

El fre ferroviari: una visió general

Luis Rentero Corral

Tot vehicle ferroviari que estigui en moviment necessita un sistema de fre que:

- li permeti reduir la velocitat;
- li permeti mantenir la velocitat durant la circulació en pendants;
- garanteixi que el tren es pugui aturar dins de la distància màxima de frenat permisible per a cada trajecte.

Tot vehicle ferroviari que estigui aturat necessita un sistema de fre que:

- garanteixi la seva immobilització, per evitar que es pugui desplaçar involuntàriament.

El principal avantatge del ferrocarril

Permet transportar grans càrregues amb una potència reduïda.



baixa adherència del sistema roda d'acer-carril d'acer



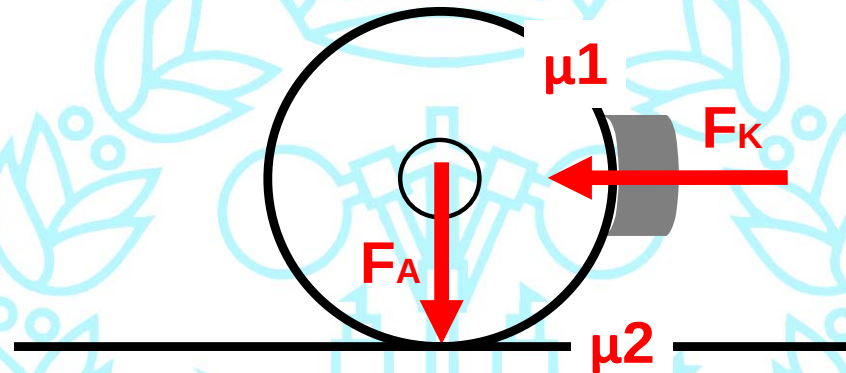
es converteix en el principal inconvenient pel fre ferroviari.

No es pot aplicar una potència de fre desmesurada, doncs provocaria el lliscament del tren sobre els carrils.

La baixa adherència del sistema ferroviari implica:

- **Grans distàncies de frenat, molt superiors al sistema roda de goma-asfalt.**
- **Aquestes distàncies de frenat requereixen sistemes d'exploració que mantinguin la distància de seguretat entre els trens:**
 - **cantonament;**
 - **senyals.**
- **Per tant, limiten la capacitat d'una línia ferroviària a la distància de frenat que ha d'haver-hi entre els trens, més un marge de seguretat.**
- **La distància de frenat necessària ve determinada per:**
 - **la velocitat dels trens i**
 - **la potència dels seus sistemes de fre.**

Forces durant el frenat:

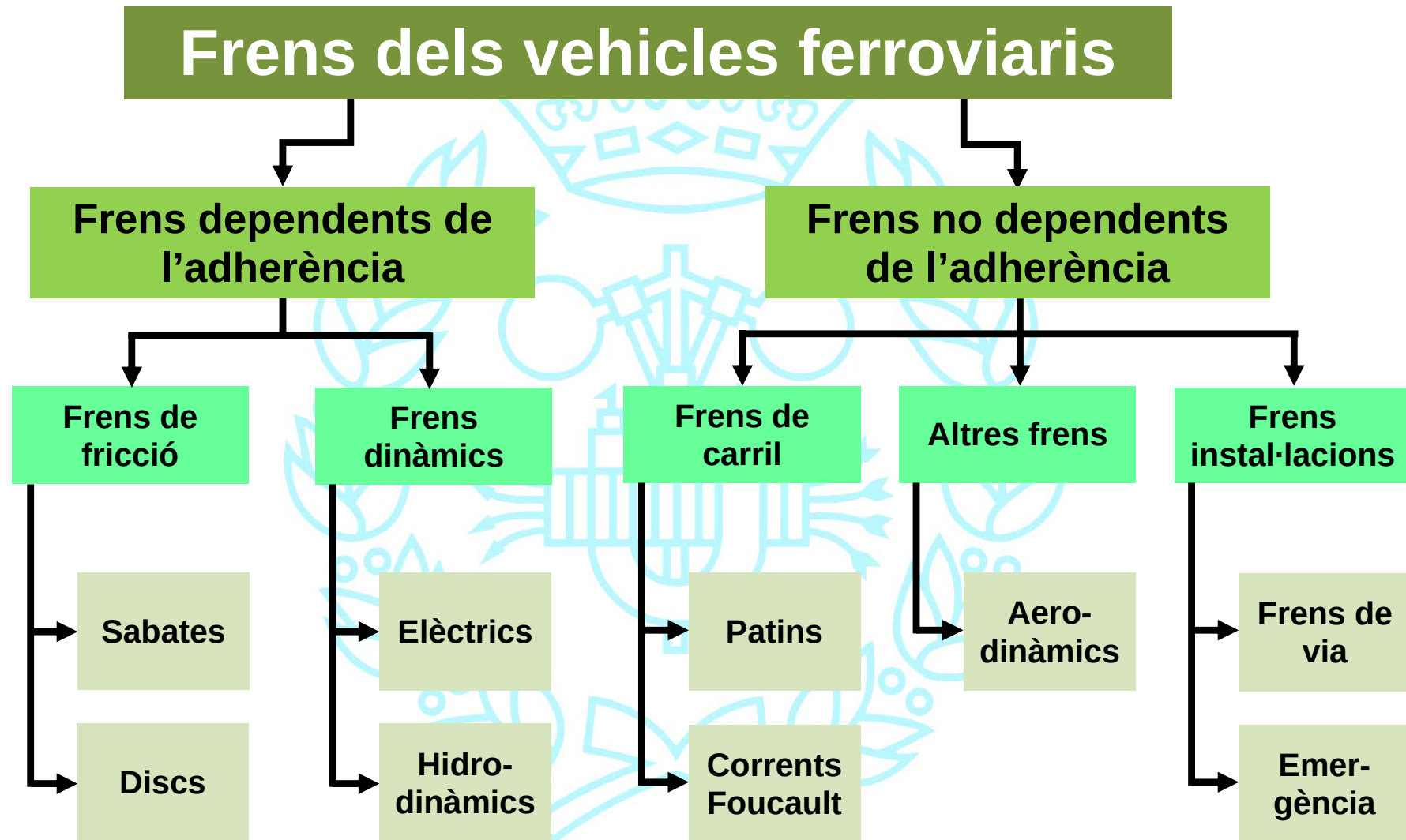


F_K : força de la sabata de fre sobre la roda. Depèn de la força del fre i del coeficient de fricció sabata-roda (**μ_1**).

F_A : força vertical de la roda sobre el carril: depèn de la gravetat, de la massa del vehicle i del coeficient d'adherència (**μ_2**).

Factors determinants en l'esforç i eficiència del fre:

- **Disseny dels propis sistemes de fre.**
- **Variació de les prestacions en funció de la velocitat i massa del tren.**
- **Manteniment correcte:**
 - **dels sistemes de fre;**
 - **del conjunt roda-carril;**
 - **neteja de les superfícies de contacte.**
- **Operació correcta per part del maquinista.**

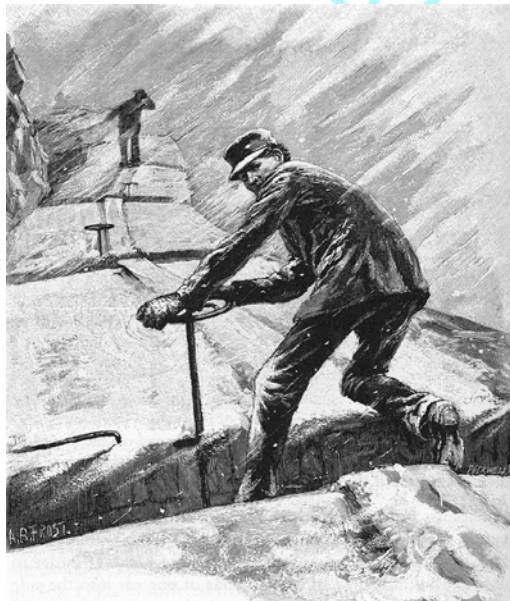


Primera part

Frens dependents de l'adherència

1. Introducció històrica: els frens manuals.

Quan es va inventar el ferrocarril, els trens anaven frenats a mà mitjançant volants o palanques accionades per persones: els guarda-frens.



1. Introducció històrica: els frens manuals.

Per l'acció eficient d'aquests frens primitius calia:

- Una quantitat suficient de guarda-frens repartits al llarg del tren.
- Un codi de senyals sonors per l'acció simultània dels frens, emesos des de la locomotora pel maquinista:

C		APRETAR FRENOS	— Cuando sea necesario apretar el freno de los vehículos del tren o de las locomotoras.
D		AFLOJAR FRENOS	— Cuando sea necesario aflojar los frenos de los vehículos del tren o de las locomotoras.

2. Cap a un sistema automàtic: alguns invents inicials.

Entre finals del segle XVIII i principis del XIX es van registrar centenars de patents amb sistemes de fre pels trens, principalment a Anglaterra i els EEUU.

Cap d'ells era continu: tots s'havien d'aplicar de manera individual a cada vehicle.

Els primers sistemes continus que permetien l'accionament de tots els frens des de la locomotora varen ser mecànics, conjugant l'accionament de palanques, molles i cadenes o cables de transmissió. Es van desenvolupar cap a la meitat del segle XIX.

2. Cap a un sistema automàtic: alguns invents inicials.

Un exemple de fre continu mecànic es l'Heberlein (patent del 1856) accionava mecànicament tots els frens del tren mitjançant una corda.

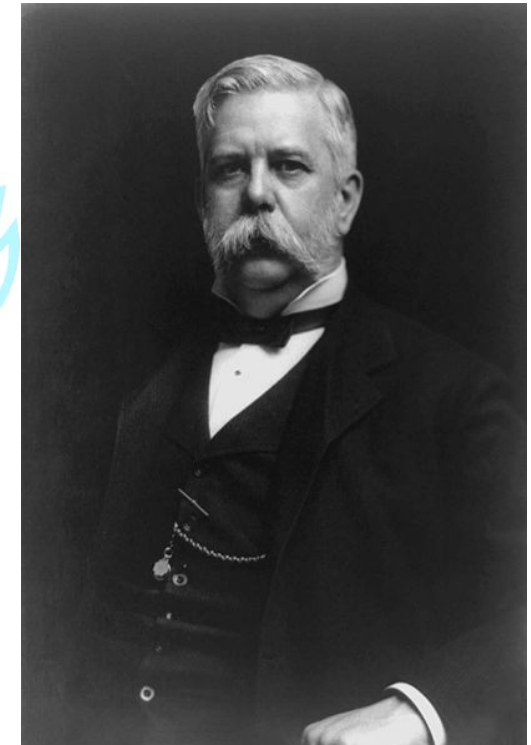


3. Cap a un sistema automàtic: el fre *directe* d'aire comprimit.

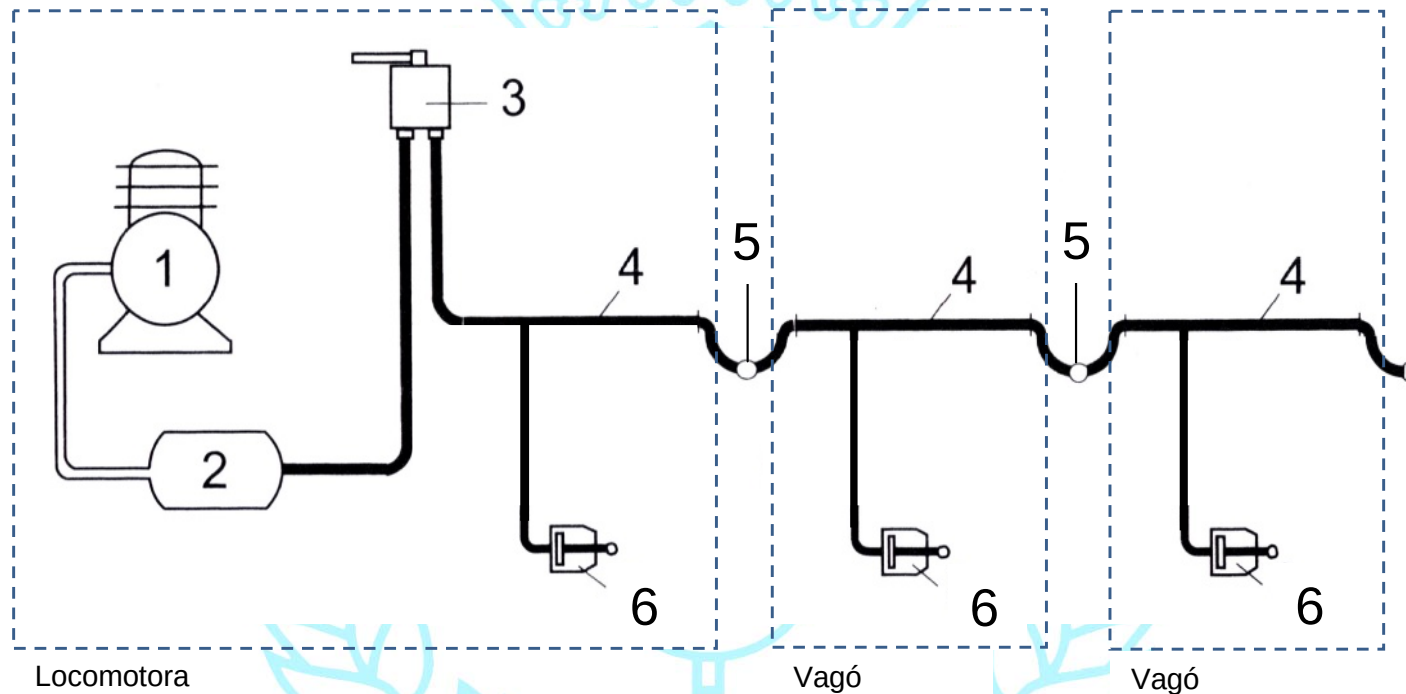
De totes aquestes patents, les més exitoses foren les inventades per l'enginyer americà George Westinghouse (1846-1914).

Westinghouse va inventar el fre continu d'aire comprimit.

En la seva primera versió (1869) era un fre anomenat “directe”, pel qual l'aire comprimit produït a la locomotora era enviat a través de canonades a tots els vehicles del tren per, mitjançant la força de la pressió d'aire, fer que les sabates freguessin sobre les rodes.



3. Cap a un sistema automàtic: el fre directe d'aire comprimit.



- 1. Compressor
- 2. Dipòsit principal d'aire
- 3. Palanca de comandament del maquinista

- 4. Canonada de fre
- 5. Acoblament flexible entre vehicles
- 6. Cilindre de fre

3. Cap a un sistema automàtic: el fre directe d'aire comprimit.

Avantatges:

- Es pot comandar el fre de tots els vehicles des de la locomotora.
- Reducció de personal al tren per ser innecessaris els guarda-frens.
- Capacitat de frenar i afluixar el fre tantes vegades com es vulgui mentre hi hagi aire comprimit.

Inconvenients:

- No té la qualitat d'automaticitat, doncs en cas de trencament del tren els vehicles desacoblats no es frenarien automàticament.

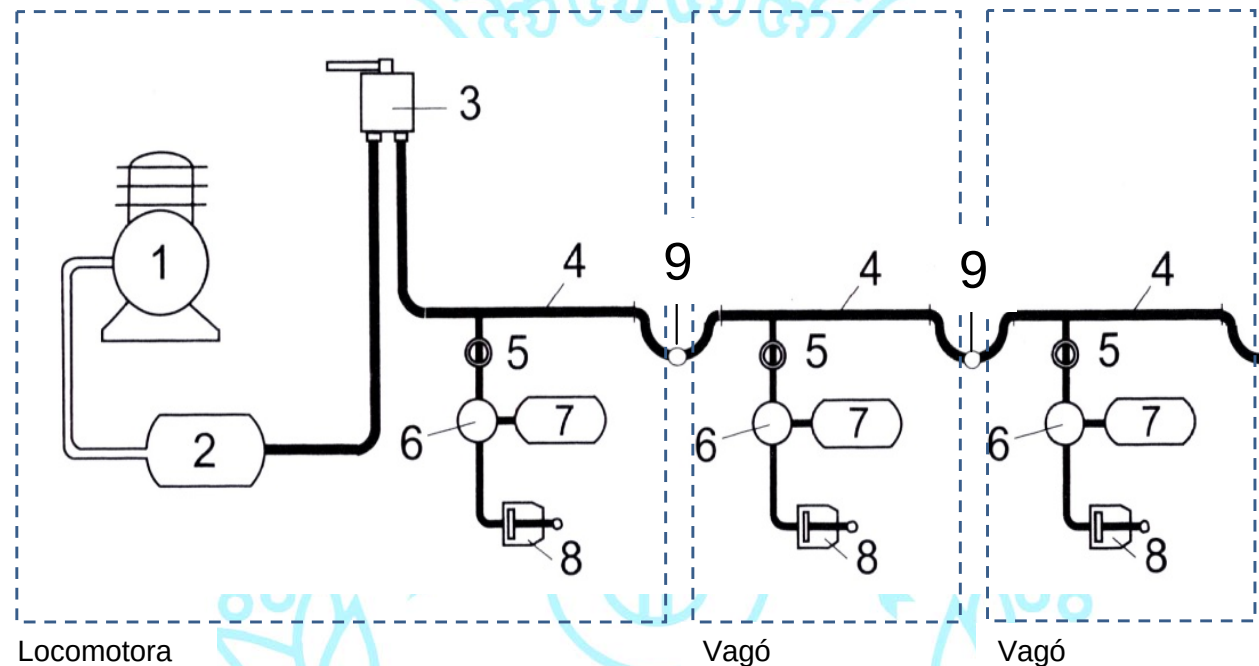
4. Cap a un sistema automàtic: el fre *indirecte* d'aire comprimit.

L'any 1873 Westinghouse soluciona el problema de l'automaticitat inventant la triple vàlvula. Es tracta d'una vàlvula de tres vies que connecta la canonada de fre amb un dipòsit auxiliar, i aquest amb el cilindre de fre.



Una corredissa dins de la *triple vàlvula* permet establir el pas d'aire entre les tres vies per diferència de pressions.

4. El fre indirecte d'aire comprimit: concepció del sistema

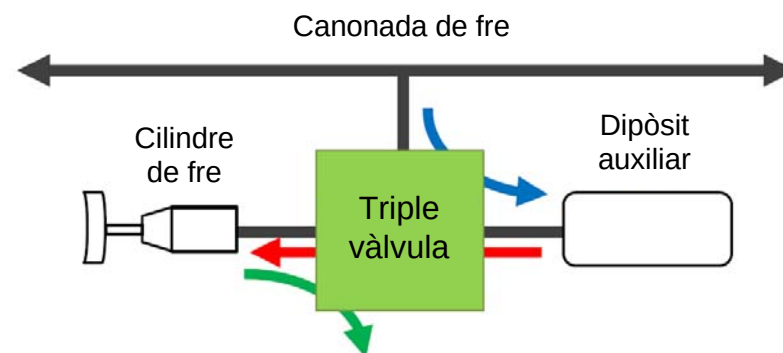


- | | |
|--|---------------------------------------|
| 1. Compressor | 5. Clau d'aïllament |
| 2. Dipòsit principal d'aire | 6. Triple vàlvula |
| 3. Palanca de comandament del maquinista | 7. Dipòsit auxiliar de fre |
| 4. Canonada de fre | 8. Cilindre de fre |
| | 9. Acoblament flexible entre vehicles |

4. El fre indirecte d'aire comprimit: concepció del sistema

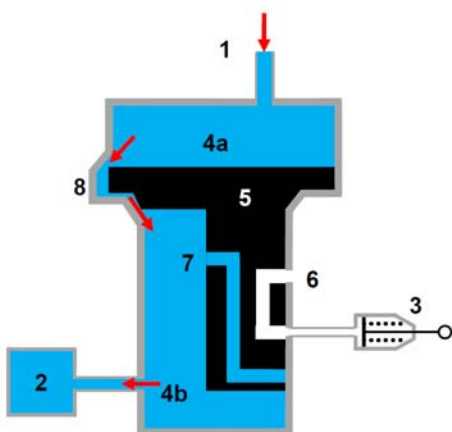
S'anomena "indirecte" perquè l'aire a pressió que es fa servir per realitzar la força de fre dins dels cilindres no ve directament des de la canonada de fre, sinó des del dipòsit auxiliar.

- L'aire de la canonada de fre carrega el dipòsit auxiliar.
- **Quan es vol frenar, en reduir la pressió a la canonada de fre, la triple vàlvula fa que l'aire del dipòsit auxiliar passi cap al cilindre de fre.**
- **Quan es vol afloixar, en augmentar la pressió a la canonada de fre, la triple vàlvula fa que l'aire del cilindre de fre s'escapi a l'atmosfera i torna a carregar el dipòsit auxiliar per una nova frenada.**

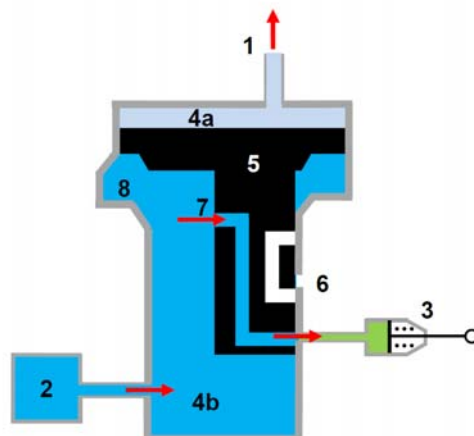


4. El fre indirecte d'aire comprimit: triple vàlvula

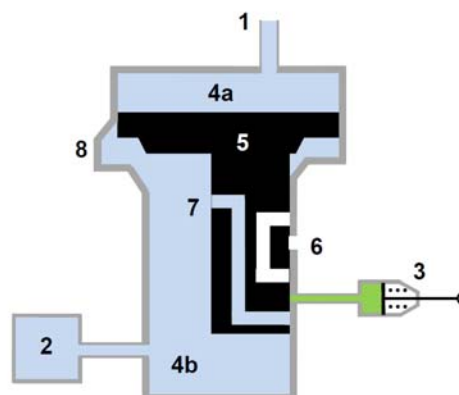
Càrrega



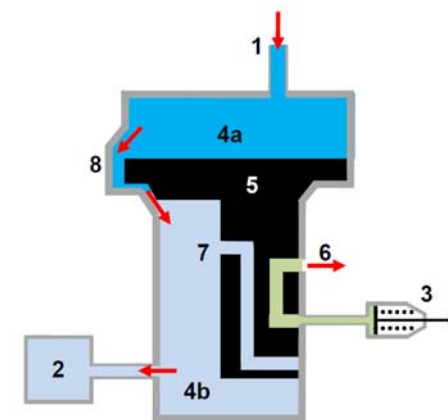
Frenat



Equilibri



Afluixament



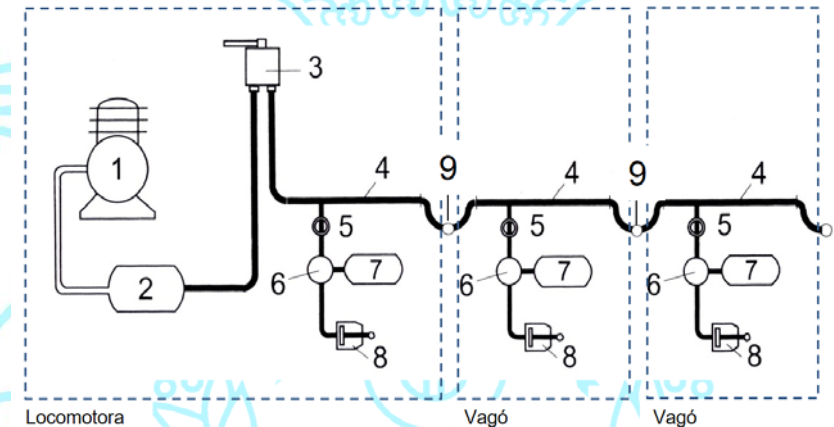
- 1. Entrada canonada de fre
- 2. Dipòsit auxiliar de fre
- 3. Cilindre de fre
- 4. Cambra de la triple vàlvula, amb parts superior 4a i inferior 4b

- 5. Corredissa
- 6. Sortida d'aire a l'atmosfera
- 7. Forat de pas d'aire a la corredissa
- 8. Pas d'aire entre les parts superior i inferior de la cambra 4

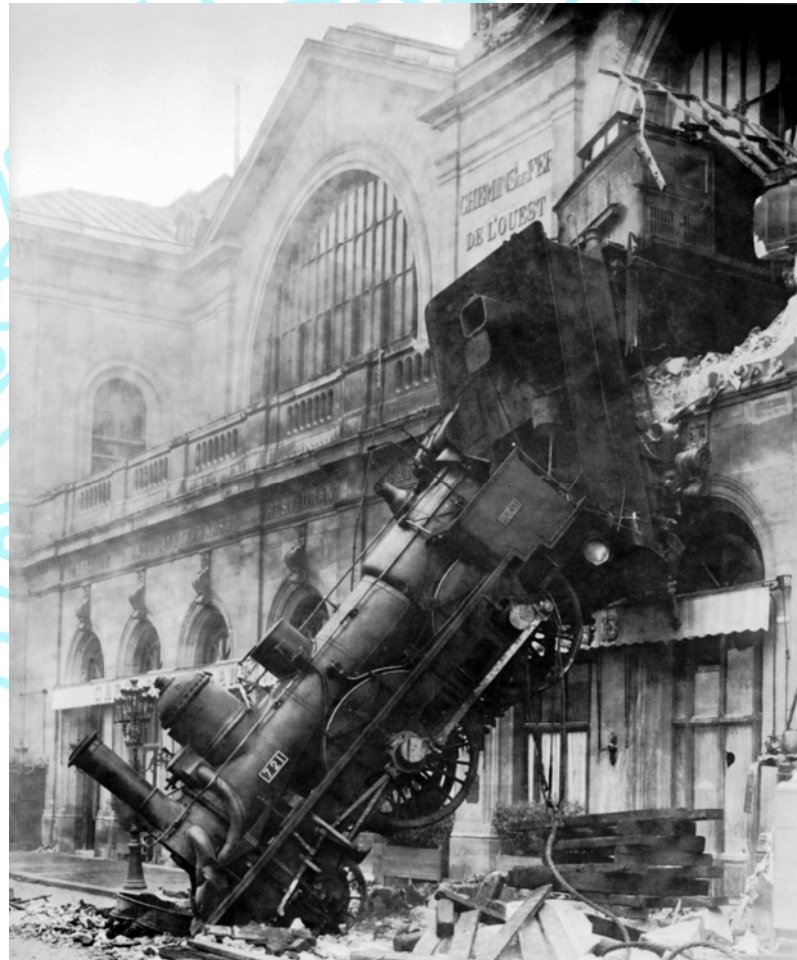
4. El fre indirecte d'aire comprimit: el distribuïdor

La triple vàlvula tenia, però, un inconvenient: tot i que permet fer una frenada moderable, no permet fer un afluix moderable. Les conseqüències son:

- si es vol afluixar una mica el fre perquè la frenada és excessiva, no es pot i el sistema només permet afluixar del tot els frens;
- per fer una nova frenada, cal esperar a que es tornin a omplir tots els dipòsits auxiliars des de la canonada de fre, i això requereix un temps;
- i si el maquinista no era hàbil i seré, el resultat podia ser:

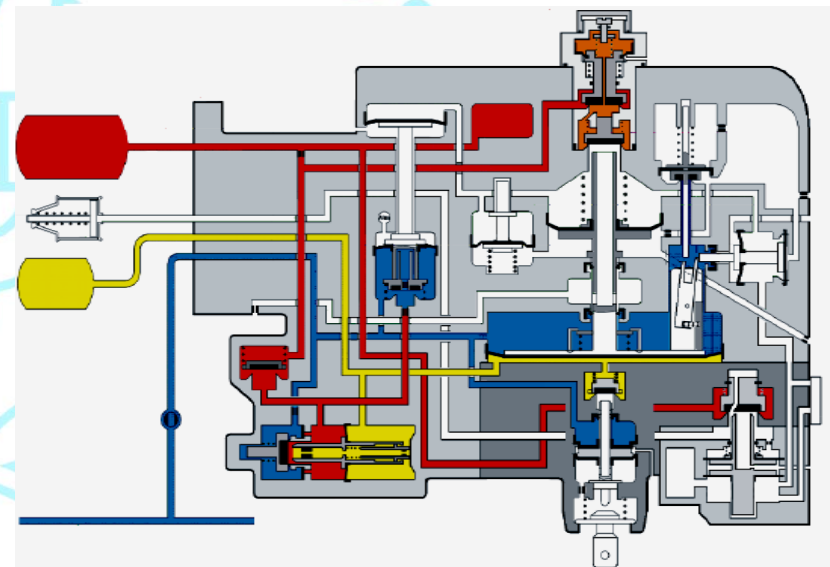
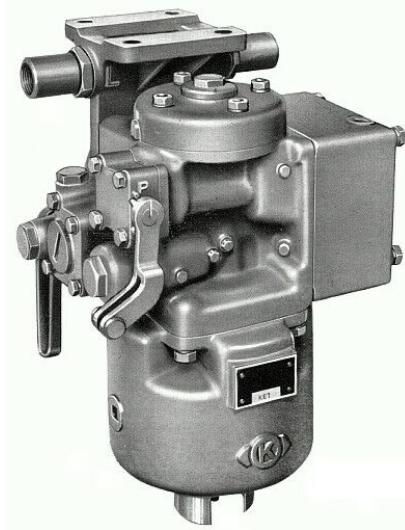


4. El fre indirecte d'aire comprimit: el distribuïdor

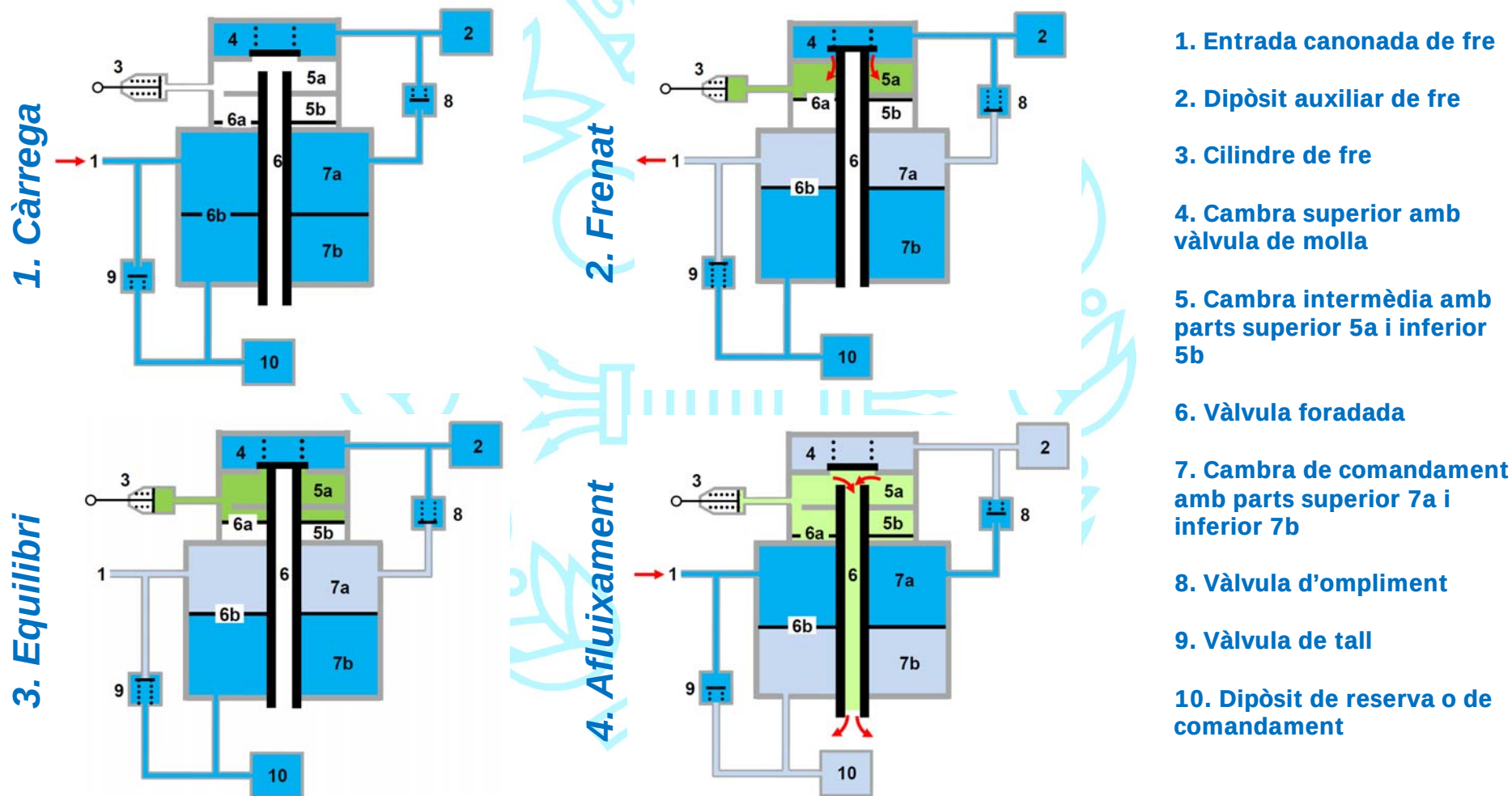


4. El fre indirecte d'aire comprimit: el distribuïdor

Aquest inconvenient es va solucionar quan l'any 1926 es va inventar el distribuïdor, simultàniament als EEUU (Westinghouse Air Brake Co.) i a Alemanya (Knorr Bremse GmbH). És un element pneumàtic complex amb nombroses vàlvules i passos calibrats que substitueix a la triple vàlvula.



4. El fre indirecte d'aire comprimit: el distribuïdor



4. El fre indirecte d'aire comprimit: el distribuïdor

La principal diferència del distribuïdor respecte de la triple vàlvula es que permet afliuixar el fre parcialment:

- quan s'afliuixa una mica el fre, els dipòsits auxiliars es tornen a omplir d'aire i, per tant,
- estan sempre plens per fer noves frenades i afliuxaments, totals o parcials, tantes vegades com es vulgui.

Es l'efecte que s'anomena “inesgotabilitat” del fre.

4. El fre indirecte d'aire comprimit: el distribuïdor

Aquest sistema de fre:

- amb aire comprimit i distribuïdor,
- indirecte, automàtic i inesgotable,
- inventat l'any 1926,
- però que es basa en un invent anterior de l'any 1873,
- i amb unes normes unificades per a la major part del món,

**es el que es fa servir encara avui en dia als ferrocarrils de tot el món
com a fre de seguretat principal,**

i sense el qual cap tren no pot circular.

4. El fre indirecte d'aire comprimit: altres elements

El fre pneumàtic indirecte es complementa amb:

- **Canviadors de potència:** modifiquen la força del fre als vehicles en funció de la seva càrrega, per evitar que les rodes es bloquegin.
- **Canviadors de règim:** modifiquen la velocitat d'aplicació i afluixament del fre, que convé que sigui diferent en trens ràpids de viatgers o en trens lents, pesats i llargs de mercaderies.
- **Instal·lació "ep":** es fa servir només en trens de viatgers, i permet una aplicació més ràpida i immediata del fre a tots els vehicles, mitjançant una segona canonada d'aire i un comandament elèctric.

5. El fre a les UT modernes

Les “unitats de tren” (UT) son composicions fixes de vehicles, acoblats entre si mitjançant barres rígides i no enganxalls convencionals, destinades al transport de viatgers.

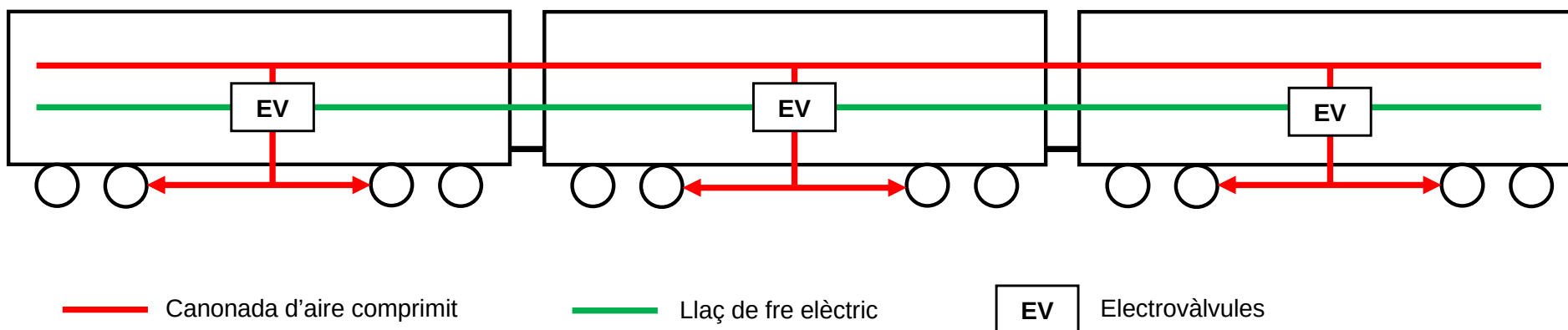
Atès que no necessiten acoblar-se amb altres vehicles ferroviaris (vagons, locomotores...), poden tenir un sistema de fre que no sigui unificat.

S'ha aprofitat, a més, el desenvolupament de la tècnica en electricitat, electrònica i informàtica.

Aquestes UT modernament fan servir frens controlats informàticament, que comanden electrovàlvules per fer passar l'aire comprimit cap als cilindres de fre.

5. El fre a les UT modernes

L'automaticitat es garanteix per la interrupció de l'anomenat “llaç de fre”: en cas de trencament dels enganxalls entre vehicles d'una UT, la interrupció del pas del corrent elèctric per aquest fil suposa l'aplicació immediata i amb la màxima potència dels frens de tots els vehicles, doncs totes les electrovàlvules son inverses.



6. El fre de buit

Durant molts anys, paral·lelament al fre indirecte d'aire comprimit es va fer servir el fre de buit.

La primera patent d'aquest sistema data de l'any 1844, però no es va aplicar al ferrocarril fins els anys 1860, abans que el fre d'aire comprimit de Westinghouse.

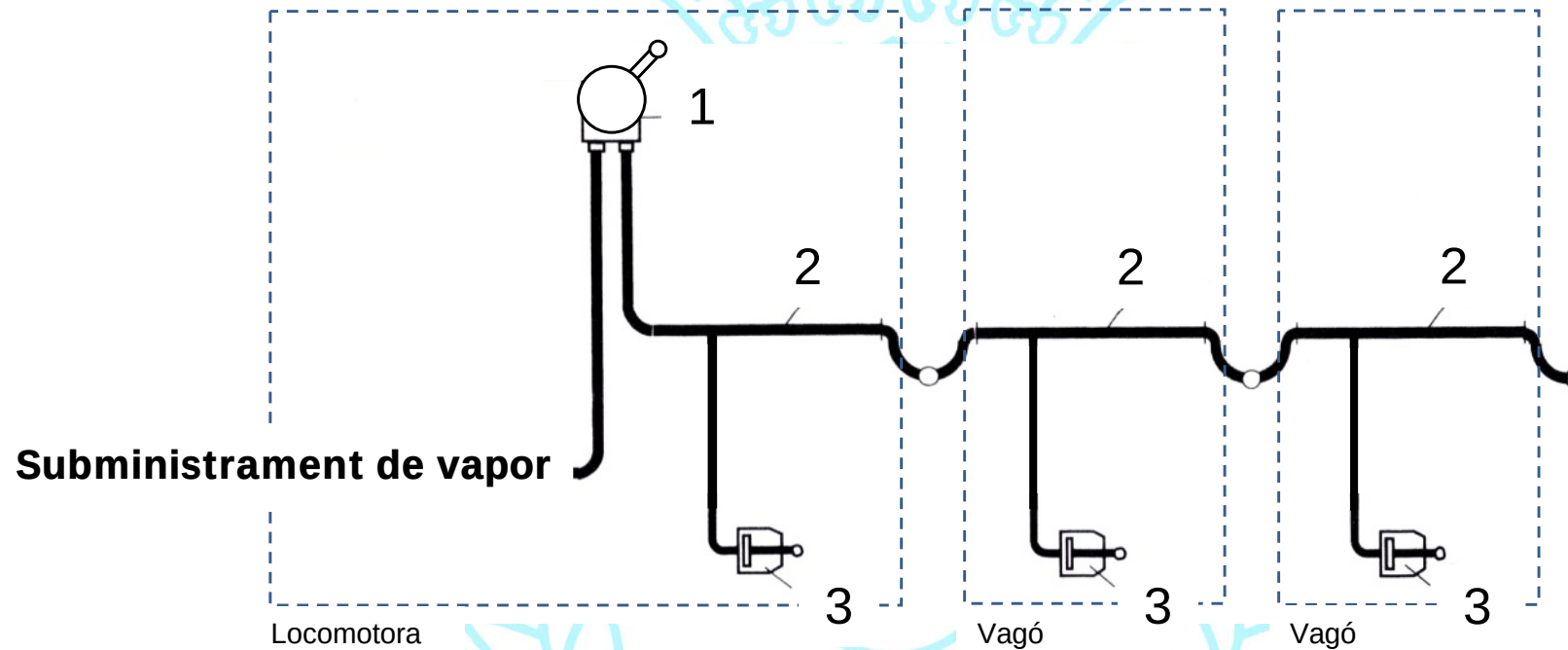
Van ser moltes les empreses ferroviàries que el van fer servir, doncs era més senzill i econòmic de construcció que el d'aire comprimit. Durant decennis van conviure els dos sistemes al ferrocarril mundial.

6. El fre de buit

Quan l'enginyeria del fre ferroviari encara estava als inicis, aportava els següents avantatges:

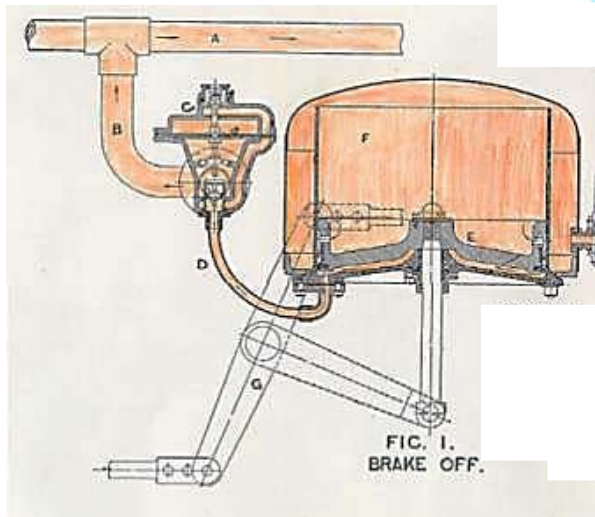
- Equipaments més senzills, sense necessitat de triples vàlvules o distribuïdors.
- Producció del buit sense necessitat d'elements addicionals, com ara el compressor, doncs el buit es produïa per efecte *venturi* amb el vapor de les locomotores.
- I tenia les mateixes funcionalitats que el fre d'aire comprimit: continuïtat i automaticitat.

6. El fre de buit

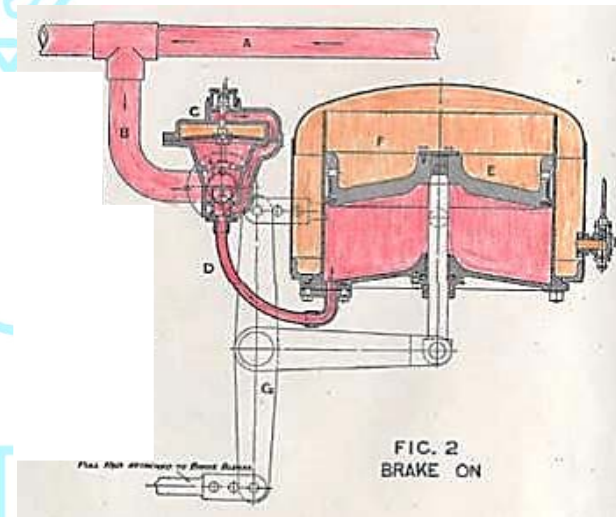


1. Comandament de l'ejector
2. Canonada de buit
3. Cilindre de fre

6. El fre de buit



Quan es fa el buit a la canonada, dins del cilindre hi ha buit a la cambra superior i sota del pistó, que cau per la força de la gravetat. Els frens estan fluïxos.



Quan es fica aire atmosfèric a la canonada, s'incomuniquen les dues parts del cilindre: a dalt hi ha el buit, a sota pressió atmosfèrica. El pistó puja per acció de la pressió, i el vehicle frena.

6. El fre de buit

Des de la segona meitat del segle XX l'ús del fre de buit s'està abandonant, perquè:

- La força que pot fer el sistema es només l'atmosfèrica.
- Per augmentar l'esforç de fre que demanen les majors velocitats, calen cilindres de fre de mida massa gran com per instal·lar-los als vehicles.
- La velocitat de propagació de les ordres de fre i afluixament es força més lenta que amb l'aire comprimit.
- La substitució de les locomotores de vapor per elèctriques i dièsel va implicar la instal·lació de bombes de buit, similars als compressors d'aire.

7. El fre hidràulic

Alguns vehicles, com ara els trens Talgo o molts tramvies, fan servir un sistema de fre hidràulic.

Ofereix l'avantatge principal d'ocupar menys espai.

Poden ser:

- D'accionament indirecte: per vehicles ferroviaris que han de poder acoblar-se amb altres frenats amb aire comprimit. El comandament de fre és per aire, la pressió del qual es transforma en pressió hidràulica per frenar. Es el cas dels trens Talgo.**
- D'accionament directe: la pressió de fre hidràulica es comanda elèctricament (cas dels tramvies).**

8. La part mecànica del fre de fricció: sabates

Hi ha tres tipus de sabates de fre:



metàl·liques



sintètiques



sinteritzades

8. La part mecànica del fre de fricció: sabates

Es diferencien per:

	Coeficient de fricció mitjà	Desgast	Particularitats
Metàl·liques	0,10	Ràpid	Coeficient de fricció disminueix amb l'augment de la velocitat. Son barates.
Sintètiques	0,09 a 0,45	Lent	Coeficient de fricció estable a qualsevol velocitat, però disminueix amb la humitat fins a un 50%. Costen entre tres i cinc vegades més que les metàl·liques.
Sinteritzades	0,25	Molt lent	Coeficient de fricció estable a qualsevol velocitat. Sense canvis per la humitat. Desgasten més les rodes. Duren quatre vegades més que les sintètiques, però costen unes deu vegades més que les metàl·liques.

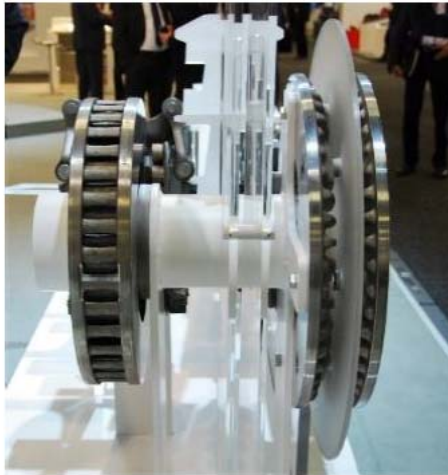
8. La part mecànica del fre de fricció: discs



El principal problema de la fricció és l'augment de la temperatura, que redueix la eficiència dels frens. Els discs de fre, sempre auto-ventilats, disminueixen la temperatura del conjunt guarnició-disc i, per tant, suporten millor esforços de fre majors i més perllongats.

Es fan servir prioritàriament en trens amb velocitats superiors a 160 km/h.

8. La part mecànica del fre de fricció: discs



Poden estar calats als eixos (esquerra) o cargolats a l'exterior de les rodes (dreta).



Els materials emprats a les guarnicions son sintètics (esquerra) o sinteritzats (dreta), amb les mateixes característiques que els materials emprats a les sabates de fre.

8. La part mecànica del fre de fricció: cintes

Als trens de cremallera, degut a que la inclinació de la via augmenta la inèrcia dels vehicles, es requereixen frens que facin molta més fricció que els de sabates o discs.

Això es resol amb els frens de cintes: unes cintes de material de fricció freguen sobre uns tambors. Son accionats per cilindres pneumàtics (fre de servei) o per molles (fre d'emergència).

La superfície de fricció es molt superior a la convencional de les sabates sobre les rodes o les guarnicions sobre els discs i, per tant, l'esforç de fre també.

Només es poden fer servir a les baixes velocitats a les que circulen els trens de cremallera (en general, no superiors a 30 km/h).

8. La part mecànica del fre de fricció: cintes



9. Els frens d'estacionament

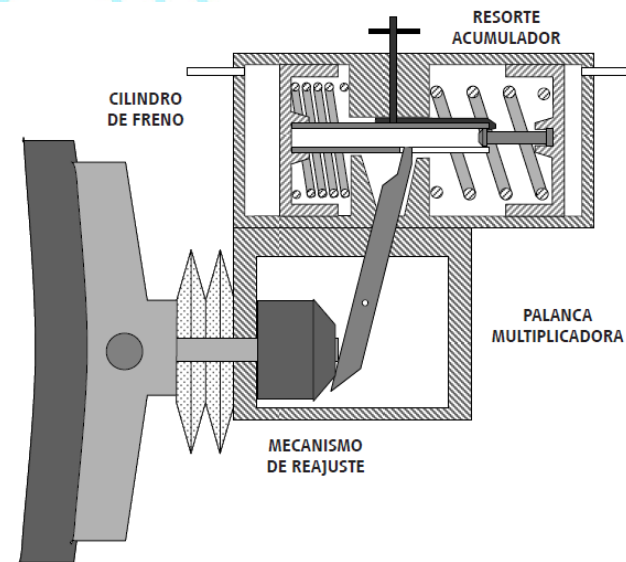
Quan es posen fora de servei, cal garantir la immobilitat dels vehicles ferroviaris. Això es fa mitjançant els frens d'estacionament. N'hi ha de dues menes:

- La major part dels vehicles van equipats amb un fre manual, accionat mitjançant un volant, que actua sobre una part o la totalitat de les sabates o discs de fre.
- Els vehicles motrius moderns van equipats d'un fre automatitzat, que mitjançant una molla, i per manca de pressió d'aire, estrenyen les sabates o discs de fre.

9. Els frens d'estacionament



**Fre d'estacionament
manual**



**Fre d'estacionament
automàtic**

9. Els frens d'estacionament

També es pot garantir la immobilitat dels vehicles estacionats mitjançant l'ús de falques.



10. Els frens dinàmics

Els vehicles motrius acostumen a disposar de frens dinàmics, que aprofiten el moviment per generar un esforç de fre.

En funció del tipus de tracció que es faci servir hi ha de dues menes:

- Fre elèctric, a les locomotores elèctriques i a les locomotores dièsel amb transmissió elèctrica.
- Fre hidrodinàmic, a les locomotores dièsel amb transmissió hidràulica.

La seva potència es menor que la del fre d'aire comprimit, i només actua sobre els vehicles motrius, no sobre els remolcats. Per tant, es un fre complementari.

10. Els frens dinàmics: fre elèctric

El fre elèctric fa servir el moviment del tren per generar energia elèctrica, gràcies a que les màquines elèctriques que es fan servir:

- poden funcionar com a motors quan es vol traccionar,
- i poden funcionar com a generadors quan es vol frenar.

Quan funcionen com a generadors, els camps magnètics generats creen unes forces de retenció entre les bobines del rotor i de l'estator que són les que realitzen l'esforç de fre.

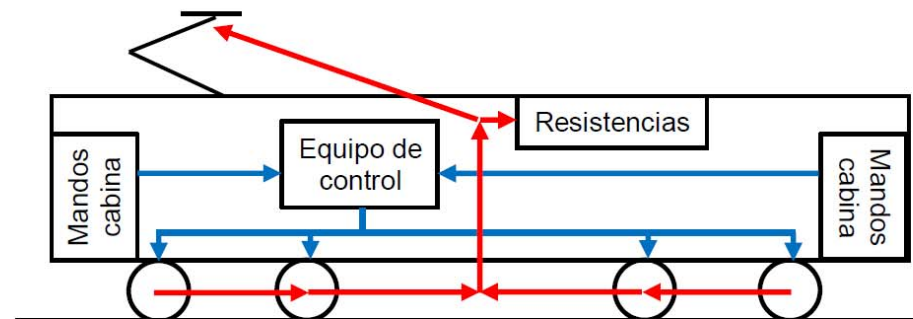
10. Els frens dinàmics: fre elèctric

Els frens elèctrics poden ser:

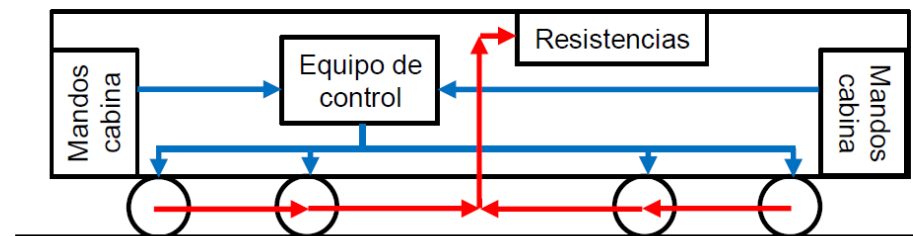
- **Reostàtics:** el corrent generat es consumeix a unes resistències que el transformen en calor.
- **Regeneratiu:** el corrent generat es retorna a la catenària per que el consumeixen altres trens o es reenvii a la xarxa de subministrament.

10. Els frens dinàmics: fre elèctric

Circuits bàsics del fre elèctric:



Esquema simplificado del freno dinámico eléctrico de una locomotora eléctrica con freno regenerativo. En azul, las conexiones de mando; en rojo, camino de la corriente generada por los motores.



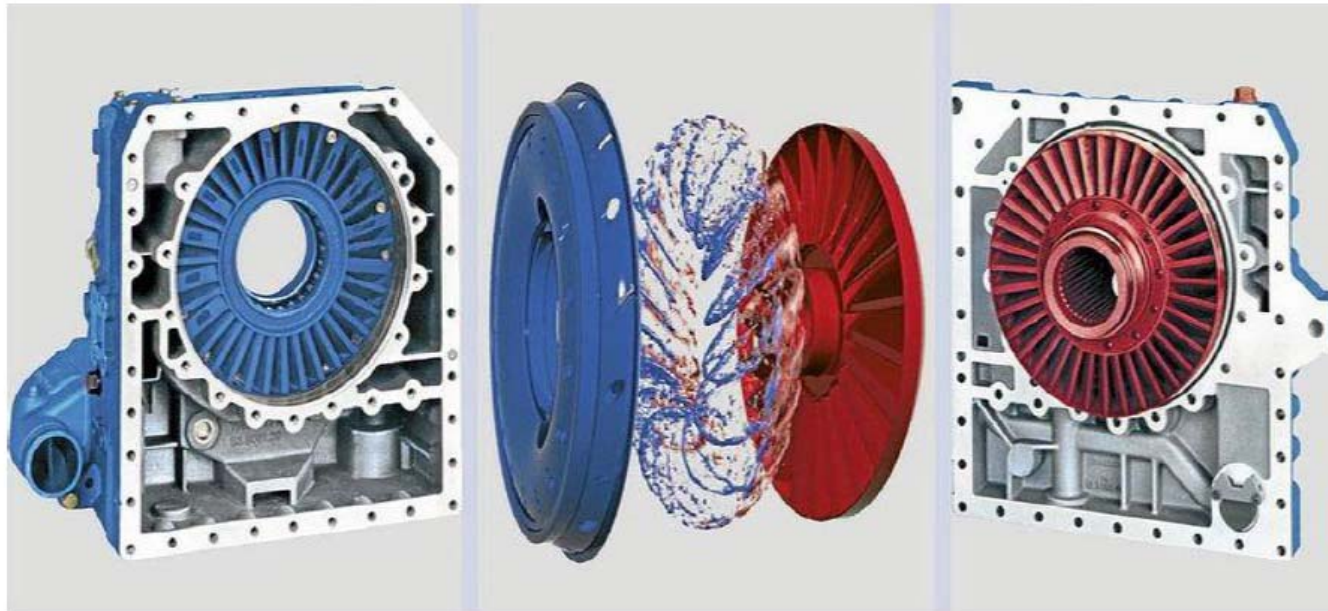
Esquema simplificado del freno dinámico eléctrico de una locomotora diésel-eléctrica. En azul, las conexiones de mando; en rojo, camino de la corriente generada por los motores.

10. Els frens dinàmics: fre hidrodinàmic

En locomotores amb transmissió hidràulica acostuma a haver-hi dos convertidors de par:

- Un amb dues corones mòbils, per transmetre l'esforç de tracció del motor dièsel cap a les rodes.
- Un altre amb una corona fixa i una altre de mòbil:
 - quan la locomotora està traccionant, no hi ha oli en aquest convertidor;
 - quan es vol frenar, es buida el convertidor de tracció i s'omple aquest de fre;
 - llavors, la corona mòbil, connectada a les rodes, posa en moviment aquest oli que, en xocar amb la corona fixa, provoca un esforç de retenció a la corona mòbil.

10. Els frens dinàmics: fre hidrodinàmic



Corona fixa

Corona mòbil

Segona part

Frens no dependents de l'adherència

1. Frens de carril: patins electromagnètics

Es tracta d'uns patins situats entre les rodes, normalment aixecats sobre els carrils.

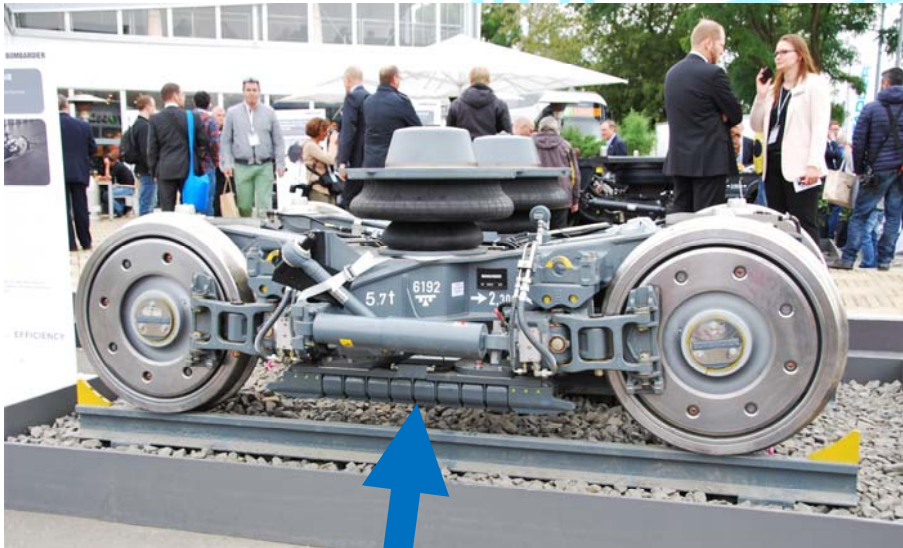
Quan es volen emprar:

- un sistema pneumàtic els fa baixar i entren en contacte amb el cap del carril, fregant amb molta força;
- creen un camp magnètic que augmenta l'atracció entre els patins i els carrils, augmentant encara més la força de fregament.

Actuen sempre amb la mateixa força independentment de les condicions d'adherència.

Provoquen una frenada molt forta, motiu pel qual només es fan servir per frenades d'emergència.

1. Frens de carril: patins electromagnètics



2. Frens de carril: corrents de Foucault

Aquest fre consisteix en uns electroimants que creen un camp magnètic al voltant d'un conductor en moviment. Això genera un corrent elèctric induït i uns corrents paràsits de sentit contrari, que provoquen l'esforç de fre per atracció i un escalfament del conductor.

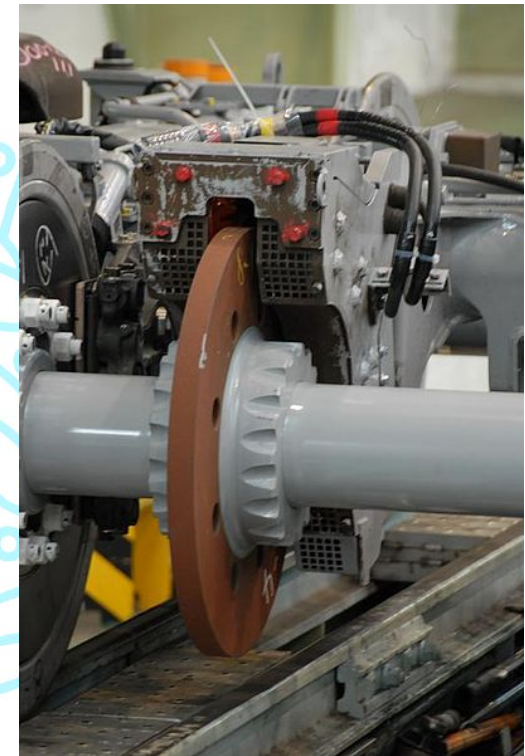
Hi ha de dues menes:

- **Lineals**, amb uns electroimants situats entre les rodes, a una petita distància sobre els carrils. Els conductors són els carrils. Són els que es fan servir a Europa.
- **Rotatius**, amb uns electroimants situats al voltant d'uns discs calats als eixos. Els conductors són els discs. Se'n fan servir al Japó.

2. Frens de carril: corrents de Foucault



Patins d'un fre lineal



Fre rotatiu

2. Frens de carril: corrents de Foucault

Els frens per corrents de Foucault que s'utilitzen a Europa (en alguns ICE alemanys i alguns TGV francesos) son lineals.

Tenen els següents avantatges:

- No tenen cap tipus de desgast.
- Son completament independents de l'adherència.

Però el següents inconvenients:

- Dissipen l'energia en forma de calor, escalfant els carrils.
- Poden provocar interferències en els circuits de via elèctrics.
- Redueixen la seva eficiència a mesura que disminueix la velocitat.

2. Frens de carril: corrents de Foucault

Utilització:

- Només en trens d'alta velocitat.
- Es fan servir per reduir la velocitat des de la màxima fins a una en que els altres frens (elèctrics o pneumàtics) son més eficients, entre 300 i uns 200 km/h.
- Només en línies modernes on no afecten als circuits de via ni tenen incompatibilitats electromagnètiques.
- Cal calcular el temps de circulació entre trens consecutius per que els carrils tinguin temps de refredar-se.

3. Frens aerodinàmics

Encara en fase de desenvolupament, els frens aerodinàmics sorgeixen de la necessitat de disposar de frens eficients per molt altes velocitats, per sobre de 300 km/h:

- si s'augmenta la velocitat d'un tren un 16,6 %, de 300 a 350 km/h, per frenar-lo es requereix un augment de l'esforç de fre del 40 %.

Per tant, per aquestes molt altes velocitats es necessiten:

- frens més eficients que no depenguin de l'adherència o de la temperatura;
- i la suma de diversos tipus de frens per fer front a aquest augment de l'esforç de fre necessari.

3. Frens aerodinàmics

Al Japó s'han desenvolupat diversos prototipus de frens aerodinàmics, consistents en una mena d'alerons (semblants als aerofrens dels avions) que es despleguen a voluntat quan es vol frenar.

En assajos reals, sumant el fre aerodinàmic a d'altres frens, s'ha aconseguit frenar un tren a 360 km/h en la mateixa distància que si anés a 275 km/h.

3. Frens aerodinàmics



**Frens aerodinàmics a un tren
Shinkansen Fastech 360S**



**Frens aerodinàmics
a un Maglev**

4. Frens d'instal·lacions: frens de via

En estacions de classificació de vagonos es fan servir frens de via, que poden ser:



- Unes pinces laterals que fan força contra la cara interior de les rodes: la força de fre és per fricció.
- Uns pistons hidràulics sobre els que pressionen les rodes: la força de fre és per compressió de l'oli.

4. Frens d'instal·lacions: frens de via



Fre de pinces laterals



Fre de pistons hidràulics

5. Frens d'instal·lacions: frens d'emergència

Tot i que pròpiament no son sistemes de fre dels trens, les instal·lacions disposen de diversos elements per provocar la seva aturada al final de les vies quan han fallat la resta de sistemes. Aquest son:

- topalls;
- bancals de sorra;
- vies d'estavellament.

5. Frens d'instal·lacions: frens d'emergència. *Topalls*



Topalls de fricció

Topall
convencional

Topalls amortidors

5. Frens d'instal·lacions: frens d'emergència. *Bancals de sorra.*



5. Frens d'instal·lacions: frens d'emergència. *Vies d'estavellament.*



Via d'estavellament

Via de circulació en pendent



En conclusió:

El fre ferroviari es tan antic com el propi ferrocarril:

- **Al principi es feien servir frens manuals accionats per guardafrens.**
- **A mitjans del segle XIX es va inventar el fre continu d'aire comprimit.**
- **A principis del segle XX, amb la invenció de la tracció elèctrica i dièsel, es van afegir els frens dinàmics.**
- **A finals del segle XX i principis del segle XXI es desenvolupen nous sistemes de fre per les altes i molt altes velocitats.**

En conclusió:

Per frenar un tren disposem de:

- **Frens pneumàtics de fricció: els fonamentals sense els que no poden circular.**
- **Frens dinàmics: complementen els pneumàtics. Son energèticament més eficients.**
- **Frens no dependents de l'adherència: per frenades d'emergència o a alta velocitat.**
- **Frens d'instal·lacions, per quan fallen tota la resta.**

En conclusió:

Finalment, cal no oblidar que darrere del fre ferroviari hi ha les persones:

- els enginyers, evidentment, que al llarg de dos segles han inventat i desenvolupat, sempre amb la màxima eficiència, les tecnologies necessàries;**
- però també les altres persones, aquelles que garanteixen desenes de milers de vegades cada dia que els trens frenen amb seguretat:**





**Moltes gràcies
per la seva
atenció**