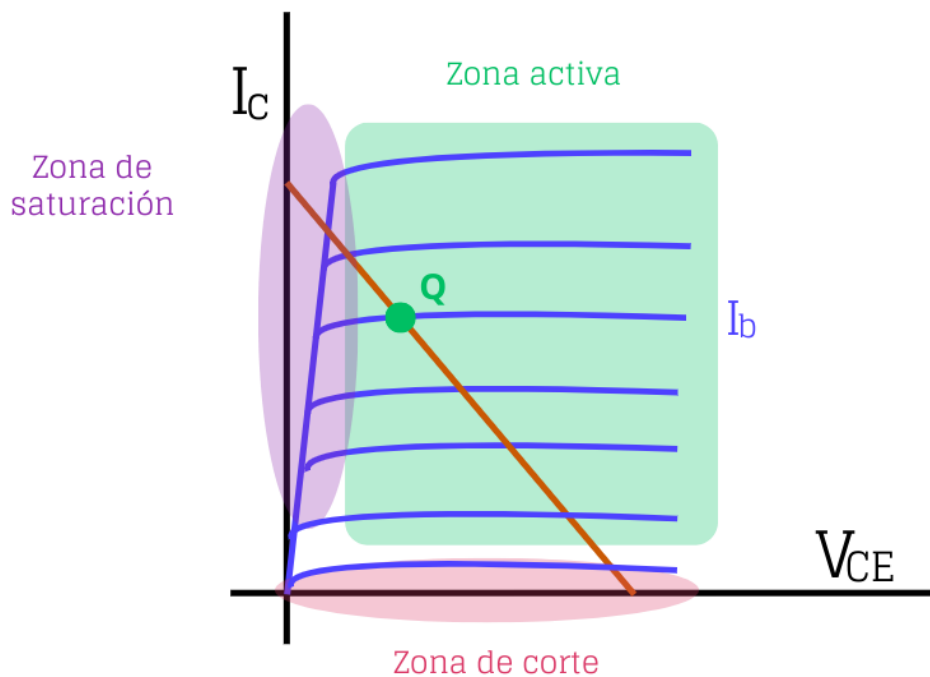
7.5.4. Punto de traballo

O feito de trazar as liñas de carga permite visualizar directamente os posibles puntos de traballo dun transistor e escoller o máis axeitado para unha aplicación específica. Cada par de valores (V_{CE} , I_C) asociado a un valor I_b específico é un **punto posible de traballo, Q**.

En aplicacións nas que se van utilizar transistores como pequenos amplificadores de sinal, **a mellor posición do punto de traballo é o centro da liña de carga**. Deste xeito está garantido que o transistor sempre funciona na zona activa.



Por último, temos a gráfica que xunta todas as características anteriores e que describe por completo o funcionamento do transistor para o circuíto de exemplo dado anteriormente:



8. Atribución da propiedade intelectual

8.1. Textos

- *Pedro Landín*. [Apuntes de electrónica 4º ESO](#).
- ¿Qué es la banda de conducción y valencia en semiconductores? Definición. [Radiation Dosimetry](#).
- *Solectro*. [¿Para qué sirven y cómo funcionan los diodos? - guía introducción a los diodos](#)
- *Área tecnología*. [Transistor](#).

8.2. Imaxes, figuras e fotografías

- Todos os esquemas foron elaborados pola autora.
- Nas imaxes, figuras e fotos noméase ao autor ou a aplicación de orixe ([Canva](#) en todos os casos). No caso de non figurar é porque foron deseñadas e implementadas pola autora.
 - Figura 1: compoñentes electrónicos. [Sinisa Maric](#). [Pixabay](#).
 - Figura 2:
 - Compoñentes electrónicos. [Sinisa Maric](#). [Pixabay](#).
 - Fotorresistor: 15 October 2016, *Arnau 944*. [Wikimedia Commons](#). [Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International](#)
 - Figura 3: resistencia. [Sinisa Maric](#). [Pixabay](#).
 - Figura 5: Cross section of a common 1/4 watt 5% axial leaded carbon film resistor, *TubeTimeUS*. [Wikimedia Commons](#). [Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International](#)
 - Figura 6: Cross-Section of a Carbon-film Resistor, *jjbeard*. [Wikimedia commons](#). [Public Domain](#).
 - Figura 7: Potentiometer. *lainf*. [Wikimedia Commons](#). [Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported](#)
 - *Figura 8*: Condensador de placas paralelas. [Wikimedia Commons](#). [Cepheiden](#). [Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported](#)
 - Figura 12: Condensadores variables. [Glenn](#). [Wikimedia Commons](#). [Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported](#)