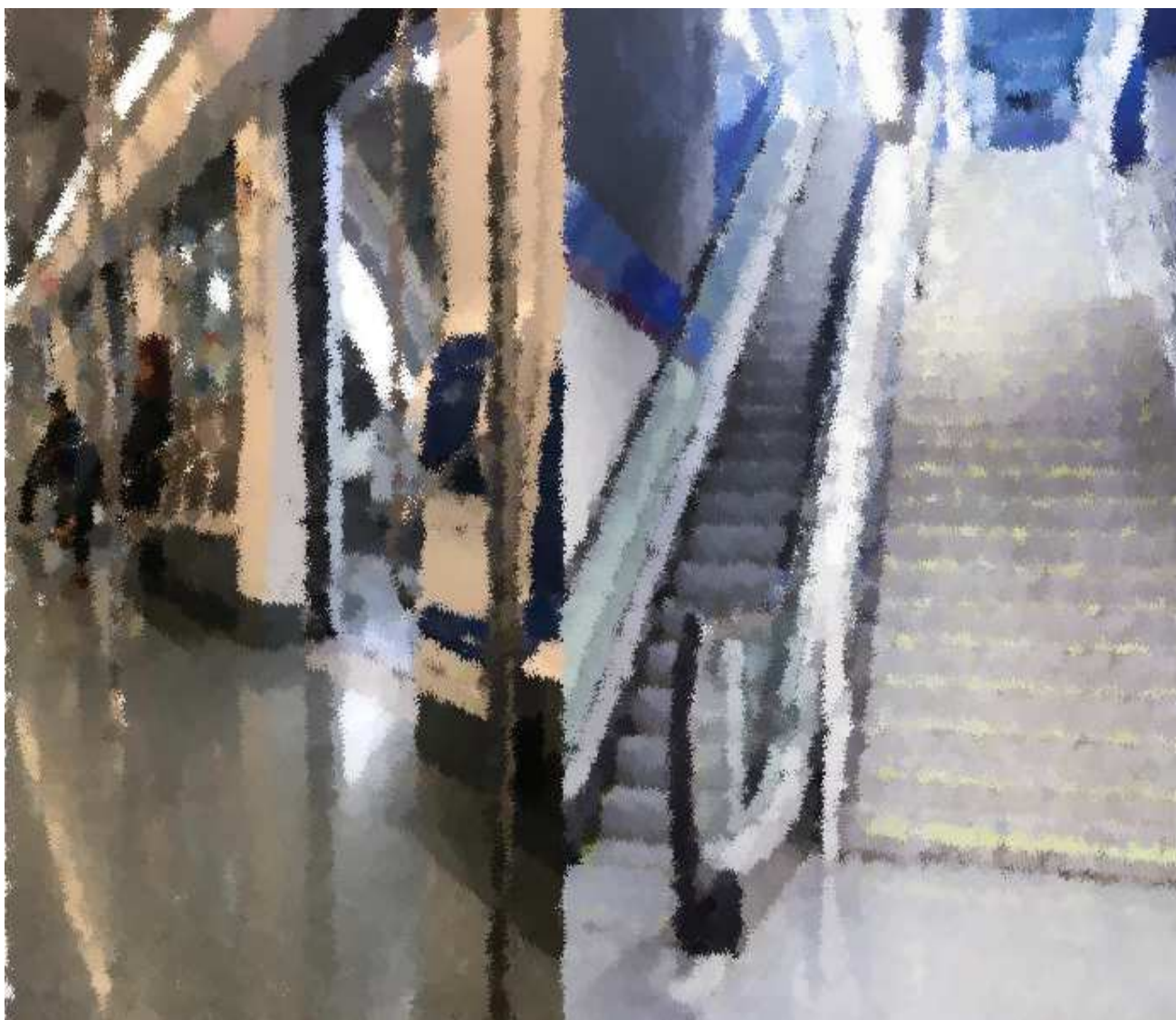


Introducción y conceptos básicos

Ferrocarril y sistemas



Transports Metropolitans
de Barcelona

Contenido

1. BREVE HISTORIA FERROVIARIA	3
1.1 LA ÉPOCA DORADA DEL FERROCARRIL.....	7
1.2 EL FIN DEL VAPOR	8
1.3 DESARROLLO DEL FERROCARRIL	8
1.4 FERROCARRILES URBANOS.....	11
1.5 METRO.....	11
1.6 TRANVÍA.....	12
1.7 TREN LIGERO	13
2. SISTEMAS EMBARCADOS	14
2.1 ESQUEMA DE POTENCIA.....	14
2.2 SISTEMA MECÁNICO	15
2.3 SISTEMA NEUMÁTICO.....	16
2.4 CONVERTIDOR ESTÁTICO	17
2.5 SISTEMA DE PROTECCIONES ELÉCTRICAS	18
2.6 SISTEMAS DE FRENO	18
2.7 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN	19
2.8 ELEMENTOS DE MANDO Y MANIOBRA	20
2.9 DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD.....	20
2.10 SISTEMA DE INFORMACIÓN AL PASAJE	22
2.11 SISTEMAS DE VIDEOVIGILANCIA.....	22
3. TRACCIÓN ELÉCTRICA	23
3.1 MOTOR ASÍNCRONO.....	23
3.1.1 Tipos Constructivos	24
3.1.2 Cómo funciona.....	24
3.2 TIPOS DE TRACCIÓN	26
4. TRACCION DISTRIBUIDA	27
5. SISTEMAS DE FRENADO	28
5.1 FRENO ELECTRICO	28
5.2 FRENO REGENERATIVO.....	28
5.3 FRENO NEUMÁTICO	30

5.4 FRENO MECÁNICO.....	32
6. BOGIES	33
6.1 BOGIES MOTORES.....	37
6.2 BOGIES REMOLQUE.....	38
7. LAS INFRAESTRUCTURAS DE LOS FERROCARRILES METROPOLITANOS.....	39
7.1 INSTALACIONES FIJAS EN ESTACIONES	39
7.1.1 ACCESOS.....	39
7.1.2 ESCALERAS MECÁNICAS.....	40
7.1.3 ASCENSORES.....	42
7.1.4 EXPENDICIÓN DE BILLETES	45
7.1.5 CANCELACIÓN DE BILLETES	48
7.2 VENTILACIÓN DE LÍNEAS.....	50
7.3 BOMBEO DE AGUA EN LÍNEAS	53
7.4 DETECCIÓN Y PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS.....	55
7.5 ALUMBRADO DE TÚNELES	57

1. BREVE HISTORIA FERROVIARIA

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.

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 Rei**, 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 c, 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).

En América Latina la necesidad del transporte de frutas y tabacos desde los campos del sur hasta la capital hizo que en **Cuba**, se inaugurara el 10 de noviembre de 1837 la línea ferroviaria **La Habana-Güines** que con una longitud de 16 leguas (unos 90 Km).

En **México** se inauguró el 15 de septiembre de **1850** un tramo de menos de 20 Km. que unía **el puerto de Veracruz** con la vecina población de **San Juan**. En 1873, se completó la línea que unía el famoso puerto con la capital del país.

En **1857** se inauguró el primer ferrocarril de **Argentina** con el propósito de enlazar los centros de producción ganadera y minera con el puerto desde donde se exportaba la materia prima a Europa y Estados Unidos

En términos generales los ferrocarriles en América Latina hasta las primeras décadas del siglo XX se desarrollaron en función del comercio con el exterior, más que como una vía interna de comunicación.

1.1 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 tónderes 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 tónder. 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 máquina 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 más 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.

1.2 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.

1.3 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.



Figura 1: 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.

1.4 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 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).

1.6 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 Cavallé (proceso lanzado en **1975** por Marcel Cavallé, 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.

1.7 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. 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:

2.1 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.

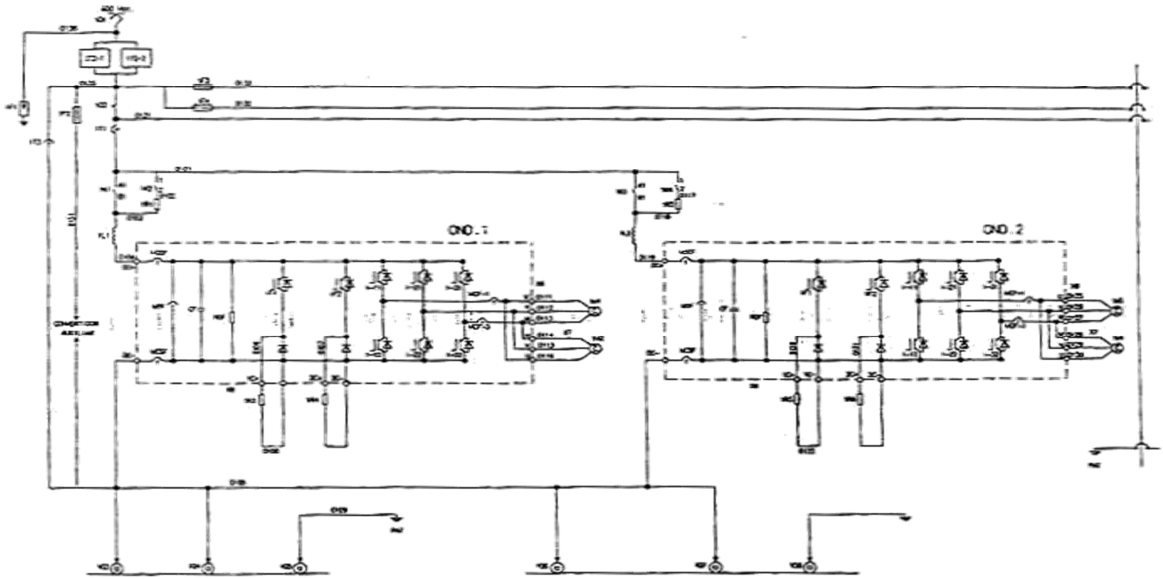
Contactores conectados a la línea que sale del disyuntor, los cuales permiten o no el paso de la corriente a los onduladores.

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.

2.2 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.

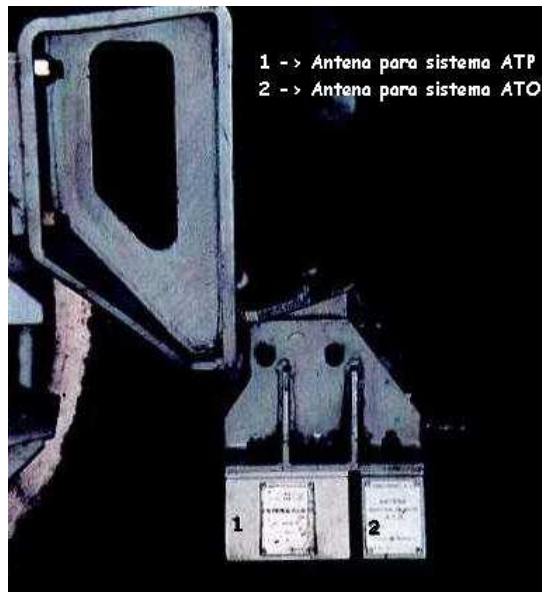
La suspensión secundaria, para contrarrestar la carga que suponen los pasajeros que llevan cada vagón en cada momento.

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.

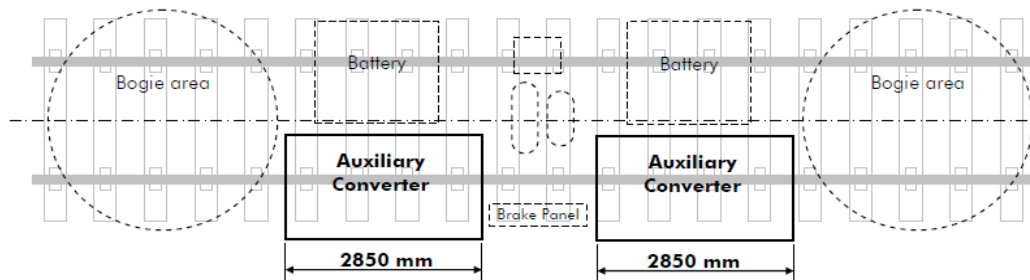
2.3 SISTEMA NEUMÁTICO

Cuyos elementos son:

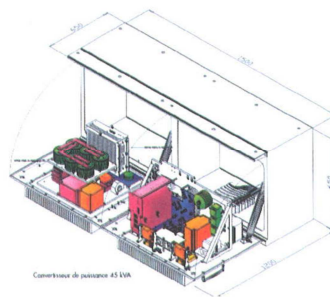
- Compresor, que proporciona aire comprimido a 10 Kg/cm²
- Freno neumático, para el caso del no funcionamiento del freno eléctrico.
- Freno de estacionamiento.
- Equipo neumático auxiliar, para la suspensión, silbato, pantógrafo y desacoplamiento.

2.4 CONVERTIDOR ESTÁTICO

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



View from above



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.

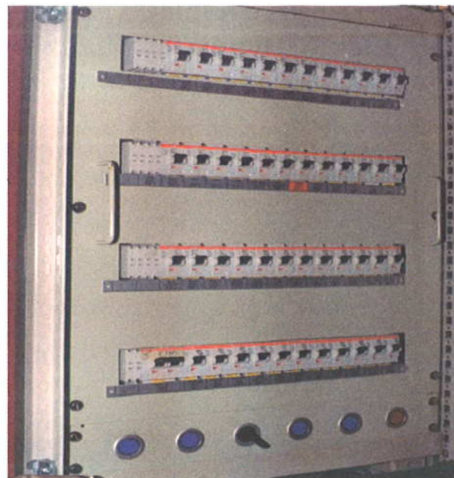




2.5 SISTEMA DE PROTECCIONES ELÉCTRICAS

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 sobretemperatura 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.



2.6 SISTEMAS DE FRENO

Cuyos tipos de freno son los siguientes:

Freno regenerativo, en el que el motor funciona como generador absorbiendo energía mecánica del eje del motor y devolviendo energía eléctrica a la red.

Freno reostático, si el freno del motor se produce al aumentar la carga por la inserción de resistencias, en las cuales se disipa la energía en forma de calor (efecto Joule). Este tipo de freno es capaz de asumir el 100% de frenado.

Frenado neumático, puede asumir el freno total y sirve de complemento al freno eléctrico.

Freno de emergencia, puede ser activado por los pasajeros y produce una parada automática del metro.

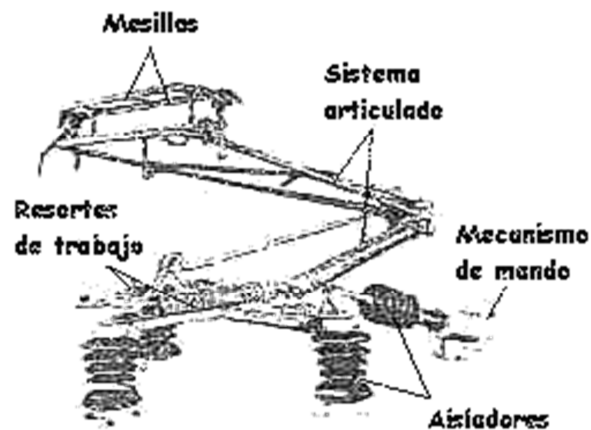
Freno de estacionamiento, por cilindros y sirve para el frenado de los dos ejes de cada bogie.

2.7 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.



2.8 ELEMENTOS DE MANDO Y MANIOBRA

El regulador principal y la inversión de la marcha.

2.9 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:



2.10 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.

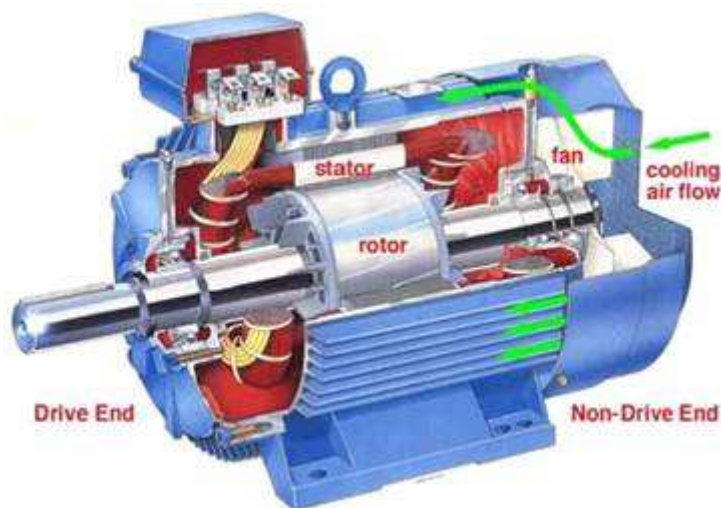
2.11 SISTEMAS DE VIDEOVIGILANCIA

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.

3. 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.



3.1 MOTOR ASÍNCRONO

Los motores asíncronos o de inducción son un tipo de motor de corriente alterna. El primer prototipo de motor eléctrico capaz de funcionar con corriente alterna fue

desarrollado y construido por el ingeniero Nikola Tesla y presentado en el American Institute of Electrical Engineers en 1888.

El motor asíncrono trifásico está formado por un rotor, que puede ser de dos tipos: a) de jaula de ardilla; b) bobinado, y un estátor, en el que se encuentran las bobinas inductoras. Estas bobinas son trifásicas y están desfasadas entre sí 120° en el espacio. Según el Teorema de Ferraris, cuando por estas bobinas circula un sistema de corrientes trifásicas equilibradas, cuyo desfase en el tiempo es también de 120° , se induce un campo magnético giratorio que envuelve al rotor. Este campo magnético variable va a inducir una tensión en el rotor según la Ley de inducción de Faraday: La diferencia entre el motor a inducción y el motor universal es que en el motor a inducción el devanado del rotor no está conectado al circuito de excitación del motor sino que está eléctricamente aislado. Tiene barras de conducción en todo su largo, incrustadas en ranuras a distancias uniformes alrededor de la periferia. Las barras están conectadas con anillos (en cortocircuito como dicen los electricistas) a cada extremidad del rotor. Están soldadas a las extremidades de las barras. Este ensamblado se parece a las pequeñas jaulas rotativas para ejercitar a mascotas como hamsters y por eso a veces se llama "jaula de ardillas", y los motores de inducción se llaman motores de jaula de ardilla.

3.1.1 TIPOS CONSTRUCTIVOS

El motor de jaula de ardilla consta de un rotor constituido por una serie de conductores metálicos (normalmente de aluminio) dispuestos paralelamente unos a otros, y cortocircuitados en sus extremos por unos anillos metálicos, esto es lo que forma la llamada jaula de ardilla por su similitud gráfica con una jaula de ardilla. Esta 'jaula' se rellena de material, normalmente chapa apilada. De esta manera, se consigue un sistema n-fásico de conductores (siendo n el número de conductores) situado en el interior del campo magnético giratorio creado por el estátor, con lo cual se tiene un sistema físico muy eficaz, simple, y muy robusto (básicamente, no requiere mantenimiento).

El motor de rotor bobinado tiene un rotor constituido, en vez de por una jaula, por una serie de conductores bobinados sobre él en una serie de ranuras situadas sobre su superficie. De esta forma se tiene un bobinado en el interior del campo magnético del estátor, del mismo número de polos (ha de ser construido con mucho cuidado), y en movimiento. Este rotor es mucho más complicado de fabricar y mantener que el de jaula de ardilla, pero permite el acceso al mismo desde el exterior a través de unos anillos que son los que cortocircuitan los bobinados. Esto tiene ventajas, como la posibilidad de utilizar un reostato de arranque que permite modificar la velocidad y el par de arranque, así como el reducir la corriente de arranque.

En cualquiera de los dos casos, el campo magnético giratorio producido por las bobinas inductoras del estátor genera unas corrientes inducidas en el rotor, que son las que producen el movimiento.

3.1.2 CÓMO FUNCIONA

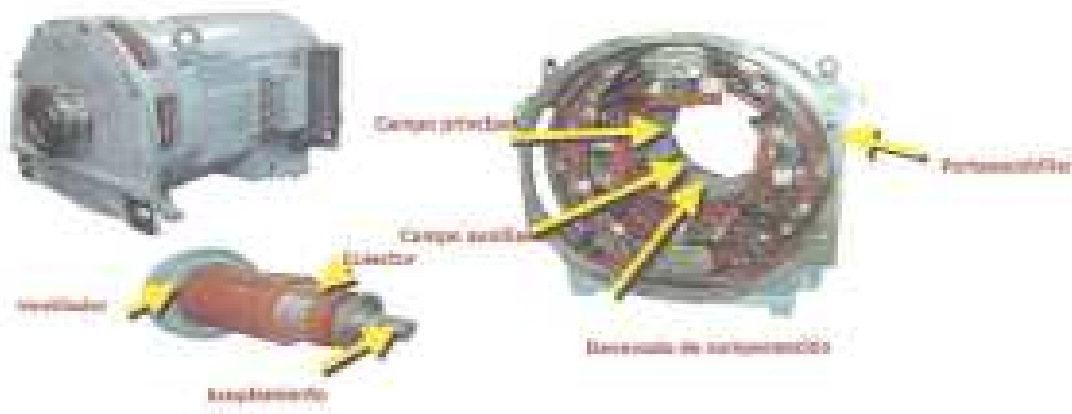
El motor asíncrono funciona según el principio de inducción mútua de Faraday. Al aplicar corriente alterna trifásica a las bobinas inductoras, se produce un campo magnético giratorio, conocido como campo rotante, cuya frecuencia será igual a la

de la corriente alterna con la que se alimenta al motor. Este campo al girar alrededor del rotor en estado de reposo, inducirá corrientes en el mismo que producirán a su vez un campo magnético que seguirá el movimiento del campo estático, produciendo una cupla o par motor que hace que el rotor gire (principio de inducción mutua). No obstante, como la inducción en el rotor sólo se produce si hay una diferencia en las velocidades relativas del campo estático y el rotórico, la velocidad del rotor nunca alcanza a la del campo rotante. De lo contrario, si ambas velocidades fuesen iguales, no habría inducción y el rotor no produciría cupla. A esta diferencia de velocidad se la denomina "resbalamiento" y se mide en términos porcentuales, por lo que ésta es la razón por la cual a los motores de inducción se los denomina asincrónicos, ya que la velocidad rotórica difiere levemente de la del campo rotante. El resbalamiento difiere con la carga mecánica aplicada al rotor, siendo máximo con la máxima carga aplicada al mismo. Sin embargo, a pesar de esto, el motor varía poco su velocidad, pero el par motor o cupla aumenta (y con ello la intensidad de corriente consumida) por lo que se puede deducir que son motores de velocidad constante.

Eléctricamente hablando, se puede definir al motor asincrónico como un Transformador eléctrico cuyos bobinados del estator representan el primario, y los devanados del rotor equivalen al secundario de un transformador en cortocircuito.

En el momento del arranque, producto del estado de reposo del rotor, la velocidad relativa entre campo estático y rotórico es muy elevada. Por lo tanto, la corriente inducida en el rotor es muy alta y el flujo de rotor (que se opone siempre al del estator) es máximo. Como consecuencia, la impedancia del estator es muy baja y la corriente absorbida de la red es muy alta, pudiendo llegar a valores de hasta 7 veces la intensidad nominal. Este valor no hace ningún daño al motor ya que es transitorio, y la fuerte cupla de arranque hace que el rotor gire enseguida, pero causa bajones de tensión abruptos y momentáneos que se manifiestan sobre todo como parpadeo en las lámparas lo cual es molesto, y puede producir daños en equipos electrónicos sensibles. Los motores de inducción están todos preparados para soportar esta corriente de arranque, pero repetidos y muy frecuentes arranques sin períodos de descanso pueden elevar progresivamente la temperatura del estator y comprometer la vida útil de los devanados del mismo hasta originar fallas por derretimiento de la aislación. Por eso se utilizan en potencias medianas y grandes, dispositivos electrónicos de "arranque suave", que minimizan la corriente de arranque del motor.

Al ganar velocidad el rotor, la corriente del mismo disminuye, el flujo rotórico también, y con ello la impedancia de los devanados del estator, recordemos que es un fenómeno de inducción mutua. La situación es la misma que la de conectar un transformador con el secundario en corto a la red de CA y luego con una resistencia variable intercalada ir aumentando progresivamente la resistencia de carga hasta llegar a la intensidad nominal del secundario. Por ende, lo que sucede en el circuito estático es un reflejo de lo que sucede en el circuito rotórico.



3.2 TIPOS DE TRACCIÓN

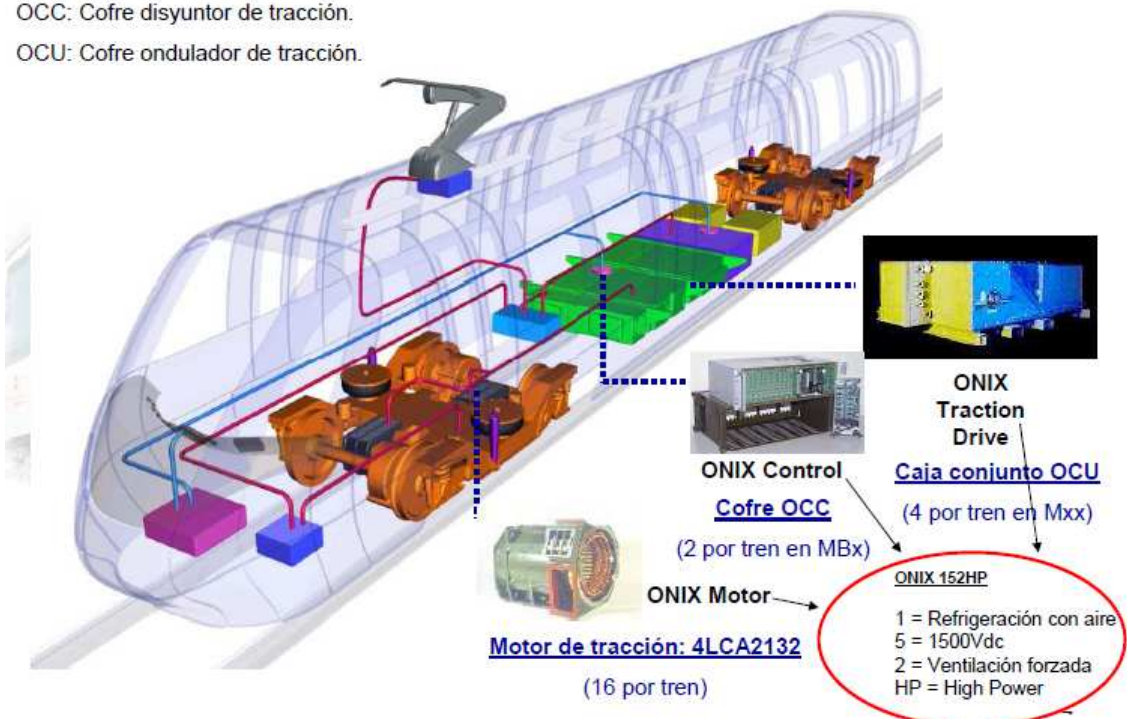
Con corriente continua:

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.



4. 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 obtiene 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.

5. 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.

5.1 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.

5.2 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

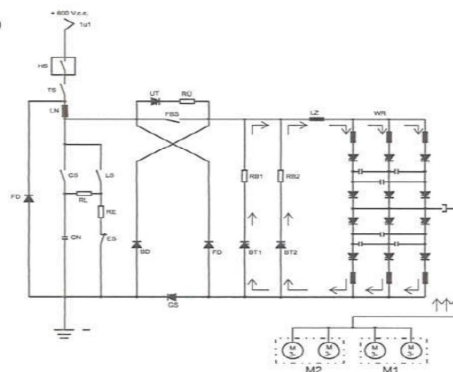
La cantidad de energía a disipar está limitada a la capacidad de absorción de ésta por parte del sistema de energía, o el estado de carga de las baterías o los condensadores. Un efecto no regenerativo puede ocurrir si otro vehículo conectado a la red suministradora de energía no la consume o si las baterías o condensadores

están cargados completamente. Por esta razón es necesario contar con un freno reostático que absorba el exceso de energía.

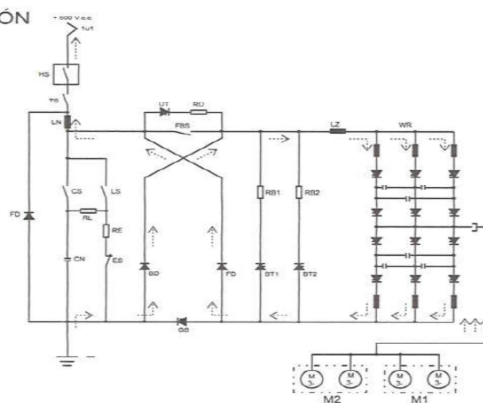
Durante el frenado, se modifican las conexiones del motor de tracción mediante un dispositivo electrónico, para que funcione como un generador eléctrico. Por ejemplo, los motores de corriente continua brushless (del inglés, sin escobillas), cuentan, normalmente, con sensores de efecto Hall para determinar 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



Iu1	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	Contacto de condensador	RL	Resistencia de carga condensador
ES	Contacto de descarga condensador	RŪ	Resistencia de puenteo
FBS	Contacto de marcha y frenado	TS	Contacto 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	Contacto de carga condensador		

5.3 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.

la fuente de energía del mismo. En vehículos de baterías y vehículos híbridos, la energía se

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:

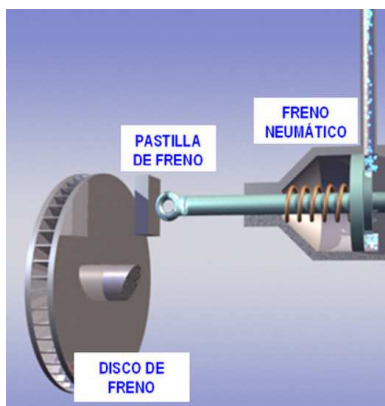
Ventajas:

- 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.

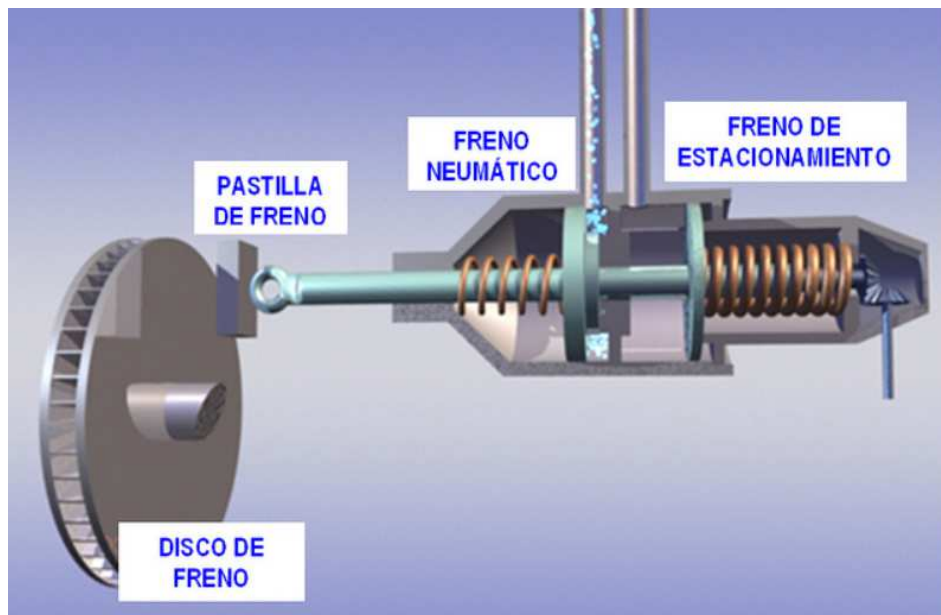
Disco y timonería de freno.



5.4 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.

6. BOGIES

Un bogie es un dispositivo giratorio dotados de dos o mas 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.

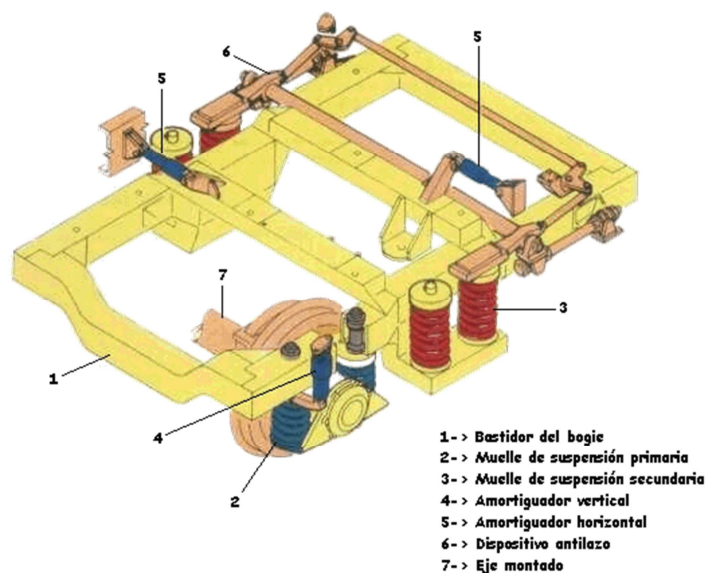
Su construcción se basa en dos largeros unidos entre sí por dor traviesas centrales.

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.

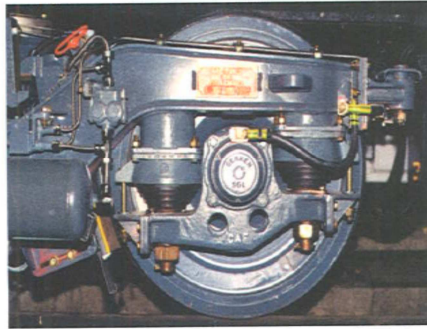


Podemos encontrar bogies tractores y bogies remolcados, estos últimos sin fuerza de tracción.

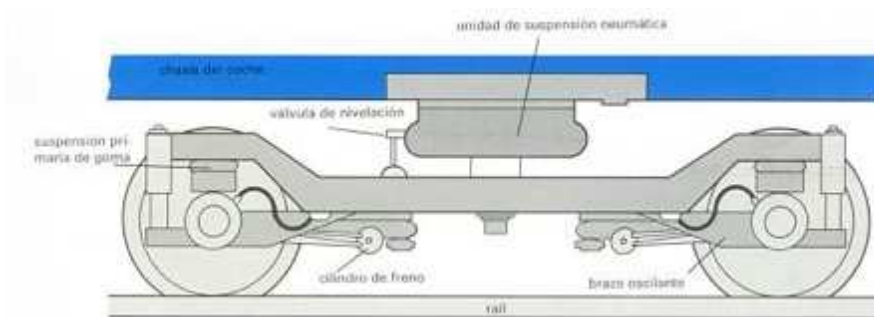


En ellos van alojados los dispositivos de la suspensión, denominados:

- suspensión primaria más próxima al plano de rodadura.



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



Además ha de ser capaz de absorber los movimientos que el tren ejerce sobre la vía 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.

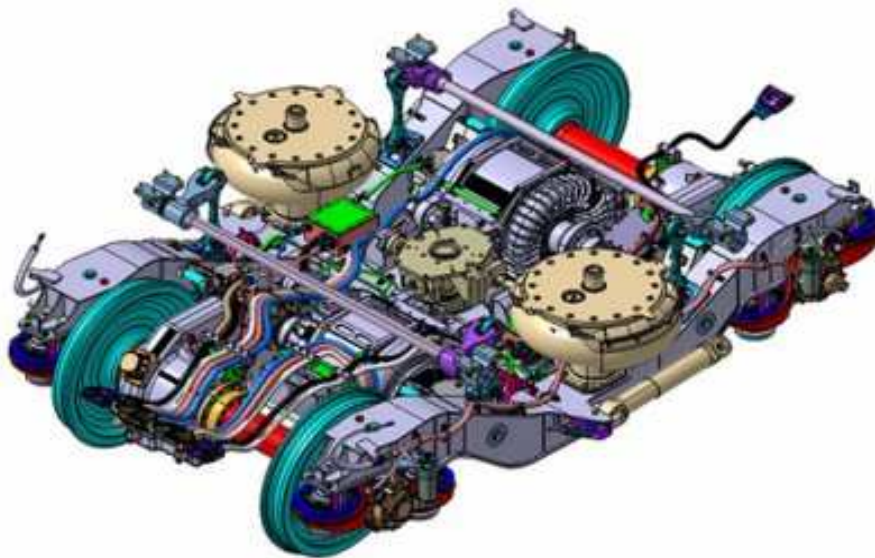
¿Por qué las carrozas tenían esa medida (4 pies y 8,5 pulgadas)? Porque la distancia entre las ruedas de las carrozas debería ser tal que pudiesen caber en las antiguas callecitas de Europa, que tenían exactamente esa medida.

¿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 vacien independientemente de los otros.

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

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.



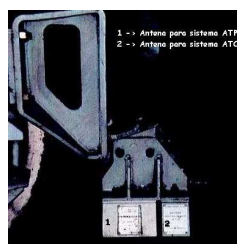
Cajas de Grasa:

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

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

Antenas:

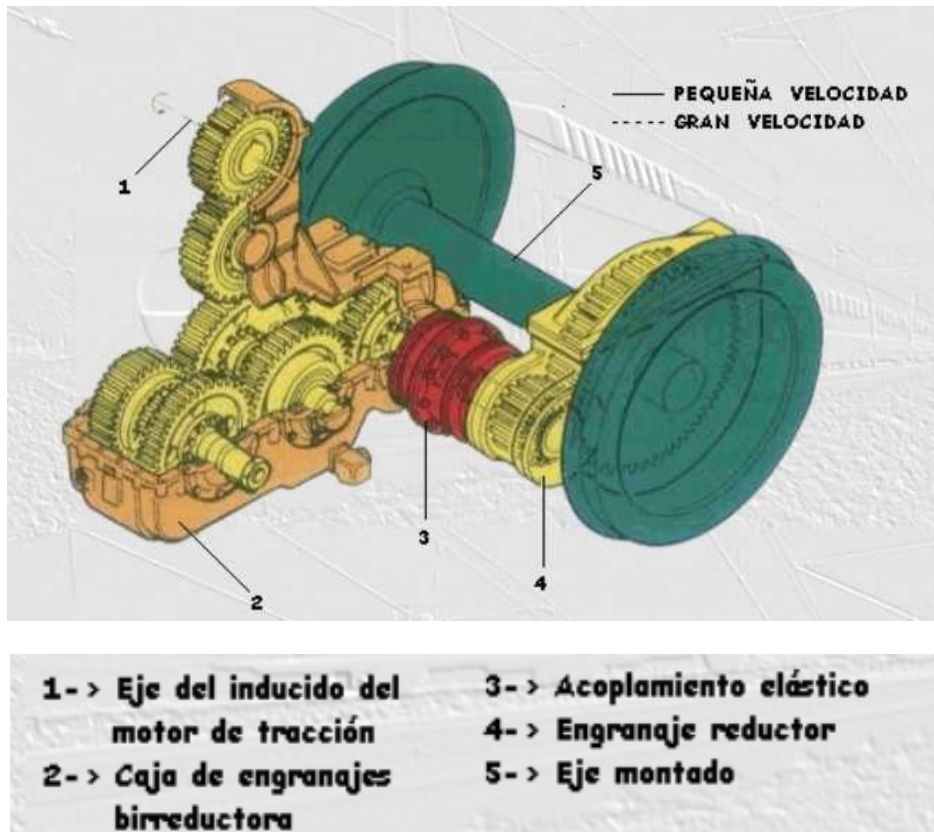
En la parte delantera de los bogies se instalan los soportes para las antenas de los equipos de ATP o de ATO si la señal de estos es enviada por el carril.



6.1 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.



6.2 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).



7. LAS INFRAESTRUCTURAS DE LOS FERROCARRILES METROPOLITANOS

7.1 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.

7.1.1 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

7.1.2 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.

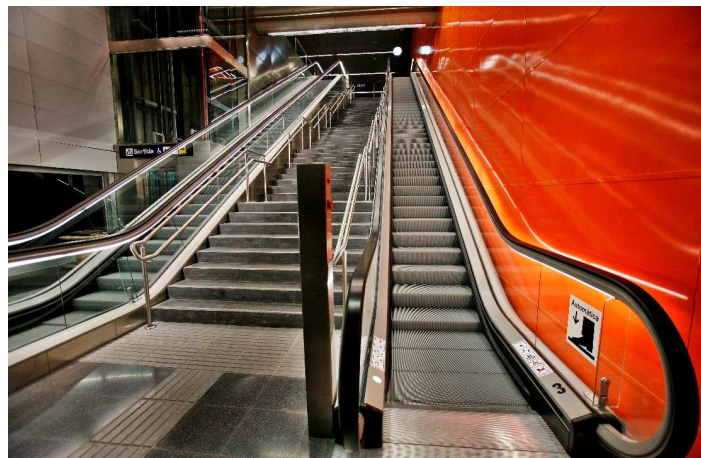


Imagen escalera mecánica estación

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

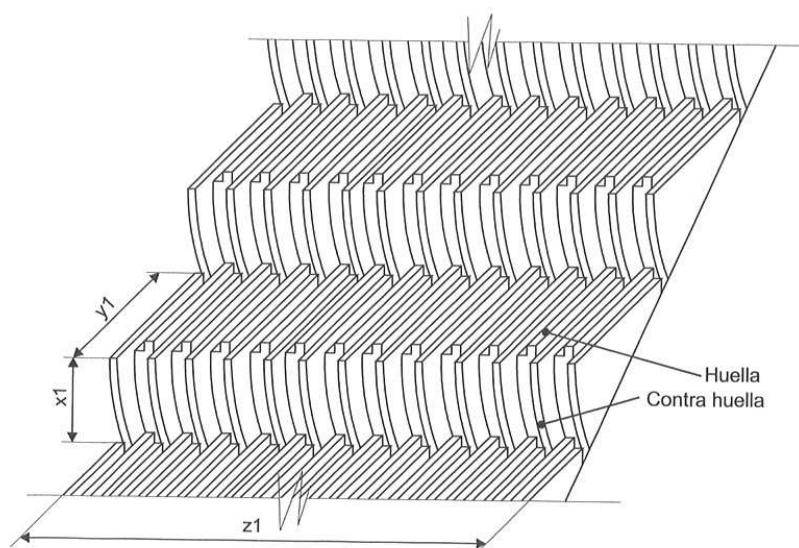


Imagen esquema peldaño

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.

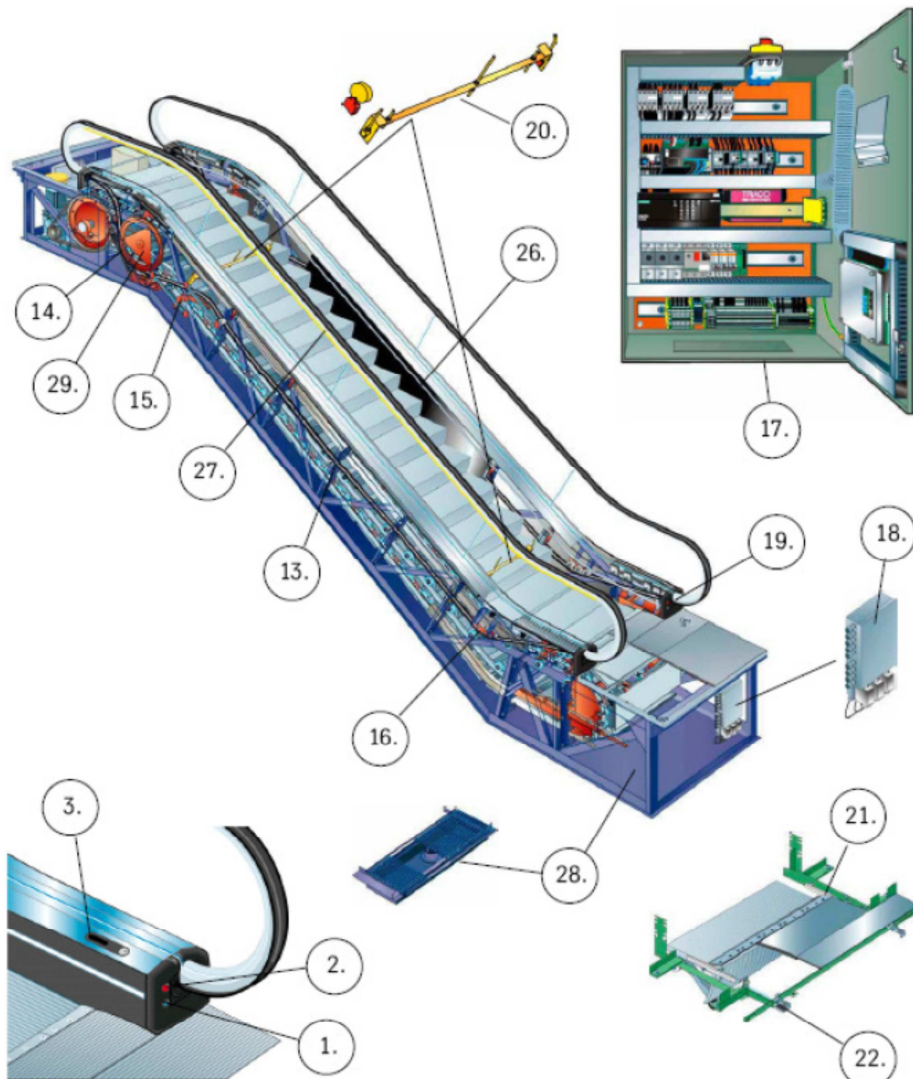


Imagen elementos escalera mecánica

7.1.3 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.

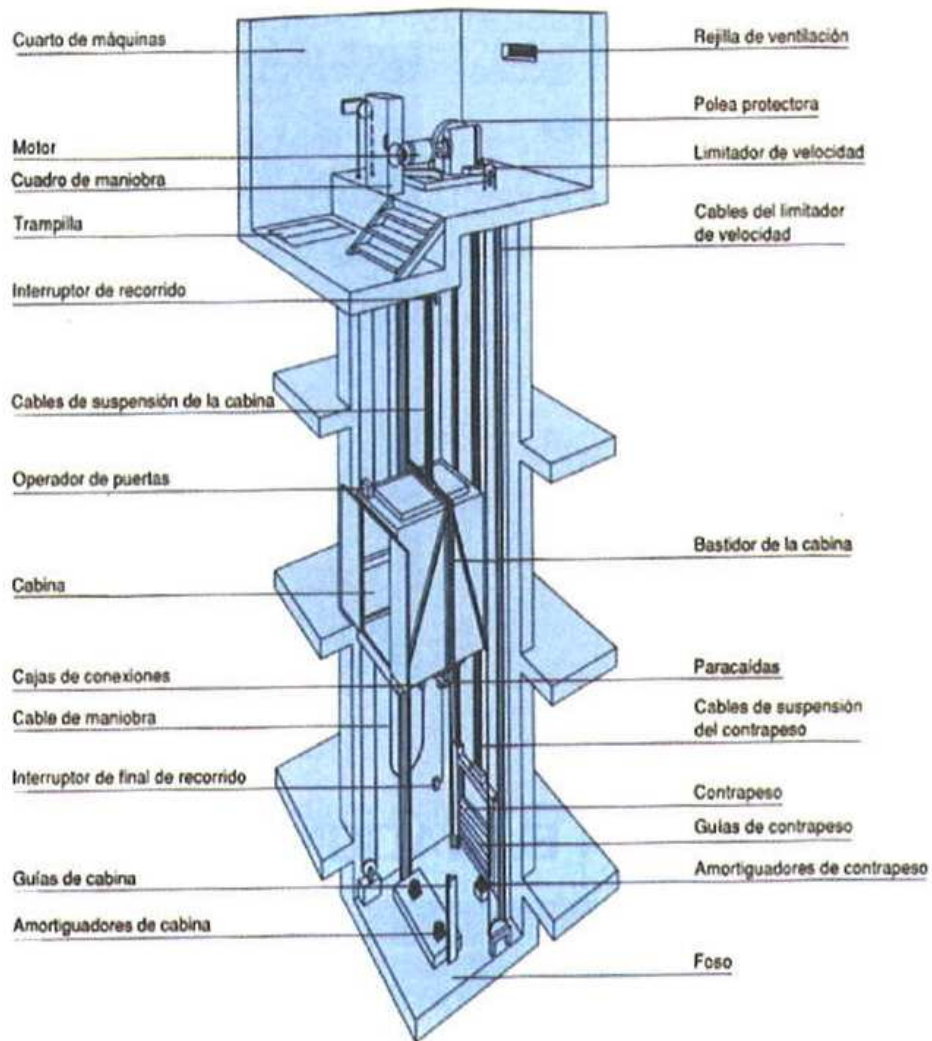


Imagen ascensor eléctrico

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

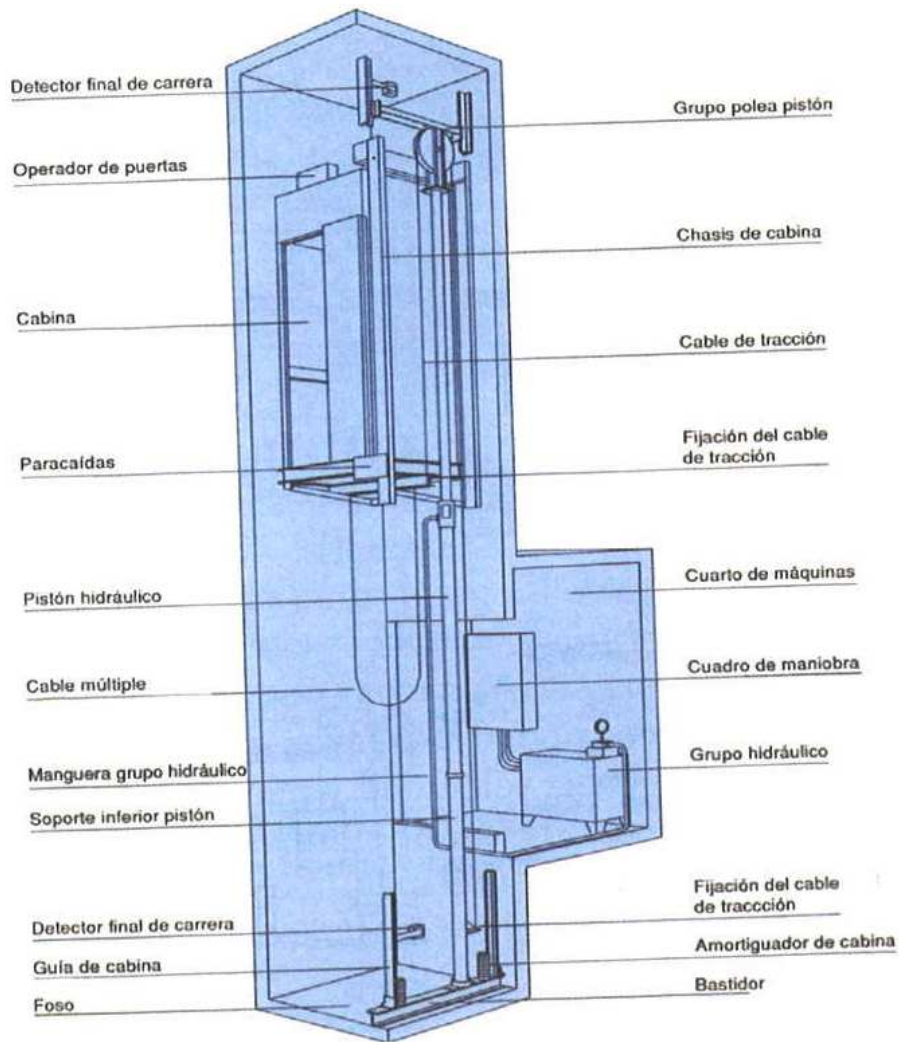


Imagen ascensor hidráulico

7.1.4 EXPENDICIÓN 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:

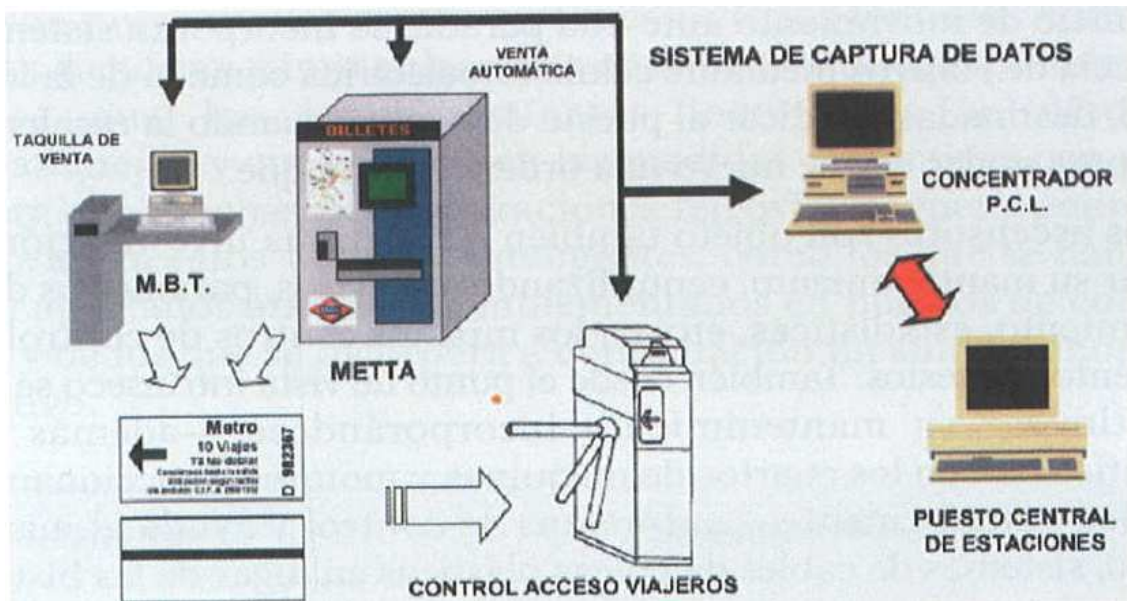


Imagen arquitectura funcional básica

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.

7.1.5 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.

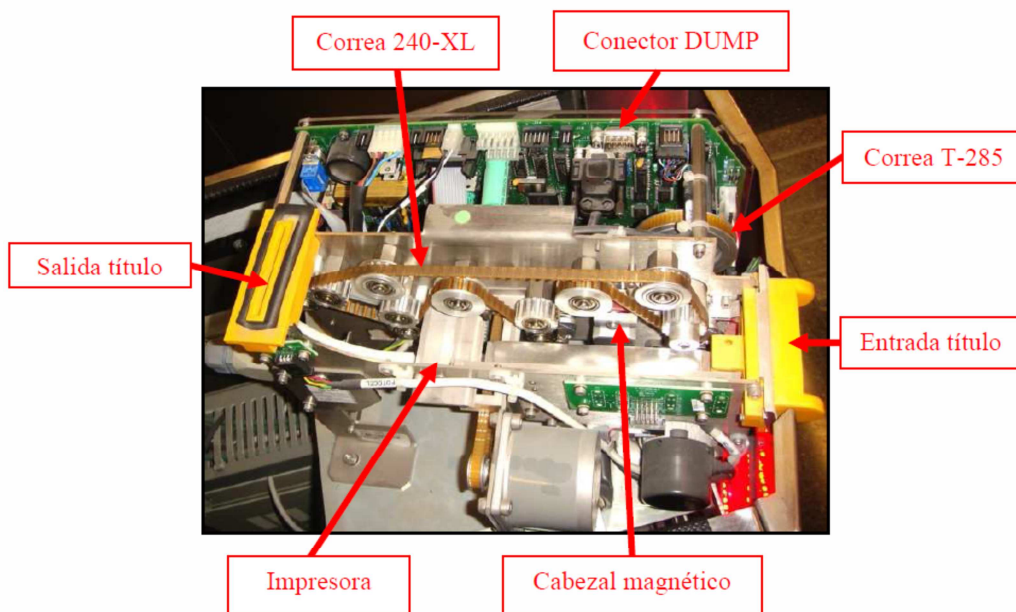
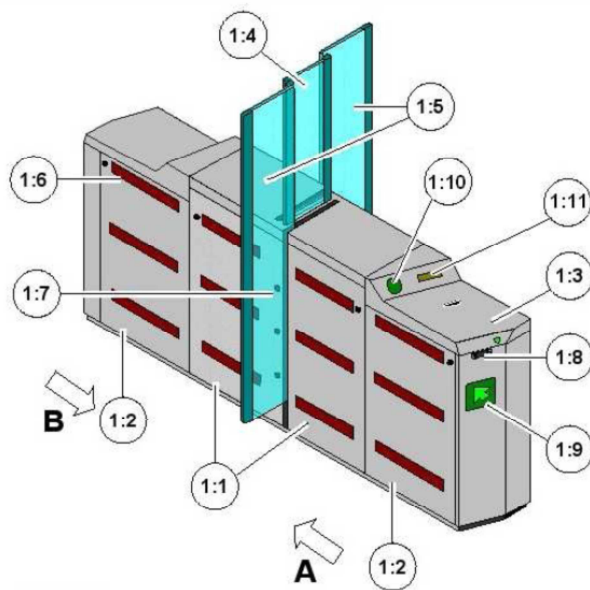


Imagen interior validador



- 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

7.2 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.

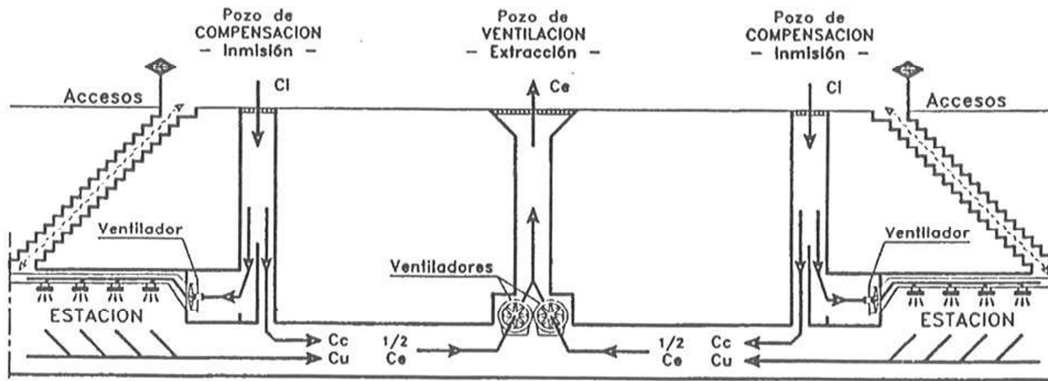


Imagen esquema típico ventilación túnel

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.

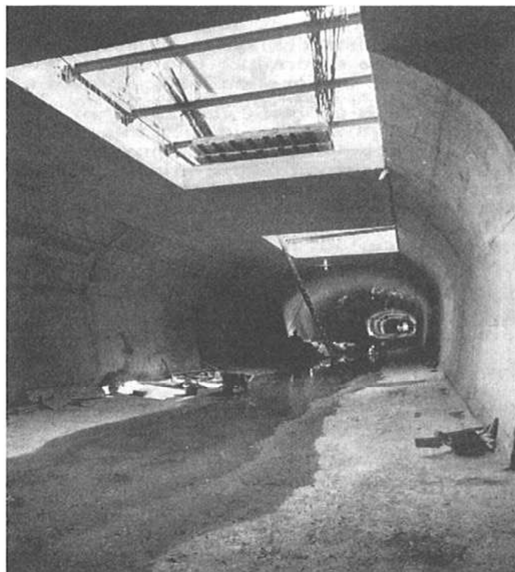


Imagen ventilación natural

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

7.3 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.

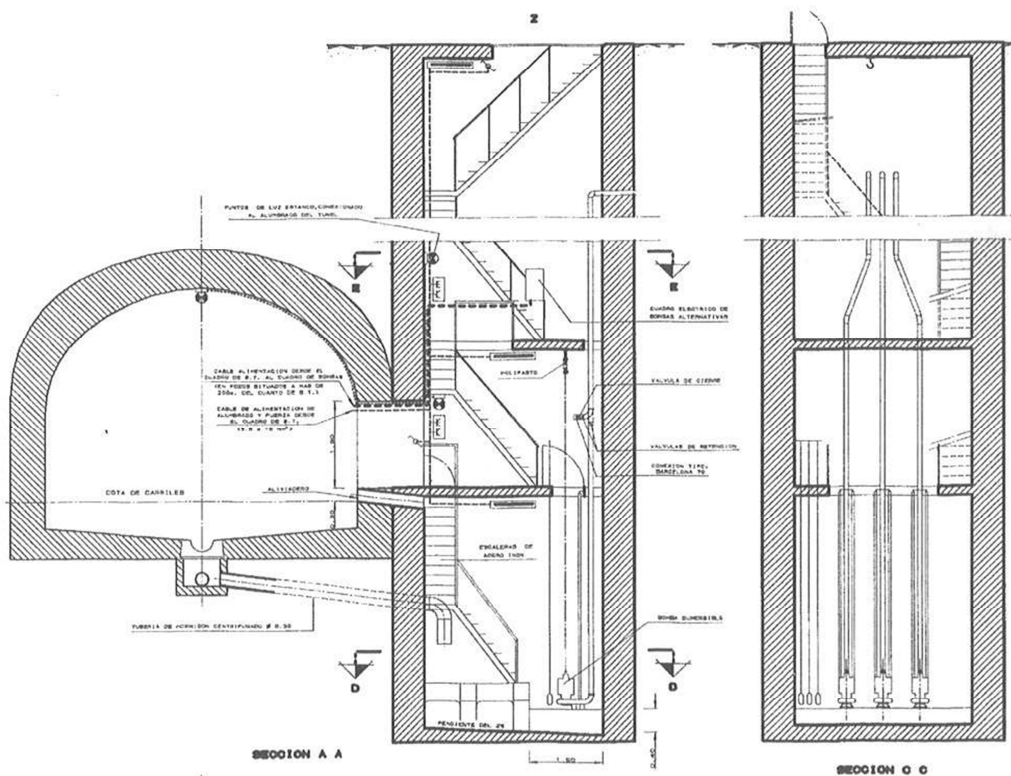


Imagen sistema de bombeo

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.

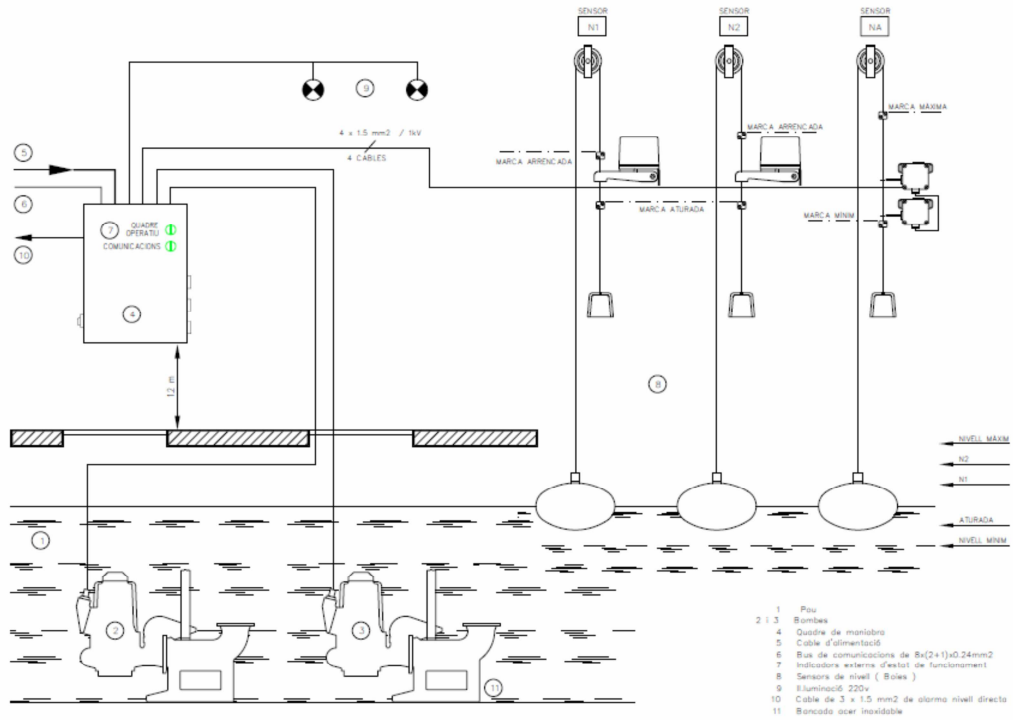


Imagen sistema de bombeo



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

7.4 DETECCIÓN Y PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS

Los sistemas de **detección** han evolucionado mucho en los últimos tiempos, desde los bulbos históricos de rotura por temperatura a termopares de máxima y sistemas basados en detección por aspiración. En estos últimos (quizás los más modernos) se realiza un muestreo continuo del aire aspirado de la zona a proteger mediante un ventilador-extractor y un sistema de tuberías que conducen dicho aire a un detector de alta sensibilidad. Dicho detector vigila los niveles de obscurecimiento del aire provocados por humos de fuegos incipientes, por lo que el sistema es extremadamente rápido.

El enfoque de la **protección** contra incendios mundialmente se realiza desde dos vertientes; las **protecciones pasivas** y las **protecciones activas**.

Protecciones pasivas

Tanto en túneles como en estaciones, dependiendo de la normativa de cada país, se suelen implantar las siguientes instalaciones:

- Señalización y balizamiento foto luminiscente, consiguiendo una señalización permanente de las vías de evacuación, incluso ante la carencia de los diferentes alumbrados que existan.
- Extintores de incendio de los diversos tipos existentes para cada caso de fuego o causa del mismo.



- Instalación de columna seca, permitiendo en caso de incendio que los bomberos, previa conexión de sus coches cisterna, dispongan de agua con el caudal y presión necesaria.

Protecciones activas

Tanto en túneles como en estaciones, dependiendo de la normativa de cada país, se suelen implantar las siguientes instalaciones:

- Sistema centralizado de detección de incendios, se compone de central de incendios y de los diferentes detectores instalados por la estación.



Imagen central detección de incendios



Imagen detectores de incendios

- Sistema de detección por aspiración, se compone de tuberías de aspiración y central de detección.

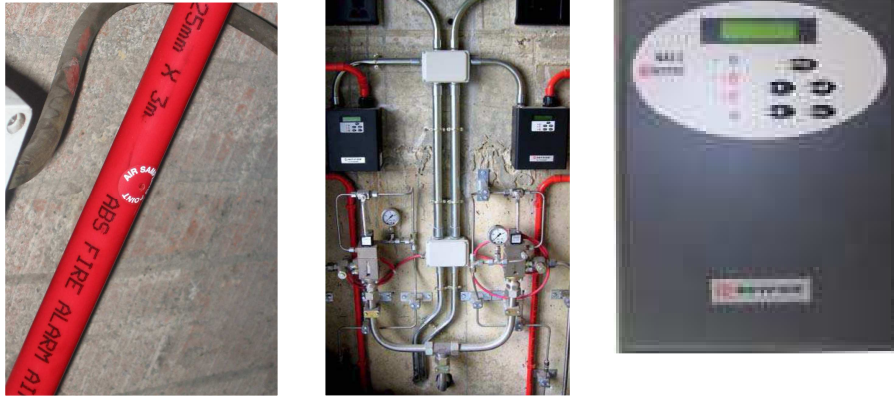


Imagen central de aspiración

- Sistema de extinción por agua nebulizada, se compone de equipo central de presurización y bombeo que alimenta a las diferentes boquillas o atomizadores instalados en los riesgos definidos en cada estación.



Imagen central de presión y bombeo sistema de agua nebulizada

- Instalación de cable sensor de temperatura a lo largo del túnel, con objeto de discriminar la zona de incendio en túnel.

7.5 ALUMBRADO DE TÚNELES

El alumbrado de túneles ferroviarios metropolitanos se concibe básicamente por dos razones:

Para facilitar **la evacuación de los viajeros** en caso de incidente y para facilitar **la realización de operaciones de mantenimiento**.

Debido a su importancia para la evacuación de pasajeros , debe considerarse como algo prioritario y obligatorio.

El alumbrado de túnel debe garantizar un nivel mínimo de iluminación y grado de uniformidad, además de disponer de un sistema de alumbrado de socorro servido por baterías independientes.

Habitualmente los sistemas de alumbrado de túnel, se basan en la instalación de pantallas fluorescentes, o proyectores de vapor de sodio, repartidos a cierta distancia (alrededor de los 10m) en ambos lados del túnel.



Imagen sistema alumbrado túnel

El alumbrado ordinario de túnel, debe ir acompañado de otro complementario, alimentado de forma independiente (acometida diferente, SAI, grupo electrógeno, etc.) para casos de fallo del sistema, este alumbrado suele ser un porcentaje del total instalado (1/7 o 1/3).

Por último, y adicionalmente hay que instalar un alumbrado de socorro, con la finalidad de obtener una iluminación mínima a ras de suelo en caso de falla total del sistema, señalizándolos caminos seguros hacia las salidas de emergencia, suele estar compuesto por balizas autónomas.



Imagen baliza autónoma de alumbrado de emergencia

Es necesario que los sistemas de alumbrado de túnel puedan activarse y desactivarse desde el sistema centralizado de telemando, el nivel de iluminación durante la operación, dependerá del Operador y puede ser desde totalmente apagada a totalmente iluminada, pasando por todos los niveles que dicha instalación permita, según número de circuitos de alumbrado, distribución y control de los mismos.

Todas las instalaciones en túnel deben realizarse con cables y elementos de alta protección contra el fuego y baja emisión de humos.