

ÍNDICE

<i>Prólogo</i>	11
<i>Agradecimientos</i>	13
Bloque 1. CONCEPTOS BÁSICOS E INTRODUCCIÓN	15
1.1. Breve historia ferroviaria	17
1.2. La vía	22
1.2.1. El carril	30
1.2.2. El balasto	41
1.2.3. La traviesa	51
1.2.4. La vía en placa	59
1.2.5. Sujeciones	75
1.2.6. Aparatos de vía	79
1.3. El trazado ferroviario	89
1.4. Los esfuerzos en la vía	95
1.5. Cinemática Bogie-Vía	100
1.5.1. Fórmulas del movimiento y adherencia	100
1.5.2. Resistencias al avance	105
1.5.3. Movimiento de lazo	111
Bloque 2. MATERIAL MÓVIL	115
2.1. Locomotoras	117
2.1.1. Locomotoras de vapor	120
2.1.2. Locomotoras Diesel	127
2.1.3. Locomotoras alimentadas con otros combustibles	142
2.1.4. Locomotoras eléctricas	143
2.2. Material remolcado de medias y largas distancias: coches y vagones	151
2.2.1. Clasificación del material remolcado	153
2.3. La Alta Velocidad	171
2.3.1. Consideraciones preliminares. Tipos de tracción	174
2.3.2. La vía en Alta Velocidad	177
2.3.3. La Alta Velocidad en el mundo	178
2.3.4. La Alta Velocidad en España	192

2.4. El caso de metros y tranvías	207
2.4.1. Estructura	207
2.4.2. Cajas modulares de tranvías y metros ligeros	219
2.5. La tracción eléctrica	223
2.5.1. Introducción	223
2.5.2. Breve historia de la tracción eléctrica	224
2.5.3. Técnicas de tracción reostática	226
2.5.4. Técnica «Chopper»	231
2.5.5. Técnica trifásica	234
2.5.6. Evolución de los componentes electrónicos de potencia y su repercusión en los sistemas de tracción	240
2.5.7. Cofres de electrónica y aparellaje	243
2.6. El freno	245
2.6.1. Conceptos básicos e introducción	245
2.6.2. Conceptos básicos de la frenada	247
2.6.3. El freno en trenes modernos	251
2.6.4. Mando y control del freno	258
2.6.5. Prestaciones de los frenos	259
2.7. Bogies	261
2.7.1. Bastidor	263
2.7.2. Ejes y ruedas	268
2.7.3. Ruedas elásticas	276
2.7.4. Reductores	279
2.7.5. Diseño y prueba de reductores ferroviarios	281
2.7.6. Suspensiones	287
2.7.7. Elementos auxiliares del bogie	291
2.7.8. Motores de tracción	293
2.7.9. Bogie remolque	301
2.7.10. Bogies de tranvías	304
2.7.11. Desarrollo y nuevos proyectos sobre bogies	306
2.7.12. Bogies de ancho variable	310
2.8. Sistemas embarcados en el material móvil	312
2.8.1. El equipo neumático	312
2.8.2. Pantógrafos	319
2.8.3. Generadores y convertidores auxiliares	323
2.8.4. Circuitos eléctricos	326
2.8.5. Baterías	330
2.8.6. Puertas e interiorismo	335

2.8.7. Pasillos de intercirculación	343
2.8.8. Equipos de climatización	344
2.9. Acoplamientos entre coches	350
2.9.1. Acoplamientos automáticos	350
2.9.2. Acoplamiento semipermanente	352
2.9.3. Sistemas de tracción y choque de material remolcado	354
2.10. Trenes de levitación magnética monoviga	358
2.10.1. Suspensión y guiado	360
2.10.2. La vía	361
2.10.3. Tracción motor lineal	363
2.10.4. Consideraciones finales	364
Bloque 3. LAS INSTALACIONES FERROVIARIAS	365
3.1. Electrificación y captación de corriente	367
3.1.1. Catenaria	367
3.1.2. Criterios de montaje de la catenaria	378
3.1.3. Catenaria rígida	381
3.1.4. Tercer carril	386
3.1.5. Otros modernos sistemas de captación	388
3.2. Tensiones de alimentación y subestaciones	394
3.2.1. Sistemas de electrificación ferroviaria en corriente alterna ..	395
3.2.2. Alimentación de tracción en continua	427
3.2.3. Principios de subestaciones ferroviarias rectificadoras	428
3.2.4. Cálculo y dimensionamiento de subestaciones	440
3.2.5. Telemando de subestaciones	441
3.2.6. Protecciones e interruptores	445
3.2.7. Criterios sobre las tensiones de alimentación de tracción ..	449
3.2.8. Sistemas de almacenamiento de energía	451
3.3. Señalización ferroviaria	463
3.3.1. Introducción y conceptos básicos	463
3.3.2. Señalización convencional. Circuitos de vía y contadores de ejes	467
3.3.3. Sistemas de protección automática (ATP)	478
3.3.4. Sistemas interoperables ERTMS	502
3.3.5. Sistemas de conducción automática ATO y «driverless»	504
3.3.6. Centros de Control de Tráfico (CTC)	509
3.3.7. Sistemas de señalización tranviaria. Sistema SAE	513
3.3.8. Pasos a nivel	515

3.4. Sistemas y equipamiento de estaciones	526
3.4.1. Telefonía	526
3.4.2. Radiocomunicaciones	529
3.4.3. Megafonía	532
3.4.4. Televisión	533
3.4.5. Medios de transmisión	536
3.4.6. Instalaciones fijas de estaciones	539
3.5. Sistemas y equipamientos de las líneas y túneles	567
3.5.1. Ventilación de líneas	567
3.5.2. Climatización de líneas	572
3.5.3. Propagación del humo en túneles	577
3.5.4. Criterios funcionales de la ventilación de túneles ferroviarios metropolitanos	579
3.5.5. Bombeo de aguas en líneas	580
3.5.6. Detección y protección contra incendios	582
3.5.7. Alumbrado de túneles	584
Bloque 4. DISEÑO DE NUEVAS LÍNEAS Y ESTACIONES	587
4.1. Criterios de diseño de líneas	589
4.2. Criterios de diseño de estaciones	596
4.2.1. Estaciones en fondo de saco o pasantes	597
4.2.2. Finales de vía y toperas	598
4.2.3. Planta de la estación	601
4.2.4. Configuración de vías en líneas de vía doble	603
4.2.5. Gálibos	604
4.2.6. Perfil longitudinal de las vías en la estación	607
Bloque 5. LA OPERACIÓN FERROVIARIA	609
5.1. El concepto de la operación eficiente	611
5.2. La calidad del servicio	615
5.3. Los costes de explotación	620
Bloque 6. MANTENIMIENTO FERROVIARIO	623
6.1. Mantenimiento del material móvil	627
6.2. Mantenimiento de infraestructuras e instalaciones	630
6.3. Instalaciones para mantenimiento	639
6.4. El material móvil auxiliar	649
Bibliografía	669

1.1. BREVE HISTORIA FERROVIARIA

Hay extensos y muy rigurosos libros sobre la historia del ferrocarril, algunos de los cuales introducimos en la bibliografía para aquellos lectores que deseen realizar un estudio más profundo desde un enfoque histórico. No obstante, y aunque el destino de este texto es tratar la ingeniería ferroviaria actual y no de historia, consideramos conveniente hacer una breve introducción histórica al ferrocarril para transmitir al lector una perspectiva previa.

En los estudios actuales ferroviarios, en lo que a sistemas y máquinas de tracción se refiere, la tecnología básica que se aborda es la tracción eléctrica y, en mucha menor medida, la tracción diesel. Pero no debemos olvidar que los comienzos del ferrocarril se marcaron gracias a la tracción a vapor y que, aún hoy en día, hay muchos países en África, Asia y América Latina que todavía utilizan estos «ingenios» en explotaciones normales de viajeros y cargas.

Los sistemas guiados datan de antes de nuestra era, pues ya en la Antigüedad los hombres se dieron cuenta que cuando las rodadas eran profundas mantenían a los carros sin salirse de la senda prevista, durando mucho más sus simples sistemas de rodadura y evitando accidentes. Ya en el siglo VIII a.C. o se tienen referencias a estos caminos guiados en las ciudades regadas por el Tigris y el Éufrates. Los griegos posteriormente adoptaron esta solución para sus caminos empedrados y exportaron estos criterios constructivos a su zona de influencia. Así pues se conserva, en muy buen estado, un camino grecorromano con relejes y con una asombrosa «anchura de vía fija» cerca de Siracusa (Sicilia). El ejemplo posterior de Pompeya, cubierta por la lava del Vesubio en el año 79 de nuestra era, y que conserva estupendos caminos de guiado de carros en sus calles empedradas, es otro claro exponente de los precursores caminos a que nos referimos.

El cambio básico del carril ferroviario, como ahora lo entendemos, y de la rueda con pestaña, se cree data del siglo XVI, en determinadas explotaciones mineras; como las de Transilvania y del Tirol. Ya en aquel entonces se utilizaban rudimentarias agujas para el cambio de vía, como las recogidas por Georg Bauer en 1556 en su tratado «De re metallica».

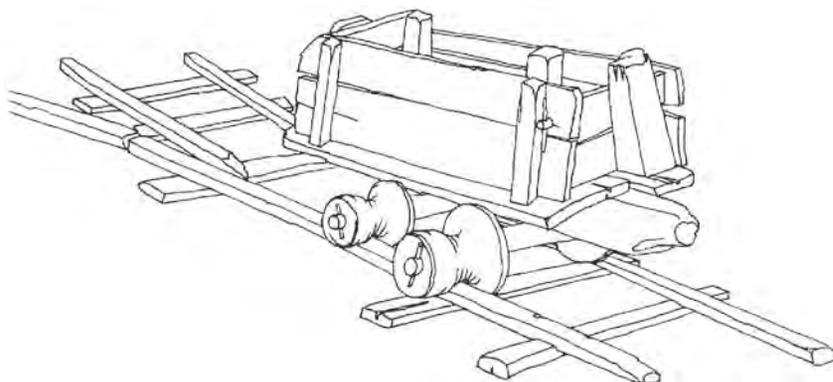


Figura 1.1.1.

La aparición del ferrocarril tal y como ahora lo entendemos, reconocida universalmente, fue en 1803; en este año el ingeniero inglés Richard Trevithick (1771-1833) y su compatriota Andrew Vivian, patentaron una locomotora a vapor que se desplazaba sobre raíles. Sus ensayos en un pequeño ferrocarril en Londres finalizaron a causa de un grave accidente.

Tras haber patentado su locomotora (que no era sino una aplicación de la máquina de vapor de Evans), Trevithick se entregó de nuevo al trabajo y, en febrero de 1804, hizo mover el primer convoy ferroviario de la historia: sobre las vías de la mina de Merthyr, en Gales meridional, un tren de catorce toneladas (5 vagones con 5 toneladas de mineral y 70 hombres) realizó un recorrido de 16 km a una velocidad de 8 km/h. Esta locomotora de Trevithick tenía una caldera con hogar interior, un cilindro horizontal y un calentador de agua de alimentación; las llantas de las ruedas, para aumentar su adherencia, se habían realizado de modo que presentaran notables rugosidades.

En el siglo XVIII la madera ya fue sustituida por hierro de fundición; más tarde, con la aparición y desarrollo de la locomotora de vapor, se construyeron carriles de hierro laminado, que poseen mayor adherencia que los de

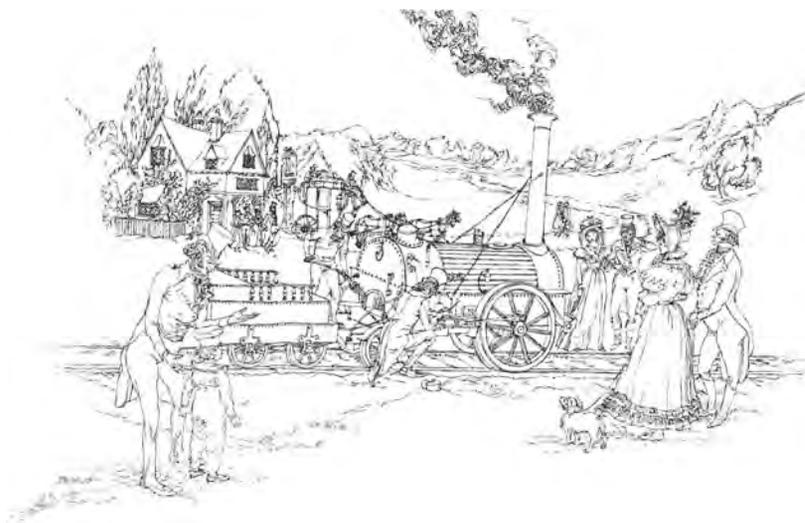


Figura 1.1.3.

construcción de una línea ferroviaria que uniera las minas de Darlington con el puerto de Stockton, obra que fue inaugurada en 27 de septiembre de 1825; fue el mismo Stephenson quién condujo el tren, que alcanzó una velocidad máxima de 20 km/h, aunque la velocidad media fue muy baja, debido a que la caldera, de tipo Cornualles, con un gran depósito hervidor permitía una escasa vaporización, por lo que se limitaba su potencia.

El ingeniero francés Marc Seguin (1786-1875) ideó la caldera tubular, en la cual, la superficie de calentamiento se multiplicaba haciendo pasar el aire caliente procedente de la combustión por una serie de tubos inmersos en el agua de la propia caldera. Con el uso de esta caldera tubular en la locomotora *The Rocket* (El Cohete), Stephenson ganó en 1829 el concurso Rainhill, creado para elegir el mejor medio de tracción a emplear en la línea ferroviaria Liverpool-Manchester, inaugurada en 1830. En aquel concurso Stephenson alcanzó la velocidad máxima de 32 km/h. En 1848 T. R. Crapton tuvo la idea de situar las ruedas motrices, no ya bajo la caldera, sino detrás de ella; así pudieron adaptarse ruedas de gran diámetro sin elevar el eje de la caldera; con esta modificación se logró un sensible aumento de la velocidad.

En España el primer ferrocarril se inauguró en 1848, entre Barcelona y Mataró. La evolución de este medio de transporte era ya imparable y, ya a

finales del siglo XIX, el número de kilómetros de vías férreas en todo el mundo se estima era superior a los 500.000.

Todo lo expuesto hasta ahora se ha referido a tracción basada en vapor, pero hay que remarcar que en 1879 se llevó a cabo en Berlín la demostración de una primera locomotora eléctrica, desarrollada por Werner von Siemens, y en 1881 se puso en servicio en Berlín el primer tranvía eléctrico. Pocos años después, en 1883, en Gran Bretaña, se inaugura el primer tramo de ferrocarril eléctrico. En 1892 se construye la primera locomotora con un motor de explosión y, en 1912, se construye en Alemania la primera locomotora diesel (Sulzer).

Durante la primera mitad del siglo XX la tracción ferroviaria estuvo totalmente marcada por la evolución de las locomotoras de vapor, como hemos apuntado. España fue un claro exponente de esta situación; agravada en nuestro caso por el aislamiento técnico y energético sufrido en la guerra civil.

La tracción eléctrica ya se consideraba en los años 50 la solución con más futuro, pero tenía aún un cierto grado de estancamiento. En cuanto a la tracción diesel su mayor reto se encontraba en la forma de transmitir el esfuerzo motor, lo que limitaba su utilización a pequeñas potencias válidas para locomotoras de maniobras. Sin embargo, cuando en Alemania se desarrolla con éxito la transmisión hidráulica, se desbloquea la situación, llegándose a construir locomotoras diesel de hasta 4.000 CV.



Figura 1.1.4.