

Introducció a la circulació i la tracció ferroviària



Document de suport.



**© Ferrocarrils
de la Generalitat de Catalunya**

Carrer dels Vergós, 44
08017 Barcelona

Generalitat de Catalunya
Departament de Territori
i Sostenibilitat

Edició electrònica, novembre 2020



Aquesta obra està subjecta a llicència
Creative Commons Reconeixement-
NoComercial-SenseObraDerivada 3.0
Espanya
(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/legalcode.ca>). Està permès de
reproduir-la, distribuir-la i fer-ne comunicació
pública, sempre que es faci sense afany de
lucre i que es reconegui explícitament l'autoria
de Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya.

Introducció a la circulació i la tracció ferroviària

Document de suport



Índex

Bases d'electricitat.....	7
Què és l'electricitat?.....	7
Corrent altern i corrent continu (AC/DC).....	7
Corrent continu.....	7
Corrent altern.....	8
Transformar un corrent en un altre.....	8
Magnituds, lleis fonamentals i aparells de mesura.....	9
La llei d'Ohm.....	9
L'efecte Joule.....	12
La potència elèctrica.....	12
Magnetisme i electromagnetisme.....	13
Nocions bàsiques.....	13
La inducció electromagnètica, electroimant i el relé.....	14
El motor elèctric: tipus, funcionament i parts fonamentals.....	16
Transformadors: principis i parts bàsiques.....	18
L'electricitat al ferrocarril.....	19
Línies de transport i subestacions de tracció.....	19
Concepte i tipus de línies.....	19
El circuit d'alimentació del ferrocarril.....	20
L'alimentació: el feeder i la catenària.....	20
El contacte: pantògrafs i seccionadors.....	23
El circuit de retorn.....	23
El tren. Tipus i parts fonamentals.....	25
Tren.....	25
Tipus.....	25
Parts fonamentals.....	31
Caixa.....	31
Bastidor.....	32
Bogi.....	32
Comportament sobre la via.....	34

Fonaments tècnics de circulació.....	37
Conceptes bàsics.....	37
Nocions de senyalització.....	37
Nocions d'enclavament i blocatge.....	38
Definició i funcions del blocatge.....	39
Blocatge manual (BML).....	39
Blocatge automàtic (BA): circuit de via, esquema i aplicacions.....	42
El Control de Trànsit Centralitzat (CTC).....	44
Sistemes de protecció automàtica: FAP, ATP i ATO.....	45



Introducció

L'objectiu principal d'aquest document és reunir els coneixements essencials que han de tenir-se en compte per a iniciar-se a la circulació ferroviària i facilitar-ne l'aprenentatge. Així, doncs, tractarem les nocions bàsiques sobre electricitat i els principals aparells i instal·lacions elèctriques del món ferroviari, els tipus de trens que existeixen i les seves parts més elementals, i els fonaments tècnics de circulació i instal·lacions de seguretat associats.

Aquest document es divideix en temes per tal de facilitar la seva comprensió i s'inclouen esquemes de continguts, gràfics sobre conceptes fonamentals i alguns casos d'ús reals sobre la organització i funcionament de Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya.

A continuació, doncs, veurem el detall de cadascun d'aquests aspectes i descriurem tots els elements que componen l'àmbit de la introducció a la circulació ferroviària.

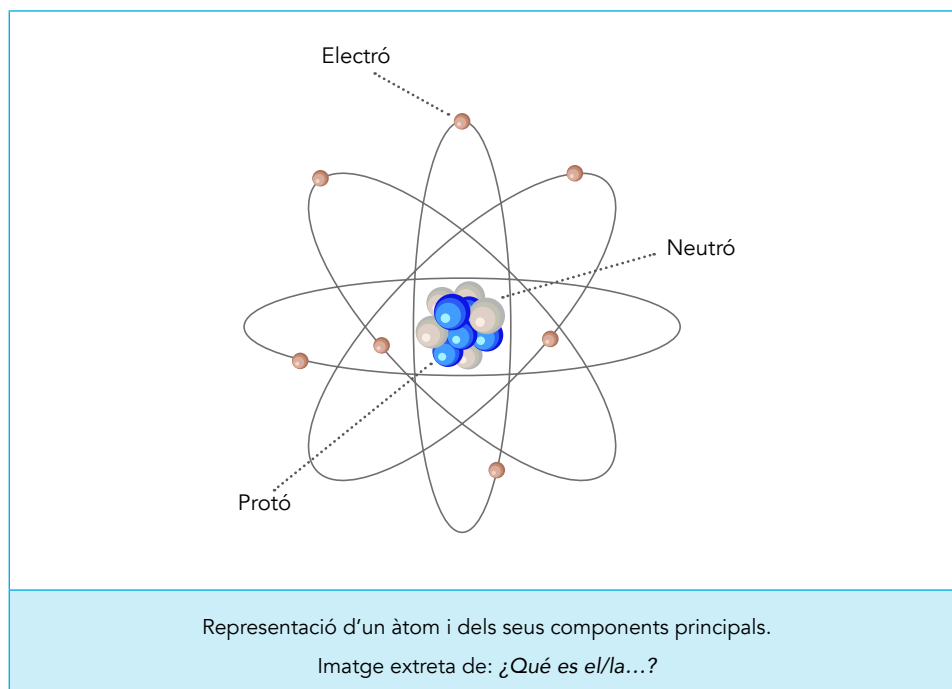
Capítol 1

Bases d'electricitat

Què és l'electricitat?

L'electricitat és una **forma d'energia** que es manifesta pel moviment dels electrons de les capes externes dels àtoms de la superfície d'un material conductor mitjançant forces d'atracció i repulsió.

Aquesta és una representació simplificada d'un àtom i els seus principals components:



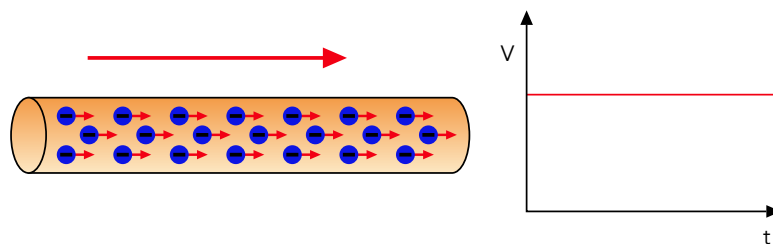
Corrent altern i corrent continu (AC/DC)

El corrent altern i el corrent continu són les dues formes en que es pot transmetre el corrent elèctric.

Corrent continu

En el cas del corrent continu, **la circulació d'electrons sempre té el mateix sentit**: de negatiu a positiu. Se sol designar el corrent continu amb les sigles DC (*direct current*, en anglès).

A la part esquerra de la imatge següent podem observar que el corrent va en una sola direcció. L'esquema de la dreta representa el nivell de tensió o voltatge (V; veure pàgina 9) al llarg del temps (t); la línia vermella horitzontal significa que el nivell de tensió és constant. Vegem-ho:



Circulació d'electrons en corrent continu i representació gràfica de la tensió en relació amb el temps. Voltatge constant.

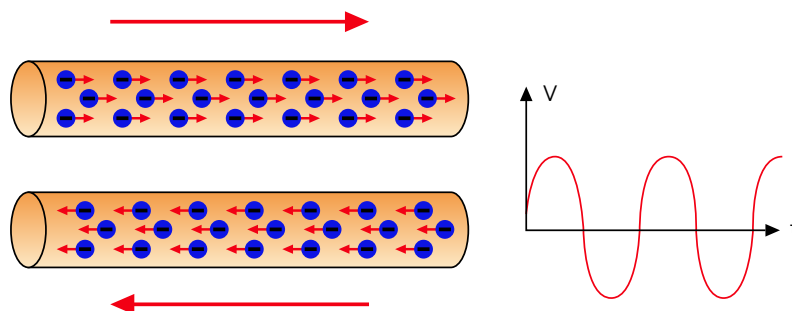
Imatge extreta de *Brushenko Blog*

<https://bruschenko-t3.blogspot.com.es/2012/02/corriente-continua-corriente-alterna.html>

Corrent altern

En el corrent altern **la circulació d'electrons canvia de sentit cíclicament** a una freqüència determinada, que normalment és de 50 vegades per segon (50 Hz). El corrent altern es designa amb les sigles AC (altern current, en anglès).

En aquesta imatge observem la doble direcció que adopta el corrent, a l'esquerra. A la dreta, tenim el mateix esquema que en la imatge prèvia, però en aquest cas el corrent adopta la forma d'una ona.



Circulació d'electrons en corrent altern i representació gràfica de la tensió respecte del temps. Voltatge en forma d'ona i canvi constant en el sentit de desplaçament dels electrons.

Imatge extreta de *Brushenko Blog*

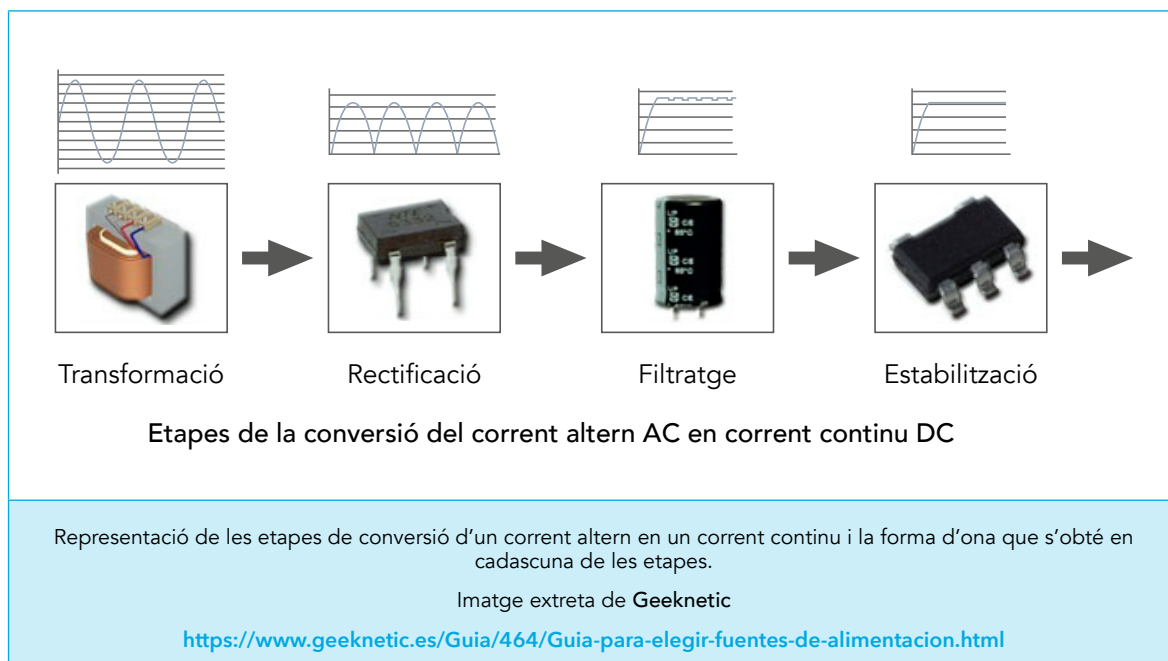
<https://bruschenko-t3.blogspot.com.es/2012/02/corriente-continua-corriente-alterna.html>

Transformar un corrent en un altre

Molts aparells necessiten corrent continu per funcionar, sobretot els que incorporen elements electrònics com ara televisors, ordinadors, equips d'àudio i de vídeo, etc.

Es pot convertir fàcilment el corrent altern en continu utilitzant transformadors que incorporen elements que rectifiquen, filtren i estableixen el corrent per adaptar-lo a les necessitats de l'aparell.

Un transformador treballa associat amb altres elements. Els podem veure a continuació en el següent gràfic:



La conversió del corrent elèctric continu en altern és més complex. Calen aparells electrònics com els **inversors o els onduladors**; són capaços de transformar una tensió de 12, 24 o 48 volts de corrent continu a una tensió de 230 volts de corrent altern.

Hi ha diferents tipus d'onduladors que s'adapten a les diferents necessitats. S'utilitzen, per exemple, per convertir la tensió contínua dels panells fotovoltaics.

Magnituds, lleis fonamentals i aparells de mesura

Anomenem magnituds, en aquest cas, a les característiques mesurables de l'electricitat, que ens permeten comprendre les lleis que expliquen com funciona, així com els instruments per a mesurar-la.

La llei d'Ohm

La llei fonamental que governa els circuits elèctrics és la **lleï d'Ohm**. Estableix que la diferència de potencial (és a dir, la tensió) entre dos punts d'un circuit és directament proporcional al corrent que circula pel conductor i la resistència que aquest ofereix.

La fórmula següent és l'expressió matemàtica de la llei d'Ohm:

$$V = I \cdot R$$

on V és la diferència de potencial o voltatge expressada en volts, I és la intensitat del corrent expressat en amperes i R la resistència expressada en ohms.



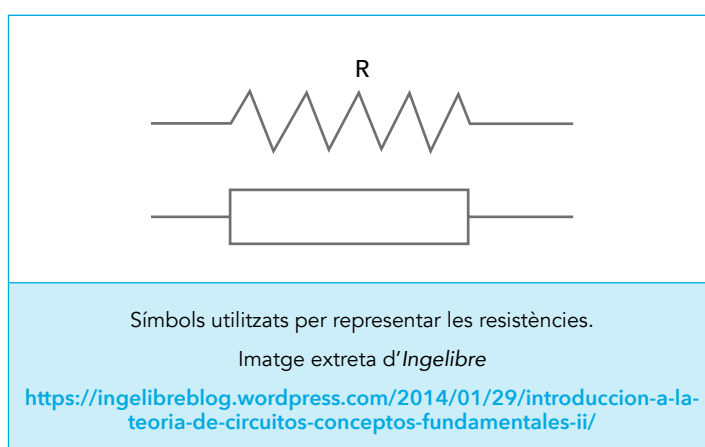
Anomenem **resistència** a una magnitud elèctrica i també els dispositius (és a dir, les peces o parts d'un circuit elèctric) que s'utilitzen per regular-la. Podem definir la resistència elèctrica com la dificultat que oposa un material a ser travessat per un corrent elèctric. Aquesta magnitud es mesura en ohms [Ω], i la lletra que designa aquesta magnitud és la R.

Els múltiples d'aquesta magnitud són :

$1 \text{ k}\Omega = 10^3 \Omega$; o el que és el mateix, $1 \text{ k}\Omega = 1 \text{ kilohm}$.

$1 \text{ M}\Omega = 10^6 \Omega = 10^3 \text{ k}\Omega$; o el que és el mateix, $1 \text{ M}\Omega = 1 \text{ megaohm}$.

El símbols que se solen utilitzar per representar la resistència són els següents:



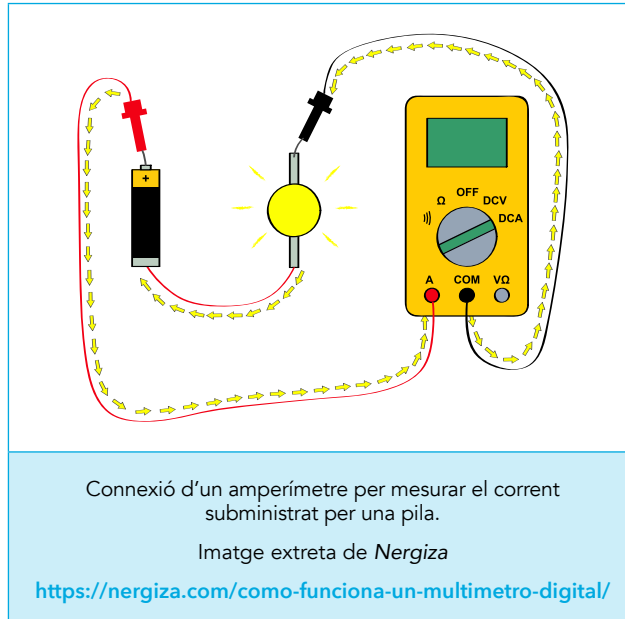
L'aparell que serveix per a mesurar la resistència en un circuit es denomina ohmnímetre. A la vida real, però, aquest i els següents aparells dels que parlarem s'integren en un de sol anomenat mulímetre o tester.

La **intensitat** és el cabal del corrent elèctric, és a dir, la quantitat d'electricitat que passa per un material conductor en un moment donat.

L'**amperímetre** és l'aparell que mesura la intensitat del corrent elèctric. La unitat de mesura de l'amperímetre és l'ampere (A).

Per tal de mesurar el corrent cal instal·lar-lo en sèrie amb el circuit, és a dir, com si fos una resistència més però molt petita (de 0,01 a 0,1 ohms) per no interferir en la mesura.

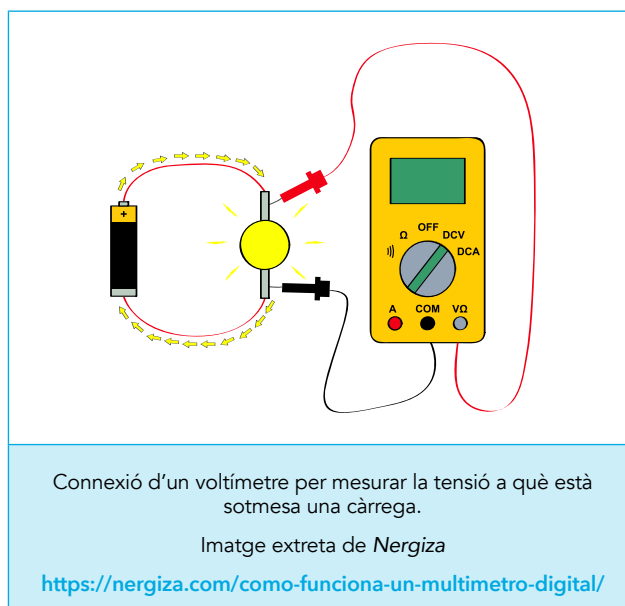
En la figura següent, un esquema molt senzill permet entendre com prendre una lectura amb l'amperímetre. El selector de roda se situa a la posició DCA, tal i com podem veure en el següent gràfic:



Per últim, definim la tensió com la diferència de potencial entre dos punts d'un circuit elèctric.

El **voltímetre** és l'aparell que mesura el voltatge, del qual la unitat de mesura és el volt (V). Per tal de mesurar la tensió, cal col·locar l'aparell en paral·lel sobre els punts sobre els quals volem fer la lectura. Cal que el voltímetre, a diferència de l'amperímetre, tingui una resistència interna molt elevada per interferir en la mesura.

La figura il·lustra la manera adequada d'utilitzar un voltímetre. En aquest cas, el selector de roda es posiciona en DCV.





En aquesta imatge podem veure els lectors de tensió en una unitat de tren.

L'efecte Joule

L'**efecte Joule** és el fenomen que es dona quan un corrent elèctric circula per un conductor i produeix calor. Això és degut a la interacció dels electrons transportats pel corrent elèctric amb els àtoms del material que constitueixen el conductor. És un efecte fonamental del corrent elèctric que s'utilitza en molts aparells i processos industrials, per exemple en els calefactores elèctrics, els soldadors, els assecadors...

La llei de Joule estableix que la quantitat d'energia calorífica produïda per un corrent elèctric és directament proporcional al quadrat de la intensitat del corrent i a la resistència que oposa aquest conductor al pas del corrent.

Aquesta és l'expressió matemàtica de la llei de Joule:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t$$

on Q és la quantitat de calor expressada en joules, I és la intensitat del corrent en amperes, R és la resistència en ohms i t és el temps en segons.

Moltes vegades, per evitar que els circuits elèctrics s'escalfin excessivament a causa de l'efecte Joule, s'instal·len resistències dissipadores de calor que absorbeixen l'excés de corrent i el transformen en calor, que se cedeix a l'ambient.

La potència elèctrica

Potència i energia són dos conceptes o magnituds íntimament relacionats.

Podem definir la **potència elèctrica** com la capacitat que té un receptor elèctric de transformar l'energia elèctrica en un altre tipus d'energia, com calor (calefactores), llum (bombetes) o energia mecànica (motors elèctrics), en un temps determinat. Una altra manera de veure-ho és pensar en la potència com el ritme de transferència de l'energia elèctrica en un circuit. La potència com a magnitud es designa amb la lletra P, i es mesura en watts (W). Se sol expressar també en kilowatts (kW), que és el múltiple que es troba amb més freqüència.

$$1 \text{ kW} = 1000 \text{ W}$$

Per exemple, una bombeta de 60 W generarà més llum que una de 40 W, i un motor de 10 kW genera més tracció mecànica que un de 5 kW.

Quan parlem de corrent continu, la potència s'expressa com el producte de la tensió per la intensitat del corrent. Expressada matemàticament, la fórmula quedaria així:

$$P=I \cdot V$$

on I és la intensitat del corrent en amperes, V és la diferència de potencial en volts i P és la potència en watts.

Parlar de potència elèctrica implica parlar d'energia elèctrica, ja que aquesta última és la responsable de generar el corrent elèctric gràcies a la presència d'un generador que proporciona una diferència de potencial. Podríem dir que **l'energia és la quantitat de potència que es consumeix en un temps determinat**. Aquesta magnitud es designa amb la lletra E , i se sol expressar en kilowatts per hora (kW/h).

Magnetisme i electromagnetisme

El magnetisme és un fenomen íntimament relacionat amb l'electricitat. Està a la base del funcionament de qualsevol aparell elèctric en moviment.

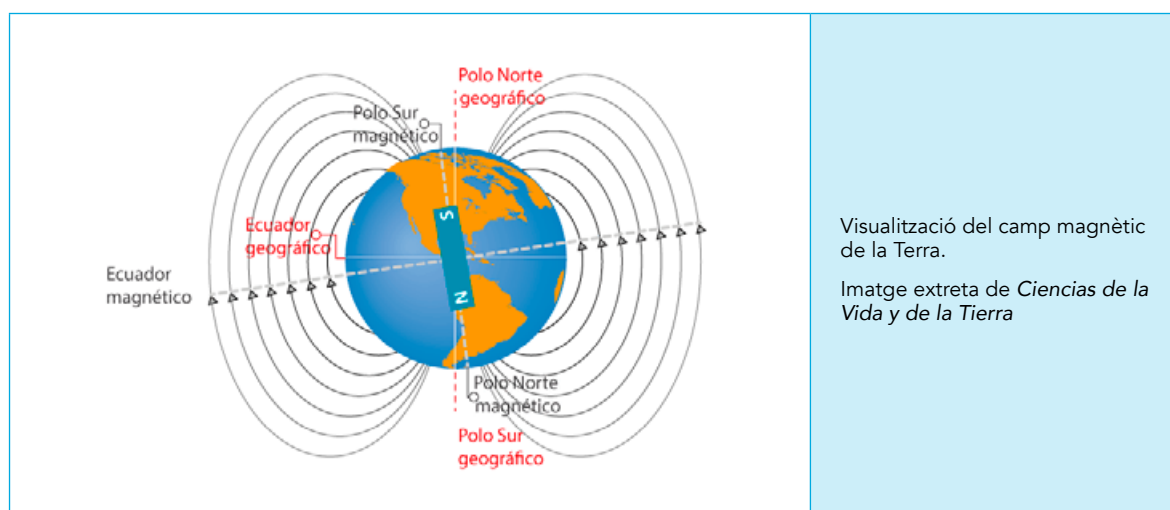
Nocions bàsiques

El descobriment del **magnetisme** es remunta a l'època dels filòsofs grecs, a una ciutat anomenada antigament Magnèsia (Grècia). Hi abundava un mineral negre capaç d'atraure objectes metàl·lics i de transmetre'ls aquesta propietat. Aquest mineral actualment es coneix amb el nom de magnetita (Fe_3O_4).

A la natura, a més de la magnetita, hi ha altres materials amb aquesta propietat, són els imants naturals. Però també hi ha altres substàncies com el ferro, el cobalt o el níquel, que poden adquirir aquesta propietat artificialment; són els anomenats imants artificials.

Un imant consta de **dos pols**, el nord i el sud, on es troba la màxima força d'atracció. La Terra actua com un gran imant, amb els pols magnètics propers als pols geogràfics, però no coincidents, ja que el pol nord magnètic no correspon amb el nord geogràfic. L'angle que comprèn el nord de l'agulla magnètica amb el nord geogràfic rep el nom de declinació magnètica.

A la figura següent pots observar on se situen els pols geogràfics i magnètics de la Terra.





L'**electromagnetisme** és la part de la física que estudia els camps electromagnètics que exerceixen forces sobre les partícules amb càrrega elèctrica i els efectes que aquestes partícules en moviment produeixen sobre els primers.

Cal tenir en compte que un camp magnètic pot actuar sobre una càrrega elèctrica, i que una càrrega elèctrica en moviment és capaç de crear també un camp magnètic. Com que el corrent elèctric és un conjunt de càrregues elèctriques en moviment, el corrent elèctric també és capaç de crear camps magnètics i de veure's afectat per altres camps magnètics. L'electromagnetisme estudia la força amb què es produeixen aquestes interaccions entre camps magnètics.

Aquestes forces s'anomenen forces electromagnètiques i, juntament amb la força de la gravetat, són les responsables de gairebé tots els fenòmens físics que es donen a la vida diària.

A la següent imatge s'observa un camp magnètic generat per un corrent elèctric.



Camp magnètic produït per un corrent elèctric que circula per una espira que actua sobre llimadures de ferro.

Imatge extreta de *Curso interactivo de Física*

http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/electromagnet/campo_magnetico/espira/espira_1.xhtml

La inducció electromagnètica, l'electroimant i el relé.

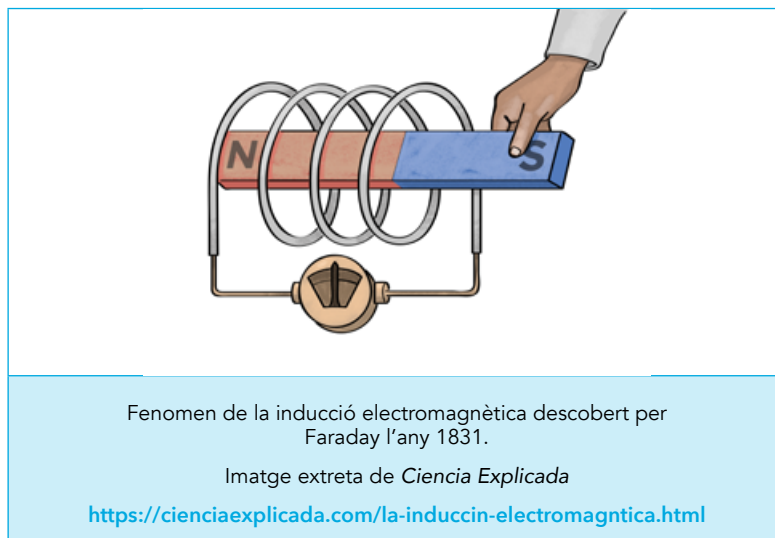
La **inducció electromagnètica** és el procés mitjançant el qual els camps magnètics variables són capaços de crear camps elèctrics i, per tant, corrents elèctrics.

Quan diem que un camp magnètic és capaç de crear un corrent elèctric en un conductor significa que apareix **una força electromotriu (anomenada FEM induïda)** que manté una diferència de potencial, de manera que les càrregues del conductor es mouen generant un corrent elèctric.

Un imant és capaç d'atraure o repel·lir electrons generant una força electromotriu, és a dir, un corrent elèctric. De la mateixa manera, un corrent elèctric pot generar un camp magnètic.

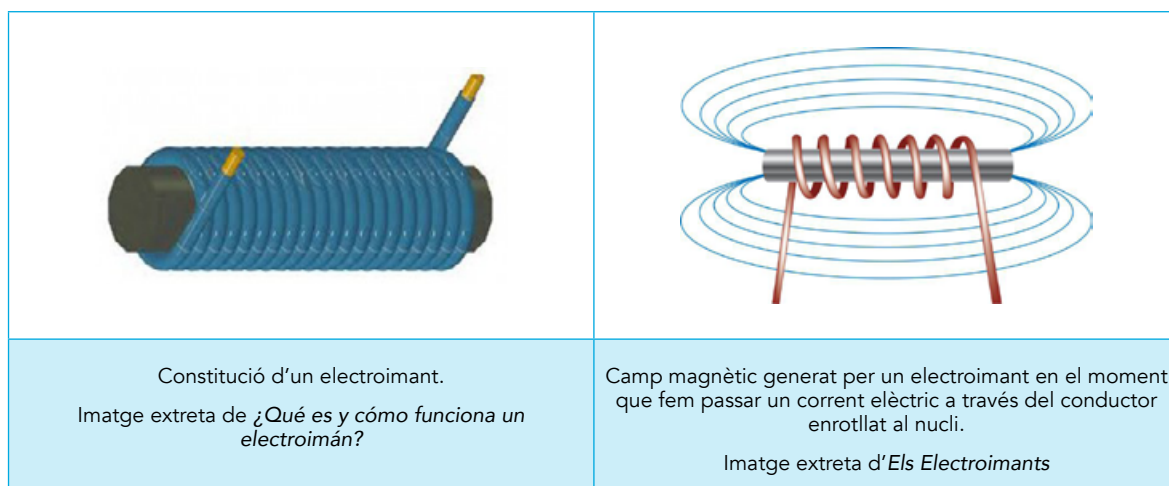
Aquest fenomen va ser descobert per **Michael Faraday** l'any 1831 mitjançant un experiment que consistia a moure constantment un imant a l'interior d'una espira de material conductor i observar que pel conductor circulava un corrent elèctric. L'imant portador del camp magnètic l'anomenem inductor i el corrent elèctric produït l'anomenem induït.

En la imatge següent pots veure l'experiment de Faraday, compost només per tres elements: imant, espiral de material conductor i un mesurador de corrent.



Un **electroimant** és un tipus d'imant artificial constituït per un nucli de material ferromagnètic (ferro o acer) sobre el qual s'enrotlla fil conductor. Si fem passar un corrent elèctric per aquest conductor, generem un camp magnètic i el nucli queda magnetitzat. Quan s'atura el corrent, desapareix el camp magnètic.

Les dues imatges següents il·lustren l'aspecte d'un electroimant i el camp magnètic que genera quan rep un corrent elèctric.

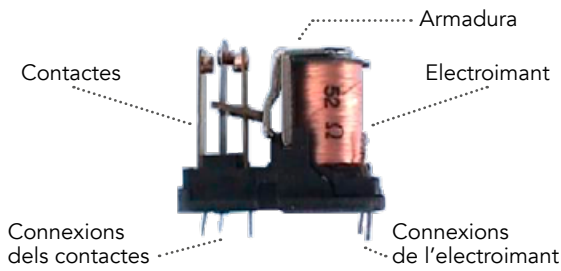
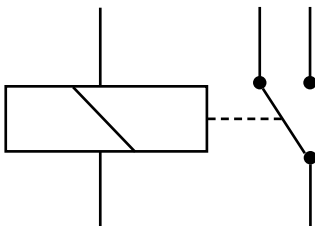


Els electroimants s'utilitzen àmpliament en l'àmbit industrial (per exemple en grues per al transport i reciclatge de ferralla). D'entre tots aquests usos industrials, ens interessa particularment l'aplicació en la fabricació dels relés.

El relé va ser inventat per Joseph Henry l'any 1835. Aquest dispositiu funciona com un interruptor controlat per un circuit elèctric. En un relé trobem, doncs, un electroimant que, en generar un camp magnètic, atrau i acciona uns contactes que té associats. Quan s'atura el corrent elèctric, desapareix el camp magnètic, i els contactes tornen a la posició original gràcies a l'acció d'una molla.



En les imatges següents podem veure clarament les parts d'un relé electromagnètic i el símbol que el representa en un esquema elèctric.

	
<p>Parts d'un relé electromagnètic.</p> <p>Imatge extreta del Blog d'Ariadna Almerich, <i>Electrònica</i></p> <p>http://electronicaariadna.blogspot.com/2014/03/questionari-rele.html</p>	<p>Símbol d'un relé amb un sol contacte commutat.</p> <p>Imatge extreta de <i>Wikipedia</i></p> <p>https://es.wikipedia.org/wiki/Rel%C3%A9</p>

El motor elèctric: tipus, funcionament i parts fonamentals

Un **motor elèctric** és un aparell que converteix l'energia elèctrica en energia mecànica mitjançant l'acció de camps magnètics generats a les seves bobines. És a dir, els motors elèctrics transformen l'energia elèctrica en energia de rotació en un eix que serà l'encarregat de transmetre el moviment.

Els motors elèctrics tenen multitud d'aplicacions. Per exemple, en ventiladors bombes, mitjans de transport elèctrics (al ferrocarril, sense anar més lluny) i fins i tot en unitats de disc d'ordinadors i altres dispositius electrònics.

Alguns motors elèctrics són reversibles, és a dir, poden actuar com a generadors de corrent (en aquests casos, l'energia mecànica es converteix en elèctrica) i com a motors.

Cas d'ús: Els motors elèctrics de tracció utilitzats en vehicles ferroviaris sovint fan les dues funcions.

Els motors elèctrics poden ser accionats per corrent continu o per corrent altern. En trobem de petits (com els que s'utilitzen en rellotges) i de grans (com els que impulsen trens o s'utilitzen en compressors de gran potència). Les possibilitats que ofereixen són moltíssimes i molt diverses.

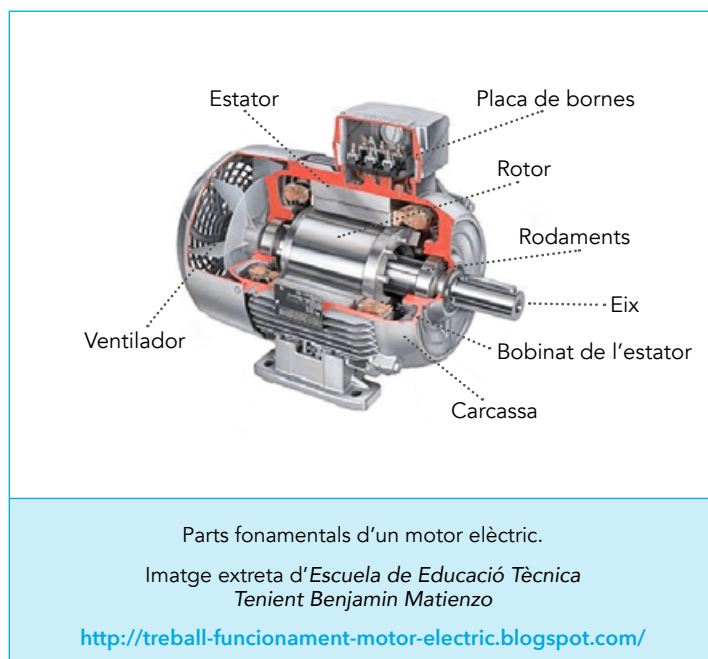
Aquests són només **tres exemples d'entre els molts tipus** i usos dels motors:

		
<p>Motor elèctric de corrent continu.</p> <p>Imatge cedida per FGC</p>	<p>Fig. 3.2. Motor elèctric d'un compressor.</p> <p>Imatge extreta de <i>Northern Tool+Equipment</i></p>	<p>Fig. 3.3. Motor elèctric de ventilació d'un ordinador.</p> <p>Imatge extreta d'<i>Aliexpress</i></p>

Tant els motors elèctrics de corrent continu com els de corrent altern funcionen per inducció electromagnètica. Un camp magnètic indueix (produeix) una força rotatòria sobre un conductor que transporta un corrent elèctric. Encara que el principi de funcionament sigui el mateix en uns motors i en els altres, les causes que produeixen la rotació són diferents. Les **parts fonamentals** d'un motor elèctric són les següents:

- Estator: és la part fixa de la màquina, la que no es mou.
- Rotor: és la part mòbil del motor, que gira dins de l'estator.
- Entreferro: és l'espai d'aire que separa el rotor de l'estator i que permet que hi pugui haver moviment. Aquest espai ha de ser el mínim possible.
- Carcassa: és la part que protegeix el motor.

En aquesta imatge pots observar aquestes parts del motor i d'altres també importants, com són l'eix, els rodaments i els borns.





Transformadors: principis i parts bàsiques

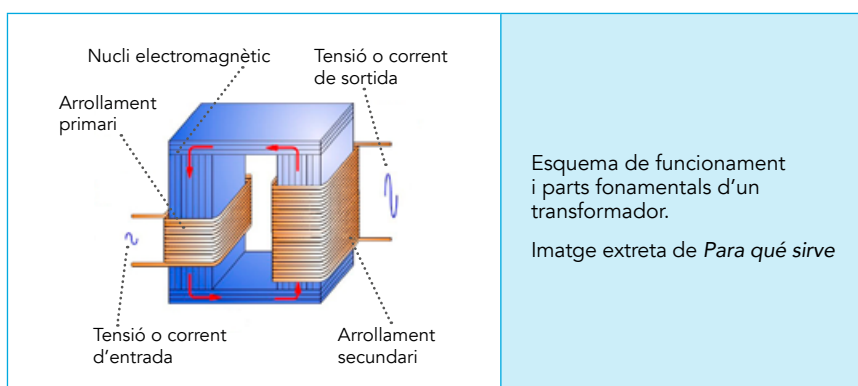
Un **transformador** és una màquina elèctrica estàtica (sense parts en moviment) d'inducció electromagnètica. Serveix per convertir una tensió o intensitat de corrent subministrat per una font de corrent altern en un corrent altern amb valors de tensió i intensitat diferents però de la mateixa freqüència. És a dir, els transformadors són uns aparells que converteixen energia elèctrica d'unes característiques en energia elèctrica amb unes altres característiques, i són una de les màquines elèctriques més eficients que existeixen.

Un transformador augmenta o disminueix la tensió (V) en un circuit de corrent altern sense variar la potència (W).

Un transformador consta generalment de **tres parts**:

- Un nucli de material ferromagnètic, que forma un circuit magnètic tancat.
- Un solenoide o debanament primari al qual s'aplica un corrent elèctric.
- Un solenoide o debanament secundari que proporcionarà un corrent elèctric de sortida. En alguns casos hi pot haver més d'un debanament secundari.

La figura que apareix a continuació representa el disseny bàsic d'un transformador.



Recopilatori d'idees principals:

- L'electricitat és una forma d'energia basada en l'atracció i la repulsió dels electrons de l'àtom.
- En el corrent continu (DC) els electrons circulen sempre en el mateix sentit; en el corrent altern (AC) el sentit canvia cíclicament.
- Les principals magnituds del corrent elèctric són la tensió (en volts), la resistència (en ohms), la intensitat (en amperes) i la potència (en watts).
- El multímetre és l'aparell que mesura aquestes magnituds en un circuit.
- Per mitjà de la inducció, els camps magnètics generen corrents elèctrics.
- L'electroimant i el relé són dues aplicacions importants de l'electromagnetisme.
- El motor converteix energia elèctrica en energia mecànica.
- El transformador modifica la tensió elèctrica d'un circuit sense variar la potència.

Capítol 2

L'electricitat al ferrocarril

L'energia elèctrica és una de les formes més eficients de moure un tren. Per aconseguir-ho, es crea un gran circuit amb nombroses parts dedicades a la seva alimentació, al transport de l'energia i a la protecció dels elements i de les persones.

Línies de transport i subestacions de tracció

El primer pas és portar el corrent elèctric de la xarxa a les instal·lacions ferroviàries. Per això es necessiten línies de transport i subestacions de tracció.

Conceptes i tipus de línies

Les **línies de transport** tenen la funció de transportar i distribuir la potència elèctrica generada a les centrals elèctriques fins a les subestacions de tracció ferroviària. Aquestes línies transporten grans tensions en corrent altern (en forma trifàsica) i s'utilitzen transformadors per reduir la intensitat del corrent per evitar l'efecte Joule i la pèrdua de potència. Aquests transformadors eleven molt la tensió i disminueixen la intensitat del corrent.

Les línies de transport elèctric es poden classificar en els grups següents:

- Primera categoria: tensió superior a 66 kV.
- Segona categoria: tensió entre 30 i 66 kV.
- Tercera categoria: tensió entre 1 kV i 30 kV.

Les línies d'alta tensió a les quals ens referim són com les que s'observen en aquesta imatge.



Línies de transport d'alta tensió.

Imatge extreta de Wikipedia

https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_power_transmission

Una **subestació de tracció** transforma i adapta la tensió proporcionada per la línia trifàsica de transport a les condicions de funcionament dels elements del circuit energètic del ferrocarril (veure pàgina 20).



Hi ha dos tipus de subestacions de tracció: les subestacions de tracció en corrent altern (redueixen la tensió d'entrada a la d'alimentació dels trens) i les subestacions de tracció en corrent continu (transformen un corrent altern en un corrent continu).

La principal diferència entre les dues és que les subestacions de tracció en corrent continu necessiten uns elements rectificadors per tal de poder transformar el corrent altern trifàsic en corrent continu.

Cas d'ús: En el cas de Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya les subestacions de tracció donen corrent continu i transformen una tensió de 66 kV AC a 1,5 kV DC.

Les subestacions de tracció tenen l'aspecte que pots veure en aquesta imatge.



Subestació de tracció d'FGC.
Imatge cedida per FGC.

El circuit d'alimentació del ferrocarril

Per tal que l'energia elèctrica faci moure els trens és necessari fer que el corrent elèctric arribi fins als vehicles motrius i es tanqui el circuit. S'aconsegueix amb els elements que presentarem en els següents punts.

El conjunt d'elements formats per subestació de tracció i de catenària i el feeder, la unitat de tracció del propi tren i les vies conformen un circuit elèctric.

L'alimentació: el feeder i la catenària

El **feeder** ("alimentador") és un cable elèctric que acompanya la via i alimenta els trams de catenària (ho veurem més endavant). Aquests trams estan aïllats els uns dels altres, de manera que, en cas d'actuacions de manteniment, sigui possible aïllar una zona de la via sense afectar la via sencera.

Hi ha **diverses tipologies de feeder**:

El *feeder* positiu és el conductor principal que subministra la potència elèctrica al tren. Està situat a la part inferior de la catenària i fa contacte amb el pantògraf del tren (veure més endavant).

El *feeder* d'acompanyament és un conductor secundari instal·lat paral·lelament al *feeder* positiu, a la part superior de l'estructura que suporta la catenària. Està connectat al *feeder* positiu cada certa distància i té com a funció principal alimentar el conductor principal i compensar els pics de demanda elèctrica, de manera que es garanteix un subministrament constant.

A les següents imatges podem veure la distribució dels *feeders* en una catenària.



Feeders d'una catenària de la xarxa d'FGC.

Imatge cedida per FGC.

Anomenem **catenària** a l'estructura (línia aèria i suport) que serveix per alimentar elèctricament les unitats de tracció del ferrocarril. La tensió d'alimentació varia entre els 600 V i els 3 kV en corrent continu i entre els 15 i els 25 kV en corrent altern.

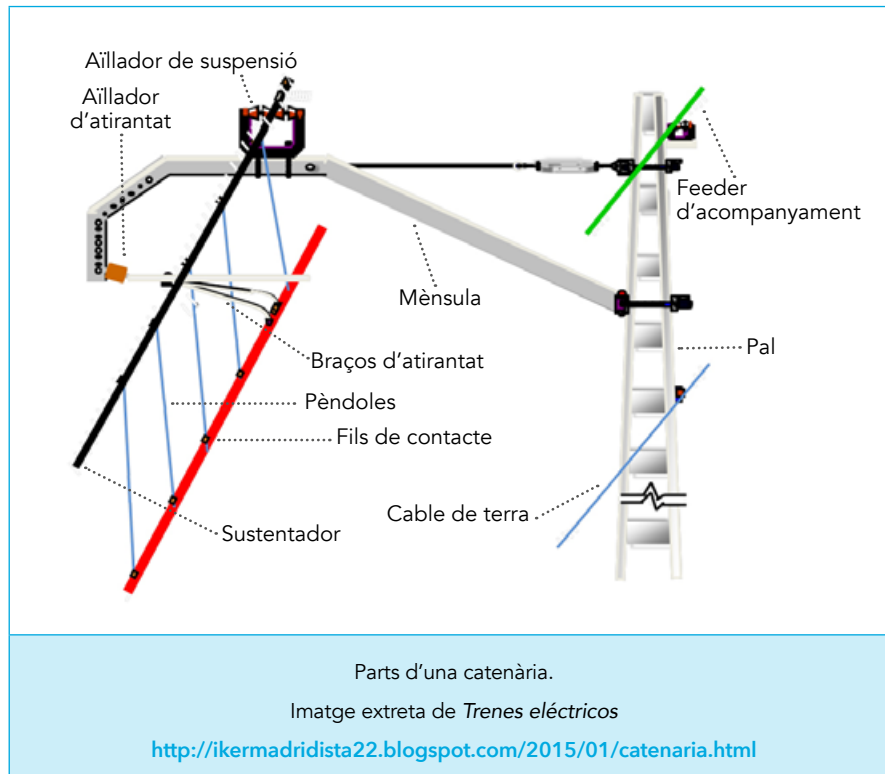
El pol positiu de la instal·lació és la mateixa catenària i el pol negatiu o de retorn són els carrils sobre els quals circula el tren.

Hi ha **dos tipus de catenàries**:

- Catenària flexible, transporta l'electricitat a través d'un cable.
- Catenària rígida, que transporta l'electricitat a través d'un carril rígid.

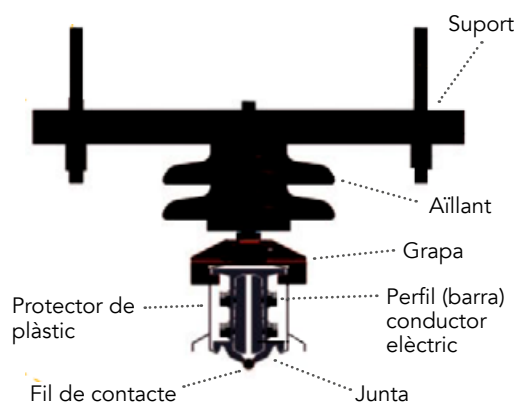
Cas d'ús: En el cas de Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya, la catenària proporciona una tensió de 1500 V en corrent continu.

En la figura següent s'observa la ubicació i **les parts de la catenària convencional**.



La mènsula és el braç que surt del pal i subjecta la catenària. Els aïlladors (formats per materials ceràmics) protegeixen el pal que subjecta l'estructura electrificada. Les pèndoles uneixen el cable portador amb les línies o fils de contacte (el *feeder*), que són les que fan el contacte amb el pantògraf del ferrocarril. El braç d'atirantat aguanta el fil de contacte de manera que defineix el traçat de la catenària sobre la via en forma de lleus ziga-zagues per a repartir el desgast del fregament sobre els pantògrafs.

La **catenària rígida** és una senzilla estructura amb forma de carril invertit que té el fil de contacte encastat. Igual que la catenària convencional hi ha aïlladors. Si la catenària convencional descriu ziga-zagues per repartir el desgast sobre la superfície del pantògraf, la planta de la catenària rígida té forma sinusoidal.



El contacte: pantògrafs i seccionadors

El **pantògraf** és un dispositiu que es troba situat a la part superior del vehicle ferroviari. Té com a funció realitzar el contacte elèctric amb la catenària.

Per tal que sempre hi hagi bon contacte amb la catenària hi exerceix una pressió d'entre 50 i 120 newtons de força.

El pantògraf que més s'utilitza és el de braç articulat amb la ròtula, i els materials més utilitzats en la construcció dels fregadors dels pantògrafs (punt de contacte amb la catenària) són el grafit, l'alumini i el coure.



Els **seccionadors de línia** són mecanismes per a l'apertura i el tancament de circuits o instal·lacions elèctriques. La principal funció d'un seccionador és tallar o aïllar una zona de la instal·lació i fer que no hi passi cap corrent elèctric, ja sigui per protegir la instal·lació o perquè es duguin a terme operacions de manteniment de la línia.

No és un element que protegeixi la instal·lació de pujades de tensió o de corrent. En canvi, és **molt útil per als treballadors** que fan el manteniment, ja que a simple vista es pot veure si el seccionador està obert o tancat.

A les tasques de manteniment és fonamental per a la seguretat dels treballadors confirmar que el seccionador està obert i no permet el pas del corrent elèctric a la zona de treball.

Aquest és l'aspecte d'aquest mecanisme.



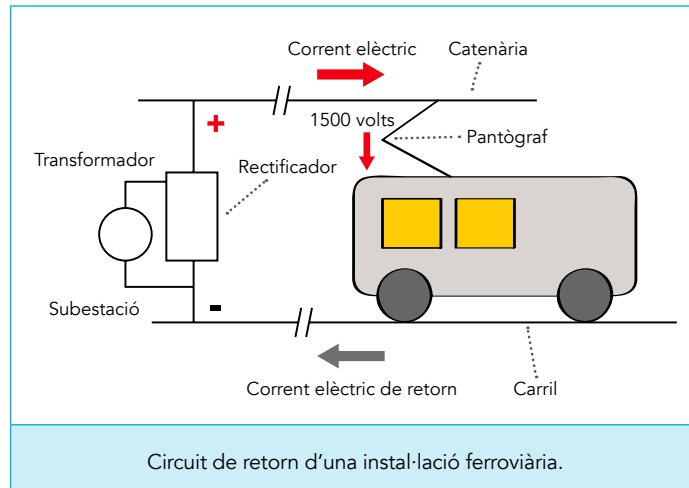
Seccionador de línia.
Imatge cedida per FGC.

El circuit de retorn

Com el seu nom indica, el **circuit de retorn** o negatiu és el circuit per on el corrent elèctric tornarà a les subestacions de tracció després d'haver alimentat els motors del tren. Aquest circuit de retorn es realitza a través d'una de les vies i en alguns casos a través d'un *feeder* negatiu.



Aquest esquema representa el recorregut complet del corrent i el seu retorn cap a la subestació de tracció.



Recopilatori d'idees principals:

- A FGC, l'energia elèctrica arriba en alta tensió alterna a les subestacions de tracció, on es transforma en contínua.
- El feeder és el cable d'alimentació que porta el corrent per la catenària.
- La catenària és l'estructura que alimenta al tren d'energia elèctrica al llarg del recorregut".
- El pantògraf és l'element de contacte entre el feeder i la unitat tractora.
- El circuit elèctric que alimenta el tren es compon del feeder, la catenària, el pantògraf, el motor elèctric i la via. Tot això està alimentat per la subestació elèctrica.

Capítol 3

El tren, tipus i parts fonamentals

Tren

Per **tren** entenem un conjunt de vehicles que es desplacen units per la via fèrria o estan en disposició de fer-ho. El tren és governat (conduït) per un maquinista. Els moviments que no surtin d'una estació o es dirigeixin a apartadors pròxims (fàbriques, mines, tallers, etc.) sense arribar a l'estació següent es denominen **maniobres**.

Tipus

Pel tipus de tracció parlem de trens elèctrics, dièsel o de vapor.



Locomotora elèctrica.



Locomotora dièsel.



Locomotora de vapor.

Per la seva composició els classifiquem en trens de material convencional, automotors i unitats de tren.

Parlem de **material convencional** en trens formats per una locomotora que remolca cotxes, vagons, furgons o una barreja ja que tots són compatibles. Són la típica imatge d'un tren.



Tren convencional.

Els **automotors** són vehicles ferroviaris destinats majoritàriament al transport de viatgers (tot i que també n'hi ha que són furgons, usats per a dur correu o paqueteria) que tenen tracció pròpia, això és, no necessiten ser remolcats perquè tenen tot l'equipament necessari per a funcionar de manera autònoma: motors, producció d'aire comprimit per a frens i equips auxiliars i cabines de conducció; alhora poden arrossegar trens tot i que amb menys prestacions que una locomotora (pesen menys i tenen menys potència).



Automotor sèrie 540 dels ferrocarrils suïssos circulant aïllat.



Automotor sèrie 540 dels ferrocarrils suïssos remolcant cotxes de viatgers.

Per **unitat de tren** (d'ara en endavant UT) s'entén un conjunt de vehicles que circulen indefectiblement units. El cas més evident el trobem en ferrocarrils metropolitans o de rodalies, tot i que aquesta formació també es fa servir sovint per a circulacions de mitja i llarga distància. Aquestes composicions són una unitat indeformable (els cotxes motors i remolcs que la componen només es poden separar als tallers). Els equips de tracció, producció d'aire comprimit i auxiliars solen estar repartits entre els diferents cotxes per a aprofitar l'espai que hi ha sota el bastidor. Per exemple, al cotxe motor hi ha els equips de tracció i al remolc els de producció d'aire comprimit i el convertidor estàtic que dona baixa tensió per a enllumenat i control.



Unitat 213 de la línia Llobregat Anoia.

Les UT, enteses com a conjunt indeformable, es poden acoblar entre sí per a tenir més capacitat en determinades circulacions. Aquest és el cas que podem veure a la imatge següent, dues UT sèrie 213 que circulen acoblades i conduïdes per un únic maquinista ja que les ordres dels comandaments de la cabina ocupada passen d'una UT a l'altra.



Dues UT sèrie 213 acoblades.

Per l'ús que se'n dona es classifiquen en trens de viatgers, de mercaderies, mixts (mercaderies i viatgers) o de treballs (vehicles especials per al manteniment de la via fèrria, la catenària, etc).



Tren de viatgers.



Tren de mercaderies.



Tren mixt.



Tren de treballs.

Parts fonamentals

Caixa

La caixa és el cos del vehicle, és l'estructura dins la qual s'acomoden els viatgers, es dispositen les mercaderies per al viatge o, en el cas de les locomotores, hi ha la sala de màquines.



Caixa.



Bastidor

El bastidor és l'estructura sobre la què reposa la caixa. A la fotografia veiem un vagó porta-contenidors que no és altra cosa que un bastidor preparat per circular sense caixa (només té els ancoratges per als contenidors, de color groc).



Vagó porta-contenidors.

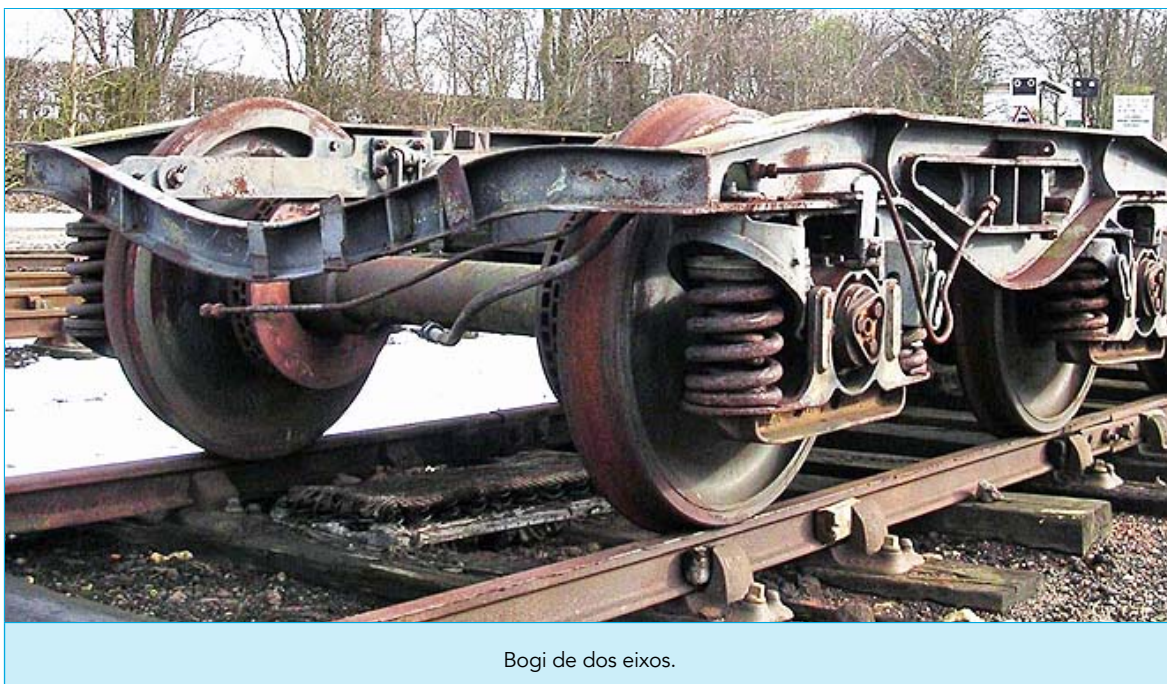
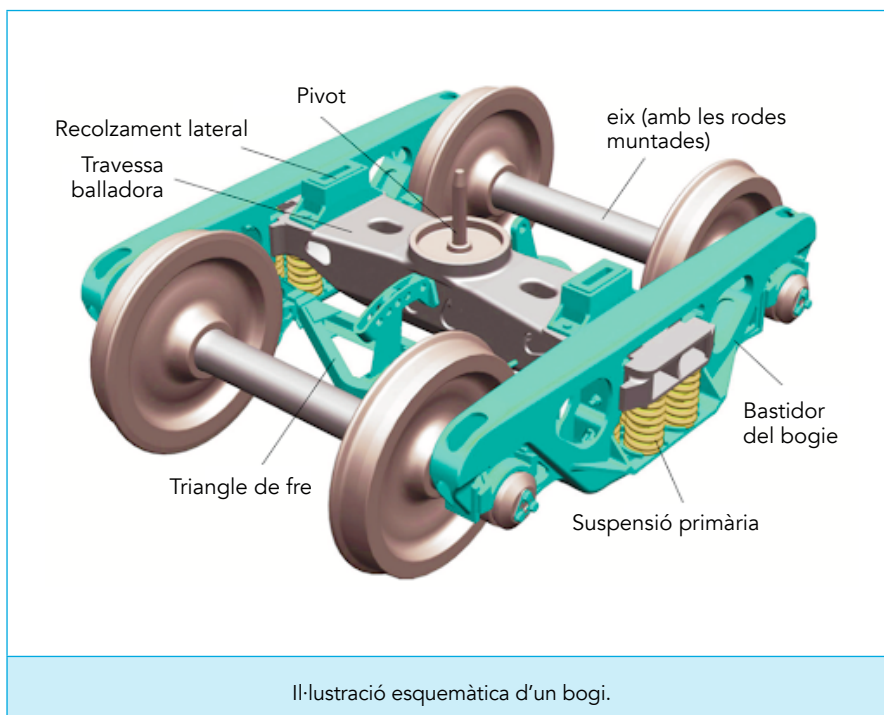
Bogi

A la fotografia anterior hem vist un vagó de dos eixos. Cada conjunt de rodes eix rodaments i suspensió està fixat al bastidor. En vehicles més grans, més llargs i pesats, trobem dos inconvenients:

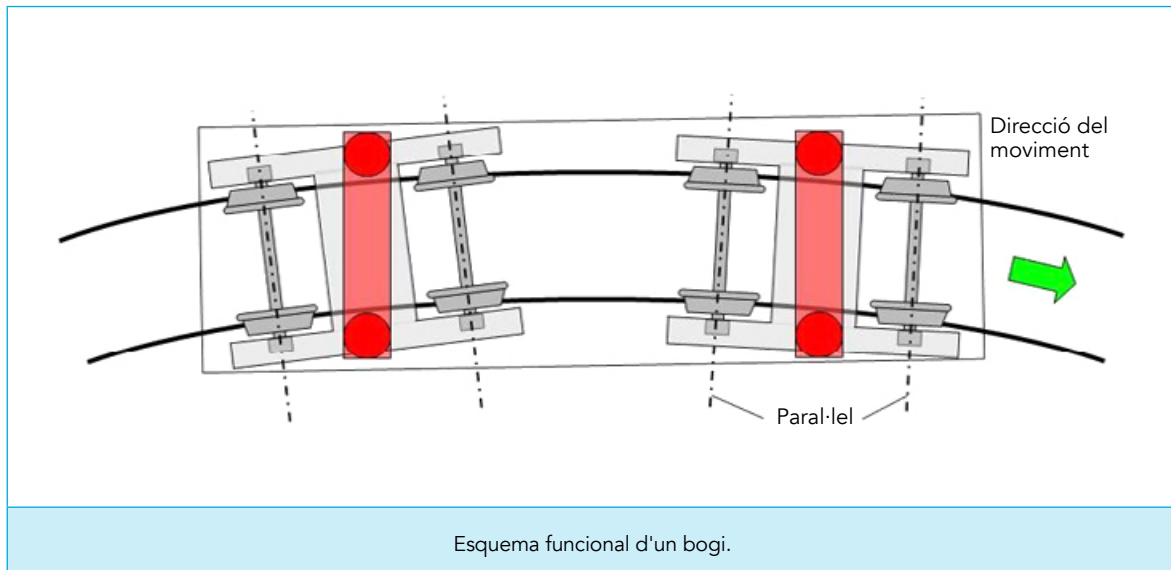
1. Un vehicle més llarg tindria problemes per agafar els revolts
2. Cal repartir un pes més gran sobre la via, per tant calen més eixos. La solució és el bogi.



Vagó de Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya, de la línia Llobregat - Anoia, sobre dos bogis.

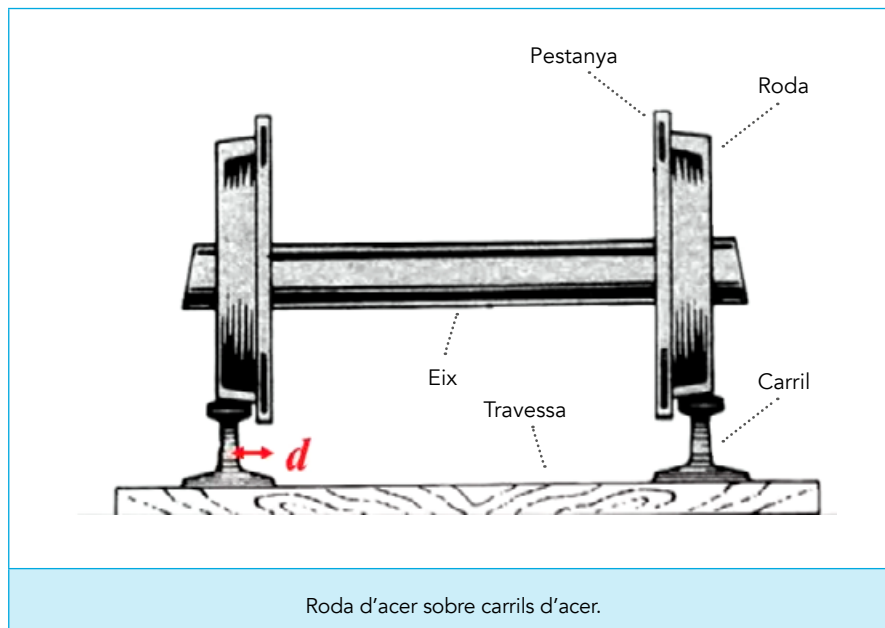


Denominem bogi a una mena de bastidor la funció del qual és formar un conjunt de dos o tres eixos (en parlar d'eixos se sobreentén el conjunt de l'eix amb una roda a cada extrem) amb els òrgans corresponents de suspensió, fre i, donat el cas, també hi poden haver els motors elèctrics de tracció. Aquesta estructura se situa sota el cotxe, vagó o locomotora -un a cada extrem- i en ser articulada respecte al bastidor permet una fàcil inscripció a les corbes.



Comportament sobre la via

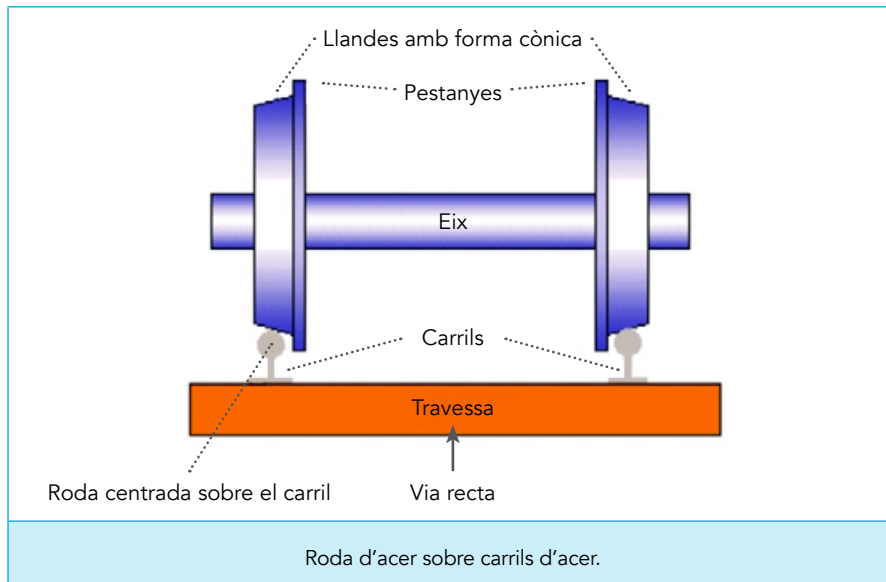
Vista la caixa, el bastidor i el bogi, només ens falta veure com es comporta el conjunt de cada parell de rodes amb el seu eix. Aquí veurem com es guia el tren i l'adherència.



Suposem que en conduir un cotxe per la carretera es desinfla la roda del davant a la dreta. Què passarà? Si mantenim el volant recte el cotxe es desviarà cap a la dreta. Si es desinfla la de l'esquerra el cotxe se n'anirà cap a l'esquerra. Per què? Perquè en desinflar-se un pneumàtic la roda redueix el seu diàmetre respecte la de l'altre costat. L'assimetria fa que la trajectòria del vehicle no sigui rectilínia.

Les rodes dels trens tenen forma de tronc de con. Les rodes no van mil·limètricament encaixades als carrils sinó que tenen un cert joc. El conjunt rodes-eix, doncs, va oscil·lant de costat a costat. Dit això: si l'eix està cap al costat esquerre el punt de contacte entre la roda de l'esquerra i el carril

tindrà un diàmetre superior que el del punt de contacte de la roda dreta. Així l'eix es mourà cap a la dreta. Ara passa que, mesurat des del punt de contacte roda-carril, la roda dreta té més diàmetre que l'esquerra de manera que les rodes i l'eix deriven cap a l'esquerra. Aquest fenomen que manté els trens sobre la via és el que es denomina **moviment de llaç**.



Cada roda suporta una massa de 7, 10 o 15tm (en via estreta són normals valors de 15tm per eix; en via normal és habitual trobar càrregues de 20tm per eix o més). Donat que en suportar aquestes masses les superfícies d'acer de les rodes i els carrils es deformen lleugerament, la superfície de contacte entre la roda i el carril té una mida no superior a una moneda d'un euro. Aquestes magnituds condicionen l'adherència entre aquests dos elements.

Recopilatori d'idees principals:

- Els trens es poden classificar per tipus de tracció (elèctrics, dièsel, de vapor), per tipus d'ús (de viatgers, mercaderies, mixt o de treballs) i per configuració (material convencional, automotor i unitat de tren)
- Els tres elements fonamentals d'un vehicle ferroviari són la caixa, el bastidor, el bogi i les rodes.
- El bogi és una estructura que agrupa dos o tres eixos per a fer possible el gir dels vehicles ferroviaris.
- Per la seva configuració, el conjunt rodes-eix descriu un moviment lateral oscil·lant sobre la via anomenat moviment de llaç.



Capítol 4

Fonaments tècnics de circulació

Conceptes bàsics

Abans de començar a exposar els principals elements de la circulació dels trens és fonamental tenir clars alguns **conceptes bàsics** que s'empren constantment en aquest àmbit. Anem a veure'ls.

Denominem "tren" a un conjunt de vehicles que es desplacen units entre sí. Un tren és susceptible de ser dividit de forma voluntària o accidental.

Un tren és guiat per la via, no en pot sortir (donat el cas seria un descarrilament i el tren no podria funcionar). Cal destacar, doncs, que els vehicles ferroviaris no tenen la possibilitat d'apartar-se de la via tal com es fa a la carretera.

Tant les rodes del tren com els carrils de la via són dues superfícies metàl·liques llises. Gràcies a aquesta característica la resistència a l'avanç és petita. Això facilita desplaçar grans masses amb una potència relativament reduïda. Per contra, conseqüència d'aquesta poca adherència és una distància de frenada llarga, és a dir, que es necessita bastant temps i espai per poder aturar un tren amb seguretat. Aquest factor condiciona la senyalització.

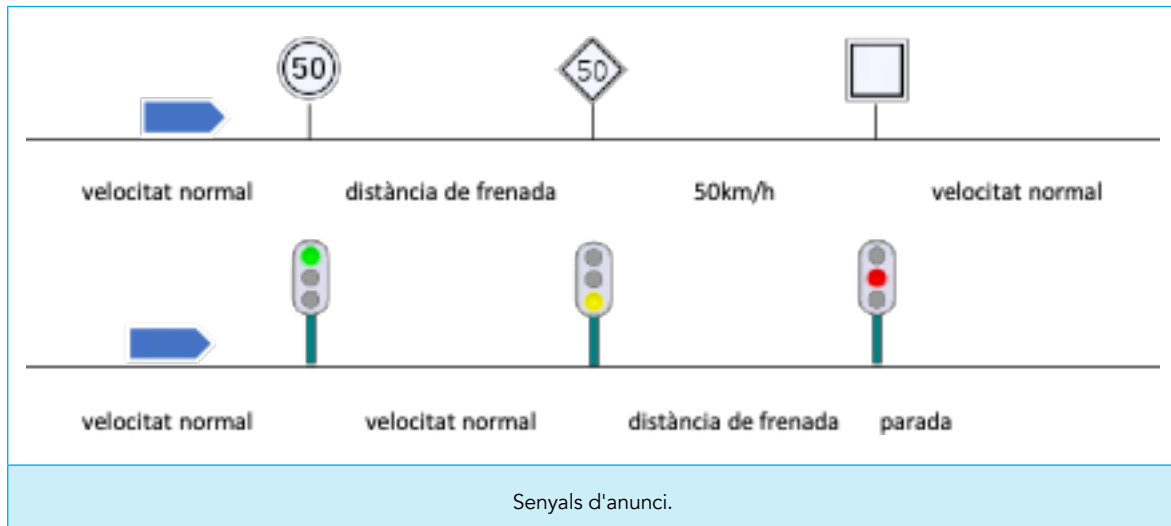
La distància de frenada depèn de diversos factors tals com la velocitat, la massa total del tren i el perfil de via; pot superar un kilòmetre de distància.

Nocions de senyalització

Per la gran distància de frenada que necessita un tren, les ordres dels senyals s'han de donar amb prou antelació per a poder ser executades correctament. Per aquesta raó existeixen senyals d'anunci i senyals executius.

Els **senyals d'anunci**, com el seu nom indica, adverteixen al maquinista de la presència d'altres senyals. Són imprescindibles quan cal ordenar condicions més restrictives de les que circula un tren, això és, una reducció de velocitat o una parada per causa del bloqueig; les parades prescrites a les estacions estan indicades als llibres d'itineraris i s'han de complir encara que els senyals permetin el pas.

Contràriament, si es passa d'unes condicions restrictives a unes altres que no ho són tant, no calen els senyals d'anunci; per exemple: un tren que circula per una limitació a 50km/h no trobarà cap senyal d'anunci si la limitació següent és de 70km/h. Els senyals de parada (vermell) també s'anuncien a distància per un senyal d'anunci de parada (groc).



Per altra part, s'anomenen **senyals executius** aquells que marquen el punt a partir del qual cal complir les ordres rebudes, és a dir, que indiquen el moment d'executar l'ordre anunciada amb anterioritat. A l'esquema anterior, el senyal alfanumèric romboidal i el senyal lluminós en vermell serien els senyals executius.

Independentment del sistema de bloqueig, la seqüència de senyals que es presenta al maquinista sempre ha de ser coherent amb aquests principis.

Nocions d'enclavaments i bloquejos

Tal com s'ha vist al manual de Fonaments tècnics i d'explotació, per tal d'evitar errors humans i com a eina per a controlar els moviments a les estacions hi ha els **enclavaments**. Els enclavaments són dispositius de control que coordinen l'accionament de tots els aparells de via i senyals de la pròpia estació de manera que impedeixen l'autorització de moviments incompatibles (entrada a l'estació, sortida o maniobres), això és, els que tenen risc de col·lisió entre dos trens o de descarrilament.

Originalment, els enclavaments eren purament mecànics; una xarxa de palanques i cables situats dins d'una cabina a cada estació. Avui s'utilitzen més els **sistemes elèctrics** (sistemes de relés, veure pàgina 14) i **electrònics**.



Definició i funcions del blocatge

Les **tres funcions essencials** del blocatge pel control de la circulació ferroviària son:

- Assegurar la integritat dels trens.
- Establir el sentit de la circulació.
- Mantenir els trens a distància entre si.

Per tal d'assegurar aquestes tres funcions la via es divideix en seccions; aquestes seccions s'anomenen **cantons de blocatge**. El cantó de blocatge és cadascuna de les seccions de via que només pot ser ocupada per un tren. L'accés dels trens als cantons que ha de recórrer és regulat pel personal de circulació gràcies a la senyalització associada als diferents sistemes de blocatge i als enclavaments.

El blocatge assegura la integritat dels trens en circulació. Tal com hem vist, un tren és un conjunt de vehicles que circulen units i que és susceptible de ser dividit de manera voluntària o accidental; per això, abans de considerar lliure un cantó de blocatge és inexcusable de comprovar que el tren n'ha sortit sencer. Així s'evita que part d'un tren ocupi accidentalment un cantó de blocatge.

El blocatge estableix el sentit de circulació per una via entre dos punts on els trens es puguin apartar de la via general i, donat el cas, creuar amb d'altres (estacions o apartadors). El tren és guiat per la via, no en pot sortir, no es pot apartar tal com ho faria un cotxe de la carretera. D'aquesta manera s'evita que dos trens circulin per la mateixa via en sentits contraris. Llevat que hi hagi una autorització expressa, **els trens tenen rigorosament prohibit retrocedir**.

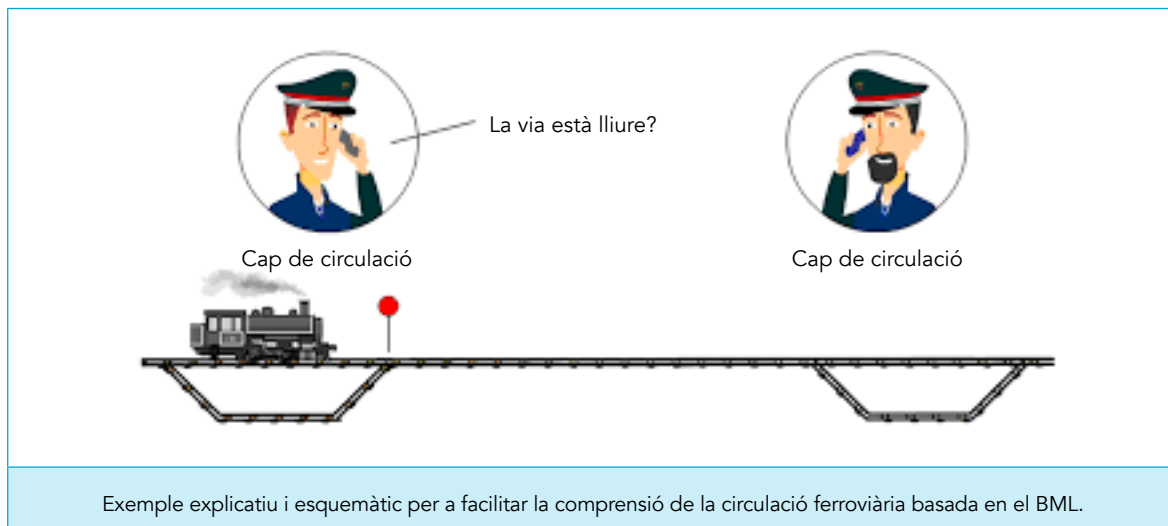
El blocatge manté els trens a prou distància els uns dels altres perquè un no pugui atrapar el que li va al davant. La longitud d'un cantó de blocatge mai no ha de ser inferior a la distància de frenada per tal que un tren es pugui aturar abans d'entrar a un cantó ocupat. La superfície dels carrils i de les rodes dels trens és llisa; gràcies a això un tren té poca resistència a l'avanç i pot desplaçar masses molt grans en relació a la seva potència. L'inconvenient és que aquest factor obliga que la potència tant de tracció com de frenada no ultrapassi el llimitar a partir del qual es perd l'adherència entre la roda i el carril. La conseqüència d'això és que un tren necessita una distància considerable per a aturar-se.

Blocatge manual. (BML)

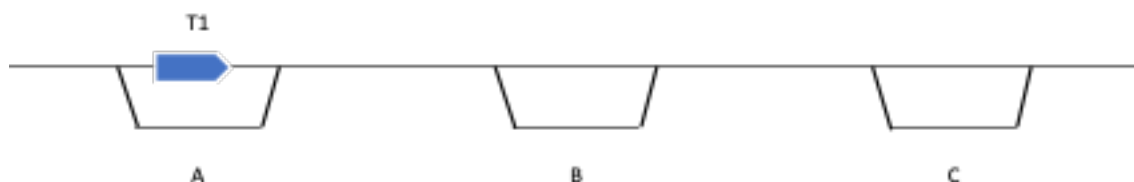
El **Blocatge Manual Local (BML)**, també conegut amb el nom de blocatge telefònic, és un dels sistemes més antics que hi ha. El seu funcionament és la base sobre la qual s'han desenvolupat els principis de tots els blocatges que han aparegut posteriorment. Actualment es fa servir com a blocatge de socors per avaria del Blocatge Automàtic (BA) o en línies en què no s'ha arribat a instal·lar el BA.

En BML **el control de la circulació és estrictament visual**, no hi ha cap aparell que detecti la ubicació dels trens; les estacions s'han de posar d'acord per enviar-se els trens, això és, per a ocupar i alliberar els cantons entre elles; són els agents de circulació els que han d'observar els trens per tal de comprovar que surten sencers dels cantons de blocatge per assegurar-se del seu alliberament; totes les comunicacions queden enregistrades per escrit.

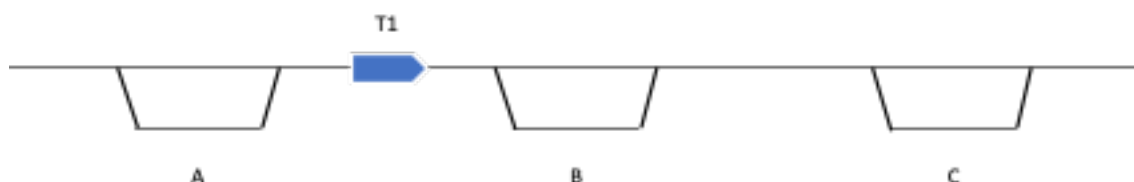
A continuació s'exposa un exemple explicatiu i esquemàtic per a facilitar la comprensió de la circulació ferroviària basada en el BML.



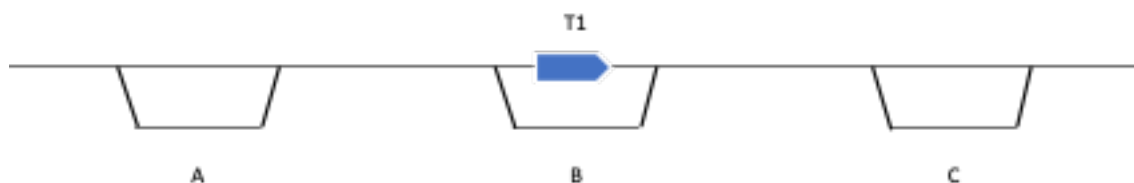
Suposem les **estacions A, B i C** per les que ha de circular el **tren T1**.



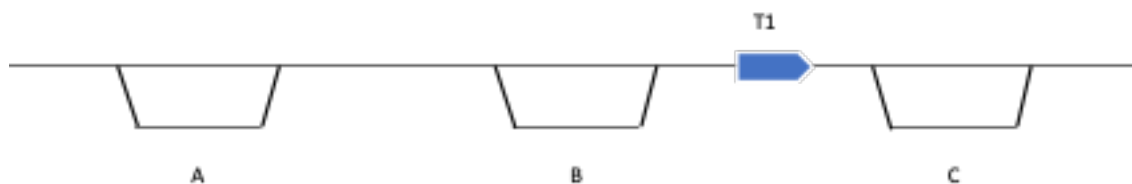
En BML els cantons de bloqueig estan delimitats per les estacions consecutives on hi hagi personal de circulació, el que denominem com a "**estacions col·laterals**". En aquest cas serà d'A a B i de B a C, dos cantons que ara considerem lliures. L'estació A demana a la B si pot enviar el tren T1. B respon afirmativament; a partir d'aquest moment la via es considera ocupada pel tren T1. L'estació A ordena la sortida del tren.



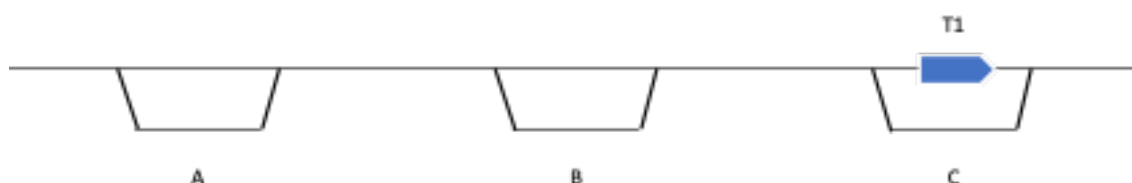
El tren arriba a B. El/la cap de circulació observa els senyals de cua; si hi són vol dir que el tren circula sencer. B comunica a A l'alliberament del cantó de bloqueig entre les dues estacions (si no dugués senyals de cua no es podria alliberar el cantó ja que hauríem de suposar que el tren no ha arribat sencer).



Tot seguit, B demana a C si pot enviar el tren T1. C respon afirmativament, la via queda ocupada per al tren T1 i l'estació B ordena la sortida del tren.

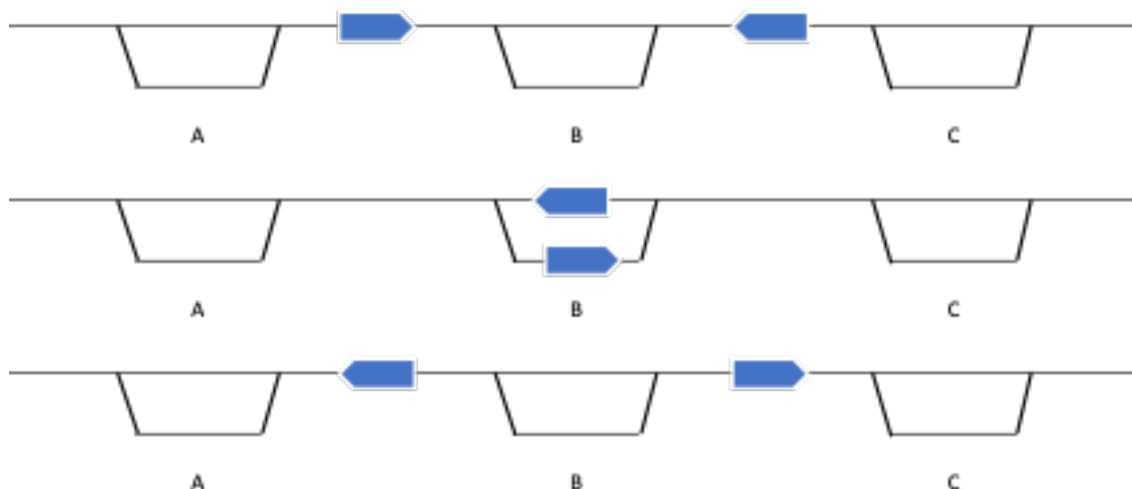


En arribar a C el/la cap de circulació comprova els senyals de cua. En veure'ls comunica a B l'arribada del tren T1. A partir d'aquest moment queda lliure la via entre B i C



En sentit contrari C demanaria la via a B i B a A. El procés és exactament igual.

A les figures següents veiem que B pot esperar alhora un tren d'A i un altre de C, fer-los passar per diferents vies de la seva estació i enviar-ne un cap a C i l'altre cap a A. **Així es fa un creuament.**



En aquest procés s'aprecia que, en relació a les funcions del bloqueig:

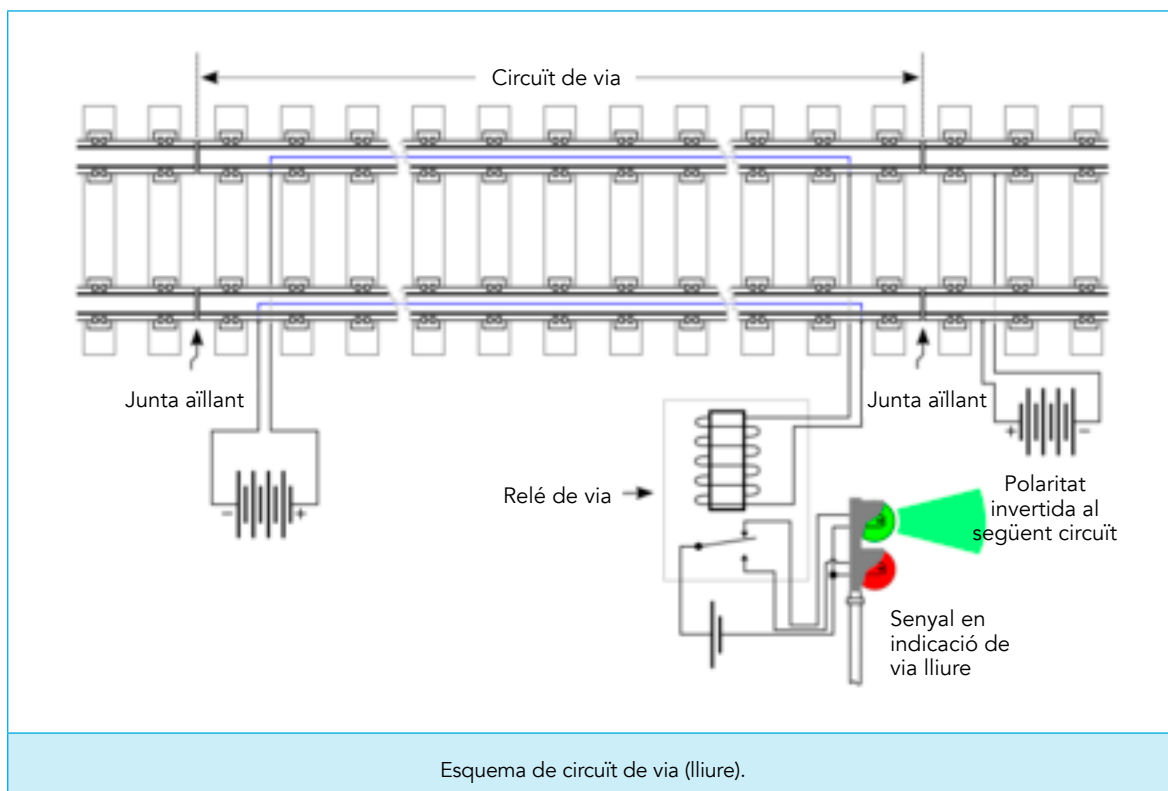
- La **integritat** del tren s'assegura per observació directa dels senyals de cua pels caps de circulació de les estacions.
- El fet que dues estacions quedin d'acord en que una envia un tren i l'altra el rep estableix el **sentit de circulació**.
- Els cantons de bloqueig van d'una estació a una altra. Ja que a cada cantó només hi pot haver un tren **no hi ha perill que un atrapi un altre**.

L'entrada i la sortida de trens de les estacions s'ordena (o es denega) per les indicacions dels senyals, siguin manuals o instal·lats.

Blocatge automàtic: circuit de via, esquema i aplicacions

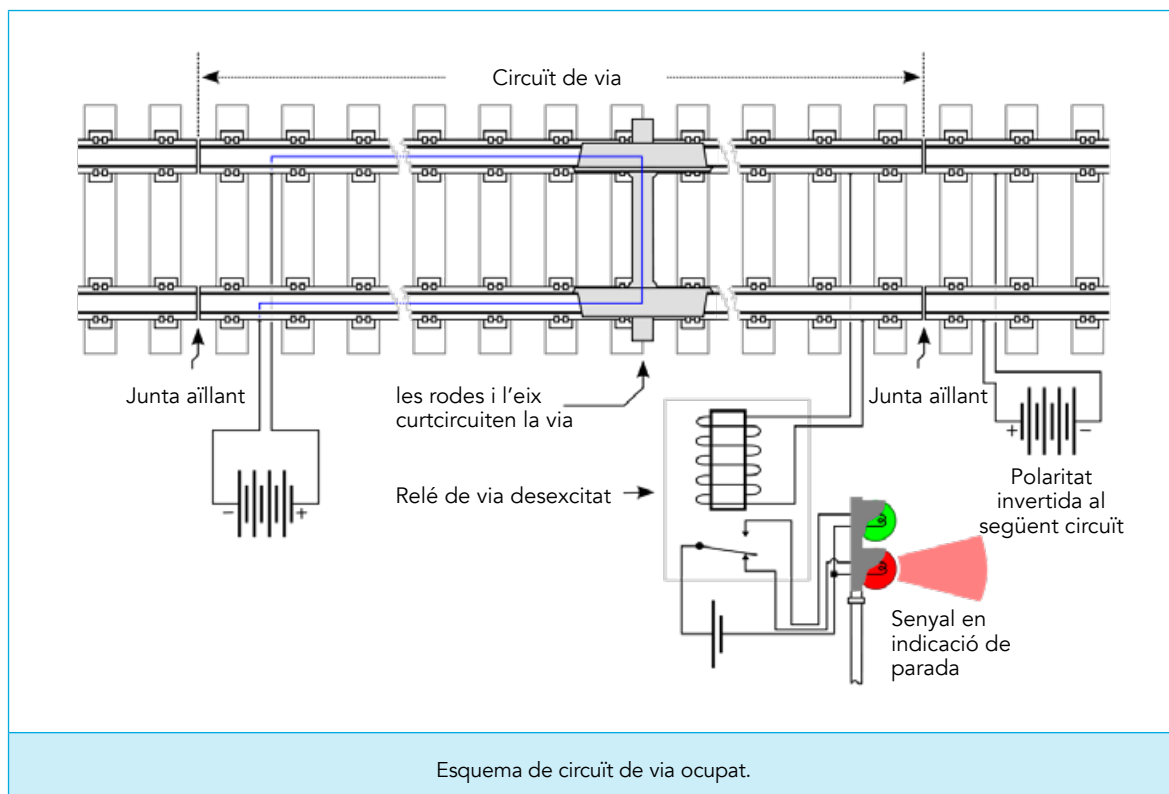
Al sistema de **Blocatge Automàtic (BA)** la presència del tren es detecta sense la necessitat d'un control visual humà; en aquest sentit, la invenció del **circuit de via** va revolucionar la regulació del trànsit. Els eixos dels trens actuen sobre aquest circuit elèctric i activa el seu funcionament, tal i com s'explica a continuació.

La via es divideix en circuits elèctrics gràcies a juntes aïllants, això és, a interrompre la continuïtat elèctrica que tenen els carrils; ho veiem en aquest esquema.



Un circuit de via està lliure quan el corrent elèctric injectat des d'un extrem (representat pel símbol d'una bateria) excita el relé que hi ha a l'altre cap. Aquest relé excitat permetrà obrir senyals i, en conseqüència, deixar que un tren l'ocupi.

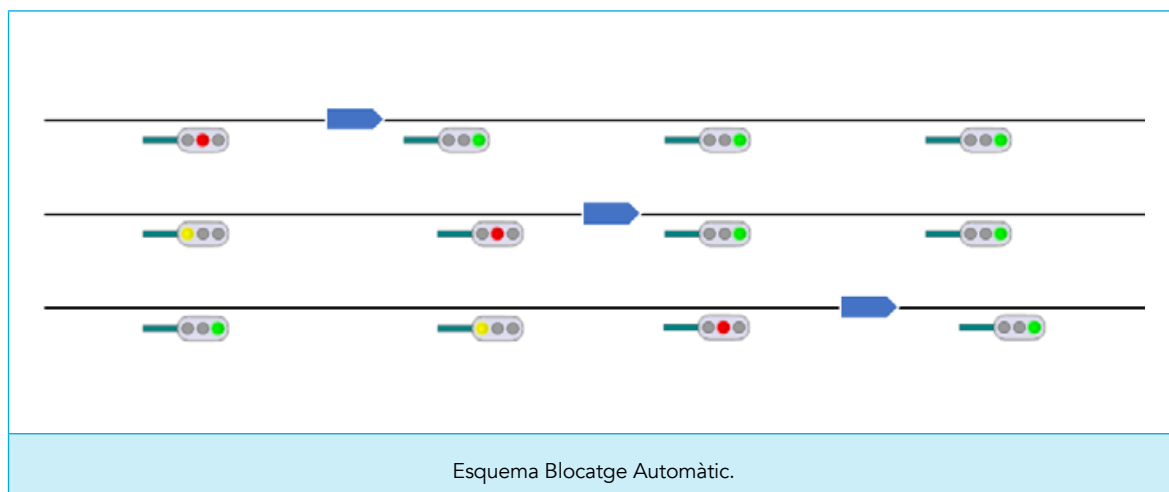
En entrar-hi un tren, vegem l'esquema següent, des que el primer eix el trepitja, es provoca un curtcircuit entre els carrils gràcies al qual es desexcita el relé de via; això provoca el tancament dels senyals perquè cap altre tren hi accedeixi. Aquesta situació es manté fins que el darrer eix del tren surt del circuit de via.



En instal·lar un **seguit de circuits de via protegits per un senyal** es pot fer que cadascun estigui ocupat només per un tren, un tren que estarà protegit per darrere per un senyal en vermell que ordenaria aturar-se a un segon tren fins que el primer no hagués sortit íntegrament del circuit de via. El senyal anterior a un de parada, que ha d'estar a distància suficient, ordena aturar-se davant el senyal en vermell sense ultrapassar-lo. Gràcies a això:

- Es pot fer circular més d'un tren alhora entre dues estacions.
- Es redueix la possibilitat d'error humà a l'hora de permetre la sortida de trens de les estacions.

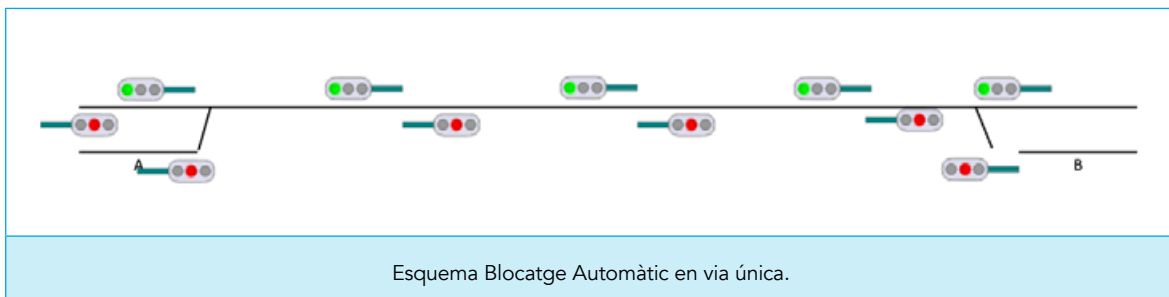
Aquest és l'esquema bàsic del BA:





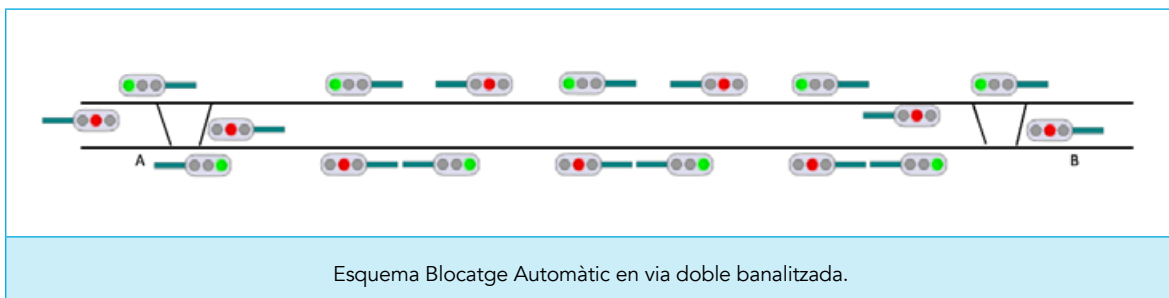
En un principi el BA es va instal·lar en **línies de via doble** perquè, tal com podem deduir pel que hem vist fins ara, la seqüència de senyals només funciona en un sentit, un per cada via.

Posteriorment es va desenvolupar el sistema de manera que sobre una mateixa via s'hi instal·len **senyals per als dos sentits de marxa** amb una particularitat òbvia: quan s'estableix el bloqueig en un sentit no es pot invertir fins que tot el trajecte entre dues estacions està completament lliure de trens. A més, un cop establert el bloqueig en un sentit, els senyals contraris indiquen parada encara que els cantons estiguin lliures. Aquesta operació es fa des dels enclavaments de dues estacions consecutives, (col·laterals, tal com es diu en el llenguatge de la professió). Aquesta manera de funcionar la trobem en línies de BA en via única.



Esquema Bloqueig Automàtic en via única.

El principi de funcionament del BA en via única s'aplica a línies de via doble o múltiple. En aquest cas parlem de **BA banalitzat**. Posem per exemple una via doble banalitzada: és la que permet circular indistintament per una via o altra sense tenir en compte el sentit de marxa.



Esquema Bloqueig Automàtic en via doble banalitzada.

Pel que fa a complir les funcions del bloqueig, en l'ús del BA:

- La **integritat** dels trens s'assegura perquè en cas de fraccionament accidental el circuit de via queda ocupat. En conseqüència els senyals no permeten l'accés d'un altre tren al cantó.
- No es pot invertir el **sentit** del bloqueig fins que tots els cantons del trajecte entre dues estacions estiguin lliures de trens.
- Els cantons de bloqueig estan **delimitats per senyals** (no pas per estacions com en BML). Per que l'anunci del senyal de parada sigui segur cal que la longitud dels cantons sigui igual o superior a la distància de frenat.

El Control de Trànsit Centralitzat

Tant en BML com en BA el bloqueig es governa des de les estacions. Això obliga a tenir personal de circulació a cadascuna d'elles a càrrec dels seus enclavaments. En línies de **BA amb enclavaments elèctrics** és possible operar tots els enclavaments des d'un únic lloc.

El **Control de Trànsit Centralitzat (CTC)** permet concertar la circulació amb més eficiència perquè el centre de comandament té la informació en temps real mentre que sense CTC el centre de comandament ha de demanar a les estacions la situació dels trens en circulació, cosa que alenteix la presa de decisions en cas d'incidència. Amb CTC la gestió de la circulació és molt més àgil.



Control de Trànsit Centralitzat (CTC).

Sistemes de protecció automàtics: FAP, ATP i ATO

Els enclavaments i el BA protegeixen davant de possibles errors humans del personal de circulació (els blocatges manuals segueixen depenent del saber fer dels/de les caps de circulació). El personal de conducció, però, continua depenent de l'observació dels senyals. Per evitar la possibilitat dels errors humans que es poden cometre es van desenvolupar diversos **sistemes de protecció**.

Els sistemes existents a FGC són l'**ATP (Automatic Train Protection)** i el **FAP (Fre Automàtic Puntual)**. El que fan aquests equips és comprovar que el/la maquinista ha percebut correctament els senyals i que compleix les seves ordres.

Aquests sistemes han arribat a avançar prou com per a arribar a poder prescindir dels senyals, primer, i a la conducció automàtica, així tenim l'**ATO (Automatic Train Ordering)**.

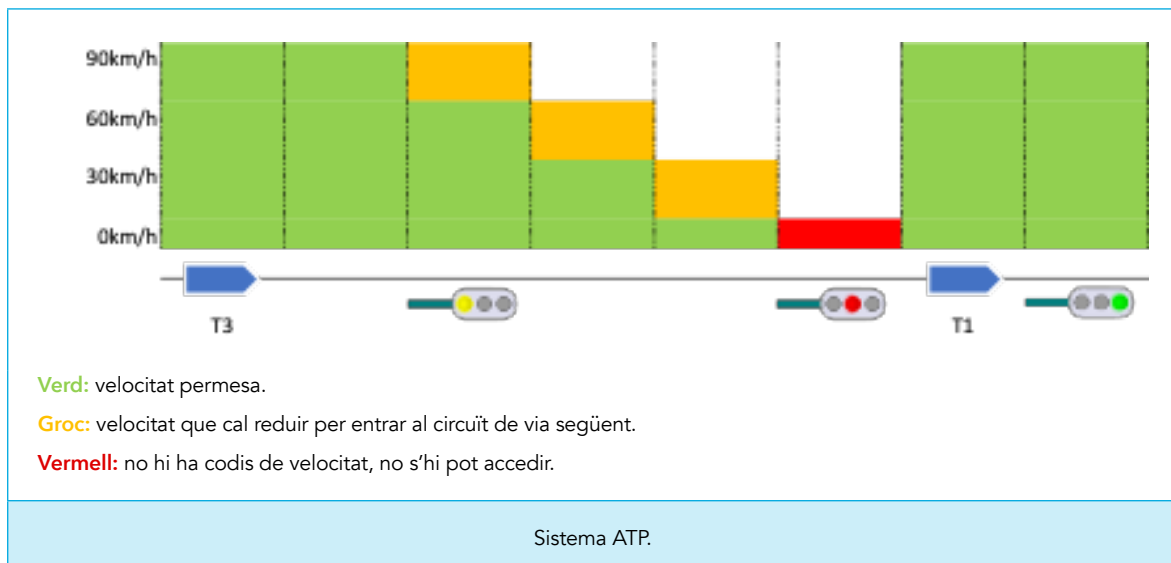
Cas d'ús: A FGC tenim l'ATP a la línia Barcelona-Vallès i el FAP a Llobregat-Anoia. L'ATO està implantat a part de la línia Barcelona-Vallès i va associat a l'ATP.

El **sistema FAP** està en funcionament a la línia Llobregat Anoia. Repeteix la indicació dels senyals a la cabina del/ de la maquinista. També actua sobre el tren: en cas d'ultrapassar un senyal de parada (vermell) sense autorització, el sistema dispara el fre d'urgència, igual que si a una distància determinada abans del senyal va a una velocitat excessiva; en cas d'indicacions restrictives (groc)

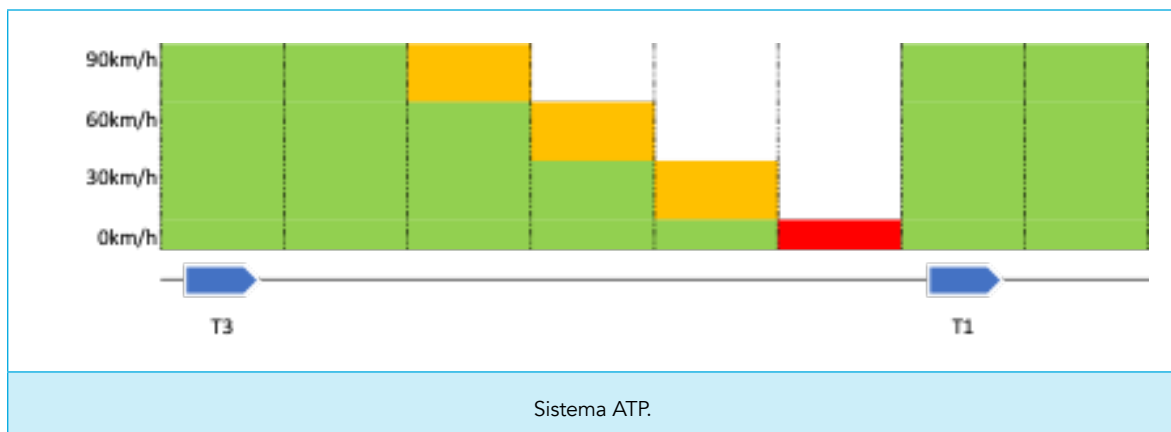


el/la maquinista les ha de reconèixer pitjant un botó, si no ho fa actua el fre d'urgència; si el senyal indica via lliure (verd) el sistema dona un avís acústic sense que el/la maquinista hagi de fer res més.

El **sistema ATP** està instal·lat a la línia Barcelona Vallès. Llegeix contínuament els codis de velocitat que s'emeten mitjançant els carrils. Aquests codis permeten circular a 90, 60, 45, 30, 20 i 0 km/h. Si en un moment donat el/la maquinista excedeix la velocitat que permet el codi el tren es frena d'urgència. Igualment, si per qualsevol causa el tren perd la lectura dels codis el tren s'atura automàticament. En necessitar certa distància per a poder complir condicions restrictives, els codis d'ATP no només indiquen la velocitat permesa sinó també la màxima pel circuit de via següent (això és, la velocitat objectiu). D'aquesta manera si es vol aturar un tren que circuli a 90km/h se li presentaran codis de velocitat cada cop més baixos fins arribar a zero.



Atès que l'ATP és un sistema de supervisió contínua, es pot prescindir dels senyals instal·lats; les indicacions en cabina tenen el mateix valor i donen prou informació al/la la maquinista per a conduir el tren amb totes les garanties de seguretat.



El darrer pas ha estat fer que el tren obeeixi els codis d'ATP tot sol. Així s'ha arribat a la conducció automàtica, al **sistema ATO**. Amb l'ATO s'aconsegueix que la marxa dels trens sigui homogènia i amb el màxim aprofitament de les distàncies d'acceleració i frenada ja que no es depèn del factor humà.

Recopilatori d'idees principals:

- Els senyals d'anunci adverteixen al/a la maquinista de la presència posterior d'altres senyals, els que marquen el punt de compliment (senyals executius).
- Els enclavaments són dispositius de control de la circulació de trens.
- Les tres funcions del blocatge són assegurar la integritat dels trens, establir el sentit de la circulació i mantenir la distància entre trens.
- Hi ha dos gèneres de blocatge: manual i automàtic.
- El CTC pot controlar el trànsit en línies de Blocatge automàtic amb enclavaments elèctrics o electrònics.
- Els sistemes de protecció automàtics a FGC són el FAP i l'ATP. Aquest últim arriba a permetre una conducció automatitzada (ATO).



