
Una introducción al ferrocarril

Elementos constituyentes de la superestructura (Vol. 1)

Ricardo Insa Franco

Pablo Salvador Zuriaga

Pablo Martínez Fernández

Ignacio Villalba Sanchis

Carla García Román

EDITORIAL
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

2016

Colección Manual de Referencia

Los contenidos de esta publicación han sido revisados mediante el sistema *doble ciego*, **siguiendo el procedimiento que se recoge en:**
<http://www.upv.es/entidades/AEUPV/info/891747normalc.html>

Primera edición, 2016 (versión impresa)
Primera edición, 2016 (versión electrónica)

© Ricardo Insa Franco
Pablo Salvador Zuriaga
Pablo Martínez fernández
Ignacio Villalba Sanchis
Carla García Román

© de la presente edición: Editorial Universitat Politècnica de València
distribución: Telf.: 963 877 012 / www.lalibreria.upv.es / Ref.:6251_01_01_01

ISBN: 978-84-9048-382-4 (versión impresa)
ISBN: 978-84-9048-497-5 (versión electrónica)

La Editorial UPV autoriza la reproducción, traducción y difusión parcial de la presente publicación con fines científicos, educativos y de investigación que no sean comerciales ni de lucro, siempre que se identifique y se reconozca debidamente a la Editorial UPV, la publicación y los autores. La autorización para reproducir, difundir o traducir el presente estudio, o compilar o crear obras derivadas del mismo en cualquier forma, con fines comerciales/lucrativos o sin ánimo de lucro, deberá solicitarse por escrito al correo edición@editorial.upv.es.

UNA INTRODUCCIÓN AL FERROCARRIL

VOLUMEN I

**ELEMENTOS CONSTITUYENTES DE LA
SUPERESTRUCTURA**

ÍNDICE DE CAPÍTULOS

Volumen I: ELEMENTOS CONSTITUYENTES DE LA
SUPERESTRUCTURA

Capítulo 1: Constitución de la vía

Capítulo 2: El Carril

Capítulo 3: La Traviesa

Capítulo 4: El Balasto

Capítulo 5: Vía con y sin juntas

Capítulo 6: El sistema de fijación carril-traviesa

Capítulo 7: Aparatos de vía

Volumen II: ELEMENTOS CONSTITUYENTES DE LA
INFRAESTRUCTURA

Capítulo 1: Movimiento de tierras y pequeñas obras de fábrica

Capítulo 2: Capas constituyentes de la plataforma

PRÓLOGO

El presente libro nace con vocación de servir como manual de referencia para los estudiantes de las diferentes asignaturas relacionadas con la materia de ferrocarriles. En él se recogen los conocimientos básicos y la experiencia de los autores en materia docente, así como en el ejercicio de su profesión como ingenieros encargados de la construcción, mantenimiento y explotación de infraestructuras ferroviarias.

No obstante, *Una introducción al ferrocarril* no es sólo un manual académico que le servirá al lector para iniciarse en el ámbito ferroviario sino que pretende ser, además, un libro de consulta que sirva como guía en las fases de diseño y mantenimiento de la vía ferroviaria. Con este fin, se han separado los capítulos en dos áreas de conocimiento.

La primera, titulada *Elementos constituyentes de la superestructura*, trata del diseño, fabricación y montaje de los diferentes elementos que forman parte de una vía: los carriles, las traviesas, el balasto, las sujeciones, etc. La segunda, *Elementos constituyentes de la infraestructura*, trata de la configuración y los métodos constructivos empleados en las infraestructuras ferroviarias.

Para facilitar la comprensión del libro, en todos los capítulos pueden diferenciarse cuatro aspectos que, dependiendo de cada caso en particular, contienen los siguientes apartados:

- I. Conceptos teóricos básicos
- II. Conceptos relacionados con la fase de proyecto: criterios de dimensionamiento
- III. Conceptos relacionados con la fase fabricación y puesta en obra
- IV. Conceptos relacionados con la fase de uso y explotación

En aquellos temas en los que se ha considerado oportuno, se han incluido también una serie de ejercicios prácticos con objeto de reforzar

los conceptos expuestos previamente. Se busca así dar al lector, no sólo los conocimientos teóricos necesarios, sino también una aplicación práctica en cada una de las fases de la infraestructura ferroviaria.

ÍNDICE

Prólogo	9
Índice	11
Capítulo 1. Constitución de la vía	19
Índice del capítulo.....	21
1. Introducción	23
2. El sistema de rodadura.....	24
2.1. Cualidades generales de la vía.....	28
2.2. Definiciones básicas de los elementos constituyentes del camino de rodadura	30
2.3. La importancia de la geometría de la vía	34
3. Funciones del sistema de rodadura.....	36
3.1. Transmisión de cargas.....	36
3.2. Los esfuerzos dinámicos	38
3.3. El guiado de los vehículos	39
4. Parámetros que definen la sección transversal	47
4.1. Ancho de vía	48
4.2. sobreaño en curvas.....	53
4.3. Entrevía	54
4.4. El entreeje como una definición de entrevía	55
4.5. Ancho de la plataforma	56
4.6. Gálibo	57
Bibliografía.....	60
Capítulo 2. El Carril	61
Índice del capítulo.....	63

1. Introducción.....	65
2. Funciones.....	66
3. Características	66
3.1. Solución de compromiso	66
3.2. Material.....	70
3.3. Forma	77
3.4. Peso	84
4. Fabricación.....	88
4.1. Fabricación del acero. Métodos de obtención	89
4.2. Laminación	91
4.3. Acabado	92
4.4. Tensiones internas residuales	93
4.5. Defectos de fabricación	93
5. Criterios para la elección del carril	94
5.1. Recopilación de datos o condicionantes externos.....	94
5.2. Elección de la Resistencia a tracción	95
5.3. Elección del tipo de perfil.....	97
6. Control de calidad	102
6.1. Ensayos en fábrica	102
6.2. Recepción	103
7. Procedimiento constructivo. Ideas básicas del montaje.....	104
7.1. Posicionamiento de los carriles	104
7.2. Defectos de ejecución	106
8. Desgaste de los carriles	107
8.1. Causas de los defectos de uso (o desgastes).....	107
8.2. Tipos de defectos	108
9. Regeneración de carriles	109
Bibliografía	111

Capítulo 3. La Travesía	113
Índice del capítulo.....	115
1. Introducción	117
2. Generalidades	118
2.1. Definición	118
2.2. Funciones	118
2.3. Formas típicas	119
3. Tipos de traviesas	120
3.1. Traviesas de madera	120
3.2. Traviesas metálicas	130
3.3. Traviesas de hormigón	134
4. Diseño de la traviesa	141
4.1. Elección del material.....	141
4.2. Dimensionamiento	142
4.3. Espaciamiento	145
5. Control de calidad.....	147
5.1. Ensayos estructurales durante el proceso de fabricación.....	147
5.2. Recepción.....	147
5.3. Ensayos en vía	150
6. Puesta en obra	150
7. Regeneración de traviesas	151
7.1. Regeneración de traviesas de madera	151
7.2. Regeneración de traviesas metálicas	152
Bibliografía.....	153
Capítulo 4. El Balasto	155
Índice del capítulo.....	157
1. Introducción	159

2. Definición y conceptos generales.....	160
2.1. Definición.....	160
2.2. Procedencia del balasto	161
2.3. Análisis de la distribución de tensiones a través del balasto	162
3. Funciones del balasto	165
4. Características generales.....	168
4.1. Tipos de rocas de origen	168
4.2. Forma del balasto.....	175
4.3. Dimensión de las piedras	177
4.4. Características mecánicas	178
5. La contaminación del balasto.....	180
6. Control de calidad del balasto	182
6.1. Muestreo	183
6.2. Ensayos identificativos y de composición.....	184
6.3. Ensayos para determinar los requisitos geométricos	185
6.4. Ensayos para determinar las propiedades físicas	192
6.5. Componentes perjudiciales	201
7. Diseño de la banqueta de balasto.....	201
7.1. Datos previos. Clasificación de la línea.....	202
7.2. Elección del material	206
7.3. Dimensionamiento de la banqueta	207
8. Puesta en obra del balasto.....	212
8.1. El origen del material. Las canteras	212
8.2. Control de recepción	217
8.3. Puesta en obra	217
9. Desgaste del balasto.....	219
9.1. Por redondeo de las partículas.....	220
9.2. Por contaminación por finos	221

10. Regeneración y reutilización del balasto	221
Bibliografía.....	222
Capítulo 5. Vía con y sin juntas	223
Índice del capítulo.....	225
1. Introducción	227
2. Vía con juntas.....	228
2.1. Condiciones de trabajo	229
2.2. Tipología de juntas	230
3. Partes de las juntas	231
3.1. Bridas.....	232
3.2. Tornillos	233
3.3. Conexiones.....	234
4. Juntas especiales	235
5. Problemática de la vía con juntas	237
6. La vía sin juntas.....	237
6.1. Ventajas e inconvenientes	238
6.2. Definición	238
6.3. Análisis teórico de la vía sin juntas	239
6.4. Aparatos de dilatación	242
6.5. Condiciones de implantación de la B.L.S.....	243
7. Diseño de las vías sin juntas	245
7.1. Diseño de las soldaduras.....	245
7.2. Diseño de los aparatos de dilatación	246
8. Puesta en obra y control de la vía sin juntas	249
8.1. Soldadura eléctrica en taller	249
8.2. Control de recepción.....	250
8.3. La neutralización de tensiones	252

8.4. Soldadura aluminotérmica in situ.....	259
Bibliografía	263
Capítulo 6. El sistema de fijación carril-traviesa	265
Índice del capítulo	267
1. Introducción.....	269
2. Definición y funciones de la sujeción.....	270
2.1. Funciones.....	270
2.2. Caracterización técnica y económica	270
3. Elementos del sistema de fijación	273
3.1. Placa de asiento	273
3.2. Otro pequeño material.....	274
4. Tipos de sujeciones.....	276
4.1. Según la disposición de elementos básicos	276
4.2. Según su naturaleza.....	278
5. Diseño y elección de las sujeciones.....	285
6. Control de calidad. Ensayos en sujeciones.....	286
6.1. Ensayo de resistencia al deslizamiento longitudinal.....	286
6.2. Ensayo de resistencia a la torsión	287
6.3. Ensayo de fuerza de apriete.....	287
6.4. Ensayo de rigidez vertical.....	287
6.5. Ensayo de atenuación de cargas de impacto	287
6.6. Ensayo dinámico de carga inclinada	287
6.7. Ensayo de resistencia a las condiciones ambientales adversas.....	288
6.8. Ensayo de resistencia eléctrica	288
6.9. Otros ensayos	288
7. Puesta en obra	289
Bibliografía	290

Capítulo 7. Aparatos de vía	291
Índice del capítulo.....	293
1. Introducción.....	295
2. Definición y funciones.....	295
3. Clasificación de aparatos.....	296
3.1. Aparatos de vía sencillos.....	296
3.2. Aparatos de vía compuestos y de maniobras.....	298
4. Elementos del desvío.....	300
4.1. Cambio.....	300
4.2. Cruzamiento.....	304
5. Diseño de los desvíos.....	307
5.1. Conceptos básicos.....	307
5.2. Encaje del desvío y definición de parámetros.....	308
5.3. Pasos para el diseño de los desvíos.....	333
Bibliografía.....	336
Epílogo	337

CAPÍTULO 1
CONSTITUCIÓN DE LA VÍA

RICARDO INSA FRANCO, PABLO SALVADOR ZURIAGA

ÍNDICE DEL CAPÍTULO

1. Introducción	23
2. El sistema de rodadura.....	24
2.1. Cualidades generales de la vía.....	28
2.1.1. Resistencia	29
2.1.2. Flexibilidad	29
2.1.3. Continuidad.....	29
2.1.4. Homogeneidad.....	30
2.2. Definiciones básicas de los elementos constituyentes del camino de rodadura.....	30
2.2.1. Infraestructura	30
2.2.2. Superestructura.....	31
2.2.3. Instalaciones complementarias	34
2.3. La importancia de la geometría de la vía	34
3. Funciones del sistema de rodadura.....	36
3.1. Transmisión de cargas.....	36
3.2. Los esfuerzos dinámicos	38
3.3. El guiado de los vehículos	39
3.3.1. Características generales del material móvil.....	40
3.3.2. Movimiento de lazo	44
3.3.3. Juego de vía	45
4. Parámetros que definen la sección transversal	47
4.1. Ancho de vía.....	48
4.1.1. Definición	48
4.1.2. Ventajas e inconvenientes de la vía estrecha	52
4.2. Sobreancho en curvas.....	53

4.3. Entrevía.....	54
4.4. El entreeje como una definición de entrevía	55
4.5. Ancho de la plataforma	56
4.6. Gálibo.....	57
4.6.1. Gálibos de material móvil	58
4.6.2. Gálibo de obra.....	58
Bibliografía.....	60

1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo introductorio se pretende poner de relieve que la antigua concepción del ferrocarril, ha evolucionado hacia el concepto de sistema formado por una serie de subsistemas, los cuales deben funcionar de forma equilibrada para que el sistema completo resulte aceptable.

El sistema ferroviario se considera constituido por una serie de subsistemas: infraestructura, superestructura, instalaciones de control de tráfico y señalización, alimentación a la tracción, comunicaciones, los vehículos, etc. Cada uno de ellos, a su vez, resulta de una amplitud tal, que da lugar a estudios en diversas ramas del saber. El sistema ferroviario, en definitiva, resulta de alta complejidad y requiere del trabajo en equipo de personas preparadas en muy distintas tecnologías.

Para empezar, se analizarán una serie de características generales del sistema ferroviario como son el contacto de la rueda y el carril, su adherencia, la importancia de tratarse de un sistema guiado, el ancho de vía, el gálibo, tipo de material rodante, etc. En el caso europeo, todas estas características implican lo que se denominará “factores frontera”, que supone la inexistencia de una verdadera red ferroviaria europea. Aunque el ancho de vía en todos los países europeos fuera el mismo, los trenes no podrían circular entre muchos países pues, a este factor, se debe añadir la falta de unificación en cuanto a sistemas de señalización, instalaciones de electrificación, gálibos, normas y procedimientos de explotación y mantenimiento, idiomas, etc. Actualmente se trabaja en todos estos factores técnicos, además de los administrativos y jurídicos, para poder superar el efecto barrera que suponen. En ese sentido, las normas de interoperabilidad que se están desarrollando actualmente y desde hace pocos años, pretenden ser la base del desarrollo de una futura red europea.

Entrando más en detalle, dentro del análisis del subsistema referido a la superestructura ferroviaria, se debe atender a las funciones y características de los elementos constituyentes del emparrillado y su apoyo en la plataforma. Así pues, se estudiará el carril, las traviesas, las sujeciones y el balasto y, en su caso, la vía que sustituye el balasto por otros elementos más rígidos (normalmente hormigón), dando lugar a lo

que se conoce como vía en placa. También se verán los aparatos de vía y su funcionalidad en la operación de vehículos.

2. EL SISTEMA DE RODADURA

El camino de rodadura del sistema ferroviario o tranviario está constituido por la infraestructura y la superestructura. Cuando se habla de infraestructura de un país, entendemos como tales la mayor o menor facilidad para desplazarse a través de carreteras o sistemas férreos, pero también, los servicios postales, de electricidad, de instalaciones urbanas, etc. Pero cuando se habla de infraestructuras ferroviarias nos referimos a todas aquellas obras de tierra y de fábrica (terraplenes, desmontes, viaductos, túneles, etc.) que sirven para materializar una superficie llamada plataforma, de una determinada calidad en la cual se pueda proceder al montaje de vía con unas características definidas de calidad inicial y durabilidad. Por supuesto, la infraestructura también es la base de apoyo o alojamiento de las instalaciones que completan el sistema, como la electrificación, la señalización, las comunicaciones y todas aquellas otras que ayudan a la explotación, aunque no resulten estrictamente ferroviarias, como son escaleras mecánicas y ascensores, teleindicadores, ventilación, torniquetes, máquinas expendedoras de billetes, cámaras de vídeo, etc., casi todas ellas en estaciones.



Figura 1.1. Construcción del puente sobre el Ebro en la línea del Corredor Mediterráneo, tramo Valencia-Tarragona.

En el subsistema que comprende la infraestructura, se contempla la realización de importantes obras de fábrica y grandes movimientos de tierras para poder materializar una superficie suficiente, sensiblemente menor que la que ocuparía una carretera, donde ubicar los materiales específicos del camino de rodadura ferroviario.



Figura 1.2. Instalaciones ferroviarias en el puerto de Veracruz, México.

El emparrillado, constituido por el carril y las traviesas (con sus correspondientes sujeciones), descansa bien sobre un lecho de balasto, o bien, sobre una losa de hormigón (vía en placa). La vía, por tanto, está constituida por elementos de distinta naturaleza y que, en conjunto, materializan un camino de rodadura donde se producen esfuerzos muy grandes generados por las cargas que transportan los vehículos. Estos esfuerzos tienden a deformar la vía en mayor o menor magnitud, en función del tipo de vía montado, por lo que se requiere una importante labor de mantenimiento. En este sentido, una vía sobre hormigón requiere menos mantenimiento, pero más inversión inicial. Así, resulta fundamental la idea de que el coste total de un sistema, no solo es el coste de su construcción, sino también el coste de explotación y mantenimiento. Esto resulta especialmente determinante en una situación de liberalización del transporte ferroviario con líneas concesionadas ya que las empresas son las responsables de la construcción, pero también lo son de la explotación y del mantenimiento durante largos periodos de tiempo.

Sobre el camino de rodadura definido circula el material móvil, que es específico de cada actividad ferroviaria. Los vehículos para viajeros se denominan coches ferroviarios, siendo los vagones el material móvil empleado para transportar mercancías. Dentro de cada uno de estos grupos también existen diferencias notables en función del servicio a prestar, teniéndose material para cercanías, media distancia, larga distancia y alta velocidad, metros ligeros y tranvías. La tipología para vagones también resulta muy amplia, en función de la mercancía transportada, de la forma, pesos, materiales y dimensiones.



Figura 1.3. Diversas tipologías de vagones para mercancías.

Además de la diversidad citada, el estado de conservación del material rodante es un factor que influye en el deterioro de la vía por lo que, en función de su estado, debe asumir un cánon mayor al circular por una vía. Este cánon es una de las cuestiones más importantes que se tienen que definir al establecer las circulaciones por una red europea. Piénsese que, entre otras cuestiones, la determinación del cánon que se debe abonar para circular por una vía debe definirse en función de variables tan diversas como la ocupación de vía, deterioro de la calidad de la vía, cargas, velocidades, estado de los vehículos, etc.

La vía, técnicamente concebida como se ha descrito, con sus diversos subsistemas, es usada básicamente por los trenes de mercancías con sus vagones y locomotoras para la tracción y por los coches para viajeros.

Las cargas que debe soportar la vía se limitan en Europa a 22,5 t/eje (toneladas por eje), pero pueden alcanzar las 40 t/eje, como es el caso de algunos estados de Norteamérica. En general, las cargas ferroviarias pueden llegar a circular a velocidades de hasta de 100 ó 120 km/h para el caso de las mercancías, alcanzar los 200 a 220 km/h en líneas convencionales de viajeros y pueden rebasar los 300 km/h en algunos

países que disponen de líneas de alta velocidad, en este caso solo para viajeros.

Como resumen, se concluye que el fin básico que se exige a una vía férrea es el de transportar viajeros y mercancías de una forma económica que permita la competencia con otros modos de transporte, por lo que, en su concepción en la fase de proyecto y en su construcción, se deben considerar aspectos tan importantes como son:

- a) Velocidades a las que se desea operar, así como las cargas que se van a permitir para evitar fallos bajo tráfico y con capacidad geométrica, ya sea con carga o sin ella.
- b) Para el caso de vías exclusivas para viajeros, o vías de tráfico mixto, el camino de rodadura debe resultar confortable. Las locomotoras, los coches y los vagones pueden experimentar vibraciones y oscilaciones que, aunque no resulten peligrosas, generan incomodidad en viajeros y deterioro de las mercancías.
- c) Las modernas instalaciones de señalización y comunicaciones deben estar preparadas para garantizar su funcionamiento incluso con climatología adversa.
- d) La construcción de las vías ferroviarias requiere menos superficie de ocupación que las carreteras, por lo que el impacto producido por la ocupación de terrenos es menor, pero hay que tener especial cuidado en prever los impactos sobre el medio ambiente, como son las escombreras, el ruido, las vibraciones, etc., tanto durante la ejecución de las obras como en la fase de explotación.
- e) El coste total de las instalaciones necesarias para el buen funcionamiento de un ferrocarril debe ser lo más pequeño posible.
- f) El coste del mantenimiento del sistema ferroviario durante la vida útil del mismo debe ser también lo más pequeño posible.

2.1. CUALIDADES GENERALES DE LA VÍA

Todo lo que se espera de una vía ferroviaria desde el punto de vista técnico y económico lleva a considerar cualidades generales del camino de rodadura que aquí señalaremos.

2.1.1. RESISTENCIA

La resistencia o robustez es necesaria para que la vía absorba y transmita las elevadas cargas por eje del material. Además es imprescindible que la vía no adquiera deformaciones permanentes pronunciadas, ni en planta ni en perfil, al paso de dichas cargas.

2.1.2. FLEXIBILIDAD

La flexibilidad o elasticidad de la vía es necesaria para amortiguar la transmisión de esfuerzos del material móvil. A diferencia de los vehículos con neumáticos, los trenes están dotados de llantas rígidas. Por eso, la propia infraestructura también debe aportar la flexibilidad al sistema vía-material móvil.

Las características de robustez y flexibilidad son, en cierto modo contradictorias. Uno de los temas de investigación actuales tiene como objetivo obtener una construcción suficientemente rígida como para soportar grandes cargas y capaz, por otro lado, de absorber las vibraciones causadas por la circulación a gran velocidad y de producir una rodadura suave, atenuando la transmisión de choques y ruidos al material móvil.

2.1.3. CONTINUIDAD

Otra cualidad necesaria en la vía es su continuidad geométrica, tanto en planta como en perfil. En planta son necesarios contactos de segundo orden, que son los logrados con curvas de transición (clotoides, parábolas, etc.). En alzado se requieren contactos de primer orden que son logrados por medio de elementos tangentes sucesivos (tangencia de rampas o pendientes con sus acuerdos verticales, que pueden ser parabólicos o circulares).

Además, la continuidad debe asegurarse también desde el punto de vista dinámico, es decir, la elasticidad de la vía debe procurarse que sea lo más parecida posible en todos los puntos. Dadas las grandes cargas que se transportan y el contacto *acero-acero* que se produce entre la rueda y el carril, cualquier discontinuidad, como por ejemplo un bache, puede dar lugar a que la aceleración instantánea de un eje alcance valores muy elevados, cobrando especial importancia y gravedad en el caso de las altas velocidades.

2.1.4. HOMOGENEIDAD

Se puede también añadir una cuarta cualidad. Hace unos años, la modernidad de un territorio venía definida por la existencia o no del ferrocarril. Actualmente se considera que el sistema férreo se caracteriza por la capacidad de transporte de grandes cargas y transporte masivo de viajeros. Lo contrario a cumplir esta premisa conduce a que otros modos en competencia sean capaces de resolver la cuestión del transporte de forma más eficiente, por lo que, en ese caso, el ferrocarril no tendría sentido.

Por ejemplo, un contenedor que es transportado en barco, a su llegada a puerto puede ser transportado por ferrocarril hasta un almacén intermedio, desde ese punto y hasta su llegada al destino final, posiblemente deberá transportarse por carretera. Esto es, hay trayectos donde otros modos intervienen de forma más eficiente por lo que no debe pretenderse llegar a todos los lugares con el ferrocarril. Cada modo debe tener su intervención allá donde pueda ejercer su función de la forma más eficiente posible.

2.2. DEFINICIONES BÁSICAS DE LOS ELEMENTOS CONSTITUYENTES DEL CAMINO DE RODADURA

Se ha dicho anteriormente que el camino o sistema de rodadura está constituido por la infraestructura y la superestructura, completándose, según los casos con instalaciones complementarias más o menos sofisticadas. Veamos cuales son las características de cada uno de estos elementos.

2.2.1. INFRAESTRUCTURA

La infraestructura o conjunto de obras de tierra y de fábrica son las que materializan la plataforma. Esta superficie constituye la base de apoyo del paquete estructural. En el caso de obras de tierra, se utiliza un conjunto de materiales dispuestos en capas que tienen como misión fundamental la preparación del suelo o, lo que es lo mismo, la preparación de una explanada con una calidad determinada, apta para disponer la superestructura.

Para seguir leyendo haga click [aquí](#)