

Francisco Javier Calvo Poyo
José Lorente Gutiérrez

FERROCARRILES PARA LA INGENIERÍA CIVIL

FERROCARRILES

PARA LA INGENIERÍA CIVIL

Edición actualizada



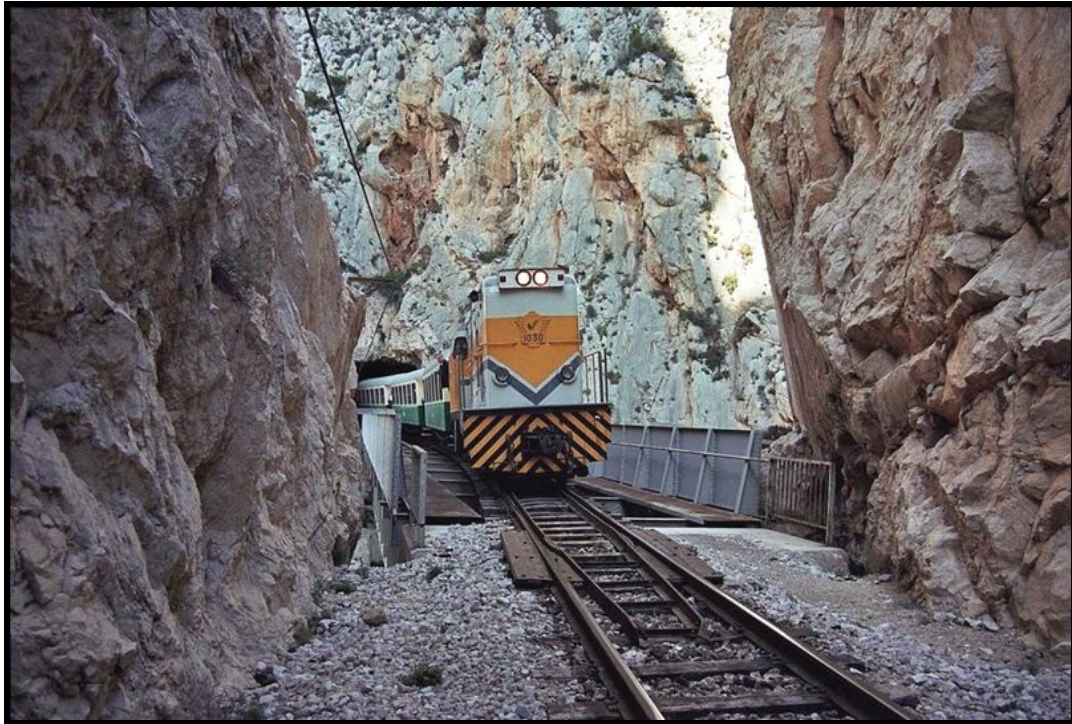
Francisco Javier Calvo Poyo
José Lorente Gutiérrez

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	13
1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL FERROCARRIL	13
2. HISTORIA DEL FERROCARRIL EN ESPAÑA.....	18
II. EL TRAZADO DE LA VÍA.....	41
1. INTRODUCCIÓN.....	41
2. TRAZADO EN PLANTA.	41
3. TRAZADO EN ALZADO.....	64
4. VALORES DE LOS PARÁMETROS DE TRAZADO.....	69
III. LA VÍA FERROVIARIA.....	77
1. CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA.	77
2. LA VÍA CONVENCIONAL.	80
3. LA VÍA EN PLACA.	82
4. COMPARACIÓN VÍA CONVENCIONAL / VÍA EN PLACA.....	83
5. INTERACCIÓN ENTRE LA VÍA Y EL VEHÍCULO.....	86
6. EL ANCHO DE VIA.	91
IV. EL CARRIL.....	103
1. FUNCIONES.	103
2. MATERIAL.....	104
3. FORMA.....	104
4. PESO.....	112
5. COMPORTAMIENTO.....	112
6. RETIRADA PREMATURA DE CARRILES.	115
7. DURACIÓN.	121
V. LAS TRAVIESAS	127
1. FUNCIONES.	127
2. TIPOS DE TRAVIESAS Y SUJECIONES.....	128
3. TRAVIESAS DE MADERA.....	131
4. TRAVIESAS METÁLICAS.....	135
5. TRAVIESAS DE HORMIGÓN.....	137

VI. LA CONTINUIDAD DE LA VÍA	161
1. LA VÍA CON JUNTAS.	161
2. LA VÍA SIN JUNTAS.	166
VII. LAS CAPAS DE ASIENTO	183
1. LA PLATAFORMA.....	183
2. LAS CAPAS DE ASIENTO.....	187
3. EL BALASTO.....	188
4. EL SUBBALASTO.	189
5. CÁLCULO DE LOS ESPESORES DE LAS CAPAS DE ASIENTO.....	190
6. DIMENSIONES DE LA BANQUETA DE BALASTO.	194
VIII. COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LA VÍA.	199
1. TIPOS DE ESFUERZOS Y CARACTERIZACIÓN DE LA VÍA.	199
2. CÁLCULO VERTICAL DE LA VÍA.....	204
3. CALCULO VERTICAL DE LAS CAPAS DE ASIENTO.....	215
4. CALCULO TRANSVERSAL DE LA VÍA.....	220
5. CALCULO LONGITUDINAL.....	226
IX. APARATOS DE VÍA.....	231
1. INTRODUCCIÓN.....	231
2. PRINCIPALES APARATOS DE VÍA	231
3. PARTES DE UN DESVÍO	234
4. ACCIONAMIENTO	237
5. DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD.....	241
6. CARACTERIZACIÓN DE LOS DESVÍOS.....	242
7. VELOCIDAD DE PASO POR LOS DESVÍOS.....	243
8. PRINCIPALES MAGNITUDES DE UN DESVÍO.....	243
9. DISCONTINUIDADES EN LOS DESVÍOS	245
10. DESVÍOS DE ALTA VELOCIDAD.....	246
11. OTROS APARATOS DE VÍA	249
X. CONTROL DEL TRÁFICO FERROVIARIO.....	255
1. FUNCIONES	255

2. CARACTERÍSTICAS.....	255
3. SISTEMAS DE CONTROL DE TRÁFICO.....	259
4. CONTROL DE TRÁFICO EN LAS LÍNEAS DE ALTA VELOCIDAD	267
XI. MATERIAL MÓVIL.....	275
1. TRENES CONVENCIONALES Y AUTOMOTORES	275
2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL MATERIAL MÓVIL	279
3. PARTES DEL MATERIAL MOVIL FERROVIARIO.....	284
4. TIPOS DE MATERIAL MOVIL REMOLCADO	286
XII. LA TRACCIÓN FERROVIARIA	293
1. DEFINICIÓN.....	293
2. ELECCIÓN DEL SISTEMA DE TRACCIÓN	294
3. LA TRACCIÓN VAPOR.....	300
4. LA TRACCIÓN ELÉCTRICA	306
5. LA TRACCIÓN DIÉSEL	327
6. LA TRACCIÓN DUAL.....	333
XIII. SERVICIOS DE TRANSPORTE FERROVIARIO EN ESPAÑA.....	337
1. INTRODUCCIÓN.....	337
2. SERVICIOS DE VIAJEROS	337
3. SERVICIOS DE TRANSPORTE DE MERCANCÍAS	349
XIV. EL FERROCARRIL EN ESPAÑA: PRESENTE Y FUTURO.....	357
1. INTRODUCCIÓN.....	357
2. ¿QUÉ ES LA ALTA VELOCIDAD?	357
3. INTEROPERABILIDAD: LA META FERROVIARIA DE LA UNIÓN EUROPEA	358
4. LOS PLANES DE INFRAESTRUCTURAS DEL TRANSPORTE	369
5. MARCO LEGISLATIVO.....	379
XV. BIBLIOGRAFÍA.....	389



Fotografía: F. Aranda

Figura 15: Limón Expres en la línea Alicante-Denia, gestionada por Ferrocarriles de la Generalidad Valenciana. Viaducto del Mascarat, Calpe (Alicante)

Por un lado, la forma en que se está extendiendo la nueva red de alta velocidad (construyendo una red superpuesta a la existente y con distinto ancho de vía), está configurando un mapa ferroviario único en el mundo, con nuevas líneas en muchas ocasiones paralelas a las existentes (algunas de las cuales ya contaban con doble vía, buen trazado, electrificación y modernos sistemas de señalización y comunicaciones) pero con muchas limitaciones para su explotación conjunta.

Respecto al ancho de vía, según la actualización de la Declaración de Red de ADIF de 2024 pueden apreciarse estas dos redes ferroviarias, la convencional de ancho ibérico (con 11.270 km, el 79% de la longitud total) y la de alta velocidad (con 3.356, el 21%). Dada la evolución de la red de alta velocidad, cabe señalar que si bien históricamente el problema de interoperabilidad tan sólo se presentaba en España en Irún y en Portbou (el enlace de Puigcerdá tiene mucha menor importancia), en los últimos años ha extendido por toda la red española, a medida que avanza la construcción de nuevas líneas de alta velocidad. Así pues, en aquellos puntos en los que se quieren conectar ambas redes hay que instalar cambiadores de ancho y, además, por duplicado (tecnologías TALGO y CAF). Hay que tener en cuenta que estas instalaciones, que se van construyendo a medida que se terminan nuevos tramos, suponen una gran inversión adicional para ADIF,

llamar remolques. Los automotores también se caracterizan porque siempre suelen tener dos cabinas de conducción, una en cada extremo (es decir, los coches extremos, sean motor o remolque, siempre suelen tener cabina). Por lo tanto, los automotores son trenes sin locomotora como tal formados por combinaciones de coches motores (M) y remolques (“R” en general, “Ri” para designar a un remolque intermedio y “Rc” para designar un remolque con cabina). Configuraciones típicas de automotores son:

- Coche motor (M).
- Coche motor – remolque(s) intermedio(s) - remolque con cabina (denominación: M - Ri - ... - Rc).



Fotografía: F. Calvo (2005)

Figura 189. Unidad eléctrica de la serie 432 (M – R – Rc). Tudela (Navarra)

- Coche motor - coche motor (M - M).
- Coche motor – coche(s) intermedio(s) - coche motor (denominación: M - Ri - ... - M).
- Alternancia de ambos (M – R – M -...- M – R – M).
- M – M -...- M – M.

Además, pueden formarse trenes de automotores mediante una “doble composición” (dos automotores circulando acoplados), “triple composición” (tres automotores), etc. En ese caso, el tren de automotores se controla a través del “mando múltiple”.

Los vehículos articulados que mejor se inscriben en las curvas son los trenes articulados guiados, en los cuales el eje siempre se sitúa radialmente, y por ello, la rueda es tangente a los carriles. Esta tecnología fue desarrollada por el ingeniero Alejandro Goicoechea en 1941, dando lugar a la creación de los trenes Talgo (tren articulado ligero Goicoechea – Oriol).



Fotografía: F. Calvo (2005)

Figura 197. Tren Miguel de Unamuno (252 + Talgo III) Barcelona-Hendaya. Castejón (Navarra)

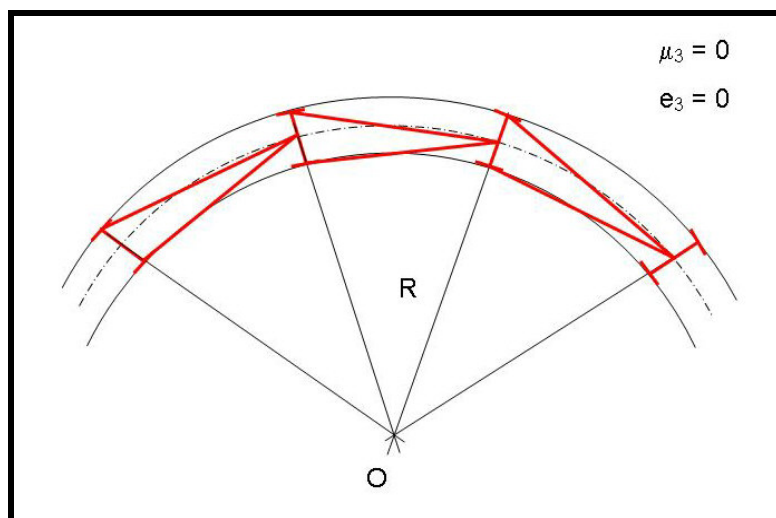


Figura 198. Inscripción en curva de un tren con ejes articulados guiados

- **Denominación**

La denominación de las locomotoras de vapor se basa en el número de sus ejes portantes (utilizados para repartir el peso de la máquina, pueden ser delanteros, traseros e incluso intermedios; los ejes portantes delanteros también mejoran el guiado del tren; los ejes portantes pueden ser independientes o ir agrupados en bogies) y de sus ejes motores (acoplados por bielas a los cilindros y entre ellos). Si se le añade una T significa que se trata de una máquina-ténder, es decir, que estos depósitos se sitúan sobre el propio bastidor de la máquina (normalmente los de agua en los laterales y el de carbón en la parte trasera; véase Figura 217).



Fotografía: F. Calvo (2017)

Figura 217. Locomotora-ténder (1-4-2T). Regua (Portugal)

La incorporación del ténder en la propia máquina contribuye a aumentar su peso adherente, lo que le permite desarrollar una mayor potencia. Por ello este sistema se emplea sobre todo en las máquinas de pequeña y mediana potencia. En las máquinas mayores normalmente el tender es remolcado (Figura 218).

Si no se indica nada, quiere decir que el ténder es remolcado. A veces, en el caso de ténder remolcado, se incluye éste en la denominación mediante un signo “+” tras la denominación de la locomotora, seguido de un número que indica el número de ejes del tender y la letra T. A continuación se incluyen como ejemplo algunas



Fotografía: F. Calvo (2008)

Figura 224. Doble tracción de locomotoras eléctricas BoBo serie 2500 de CP. Cuentan con bogies BoBo y funcionan a 25 kV en corriente alterna. Pampilhosa (Portugal)

4.4. Comparación sistemas de electrificación corriente continua/alterna

Desde su nacimiento, se le viene exigiendo al ferrocarril trenes más veloces y capaces de arrastrar mayores cargas. A nivel de tracción esto se traduce en la necesidad de material motor más potente. En el caso de la tracción eléctrica la potencia que se puede desarrollar depende de la tensión y la intensidad que circula por la catenaria:

$$P = V * I$$

Pero las pérdidas energéticas en el transporte de energía a lo largo de la catenaria son proporcionales a la intensidad, por lo que conviene que ésta sea lo menor posible:

$$\Delta V = R * I$$

*donde $R = r * L$ es la resistencia del hilo de alimentación ($r = 0,06 \Omega/\text{km}$)*

Por lo tanto, el medio para obtener más potencia de una forma barata es elevar la tensión. Con la electrificación en corriente continua no suelen alcanzarse tensiones superiores a los 3.000 V, mientras que con la electrificación en corriente alterna normalmente se trabaja con tensiones de 25.000 V. Por lo tanto, con la electrificación en