

Ferrocarril: Fundamentos técnicos y operación



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN HISTÓRICA DEL ORIGEN Y EL DESARROLLO DEL FERROCARRIL	5
1.1 HISTORIA Y ORIGEN DEL FERROCARRIL.....	5
1.2 LA ÉPOCA DORADA DEL FERROCARRIL	8
1.3 EL FIN DEL VAPOR	9
1.4 DESARROLLO DEL FERROCARRIL.....	9
1.5 FERROCARRILES URBANOS	12
1.5.1 METRO.....	12
1.5.2 TRANVÍA	13
1.5.3 TREN LIGERO	14
2. NOCIONES BÁSICAS. TERMINOLOGÍA FERROVIARIA	14
2.1 INFRAESTRUCTURAS FERROVIARIAS	14
2.2 LÍNEAS FERROVIARIAS (VÍAS FÉRREAS).....	14
2.3 VÍA.....	15
2.3.1 INFRAESTRUCTURA DE VÍA	15
2.3.1.1 PLATAFORMA DE LA VÍA	15
2.3.2 SUPERESTRUCTURA DE VÍA.....	16
2.3.2.1 CARRILES (CARRILES O RAÍLES).....	16
2.3.2.2 JUNTAS Y ECLISAS	19
2.3.2.3 CONTRACARRIL	21
2.3.2.4 TRAVIESA	21
2.3.2.5 PLACA DE ASIENTO	25
2.3.2.6 SUJECCIONES DE VÍA	25
2.3.2.7 APARATOS DE VÍA.....	33
2.3.2.8 BALASTO.....	36
2.3.2.9 VÍA EN PLACA O VÍA SOBRE PLACA DE HORMIGÓN	37
2.4 INSTALACIONES FERROVIARIAS.....	39
2.4.1 INSTALACIONES DE ELECTRIFICACIÓN.....	39
2.4.1.1 ESTRUCTURA	40
2.4.1.2 SUBESTACIONES DE TRACCIÓN	40
2.4.1.3 FEDEERS DE ALIMENTACIÓN	41
2.4.1.4 CIRCUITO DE TRACCIÓN	42
2.4.1.5 CATENARIA	43
2.4.1.5.1 Línea Tranviaria	44
2.4.1.5.2 Líneas de Trolebús	45
2.4.1.5.3 Catenaria aérea flexible	46
2.4.1.5.4 Catenaria aérea rígida.....	47
2.4.1.5.5 Sistema de alimentación por tercer carril	48
2.4.1.5.6 Elementos de una catenaria	49
2.4.2 INSTALACIONES DE SEÑALIZACIÓN Y SEGURIDAD.....	50
2.4.2.1 EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA SEÑALIZACIÓN EN EL FERROCARRIL	50
2.4.2.2 BLOQUEO AUTOMÁTICO.....	53
2.4.2.3 CIRCUITOS DE VÍA.....	54
2.4.2.4 CONTADORES DE EJES	55

2.4.2.5	SEÑALES DE CIRCULACIÓN DE TRENES	56
2.4.2.5.1	Señales de entrada	56
2.4.2.5.2	Señales de avanzada	57
2.4.2.5.3	Señales de salida	57
2.4.2.5.4	Señales de maniobra	57
2.4.2.5.5	Señales de bloqueo	57
2.4.2.6	ESTABLECIMIENTO, ENCLAVAMIENTO, AUTORIZACIÓN Y DISOLUCIÓN DE RUTAS	58
2.4.2.6.1	Tabla de rutas simples (TRS)	59
2.4.2.6.2	Tabla de deslizamientos (TD)	60
2.4.2.6.3	Tabla de incompatibilidad (TI)	60
2.4.2.6.4	Disolución de rutas	60
2.4.2.7	ENCLAVAMIENTOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS	61
2.4.2.7.1	Enclavamientos eléctricos	61
2.4.2.7.2	Enclavamientos electrónicos	61
2.4.2.8	AUTOMATIZACIÓN DE LA CONDUCCIÓN DE TRENES	62
2.4.2.8.1	ASFA (Anuncio de señales y frenado automático)	62
2.4.2.8.2	Sistema ATP (Automatic train protection)	65
2.4.2.8.3	ERTMS (European Rail Traffic Management System)	66
2.4.2.9	EL CTC (CONTROL DE TRÁFICO CENTRALIZADO)	71
2.4.2.10	INSTALACIONES DE COMUNICACIONES	72
2.5	ESTACIÓN DE FERROCARRIL	75
2.6	INSTALACIONES FIJAS EN ESTACIONES	77
2.6.1	ACCESOS	77
2.6.2	ESCALERAS MECÁNICAS	78
2.6.3	ASCENSORES	80
2.6.4	EXPEDICIÓN DE BILLETES	81
2.6.5	CANCELACIÓN DE BILLETES	83
2.7	VENTILACIÓN DE LÍNEAS	85
2.8	BOMBEO DE AGUA EN LÍNEAS	87
2.9	TALLERES	90
3.	SISTEMAS EMBARCADOS	90
3.1	ESQUEMA DE POTENCIA	90
3.2	SISTEMA MECÁNICO	91
3.3	SISTEMA NEUMÁTICO	92
3.4	CONVERTIDOR ESTÁTICO	93
3.5	SISTEMA DE PROTECCIONES ELÉCTRICAS	94
3.6	SISTEMA DE ALIMENTACIÓN	94
3.7	ELEMENTOS DE MANDO Y MANIOBRA	95
3.8	DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD	96
3.9	SISTEMA DE INFORMACIÓN AL PASAJE	97
3.10	SISTEMAS DE VIDEOVIGILANCIA	97

4. TRACCIÓN ELÉCTRICA.....	97
4.1 TIPOS DE TRACCIÓN	98
5. TRACCION DISTRIBUIDA	99
6. SISTEMAS DE FRENADO	99
6.1 FRENO ELECTRICO.....	99
6.2 FRENO REGENERATIVO	100
6.3 FRENO NEUMÁTICO.....	101
6.4 FRENO MECÁNICO	102
7. BOGIES	103
7.1.1 BOGIES MOTORES	107
7.2 BOGIES REMOLQUE	108

1. INTRODUCCIÓN HISTÓRICA DEL ORIGEN Y EL DESARROLLO DEL FERROCARRIL

Se entiende por **ferrocarril**, en el sentido amplio del término, el sistema de transporte terrestre guiado sobre carriles de cualquier tipo, en paralelo (normalmente se entiende que los carriles son de acero), que hacen el camino o vía férrea sobre la cual circulan los trenes (vehículo motor. Dentro de esta clasificación se incluyen medios de transporte que emplean otros tipos de guiado, tales como los trenes de levitación magnética.

Su desarrollo se produjo en la primera mitad del siglo XIX como parte de la II Revolución industrial, haciendo uso de la ventaja técnica que supone el bajo coeficiente de rodadura metal sobre metal —del orden de 3 por 1000 y muy inferior al coeficiente de rodadura sobre carretera— causando una transformación completa de la sociedad al permitir el transporte de personas y mercaderías a un bajo costo y en forma regular y segura.

Por otro lado, se trata de un modo de transporte con ventajas comparativas en ciertos aspectos, tales como el consumo de combustible por tonelada transportada y kilómetro, la entidad del impacto ambiental que causa o la posibilidad de realizar transportes masivos, que hacen relevante su uso en el mundo moderno.

1.1 HISTORIA Y ORIGEN DEL FERROCARRIL

En el **siglo XVIII**, los trabajadores de diversas zonas mineras de Europa descubrieron que las vagonetas cargadas se desplazaban con más facilidad si las ruedas giraban guiadas por un carril hecho con planchas de metal, ya que de esa forma se reducía el rozamiento. **Los carriles para las vagonetas** sólo servían para trasladar los productos hasta la vía fluvial más cercana, que por entonces era la principal forma de transporte de grandes volúmenes.

El primer transporte de viajeros sobre “carriles de hierro” se realizó en **Inglaterra en 1801**, con vagones tirados por caballos, entre las localidades de **Wandsworth y Croydon**. Este hecho supuso un hito en la historia del transporte terrestre.

El inicio de la Revolución Industrial, en la Europa de principios del siglo XIX, exigía formas más eficaces de llevar las materias primas hasta las nuevas fábricas y trasladar desde éstas los productos terminados. Los dos principios mecánicos, guiado de ruedas y uso de fuerza motriz, fueron combinados por primera vez por el ingeniero de minas inglés **Richard Trevithick**, considerado el inventor y **padre del ferrocarril** por su primera locomotora, quien el **24 de febrero de 1804** logró adaptar la máquina de vapor, que se utilizaba desde principios del siglo XVIII para bombear agua (el ingeniero escocés **James Watt inventor de la máquina de vapor**), para que tirara de una locomotora que hizo circular a una velocidad de 8 Km./h arrastrando cinco vagones, cargados con 10 toneladas de acero y 70 hombres, sobre una vía de 15 Km. de la fundición de Pen-y-Darren, en el sur de Gales.

Transcurrieron dos décadas durante las cuales se desarrollaron los raíles de hierro fundido que soportaban el peso de una locomotora de vapor. La potencia necesaria para arrastrar trenes, en lugar de uno o dos vagones, se aseguró colocando una locomotora de vapor sobre dos o más ejes con las ruedas unidas mediante bielas, siendo las primeras locomotoras:

- En **1804**: locomotora "Trevithick" , **primera locomotora** del mundo
- En **1808**: locomotora "Catch me who can" **segunda locomotora** de "Richard Trevithick"
- En **1828**: locomotora "Lancashire Witch" (**12 Km/h**), diseñada para el **transporte de carbón**.
- En **1829**: locomotora "Rocket" (**47 Km/h**), **base de las restantes locomotoras a vapor**.

La **primera vía férrea pública** del mundo, la **línea Stockton-Darlington**, en el noreste de Inglaterra, dirigida por **George Stephenson**, se inauguró en **1825**. Durante algunos años esta vía **sólo transportó carga**; en ocasiones también utilizaba caballos como fuerza motora. La **primera vía férrea pública para el transporte de pasajeros** y de carga que funcionaba exclusivamente con locomotoras de vapor fue la de **Liverpool-Manchester**, inaugurada en **1830**. También fue dirigida por **George Stephenson**, en esta ocasión con ayuda de su hijo Robert Stephenson.

El éxito comercial, económico y técnico de la línea Liverpool-Manchester transformó el concepto de vías férreas, y no sólo en Gran Bretaña. Algo que antes se veía como medio para cubrir recorridos cortos, beneficioso sobre todo para la minería, se consideraba ahora capaz de revolucionar el transporte de largo recorrido, tanto de pasajeros como de mercancías. Se había pensado que cualquiera podría, previo pago de un peaje, poner un tren sobre las vías férreas, igual que se hacía con los barcos en los canales; pero el volumen de tráfico entre Liverpool y Manchester pronto demostró que **el uso de una vía fija debía controlarse desde una central y que era preciso mantener una distancia segura entre los trenes, mediante algún sistema de señalización**. Las **primeras señales mecánicas** instaladas a lo largo de la vía aparecieron en **1830**.

Desde mediados de la década de **1830** se desarrolló con rapidez en **Gran Bretaña y en la Europa continental** la construcción de **vías férreas entre ciudades**. Los ferrocarriles ingleses fueron construidos por empresas privadas, con una mínima intervención del gobierno, pero en Europa continental casi siempre la construcción estuvo controlada, y en ocasiones fue realizada, por los gobiernos nacionales o estatales. Así se estableció en Europa (menos en Gran Bretaña) la tradición del ferrocarril como empresa pública y la obligación del gobierno de financiar cuando menos en parte el mantenimiento y la ampliación de la infraestructura nacional de vías férreas. La participación del gobierno estaba orientada a impedir la duplicación innecesaria de la competencia en las rutas más lucrativas —como ocurrió en Gran Bretaña— y a garantizar que los ferrocarriles se expandieran de la mejor forma para el desarrollo social y económico del estado o del país del que se tratara. También eran importantes las consideraciones técnicas, económicas e incluso militares.

La intervención estatal se consideró primordial a la hora de elegir y unificar el **ancho de vía**, que es el parámetro que mejor define una vía ferroviaria, la mínima distancia entre las caras interiores de los carriles, ya que limita los tipos de material móvil que lo pueden utilizar y condiciona las conexiones posibles con otros ferrocarriles.

Los constructores de **Europa y de Norteamérica** adoptaron en general el **ancho de 1.435 mm** del proyecto de George Stephenson, que se basó en los tendidos de vía para vagonetas de mina desde su lugar de origen; empíricamente se había demostrado que era la dimensión más adecuada para el arrastre por medios humanos o con caballerías. La normalización internacional de este ancho no se produjo hasta la **Conferencia de Berna de 1887**.

Pero **España** optó deliberadamente por el **ancho de 1.668 mm**. Se ha especulado que esta adopción de ancho obedecía a una forma de protección contra la invasión francesa pese a estar ya en la segunda mitad del siglo XIX. Argumentos más técnicos apuntan a que, siendo España un país de orografía accidentada, las fuertes pendientes de los trazados exigirían que las locomotoras, para aumentar su potencia, tuviesen un cajón de fuego más amplio que el resto de las europeas, lo que obligaría a ensanchar el conjunto mecánico y por ende la vía.

Portugal adoptó el ancho español. Otros países tampoco siguieron estos modelos; la normalización **rusa a 1.520 mm** se debió a que el zar eligió a un estadounidense defensor de la vía ancha para que dirigiera el primer ferrocarril del país, y **Finlandia adoptó el mismo ancho**. En la actualidad, el tráfico ferroviario internacional entre países con diferentes anchos de vía se resuelve con vagones provistos de ejes de ancho variable que en las estaciones fronterizas, al cruzar un tramo de transición, automáticamente adoptan el nuevo ancho; no obstante también se mantienen los clásicos transbordos de tren en estas estaciones.

La construcción de vías férreas se expandió a tal ritmo en la década de **1840** que al terminar la misma se habían construido **10.715 km de vía en Gran Bretaña, 6.080 km en los estados alemanes y 3.174 km en Francia**. En el resto de Europa Central y del Este, excepto en Escandinavia y los Balcanes, se había puesto en marcha la construcción del ferrocarril. Los viajes en tren pronto se hicieron populares, pero hasta la segunda mitad del siglo XIX la rápida expansión de los ferrocarriles europeos estuvo guiada sobre todo por la necesidad de la naciente industria de transportar productos y la capacidad del ferrocarril para hacerlo a un precio que garantizaba buenos beneficios a los inversores. **En 1914** ya existía casi, excepto en Escandinavia, **la red de vías férreas que hoy tiene Europa**, una vez terminados los túneles de la gran vía transalpina: el Mont Cenis (o Fréjus) entre Francia e Italia en 1871, el San Gotardo en Suiza en 1881, el Arlberg en Austria en 1883 y en Suiza también el Simplon en 1906 y el Lotschberg en 1913.

El **primer ferrocarril español**, se construyó en la Isla de **Cuba**, perteneciente a la corona Española, para transporte de Caña de Azúcar al puerto de La Habana. Esta línea se construyó entre **1835 y 1837** cubriendo el trayecto entre La **Habana y Bejucal**. En la península, el 28 de Octubre del **1848** se construyó la primera línea que cubría el trayecto entre **Barcelona y Mataró**. El segundo ferrocarril que se construyó en España es el de la **línea Madrid-Aranjuez**, inaugurada el día 9 de Febrero de **1851**. Las locomotoras eran de alta presión y expansión variable, pudiendo llegar a 5 atmósferas, con una potencia de aprox. 186 caballos y una **velocidad máxima de 32 Km/h**. En **Julio de 1854** entró en funcionamiento de la línea de **Barcelona a Granollers**, un recorrido de **29 kilómetros**, en el que se usaron por primera vez traviesas metálicas (especie de conos donde se apoyaba el rail y que estaban unidos con una barra metálica). Por esas fechas también se construyó el ferrocarril de **Barcelona a Molins de Rey**, prolongándose en **1859 hasta Martorell**. También en el año **1854** se construyó el ferrocarril que unía la provincia de **Valencia con Jativa, con 56 kilómetros**.

En **Estados Unidos** el desarrollo del ferrocarril se vio espoleado por el deseo de llegar al interior del país desde las ciudades de la costa este, fundadas por los primeros colonos británicos. Tras la inauguración en **1830**, en **Charleston** (Carolina del Sur), del primer ferrocarril de vapor para pasajeros, la construcción de vías férreas pronto avanzó hacia el oeste desde todos los rincones de la costa este. La idea de enlazar la costa este del país con la costa del Pacífico, se vio fomentada por los pioneros establecidos en la costa oeste, que decidieron a su vez iniciar la construcción del ferrocarril hacia el este, convirtiéndose la empresa de ambos tendidos en una carrera por conseguir el mayor número de kilómetros hasta el punto de encuentro; esto convirtió la construcción del ferrocarril en una gesta más que en una obra de ingeniería. Diez mil obreros de la Union Pacific salieron en diciembre de 1865 de Omaha (Nebraska) al encuentro de los doce mil de la Central Pacific que partieron en enero de 1863 de Sacramento (California). El encuentro tuvo lugar el **10 de mayo de 1869** en **Promontory Point** (Utah) con el último remache de oro que el presidente Grant clavó con esta oración: "Ojalá siga Dios manteniendo unido a nuestro país como este ferrocarril une los dos grandes océanos del globo". Con ello quedó establecido el **primer ferrocarril transcontinental**, que dio paso a otras líneas, como la primera canadiense, **Transcontinental Canadiense** (con **6.352 Km**, entre **Montreal-Vancouver** en el año **1886**), y el **transeuropeo Orient Express** (con **3.186 Km.**, el 5 de junio de **1883** el primer Orient Express partió de la estación de París Gare de l'Est con destino a Constantinopla, hoy Estambul) y el **Transiberiano** (actualmente **9.297 Km.**, une Moscú con la costa rusa del océano Pacífico, más precisamente con Vladivostok, localizada en el mar del Japón).

1.2 LA ÉPOCA DORADA DEL FERROCARRIL

Los continuos avances relativos a tamaño, potencia y velocidad de la locomotora de vapor durante los primeros cien años de historia del ferrocarril ofrecieron los resultados más impresionantes en Norteamérica. En la **década de 1920**, la necesidad de que algunas vías férreas de Estados Unidos soportaran de **4.000 a 5.000 toneladas recorriendo largas pendientes** en zonas montañosas impulsó el **desarrollo de la locomotora de vapor** con chasis articulado, en la que una sola caldera de gran tamaño alimentaba a dos motores independientes que se articulaban entre sí, de modo que podía inscribirse en las curvas sin grandes problemas. Los últimos ejemplos de estas locomotoras, con sus grandes ténderes de numerosas ruedas para aumentar la reserva de carbón y el agua, pesaban más de 500 toneladas y generaban de 7.000 a 8.000 caballos de vapor. La más grande de las construidas en Estados Unidos y del mundo fue la **Big Boy de 1941**, de Union Pacific Railroad. Tenía una disposición de ejes 2-4-4-2, de forma que cada motor independiente actuaba sobre un grupo tractor de dos ejes (cuatro ruedas) y un bogie. Pesaba en orden de marcha 345 toneladas sin el ténder. A finales de la **década de 1930**, en las líneas principales más o menos llanas del Este y el Medio Oeste había **locomotoras aerodinámicas de ruedas grandes** que llevaban trenes de pasajeros entre las ciudades a una velocidad media de hasta **145 Km/h**.

La **velocidad máxima con locomotora de vapor** se registró en Europa, y la alcanzaron las locomotoras aerodinámicas de **Gran Bretaña y Alemania**, construidas para servicios de largo recorrido y que lograron una **velocidad media de 115 Km/h** o algo más entre dos paradas. En una prueba realizada en **1936**, una locomotora German de Clase 05 con disposición de ejes 2-3-2 alcanzó los **200,4 Km/h**. La última marca de **velocidad con vapor** fueron los **203 Km/h** de la locomotora Mallard de Clase A y ejes 2-3-1, de la empresa británica London and North-Eastern Railway, en una prueba realizada en julio de 1938.

El **último** eslabón que marca el máximo **desarrollo de una máquina de vapor** se dio en la **década de 1950**, coincidiendo con el cenit de la tracción a vapor en España, uno de los países que más se benefició de su uso. Se trata de la locomotora Confederación, una maquina de dimensiones excepcionales para Europa, comparable con las gigantescas locomotoras norteamericanas, que con un solo motor desarrollaba 4.226 caballos de potencia, siendo la locomotora mas rápida de España (**150 Km/h**). Pesaban en orden de carga 400 t, con ruedas de tracción de 1,92 m de diámetro y una disposición de ejes 2-4-2; fueron construidas en Escocia, aunque los últimos modelos ya se hicieron en Barcelona. La Confederada, como popularmente se la llamaba, fue **retirada de servicio** en la **década de 1970**, y fue el gigante de una generación que se acabó, dando paso a nuevas tecnologías que desde años atrás venían abriéndose paso y compitiendo con el vapor tradicional.

En paralelo con el desarrollo de la potencia y la velocidad de las locomotoras, los fabricantes entendieron que a los viajeros había que darles una cierta comodidad, máxime en viajes largos en los que deben pasar mucho tiempo dentro de los departamentos de los vagones.

1.3 EL FIN DEL VAPOR

Un **inconveniente** de la locomotora de vapor es la interrupción de servicio por las paradas técnicas que impone su **frecuente mantenimiento**. Por esta causa y por la fuerte **competencia del transporte por carretera** surgida en la segunda mitad del siglo XX, el transporte por ferrocarril tuvo que reajustar sus costes, operación que se vio favorecida con la utilización de nuevas energías como alternativa al vapor.

Así empieza la era de las locomotoras equipadas con motor **diesel**, que precisan menor tiempo de mantenimiento y sobre todo las de **tracción eléctrica**, que pueden funcionar sin descanso durante días. Con estas técnicas la explotación de una línea llega al máximo rendimiento, al hacer los trenes mayor número de viajes con tiempo mínimo de entretenimiento, lo que equivale a mantener las líneas con una máxima ocupación. Este índice se ve más favorecido cuando el tren está remolcado por una locomotora eléctrica que cuando lo está por una de vapor. Con este **principio económico**, empezó la decadencia del vapor en favor del desarrollo del diesel y de la electrificación de las líneas.

1.4 DESARROLLO DEL FERROCARRIL

Toda la experiencia acumulada durante la **electrificación de las redes francesas y japonesa de la posguerra** ha desembocado en los trenes de fin siglo en los que domina la idea de gran **comodidad y alta velocidad**, tratando de competir en largo recorrido no ya con el **automóvil** sino con el **avión**. En Europa occidental los núcleos urbanos con alta población están relativamente cercanos, por ello para utilizar su interconexión ferroviaria se ha tendido a la modernización de las vías y en consecuencia a su señalización junto a la nueva tecnología de tracción, con lo que las velocidades **entre 160 y 200 Km/h** son habituales.

Los **trenes de largo recorrido** han logrado mantener un tráfico frecuente y regular, así como añadir importantes mejoras en la comodidad: los avances en la **suspensión** en los **engranajes** y la **supresión de las uniones** de las vías gracias (la vía está constituida por barras cortas con sujeción directa a traviesas de madera, mediante tirafondos) a la técnica de la **soldadura continua de los carriles** (desaparecen las juntas de los carriles) hacen que los trenes de pasajeros se deslicen con gran suavidad, y los vagones suelen estar dotados de **aislamiento acústico, aire acondicionado y servicios de telefonía y audiovisuales**, además de los clásicos de **restauración, ducha personal** y la posibilidad de transporte en el propio tren del **automóvil del viajero**. La viabilidad del servicio de pasajeros para viajes de más de 400 Km. ha precisado desarrollos tecnológicos que permiten su funcionamiento a velocidades muy superiores.

A partir de la **década de 1960**, el **primer tren bala japonés** demostró que las grandes velocidades eran posibles. Los franceses perfeccionaron su **TGV** ("Tren de Gran Velocidad"). La primera vía para TGV, desde el sur de **París hasta Lyon** se terminó en **1983** lográndose una **velocidad comercial de 270 Km/h**. En **1994** se habían terminado otras cuatro líneas para TGV, que ampliaban el servicio de trenes de alta velocidad desde París hacia el norte y oeste de Francia y se iniciaron las líneas hacia el sur y la frontera española, que se concluirán, sin duda, a finales de este siglo. Su velocidad ha pasado de los **300 Km. por hora**. Pero la investigación aplicada por parte de la **SNCF** (Société Nationale des Chemins de fer Français, "Sociedad Nacional de Ferrocarriles Franceses"), no se detuvo aquí y en pruebas con tren real efectuadas en **mayo de 1990**, un TGV alcanzó la marca mundial de velocidad sobre raíles con un registro de **515,3 Km/h**.

Se denomina **tren de alta velocidad (TAV)**, según la UIC (Unión Internacional de Ferrocarriles) a aquel que alcanza velocidades superiores a **200 km/h sobre líneas existentes actualizadas**, y **250 km/h sobre líneas específicamente diseñadas** a tal efecto. En todos los casos se trata de vehículos y vías férreas desarrolladas en forma unitaria, dado que las velocidades alcanzadas requieren de técnicas específicas. El tren de alta velocidad es el vehículo de transporte **más seguro del mundo** (el que menos víctimas mortales produce, mejorando al avión). En los últimos 20 años solo ha habido tres accidentes con víctimas mortales, siendo el más grave el accidente de Eschede (Alemania) con 101 muertos y otro centenar de heridos.

En **España** para el **ferrocarril de alta velocidad (AVE – Alta Velocidad Española)** se adoptó la tecnología TGV (inspiración de la realizada por SNCF en Francia) con ancho de vía internacional (**1.435 mm**, dejando el denominado ancho ibérico - 1.668 mm) para su primera línea **Madrid-Sevilla**, inaugurada el **14 de abril de 1992** y circulando en los dos primeros años de funcionamiento entre las ciudades en 2h 55min. El **23 de abril de 1993** se alcanzó el récord de velocidad de los trenes AVE con **356,8 km/h**, lo que permitió que en **1994** se iniciase la explotación comercial a **300 km/h** en los trenes AVE de larga distancia, reduciéndose en 40 min. la duración del trayecto entre Madrid y Sevilla.

Los **italianos y los alemanes** han desarrollado su propia tecnología para las nuevas líneas de ferrocarril de alta velocidad y largo recorrido que ya han construido y están ampliando. La Unión Europea desea conectar estas nuevas líneas nacionales para poder ofrecer **viajes internacionales en tren de alta velocidad sin interrupciones**. El primer país no europeo además de Japón, que ha decidido construir una línea de alta velocidad y largo recorrido para pasajeros, es **Corea del Sur**, que empleará la tecnología TGV francesa en su proyecto de unir la capital Seúl con Pusan en el sureste peninsular.



Tren de Alta Velocidad en Europa

Una de las deudas que el ferrocarril moderno tiene con la electrónica es su contribución a la **tecnología de tracción**. Ha permitido lograr la gran potencia que hace falta para que un tren eléctrico desarrolle y mantenga una velocidad de **300 Km/h** porque por distintos caminos la electrónica ha **reducido el volumen y el peso de la unidad generadora**, además de permitir el desarrollo de las **comunicaciones y la seguridad**. Mientras que en 1950 una locomotora avanzada de 4.000 caballos de vapor pesaba 88 toneladas, en 1994 hay locomotoras suizas de 8.000 caballos de vapor de solo 80 toneladas.

Estas características también permiten en los trenes autopropulsados donde algunos o todos los vagones están provistos de motor, colocar todo el **equipo de tracción bajo el piso** para aumentar el volumen destinado a la comodidad de los viajeros. La señalización y la regulación de tráfico en estas líneas se comprende que es muy diferente a las convencionales. Hoy, gracias a la informática, se puede **controlar y localizar a distancia un tren** así como realizar **conexiones automáticas de trenes, procesar instantáneamente datos y transmitirlos sobre velocidad, circulación y otros muchos**. Un centro de control de tráfico cubre una zona amplia; al introducir el código de un tren en la unidad de control de tráfico, se muestra su situación en la línea de modo automático, y las computadoras indican a los controladores la mejor forma de corregir el horario de un tren, en la hipótesis de que alguno esté fuera de su plan de ruta. Gracias a esta tecnología pudo inaugurarse en **1989 la primera línea de pasajeros totalmente automatizada con trenes sin tripulantes: el metro de Lille**, al norte de Francia.

1.5 FERROCARRILES URBANOS

En el **último cuarto del siglo XX**, la evolución de las vías férreas ha estado marcada por la reacción en el mundo desarrollado ante la fuerza de la competencia del transporte por carretera y por aire, por la explotación de la electrónica y por una rápida difusión de los **sistemas de metro** (urbanos), tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo. Deseosas de evitar el **colapso en el transporte por carretera**, las ciudades secundarias pudieron permitirse un sistema de ferrocarril urbano gracias al renacimiento de **los tranvías de superficie como alternativa económica y eficaz al elevado coste de construir un sistema de metro subterráneo tradicional**. El tranvía moderno, llamado también **vehículo de vía estrecha**, puede alcanzar los 100 km/h y transportar a más de cien pasajeros por vehículo.

1.5.1 METRO

Se denomina **metro** (de ferrocarril metropolitano) o **subterráneo** (de ferrocarril subterráneo) a los "sistemas ferroviarios de transporte masivo de pasajeros" que operan en las grandes ciudades para unir diversas zonas de su término municipal y sus alrededores más próximos, con alta capacidad y frecuencia, y separados de otros sistemas de transporte.

El **primer metro del mundo** fue el subterráneo de Londres (denominado Metropolitan Railway), inaugurado en **1863** con seis kilómetros de longitud. En años sucesivos fue extendiéndose, de forma que en **1884** formaba un anillo de aproximadamente **veinte kilómetros**. A continuación se le añadieron líneas radiales, en parte a cielo abierto y en parte en túnel, para constituir el Metropolitan and District Railway. Las locomotoras eran de vapor. Posteriormente se comenzó la excavación de túneles en forma de tubo y se electrificaron las líneas, de allí la denominación inglesa Tube.

La siguiente ciudad, también en **1863**, en tener metro fue **Nueva York**, cuya línea más antigua, que estaba totalmente separada del tráfico, la West End de la BMT (Brooklyn-Manhattan Transit Corporation). Cronológicamente, en el **1876**, el tercer metro más antiguo del mundo (y el más corto, tienen 570 metros de distancia y el trayecto dura solamente dos minutos) es el de Estambul. En **1896**, **Budapest** (con la inauguración de la línea de Vörösmarty Tér a Széchenyi Fürdő, de cinco kilómetros) y **Glasgow** (con un circuito cerrado de 10 Km.) fueron las siguientes ciudades europeas en disponer de metro. La tecnología se extendió rápidamente a otras ciudades en Europa y luego a los Estados Unidos, donde un elevado número de sistemas se han construido. A partir del **siglo XX** comenzó la expansión por Latinoamérica, Oceanía, África y Asia, donde el crecimiento ha sido más grande en los últimos años.

Aunque todavía existen ferrocarriles urbanos cuyo trayecto transcurre total o parcialmente en la **superficie**, como el de **Medellín**. El concepto de **metro** se asocia generalmente a **ferrocarril subterráneo**, solución que fueron progresivamente adoptando las ciudades que no la habían adoptado originalmente, debido a varios motivos, entre los que pueden estar la superioridad en el **orden de la calidad estética y ambiental del trazado subterráneo**, así como la **falta de terreno disponible o la carestía del suelo** en las grandes ciudades.

A partir de la electrificación de los ferrocarriles, el metro se ha convertido en un medio de transporte eléctrico en todo el mundo. En algunos casos la corriente es conducida por unas catenarias por encima del tren y, en otros, existen vías especiales destinadas a esta tarea en los laterales del trayecto (tercer carril).

1.5.2 TRANVÍA

Se denomina **tranvía**, también llamado por su anglicismo tram, es un medio de transporte de pasajeros que circula por la superficie en áreas urbanas, en las propias calles, sin separación del resto de la vía ni senda o sector reservado. En algunos casos la vía férrea del tranvía puede transitar por vías públicas exclusivas y hasta cubrirse de hierba, integrándola aún más al paisaje urbano.

Los primeros servicios ferroviarios de pasajeros en el mundo se iniciaron en **1807** en **Gales**, usando carruajes especialmente diseñados en una línea de tranvía tirado por caballos construido para el uso del transporte de mercancías. Esta tecnología no tardó en llegar al Nuevo Mundo, ya que para **1832** se introduce en **Nueva York**, y en **1858** se inauguran las primeras líneas en **México, La Habana y Santiago**, además de **Río, Buenos Aires y Callao**, donde se inauguraron entre **1859** y **1864**. Volviendo al Viejo Mundo, empezó a circular **por París en 1854**, a **España llegó en el año 1871** y a **Düsseldorf, Alemania, en 1876**.

El primer tranvía eléctrico fue puesto en servicio en **Berlín en 1879**, lo siguió **Budapest en 1887**, **Bucarest en 1894**, **Sarajevo en 1895**, mientras que en **Suiza** la primera línea interurbana se abrió en **1888**. En **1890** funcionó el primero de **Francia** en la ciudad de Clermont-Ferrand.

El **desarrollo de la venta de vehículos** ocasionó en algunas ciudades la **desaparición rápida del tranvía** del paisaje urbano a partir del lustro de **1935**. El progreso técnico del **autobús**, más ágil en el tránsito urbano, ocasiona graves contratiempos al tranvía por no necesitar una cara infraestructura. Por otro lado, los poderes públicos invirtieron, sobre todo por el establecimiento de redes de autobús, en infraestructuras destinadas al automóvil, percibido como símbolo del progreso. Las redes de tranvía **dejan de ser mantenidas y modernizadas**, lo que les desacredita a ojos del público. Las antiguas líneas **son consideradas arcaicas y reemplazadas por líneas de autobús**.

Actualmente el tranvía se encuentra en una situación de fuerte recuperación en Europa. El inicio de este renacimiento se da en **Francia** gracias a los proyectos surgidos por el proceso de Concurso Cavaillé (proceso lanzado en **1975** por Marcel Cavaillé, Secretario de Estado de Transporte de Francia, para promover el retorno del tranvía a su país) tras la **crisis del petróleo de 1973** y la **saturación** de las ciudades por parte de los **coches**. A raíz de este concurso se produjo una proliferación del tranvía moderno en Francia (en algunas ciudades tras abandonar un proyecto de metro) y se construyen tranvías nuevos en Nantes (1985), Estrasburgo (1994), Rouen (1994), Burdeos (2003), Niza (2007) y Toulouse (2010). El éxito de estos proyectos ha provocado que numerosas ciudades europeas estudien soluciones parecidas. Los nuevos tranvías, gracias a la aplicación de los avances tecnológicos, se han convertido en un nuevo medio de transporte público con un alto nivel de prestaciones, accesible, silencioso, rápido, regular, confortable y ecológico, claramente en la línea de los criterios de fomento de la sostenibilidad en el entorno urbano.

1.5.3 TREN LIGERO

El **tren ligero** es un sistema de transporte que utiliza el mismo material rodante que el tranvía, pero que incluye segmentos parciales o totalmente segregados del tráfico, con carriles reservados, vías apartadas y en algunos casos túneles en el centro de la ciudad de características similares a las de un ferrocarril convencional. Tiene una capacidad media de transporte a escala regional y metropolitana, por lo general menor que el tren y el metro y mayor que el tranvía.

2. NOCIONES BÁSICAS. TERMINOLOGÍA FERROVIARIA

2.1 INFRAESTRUCTURAS FERROVIARIAS

Infraestructura ferroviaria: la totalidad de los **elementos vinculados a las vías** principales y a las de servicio y a los ramales de desviación para particulares, con excepción de las vías situadas dentro de los talleres de reparación de material rodante y de los depósitos o garajes del mismo. Entre dichos elementos se encuentran los **terrenos**, las **estaciones**, las **terminales de carga**, las **obras civiles**, los **pasos a nivel**, las **instalaciones vinculadas a la gestión y regulación del tráfico y a la seguridad**, a las **telecomunicaciones**, a la **electrificación**, a la **señalización de las líneas**, al **alumbrado** y a la transformación y el transporte de la **energía eléctrica** y sus edificios anexos.

2.2 LÍNEAS FERROVIARIAS (VÍAS FÉRREAS)

Línea ferroviaria (vía férrea) es la **parte de la infraestructura** ferroviaria que une **dos puntos determinados del territorio**. No se consideran incluidos en el concepto de línea, las **estaciones y terminales** u otros edificios o instalaciones de atención al viajero.

Las **líneas ferroviarias** pueden ser de **alta velocidad** o **convencionales**. A los efectos del Reglamento del Sector Ferroviario (RD 2387/2004, Art. 3) considera **líneas ferroviarias de alta velocidad**:

- Las líneas especialmente construidas para la alta velocidad, equipadas para velocidades, por lo general, iguales o superiores a 250 kilómetros por hora.
- Las líneas especialmente acondicionadas para la alta velocidad equipadas para velocidades del orden de 200 kilómetros por hora.
- Las líneas especialmente acondicionadas para la alta velocidad, de carácter específico, debido a dificultades topográficas, de relieve o de entorno urbano cuya velocidad deberá ajustarse caso por caso.

Son **líneas ferroviarias convencionales** las que, estando integradas en la Red Ferroviaria de Interés General¹, no reúnen las características propias de las líneas ferroviarias de alta velocidad. **No se consideran** incluidos en el concepto de línea, las **estaciones y terminales** u otros edificios o instalaciones de atención al viajero.

¹ La Red Ferroviaria de Interés General está integrada por las infraestructuras ferroviarias esenciales para garantizar un sistema común de transporte ferroviario en todo el territorio del Estado, o cuya administración conjunta sea necesaria para el correcto funcionamiento del sistema común de transporte, como las vinculadas a los itinerarios de tráfico internacional, las que enlacen las distintas comunidades autónomas y sus conexiones y accesos a los principales núcleos de población y de transporte o a instalaciones esenciales para la economía o la defensa nacional.

Los **elementos de la línea ferroviaria** se entienden agrupados en **vía, instalaciones ferroviarias y caminos de servicio**, que permiten acceder a la vía y a las instalaciones ferroviarias.

2.3 VÍA

Dentro de la **vía** se distinguen la **infraestructura de vía** y la **superestructura de vía**.

2.3.1 INFRAESTRUCTURA DE VÍA

Conjunto de obras de tierra y de fábrica necesarias para construir la plataforma sobre la que se apoya la superestructura de vía.

2.3.1.1 PLATAFORMA DE LA VÍA

La plataforma es el elemento que soporta la estructura de la vía y que recibe a través de la capa de balasto las tensiones debidas a la acción del tráfico. La función principal de la plataforma es la de permitir el apoyo de la estructura de vía sin que sufra deformaciones. Dicho apoyo implica la existencia en la plataforma de ciertas características resistentes, que deberían alcanzarse por tratamientos especiales, cuando el suelo no alcance los niveles previstos por sí solo o mediante la intercalación de capas de asiento intermedias entre el suelo natural y la capa de balasto.

Existen dos situaciones: Plataforma formada por **suelos naturales**, ya sean tratados o no (Desmontes y Terraplenes) y **obras de fábrica** u obras de arte (Túneles, Viaductos y Puentes). La diferencia fundamental entre ambas situaciones, se encuentra en el grado de rigidez que cada una le confiere a la estructura, lo que se traduce en una modificación de los estados tensionales originados en cada elemento de la vía.



Plataforma de piedra con vía sobre traviesas de madera y balasto

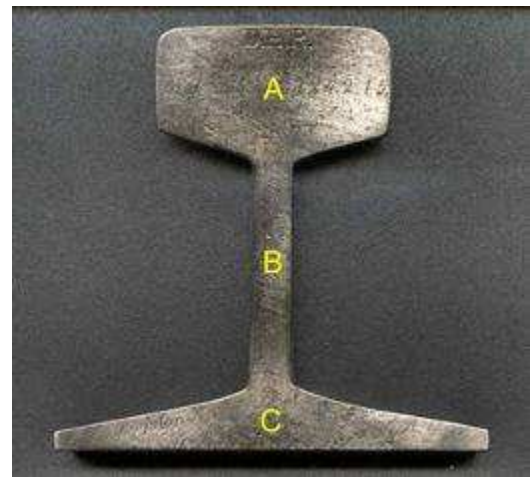
2.3.2 SUPERESTRUCTURA DE VÍA

Conjunto integrado por los **carriles**, **contracarriles**, **las traviesas** o, en su caso, la **placa**, **las sujeciones**, **los aparatos de vía** y, en su caso, el lecho elástico formado por el **balasto**, así como las demás capas de asiento, sobre el que estos elementos apoyan.

2.3.2.1 CARRILES (CARRILES O RAÍLES)

Elementos metálicos sobre los que se desplazan las ruedas de los trenes. El carril transmite a las traviesas los esfuerzos recibidos del material motor y móvil, así como los esfuerzos de origen térmico. Estos **esfuerzos** pueden ser **verticales** (proviene del peso propio del material circulante), **transversales** (derivados de la fuerza centrífuga no compensada) y **longitudinales** (los de origen térmico o efectos debidos a intensas aceleraciones de arranque y frenado).

Los **carriles**, además, sirven de elementos conductores para el retorno de la corriente en aquellas líneas ferroviarias explotadas en tracción eléctrica, así como para las corrientes de señalización, cuando se emplean circuitos de vía.



Carril. Partes de un carril o rail

Las partes que pueden apreciarse (nombradas A, B y C) son:

- A. Cabeza.** Es la parte superior y con la que entra en contacto, tanto la superficie plana de la rueda, como la pestaña de la misma.
- B. Alma.** Es la parte más estrecha del rail y la que transmite las fuerzas (principalmente peso) de la cabeza a la base.
- C. Patín.** Es la parte inferior del carril y que indirectamente entra en contacto con la traviesa, pues hay que recordar que entre esta y aquel, se encuentra el asiento (pieza generalmente metálica que evita que el rail, al incidir sobre él cualquier fuerza, dañe a la traviesa). El patín también es la parte que entra en contacto con los pernos o cualesquiera sistemas de sujeción del carril a las traviesas.



Circulación de la rueda del tren por el carril

En sitios donde coexiste el tránsito carretero con el tráfico ferroviario se debe pavimentar la superficie, siendo usual que se utilicen carriles de **tipo Vignole** modificados mediante una **garganta**, la cual permite que se desplace por ella la pestaña de las ruedas del material ferroviario, al tiempo que actúa como límite del pavimento.



Carril o carril tipo garganta

Se denomina **trocha o ancho de vía** a la separación entre los carriles, la cual debe coincidir con la separación entre ruedas del material rodante. Se mide entre caras internas, tomando como punto de referencia el ubicado entre 10 mm y 15 mm por debajo de la cara superior del carril, diferencia esta que depende del tipo de carril y de las normas aplicables en el país.



Trocha o ancho de vía

En España, existen tres tipos de ancho de vía:

- **Vía ancha o de ancho ibérico:** El vigente en la mayor parte de la red española y portuguesa (ésta es de 2mm menos). Es de **1668 mm**. También es citado bajo el nombre de "**ancho RENFE**" o "**ancho nacional**"
- **Vía de ancho estándar:** El utilizado en la mayoría de las redes europeas y del resto del mundo (aproximadamente un 60% de la extensión total de líneas de ferrocarril), por lo que se ha adoptado en las nuevas construcciones de las LAV en España. Es de **1.435 mm**, y en ocasiones también se le denomina como **internacional**, o **europeo** aunque el uso preferible es el de estándar.
- **Vía estrecha:** En este tipo se engloban todos aquellos **anchos inferiores a los 1.435 mm del ancho estándar**. En España la mayor parte de vía estrecha es de **1000 mm (ancho métrico o vía métrica)**.

Ventajas vía estrecha: Son más económicas. Curvas de menor radio, menos movimientos de tierras, menor anchura de plataforma, menor resistencia a la tracción en curvas, permite inclinación de las rampas, mayor economía en túneles y puentes, material móvil, por menor galibo, balasto, traviesas y carriles

Inconvenientes vía estrecha: derivados de la explotación. Menor capacidad tráfico, menor velocidad de circulación (estabilidad), para iguales ingresos, cociente explotación aumenta, dificultad enlaces con redes ancho normal

Soluciones: Disminuir ancho en toda nuestra red, muy caro o poner un tercer carril entre los existentes (traviesa polivalente) da problemas con las fronteras técnicas dentro de la propia línea, muy complicado agujas y cruzamientos; y asimetría total en cargas en infraestructuras de vía. Hay soluciones basadas en diseño vehículos para circular en ambos anchos, como el tren TALGO que puede cambiar de ancho, mediante un sistema de vías. Desbloquea las ruedas y luego las vuelve a bloquear. Es un sistema caro, no viable para trenes de mercancías, ya que pesan demasiado (solo con viajeros). Son dos ruedas independientes con el eje separado es decir dos ejes cortos.

Un **cambiador de ancho** es una instalación donde se realiza el cambio de ancho en un vehículo ferroviario para adaptarlo a un ancho de vía diferente. Los sistemas de cambio automático permiten a los trenes pasar de una línea con un ancho ibérico a otra con ancho internacional o viceversa, variando la distancia entre las ruedas, sin cambiar los ejes ni los bogies, de forma automática y mientras pasa el tren por la instalación.

En España los puntos de cambio de ancho están situados en la frontera con Francia, y en otros lugares de la geografía española donde coexisten líneas con diferentes anchos, entre las que se encuentran las nuevas líneas de alta velocidad en ancho internacional.

En la red ferroviaria española opera material rodante dotado de dos tecnologías de cambio de ancho automático:

- la **tecnología TALGO RD** (Rodadura Desplazable) empleado en vehículos TALGO.
- la **tecnología BRAVA** (Bogie de Rodadura de Ancho Variable Autopropulsado) empleada por CAF, en trenes autopropulsados de viajeros diesel y eléctricos.

Desde el punto de vista de la infraestructura, los cambiadores pueden dotarse de una sola plataforma, bien TALGO o CAF, o de un sistema dual de plataformas, que permiten el cambio de ancho para ambas tecnologías, independientemente del vehículo.

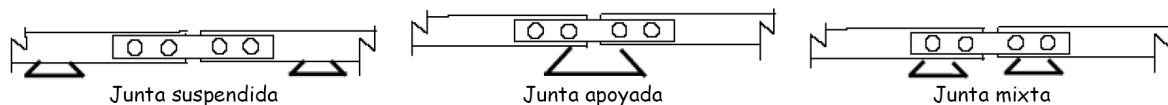
2.3.2.2 JUNTAS Y ECLISAS

La unión longitudinal de los carriles consecutivos se realiza por medio de piezas especiales llamadas **eclisas o bridas**. Las funciones de las **eclisas** (también llamadas **bridas**) son:

- Empalmar los carriles de forma que se comporten como una viga continua, tanto en planta como en alzado
- Lograr una resistencia a la deformación del empalme que se aproxime a la de los carriles que acoplan
- Impedir movimientos relativos (verticales y transversales) de los extremos de los carriles pero permitiendo su dilatación
- Debe ser una pieza simple (con el menor número de elementos posible) a los efectos de tener un fácil montaje y permitir un mantenimiento adecuado

Los lugares donde se realiza dicha unión longitudinal se denominan **juntas de vía** y constituyen los puntos más **débiles de la vía**. En efecto, la discontinuidad en la rigidez de la vía en dicha zona, determina un **choque al paso de las ruedas**

La **junta eclisada** consta de un **par de eclisas** que son dos elementos metálicos que se montan a ambos lados del **alma de los extremos de los carriles** y se unen mediante **bulones** pasantes, para ello tienen orificios coincidentes con los orificios de los extremos de los carriles. La **eclisa** se apoya en la cara superior del patín y en la cara inferior de la cabeza, nunca en el alma porque en ese caso, se aumenta la fricción y aparecen problemas con la dilatación del carril. En el mantenimiento, se engrasa el alma de los carriles en las juntas pues no debe existir fricción entre la eclisa y el alma. Las **juntas** de acuerdo a la disposición de las traviesas se pueden clasificar en: **suspendidas, apoyadas y mixtas**



Tipos de juntas, según ubicación con las traviesas

Juntas aislantes: En las instalaciones de señalización por bloqueo o centralización, los hilos del carril son utilizados con frecuencia para la conducción de la corriente de señales. Las **juntas** deben facilitar el pasaje de la corriente y la conductividad necesaria se logra gracias a la conexión de ambos extremos del carril con ayuda de alambre de cobre soldado a ellos. Las juntas aislantes aseguran la discontinuidad del circuito de vía entre cantones. El mantenimiento de las juntas aislantes, por el envejecimiento de los materiales aislantes es delicado y costoso.



Junta y eclipsa en un carril

En la actualidad, prácticamente **todas las compañías ferroviarias** han adoptado la tecnología del **carril continuo**, ya que evita problemas que aparecen en las juntas y en las eclisas y reduce el mantenimiento.

Los carriles continuos soldados por norma general se efectúan en instalaciones habitualmente fijas, a partir de lo que se conoce por barra elementales (normalmente 18m, en caso de RENFE) para obtener **barras largas de 144 a 288 m. de longitud** (RENFE emplea 16 barras de 18m para obtener 288m), las cuáles son transportadas en vagones especiales hasta el lugar de colocación.

Para soldar los carriles se suelen utilizar dos procedimientos, en **talleres** se hace por **soldadura eléctrica** y en la **obra** por **soldadura aluminotérmica**. Este proceso de soldadura por aluminotermia comporta una serie de ventajas: Puede realizarse "in situ" de forma sencilla y eficaz, Requiere un equipamiento mínimo y No precisa de fuentes de energía externas de importancia.



Alineación y nivelación de los extremos de los rieles a soldar



Colocación de los moldes



Sellado de los moldes



Colocación del kit dentro del crisol



Colada



Desbarbado con "cortamazarotas"



El riel luego del desbastado



Esmerilado



Comprobación final

Fases de la soldadura aluminotérmica

2.3.2.3 CONTRACARRIL

Carril situado a poca distancia frente a la cara interna de un carril de rodadura que **participa en el guiado lateral de la rueda y evita el descarrilamiento en curvas de poco radio**, en los **cambios y cruces**. Los contracarriles son necesarios en la zona del corazón (**cruzamientos**) para el guiado de las ruedas, pero también se utilizan, a veces, como carril guía en el lado interior de una curva cerrada, para quitarle carga al carril exterior y minimizar el desgaste. Los contracarriles se pueden realizar con o sin peralte frente al borde del carril superior. En los puentes y curvas cerradas, se trata de una medida de seguridad para evitar posibles descarrilamientos sujetando el tren en la vía o que en caso de que deba detenerse, todo el peso gravite sobre la pestaña interior de la curva



Contracarriles en un cruzamiento

- **CRUZAMIENTO:** Conjunto de elementos que forma **parte del desvío**. En él se materializa el cruce de los dos hilos que se cortan. **CORAZÓN DE CRUZAMIENTO:** Elemento en los desvíos donde se **materializa el cambio de vía**

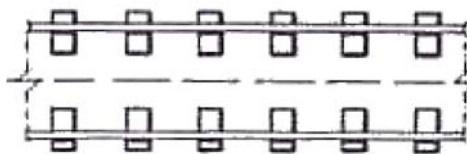
2.3.2.4 TRAVIESA

Es el elemento que **une el carril con el balasto**. Van posicionadas transversalmente al eje de la vía y sobre ellas van los carriles. Tienen dos misiones específicas: **repartir** sobre el balasto **las cargas transmitidas** por el carril de la manera más uniforme posible, i **mantener el ancho de vía** de la manera más constante posible, dentro de unos márgenes admisibles. Por su forma pueden ser:

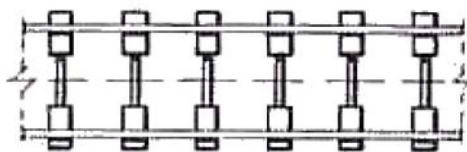
- **Apoyos independientes o semitraviesas:** los carriles se apoyan en dados de hormigón, dispuestos en parejas, uno a la altura del otro, pero sin unión entre ellos. Inconvenientes: problemas de bateo², peralte, etc.

² Proceso de meter balasto debajo de la traviesa justo en la vertical del carril y dejando el centro de la traviesa sin balasto. Las traviesas, tanto de madera como de hormigón, están sometidas a unas presiones ejercidas por el paso de los trenes, produciendo en la traviesa una malformación en la cara lisa que toca el balasto, aplastando éste que, con el tiempo, pierde sus propiedades elásticas. Para remediar esta situación existe una tarea de mantenimiento consistente en meter balasto de forma manual o mecánica (con máquinas especiales de bateo o bateadora) debajo de la traviesa

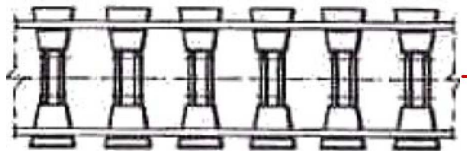
- **Traviesas de dos bloques:** se sustituye la parte central por una viga metálica, cuyo perfil es suficientemente rígido para asegurar el mantenimiento del ancho de la vía, la inclinación de los carriles y al mismo tiempo lo bastante elástica para absorber esfuerzos de torsión o flexión provocados por la desigualdad del bateo o por la desnivelación de un bloque respecto al otro. Inconvenientes: gran consumo de acero, mala conservación del ancho de vía (velocidades bajas), corrosión de la riostra, mal comportamiento en los descarriles, rotura de riostra, etc.
- **Traviesas de dos rótulas:** la dotación de rótulas a las traviesas hormigón armado fue un intento indirecto a la eliminación de fisuras de la parte central a base de disminución del valor en esta zona del momento flector. Inconvenientes: incapacidad de mantener el ancho de vía, excesiva degradación del balasto debajo ella, vida corta de rótulas
- **Traviesas monobloque.** Es decir, están formadas por una sola pieza. Las traviesas de hormigón monobloque pueden ser polivalentes si los carriles se pueden fijar en dos posiciones distintas para permitir la instalación de vías de diferentes anchos



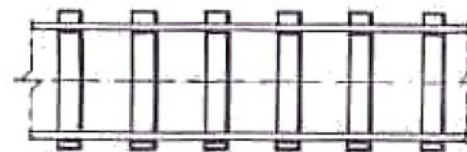
-> Ejemplo de semitraviesas.



-> Ejemplo de dos bloques con riostra.



-> Ejemplo de traviesas de dos rótulas.



-> Ejemplo de traviesas monobloc.

Tipos de formas de traviesas

Básicamente existen tres tipos de traviesas según materiales y tipología:

- **Traviesas de madera:** de roble, haya o pino. **Ventajas:** Elasticidad y resistencia a la flexión; Alto aislamiento eléctrico, Facilidad de fabricación y para el clavado de las sujeciones, i Facilidad de manipuleo en trabajos de instalación y mantenimiento de vía. **Inconvenientes:** Escasa durabilidad (humedad, de muchas de las especies utilizadas en la fabricación, Bajo peso específico, lo que disminuye su estabilidad a altas velocidades, Dificultades y encarecimiento para la adaptación de sujeciones elásticas. Actualmente, aún se usan en lugares donde la plataforma y el balasto forman una estructura con rigidez elevada, como en puentes metálicos



Tipo de traviesa de madera

- **Traviesas metálicas:** normalmente de acero, con una forma de sección transversal en forma de U invertida, embutido en sus extremos para formar topes que se clavan en el balasto para aumentar de esta manera la resistencia al desplazamiento lateral de la vía. **Ventajas:** Muy buenas condiciones para mantener el ancho de vía, Alta vida útil, superior a los 50 años, Facilidad de reparación por soldadura o enderezado mediante prensa hidráulica o mediante fragua, Facilidad de manipuleo en trabajos de instalación y mantenimiento de vía, ya que su peso oscila en los 80 kg., Tiene valor residual, ya que admite reparaciones o puede venderse como chatarra. **Inconvenientes:** Son frágiles, no aptos para ser instalados en vías con carril continuo soldado, Dificultades para lograr un aislamiento eléctrico eficaz, Resultan bastante ruidosas, y Dificultades y encarecimiento para la adaptación de sujeciones elásticas a este tipo de durmientes.



Tipo de traviesa metálica

- **Traviesas de hormigón:** Los primeros intentos por desarrollar las traviesas de hormigón datan de principios del siglo XX, sin embargo los problemas que surgieron en los primeros modelos fueron dos: **fisuración y posterior rotura del hormigón** en la zona de asiento del carril y **rotura por fatiga en la zona central** de la traviesa por estar sometida a esfuerzos alternativos de flexión. Estos problemas fueron resueltos en principio con el diseño de las **traviesas de hormigón armado de dos bloques unidos por una riostra de acero laminado** que absorbe los momentos alternativos en la zona central y posteriormente con el desarrollo de las **traviesas de hormigón pretensado y postensado**³, que al trabajar a compresión resuelve dichos problemas, ya que las tracciones que producen las cargas de servicio se traducen en una disminución de la compresión ya existente en el material. A partir de la aparición con buenas prestaciones de las traviesas de **hormigón tanto bibloques como monobloques**, su uso se ha generalizado desplazando a las traviesas de madera y metálicas, fundamentalmente en la instalación de vías constituidas con carril continuo soldado. **Ventajas:** Muy buenas condiciones para mantener el ancho de vía, Alta vida útil, superior a los 50 años, Presentan excelentes condiciones para ser instalados en vías con carril continuo soldado, por su peso que oscila de 200 a 300 Kg por unidad que le da una mayor estabilidad a la vía y porque además todos los tipos de traviesas de hormigón tienen incorporados sujeciones elásticas, y si bien no presentan buen aislamiento eléctrico, el mismo se logra eficazmente a través de los sistemas de sujeción. **Inconvenientes:** Muy pesados, presentan dificultad de manipuleo en trabajos de instalación y mantenimiento, siendo indispensable contar con equipos especiales, Elevado costo inicial, Para su instalación es necesario contar con una capa de balasto limpia y con un espesor mínimo de 15 cm debajo de la traviesa.



Tipo de traviesa de hormigón monobloque

³ **Hormigón pretensado** es la tipología de construcción de elementos estructurales de hormigón sometidos intencionadamente a esfuerzos de compresión previos a su puesta en servicio. Dichos esfuerzos se consiguen mediante cables de acero que son tensados y anclados al hormigón. **Hormigón postensado** es aquel hormigón al que se somete, después del vertido y fraguado, a esfuerzos de compresión por medio de armaduras activas (cables de acero) montadas dentro de vainas. A diferencia del pretensado, en el que las armaduras se tensan antes del hormigonado, en el postensado las armaduras se tensan una vez que el hormigón ha adquirido su resistencia

- **Traviesas sintéticas:** Las traviesas de material sintético están en **proceso de experimentación**. Los primeros en aparecer fueron fabricados en poliuretano, y actualmente se están haciendo ensayos con fibra de vidrio o carbono. Tienen forma de paralelepípedo⁴ y su peso es del orden de los 40 Kg. Por ahora, se los limita a los sistemas urbanos ya que tienen la ventaja de que disminuyen el ruido y presentan un elevado aislamiento eléctrico, pero no soportan cargas superiores las 10 toneladas por eje.

2.3.2.5 PLACA DE ASIENTO

Las **placas de asiento** son parte integrante de muchos sistemas de sujeción y cada tipo de sujeción tiene un diseño específico de la placa de asiento. Las placas de asiento pueden ser de dos tipos:

- **Metálicas:** tienen como misión esencial repartir las cargas transmitidas por el carril a la traviesa, ya que la superficie de apoyo es mayor que la del patín del carril
- **Elásticas:** pueden ser de caucho, neopreno, poliamida, etc. y sus misiones primordiales son las de amortiguar las vibraciones que el carril transmite a la traviesa y proporcionar elasticidad a la vía.

Las **funciones principales** de las placas de asiento como elementos integrantes de un sistema de sujeción pueden ser:

- Servir de relación entre **carril y traviesa en sujeciones indirectas**
- Contribuir al correcto **posicionamiento del carril** (garantizando el ancho vía y la inclinación del mismo)
- Contribuir a **evitar el desplazamiento longitudinal del carril**.



Placa de asiento para la conexión carril-traviesa

2.3.2.6 SUJECIONES DE VÍA

Las **sujeciones de vía** son el conjunto de **elementos que sirven para fijar los carriles las traviesas** manteniéndolas en la posición vertical, a la vez que impide (o permite parcialmente) los movimientos verticales, transversales y longitudinales.

⁴ Un paralelepípedo es un poliedro (cuerpo geométrico cuyas caras son planas y encierran un volumen finito) de seis caras (por tanto, un hexaedro), en el que todas las caras son paralelogramos, paralelas e iguales dos a dos.

Con la aparición del **carril continuo soldado**, dio origen a las **sujeciones elásticas**, en las cuales el elemento de apriete del patín del carril se deforma elásticamente, permitiendo que el apriete se mantenga en todo momento. Las **sujeciones elásticas**, por lo tanto, aseguran la conexión carril-traviesa no solo en el sentido transversal al eje de vía sino también en el sentido longitudinal.

La incorporación de las **traviesas de hormigón** introdujo un nuevo paso en la evolución de los sistemas de sujeción, fue necesario **introducir una placa de asiento elástica** entre el carril y la traviesa para evitar impactos entre ambos y reducir la excesiva rigidez del hormigón. Finalmente, cabe destacar que con la electrificación de las líneas y el desarrollo de sistemas de señalización cada vez más sofisticados, ha hecho que los componentes de las sujeciones han debido adaptarse a una nueva función de **aislamiento eléctrico** entre el carril y la traviesa.

En función de la forma de anclaje de la traviesa, las sujeciones se pueden clasificar en los **tres tipos** que se describen a continuación:

- **Sujeciones directas:** El elemento de anclaje a la traviesa es el mismo que proporciona el esfuerzo de apriete
- **Sujeciones indirectas:** El carril se apoya sobre una placa de asiento metálica. El elemento que proporciona el esfuerzo de apriete es distinto del de anclaje de la placa de asiento a la traviesa
- **Sujeciones mixtas:** El carril se apoya sobre una placa de asiento metálica, pero el elemento que proporciona el apriete es el mismo de anclaje de la placa de asiento a la traviesa.

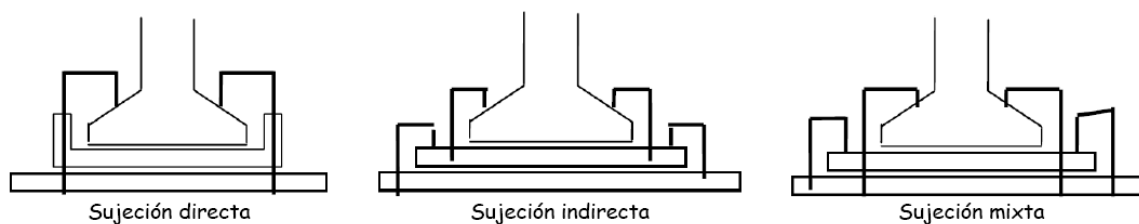


Figura 1: Esquema de los tres tipos de sujeciones (directa, indirecta y mixta)

Otra clasificación se puede hacer en función de las **características de los elementos que componen el sistema de sujeción**:

- **Sujeciones rígidas:** Cuando la sujeción realiza la transmisión de esfuerzos del carril a la traviesa a través de elementos rígidos
- **Sujeciones elásticas:** Cuando la sujeción realiza la transmisión de esfuerzos a través de un elemento o conjunto de elementos elásticos (que se deforman con el esfuerzo y recupera su forma inicial). Cuando este tipo de sujeciones está compuesta por varios elementos, la misión de los mismos puede ser: fijar el carril a la traviesa, fijar el carril a la placa o fijar la placa a la traviesa. Las sujeciones elásticas pueden subdividirse en:
 - o **Sujeciones simplemente elásticas:** Cuando la sujeción está compuesta por un único elemento elástico o está compuesta por más de un elemento de los descritos anteriormente, pero solo uno de ellos es elástico.
 - o **Sujeciones doblemente elásticas:** Cuando el conjunto de la sujeción está compuesto por varios elementos y más de uno son elásticos, por ejemplo: cuando tanto la sujeción del carril a la placa como la de ésta a la traviesa se realiza a través de elementos elásticos.

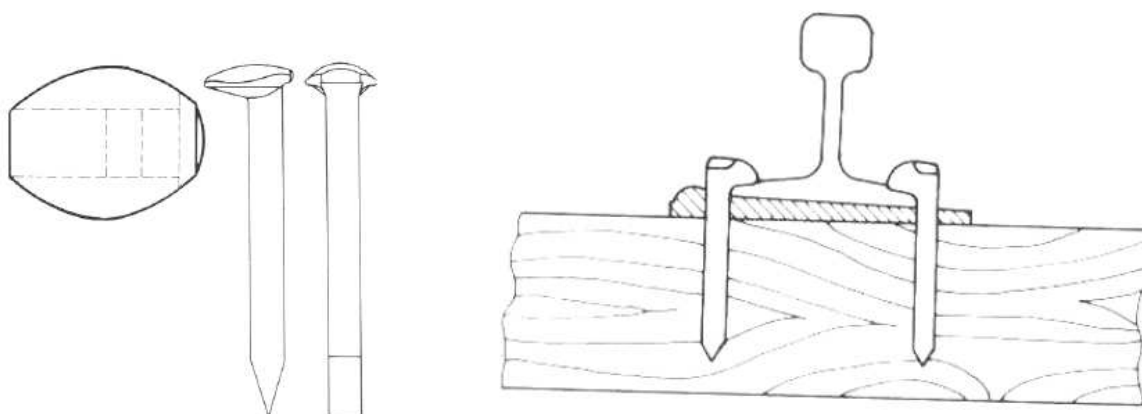
Las **sujeciones rígidas** tienen el **inconveniente** de que la calidad de las prestaciones que cumplen **se deteriora con bastante rapidez** debido a la acción de las cargas transmitidas por los vehículos que circulan por la vía, dado que la energía de choque que absorben es acumulativa lo que se traduce en **deformaciones permanentes y progresivas** si no se realizan trabajos periódicos de ajuste y reapretado de las mismas.

Por el contrario, las sujeciones elásticas son capaces de deformarse y **recuperar en forma inmediata esta deformación** (salvo que las cargas de impacto que deban soportar superen su límite elástico).

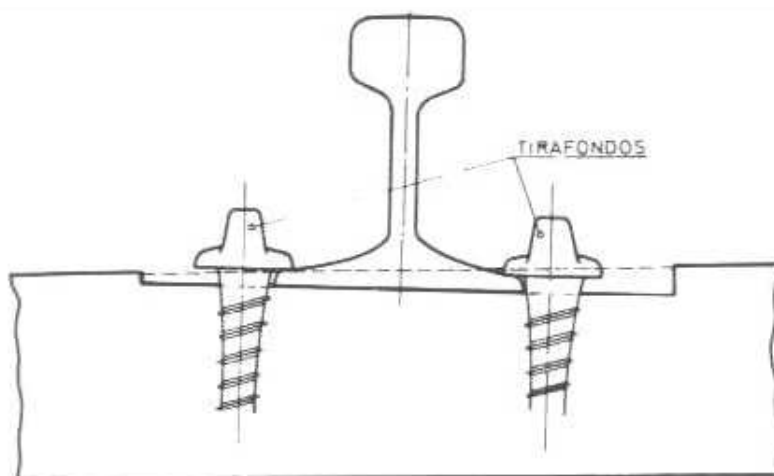
En resumen: La ventaja fundamental de las sujeciones elásticas, sobre las rígidas, es que permiten movimientos verticales del carril al paso del material rodante, amortiguándose, de esa manera la energía de los choques que se producen.

Clasificación de los principales modelos de sujeción:

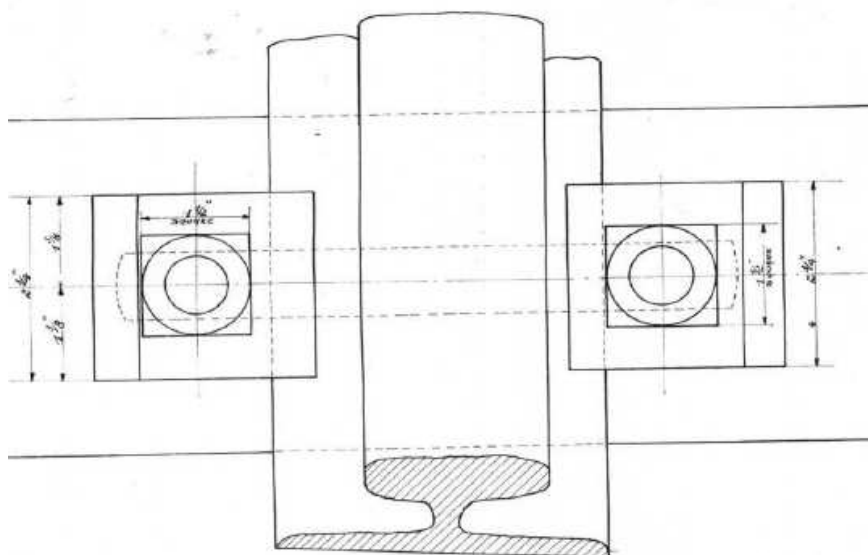
Tipo de sujeción	Tipo de traviesa	Nombre de la sujeción
Rígidas directas	Madera	Clavo de vía o escarpia
		Tirafondo
	Metálica	Grapa con bulón doble
Elásticas directas	Madera	Clavo elástico
		Sujeción Nabla
		Sujeción Vossloh Skl
		Sujeción Pandrol Gauge -Lock
	Metálica	Sujeción Nabla
	Hormigón	Sujeción RN
		Sujeción P2
		Sujeción Nabla
		Sujeción Vossloh Skl -1
Elásticas indirectas	Madera	Sujeción Pandrol E
		Sujeción Deenik
		Sujeción Vossloh Skl -12
		Sujeción K
	Metálica	Sujeción Pandrol E
		Sujeción Deenik
		Sujeción K
	Hormigón	Sujeción Pandrol E
		Sujeción Pandrol Fast Clip
		Sujeción Deenik
		Sujeción Vossloh Skl 12
		Sujeción K



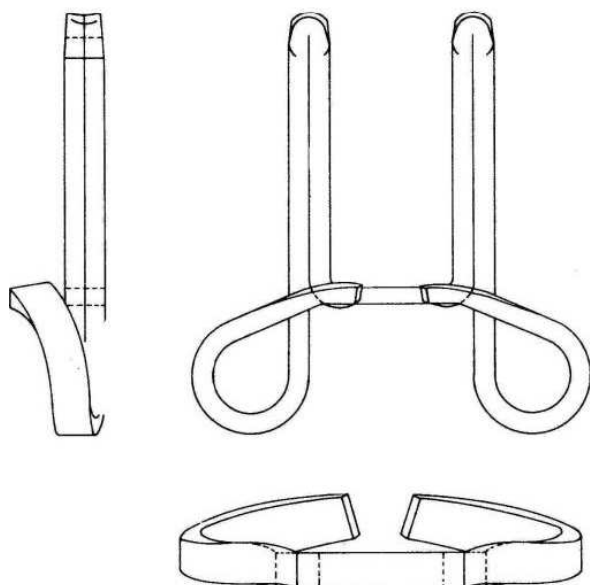
Sujeción con clavo de vía carril/placa de asiento/traviesa de madera



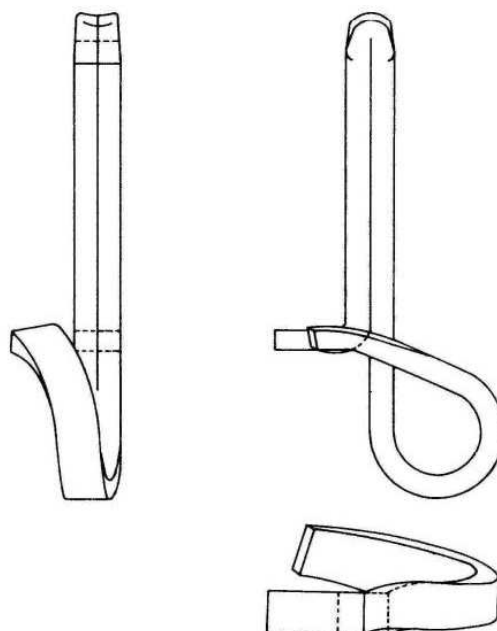
Sujeción con tirafondo sin placa de asiento en traviesa de madera



Sujeción con grapa de bulón doble en traviesa metálica



Clavo Dörken doble



Clavo Dörken sencillo

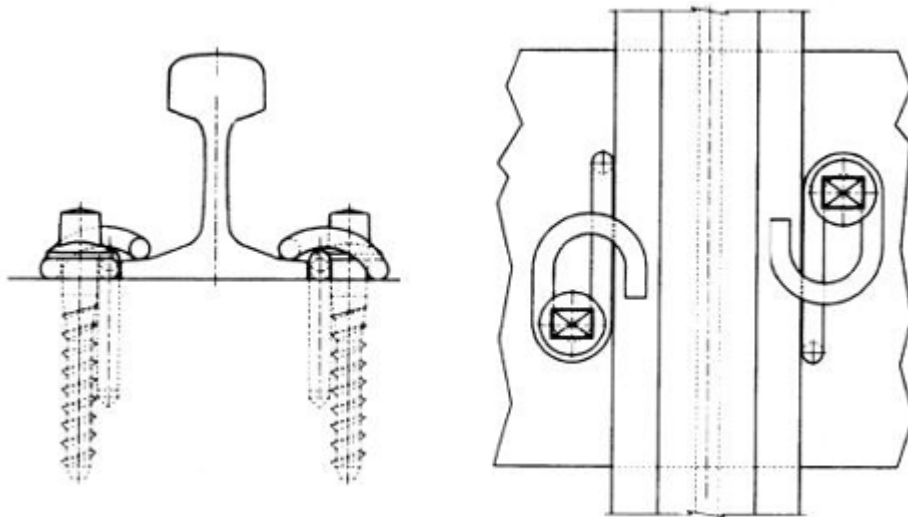
Sujeción con clavo elástico (clavo "Dörken" de origen alemán)



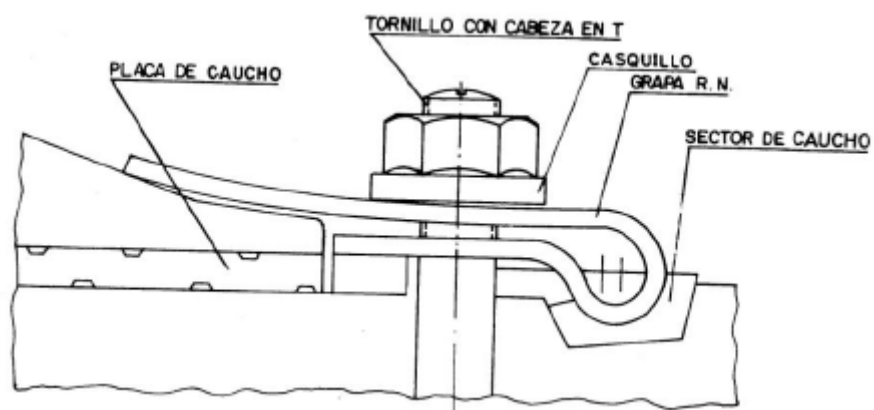
Sujeción tipo Nabla



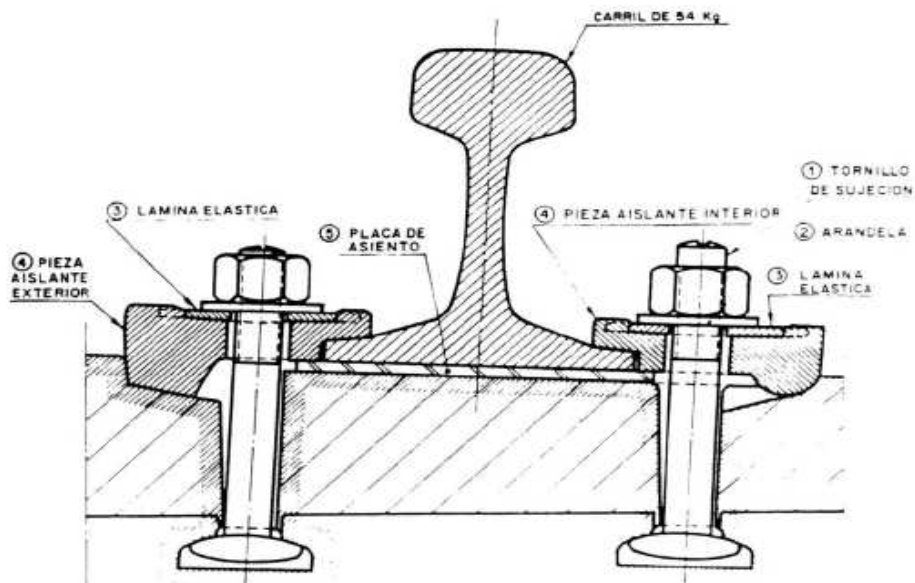
Sujeción elástica Vossloh SKI-1 en traviesa de hormigón



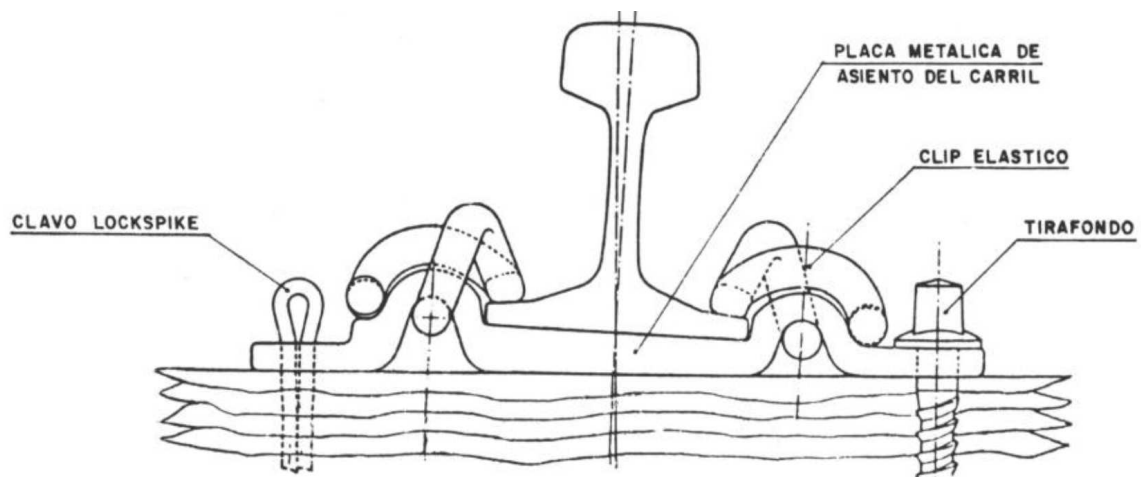
Sujeción Pandrol Gauge -Lock



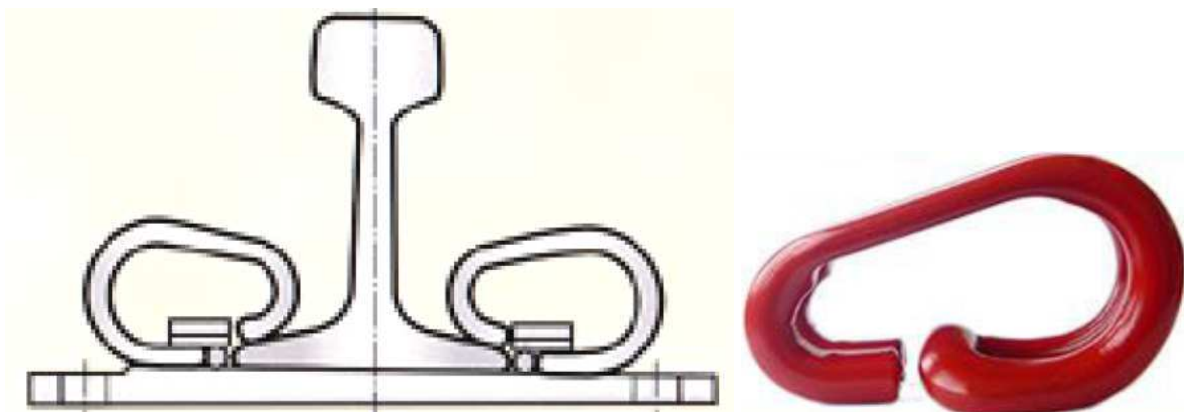
Esquema de la sujeción elástica RN



Conjunto de sujeción elástica P2 en traviesa de hormigón



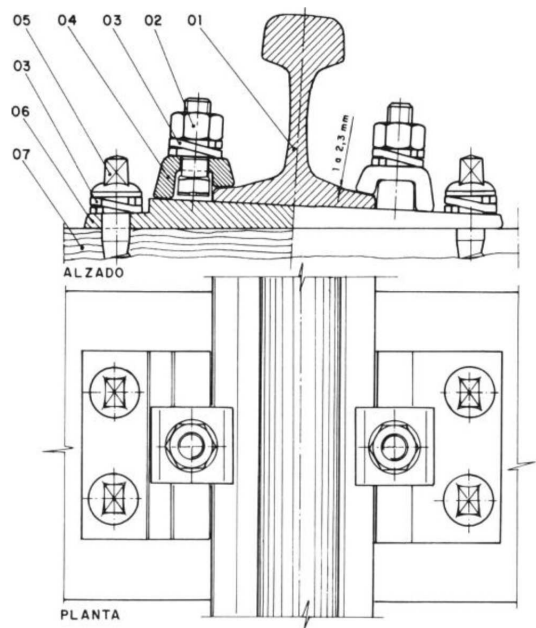
Conjunto de sujeción Pandrol E-Clip en traviesas de madera



Conjunto de sujeción Deenik con placa de asiento metálica



Sujeción elástica Vossloh Ski-12 en traviesa de madera



PIEZAS NECESARIAS PARA UNA TRAVIESA DE MADERA

07	TRAVIESA DE 2.600x260xh	1			MADERA
06	PLACA NERVADA PNI-UIC 54	2	60.313.000	Fig. 2.2 f.	ACERO
05	TIRAFONDO Nº 8 (Sx B-160)	8	60.320.500	Fig. 2.2 e	ACERO
04	GRAPA DESLIZANTE KD 54	4		Fig. 3. b.	ACERO
03	ARANDELA ELASTICA DOBLE Fe 6	12	60.320.750	Fig. 2.2 c.	ACERO DE MUELLE
02	TORNILLO DE GANCHO M22 (TG 32-0-65) CON TUERCA	4	60.320.605	Fig. 2.2 b.	ACERO
01	CARRIL UIC 54			P16.0358.00	ACERO
00	DESCRIPCION	CANTID	Nº MATRICULA	DIBUJO	NOTAS

NOTAS. - LOS TIRAFONDOS Y LA GRAPA "04" SE APRETARAN HASTA QUE ENTRE LAS DOS VUELTAS DE LA DOBLE ARANDELA ELASTICA QUEDE UNA HOLGURA DE 1 A 1,4 mm.
- DESPUES DE HABER PASADO ALREDEDOR DE 1.000.000 DE TONELADAS BRUTAS DESDE EL MONTAJE DE LA SUJECION, SE EFECTUARA UN REAPRETADO DE LOS TIRAFONDOS, EXCEPTO EN EL CASO DE QUE HUBIERAN SIDO APRETADOS CON ADICION DE MASILLA.

Conjunto de sujeción deslizante KD 54 para traviesa de madera

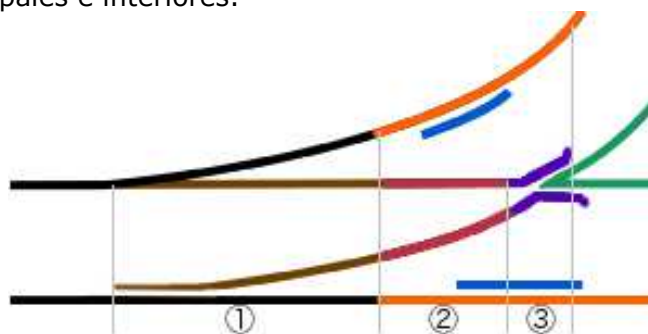


Sujeción Pandrol Fast Clip en traviesas de hormigón

2.3.2.7 APARATOS DE VÍA

Se designa bajo el nombre de **aparatos de vía** a los dispositivos que permiten al material rodante pasar de una vía a otra o atravesar una vía. Los componentes básicos de los aparatos de vía son:

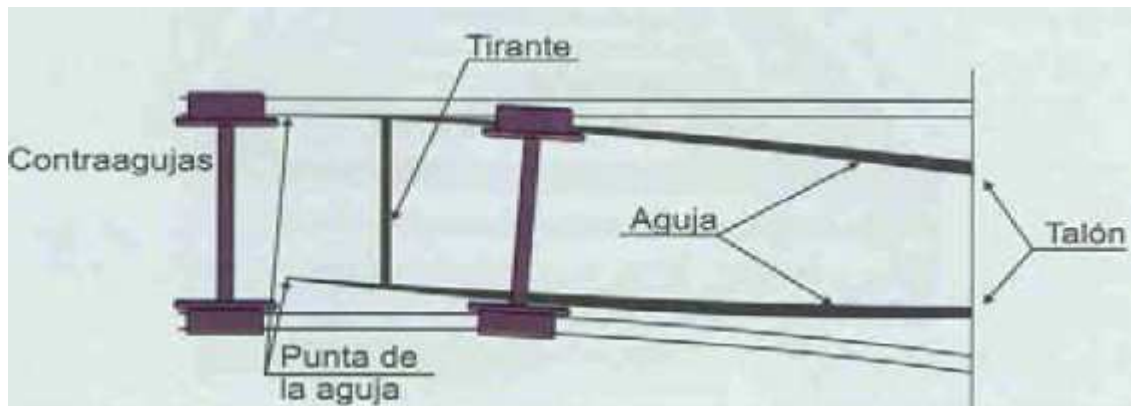
- **El cambio de agujas (1)**, también conocido como "**cambio**", es exclusivo de los desvíos y permite la conexión de dos carriles divergentes asegurando su continuidad de las respectivas vías. Está formado por dos conjuntos aguja-contraaguja. La aguja es el elemento móvil y la contraaguja es el carril fijo. El par de agujas móviles se mueve solidariamente mediante un tirante. Estos elementos tienen una sección reducida por lo que es fácil que puedan romperse y requieren mantenimiento.
- **Los carriles de unión o carriles intermedios (2)**, están en la parte intermedia del desvío y van desde el talón de las agujas hasta el principio del corazón. En esta zona las agujas tienen el perfil constante igual al de un carril normal. En las **travesías**, los carriles intermedios conectan los diferentes cruzamientos.
- **El cruzamiento o cruce (3)**, permiten la intersección de dos carriles. Pueden ser sencillos o dobles. Este a su vez se divide en:
 - o **Corazón**, que es la unión de dos carriles que se interseccionan. Es una pieza de gran calidad que está fabricada de acero en manganeso. Al corazón le acompañan paralelas unas vías, las **patas de liebre** que ayudan a la rueda a dirigirse.
 - o **Contracarriles**: Ayudan a situar el eje en el carril y son carriles paralelos a los carriles principales e interiores.



Esquema de funcionamiento de un desvío

Los apartados de vía fundamentalmente se clasifican en dos grandes grupos: **desvíos** y **travesías**.

Los **desvíos**, permiten a una vía ramificarse en dos o más vías. Un desvío está compuesto de la siguiente manera: primero el cambio, luego los carriles de unión o carriles intermedios y finalmente el cruzamiento.

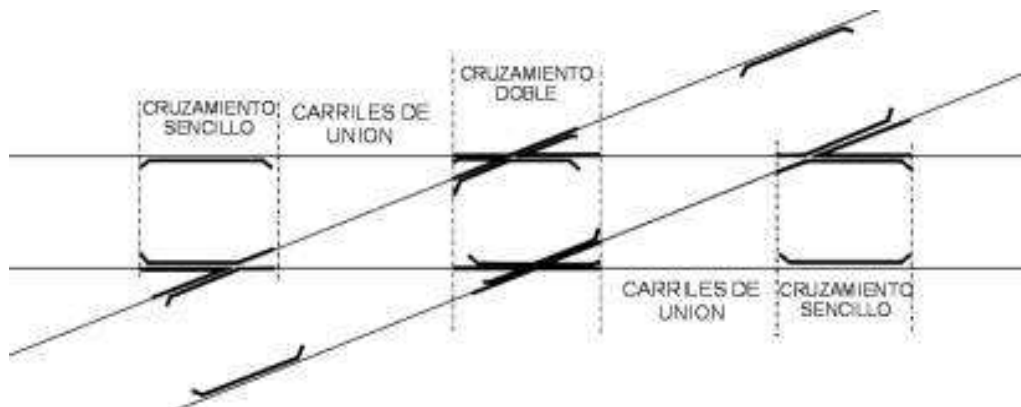


Esquema y detalle de paso de un desvío (cambio)



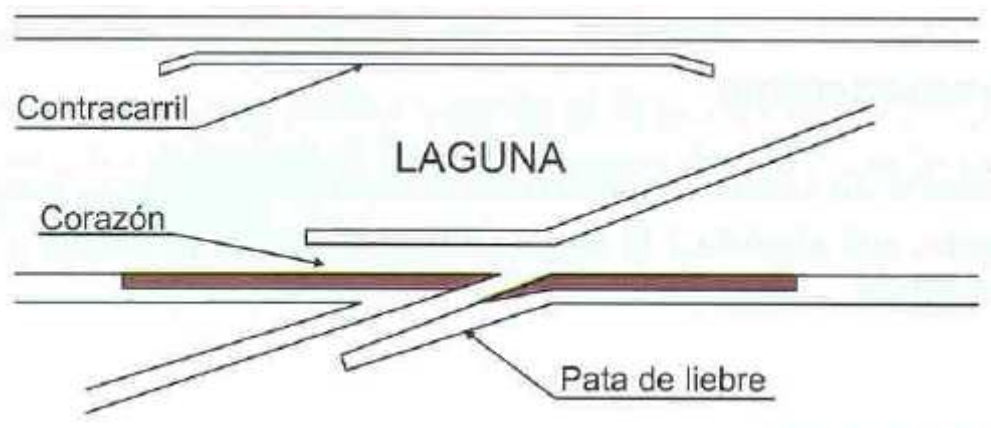
Ejemplo de desvío (cambio)

Las **travesías**, por su parte, permiten el cruzamiento de dos vías. Una travesía sencilla está compuesta de la siguiente forma: primero un **cruzamiento sencillo** (en el que se cruzan los carriles de distinto nombre, es decir un carril izquierdo con uno derecho); luego unos carriles de unión; a continuación un cruzamiento doble (en el que se cruzan carriles del mismo nombre); seguido de otros carriles de unión; y finalmente un cruzamiento sencillo (igual al cruzamiento de entrada).



Esquema de una travesía simple (cruzamiento de dos vías)

- **Cruzamientos.** - Permiten realizar las intersecciones de carriles. Sus elementos son:
 - o **La laguna** : zona de discontinuidad de los carriles en la que el centro de la llanta no tiene punto de apoyo
 - o **Las patas de liebre**: zona del cruzamiento en que se apoyan los extremos de las llantas de las ruedas del tren al llegar a la zona de la laguna. Sus extremos son abiertos, con el fin de evitar choques con las pestañas de las ruedas
 - o **Contracarriles**: sirven de guía a las ruedas exteriores al cruzamiento cuando las otras ruedas pasan por la laguna. Tienen una longitud entre 3 y 5 metros y su altura es de 20 mm, ligeramente superior a la de las vías. Sus extremos son abiertos, con el fin de evitar choques con las pestañas de las ruedas
 - o **Punta de corazón**: es el punto de intersección de los dos carriles



Esquema de un cruzamiento

2.3.2.8 BALASTO

El **balasto** es el elemento de la superestructura de la vía que se intercala **entre el emparrillado de la vía** (constituido por los carriles y apoyados sobre las traviesas) y **la plataforma**. El balasto es un material granular que le brinda elasticidad a la vía, está constituido por partículas de piedra partida provenientes del machaqueo de rocas (ígneas o metamórficas) cuya granulometría varía de 20mm a 60 mm.

Las funciones principales que cumple el balasto en una vía férrea son:

- Repartir uniformemente sobre la plataforma las cargas que recibe de las traviesas, de forma tal que la tensión admisible de la plataforma no sea superada
- Estabilizar vertical, longitudinal y transversalmente la vía, proporcionando una rodadura suave a los vehículos
- Amortiguar las vibraciones de los vehículos sobre la vía, por medio de su estructura pseudo-elástica. La energía de vibración se disipa a través del rozamiento entre las partículas que constituyen el balasto
- Proteger la plataforma de las variaciones de humedad debido al medio ambiente
- Facilitar la evacuación de las aguas de lluvia. Para lo cual debe ser un material permeable
- Permitir mantener la calidad geométrica de la vía mediante las operaciones de bateado, alineación y nivelación

Para la obtención de balasto, las distintas administraciones ferroviarias utilizan materiales de distinta naturaleza, tomando como criterio para su elección consideraciones de carácter técnico y económico. Los materiales más utilizados son **piedra machacada procedentes de canteras de rocas duras y sanas** (preferentemente de origen magmático o metamórficas), también pueden utilizarse **canto rodado machacado**, para lograr cantos vivos, en tales casos los cantos deben provenir de rocas duras. No son recomendables rocas calizas (se deterioran fácilmente ante la acción del tráfico) ni las rocas esquistas (lajosas).

Las especificaciones establecen además, que el balasto deberá estar libre de polvo, arena, núcleos de arcillas, tierra u otro material contaminante. Dado que la presencia de estos elementos contaminan el balasto y disminuyen su permeabilidad.



Bateadora de balasto

2.3.2.9 VÍA EN PLACA O VÍA SOBRE PLACA DE HORMIGÓN

La **vía en placa** o **vía sobre placa de hormigón** tiene como objetivo obtener una alta calidad de vía disminuyendo los costes de mantenimiento. Su colocación se realiza sin balasto y consta de una placa de hormigón que transmite a la plataforma tensiones uniformemente distribuidas y de menor valor que con balasto. La **vía en placa** o vía sobre **placa de hormigón**, aparece con **las líneas de alta velocidad**.

Ventajas: Soporta mayores cargas por eje, Disminuye la presión transmitida a la plataforma y Menor coste de mantenimiento. **Inconvenientes:** Mayor coste de construcción, Mantenimiento de la plataforma más dificultoso y es un poco más ruidosa que la vía convencional. En el diseño deben estudiarse sistemas que aminoren los ruidos, como losas flotantes o sujeciones amortiguadas.

Las partes de la vía en placa son:

- La **placa principal**, sobre ella van sujetos los carriles. Está compuesta de hormigón.
- El **elastómero**, es de caucho y se coloca entre el carril y la placa principal. El conjunto de la placa principal y el elastómero realizan las funciones del balasto y las traviesas en las vías convencionales.
- La **placa base**, situada entre la placa principal y la plataforma, tiene como objetivo el repartir por igual las presiones sobre la plataforma. Su espesor suele ser de 15 cm.
- La **plataforma, traviesas y carril**. La plataforma, en este tipo de vía, debe tener una buena capacidad de drenaje. Las traviesas se colocan sólo en algunos tipos de vía en placa. El carril tiene menor sección que en los otros tipos de vía.

La **plataforma** es fundamental en el comportamiento de la vía en placa, dada la dificultad de las reparaciones, **su calidad es crucial**. La experiencia en la construcción de caminos ha puesto de manifiesto que la causa principal de rotura de los pavimentos es el fenómeno de surgencia⁵ que produce una socavación progresiva bajo la placa. Para evitar este efecto es necesario controlar y evitar el agua bajo la placa, que el suelo sea susceptible de entrar en suspensión y evitar fuertes y frecuentes cargas. Debido al apoyo continuo y uniforme que proporciona la placa, las tensiones sobre el suelo pueden llegar a ser pequeñas, menores a 0,5 kg/cm².

La **placa base** se ubica sobre la plataforma para realizar un mayor reparto de cargas sobre el terreno, disminuir el efecto de surgencia, formando una cobertura de protección sobre la plataforma. La naturaleza y resistencia de esta placa no tiene gran incidencia al diseñar la placa principal ya que lo principal es dar uniformidad de sustentación a esta. El espesor de esta placa es, generalmente de 15 cm y se puede usar hormigón pobre o suelo estabilizado con betún, cemento, cal, etc.

La **placa principal** es la pieza que soporta los carriles, aunque en ocasiones se mantienen las traviesas, sustituyendo en combinación con el elastómero, las funciones del balasto y de las traviesas. Habiendo diferentes tipos de estructuras de placa:

- **Vía de balasto con traviesas a tope**. Se comporta como si fuera en placa, colocando una traviesa a continuación de otra, consiguiendo mayor contacto traviesa-balasto, menor tensión transmitida y mejor conservación de la geometría.
- **Vía en placa de elementos prefabricados**, compuesta por losas prefabricadas colocadas una junto a la otra de tal manera que facilite la alineación. Y se consigue la elasticidad con sujeción elástica, con elastómero entre carril y losa, o apoyando esta elásticamente sobre la infraestructura.

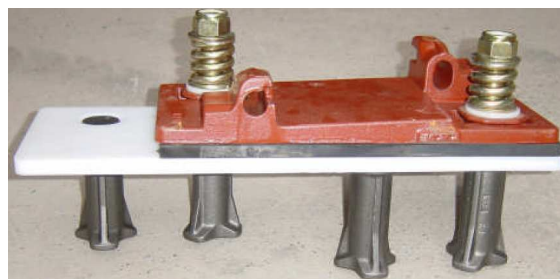
⁵ Las **surgencias** son un fenómeno oceanográfico que consiste en el movimiento vertical de las masas de agua, de niveles profundos hacia la superficie. A este fenómeno también se le llama **aflojamiento** y las aguas superficiales presentan generalmente un movimiento de divergencia horizontal característico. Son en definitiva, salidas del agua de la montaña caliza.

- **Vía en placa continúa de hormigón armado o pretensado**, apoyando el carril sobre esta con un elastómero o con placas de asiento, y con una sujeción elástica. En el caso del pretensado, obtienes menores espesores y se evitan las fisuras, pero a mayor coste.
- **Vía en placa mixta**, consistente en que sobre la placa principal de hormigón armado construida in situ se colocan unos elementos prefabricados, cuya misión principal es proporcionar a la sujeción elástica del rail un medio de anclaje adecuado. Permite que la parte construida in situ no exija tolerancias geométricas estrictas, pues la nivelación y alineación las da el elemento prefabricado, y además, las fisuras que se puedan producir en la placa no afectan al anclaje de la sujeción. Los bloques o traviesas, pueden estar unidos a la placa rígidamente, o elásticamente (hormigonar la placa con la traviesa o con el elemento elástico).



Vía en placa o vía sobre placa de hormigón

Las **fijaciones (placa de asiento)** de este tipo de vía en placa, suministradas por los fabricantes con la sujeción indicada que corresponda, se suministran parcialmente premontados, sólo falta montar la suela bajo patín y las sujeciones, descargándose cuidadosamente para evitar dañar los elementos aislantes que son los más exteriores de las fijaciones. En la actualidad y para que en un momento dado las vías puedan adaptarse a otros ancho, en España se están fabricando **fijaciones polivalentes**. Éstas **permiten dos anchos**, normalmente el de 1668mm y el de 1435mm. Esto permitiría adoptar las vías del ancho RENFE, sólo usado en las vías españolas, al ancho internacional sólo variando la posición del carril o la de la fijación.



Fijación DFF/T premontado y polivalente (2 anchos de vía)

2.4 INSTALACIONES FERROVIARIAS

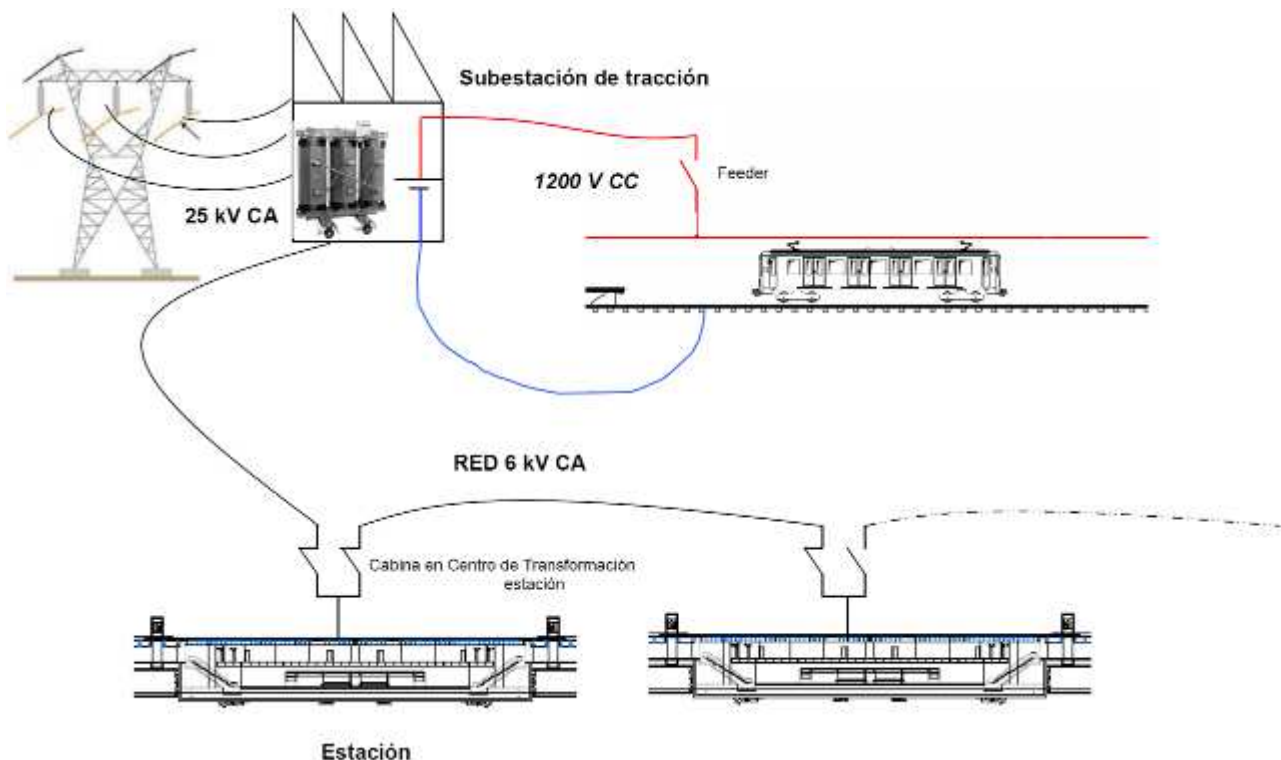
Las instalaciones, son todos los elementos complementarios imprescindibles para la circulación de los trenes como los dispositivos, aparatos y sistemas que permiten el servicio ferroviario y las edificaciones que los albergan. Son instalaciones ferroviarias:

- Las instalaciones de **electrificación**, donde se encuentran la **línea aérea de contacto y las subestaciones y las líneas de acometida energética**,
- Las instalaciones de **señalización y seguridad**, que son los **sistemas** que **garantizan la seguridad en la circulación de trenes**, y,
- Las instalaciones de **comunicaciones**, que son las **telecomunicaciones fijas y móviles**.

2.4.1 INSTALACIONES DE ELECTRIFICACIÓN

Se entiende por electrificación ferroviaria el conjunto de las instalaciones necesarias para un sistema de tracción eléctrica. En un **sistema de electrificación ferroviario** pueden considerarse los elementos fundamentales siguientes:

- Líneas de alta tensión para la alimentación del sistema desde la red de transporte.
- Subestaciones transformadoras y/o acondicionadoras de la tensión.
- Líneas de alimentación de energía al material móvil y circuito de retorno.



Sistema de electrificación ferroviario

2.4.1.1 ESTRUCTURA

Desde un punto de vista eléctrico, la línea de ferrocarril se haya dividida en tramos eléctricamente separados los unos de los otros por tramos cortos sin alimentación que reciben el nombre de zonas neutras. Las zonas neutras han de colocarse en zonas lo más llanas posibles, de forma que el tren no pierda excesiva velocidad en el tramo sin tensión.

Cada uno de estos tramos es alimentado desde la red de alta tensión a través de una **subestación de tracción**. Generalmente una misma subestación de tracción suele alimentar a dos de estos tramos, denominados cantones, a partir de cada uno de los transformadores de potencia. Se define un cantón como cada uno de los tramos de la línea separado eléctricamente del otro.

Si un tren circula con varios pantógrafos subidos y éstos se encuentran conectados eléctricamente, la distancia que ha de existir entre los dos más lejanos tiene que ser menor que la longitud de la zona neutra pues de lo contrario se podría conectar las catenarias de diferentes fases produciendo un cortocircuito.

2.4.1.2 SUBESTACIONES DE TRACCIÓN

La subestación de tracción es la instalación en la que se realiza la conexión de los tramos de la electrificación a la red trifásica de transporte. Para ello, se realiza la transformación de tensiones desde los niveles de la red trifásica a los niveles de la catenaria, con previa rectificación en los sistemas de corriente continua.

Se presentan dos tipos de estructura de electrificación ferroviaria: aquel que alimenta al material rodante con **corriente alterna** y aquel que lo hace con **corriente continua**.

Es por tanto que esta clasificación conllevará también a la existencia de dos tipos principales de subestaciones eléctricas de tracción: **subestaciones eléctricas para sistemas de corriente alterna y subestaciones para sistemas de corriente continua**. Los niveles de tensión en cada uno de los dos tipos anteriores presentan algunas variantes, sobretudo en los niveles de aislamiento utilizados (mayores en las subestaciones de corriente alterna). Por lo general, el funcionamiento de una subestación de corriente continua es más complejo que el correspondiente a una subestación de corriente alterna.

Las subestaciones de tracción se controlan desde el centro de control mediante un sistema de telemando. Esto permite realizar maniobras en varias SET de forma coordinada, para adaptar la topología de la electrificación a las necesidades.

En la subestación de tracción se instalan además instrumentos de medida, así como los elementos de protección necesarios para garantizar la seguridad de la instalación frente a elevadas subidas tensión o de corriente (cortocircuitos).

Cabe destacar que la conexión realizada entre las subestaciones eléctricas de tracción es diferente dependiendo del sistema de corriente que se esté considerando. Así se tiene que en un sistema de **corriente continua** las subestaciones eléctricas siempre se conectan en paralelo, de forma que un tren que se encuentre situado entre dos de ellas recibirá la corriente de alimentación de una y otra, siendo cada una de las corrientes recibidas inversamente proporcionales a las distancias que hay a cada una de las subestaciones. Por el contrario, en un sistema de corriente alterna las subestaciones eléctricas se alimentan de fases diferentes de la red, lo cual implica que no puedan conectarse eléctricamente en paralelo.



La palabra “feeder” viene de la palabra ingles “feed”, que significa alimentar. En el caso de las subestaciones de tracción, se trata de todos los componentes que participan en la alimentación en energía del material móvil desde la subestación. Existen tres tipos feeders:

- El **feeder de alimentación** es el cable de conexión desde el transformador a la catenaria, algunas veces suele acompañarla durante un número determinado de kilómetros, realizando la conexión a una distancia considerable de la subestación eléctrica. La ventaja de utilizar un feeder de alimentación (también denominado feeder de refuerzo o feeder positivo) se encontrará en la disminución de la intensidad por la catenaria, lo que supondrá a su vez una menor pérdida y una menor caída de tensión medida desde la subestación.

2.4.1.4 CIRCUITO DE TRACCIÓN

Se suele denominar **catenaria** o **circuito de tracción** al conjunto de conductores que es necesario instalar a lo largo de la línea para realizar el transporte de la energía eléctrica.

La electrificación de ferrocarriles ha sido llevada a cabo por diferentes métodos y sistemas, caracterizados principalmente por la forma de distribuir la energía al material rodante desde la subestación eléctrica. Una clasificación normalmente aceptada para en los **sistemas de electrificación** sería la siguiente:

- **Corriente Alterna:** Sistema monofásico de línea aérea de contacto y Sistema trifásico de línea aérea de contacto
- **Corriente Continua:** Mediante línea aérea de contacto y Tercer raíl paralelo a los de rodadura

De los sistemas anteriores, el sistema **monofásico de corriente alterna** y el sistema de **corriente continua** son los más utilizados por las administraciones ferroviarias. El sistema **trifásico de corriente alterna**, aunque ha sido experimentado en algunos países europeos, es un sistema en desuso debido sobre todo a la complejidad existente durante su montaje. Por otra parte, si bien el sistema de corriente continua mediante **tercer raíl** no suele utilizarse en las electrificaciones de ferrocarriles interurbanos, sí suele darse en los **sistemas metropolitanos**, siendo su principal desventaja el peligro que conlleva el tener la tensión de tracción a nivel del suelo y por tanto, de los carriles. Por lo general, la tensión hasta 750 V puede ser utilizada satisfactoriamente con el tercer carril, pero para tensiones más elevadas se utilizan líneas aéreas de contacto. Si bien estas líneas suelen ir siempre formadas por un cable, existen ocasiones en las que se utilizan barras metálicas conductoras constituyendo lo que se denomina "**catenaria rígida**". No obstante, el sistema de línea aérea de contacto o catenaria presenta dificultades para alcanzar velocidades del orden de 400 Km/h, ya que a medida que la velocidad aumenta se encuentra en la pérdida de contacto del pantógrafo con el cable de contacto en torno a esos 400 Km/h.

Los **conductores** habituales en un **circuito de tracción**, dentro de los conductores que están a tensión positiva (catenaria), se encuentran:

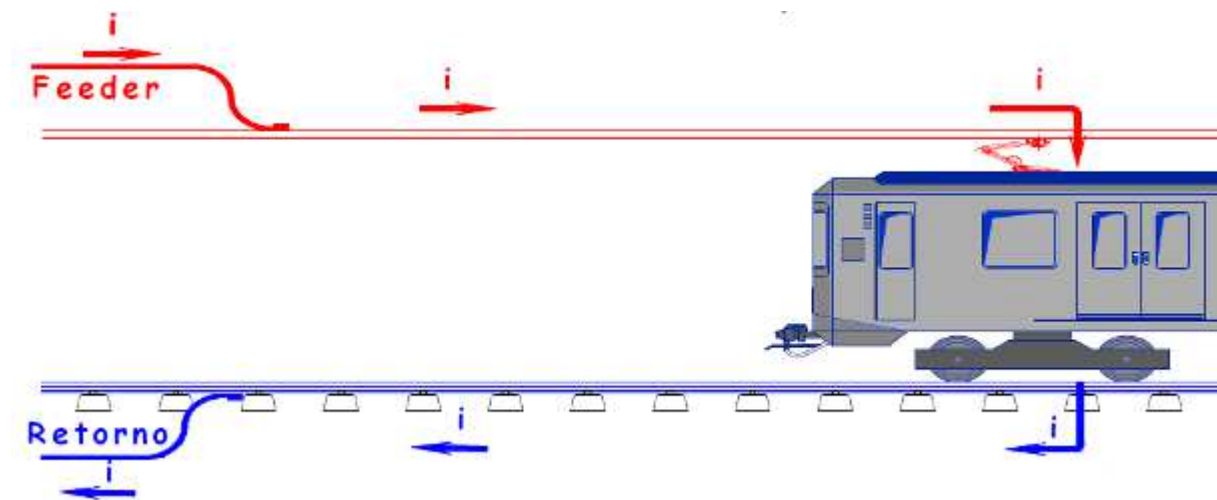
- **Hilo de contacto o línea aérea de contacto**, que es el conductor en el que el pantógrafo hace contacto, situado en una superficie paralela a la vía, para facilitar la captación de corriente. Se suelen emplear conductores de cobre.
- **Sustentador**, que es el conductor que se diseña para soportar el peso del hilo de contacto a través de las **péndolas**. Se suelen emplear conductores de cobre.
- **Feeder positivo**, que se añade como conductor de refuerzo sólo en los casos en que es necesario. Su uso permite reducir la **impedancia**⁶, y aumentar el límite de corriente admisible de la catenaria. Se suelen emplear conductores de aluminio con alma de acero.

⁶ La **impedancia** es una magnitud que establece la relación entre la tensión y la intensidad de corriente. La **resistencia** es el valor de oposición al paso de la corriente (sea continua o alterna) que tiene la **resistencia**. La **reactancia** es el valor de la oposición al paso de la corriente (solo corriente alterna) que tienen los **condensadores y las bobinas**. En este caso existe la **reactancia capacitiva debido a los condensadores** y la **reactancia inductiva debido a las bobinas**. Cuando en un mismo circuito se tienen estos elementos combinados (resistencias, condensadores y bobinas) y por ellas circula corriente alterna, la oposición de este conjunto de elementos al paso de la corriente alterna se llama impedancia. La **impedancia** tiene unidades de Ohmios (Ohms), siendo la suma de una componente resistiva (debido a las resistencias) y una componente reactiva (debido a las bobinas y los condensadores)

Como conductores de neutro, se encuentran:

- El propio **circuito de retorno del tren**, formado por cables que unen la salida de los motores a las llantas de rodadura.
- **Carriles, raíles o vías**, conectado al circuito a través de las llantas de rodadura y que además de servir de punto de apoyo del tren, sirven de captadores de las corrientes que salen de los trenes. Dichos conductores son de acero.
- **Cables de retorno**, que se usan como refuerzo de las vías. Debido a su menor **impedancia**, recogen la mayor parte de las corrientes de retorno, alejándolas de las vías. De este modo es posible reducir las perturbaciones que las corrientes de retorno pueden producir en algunos sistemas de señalización que también emplean las vías. Se suelen emplear conductores de aluminio con alma de acero.

Como **conductor negativo**, en sistemas de corriente alterna duales, se tiene el **feeder negativo**, que se usa para configurar el **circuito de retorno de las corrientes**. Debido a que gran parte del retorno de corriente se realiza por el feeder negativo, permite reducir las **perturbaciones electromagnéticas**. Se suelen emplear conductores de aluminio con alma de acero.



Esquema del circuito eléctrico de tracción ferroviaria.

2.4.1.5 CATENARIA

En ferrocarriles se denomina **catenaria** al sistema que transmite potencia eléctrica a las locomotoras u otro material motor. Las tensiones de alimentación más comunes van desde 600 V a 3 kV en corriente continua, o entre 15 y 25 kV en corriente alterna.

Algunos autores prefieren utilizar el término "Línea Aérea de Contacto" o abreviadamente L.A.C., que puede incluir los sistemas denominados "**Línea Tranviaria**", "**Línea Trolebús**", "**Catenaria Flexible**" y "**Catenaria Rígida**". Existen otros sistemas de alimentación eléctrica para ferrocarriles que no deben ser considerados como catenarias; los más importantes son el "**tercer carril**" y la **levitación magnética**

En las líneas aéreas, normalmente el polo positivo de la instalación es la catenaria y el negativo son los carriles sobre los que circula el tren. Las corrientes provenientes de la subestación (transformadora o rectificadora de la tensión de la red general) llegan al tren por la catenaria y vuelven a la subestación a través de los carriles de la vía férrea.

Una excepción a esta norma son las líneas aéreas de contacto para Trolebuses, donde al no existir carriles, la corriente de retorno circula hacia la subestación por un segundo cable paralelo al primero, y en contacto con el vehículo por un segundo trole.

El nombre de catenaria proviene de la forma geométrica característica de la curva que forma un hilo flexible sometido a su propio peso, que es la que tiene el cable del que cuelga la verdadera línea de alimentación, que debe quedar casi perfectamente paralela al plano de los carriles. No obstante, se denomina comúnmente así a todo el conjunto formado por los cables alimentadores, apoyos y elementos de tracción y suspensión de los cables que transmiten la energía eléctrica.



Línea aérea de contacto en la red de ADIF (España)

Tipos de catenaria. Hay varios sistemas de alimentación eléctrica para ferrocarriles:

- Línea Tranviaria
- Líneas de Trolebus
- Catenaria aérea flexible
- Catenaria aérea rígida
- Sistema de alimentación por tercer carril

2.4.1.5.1 Línea Tranviaria

La línea tranviaria es la más sencilla de las aplicaciones de este tipo. Consiste en un hilo de contacto suspendido en apoyos consecutivos sobre la vía férrea. El tren toma energía de este hilo a través de un **Pantógrafo** o de un **Trole**.

La diferencia entre un pantógrafo y un trole consiste en que el pantógrafo tiene una pletina que "frota" el hilo por la parte inferior de este, mientras que el trole tiene una polea o roldana que rueda bajo el hilo.

La línea tranviaria tiene el inconveniente de que la flecha del hilo (distancia vertical entre el apoyo y el punto mas bajo del hilo) es grande (cuadráticamente proporcional al **vano**). La introducción de un cable sustentador disminuye esta flecha mediante el uso de **péndolas** (Ver catenaria Flexible)

La velocidad que puede alcanzar un vehículo alimentado por Línea Aérea de Contacto, depende de la regularidad de la altura del hilo y de la uniformidad en la elasticidad de la línea, por lo cual la **Línea Tranviaria** solo esta aconsejada para velocidades bajas. Se emplea comúnmente en tranvías, metros ligeros, estaciones de carga, etc...



Ejemplo de Línea Tranviaria. Tranvías de dos pisos en Hong Kong

2.4.1.5.2 Líneas de Trolebús

Las líneas de trolebús son una derivación de las líneas tranviarias, consistiendo su diferencia fundamental de las mismas en que debe existir un segundo hilo, paralelo al primero, para el retorno de corriente.

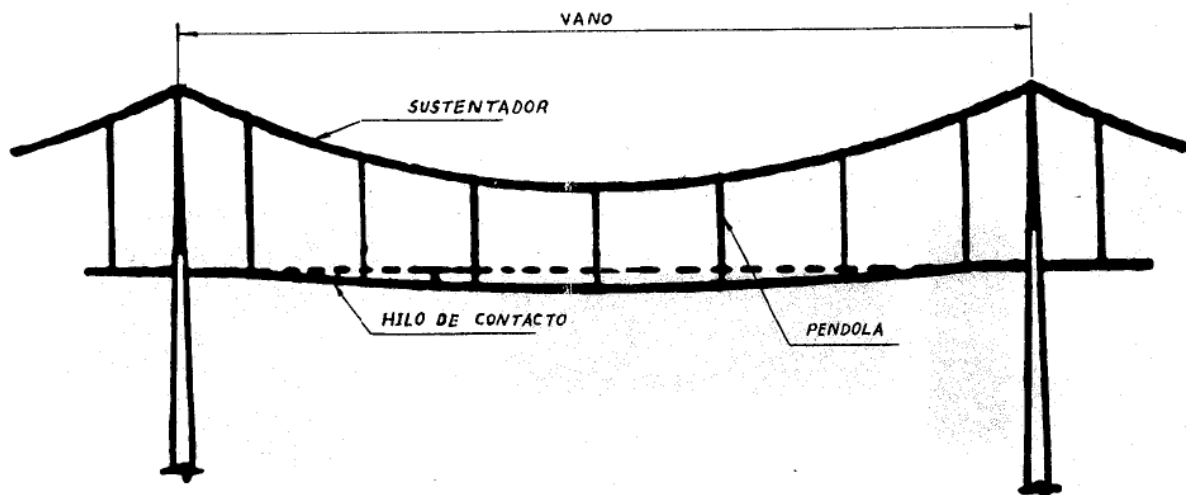
Al carecer los vehículos de dispositivos de guiado, la línea debe ser capaz de absorber grandes desviaciones laterales que puede transmitir la roldana del trole hacia la misma, Para ello la suspensiones de la línea disponen de un sistema flexible que permite el "balanceo" del hilo de contacto en sentido transversal en un rango muy amplio.



Línea de Trolebús en Hradec Králové, (República Checa).

2.4.1.5.3 Catenaria aérea flexible

La **catenaria flexible** consiste en dos cables principales, el superior tiene aproximadamente la forma de la curva conocida como catenaria y se llama "**Sustentador**". Mediante una serie de elementos colgantes (**péndolas**) sostiene otro cable, el de contacto, llamado **hilo de contacto**, de modo que permanezca manteniéndose en un plano paralelo al plano de las vías. A veces hay un tercer cable intermedio para mejorar el trazado del de contacto, este cable se suele llamar "**falso sustentador**" o "**sustentador secundario**". Se entiende por **vano** la distancia entre postes contiguos medida sobre uno de los carriles de la vía general (entre 30 y 60 m.).



Esquema de una catenaria de área flexible

Las catenarias con un segundo sustentador en todo lo largo de su recorrido se suelen llamar catenarias compuestas o "compound". El hilo de contacto no es propiamente lo que se conoce como cable, con varios hilos o alambres enrollados en varias capas, sino un trefilado, es decir, un alambre macizo de una sola pieza.

Este sistema de cables tiene una geometría compleja, que va variando a lo largo de la línea en función de los requerimientos que se exigen en cada punto. Para tener una idea general de la geometría de la catenaria debemos en primer lugar definir los términos comunes para referirse a sus valores geométricos:

- **Vano.** Distancia entre dos apoyos consecutivos en el sentido de avance de la línea.
- **Altura del hilo de contacto.** Distancia vertical entre el plano de rodadura del tren, definido por los carriles, y el punto mas bajo del hilo de contacto.
- **Altura de catenaria.** Distancia entre el hilo de contacto y el sustentador (En las catenarias que disponen de este) medida en el apoyo.
- **Flecha de los hilos.** Distancia vertical medida en el centro de un vano entre la cota del hilo de contacto en ese punto y en los apoyos anterior y posterior. Si en estos la cota es diferente, la flecha se establecerá como la semidiferencia de ambas cotas.
- **Descentramiento.** Distancia horizontal, medida a la altura del hilo de contacto y en el plano paralelo al de rodadura, que existe entre el eje de la vía y la posición del hilo de contacto.

2.4.1.5.4 Catenaria aérea rígida

La Catenaria Rígida se distingue de las otras en que el elemento que transmite la corriente eléctrica no es un cable sino un carril rígido. Lógicamente para mantener este carril rígido paralelo a la vía, ya que su peso es muy grande, no basta tensarlo o suspenderlo de otro cable con mas flecha, sino que además el numero de apoyos en los que hay que suspenderlo debe ser mucho más elevado.

Como ejemplo diremos que para suspender una catenaria rígida se usan vanos (distancia entre apoyos) de 10 o 12 m, mientras que el vano para catenarias flexibles está en torno a los 50 o 60 m. Dicha limitación restringe su uso a los túneles, estructuras o sitios de muy escaso gálibo donde otros sistemas se muestran ineficaces.

El origen del sistema parte de una idea básica, y es solucionar el principal inconveniente del tercer carril, que es la peligrosidad de los contactos directos. Todos hemos visto películas del Metro de Nueva York (Con tercer carril) donde algún individuo muere al tocar el tercer carril (y la tierra o el negativo obviamente). ¿Cual fue la solución?, pues muy sencillo, en vez de poner el tercer carril abajo donde se puede tocar, lo ponemos arriba. La solución en principio se practicó con el mismo carril (de acero) pero enseguida se desarrollaron carriles más avanzados, con menor peso y mayor conductividad.

El carril empleado actualmente consiste en una barra de aluminio que lleva en su parte inferior un hilo de contacto de cobre. La transmisión de energía se realiza por el aluminio y el cobre, pero solo el cobre debe entrar en contacto con el pantógrafo.

Este sistema ha sido desarrollado y patentado por el Metro de Madrid y aplicado a numerosos sistemas ferroviarios, desde otros metros del mundo hasta la propia red de Cercanías Madrid y Barcelona.



Catenaria aérea de la estación de Terrassa-Rambla (FGC)

2.4.1.5.5 Sistema de alimentación por tercer carril

El sistema de alimentación por tercer carril consiste en un conductor (perfiles de acero laminado) sobre apoyos en traviesas. En un principio se utilizó el mismo carril que se usa para la vía pero, al igual que sucede con la catenaria rígida, el carril ha ido evolucionando hacia aleaciones mas ligeras y con mejor conductividad (aleaciones de aluminio)

El tren alimentado de esta manera dispone de un captador en la parte baja del mismo que hace contacto con este carril, de igual manera que un pantógrafo lo hace con la línea aérea. Sus ventajas incluyen la rigidez, la fácil captación, su facilidad de colocación y su bajo costo, pero la tensión de la línea no puede ser muy elevada por su proximidad a tierra, no siendo de esta forma segura ni eficiente.

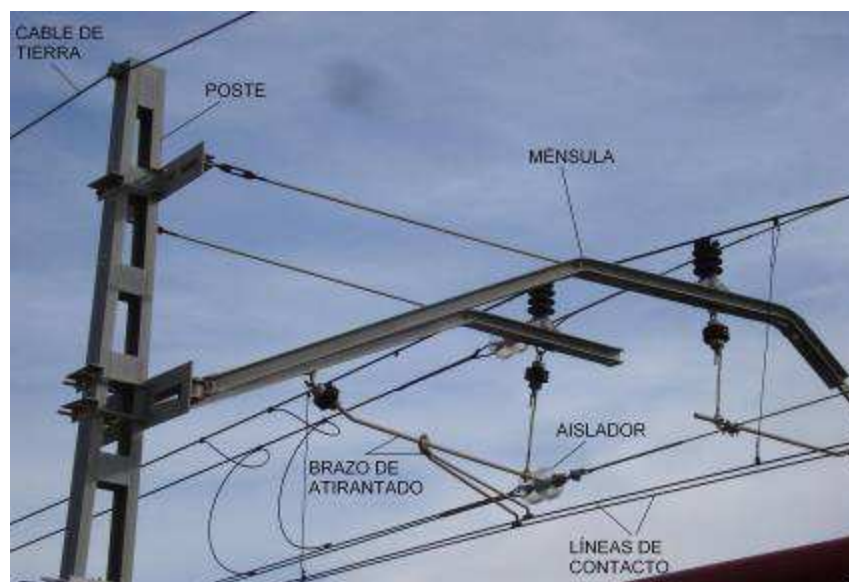
El sistema de alimentación por tercer carril implica más subestaciones eléctricas, debido al menor voltaje, y por lo tanto aumenta el coste de la instalación y el coste energético, lo cual contrarresta el bajo coste del montaje de la línea. Además obliga a los coches a tener un sistema de alimentación autónoma por un determinado tiempo, ya que la catenaria aérea siempre está, pero el tercer carril a veces debe faltar (ej: aparatos de vía, áreas de paso a nivel, etc.). También se ve muy afectada por los agentes atmosféricos, al estar muy próxima a tierra.



Alimentación por tercer carril del Metro de Ámsterdam

2.4.1.5.6 Elementos de una catenaria

- **Estructuras de soporte:** tienen como fin sostener los cables (conductores) sobre el tren de manera adecuada y consta, en caso sencillo, de dos partes, el **poste** y la **ménsula**. El poste debe fijarse al terreno, ya sea este natural o no. Las ménsulas son elementos estructurales, en voladizo desde el poste, que tienen como función sostener la línea aérea de contacto en su posición correcta sobre el tren.
- **Conductores:** Llamamos conductores a los cables que conducen la corriente eléctrica desde la subestación al tren.
- **Regulación de la tensión mecánica:** Los cables conductores que forman la catenaria (sustentador e hilo de contacto) se ven sujetos a variaciones de longitud debidas a la dilatación térmica producida por los cambios de temperatura. Al variar la longitud de los cables la geometría de la catenaria varía, aumentando la flecha de los cables al aumentar la temperatura. Este efecto es indeseable para la calidad de captación del pantógrafo por lo cual se instalan elementos de regulación automática de la tensión mecánica. El elemento más sencillo para evitar este efecto (y el más efectivo) es la instalación de un equipo de contrapesos que tiran del cable manteniendo constante su tensión mecánica, lo cual mantiene constante la geometría del mismo.
- **Protecciones:** son los elementos de la instalación de la línea aérea de contacto no asociados a la transmisión de la corriente, sino que ejercen funciones de protección de la instalación frente a eventuales problemas como: Cortocircuitos, Derivaciones, Sobretensiones, Vandalismo, etc. Las protecciones instaladas en las líneas aéreas de contacto dependen en gran medida de si la corriente que circula por dicha línea es alterna o continua y de la tensión de las mismas. En corriente continua las protecciones más comunes son: Cable Tierra, Pararrayos (descargadores de intervalo), Tomas de tierra, Viseras, pantallas y barreras mecánicas.
- **Sistemas asociados:** Se agrupan en este campo los sistemas cuya finalidad principal no es conducir la corriente ni proteger la instalación, pero cuyo objeto va asociado a la gestión de la línea aérea de contacto. En esta categoría podrían agruparse sistemas de medida y monitorización, sistemas de telemando de seccionadores, sistemas de reaprovechamiento de la energía de la frenada, etc.



Elementos de una catenaria flexible

2.4.2 INSTALACIONES DE SEÑALIZACIÓN Y SEGURIDAD

2.4.2.1 EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA SEÑALIZACIÓN EN EL FERROCARRIL

En el ferrocarril teniendo en cuenta las grandes dimensiones y peso de los trenes, la mayor dificultad de frenado y maniobra (bajo coeficiente de adherencia del complejo rueda – carril, trae aparejado grandes distancias de frenado) y la gran cantidad de viajeros y/o mercancía transportada la seguridad adquiere un valor crítico. Como respuesta a la necesidad de seguridad en las circulaciones surgen los sistemas de señalización, mando y control.

Inicialmente existía la figura del “guardavías”, se trataba de un agente de circulación que conocía la posición de los distintos trenes en la estación y se encargaba de autorizar la circulación de los mismos cuando la vía estaba despejada. Las primeras señales empleadas fueron indicaciones realizadas por el guardavías a los trenes mediante banderas. En **1840** se introducen los discos maniobrados a pie de vía que sustituyen a las banderas. Con los primeros trenes se seguía una **política de separación horaria** para **garantizar la seguridad**. El libro horario contenía las horas a las que debían partir los trenes de las distintas líneas. Como el número de trenes era todavía reducido la simple separación horaria aseguraba que no coincidieran simultáneamente distintos trenes y evitaba el peligro de accidente.

Al aumentar la velocidad de los trenes, junto a la capacidad de transporte, peso y longitud de los mismos aumenta la necesidad de control. Aparecen entonces los sistemas mecánicos de señalización. La primera señal mecánica empleada fue el “**Disc and Crossbar**”, un disco que indica paso prohibido y una pletina rectangular indicando vía libre. La señal se giraba para mostrar una indicación u otra. El semáforo, aparecido en **1841**, incorpora un tercer aspecto. La señal está formada por un brazo sujeto a un poste de 4m de altura que según esté vertical, inclinado 45º u horizontal indica circulación prohibida, precaución o vía libre. El semáforo es la primera señal que lleva implícito el **concepto “fail-safe”** tan importante en **seguridad ferroviaria**. Se busca que ante fallo o rotura la señal siempre vaya a parar a su **aspecto más restrictivo**. En el caso del semáforo la fuerza de la gravedad hace que el brazo caiga a la posición horizontal indicando paso prohibido. En ocasiones se empleaban contrapesos para garantizar que ante rotura se iba a parar al aspecto horizontal más restrictivo.



Señal “Disc and Crossbar” y Semáforo

Paralelamente a las señales mecánicas, surgen las agujas con accionamiento manual a pie de vía. El **guardaagujas** es el encargado de maniobrar las diferentes agujas y de cambiar el aspecto de las señales asociadas según esté constituido el desvío. En las estaciones el número de desvíos es elevado y la maniobra a pie de vía resulta cada vez más complicada. El siguiente paso es la **cabina de concentración de palancas**. Se escoge un lugar de la estación con buena visibilidad y se sitúan ahí todas las señales. La cabina de concentración se construye en las proximidades. En ella existen palancas para maniobrar la totalidad de las agujas. Un único guardaagujas constituye los desvíos y cambia el aspecto de las señales autorizando las diferentes rutas. Sin embargo tiene una desventaja importante: como las señales están todas juntas y más alejadas de las rutas individuales, los maquinistas cometen errores más fácilmente al leer su aspecto. Por otra parte el guardaagujas debe seguir un procedimiento secuencial complejo para maniobrar las distintas agujas y señales que componen cada ruta. En ocasiones el no cumplimiento estricto del procedimiento por fallo humano daba lugar a situaciones comprometidas para la seguridad y en algunos casos a accidentes.

En este punto es cuando se introducen los primeros sistemas de enclavamiento. Al principio el enclavamiento era a nivel de cada aguja con sus señales asociadas. Según la posición del desvío la señal autorizaba o no la ruta y no podía darse el caso por error de una señal autorizando una ruta cuya posición del desvío implicara problemas de seguridad con otras rutas ya establecidas. Los **primeros enclavamientos** se instalan en España a finales del **siglo XIX**. El concepto de enclavamiento se amplía después para relacionar el conjunto de señales y desvíos en una estación. El enclavamiento ya no se hace a nivel de una aguja determinada y sus señales asociadas, sino para movimientos completos del tren por la estación. Estos movimientos pueden ser de maniobra del tren o de entrada o salida del mismo a la estación en cuyo caso se denominan **itinerarios**. En las cabinas de enclavamiento existía un conjunto de barras verticales para maniobrar individualmente agujas y señales y además una colección de manetas horizontales [manetas de itinerario] que enclavaban las diferentes agujas y señales entre sí constituyendo itinerarios seguros y compatibles con otras rutas ya establecidas. La forma en que se accionaban las agujas y señales desde la cabina de enclavamiento variaba. Existían enclavamientos mecánicos de transmisión funicular por cable de acero, hidráulica o hidroneumática.



Cabinas de concentración de palancas

Quedaba todavía un **problema importante** por resolver: la única forma de **localizar la posición de los trenes** era por comprobación visual. Esto traía complicaciones, especialmente en circulaciones nocturnas o con condiciones climatológicas adversas y suponía un factor notable de inseguridad. Con la aparición de la tecnología de **circuitos de vía** quedó resuelto este problema. La **vía se divide en tramos denominados cantones** y el **circuito de vía asociado a cada uno transmite al enclavamiento la información de si el cantón está libre de trenes o no**.

Los sistemas de enclavamiento evolucionaron a enclavamientos de tipo eléctrico accionados por **relés**. Se sustituyen las señales mecánicas por **señales de focos luminosos** y las agujas se maniobran mediante un **motor eléctrico**. Los circuitos de vía tienen un papel fundamental para la comprobación de la presencia de trenes en determinados tramos y en función de ello adaptar el aspecto de las señales para garantizar la seguridad. Los enclavamientos actuales son **electrónicos** con un elevado grado de control y seguridad. En los apartados siguientes se describirán detalladamente los principios de funcionamiento de enclavamientos eléctricos y electrónicos.

Se ha expuesto la evolución histórica de los sistemas de enclavamiento en las estaciones, a continuación se proporciona una perspectiva del desarrollo de los sistemas de bloqueo entre estaciones. Como se ha comentado anteriormente, inicialmente los trenes se expedían de una estación a otra siguiendo un estricto libro de horarios. En el periodo de tiempo comprendido desde que partía un tren hasta que lo hacía el siguiente según horario, la línea quedaba bloqueada y no estaba autorizado expedir ningún otro tren. El paso siguiente fue basarse en una **separación por distancia en vez de por tiempo**. Estos 2 métodos eran muy rudimentarios, funcionaban bien mientras se conseguía cumplir estrictamente con los horarios pero en caso contrario 2 trenes consecutivos podían llegar a acercarse bastante y no se garantizaba la seguridad. Otro método empleado fue el uso de un **bastón testigo denominado "Token"** que era único para cada trayecto. El maquinista lo portaba de la estación origen a la estación destino, donde lo recogía el maquinista del tren que hacía el trayecto contrario. Esto garantizaba que el bloqueo estaba ocupado por un único tren. Al hacerse necesario mandar trenes seguidos en la misma dirección este método deja de ser válido puesto que ya no se puede emplear un único bastón testigo y no se garantiza la seguridad.

La llegada del **telégrafo** permite enviar autorizaciones de marcha entre estaciones mediante **señales Morse codificadas**. El uso del telégrafo se complementa con un equipo galvanométrico⁷ de bloqueo eléctrico. Está constituido por un cable de corriente continua entre las dos estaciones y 2 galvanómetros con una aguja de 3 posiciones situados uno en cada estación. La aguja situada en el cuadrante inferior indicaba línea bloqueada, en el cuadrante derecho línea concedida y en el cuadrante izquierdo significaba tren en línea. Los jefes de cada estación pedían/concedían autorización de marcha y seguidamente situaban la aguja en la posición correspondiente. Esto quedaba reflejado en la aguja de la estación opuesta y de esta forma se aseguraban que las órdenes de movimiento habían sido transmitidas/recibidas correctamente. Con la llegada del teléfono surge el bloqueo telefónico en vía única. La petición/concesión se realiza por unos procedimientos denominados **telefonemas**. Actualmente este sistema todavía se emplea como sistema auxiliar en algunas líneas de vía única de poco tráfico.

⁷ Un galvanómetro es un instrumento que se usa para detectar y medir la corriente eléctrica. Se trata de un transductor analógico electromecánico que produce una deformación de rotación en una aguja o puntero en respuesta a la corriente eléctrica que fluye a través de su bobina. Este término se ha ampliado para incluir los usos del mismo dispositivo en equipos de grabación, posicionamiento y servomecanismos.

2.4.2.2 BLOQUEO AUTOMÁTICO

La introducción de los **circuitos de vía** permite automatizar la circulación de trenes entre dos estaciones. Ya no es necesaria la intervención del jefe de estación. El tramo comprendido entre estaciones se divide en un cierto número de **cantones**. Cada cantón puede estar formado por uno o más circuitos de vía independientes. A la entrada a cada **cantón⁸** existe una **señal para regular el acceso al mismo y en su caso la velocidad máxima de circulación**. El aspecto de la señal se regula según ocupación de los cantones siguientes a la señal. Inicialmente las señales eran semáforos mecánicos accionados automáticamente mediante un motor eléctrico. Luego se sustituyeron por señales de focos luminosos de 3 aspectos: **rojo, amarillo y verde**. El aspecto **rojo** indica que el **cantón** al que da acceso la señal está **ocupado por un tren** y no está permitida la entrada. El **amarillo** indica circulación con precaución **por encontrarse en rojo la señal del cantón posterior**. El aspecto **verde** permite la circulación a velocidad máxima sin restricciones.

Existe una clasificación de trenes dependiendo de su capacidad de frenado. A cada tipo de tren se le asigna una velocidad máxima de circulación por un tramo de bloqueo, que es aquella que garantiza que pueda ser detenido sin riesgos para la circulación en caso de frenado de emergencia. Los **bloqueos automáticos de tres aspectos son válidos** para velocidades hasta **160 km/h**. Para líneas con **velocidad superior de 220 km/h** se incluye un aspecto adicional, el **verde intermitente**, con objeto de garantizar que se mantiene una **distancia de frenado suficiente**. La secuencia de las señales según ocupación/desocupación de los cantones posteriores es:

- Rojo: cantón posterior ocupado
- Amarillo: cantón posterior libre, siguiente ocupado
- Verde fijo: tercer cantón tras la señal ocupado
- Verde intermitente: al menos tercer cantón tras la señal libre de trenes



Bloqueo Automático en vía Única (BAU)



Bloqueo Automático en vía Doble (BAD)

⁸ En vías férreas, para todos los sistemas de bloqueo se define como cantón al tramo de vía protegido (bien telefónicamente, por señales, etc.) en el que normalmente no debe de haber más de un tren.



Bloqueo Automático en vía doble Banalizada (BAB)

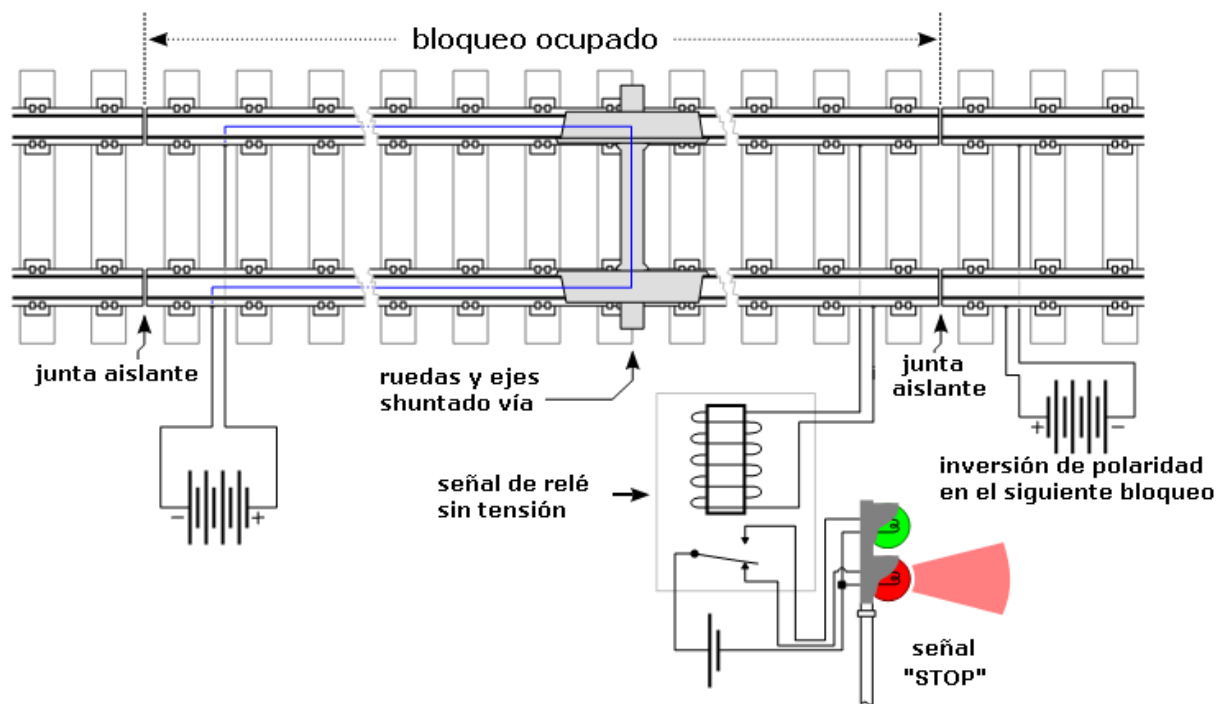
Se distingue entre bloqueo automático en vía única, en vía doble o en vía doble banalizada.

- **Bloqueo automático en vía única (BAU):** un bloqueo automático instalado entre 2 estaciones con una única vía para los 2 sentidos de circulación. Existe señalización en ambos sentidos.
- **Bloqueo automático en vía doble (BAD):** Entre estaciones con mayor volumen de circulación establece una vía distinta para cada sentido. El bloqueo automático en cada vía dispone de señales para el sentido de circulación correspondiente.
- **Bloqueo automático en vía doble banalizada (BAB):** La vía doble banalizada permite la circulación de trenes en los dos sentidos por cada vía. Se consigue un aprovechamiento mejor de la capacidad de transporte entre estaciones puesto que se puede regular el tráfico en uno u otro sentido o en los dos simultáneamente según las necesidades. Cada vía cuenta con la señalización de bloqueo correspondiente en los 2 sentidos.

Actualmente los bloqueos han evolucionado al implantarse **sistemas ATP** de protección y control automática en los trenes que proporcionan una seguridad mucho mayor y permiten un aprovechamiento mejor de la capacidad de la línea.

2.4.2.3 CIRCUITOS DE VÍA

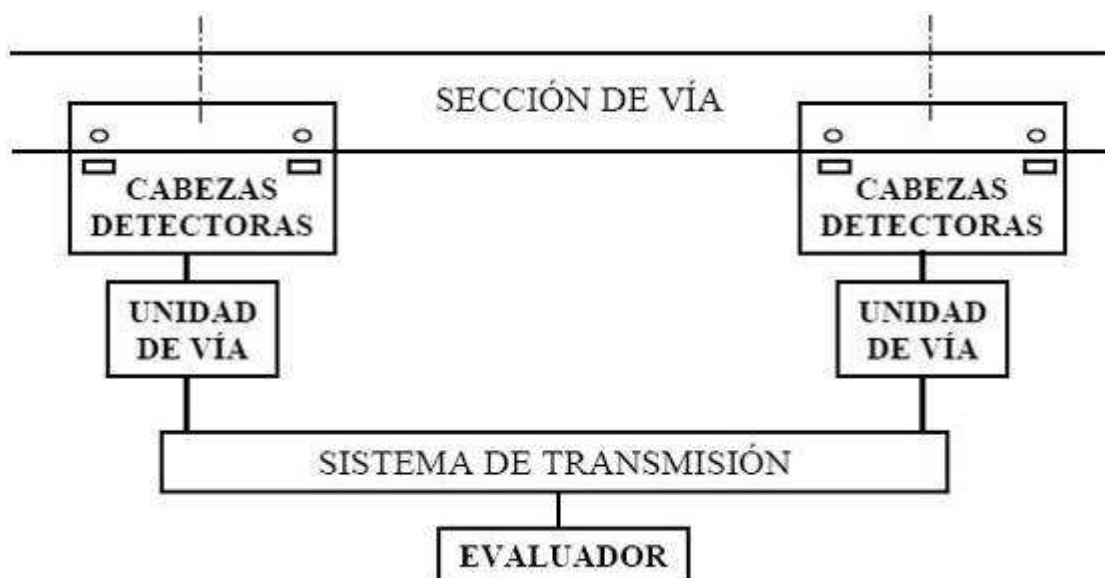
La vía férrea se subdivide en tramos de una determinada longitud aislados eléctricamente unos de otros a través de **juntas aislantes**. Al comienzo del tramo se establece una **diferencia de potencial** entre carriles lo que produce que circule una corriente en bucle. Al final del CV existe un relé que está activo mientras pasa corriente, indicando que el circuito de vía se encuentra libre. Cuando un tren entra en el circuito de vía, la corriente **se cortocircuita** a través de **las ruedas y ejes del tren**. Esto produce que el valor de la corriente que atravesaba el **relé caiga** considerablemente. El relé salta y el CV pasa a dar la comprobación de ocupado. Ante fallo en la alimentación, en el relé de detección o ante rotura del propio carril el CV pasa a dar la ocupación de ocupado. Se cumple de esta forma el principio **"fail-safe"**. La siguiente figura muestra esquemáticamente el funcionamiento de un CV. La indicación de CV ocupado se mantiene desde que el primer eje del tren entra en el circuito de vía hasta que el último eje del mismo lo abandona. Existen distintos tipos de circuitos de vía dependiendo de la naturaleza de la corriente que se hace circular en bucle entre los carriles. La **tecnología elemental son los CV de C.C. También existen CV en corriente alterna de 50 Hz** y los sistemas más modernos de CV por **audiofrecuencias y por transmisión de impulsos** que son los que se emplean en **sistemas ATP de protección/conducción automática de trenes**.



Circuito de vía ocupado

2.4.2.4 CONTADORES DE EJES

Los contadores de ejes son una tecnología más moderna para la determinación de la ocupación/desocupación de un tramo de vía. Las secciones de vía en donde se quiere controlar la presencia de trenes se dotan con un conjunto de cabezas detectoras al principio y otro al final de la sección como queda reflejado en la siguiente figura.



Contadores de ejes para detectar presencia de tren en una sección de vía

Cada conjunto de cabeza detectora está formado a su vez por una o dos cabezas transmisoras y dos cabezas receptoras. Al pasar el eje de un tren sobre la parte de la vía donde están instaladas dichas cabezas, se modifican las características de acoplamiento magnético entre la cabeza transmisora y la receptora. De esta manera se detecta que acaba de pasar un eje del tren



Cabeza transmisora y cabezas receptoras situadas próximas al carril

Se utilizan dos cabezas receptoras para poder determinar el sentido, si el tren entra o sale. Cuando un eje entra en la sección de vía que se está controlando, se incrementa la cuenta en uno, si sale de la sección se decrementa. Se considera ocupada la sección siempre que la cuenta sea distinta de 0, en caso contrario la sección está libre.

Es un método fiable para detectar la presencia de un tren o parte del mismo (vagones sueltos) o material rodante en general en un determinado tramo de vía. Los contadores de ejes deben garantizar capacidad para contar 500 ejes o más y asegurar el correcto funcionamiento a velocidades entre 0 y 300 km/h.

2.4.2.5 SEÑALES DE CIRCULACIÓN DE TRENES

El término señales de circulación engloba el conjunto de dispositivos e indicaciones que muestran al maquinista el estado de disponibilidad de la vía, si debe parar o no, o circular sometido a determinadas restricciones.

Como ha sido expuesto anteriormente las señales inicialmente eran manuales realizadas a pie de vía, luego evolucionaron a señales mecánicas accionadas remotamente y actualmente la señalización existente en vía es de tipo eléctrico con señales de focos luminosos. Estas señales reciben del enclavamiento la orden con el aspecto que deben adoptar en función de los movimientos de trenes que se establezcan y autoricen en cada momento. Los principales tipos de señales de circulación son:

2.4.2.5.1 Señales de entrada

Son las señales situadas en los accesos a las estaciones y su misión es autorizar o denegar la entrada de trenes a la estación. Disponen de 4 focos: 3 focos superiores rojo, verde y amarillo y un foco blanco inferior. Cada uno de los aspectos implica:

- **Rojo:** acceso a la estación prohibido. El tren debe detenerse delante de la señal de entrada sin rebasarla.
- **Amarillo:** Circulación a velocidad reducida con disposición a detenerse ante la próxima señal en rojo situada dentro de la estación y que afecte al tren.
- **Verde:** entrada permitida sin restricciones

- **Rojo-Blanco:** Circulación a velocidad reducida por la realización de una maniobra o entrada a la estación con rebase autorizado: el tren circula a velocidad reducida (marcha a la vista) al entrar en una vía en la que ya hay estacionado otro tren.

2.4.2.5.2 Señales de avanzada

Las señales de avanzada, están situadas antes de la entrada a la estación. Su aspecto no es controlado por el enclavamiento, sino que varía automáticamente en función del aspecto de la señal de entrada. Las señales de avanzada suponen un aviso para el maquinista indicándole el aspecto en el que se va a encontrar la señal de entrada y dando indicación de si el paso por la estación va a ser por vía recta o por el contrario se va a tomar algún desvío. Se contemplan los siguientes aspectos:

- **Amarillo:** indica al maquinista circulación con precaución y disposición a detenerse ante la señal e entrada cuyo aspecto es rojo.
- **Verde:** vía libre sin restricciones cuando el tren atraviesa la estación por la misma vía por la que accede a ella.
- **Verde-Amarillo:** indica al maquinista que modere su velocidad puesto que al pasar por la estación el tren va a tener que tomar un desvío.

2.4.2.5.3 Señales de salida

Están situadas dentro de la estación, normalmente al final de los circuitos de vía de andén que es donde quedan parados los trenes tras entrar a la estación. Las señales de salida son las que autorizan el movimiento de salida de un tren de una estación.

Constan de 3 focos: **foco rojo** y **foco verde** situados en la parte superior y **un foco blanco** inferior. El aspecto rojo significa salida no autorizada y el verde es salida permitida. Existe un tercer aspecto adicional **rojo-blanco** para autorizar la salida indicando que el movimiento que se va a realizar **es una maniobra**.

2.4.2.5.4 Señales de maniobra

Situadas en puntos estratégicos de la estación desde donde se contempla el inicio de maniobras. Autorizan las rutas de maniobra de los trenes indicando si va a existir o no paso por vía desviada. La señal está compuesta por 4 focos, el foco derecho superior es rojo y el resto blancos. Por combinación de estos focos se obtienen 4 aspectos distintos:

- **2 focos blancos horizontales:** indica paso directo
- **2 focos blancos verticales:** indica paso por vía desviada
- **Focos rojo y blanco horizontal:** maniobra autorizada por vía recta
- **Focos rojo y blanco vertical:** maniobra autorizada con desvío

2.4.2.5.5 Señales de bloqueo

El funcionamiento de este tipo de señales se ha expuesto anteriormente. Recordar aquí que dependiendo de la velocidad máxima de circulación establecida para el tramo de bloqueo, las señales de bloqueo incluyen 3 o 4 aspectos. Para velocidades menores de 160 km/h se consideran los aspectos rojo, amarillo, verde y para velocidades mayores se añade el aspecto verde intermitente. Las señales de bloqueo no reciben orden de cambiar su aspecto desde el enclavamiento. Se trata de un sistema de señalización automático en el que cada señal adapta su aspecto en función del número de circuitos de vía o cantones desocupados que existan tras la señal según se explicó anteriormente.

Generalmente las señales de avanzada se integran dentro de las últimas señales de bloqueo antes de la estación. Las señales resultantes actúan como señales de avanzada convencionales pero incluyen el aspecto rojo propio de las señales de bloqueo cuando el CV posterior a la señal se encuentra ocupado.

Además de estas señales de circulación existen señales de tipo informativo y de limitación de velocidad en forma de carteles situados en puntos característicos de la vía

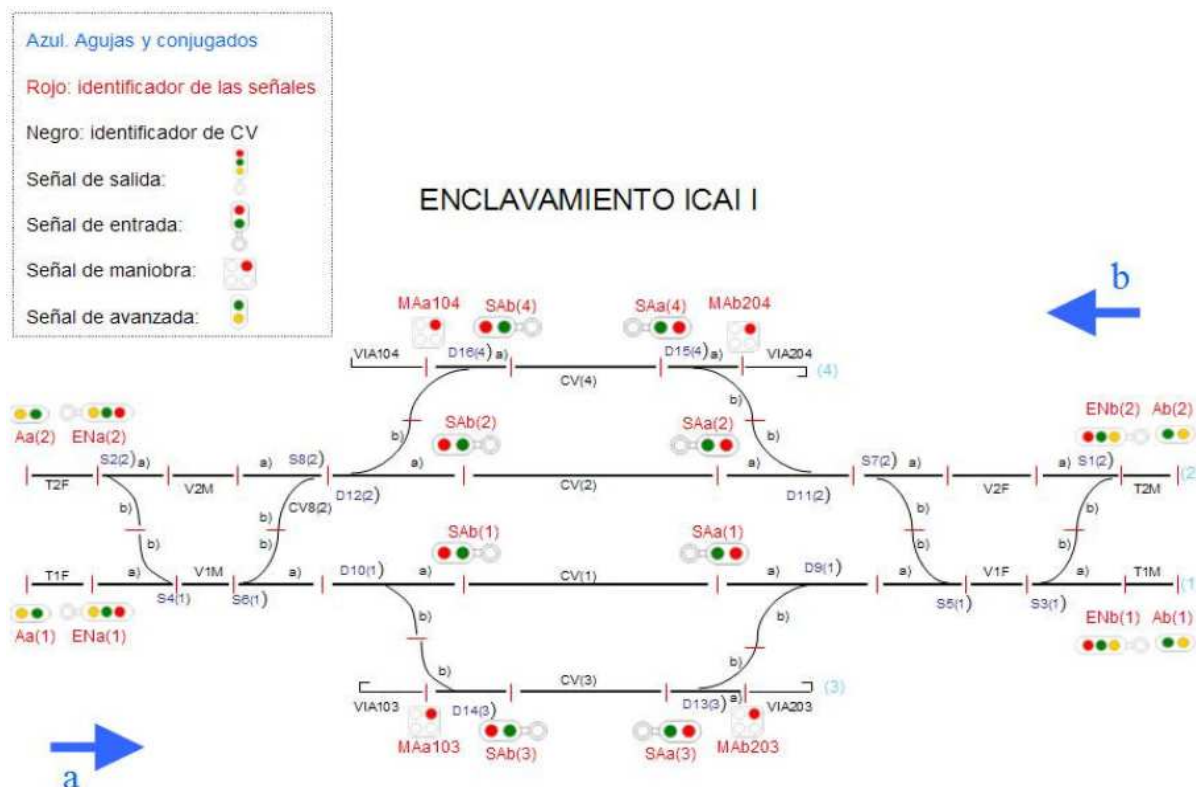
2.4.2.6 ESTABLECIMIENTO, ENCLAVAMIENTO, AUTORIZACIÓN Y DISOLUCIÓN DE RUTAS

Los movimientos de los trenes pueden clasificarse:

- **Itinerarios:** Se denominan itinerarios a los movimientos normales de los trenes de transporte de personas y/o mercancías en su entrada y salida de la estación. Los itinerarios típicos son la entrada a la estación parando en un circuito de vía de andén donde se suben o bajan los pasajeros o se cargan/descargan las mercancías y el paso directo del tren a través de la estación por la misma vía todo el rato para continuar a la siguiente estación. Pero también existen algunas variantes de itinerarios como el paso directo del tren por la estación cambiando de vía.
- **Maniobras:** Las maniobras engloban una gran cantidad de movimientos distintos orientados a reordenar los trenes, vagones y en general el material rodante dentro de la estación. Las maniobras pueden estar motivadas por necesidad de efectuar reparaciones en la vía o para cambiar la posición relativa de los trenes o su configuración (el número de vagones). Dentro de la estación las maniobras se realizan en una zona delimitada por carteles y siempre a velocidad reducida dada su mayor complejidad.
- **Rutas simples:** Aquellos movimientos básicos del tren, autorizados de señal a señal sin que exista ninguna señal intermedia en el mismo sentido de circulación. Existen **4 tipos** básicos de rutas simples: Ruta simple de señal de entrada a señal de salida en la misma vía. Ruta simple desde señal de salida hasta un circuito de vía de manga donde la vía se corta, con objeto de parar o estacionar el tren. Ruta simple desde señal de salida hasta abandonar la estación y entrar en el tramo de bloqueo. Ruta simple desde una señal de maniobra hasta una señal de salida.
- **Rutas compuestas:** Las rutas compuestas están constituidas por un cierto número de rutas simples superpuestas y permiten movimientos más complejos de los trenes por el interior de la estación. Normalmente las maniobras se autorizan a nivel de rutas simples y los itinerarios se constituyen como rutas compuestas. Un ejemplo de ruta compuesta correspondiente a un itinerario de un tren que llega a la estación y la atraviesa sin parar para dirigirse a la próxima estación, desviándose en el interior por una vía secundaria.

Dos conceptos importantes para garantizar la seguridad en el establecimiento de rutas son el deslizamiento y la protección de flancos. El **deslizamiento** se define como la distancia que recorre el tren en caso de frenado de emergencia por rebase no autorizado de una señal en rojo. La distancia de deslizamiento depende del tipo de tren, ya que trenes distintos tienen distinta deceleración máxima. En la práctica la protección por deslizamiento se lleva a cabo reservando determinados circuitos de vía tras la señal de fin de ruta y/o enclavando las agujas correspondientes para que en caso de rebase no autorizado de la señal de fin de ruta el tren sea capaz de detenerse sin invadir otras rutas establecidas garantizando la seguridad.

La **protección de flancos** consiste en maniobrar y enclavar las agujas necesarias para garantizar que una ruta que esté establecida y autorizada no tiene constituido desde otra ruta ningún desvío lateral que pueda acceder a ella. De esta forma se evita que trenes procedentes de rutas laterales puedan acceder a la propia ruta poniendo gravemente en peligro la circulación.



Ejemplo de enclavamiento en una estación Enclavamiento

Todos los movimientos posibles de los trenes, las protecciones por deslizamiento y flancos y la incompatibilidad entre distintas rutas para una estación dada quedan reflejados en las denominadas tablas de movimiento e incompatibilidades. Son 3 tablas distintas en las que se basa el funcionamiento del enclavamiento. Han de ser revisadas a fondo porque son críticas para la seguridad de la circulación.

2.4.2.6.1 Tabla de rutas simples (TRS)

Esta tabla contiene todas las rutas simples que se consideran para la estación, distinguiendo entre rutas simples de itinerario y maniobras. De ahí que muchas rutas aparezcan por duplicado diferenciándose únicamente en que unas son de itinerario y otras de maniobra. Toda ruta simple debe incorporar la siguiente información:

- Número de identificación de la ruta, tipo (si es de itinerario o maniobra) y sentido (derecha o izquierda).
- Nombre de la señal origen y de la señal final de la ruta. El aspecto en el que abre la señal origen y en caso necesario el aspecto que deben adoptar otras señales externas a la ruta cuando se autoriza la misma.
- Todos los circuitos de vía y agujas que componen la ruta, indicando la posición que tiene que tener cada aguja.

El número y tipo de rutas simples que se consideran en una estación depende del diseño del trazado ferroviario, de la señalización que se adopta y de las necesidades de explotación de la estación.

2.4.2.6.2 Tabla de deslizamientos (TD)

En la tabla de deslizamientos deben aparecer asociados a cada ruta simple los circuitos de vía que hay que dejar libres y la posición en que deben ser enclavadas las agujas necesarias, para garantizar la protección por deslizamiento y protección de flancos de la ruta. En las rutas de maniobra aunque sí se tiene en cuenta la protección de flancos no se tiene en cuenta el deslizamiento porque al realizarse a velocidad lo suficientemente reducida no existe riesgo de rebase no autorizado de una señal.

2.4.2.6.3 Tabla de incompatibilidad (TI)

La tabla de incompatibilidad compara una a una todas las rutas consideradas y establece si son compatibles o no, es decir, para cada par de rutas consideradas determina si se puede establecer la nueva ruta garantizando la seguridad cuando la otra está ya autorizada. En caso negativo refleja los motivos de incompatibilidad. La tabla de incompatibilidad es absolutamente unívoca, el hecho de que dos rutas sean o no compatibles no depende de las circunstancias como por ejemplo el nivel de tráfico, sino que esa incompatibilidad se da en todo momento.

2.4.2.6.4 Disolución de rutas

La disolución de un itinerario tiene como consecuencia el desenclavamiento de las agujas que lo componen, incluidas las de protección y de esta forma se pueden constituir nuevos itinerarios que fueran incompatibles con el itinerario disuelto. La normativa de RENFE sobre enclavamientos eléctricos, contempla tres tipos de disolución de itinerarios.

- **Disolución normal:** Al avanzar un tren por un itinerario se desenclavan automáticamente las agujas que lo componen a medida que el tren va liberando los sucesivos circuitos de vía de que consta el itinerario. Las agujas de protección correspondientes se desenclavan normalmente transcurrido un intervalo de tiempo (habitualmente 30 o 60s) después de que el tren haya ocupado el último circuito de vía del recorrido. De esta manera se garantiza que el tren está completamente detenido antes de liberar las agujas de protección.
- **Disolución artificial:** Se denomina disolución artificial cuando tras haber autorizado un determinado movimiento de entrada a la estación, se desea anularlo antes de que el tren rebase la señal origen del movimiento. El procedimiento varía dependiendo de sí al producirse la petición de disolución artificial el tren se encuentra o no en la proximidad de la señal origen. Como norma general la proximidad se producirá en el circuito de vía anterior a la señal de avanzada.
- **Disolución de emergencia:** Se da como caso excepcional en situación de emergencia. Puede ocurrir por fallo en el proceso de disolución normal, cuando un tren con avería recorre la ruta parcialmente y se queda detenido sin haber llegado al final. También se da cuando en el proceso de disolución artificial con tren en la proximidad, la circulación rebasa la señal origen antes de que haya acabado de contar el **diferímetro**⁹.

⁹ Son muchas las instalaciones ferroviarias que poseen diferímetros para casi todos los usos que se pueda imaginar en los que es necesario que pase un tiempo determinado entre una acción y la siguiente.

2.4.2.7 ENCLAVAMIENTOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS

El establecimiento de las diferentes rutas, anulación y disolución de itinerarios, así como el mando manual de agujas se realizan desde un **puesto de mando**. El enclavamiento recibe la información del puesto de mando y la traduce en las órdenes necesarias a los distintos elementos del campo. Paralelamente la información del estado del campo es recogida cíclicamente por el enclavamiento y en base a ella se actualiza el aspecto del panel del puesto de mando. El **enclavamiento** actúa **como intermediario entre el puesto de mando y el campo** garantizando que todas las operaciones se realizan de forma fiable y segura.

Los mandos que recibe el enclavamiento desde el puesto de mando son principalmente las rutas que el operador establece en cada momento, teniendo en cuenta el tráfico ferroviario y los horarios de los trenes. También existen mandos para el movimiento individual de agujas, la anulación de efecto pedal (movimiento de aguja con circuito ocupado), el bloqueo eléctrico de agujas y señales así como para bloquear una determinada ruta impidiendo que pueda ser seleccionada para ser establecida y autorizada. Por otro lado el enclavamiento recibe del campo periódicamente comprobación de la posición de todas las agujas que controla, así como la ocupación/desocupación de todos los CV de la estación. También recibe comprobación periódica sobre el estado de los focos de las señales para detectar inmediatamente si se produce la fusión de algún foco.

Con la información del estado del campo y en base a los mandos recibidos desde el puesto de mando, el enclavamiento genera las órdenes necesarias sobre los distintos elementos del campo. Por ejemplo: Cuando desde el puesto de mando se pide establecer una ruta, el enclavamiento comprueba si es incompatible con el resto de rutas establecidas y autorizadas. Si la ruta solicitada es compatible, se maniobran las agujas que en ese momento se encuentran en posición contraria a la requerida [la información de en qué posición se encuentra cada aguja en cada instante la tiene el enclavamiento]. Después se enclavan las agujas y luego se modifica sobre el campo el aspecto de la señal o señales necesarias para autorizar el movimiento y garantizar la seguridad.

Finalmente la información que el enclavamiento recoge periódicamente del campo y los cambios que en él se producen quedan reflejados en la pantalla o panel del puesto de mando mediante la generación de las indicaciones correspondientes.

2.4.2.7.1 Enclavamientos eléctricos

Los enclavamientos eléctricos son la evolución natural de los primeros enclavamientos de tipo mecánico. Las señales mecánicas se sustituyen por señales eléctricas de focos luminosos y se dota a las agujas de motor eléctrico. De esta manera desaparecen las palancas de accionamiento de aparatos y se sustituyen por relés. Existen relés de potencia para actuar sobre los elementos del campo modificando su estado y relés de enclavamiento que cumplen una función de tipo lógica. Los relés de enclavamiento impiden actuar sobre los distintos elementos del campo siempre que no se cumpla alguna de las condiciones de seguridad necesaria.

2.4.2.7.2 Enclavamientos electrónicos

Con la llegada de la informática, se desarrollan los enclavamientos de tipo electrónico basados en **microprocesadores**. Este tipo de enclavamientos son los que se emplean en la actualidad y ofrecen una gran cantidad de ventajas respecto a los antiguos enclavamientos eléctricos. Desde el punto de vista del hardware los enclavamientos electrónicos incluyen:

- **Unidad lógica:** Basada en microprocesadores, lleva a cabo el control en tiempo real de la operación del enclavamiento.
- **Módulos de entrada/ salida.** Constituyen la interfase con los elementos del campo. Los módulos de entrada reciben del campo entre otros la información sobre posición de agujas y estado de CV. Los módulos de salida actúan sobre relés, para modificar el aspecto de los focos de las señales y accionar los motores de las agujas. Cada elemento del campo tiene uno o más módulos independientes de E/S asociados.
- **Puesto de operador.** Proporciona al operador la información de la situación de los trenes y aparatos de campo y le permite emitir los mandos necesarios. La representación de información en el terminal de operador está normalizada. En España se rige por la normativa videográfica de RENFE.

Desde el punto de vista del software, los enclavamientos electrónicos se diseñan siguiendo el principio RAMS (Reliability, Availability, Maintainability and Safety) para garantizar altos estándares de fiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y seguridad.

2.4.2.8 AUTOMATIZACIÓN DE LA CONDUCCIÓN DE TRENES

Los sistemas de enclavamiento y bloqueo ferroviario están diseñados para el establecimiento y disolución de forma completamente segura de rutas de trenes. De forma completamente segura siempre que las indicaciones de las señales sean seguidas fielmente por el conductor del tren, es decir suponiendo la ausencia de errores humanos. Frente a errores humanos los sistemas de enclavamiento y bloqueo proporcionan un nivel de seguridad elevado aunque no completo. Por ejemplo: la protección de deslizamiento garantiza la seguridad en caso de rebase no autorizado de una señal en rojo. La protección de flancos impide que trenes procedentes de rutas laterales puedan acceder accidentalmente a los cantones de vía reservados para una ruta ya establecida. Sin embargo existen errores humanos en la conducción de trenes que pese a las medidas de seguridad implícitas en enclavamientos y bloqueos podrían llegar a originar accidentes. Con el desarrollo de las redes ferroviarias y el aumento de la velocidad de los trenes, la seguridad adquiere una importancia crítica. Como respuesta a la necesidad creciente de control y prevención de fallos humanos en la circulación de trenes, nacen sistemas de conducción supervisada.

RENFE comienza a implantar los primeros sistemas de automatización de la conducción en los años 70, décadas más tarde que otras administraciones ferroviarias europeas. Desde entonces hasta hoy los automatismos para la conducción de trenes han experimentado un desarrollo importantísimo y hoy en día no se concibe la circulación de trenes sin sistemas electrónicos de control de la conducción. En este apartado se exponen los sistemas más importantes tanto antiguos como actuales, sus características y su grado de implantación.

2.4.2.8.1 ASFA (Anuncio de señales y frenado automático)

ASFA es un sistema de señalización en cabina y frenado de emergencia. Es el primer sistema automático de control de conducción de trenes implantado en España. RENFE lo adoptó en 1970 y empezó a entrar en servicio en 1978. El sistema garantiza el cumplimiento de las órdenes impuestas por las señales convencionales de circulación. La transmisión de información se realiza de forma puntual mediante un sistema de balizas instaladas en la vía y un receptor situado en el tren. Las balizas transmiten información sobre el estado de las señales y las restricciones a la marcha en los siguientes cantones.

El receptor a bordo del tren recibe la información transmitida por las balizas al pasar sobre ellas, y genera en un panel situado en cabina una serie de indicaciones. El conductor del tren debe reconocer esas indicaciones, confirmar mediante un pulsador que las ha recibido y adecuar la velocidad del tren a las condiciones impuestas. Si no reconoce mediante el pulsador o si incumple las condiciones de velocidad, el sistema ASFA acciona automáticamente el freno de emergencia deteniendo el tren.

El control de velocidad toma los datos directamente del velocímetro del tren. Si el sistema ASFA acciona el freno de emergencia, el maquinista pierde el control del tren. No puede retomar el control hasta que el tren circule a menos de 5km/h o se haya detenido completamente. Además para recuperar el control es necesario accionar un pulsador de rearme. Todas las intervenciones quedan registradas en el tacógrafo.

ASFA emplea 9 frecuencias distintas de 55kHz a 115 kHz. El sistema de comunicación baliza-receptor se basa en circuitos resonantes con acoplamiento magnético. Las propias balizas son elementos pasivos y estáticos, es decir que no requieren alimentación para transmitir la información, con el ahorro energético que esto implica. Sí que requieren alimentación para variar la frecuencia a la que transmiten, según varíe el aspecto de la señal a la que representan. Las cajas de conexión son los elementos que transmiten la información del estado de la señal a las balizas. Los trenes que implementan el sistema ASFA disponen de un captador situado bajo el bastidor en la parte delantera del tren. Hay un oscilador conectado al captador, que oscila permanentemente a la frecuencia de tierra.



Baliza ASFA. Baliza instalada en la vía y receptor situado en el tren

Está bloqueado en la frecuencia de tierra, mientras no pase sobre una baliza. De ésta forma se da una comprobación continua del correcto funcionamiento del captador. Al pasar sobre una baliza la frecuencia del captador se desplaza a la frecuencia que el circuito resonante de la baliza tenga en ese momento. De esta manera se consigue transmitir la información.

Normalmente existen dos balizas asociadas a cada señal: la baliza de señal, situada a unos 5 metros de la señal y la baliza previa separada 300m de la baliza de señal. La baliza previa es obligatoria para todas las señales de bloqueo, avanzada y entrada. Para las señales de salida es obligatoria cuando la distancia desde el lugar de estacionamiento del tren hasta la señal supera los 300m. Dependiendo del desnivel de la vía férrea en el tramo considerado, la distancia entre baliza de señal y baliza previa puede oscilar en el rango de 190m hasta 480m.

Existen 5 tipos de indicaciones distintas transmitidas por las balizas:

- L1: Vía libre/ paso a nivel protegido
- L2: Vía libre condicional
- L3: Anuncio de parada/ anuncio de precaución/ preanuncio de parada/ paso a nivel desprotegido/ limitación de velocidad temporal de 50 km/h
- L7: Indicación de parada en baliza previa
- L8: Parada a pie de señal

Si la velocidad máxima del tren es de 50, 60 o 70 km/h, la velocidad máxima permitida al paso de una baliza previa asociada a una señal que imponga parada es de 35 km/h. Si el tren puede alcanzar hasta 100 km/h, la velocidad permitida de paso por la baliza previa asciende a 50 km/h. Para trenes con velocidad máxima superior a 110 km/h el límite es de 60 km/h. Pese a que el sistema ASFA puede transmitir en 9 frecuencias distintas, sólo emplea 5 de ellas. El sistema evolucionado ASFA digital contempla el uso de las 9 frecuencias para transmitir 9 órdenes distintas más específicas en vez de 5.

Las órdenes transmitidas producen una serie de actuaciones sobre el panel situado en la cabina de conducción. Se generan advertencias acústicas y ópticas a las que el conductor debe responder presionando el pulsador de reconocimiento y adecuando la velocidad, porque si no, se activa el freno de emergencia:

- Vía libre: advertencia acústica de 0,5s de duración
- Anuncio de parada/ anuncio de precaución: advertencia acústica continua junto al pulsador luminoso de reconocimiento. Debe actuarse sobre el pulsador en un tiempo inferior a 3s.
- Parada: advertencia acústica de 3s de duración. Indicador rojo luce durante 10s.
- Rebase autorizado: para que no se accione el freno de emergencia el maquinista debe presionar el pulsador de reconocimiento como máximo 10s antes del paso por la baliza de señal.

Existen distintas versiones del sistema ASFA:

- ASFA convencional: válido para trenes de velocidad máxima hasta 160 km/h
- ASFA 200: apto hasta 200 km/h. Con respecto al ASFA convencional impone la restricción adicional de limitación de velocidad ante indicación de vía libre condicional. Se debe reducir a 180 km/h y después a 160 km/h en un determinado tiempo. En caso contrario se activa el freno de emergencia.
- ASFA 200 AVE: sistema similar al ASFA 200 pero adaptado a los cantones más largos característicos de la alta velocidad.
- ASFA digital: La reconversión de los sistemas ASFA a ASFA digital implica 2 actuaciones distintas. Una primera fase de sustitución de los equipos del tren por hardware de tecnología digital permite la supervisión de la velocidad del tren mediante la curva de frenado y ofrece una iconografía más clara en la pantalla. En la segunda fase se actúa sobre los equipos de tierra pasando a utilizar las 9 frecuencias de transmisión posibles para dar órdenes más específicas.

El sistema ASFA fue diseñado por la empresa Westinghouse Air Brake Company (Wabco) vencedora del concurso convocado por RENFE. Actualmente existen aproximadamente 8700 km de vía de la red de ADIF que implementan el sistema ASFA en alguna de sus versiones. En 2007 entró en funcionamiento la primera fase del sistema ASFA digital que debe ser el sistema principal hasta la implantación definitiva del ERTMS.

2.4.2.8.2 Sistema ATP (Automatic train protection)

Las siglas ATP traducidas al castellano significan protección automática del tren. Es una denominación genérica que engloba un gran número de sistemas diferentes en distintos países y con distinto grado de protección. La característica mínima que debe implementar todo sistema de protección para que pueda ser considerado ATP es una supervisión continua de la velocidad del tren impuesta por el aspecto de las señales y las características físicas de la vía. El sistema ASFA, exceptuando la versión digital, no se puede considerar un sistema ATP, puesto que aunque se trata de un sistema de señalización en cabina, con aplicación de freno de emergencia no dispone de un control continuo de la velocidad del tren.

Se distinguen dos tipos de sistemas ATP según la forma en que es transmitida la información enclavamiento/campo-tren:

- Transmisión puntual de la información mediante balizas.
- Transmisión continua de información: existen 3 sistemas diferentes actualmente en uso. Mediante cable radiante entre carriles, transmisión de la información a través de los raíles y transmisión por radio.

A continuación se explican las características fundamentales de los 3 sistemas ATP más importantes, empleados en la alta velocidad europea. Estos 3 sistemas ATP tienen en común que la transmisión de información es continua.

- **Sistema BACC italiano:** La transmisión de la información se realiza a través de los raíles. La alimentación de los raíles se hace en corriente alterna de bajo voltaje a 50 Hz. Junto a la onda portadora de 50 Hz se modulan otras 4 frecuencias de 75, 120, 180 y 270 Hz. Cada una de estas frecuencias representa un código, 5 en total. Estos códigos dan al sistema implantado en el tren las indicaciones de velocidad máxima en el cantón actual y los siguientes. El freno de emergencia se activa si el maquinista no presiona el pulsador de reconocimiento antes de 3s desde la última transmisión recibida. En caso de sobrepasar la velocidad fijada para un tramo se actúa igualmente sobre los sistemas de freno. El sistema BACC cuando se implanta en líneas de alta velocidad se mejora añadiendo otra onda portadora de 178 Hz que también se codifica dando lugar a nueve códigos distintos en total. El BACC italiano es el sistema ATP más básico de los 3 y permite alcanzar una velocidad máxima de circulación de los trenes de 250 km/h lo que no es mucho para líneas de alta velocidad.
- **Sistema TVM francés:** Los trenes TGV de la alta velocidad francesa implementan el sistema TVM [Transmisión Vía Máquina]. La transmisión de la información se realiza también empleando los raíles. A diferencia del BACC la onda portadora puede modular 27 frecuencias diferentes, es decir 27 indicaciones diferentes frente a 5 o 9 del BACC. Además tiene la ventaja de que se emplean frecuencias distintas en las vías pares y las impares con objeto de evitar interferencias. Para las vías pares se emplean 1700 y 2300 Hz y para las impares 2000 y 2600 Hz. Los trenes TGV disponen de 4 antenas redundantes situadas bajo el morro delantero que reciben las indicaciones enviadas a través de los raíles. Sólo las 2 primeras en el sentido de la marcha están operativas. Las indicaciones recibidas por las antenas hacen referencia al estado de señales, ocupación/ desocupación de circuitos de vía y características del trazado ferroviario como el desnivel de un tramo o restricciones de velocidad máxima al paso por determinados puntos. El ordenador de a bordo procesa estas indicaciones junto con los parámetros del tren [capacidad de frenado, longitud, etc]. A continuación genera en el pupitre de información las indicaciones de velocidad máxima a respetar en el cantón actual y los siguientes junto a otras indicaciones adicionales sobre estado de la tracción, pantógrafos, etc. Como todo sistema ATP, en caso de incumplimiento de los límites de velocidad impuestos para cada tramo se actúa automáticamente sobre el sistema de frenado. El control se lleva a cabo desde un CTC. A nivel de vía existen cada 15 km aproximadamente centros de procesamiento de datos que recogen la información del

enclavamiento. En base al estado de las señales y en base a los datos que tienen almacenados sobre perfil de la línea y velocidades máximas para el tramo considerado, los centros de procesamiento de datos comunican a los equipos de transmisión individuales situados en cada cantón las órdenes que deben transmitir al tren. El TVM francés, en una versión más primitiva se implantó por primera vez en 1980 en la línea TGV Sud-Est (París-Lyon). Actualmente el sistema está lo suficientemente avanzado como para permitir la circulación de trenes a 320 km/h y con una frecuencia de 3 min. El empleo de señalización lateral en campo no es necesario con el sistema TVM.

- **Sistema LZB alemán:** Traducido al castellano significa control lineal del tren. La principal diferencia con los otros 2 sistemas ATP radica en que la información no se transmite a través de los raíles sino mediante 2 cables emisor-receptor situados a lo largo de la vía que se comunican con las antenas del tren. El intercambio de datos campo-tren se realiza a una frecuencia de 36 kHz y la señal emitida del tren al campo es de 56 kHz para asegurar que no existan interferencias entre la información recibida y transmitida por el tren. A grandes rasgos el LZB es un ATP con sistema de señalización en cabina y supervisión continua de velocidad que además ofrece la posibilidad de conducción automática. En modo automático se optimiza la explotación de la línea con frecuencias de trenes en torno a los 3 min a una velocidad máxima de 300 km/h. Las líneas de alta velocidad LZB están constituidas por un determinado número de enclavamientos electrónicos e igual número de centrales LZB. Cada central LZB tiene almacenado todo el perfil topográfico de la línea, y todas las limitaciones de velocidad del trazado tanto permanentes como variables y temporales. Esta información junto a la proporcionada por el enclavamiento al que está asociado la central LZB, es la que se transmite a los trenes. El equipo a bordo la procesa y calcula la curva de frenado correspondiente adecuando la velocidad en cada punto. El sistema LZB proporciona al maquinista información en tiempo real de los 12 km siguientes a la posición actual del tren. En modo de conducción manual actúa sobre el sistema de frenado en caso de incumplimiento de límites de velocidad como un sistema ATP estándar. En modo de conducción automática controla íntegramente los sistemas de tracción y freno del tren siguiendo de forma óptima la curva de frenado y por tanto reduce el tiempo y optimiza la explotación de la línea. El LZB es particularmente importante en relación a la alta velocidad española puesto que la primera línea AVE Madrid-Sevilla lleva instalado este sistema.

2.4.2.8.3 ERTMS (European Rail Traffic Management System)

A nivel de alta velocidad existen en Europa tres sistemas ATP claramente diferenciados. Si además se consideran las líneas convencionales, el número de sistemas ATP diferentes instalados en trenes de distintos países europeos es muy elevado. En la Unión Europea existen prácticamente tantos sistemas como países. Los distintos ATP son incompatibles entre sí, por lo que es muy complicado establecer itinerarios transnacionales donde un tren circula por diferentes países de la unión. Un tren que realice un itinerario transnacional debe llevar instalado a bordo todo el equipamiento correspondiente a los sistemas ATP de los diferentes países. Esto implica un aumento de costes importante y dificulta bastante la operación del tren.

Con objeto de solucionar estos problemas de incompatibilidad entre sistemas de diferentes países y para poder establecer una red importante de recorridos ferroviarios transnacionales, la UE introduce el sistema ERTMS orientado a la interoperabilidad. La interoperabilidad del sistema ERTMS garantiza que se pueda emplear equipamiento de distintos fabricantes y elimina la necesidad de parar en las fronteras para sustituir el tren o conductor o conmutar el sistema de ATP del tren. El sistema ERTMS supone la actuación conjunta y coordinada de tres subsistemas:

- **ETCS** [European Train Control System] : es el sistema ATP estandarizado para el control automático de la circulación del tren.
- **GSM-R** [Global System for Mobile Communications-Rail] : es el protocolo de comunicaciones seguras por ondas de radio empleado para la telefonía móvil a nivel mundial pero adaptado a las comunicaciones ferroviarias.
- **ETMS** [European Train Management System] : sistemas estándar europeos de gestión de tráfico.

A continuación se explica el funcionamiento de los diferentes equipos del ERTMS.

Componentes embarcados:

- **EVC [European Vital Computer]:** Es el ordenador central de procesamiento de datos instalado en el tren. Está diseñado a prueba de fallos con arquitectura redundante 2 de 2 o 2 de 3. Recibe todos los datos enviados por señal GSM-R y también los datos de las Eurobalizas. Además recibe todos los datos de los diferentes sensores del tren. Con esta información calcula y muestra las indicaciones en la DMI y genera las alarmas y avisos necesarios. Ante incumplimiento de los límites impuestos da la orden de actuación sobre los sistemas de frenado, freno de servicio y en caso necesario freno de emergencia. Calcula en base a los datos que recibe y los del propio tren las curvas de frenado y los perfiles de velocidad y controla la velocidad permitida en cada tramo.
- **Odómetros tacogeneradores/Odometros con sensor rádar:** Los odómetros son los equipos encargados de la medición de la distancia total recorrida por el tren, la velocidad, aceleración, rotación y sentido de la marcha. Los odómetros tacogeneradores se instalan en los ejes del tren, preferentemente en los de tracción. Su funcionamiento se basa en la generación de un pulso cada vez que la rueda da una vuelta completa y pasa por el detector. Debido a un exceso de tracción, frenado o condiciones climatológicas que disminuyan el coeficiente de rozamiento puede aparecer deslizamiento entre las ruedas del tren y los raíles. En este caso los odómetros tacogeneradores no miden el recorrido adicional producido por el deslizamiento y pueden introducir errores importantes. Por ello se emplean además otro tipo de odómetros con captadores basados en un sistema rádar. Proporcionan una medición muy precisa de distancia recorrida y velocidad y no les afecta el deslizamiento.
- **DMI [Driver Machine Interface]:** Es la interface de comunicación entre el sistema y el conductor del tren. En la DMI se representa gráficamente la información tanto física como del estado de la vía [gradientes de la vía, aspecto de la señalización, límites de velocidad y mensajes de aviso]. La DMI refleja en definitiva la información procesada por el EVC y la muestra a medida que va siendo necesaria, para guiar al maquinista en la conducción del tren. A través de la DMI se introducen en el sistema los distintos parámetros característicos del tren. La DMI sigue un estándar que define la forma de representación de la señalización en cabina y el protocolo que debe seguir el conductor para interactuar con los sistemas de supervisión y control del tren. Esta estandarización permite operar con trenes de distintos modelos y fabricantes de manera idéntica.

- **JRU [Juridical Recorder Unit]:** Es una "caja negra" que registra de manera continua durante todo el recorrido, los diferentes parámetros característicos de la conducción del tren. Quedan almacenados, asociando fecha y hora a cada dato, los telegramas de información recibidos al paso del tren sobre cada Eurobaliza, la información transmitida por GSM-R y todas las acciones llevadas a cabo por el maquinista [introducción de datos, pulsado de botones, etc]. El objetivo es tener un registro absolutamente fiable para poder determinar las causas exactas en caso de fallo o accidente.
- **Antena de lectura de Eurobalizas:** Su función es recibir los telegramas transmitidos al paso del tren por las Eurobalizas y Euroloops. Las Eurobalizas son elementos pasivos que no reciben alimentación. La antena emite permanentemente una señal de activación de 27 Mhz. Al pasar el tren por la Eurobaliza esta señal le proporciona energía y la activa temporalmente para que transmita la información necesaria.
- **Sistema de radio:** En ERTMS las comunicaciones por radio se realizan según el protocolo GSM-R, que garantiza la seguridad. La ventaja de las comunicaciones por radio a diferencia de Eurobalizas y Euroloops es que la transmisión de información se realiza de forma continua.

Los componentes fundamentales del ERTMS a nivel de **equipo instalado en vía** son:

- **Eurobaliza:** Transmiten telegramas con información al paso del tren. Se distinguen dos tipos de Eurobalizas:
 - o Balizas de datos fijos: La información que transmiten no varía. Son indicaciones de carácter físico sobre la ruta: gradientes del perfil, limitaciones de velocidad, etc.
 - o Balizas de datos variables: También denominadas balizas de datos transparentes. Transmiten información dependiente del estado de la vía y de las órdenes del enclavamiento asociado como por ejemplo el aspecto de una señal.

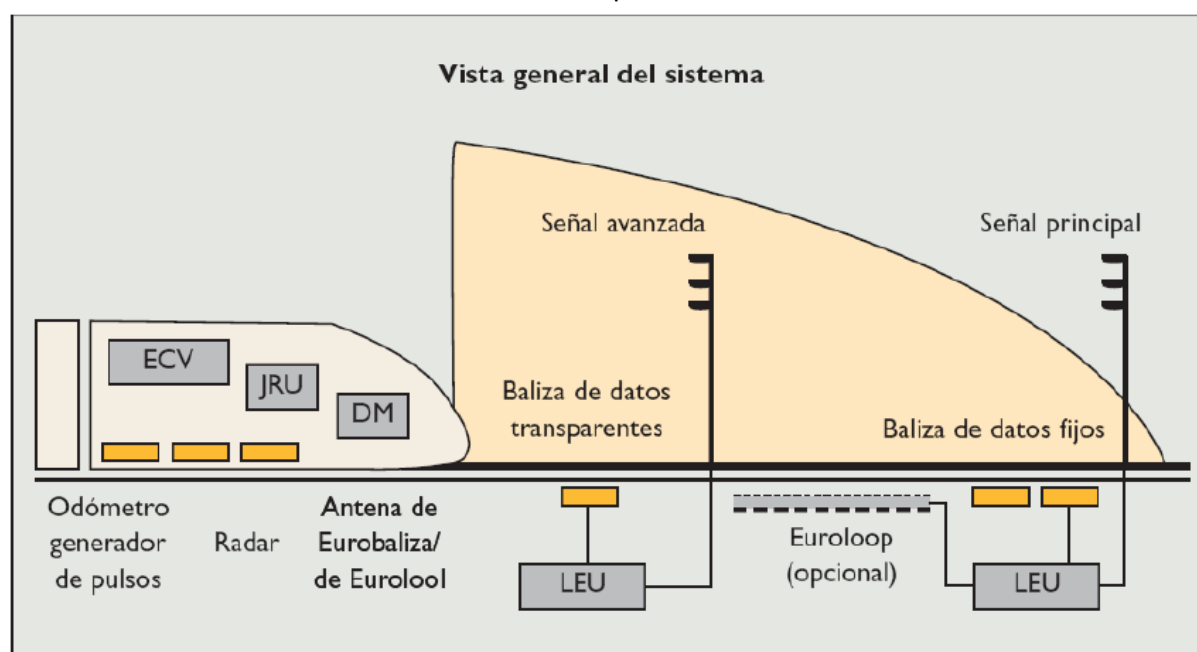
Las Eurobalizas se instalan en el eje de la vía entre los dos raíles y están diseñadas para soportar duras condiciones ambientales de intemperie, como cambios bruscos de temperatura y humedad. Está comprobado experimentalmente que permiten una transmisión fiable de datos hasta velocidades del tren de 500 km/h. Al pasar el tren sobre las balizas la señal de 27 Mhz emitida por las antenas de Eurobaliza del tren, las energiza y éstas emiten una señal de respuesta con la información necesaria.

- **LEU [Lineside equipment Unit]:** Las unidades electrónicas de vía actúan sobre las Eurobalizas de datos variables, modificando la información a transmitir según el estado del campo. Las LEU reciben la información de los enclavamientos electrónicos que controlan la vía. El aspecto de las señales no se extrae del enclavamiento sino directamente de los propios focos de las señales lo que eleva mucho la seguridad.
- **Euroloop:** El Euroloop es un sistema para ampliar el área de influencia de una Eurobaliza. Se trata de un cable radiante sujetado mediante grapas a la vía que transmite el telegrama de su Eurobaliza asociada. De esta manera el tren recibe la información antes de llegar físicamente a la posición de la Eurobaliza lo que mejora la capacidad de transmisión de información por vía discontinua. Los Euroloops pueden ampliar el alcance de una Eurobaliza hasta un máximo de 800m y tienen un coste relativamente bajo.

- **MSTT [Modular Decentralized Element Interface Module]:** Son módulos de control a nivel local distribuidos por todo el trazado de la ruta. La lógica de control de señales y trenes se realiza a nivel local y no teniendo en cuenta todo el enclavamiento. Necesitan un mínimo cableado y están diseñados para un mínimo mantenimiento.
- **RBC [Radio Block Center]:** Los RBC son centros que reciben vía radio GSM-R la información sobre la posición de cada tren. Su función principal es monitorizar el movimiento de los trenes. Además reciben información del enclavamiento electrónico y emiten las autorizaciones de movimiento a los trenes.

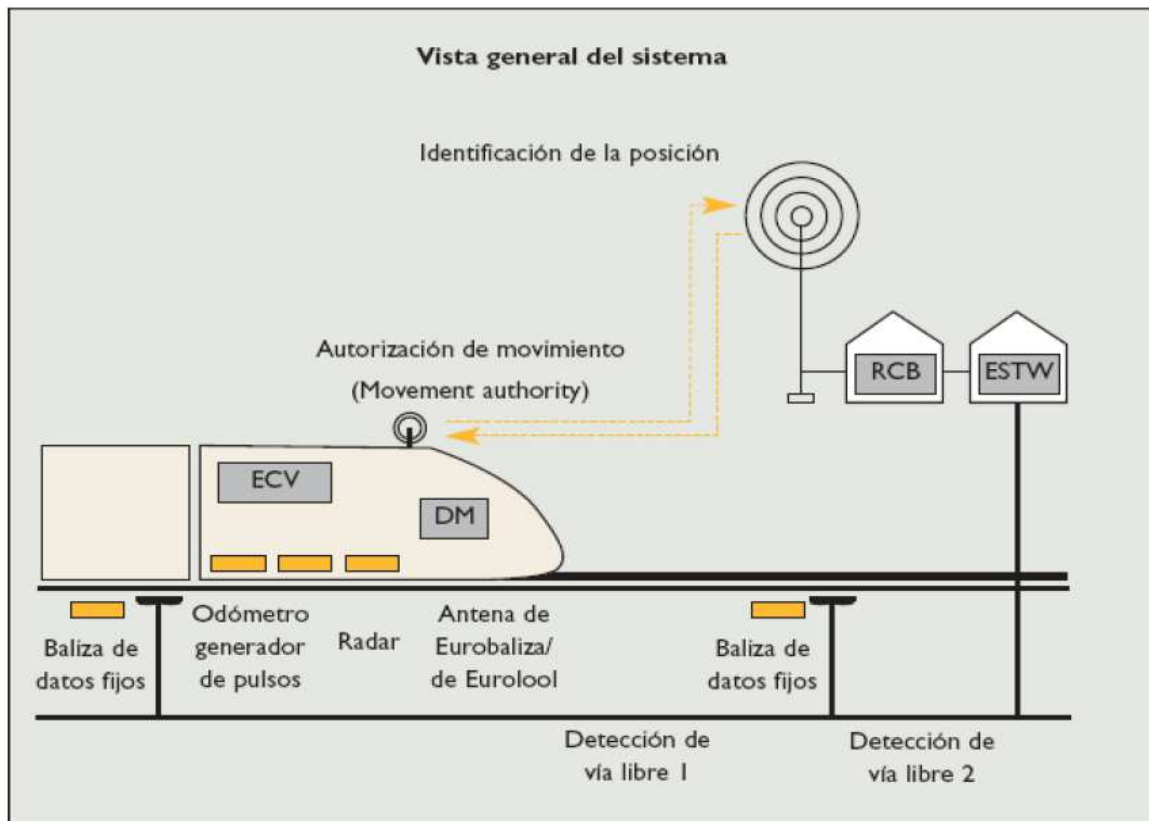
Se contemplan 3 niveles distintos de ERTMS en función del grado de implantación, y de las funciones que permite realizar.

- **ERTMS nivel 1:** En el nivel más básico no hay transmisión de datos vía radio GSM-R, sino que la información se transmite de forma discontinua mediante Eurobalizas y Euroloops. Los diferentes cantones disponen de un sistema de detección de la presencia de trenes como circuitos de vía o contadores de ejes. Cada cantón queda bloqueado hasta que no sea liberado por el tren que lo ocupa. En nivel 1 es necesario el empleo de señalización vertical y permite el empleo de señalización en cabina mostrando el aspecto de las señales a través de la DMI.



ERTMS nivel 1

- **ERTMS nivel 2:** En el nivel 2 se emplean comunicaciones vía radio GSM-R, lo que permite intercambio de información de forma continua. Los RCB juegan un papel fundamental procesando la información del enclavamiento y la posición de los trenes para emitir las autorizaciones de movimiento. Ya no existen balizas de datos variables y no se emplea señalización vertical en vía, sino exclusivamente señalización en cabina a través de la DMI. Se siguen empleando balizas de datos fijos como hitos kilométricos. Al pasar el tren sobre ellas queda registrada la posición exacta corrigiendo posibles desviaciones debidas a errores en los sistemas de odometría. El bloqueo se sigue realizando como en el nivel 1 por ocupación/ desocupación de cantones.



ERTMS nivel 2

- ERTMS nivel 3:** El ERTMS nivel 3 supone un salto muy cualitativo respecto a los niveles anteriores. Parte de la base del nivel 2: comunicación continua basada en GSM-R, eliminación de la señalización lateral en la vía e introducción de señalización en cabina a través de la DMI. También se emplean Eurobalizas de datos fijos para determinación exacta/corrección de la posición del tren. La gran diferencia es que en el nivel 3 el bloqueo se hace según un sistema de cantón móvil. Como se conoce la posición exacta de los trenes que están circulando en cada momento por la vía, se puede calcular en base a la curva de frenado la distancia que tiene que estar libre en cada instante entre un tren y otro para evitar riesgo de colisión en caso de frenado de emergencia. En los niveles 1 y 2 hasta que el último vagón de un tren no abandonaba el cantón n y ocupaba el $n+1$, un tren que fuera a acceder al cantón n debía permanecer esperando a la entrada. Con el sistema de cantón móvil cada tren se mueve junto a su propia zona de bloqueo. Una ventaja importante de este sistema es que ya no es necesario dividir la vía en cantones fijos e instalar circuitos de vía o contadores de ejes con el ahorro que supone. La ventaja principal es que el sistema de cantón móvil permite un aprovechamiento mucho mejor de la capacidad de la vía. Disminuyen los intervalos entre trenes y por tanto se puede aumentar considerablemente la frecuencia. El uso del ERTMS nivel 3 resulta muy atractivo para rutas que se encuentren saturadas al borde de su capacidad sean o no de alta velocidad, por ejemplo las circulaciones de cercanías en los grandes núcleos urbanos. Con una inversión moderada en adaptar el sistema de señalización y control a ERTMS nivel 3 se consigue aumentar considerablemente la capacidad de la línea sin tener que invertir en nuevas infraestructuras mucho más costosas y difíciles de construir.

Se define un nivel adicional de ERTMS, el STM [Specific Transmission Module] que es un sistema que permite que trenes que tienen incorporado el sistema ERTMS circulen por vías con otros sistemas distintos. Los STM son "traductores" de las indicaciones recibidas por los equipos antiguos de las vías a la DMI del tren ERTMS. En España es muy importante el desarrollo del módulo STM-LZB que permitirá que trenes ERTMS de las líneas más modernas de alta velocidad como Madrid-Barcelona puedan ser empleados en la línea Madrid-Sevilla que implementa el sistema de señalización alemán LZB.

2.4.2.9 EL CTC (CONTROL DE TRÁFICO CENTRALIZADO)

De lo descrito hasta ahora se desprende fácilmente la necesidad de tener una visión de conjunto de la posición de los trenes, así como de la disposición en cada instante de los desvíos y las rutas establecidas, para poder actuar sobre los mandos de señales e itinerarios y regular adecuadamente el tráfico en una zona específica.

En un primer momento fueron las mesas de mando locales: la cabina de concentración de palancas es un primer intento de mesa de mando local.

Al aparecer, los circuitos de vía y los enclavamientos eléctricos, las mesas de mando y control se reducen en tamaño, son accesibles por un solo operador que conoce dónde están todos sus trenes y que, además, puede establecer las rutas que necesita en cada momento.

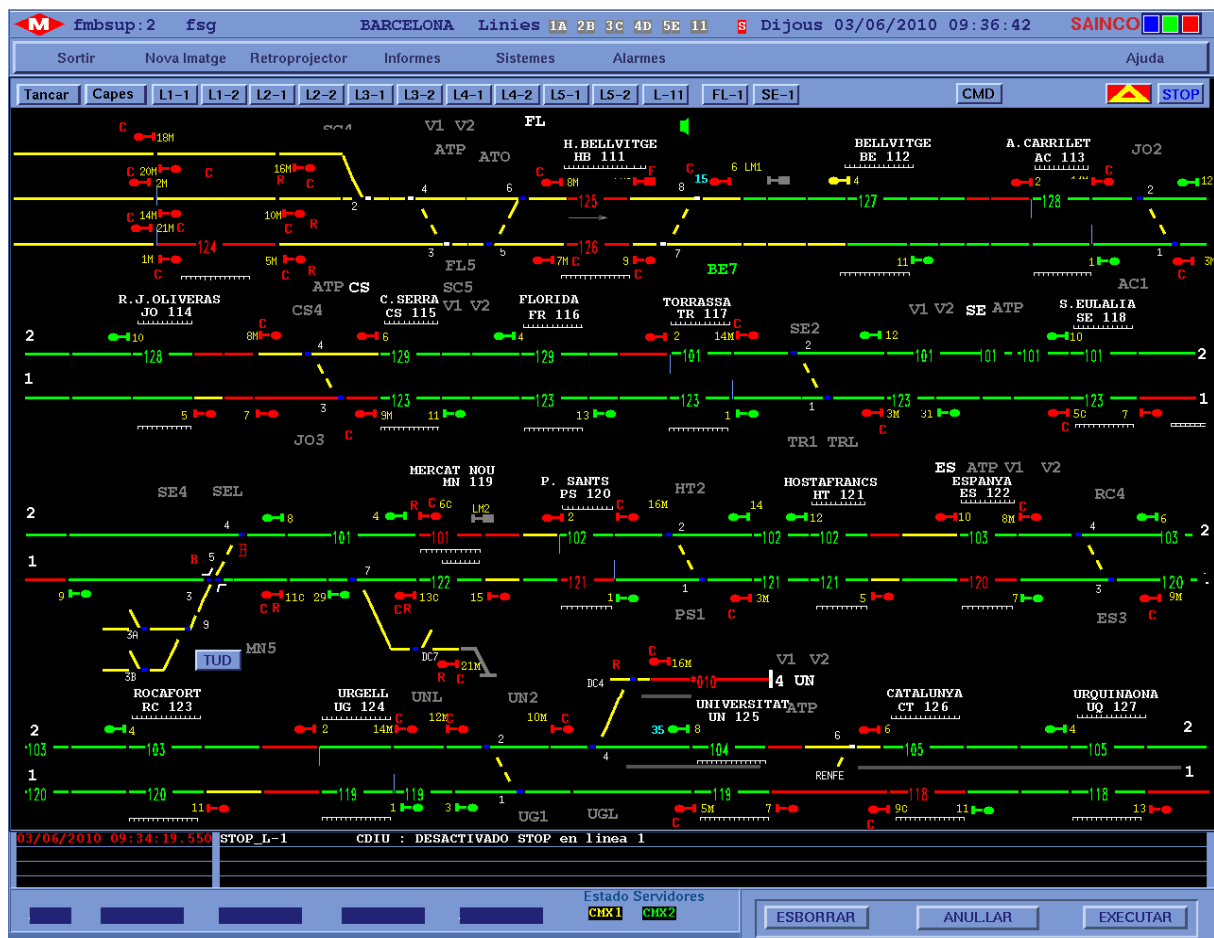
Al aumentar el tráfico, las mesas de mando local empiezan a tener limitaciones. Carecían de información acerca de la situación de los trenes en el trayecto entre estaciones, dificultando la preparación de los itinerarios de entrada y salida de los trenes. Este problema se intentó soslayar llevando con hilos paralelos la información de los primeros circuitos de entrada y salida a la estación. Esto resultaba caro y al mismo tiempo adolecía de importantes limitaciones técnicas a causa de la longitud de los hilos requeridos.

La aparición de la electrónica y la posibilidad de transmitir mensajes en formato serie entre diferentes puntos utilizando un solo cable facilita la transmisión de información desde puntos o concentradores remotos.

Se instalan los primeros CTC que permiten el mando y la regulación de un área extensa desde un único punto. EL CTC es parte integrante del sistema de mando y control. Hoy no se puede concebir el funcionamiento de un Ferrocarril si no dispone de su CTC. Desde el CTC se mandan los itinerarios, se regula el tráfico, y se resuelven todos los posibles conflictos operacionales de la circulación de los trenes. Además, y al mismo tiempo, el CTC genera valiosa información para los viajeros, como horas de llegada o posibles desviaciones de los horarios.

Con el CTC resulta más sencillo racionalizar la explotación mediante el establecimiento de marchas de ahorro energético. También es posible programar la creación automática de itinerarios y las estrategias automáticas de regulación. El CTC es el punto neurálgico desde el cual parten todos los estímulos nerviosos (eléctricos) del ferrocarril para la circulación óptima de los trenes. El CTC manda las órdenes a los enclavamientos, responsables estos de la seguridad, y recibe de ellos la confirmación de estas órdenes y la información referente a la situación de los trenes y al estado de la vía.

No es necesario insistir en que las técnicas de los ordenadores y de las comunicaciones son las herramientas que fundamentan un CTC. Los grandes paneles de visualización y mando se han sustituido por monitores desde los cuales son enviadas todas las órdenes pertinentes, a la vez que se recibe toda la información del campo.



Telemando de Tráfico del CTC del Metro de Barcelona

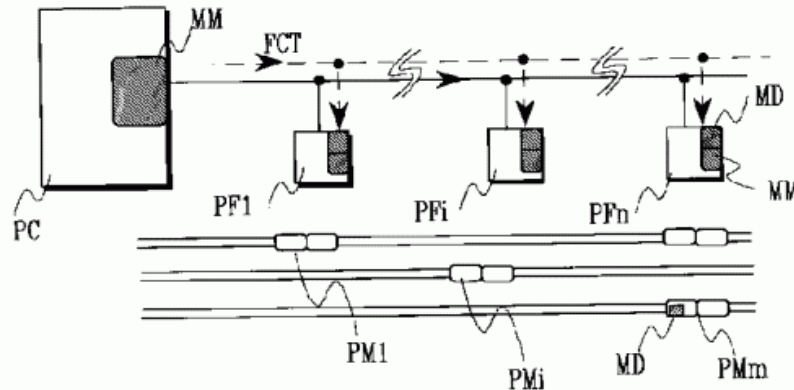
2.4.2.10 INSTALACIONES DE COMUNICACIONES

El Sistema de Telecomunicaciones fijas tiene como objetivo configurar una Red de comunicaciones global, flexible, escalable, eficiente y robusta que facilite diferentes tipos de interfaces y que se ajuste a los requisitos de todas las aplicaciones de operación ferroviaria, desde aplicaciones Administrativas, hasta servicios Operacionales y servicios de misión crítica.

- Comunicaciones fijas (comunicaciones ópticas, redes de datos)
- Comunicaciones móviles (GSM-R, Tetra)
- Conectividad en estaciones y nodos (LAN/WAN, telefonía, wi-fi, seguridad)
- Gestión y monitorización de telecomunicaciones

Desde los primeros días de la comunicación en el ferrocarril, cada operador nacional de ferrocarriles ha tenido al menos un sistema de comunicaciones de radio propietario, principalmente en las bandas de frecuencia de 440 a 470 MHz, pero con multitud de tipos diferentes de modulaciones, códigos y señalizaciones. Debido al hecho de que con el tiempo se fueron agregando mayor número de líneas de ferrocarril de alta velocidad en toda Europa y de que los trenes cruzaban muchas fronteras durante sus trayectos, fue apareciendo la necesidad de poseer un único sistema Europeo de radiocomunicaciones para las compañías de ferrocarriles.

El Sistema de Comunicación Ferroviario comprende un **Puesto Central** (PC) comunicado con los **Puestos Fijos** (PF1,...,PFI,... PFN), por medio de una línea de transmisión y donde dichos puestos fijos se comunican vía radio con los **Puestos Móviles** (PM1,..., PMI,..., PMM). El puesto central genera un **Tono de Canal Libre** (FCT) para indicar que esta listo para transmitir o recibir información de los puestos fijos y de los puestos móviles; y comprende **Medios para Modular** (MM) el tono de canal libre con una señal digital de datos y debido a ello transmite más información. El ancho de banda del tono de canal libre una vez modulado, es menor o igual al definido por la tolerancia del tono de canal libre. Los puestos fijos comprenden medios para modular y **Medios para Demodular** (MD) el tono de canal libre y los puestos móviles incluyen medios para demodular el tono de canal libre.



Sistema de Comunicaciones Ferroviario

Se podría dividir las redes de comunicaciones dentro de un ferrocarril en dos niveles:

- Comunicaciones a "nivel interno", TCN (Train Communication Network), este estándar desarrolla una red de comunicaciones diseñada a medida para el entorno ferroviario.
- Comunicaciones a "nivel externo", GSM-R (Global Standard for Mobile Communications Rail), este otro estándar está pensado para llevar a cabo todo el intercambio de información entre el tren y el mundo exterior (centro de mando, etc.). Como se puede intuir solo con el nombre, guarda una estrecha relación con el estándar GSM para comunicaciones móviles, sin embargo aunque se trata de protocolos muy similares GSM-R incluye algunas características específicas para las comunicaciones en ferrocarril.

Por una parte, a nivel de equipos instalados en el tren, el TCN especifica con detalle un protocolo de comunicaciones para el bus de vehículo. Este protocolo permite el acceso sencillo y uniforme a toda la información del tren y hace que la incorporación de nuevos equipos y funcionalidades del sistema de control sean prácticamente "plug-and-play"¹⁰

Todos los equipos electrónicos instalados en el tren funcionan bajo una única red estándar, simplificando la transmisión de información. Es decir, todos los equipos "hablan" un mismo idioma. Esta red única permite que el intercambio de información y el funcionamiento del tren sea flexible y abierto a la incorporación de nuevas funcionalidades y tecnologías como GSP, GSM e Internet. Además, el uso del TCN simplifica de manera notable la formación de personal cualificado y la puesta a punto y mantenimiento del tren.

¹⁰ Plug-and-play (enchufar y usar) es la tecnología que permite a un dispositivo informático ser conectado a una computadora sin tener que configurar (mediante jumpers o software específico (no controladores) proporcionado por el fabricante) ni proporcionar parámetros a sus controladores

En el otro nivel de comunicación al que se ha llamado “nivel externo”, a modo de introducción comentar que el GSM-R viene de una iniciativa, de la Unión Europea en los años 80, que pretende impulsar el desarrollo del tráfico ferroviario, en un ámbito supranacional, sin limitar el transporte ferroviario a las peculiaridades de cada uno de los países miembros. Se pretende potenciar el transporte ferroviario, uniformizándolo en todos los países, mejorar los ejes de comunicaciones y modernizar las infraestructuras consiguiendo ejes de alta velocidad transnacional y un sistema común (vías, comunicaciones, señalización, control y seguridad) que permita además la liberalización del sector como catalizador de este medio de transporte. Uno de los sistemas claves para este impulso es la homogenización de los sistemas de comunicaciones y de control y seguridad de tráfico ferroviario, eliminando también las barreras fronterizas. Se busca un único sistema de comunicaciones común para todos los servicios radio e interoperable en todos los países.

Diagrama de la arquitectura de un Centro de Comando y Control (PCC) de un submarino. El diagrama muestra una estructura centralizada con un 'Red de Tiempo Real' en el núcleo. Alrededor de este núcleo se conectan diversos subsistemas de control y operación, cada uno con su propia unidad de procesamiento y periféricos. Los subsistemas incluyen:

- Retroproyector (POC):** Sistema de visualización para el comandante.
- TATS (Asistencia Tipo Supervisión):** Sistema de asistencia para la supervisión.
- TIF (Instalaciones Fijas):** Sistema de instalaciones fijas.
- TTV (Transporte Virtual):** Sistema de transporte virtual.
- TS (Simuladores + Teleobjetivos POC):** Sistema de simuladores y teleobjetivos.
- TDEI (Detección y Extinción de Incendios):** Sistema de detección y extinción de incendios.
- TVV (Televisión y Video):** Sistema de televisión y video.
- TCA (Control de Acceso):** Sistema de control de acceso.
- TPA (Puertas de Anclaje):** Sistema de puertas de anclaje.
- TCE (Control de Energía):** Sistema de control de energía.
- TMM (Módulo de Mando):** Módulo de mando.
- TC (Control de Comunicaciones):** Sistema de control de comunicaciones.
- TINT (Integración):** Sistema de integración.

El diagrama también muestra la conexión de estos subsistemas a la 'Red de Tiempo Real' y a otros componentes como el 'PCC (Post de Commandement Central)' y el 'Sistema de Información'.

Ferrocarril: Fundamentos Técnicos y Operación

2.5 ESTACIÓN DE FERROCARRIL

Una **estación ferroviaria** o estación de ferrocarril es una instalación ferroviaria con vías a la que pueden llegar y desde la que se pueden expedir trenes. Se compone de varias vías, con desvíos entre ellas, y se delimita por señales de entrada y salida. Además son un punto de acceso al ferrocarril de pasajeros y mercancías, aunque no es una condición indispensable para ser una estación. Suelen componerse de andenes junto a las vías y un edificio de viajeros con servicios como venta de billetes y sala de espera.

Hasta hace pocos años, la edificación ferroviaria en las estaciones consistía generalmente en un conglomerado de edificios con distintas funciones puramente ferroviarias. Desde el edificio de viajeros, donde se encuentran las taquillas, despachos, salas de espera y que, en ocasiones, son vivienda del jefe de estación, hasta almacenes, depósitos, muelles y otras construcciones.

En la actualidad, las edificaciones de las estaciones ferroviarias están cambiando sustancialmente, tendiendo a convertirse en grandes centros, donde la función ferroviaria es sólo una mínima parte. Grandes superficies comerciales y de ocio complementan la oferta ferroviaria, siguiendo los modelos de los aeropuertos.

Principalmente se distinguen los tipos de estaciones siguientes, según su función:

- **De tráfico mixto:** Estación en la que las secciones de viajeros y mercancías poseen una serie de elementos comunes que no permiten desligar totalmente sus instalaciones. Las terminales de viajeros y mercancías no están separadas claramente la una de la otra.
- **Terminales de viajeros:** La misión de las terminales de viajeros es el transporte de trenes de viajeros así como la transferencia de viajeros desde los vehículos ferroviarios a otros medios de transporte o viceversa. Las terminales de viajeros están formadas por:
 - o **Sector ferroviario**, compuesto por las vías, andenes e instalaciones necesarias propias para la instalación.
 - o **Edificio de servicio**, con las instalaciones dedicadas a la atención del viajero (información, restaurantes, zonas comerciales...) y las zonas dedicadas al transporte de equipaje y paquetes.
 - o **Instalaciones complementarias**, tales como aparcamientos u otros accesos.
- **Terminales de mercancías:** su misión es el transporte de trenes de mercancías así como el transbordo de las mismas desde los vagones a otros medios. Las terminales de mercancías están formadas por:
 - o Parques de recepción, expedición y estacionamiento de material, ordenación, formación y descomposición de trenes, los cuales están formados por las instalaciones de la vía, comunicaciones, señalización y todas las demás instalaciones precisas para el tráfico de los trenes en la terminal.
 - o Edificios, muelles y otros departamentos necesarios para la explotación comercial de la terminal.
 - o Accesos a la terminal y aparcamientos.
- **Estaciones técnicas:** Son aquellas que se encargan de que los planes de tráfico de viajeros y mercancías sean siempre correctos. Pueden ser:
 - o Estaciones de tratamiento técnico de viajeros, en las que se realizan todas las operaciones de mantenimiento y preparación de la composición de viajeros, previo al inicio de su traslado.

- o Estaciones de clasificación y ordenación de trenes de mercancías. Estación destinada a la organización del tráfico de mercancías para la utilización del vagón completo y para la formación, descomposición y clasificación de los trenes de mercancías.
- o Apartaderos técnicos para los tráficos de viajeros y mercancías, que sirven para regular la circulación de trenes en las líneas.
- **Parques de los sectores:** Son unidades operativas con misión específica determinada (maniobras de unión o cambio de vagones o locomotoras por ejemplo), compuestas por haces de vías y las instalaciones precisas.



Estación de Frankfurt (más 130 millones al año)



Instalaciones para mercancías en una estación

2.6 INSTALACIONES FIJAS EN ESTACIONES

Las explotaciones ferroviarias que nos ocupan tienen, además de múltiples pequeños subsistemas específicos y particulares de cada uno de ellas, equipamientos mecánicos destinados básicamente al movimiento de viajeros con sus accesos, equipajes, máquinas de venta, etc.

2.6.1 ACCESOS

Todas las estaciones disponen de accesos debidamente señalizados y controlados, esos accesos suelen estar dotados de puertas para garantizar el cierre fuera de horas de servicio o incidencias que no permitan la entrada de clientes a las instalaciones.

Estos accesos, suelen estar motorizados, ya que habitualmente son de grandes dimensiones, queda a criterio del Operador que estos dispongan o no de telemando para su apertura y cierre, o que por el contrario se realice esta operación manualmente.

Dentro de los accesos podemos diferenciar dos grandes grupos, los destinados al uso comercial habitual y los destinados a las emergencias.



Imagen acceso comercial



Imagen salida de emergencia

2.6.2 ESCALERAS MECÁNICAS

Como es sobradamente conocido, las escaleras mecánicas se utilizan para el movimiento de personas y equipajes entre dos niveles a diferente altura, en unos casos en sentido ascendente y en otros en sentido descendente.

La primera escalera mecánica de peldaños data del 1892, realizada por C.H.Whecles y comercializada por OTIS.

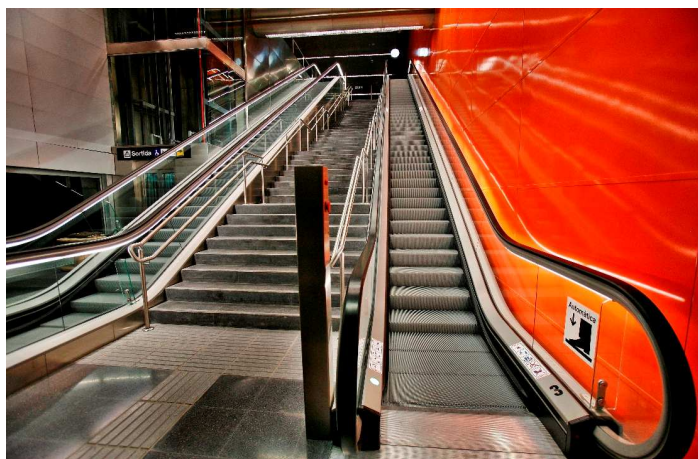


Imagen escalera mecánica estación

Las dimensiones normalmente definitorias de las escaleras mecánicas, se basan en inclinación de la escalera ($27,3^\circ$, 30° o 35°), velocidad de movimiento (0,50, 0,65 o 0,75 m/s) y ancho del peldaño (800 o 1000mm), los datos de velocidad y anchura son los que dependerán del estudio del flujo de viajeros esperado.

Algunos datos relevantes sobre escaleras mecánicas:

Las escaleras mecánicas se diseñan para capacidades de transporte entre 4500 y 13500 viajeros/hora.

Ancho nominal	Velocidad nominal (m/s)		
	0,5	0,65	0,75
0,5 m/s	4.500 per./h	5.850 per./h	6.750 per./h
0,65 m/s	6.750 per./h	8.775 per./h	10.125 per./h
0,75 m/s	9.000 per./h	11.700 per./h	13.500 per./h

Las distancias de frenado van asociadas a la velocidad de la escalera, como se puede ver en la tabla adjunta.

Velocidad	Distancia de frenado
0,5 m/s	Entre 1 y 0,2 m
0,65 m/s	Entre 1,3 y 0,3m
0,75 m/s	Entre 1,5 y 0,35m

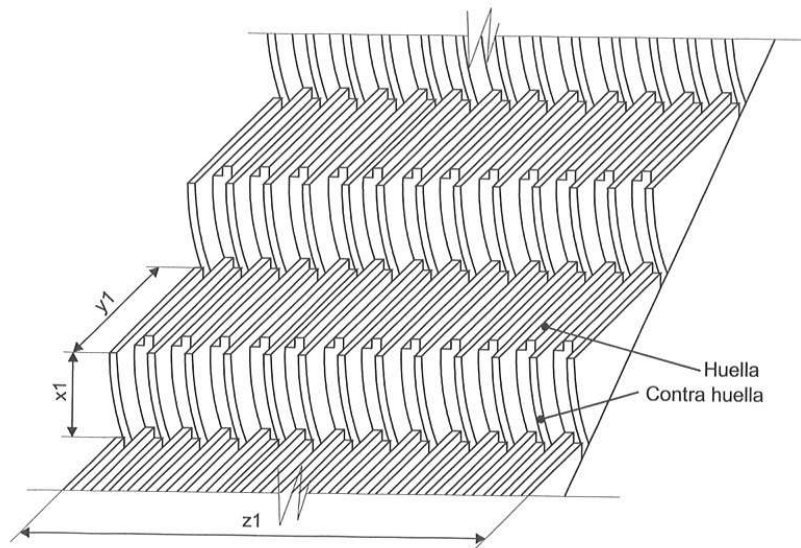


Imagen esquema peldaño

Las escaleras mecánicas están constituidas básicamente por una cadena sin fin de escalones como los de la imagen anterior. Para el movimiento de dichos escalones se instala un grupo motorizado de entre 10 y 45 kW (dependiendo del desnivel a salvar y carga a manejar) que actúa sobre el conjunto o cadena de escalones mediante sistemas de transmisión de engranajes en unos casos y por cadena en otros. Este conjunto se complementa por unas balaustradas laterales, pasamanos (bandas de goma que sirven de asidero a los pasajeros), peines (elementos colocados a las entradas y salidas y ajustados a las ranuras de los escalones para facilitar la transición de viajeros y un gran número de elementos y subsistemas de seguridad, como los mostrados en las siguientes imágenes.

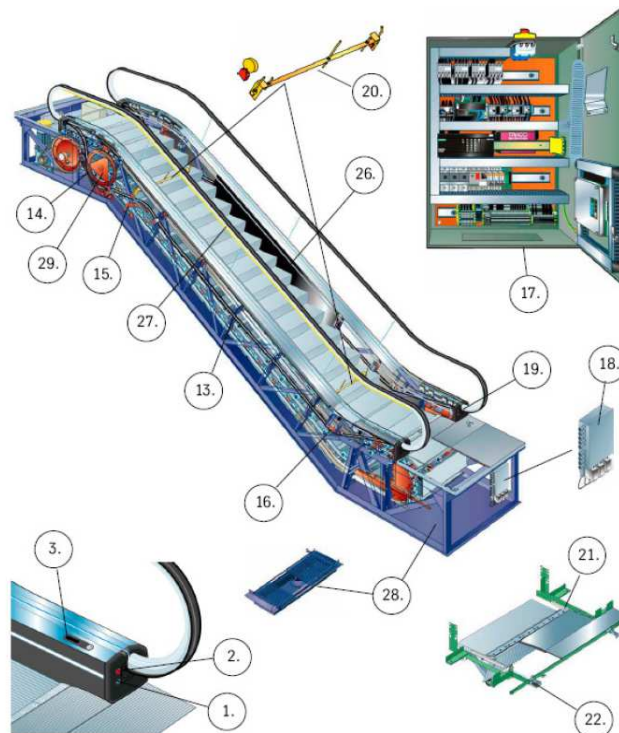


Imagen elementos escalera mecánica

2.6.3 ASCENSORES

Las características generales de los tipos de ascensores empleados en el transporte metropolitano son similares a los de gran público, pero se significan normalmente por su gran capacidad (de 5 a 50 personas), por su robustez y por su diseño concebido con el máximo de elementos antivandálicos.



Imagen ascensores estación

Los parámetros básicos de diseño de un ascensor son:

- Capacidad de la cabina (personas/m²)
- Velocidad (m/s)
- Desnivel en metros (H)
- Tiempo de apertura y cierre de puertas
- Aceleración (m/s²)

Normalmente en el transporte metropolitano se utilizan ascensores de dos tipos: **Ascensores eléctricos** y **Ascensores hidráulicos**.

Los ascensores siempre van dotados de elementos que permiten su rescate en caso de fallo del ascensor, estos sistemas de rescate, pueden ser automáticos como disponer de un SAI en caso de fallo de suministro eléctrico, o electro mecánicos, como sistemas de afloje del freno o de maniobra eléctrica by-paseando algunas de las seguridades.

Los ascensores eléctricos se componen básicamente de un grupo tractor eléctrico (motor-reductor-polea), la cabina, un limitador de velocidad y el “paracaídas” destinado a detener el ascenso o descenso ante un exceso de velocidad.

La tracción se transmite a la cabina a través de cables de acero, normalmente se equipan con contrapesos que equilibran el peso de la cabina, para reducir la potencia necesaria del motor, estos contrapesos suelen ser un 50% del peso de la cabina.

Los ascensores hidráulicos se diferencian de los eléctricos en que el grupo tractor eléctrico es sustituido por un grupo hidráulico y un pistón-polea.

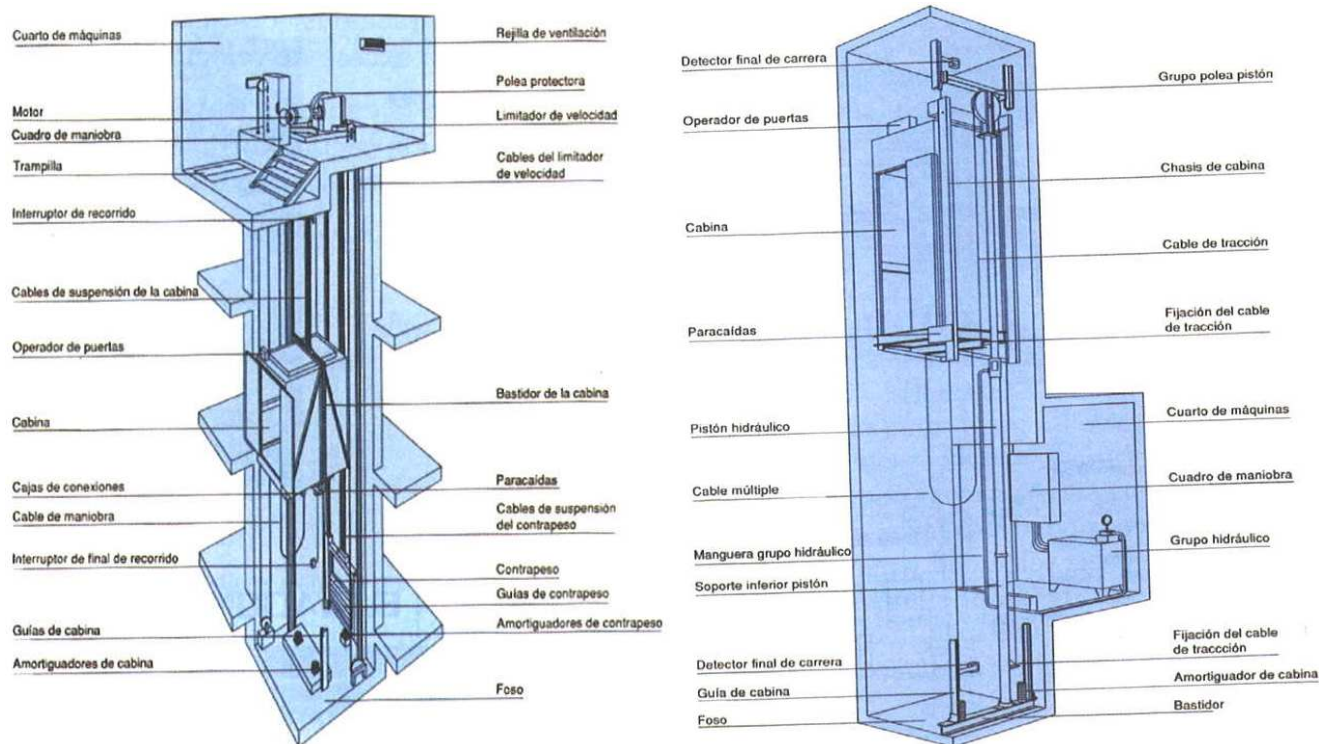


Imagen ascensor eléctrico y ascensor hidráulico

2.6.4 EXPEDICIÓN DE BILLETES

Otros equipos instalados en las estaciones, son las máquinas expendedoras o de venta de billetes.

Una arquitectura funcional básica se muestra en el siguiente esquema:

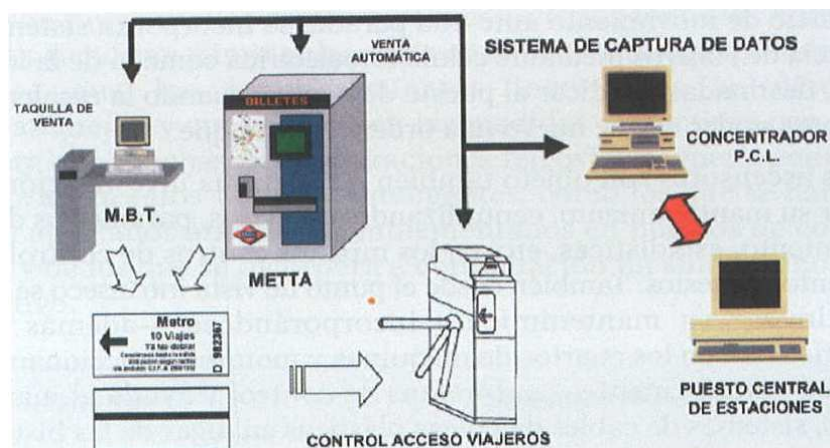


Imagen arquitectura funcional básica

Las funcionalidades básicas de una máquina de venta de billetes son:

- Venta
- Recaudación
- Canje
- Gestión de mantenimiento
- Gestión de comunicaciones



Imagen distribuidoras automáticas

Venta, el sistema permite generar y emitir los títulos demandados por el cliente, mediante los conjuntos siguientes:

- El interface hombre-máquina-pantalla táctil y sistema de audio, permite al usuario obtener la información para poder seleccionar el tipo de título de transporte y la forma de pago del billete.
- Sistema lector de códigos de barra o títulos, permite al usuario identificarse o solicitar un título igual al introducido.
- El expendedor de títulos, permite la generación del billete seleccionado, a partir de un rollo virgen y una capa termosensible para imprimir las características del título solicitado, también se pueden expedir tarjetas sin contacto.
- Equipos de monética, permiten realizar el cobro y validación del pago en los diferentes sistemas de pago: monedas, billetes y pago electrónico.
- "Hoopers" depósitos de monedas destinados a suministrar cambio con monedas. Está formado por varias cajas con monedas de diferentes valores.
- Sistemas de recarga de monedas, su misión es recargar los "hoopers" cuando éstos se quedan sin monedas.

Recaudación, el sistema permite la recaudación y el control de las ventas realizadas y contiene las cajas de recogida de monedas y billetes producto de las ventas, mediante los conjuntos siguientes:

- Sistema de almacenamiento y recaudación de monedas.
- Sistema de almacenamiento y recaudación de billetes.

Canje, el sistema permite efectuar la lectura de los títulos usados, para su canje por devolución por incidencias del servicio, mediante los conjuntos siguientes:

- Lector-grabador de títulos de transporte.
- Módulo de procesamiento y control para la generación de títulos.

Gestión de mantenimiento, el sistema permite efectuar la entrada a los menús de mantenimiento, mediante la lectura de la acreditación del empleado o validación del perfil, para la realización de los planes y acciones de mantenimiento, algunas de las tareas de mantenimiento típicas son las siguientes:

- Reposición o cambio de rollos de tarjetas.
- Reparación o sustitución de elementos periféricos.
- Liberación de atascos (monedas, billetes , etc.)
- Recaudación

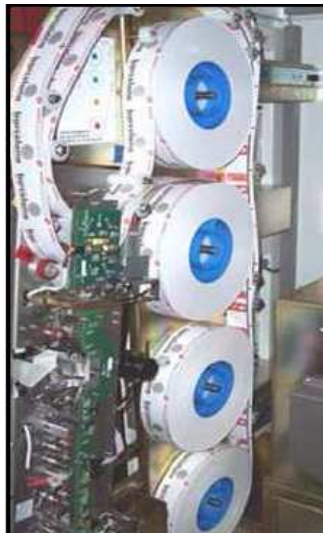


Imagen rollos tarjetas

Gestión de comunicaciones, el sistema de comunicaciones permite el envío de datos al centro de control, la monitorización a nivel de estación y la comunicación con los centros de autorización de pago de las tarjetas de crédito.

2.6.5 CANCELACIÓN DE BILLETES

Otros equipos instalados en las estaciones, son las máquinas validadoras o canceladoras de billetes.

Las funcionalidades básicas de una máquina de validación o cancelación de billetes son:

- Validación de títulos
- Abertura del paso a cliente
- Gestión de los registros de validación

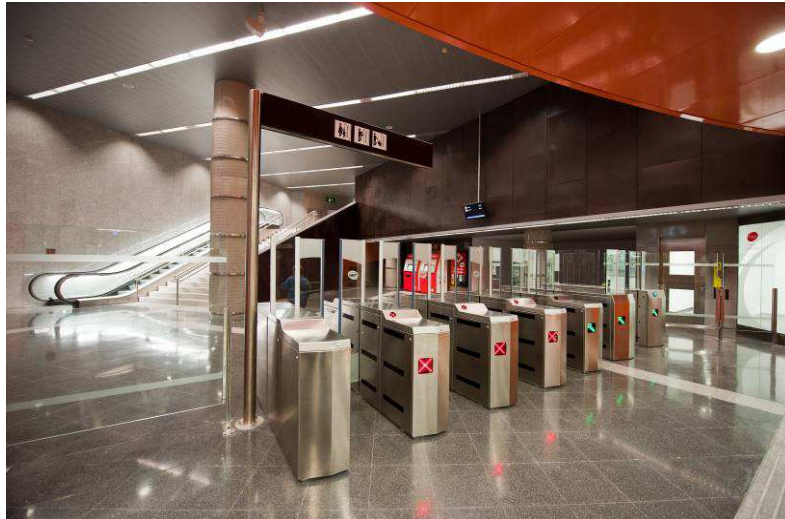


Imagen maquinas validadoras

Validador, el sistema permite validar los títulos introducidos por el cliente, también puede ser un sistema contacless (sin contacto), una vez realizada la validación se habilita el paso para permitir la entrada del cliente.

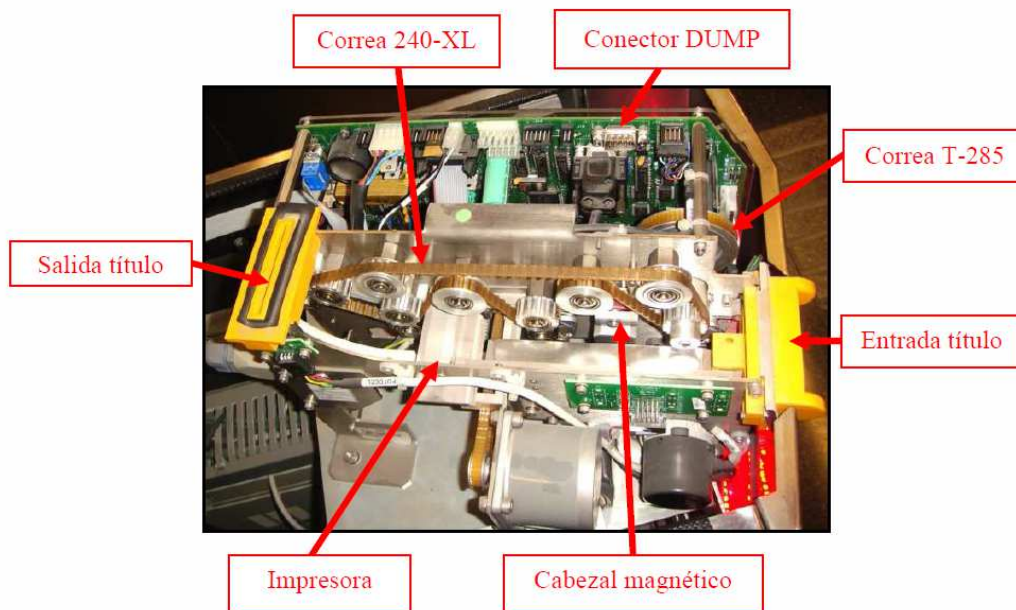
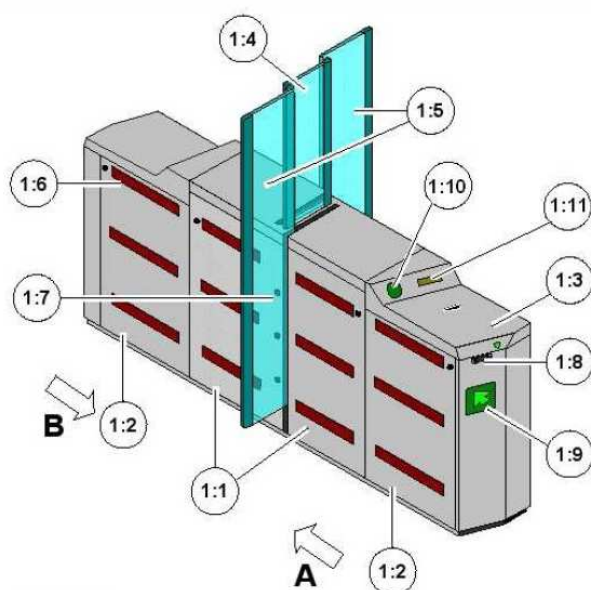


Imagen interior validador



- 1:1 Puertas laterales acero inox.
- 1:2 Puertas laterales de extensión
- 1:3 Capó
- 1:4 Cristal fijo
- 1:5 Cristales móviles
- 1:6 Fotocélulas de detección
- 1:7 Fotocélulas de seguridad
- 1:8 Lector de títulos
- 1:9 Pictograma de orientación
- 1:10 Pictograma de paso
- 1:11 Display señalización alfanumérico

Imagen esquema paso

2.7 VENTILACIÓN DE LÍNEAS

Los túneles de explotaciones ferroviarias deben contemplar, en cuanto a sus instalaciones y cuando su longitud ya es importante, la función de ventilación. En unos casos podrán conseguirse las renovaciones de aire asociadas y los niveles de temperatura perseguidos mediante una ventilación natural (por diferencia de temperatura y ante los efectos "pistón" provocados por los propios trenes), y, en otros casos, será preciso incorporar sistemas electromecánicos de ventilación que posibiliten dichas renovaciones de aire y controles de temperatura en márgenes aceptables.

Hay explotaciones que también incorporan sistemas de climatización frío/calor en estaciones.

Según las recomendaciones de la UIC, los sistemas de ventilación de túneles deben concebirse para que no se sobrepasen los 30°C, para que la humedad del aire no alcance el 60% y para que el contenido del CO² sea inferior al 7%.

Los sistemas de ventilación de túneles ferroviarios contemplan el número de renovaciones de aire en túneles y estaciones, la velocidad y dirección del flujo de aire, la contaminación la temperatura y la humedad relativa.

Un esquema típico de ventilación de túnel se basa en la construcción de un pozo de ventilación en cada interestación, de forma más o menos equidistante de las dos estaciones contiguas, y un pozo de compensación en cada estación.

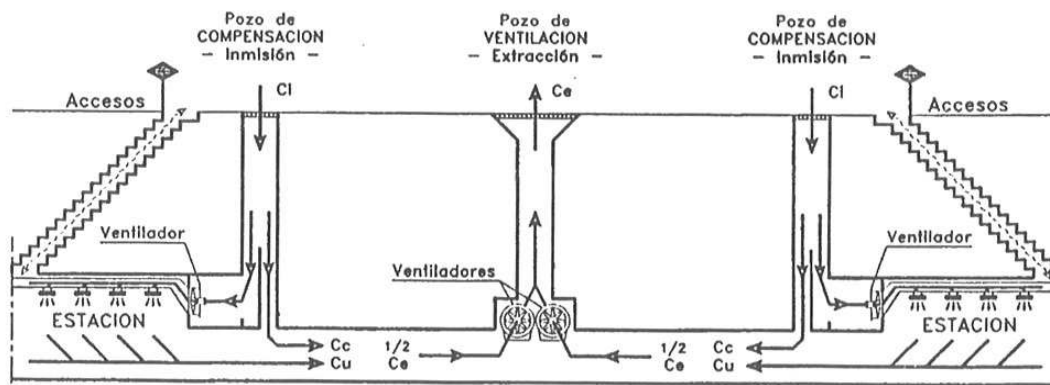


Imagen esquema típico ventilación túnel

Como se puede observar en el esquema, los caudales de inmisión de cada estación, ventilan y renuevan el aire de ésta, bifurcándose en un doble sentido, uno forzado por un gran ventilador por estación que incorpora aire fresco de la calle y otro hacia el propio túnel. Con ello conseguimos la renovación del aire viciado del interior de las estaciones introduciendo el aire fresco del exterior, limitando la carga térmica del sistema producida por los trenes, personas, y demás elementos de aporte calorífico, y por último limitar las corrientes y variaciones de presión provocadas por el efecto "pistón" de los túneles.

En la siguiente imagen se aporta una visión de los ventiladores electromecánicos de un pozo de ventilación.

Los equipos de ventilación suelen ser reversibles para poder trabajar en impulsión o extracción según convenga, para ello normalmente son telemandados y programado su funcionamiento.



Imagen ventiladores

Los sistemas de ventilación deben además, contemplar otros diversos aspectos significativos a la hora del diseño como los relativos a las velocidades y a los niveles acústicos.

También existen explotaciones con sistemas de ventilación natural, como los de la siguiente imagen.

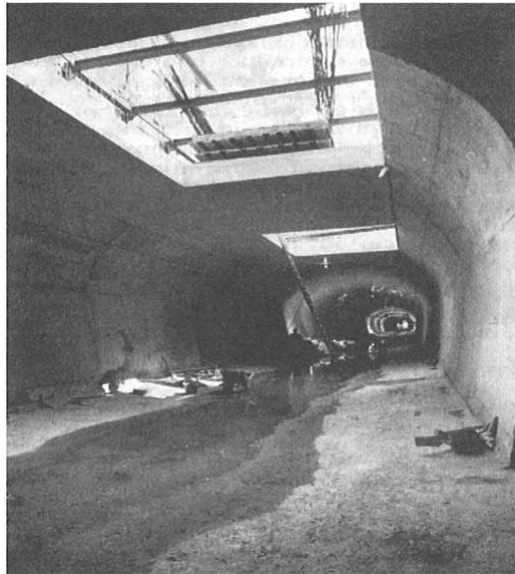


Imagen ventilación natural

Estos sistemas son aconsejables en túneles que discurren cerca de la superficie, y dispongan de lugares amplios para realizar la salida de las ventilaciones, como parques públicos o grandes avenidas.

Los sistemas de ventilación, funcionalmente deben ser tenidos en cuenta para definir las estrategias de funcionamiento en caso de incidencias relativas a humo o fuego, se debe estudiar su funcionamiento y definir si es aconsejable su paro o su marcha dependiendo del lugar y tipo de incidencia

2.8 BOMBEO DE AGUA EN LÍNEAS

En cualquier túnel ferroviario, y más concretamente en los que se efectúan por debajo de la cota de calle, como es el caso de los metros, es imposible evitar las filtraciones de agua, a pesar de que ello es un constante esfuerzo de los ingenieros civiles. Por esta razón se hace totalmente necesario instalar en los puntos bajos del trazado de túneles, equipos de bombeo del agua recogida, para su envío a los colectores correspondientes.

El caudal a evacuar por estos sistemas de bombeo debe ser motivo de estudio detallado, dimensionándose las bombas asociadas para las épocas de mayor pluviometría, y con sistemas redundantes y de emergencia para el caso de fallos de motores o bombas, o para actuación en caso de falta de alimentación eléctrica.

En el siguiente esquema se aporta una sección típica de un pozo de recogida y bombeo de agua. En el caso representado el túnel incorpora una canal central de recogida de agua que como hemos dicho anteriormente, en los puntos de inflexión de pendiente vierte en la piscina del pozo de bombeo.

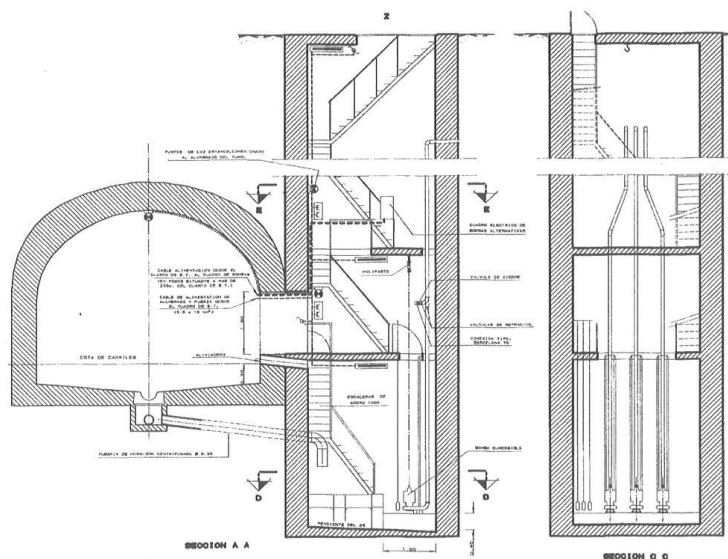


Imagen sistema de bombeo

En la siguiente representación se observa que se ha efectuado un montaje mediante tres bombas sumergibles cuya puesta en funcionamiento es, a su vez, mandada por flotadores que actúan sobre el cuadro de alimentación eléctrica, accionando o no una o dos bombas de ellas, cuando el agua recogida llega a cierto nivel.

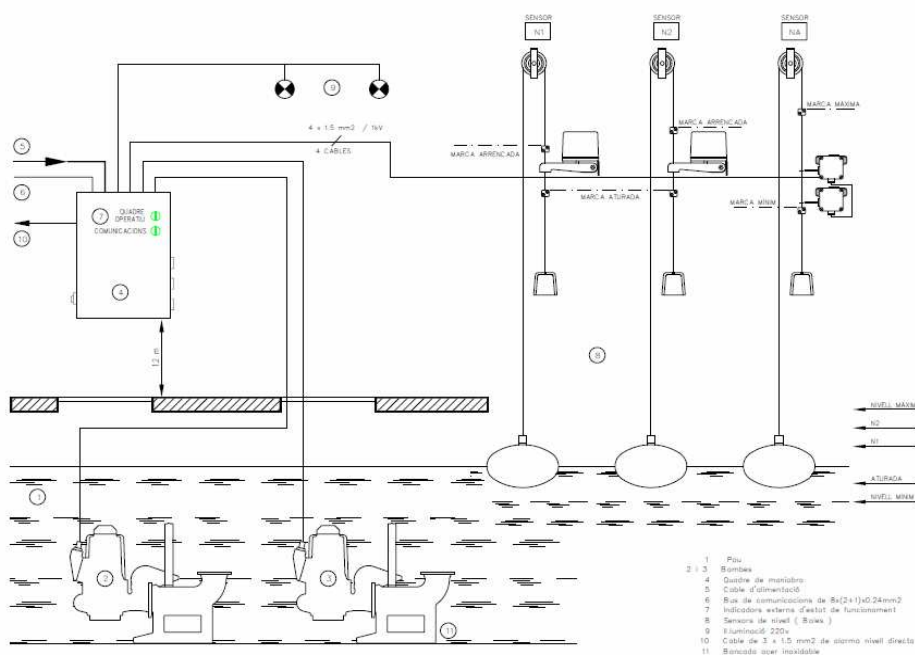


Imagen sistema de bombeo



Imagen sistema de flotadores

Es usual poner una tercera bomba de emergencia para el caso de avería de alguna de las anteriores o en situaciones extremas de caudales excesivos.

Esta bomba de emergencia, además, se diseña con alimentaciones eléctricas independientes y/o redundantes con las alimentaciones de las bombas de servicio normales.



Imagen sistema de válvulas y tuberías

2.9 TALLERES

El taller ferroviario comprende un grupo de edificaciones especializadas en la reparación total de locomotoras, coches de pasajeros, vagones de cargas y diversos materiales que comprende al Ferrocarril. Está organizado en diferentes secciones para mantener un correcto funcionamiento, por ejemplo sección de reparaciones de motores diésel, limpieza de motores diésel, sección de electricidad, mecanizado de piezas, pinturería, chapería y alistamiento, agrupándose en diferentes edificios. Debe distinguirse por Servicio y Mantenimiento.

Se entiende por **servicio** todas las operaciones a efectuarse a intervalos dados, que pueden ser diariamente, semanalmente, etc., para mantener en operación el vehículo motor como conjunto. Así la carga de combustible, lubricante, llenado de areneros, agregado de agua en las baterías, cambio de escobillas de los motores y generadores del equipo eléctrico, etc., son netamente operaciones de servicio. Se ve que el servicio es sinónimo de suministro.

El **mantenimiento**, en cambio, se refiere a las operaciones o trabajos que conservan en buen estado de funcionamiento a los distintos aparatos, prolongando su vida útil. El vehículo diésel-eléctrico es un elemento caro, pues sus partes constituyentes están construidas con materiales de primera calidad y con tolerancias rigurosas; para amortizar el capital invertido en su adquisición debe mantenerse lo disponible el mayor tiempo posible, para prestar el máximo servicio y producir ganancias; por otra parte, los gastos en mantenimiento deben ser reducidos, pues son una parte importante en los gastos de explotación.

3. SISTEMAS EMBARCADOS

Para la explicación del funcionamiento del metro se hará según los diferentes sistemas o elementos del metro, tomando como referencia un metro cualquiera; los diferentes sistemas o elementos son los siguientes:

3.1 ESQUEMA DE POTENCIA

Los diferentes elementos del circuito de potencia de un metro son los siguientes:

El pantógrafo, a través del cual el vagón recibe la corriente de alimentación de 1500v de corriente continua de la catenaria. A la salida de éste se tiene:

El pararrayos, que actúa cuando se produce una sobreintensidad a causa de un cortocircuito o un problema en la línea, y la deriva a tierra para que no afecte al circuito.

El disyuntor, que tiene una doble función:

Impedir el retorno de la corriente a la catenaria.

Evitar que si se produce un armónico de 50 Hz en la red éste interfiera en la red, ya que es a esta frecuencia a la que se transmiten las señales de circulación. En el caso de que esto se produzca el disyuntor actúa parando el motor para evitar accidentes.

Las líneas, que transmiten la alimentación al resto de los vagones evitando así la aplicación de un pantógrafo y disyuntor en cada vagón o sirven para devolver la energía al carril de tierra.

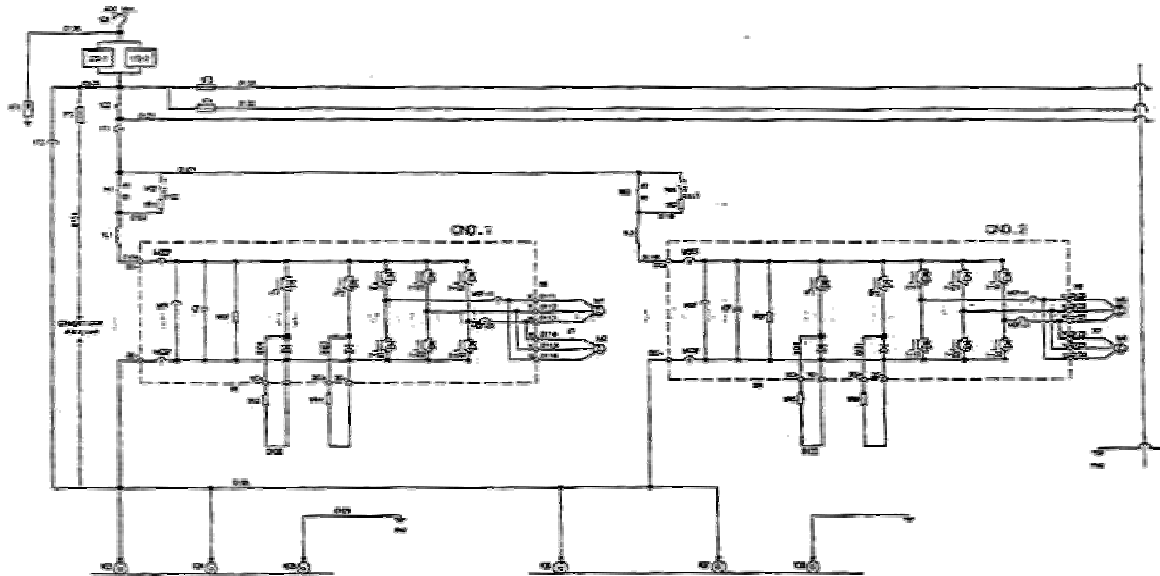
Contactores conectados a la línea que sale del disyuntor, los cuales permiten o no el paso de la corriente a los onduladores.

Onduladores, se colocan dos por vagón y se componen de diversos IGBT'S y elementos eléctricos que proporcionan la corriente alterna que necesitan los motores trifásicos para producir el movimiento de las ruedas.

Motores trifásicos de tensión constante y frecuencia variable, alojados en los bogies de los motores. Se tienen dos bogies por vagón y dos motores trifásicos en cada bogie del motor.

Resistencias de frenado, que en el caso de producirse un exceso de energía hacen que se produzca un aumento de carga en los motores ocasionando una disminución de la velocidad.

Cable de masa para evitar descargas eléctricas peligrosas.



La totalidad del circuito eléctrico de potencia (onduladores, resistencias y condensadores) se encuentra alojado en una cuba, la cual contiene un refrigerante (freón) para su enfriamiento.

3.2 SISTEMA MECÁNICO

Contiene los siguientes elementos:

Los bogies, sobre los que se produce el movimiento. Cada coche se apoya sobre dos bogies que pueden ser motores o remolques; ambos tipos de bogies poseen los mismos elementos, salvo que los bogies motores llevan los dos motores trifásicos y los remolques no. El sistema de los bogies contiene:

Un reductor en cada uno de los motores de los bogies, con sus correspondientes engranajes para convertir el movimiento longitudinal en transversal.

Las ruedas, que son elásticas (de 840 mm.) y están diseñadas para evitar el descarrilamiento o el vuelco, manteniendo un contacto puntual con el carril, lo que proporciona una disminución de la resistencia al avance.

Las cajas de grasa que albergan en su interior los rodamientos mediante los cuales se realiza la unión del bogie al vagón, evitando así el giro completo del vagón en las curvas y proporcionando un mayor confort a los pasajeros.

La suspensión primaria, en contacto con las cajas de grasa mediante dos brazos sobre los que se apoyan los resortes de la suspensión. La suspensión primaria es neumática y su cometido es amortiguar los posibles movimientos debidos a los desniveles de la vía.

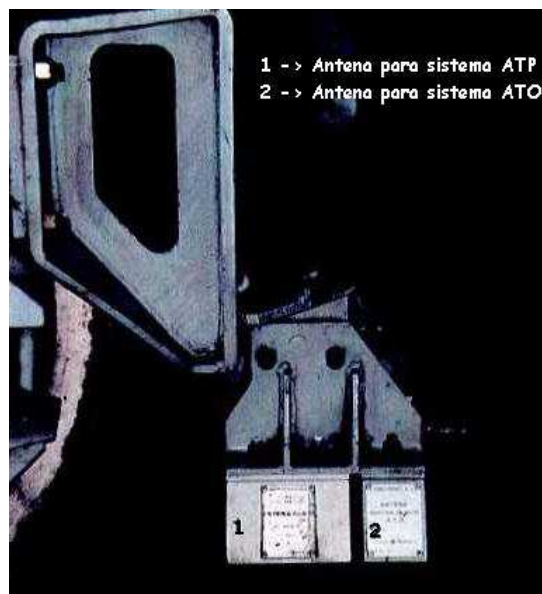
La suspensión secundaria, para contrarrestar la carga que suponen los pasajeros que llevan cada vagón en cada momento.

El sistema de freno de los bogies, compuesto a su vez por dos subsistemas de frenado:

Subsistema de frenado por discos montado sobre el eje.

El freno de estacionamiento.

Las antenas, que son dos y salen del bastidor del bogie. Sirven para recoger la información del carril. Dicha información opera con el sistema de emergencia ATO y el de protección ATP.



Detalle de antenas en metro

Los enganches, con distintos sistemas de acoplamiento según para lo que se utilicen.

Los motores. Teniendo en cuenta que se consideran como unidad dos vagones de metro, de los cuales el primero es motor y el segundo remolque. El vagón motor lleva dos bogies bimotores de corriente alterna. Los tipos de motor más utilizados son los asíncronos trifásicos y monofásicos.

3.3 SISTEMA NEUMÁTICO

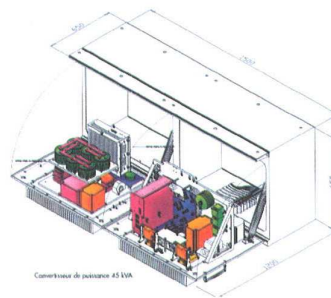
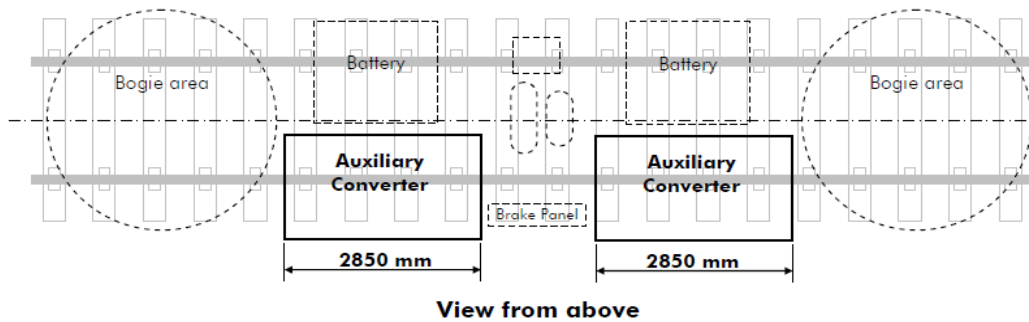
Cuyos elementos son:

- Compresor, que proporciona aire comprimido a 10 Kg/cm²
- Freno neumático, para el caso del no funcionamiento del freno eléctrico.

- Freno de estacionamiento.
- Equipo neumático auxiliar, para la suspensión, silbatos, pantógrafo y desacoplamiento.

3.4 CONVERTIDOR ESTÁTICO

Encargado de producir la energía eléctrica necesaria para la alimentación de servicios auxiliares y la carga de baterías.



Baterías: Son consideradas como un elemento crucial pues, además de utilizarse como elemento básico e inicial en la puesta en servicio, es el equipo fundamental para alimentar servicios esenciales (alumbrado, ventilación, radiotelefonía, etc.) en situaciones de emergencia o de falta de tensión de alimentación de tracción.

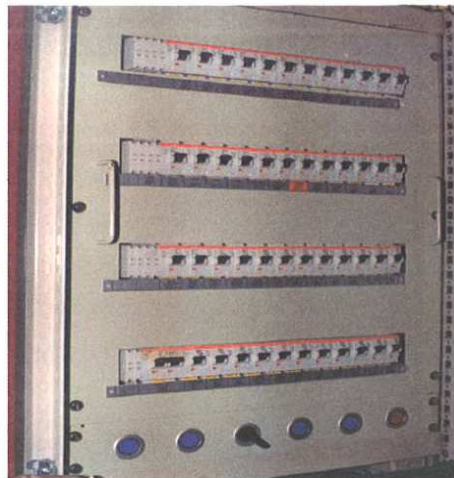




3.5 SISTEMA DE PROTECCIONES ELÉCTRICAS

Cuyo cometido es:

- Protección dinámica contra sobretensión.
- Protección contra sobrecorriente de línea y de fase.
- Protección contra patinaje y deslizamiento.
- Protección contra sobrevelocidad.
- Protección contra sobretensión de semiconductores y refrigerante.
- Protección contra sobretensiones inversas en IGBT'S.
- Protección contra mínima tensión de línea.
- Protección contra falta de alimentación en la electrónica de control.

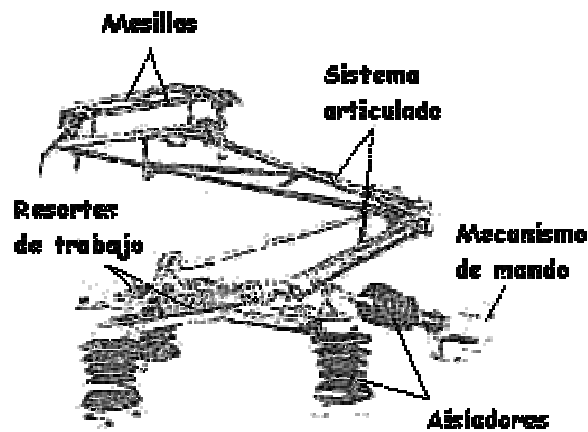


3.6 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN

Compuesto por:

El pantógrafo

Es el aparato encargado de captar la corriente de línea. Su localización es el techo de la locomotora, aislado de ella mediante aisladores de porcelana. Sus partes son:



- a) El bastidor: es el armazón que soporta el sistema articulado, los muelles y el pistón de aire comprimido del mecanismo de elevación del pantógrafo.
- b) Sistema articulado: está constituido por una estructura tubular articulada de forma romboidal o semirromboidal.
- c) Mesillas: son los elementos de captación directa de la corriente; constan de: zapata, frotadores y trocadores.
- d) Mecanismo de elevación: formado por cilindro, muelles, resortes y válvulas que hacen ascender o descender las mesillas.



3.7 ELEMENTOS DE MANDO Y MANIOBRA

El regulador principal y la inversión de la marcha.

3.8 DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD

Dispositivo de hombre-muerto: es un dispositivo que obliga al maquinista a responder continuamente a una señal, ya que si no responde se produce el freno automático de urgencia del tren.

Sistema ATP : sirve de ayuda al conductor en condiciones de difícil conducción; provoca automáticamente el frenado de urgencia en caso de infracción de las normas de seguridad en circulación de trenes; tales como el rebase de una señal en rojo o exceso de velocidad por lo que disminuye el riesgo de accidente por fallo humano.

Captador: instalado en la cabina de conducción, recoge y memoriza a bordo las informaciones procedentes de las balizas.



Caja Negra: son equipos muy robustos (diseñados mecánicamente para mantener la información almacenada tras un choque, percance o accidente diverso), basados en la recepción y memorización en escala temporal de diversas señales analógicas (velocidad, tensión de alimentación, etc) y digitales (órdenes de marcha y freno, accionamiento de freno de emergencia, situación del "hombre muerto", apertura o cierre de puertas, etc.) permiten reconstruir las circunstancias que rodearon un determinado percance o evento, normalmente volcando en un PC los datos acumulados, que pueden visualizarse en forma de listado o gráfico.

Caja Negra:



Registros de caja negra:



3.9 SISTEMA DE INFORMACIÓN AL PASAJE

Está basado en la recepción de una serie de balizas instaladas en la vía, que leídas por el captador del tren, informan de la próxima estación y sus correspondencias. Hay sistemas que tienen memorizado todo el trayecto y no necesitan leer las balizas.

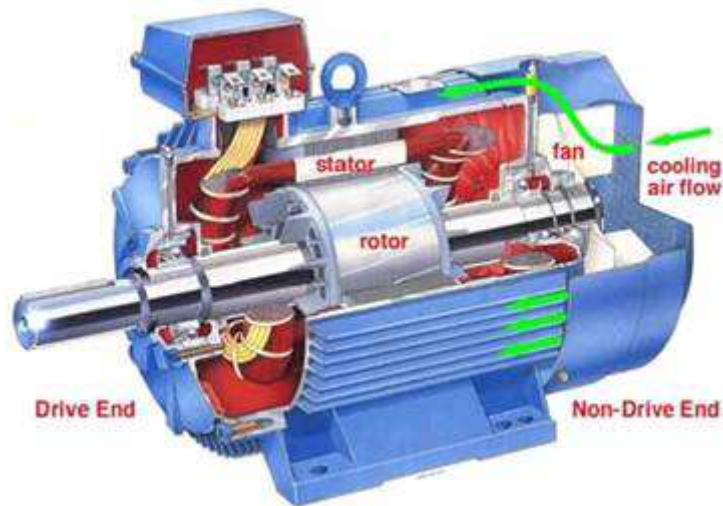
3.10 SISTEMAS DE VIDEOVIGILANCIA

Digitalizan las señales de vídeo captadas por cámaras en los recintos de pasajeros, teniendo la capacidad de almacenar las imágenes captadas. Las expone al conductor en pantallas montadas en pupitres o puestos de conducción, transmitiéndolas al Puesto de Control Central.

4. TRACCIÓN ELÉCTRICA

Un motor de tracción es un motor eléctrico que provee el torque de giro principal de una máquina, usualmente convertido en movimiento lineal (tracción).

Los motores de tracción son usados en vehículos ferroviarios de tracción eléctrica como locomotoras eléctricas y tren de unidades múltiples, otros vehículos eléctricos como coches eléctricos, ascensores y cintas transportadoras, así como también vehículos con sistema de transmisión eléctrica como las locomotoras diésel-eléctricas, vehículos híbridos eléctricos y vehículos eléctricos de batería. Adicionalmente, los motores eléctricos en otros productos (como el motor principal en una lavadora) son denominados como motores de tracción.



4.1 TIPOS DE TRACCIÓN

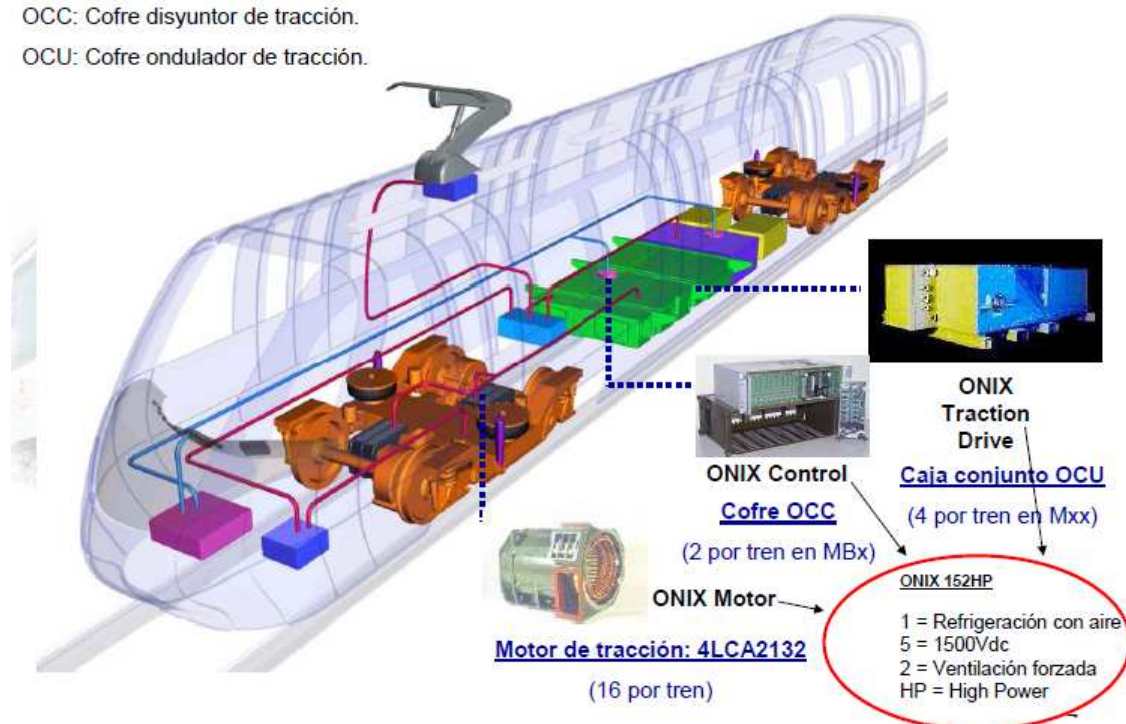
Con corriente continua:

Fue la que primero se utilizó; al no saberse cómo transformar la tensión se tenía la misma tensión de transporte sobre la línea de contacto que la que hacía funcionar a los motores: 700-3000 v -> Tensión muy baja -> dos consecuencias:

- 1- Intensidades de miles de amperios por las líneas de contacto para conseguir la potencia necesaria.
- 2- Catenaria de gran sección y subestaciones muy próximas (del orden de a 20 Km para una línea de 1500 v) para evitar las grandes caídas de tensión.

OCC: Cofre disyuntor de tracción.

OCU: Cofre ondulator de tracción.



5. TRACCION DISTRIBUIDA

Los vehículos motores pueden ser locomotoras o coches motores. La locomotora es un vehículo destinado exclusivamente a efectuar la tracción del tren, mientras que el coche motor es normalmente parte de un automotor o tren autopropulsado, y lleva tanto los elementos de tracción, como plazas para los viajeros y espacio para equipajes.

En el caso de los trenes autopropulsados, puede optarse entre las "cabezas motrices" (propias de la "tracción concentrada") o los "coches motores" (de la "tracción distribuida").

En cuanto a las ventajas relativas de la tracción distribuida (con respecto a la tracción concentrada), puede citarse las siguientes:

- Los trenes de tracción distribuida disponen de más peso adherente y posibilitan mayor aceleración y teóricamente velocidades altas y una mayor posibilidad de frenado eléctrico. Esta característica admite diversos grados y puede medirse fácilmente a través del cociente entre la masa adherente y la masa total del tren. Cuando mayor sea este cociente, más aceleración en bajas velocidades y capacidad de freno eléctrico será capaz de tener el tren.
- El tren es más homogéneo, y los pesos por eje pueden ser menores.
- Quizá la ventaja mayor desde el punto de vista energético de la tracción distribuida es aprovechar mejor el espacio útil de andén. La medida de esta ventaja obtener de la división de las unidades de capacidad por longitud del tren. La tracción distribuida también posibilita el acceso a los trenes desde todo el andén, al contrario de lo que ocurre en los trenes tradicionales, en los que los extremos del andén, e incluso el centro en caso de composiciones dobles, están ocupados por las motrices

Para la tracción distribuida es necesario que en cada eje de un bogie de los coches motores, se acople un motor para su tracción y freno eléctrico.

6. SISTEMAS DE FRENADO

En un tren nos encontramos con tres tipos de freno, eléctrico, neumático y mecánico.

Añadir que el sistema de frenado de servicio de un tren se basa en varias peticiones, el primer frenado siempre es eléctrico y a una velocidad inferior a 10Km/h, cojuga con el neumático. Se detiene con freno neumático a una velocidad inferior a 5Km/h.

Una vez detenido el tren aplica un freno llamado de retención, el cual impide el movimiento del tren. Este tipo de freno se destruye al iniciar la marcha y a una velocidad superior a los 5Km/h.

6.1 FRENO ELECTRICO

La filosofía del sistema de freno se basa en la seguridad, fiabilidad, simplicidad y criterio de máximo aprovechamiento de freno eléctrico, para lo que se utiliza un sistema de control freno distribuido y conjugado.

- Freno distribuido es que en caso de fallo de algún coche, el par perdido por este coche se suplementa en el resto de coches aplicándose el mismo par de fuerza que el total demandado.
- Freno conjugado o "blending" es cuando la demanda de freno eléctrico no es suficiente y se suplementa con freno neumático igualando el par de fuerza total demandado.

6.2 FRENO REGENERATIVO

Un freno regenerativo o KERS (Kinetic Energy Recovery System, sistema de recuperación de energía cinética) es un dispositivo que permite reducir la velocidad de un vehículo transformando parte de su energía cinética en energía eléctrica. Esta energía eléctrica es almacenada para un uso futuro.

El freno regenerativo en trenes eléctricos alimenta almacena en un banco de baterías o un banco de condensadores para un uso posterior.

El freno regenerativo es un tipo de freno dinámico. Otro tipo de freno dinámico es el freno reostático, mediante el cual la energía eléctrica generada en la frenada es disipada en forma de calor.

El frenado tradicional, basado en la fricción, se sigue usando junto con el regenerativo por las siguientes razones:

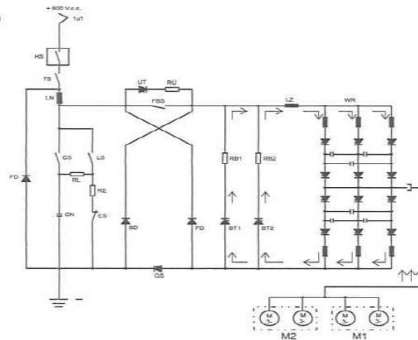
El frenado regenerativo reduce de manera efectiva la velocidad a niveles bajos

La cantidad de energía a disipar está limitada a la capacidad de absorción de ésta por parte del sistema de energía, o el estado de carga de las baterías o los condensadores. Un efecto no regenerativo puede ocurrir si otro vehículo conectado a la red suministradora de energía no la consume o si las baterías o condensadores están cargados completamente. Por esta razón es necesario contar con un freno reostático que absorba el exceso de energía.

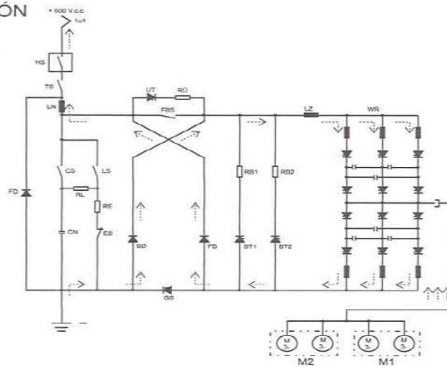
Durante el frenado, se modifican las conexiones del motor de tracción mediante un dispositivo electrónico, para que funcione como un generador eléctrico. Por ejemplo, los motores de corriente continua brushless (del inglés, sin escobillas), cuentan, normalmente, con sensores de efecto Hall para determinar la posición del rotor del motor, lo que permite tener información del vehículo y calcular cómo se ha de frenar la corriente generada en el motor hacia los sistemas de almacenamiento.

Los campos del motor se conectan al motor principal de tracción y las armaduras del motor se conectan a la carga. El motor de tracción excita los campos, las ruedas del vehículo, ya sea un automóvil, un trolebús, o una locomotora, al girar, mueven las armaduras, y los motores actúan como generadores. Cuando los motores funcionan como generadores, la corriente generada en ellos se puede hacer pasar a través de resistencias eléctricas, lo que daría lugar a un frenado reostático.

FASE DE FRENO FRENO REOSTÁTICO



FRENO DE RECUPERACIÓN



1u1	Pantógrafo	LZ	Reactancia de circuito intermedio
BD	Diodo de frenado	M1-M2	Motor doble
BT1-BT2	Tiristor de frenado	RB1-RB2	Resistencia de frenado
CN	Condensador de red	RE	Resistencia de descarga condensador
S	Contactor de condensador	RL	Resistencia de carga condensador
ES	Contactor de descarga condensador	RÜ	Resistencia de puenteo
FBS	Contactor de marcha y frenado	TS	Contactor de seccionamiento de red
FD	Diodo de paso libre	UT	Tiristor de puenteo
GS	Chopper	WR	Ondulador seguimiento fase
HS	Disyuntor		Freno reostático
LN	Reactancia de red		Freno de recuperación
LS	Contactor de carga condensador		

6.3 FRENO NEUMÁTICO

Es uno de los que más se utilizan, si no el que más, no solamente en los ferrocarriles sino en muchos otros medios de transporte tales como vehículos de carretera, tranvías, etc.

El frenado con discos se puede realizar mediante:

1) Discos: Inicialmente fueron de acero, ahora suelen ser de fundición.

2) Pastillas:

Suelen ser de aleaciones de cobre.

Estos elementos de frenado se colocan en la rueda directamente o en el cuerpo del eje.

Las ventajas e inconvenientes:

Ventajas:

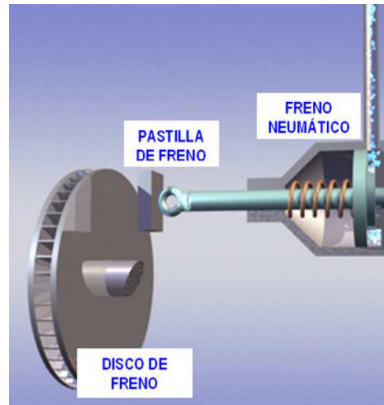
- Frenado poco ruidoso.
- Menores gastos de conservación.
- Mayor periodo de vida.
- La mayor parte del calor desprendido durante el frenado la absorben los discos, a los cuales se les proviene de un sistema de ventilación.
- Materiales protegidos de agentes externos.

- Se comportan bien hasta los 230 Km/h; a partir de esta velocidad el desgaste aumenta considerablemente.

Inconvenientes:

- Menor aprovechamiento de la adherencia. Para solucionar este problema se suelen utilizar sistemas mixtos de discos junto con sistemas de antipatinaje (ABS).
- Mayor distancia de parada.

Su funcionamiento se basa en que el esfuerzo de frenado aplicado por las zapatas o discos proviene indirectamente del hecho de mover el pistón de un cilindro. Su esquema es el siguiente:



Desde el punto de vista de la dinámica del tren, interesa retener la idea de que el frenado de los trenes se clasifica por la magnitud del esfuerzo, en dos formas:

Freno de emergencia es el que emplea el máximo esfuerzo de frenado, y sólo se utiliza en condiciones extraordinarias, ante la necesidad de frenar de forma urgente, normalmente por una incidencia. No se emplea regularmente, puesto que produce unas deceleraciones molestas para el viajero y un desgaste importante en el material rodante. La aplicación del freno de emergencia, por la razón que sea, cortará automáticamente la alimentación eléctrica de tracción, sin posibilidad de recuperarla mientras permanezca aplicado el freno.

Freno de servicio, de menor esfuerzo, es el que se emplea de forma regular en la marcha ordinaria del tren.

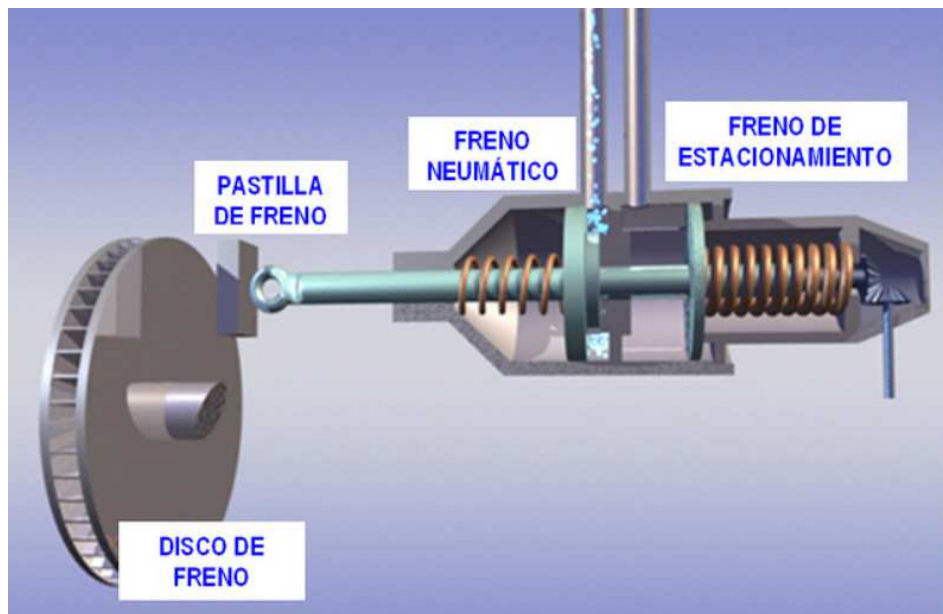
Desde el punto de vista de tipos de frenado que se quiera hacer éste puede ser:

- 1) Frenado continuo: el que realiza normalmente el maquinista o un viajero en caso de parada de emergencia.
- 2) Frenado automático: el que ocurre si hay una avería en el propio sistema de frenado o nos detiene el equipo de ATC.
- 3) Frenado de apriete y aflojamientos graduados: si se realiza de una forma escalonada, mediante el manipulador de la cabina del tren.

6.4 FRENO MECÁNICO

El freno mecánico, es el que conocemos como freno de estacionamiento o parking.

Este actúa por ausencia de aire en el cilindro, dicha ausencia provoca que el muelle no se encuentre en posición de recogido, por lo que el muelle ejerce presión y provoca que los frenos bloqueen la rueda.



Habitualmente se aplica por fuga o por presionar la seta de emergencia, para recogerlos con ausencia de aire se ha de actuar sobre las pestañas habilitadas en el bogie en el caso de fuga o sobre las electroválvulas si tenemos presión de aire en tubería general. Cada una actúa sobre un cilindro de freno, por lo que en cada coche hay cuatro frenos de estacionamiento, uno por eje.

7. BOGIES

Un bogie es un dispositivo giratorio dotados de dos o más ejes, cada uno con dos ruedas, sobre los que se apoya un vehículo ferroviario.

Los ejes son paralelos y solidarios entre sí, y en general están situados en ambos extremos de los vehículos, destinados a circular sobre los carriles.

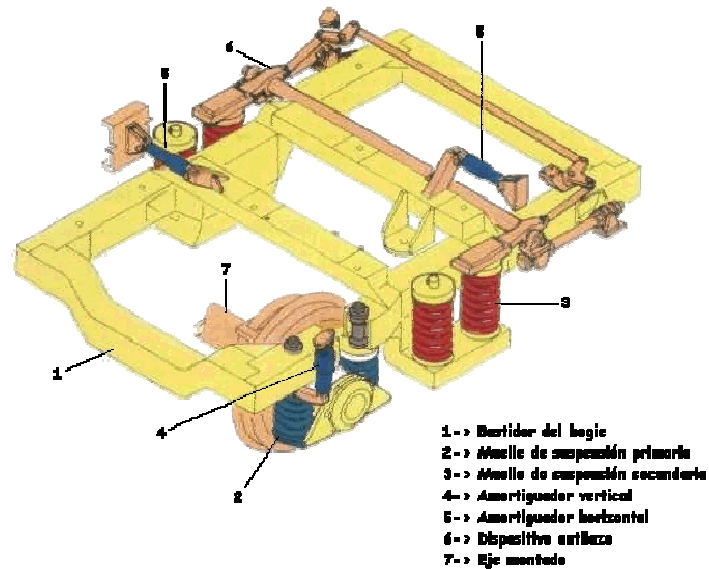
Su construcción se basa en dos largeros unidos entre sí por dos traviesas centrales.

El vehículo se apoya en cada bogie por medio de un eje vertical mediante un pivote, gracias al que puede describir curvas muy cerradas.

La caja se apoya sobre una traviesa de carga a través de una corona giratoria (Rothe Erder), la cual permite el giro del bogie con relación a la caja.

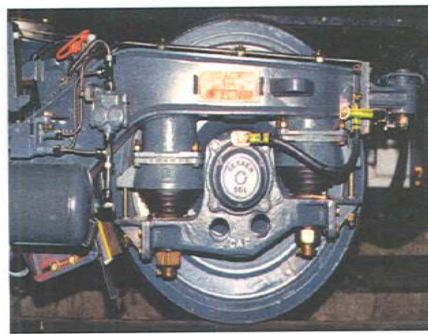


Podemos encontrar bogies tractores y bogies remolcados, estos últimos sin fuerza de tracción.

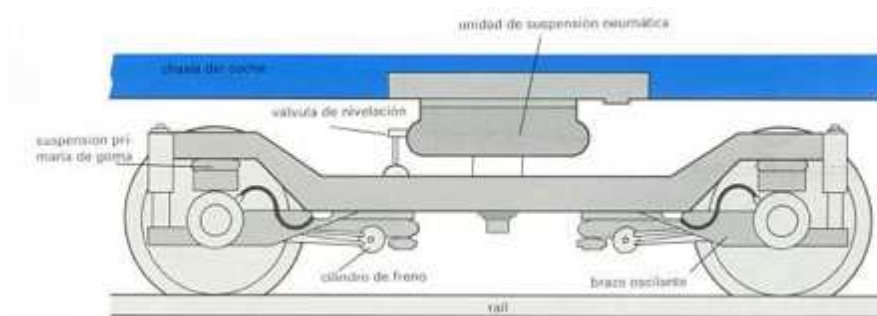


En ellos van alojados los dispositivos de la suspensión, denominados:

- suspensión primaria más próxima al plano de rodadura.



- suspensión secundaria mas próxima a la caja del coche o vagón.



Ademas ha de ser capaz de absorber los movimientos que el tren ejerce sobre la via que son:

- Cornisa. Balanceo lateral de la caja de tren.
- Coletazo: Fuerza lateral que empuja la caja del tren hacia el centro de la curva.
- Flecha: Fuerza que ejerce la testera hacia el centro de la curva.

Se llama trocha a la distancia entre las caras internas de los rieles de una misma vía. De acuerdo a esta medida es el ancho de los ejes de los trenes. En el mundo hay varias medidas de trocha que se calcula con ciertos parámetros de la traza total del ferrocarril.

La medida mas usada en el mundo es 1435 mm.

Anexo:

La distancia entre los dos rieles (trocha) en Estados Unidos es de 4 pies y 8,5 pulgadas (143,5 centímetros).

¿Por qué se usó esa medida? Porque ésta era la medida de los ferrocarriles ingleses y, como los ferrocarriles americanos fueron construidos por los ingleses, esta medida fue usada por una cuestión de compatibilidad.

¿Por qué usaban los ingleses esta medida? Porque las empresas inglesas que construían los vagones eran las mismas que construían las carrozas antes de que existiera el tren y utilizaron los mismos elementos que usaban para fabricar las carrozas.

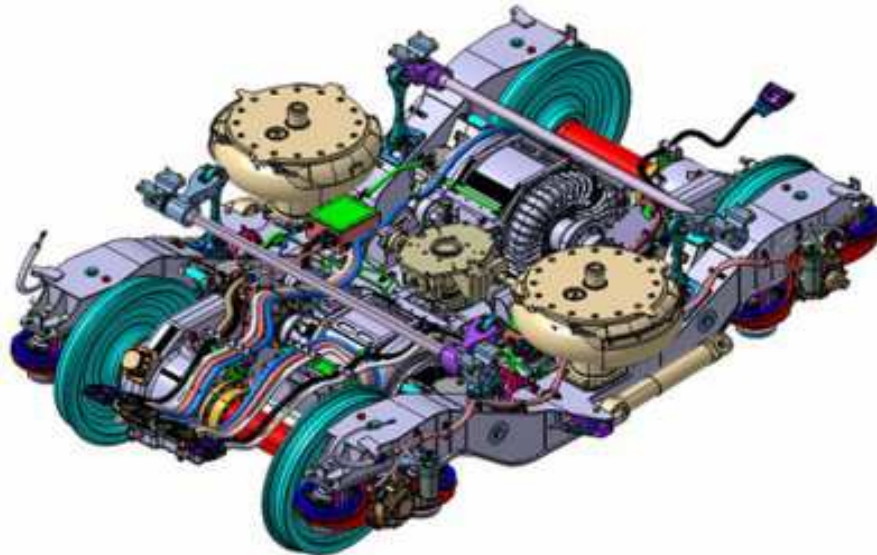
¿Por qué las carrozas tenían esa medida (4 pies y 8,5 pulgadas)? Porque la distancia entre las ruedas de las carrozas debería ser tal que pudiesen caber en las antiguas callecitas de Europa, que tenían exactamente esa medida.

¿Y por qué las callecitas tenían esa medida? Porque estas calles fueron abiertas por el Imperio Romano, durante sus conquistas, cuyas medidas estaban basadas en los antiguos carros romanos.

¿Y por qué los carros romanos tuvieron esa medida? Porque se hicieron para acomodar el culo de dos caballos.

Finalmente el trasbordador orbital norteamericano "Shuttle" utiliza 2 tanques de combustible (SRB por "Solid Rocket Booster") que son fabricados por Thiokol, en el estado de Utah. Los ingenieros que lo proyectaron preferían haberlo hecho más grandes, pero tuvieron limitaciones por los túneles de los ferrocarriles en donde serían transportados, ya que estos tenían sus medidas basadas en la trocha del tren.

Es decir, el ejemplo más avanzado de la ingeniería mundial en diseño y tecnología está condicionado por el tamaño del culo del caballo romano.



Suspension primaria:

Está formada por ocho elementos de caucho-acero tipo Clouth, los cuales van apoyados de cada brazo de la caja de grasa, estando fijados por su parte superior al bastidor del bogie mediante soportes.

Estos elementos de caucho tienen una amortiguación propia elevada. Asimismo esta suspensión proporciona el guiado de los ejes, encargándose de transmitir los esfuerzos longitudinales de arrastre y frenado, así como transversales de guiado procurando además un cierto amortiguamiento.

Suspensión secundaria:

La caja se apoya sobre una traviesa de carga a través de la corona giratoria.

La traviesa baliadora reposa sobre los colchones neumáticos (balonas) situados a cada lado del bogie, estos colchones son llenados y vaciados por unas válvulas reguladas para mantener nivelado el tren.

A fin de amortiguar convenientemente la suspensión vertical, el volumen de aire de las balonas se completa con cuatro depósitos de auxiliares, situados bajo la traviesa baliadora.

El llenado y vaciado de estos fuelles neumáticos, se asegura por válvulas de nivelación, las cuales hacen que los fuelles se llenen o vacíen independientemente de los otros.

El sistema de suspensión se regula en altura constantemente, siendo independiente del peso de carga transportada, también actúa de antibalanceo.

El conjunto de fuelles está dotado de una toma de presión la cual sirve para regular el esfuerzo de frenado en función de la carga.



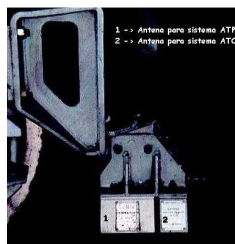
Cajas de Grasa:

El cuerpo de la caja de grasa está fabricado en acero, está provisto de dos brazos sobre los que desliza la suspensión primaria.

Cada caja lleva dos rodamientos oscilantes a rodillo de calado directo.

Antenas:

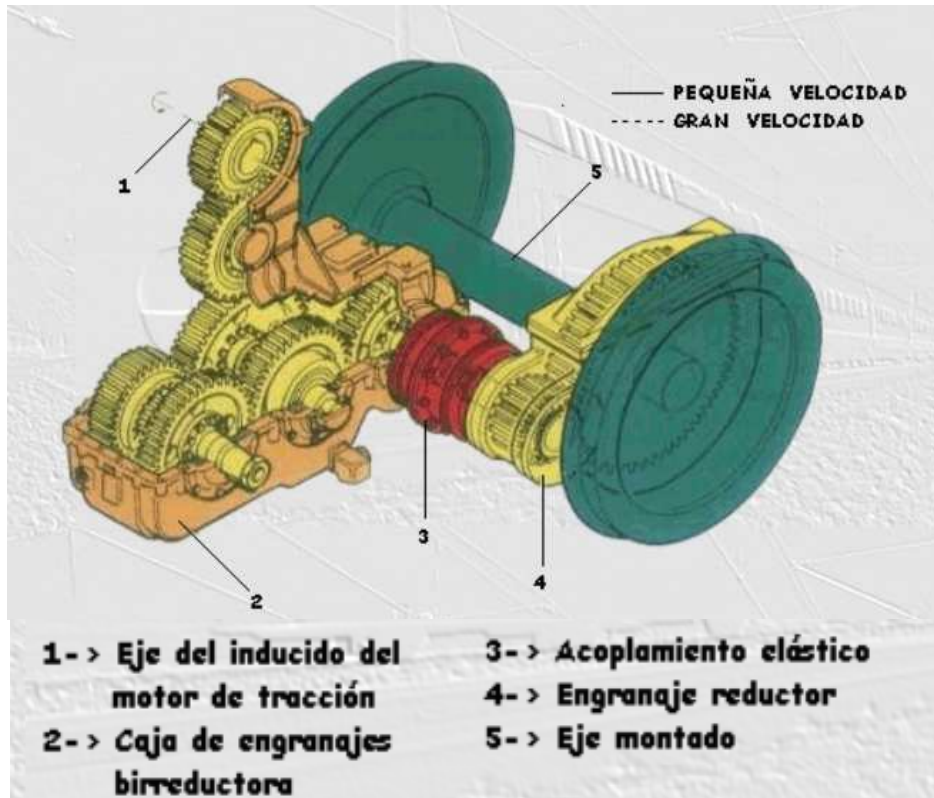
En la parte delantera de los bogies se instalan los soportes para las antenas de los equipos de ATP o de ATO si la señal de estos es enviada por el carril.



7.1.1 BOGIES MOTORES

El bogie motor es el que se alojan los motores de tracción.

En cada eje hay un motor el cual se acopla por medio de una rueda calada en éste. El acoplamiento lo realiza una reductora, que es capaz de traccionar y frenar electricamente el eje.



En la siguiente figura se puede observar el alojamiento del motor, el acoplamiento elástico y la protección del engranaje reductor y la rueda dentada encastada en el eje.



7.2 BOGIES REMOLQUE

En los ejes remolque, solo se monta la timonería de freno.

Estos ejes son los que permiten al tren ubicar los equipos de medición , tales como una rueda fónica para verificar la velocidad del tren.

Al no tener de motores, no llevan sistema ABS estando sus ejes equipados con sistemas antideslizamiento (WSP - Wheel Slide Protection).

