
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

2015

Colección *Manual de Referencia*

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

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

© 2015, de la presente edición: Editorial Universitat Politècnica de València
distribución: Telf.: 963 877 012 / www.lalibreria.upv.es / Ref.: 0483_05_01_01

Imprime: Byprint Percom, sl

ISBN: 978-84-9048-380-0 (O.C.)
ISBN: 978-84-9049-382-4 (Vol 1)
Impreso bajo demanda

Queda prohibida la reproducción, la distribución, la comercialización, la transformación y, en general, cualquier otra forma de explotación, por cualquier procedimiento, de la totalidad o de cualquier parte de esta obra sin autorización expresa y por escrito de los autores.

Impreso en España

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 entreje 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. Bidas..... | 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 cánón mayor al circular por una vía. Este cánón 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 cánón 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.

Las funciones de la plataforma son:

- permitir el apoyo de la vía y de las instalaciones.
- recibir y absorber los esfuerzos transmitidos por la superestructura.
- evacuar las aguas.

La plataforma está constituida por

- terrenos naturales y seleccionados: terraplenes o desmontes.
- obras de fábrica: puentes, viaductos y túneles.

2.2.2. SUPERESTRUCTURA

La superestructura está situada sobre la infraestructura y constituye el paquete estructural. Está formado por dos hileras de carriles, que se apoyan sobre las traviesas (elementos transversales) y se fijan a ellas a través de las sujeciones. Esto se conoce como *emparrillado*, el cual se apoya en la capa de balasto, a la vez que queda empotrado mediante el relleno de los huecos entre traviesas (cajas), también con balasto.

Las funciones básicas que debe cumplir cada uno de los elementos se exponen a continuación de forma resumida, si bien se explicarán con mayor detenimiento en cada uno de los temas específicos que se verán más adelante.

CARRILES

Los carriles son los elementos metálicos que reciben directamente las cargas que transmiten los vehículos. Tienen las siguientes funciones:

- resistir y transmitir los esfuerzos de los vehículos que le llegan directamente del contacto con las ruedas.
- guiar al material móvil con ayuda de las pestañas de las ruedas.
- conducir las corrientes de señalización y los circuitos de vía.
- conducir corrientes de retorno en líneas con tracción eléctrica.

TRAVIESAS

Las traviesas o elementos transversales al eje de vía, pueden ser de diversos materiales, asumiendo las siguientes funciones:

- recibir, absorber y transmitir los esfuerzos recibidos de los carriles.
- mantener la separación de los carriles, manteniéndolos arriostros.
- posibilitar el apoyo y nivelación de los carriles.

SUJECIONES

Las sujeciones son materiales de pequeño tamaño que sirven para unir los carriles a las traviesas. Tienen las siguientes funciones:

- mantener la unión de los carriles a las traviesas en el sentido longitudinal y transversal.
- absorber y transmitir eficazmente los esfuerzos.
- evitar el vuelco del carril.
- suministrar cierta elasticidad vertical a la vía.

PEQUEÑO MATERIAL

Además de las sujeciones, existe otro tipo del pequeño material o accesorios de vía como las bridas y tornillería para las juntas, los elementos aislantes, etc.

BALASTO U HORMIGÓN

El último de los elementos que forman la superestructura es aquel que está más próximo a la plataforma.

Su naturaleza depende del tipo de superestructura o vía:

- llamaremos vía convencional aquella en la que las traviesas se apoyan sobre el balasto (Figura 4).
- vía no convencional o vía en placa: las traviesas se apoyan sobre una losa de hormigón (Figura 5) o sobre asfalto.

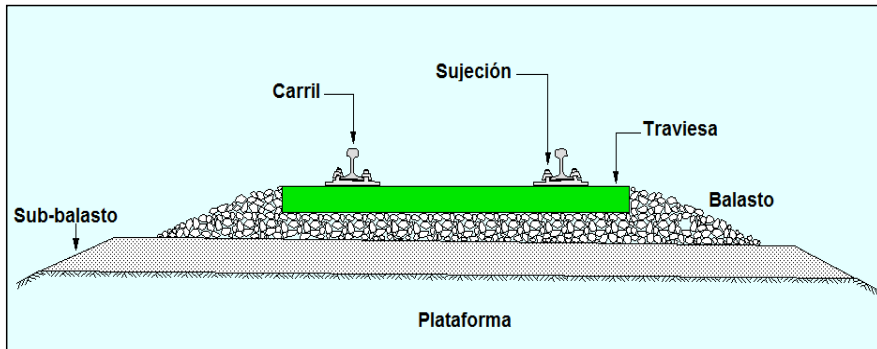


Figura 1.4. Vía convencional sobre lecho de balasto. Fuente: C. Esveld, Modern Railway Track, 2001, p. 225.

Además de la clasificación ferroviaria anterior, conviene saber que existen sistemas que aplican la levitación magnética. Los estudios de estas técnicas se iniciaron en los años 30 del siglo XX, pero por diversos motivos no se ha extendido esta solución. Estas soluciones no son en sentido estricto ferrocarriles pues el camino de rodadura no es el de un ferrocarril, pero comparte con él el hecho de ser un sistema guiado.



Figura 1.5. Vía en placa sobre hormigón. Los carriles quedarán apoyados en una losa continua de hormigón.

En ambos casos, sus funciones son:

- amortiguar y distribuir las cargas a la plataforma.
- constituir un lecho más o menos elástico, en función de si se usa balasto u hormigón.
- dar estabilidad a la vía (horizontal y verticalmente).
- permitir la evacuación de las aguas pluviales.

2.2.3. INSTALACIONES COMPLEMENTARIAS

Las instalaciones son todos los elementos complementarios imprescindibles para la circulación de los trenes. Hay de diversos tipos: de señalización y seguridad, de comunicaciones, de electrificación, estaciones, talleres, etc., que son específicamente ferroviarios, pero también se utilizan otras que, sin serlo (ascensores, escaleras mecánicas, videos de vigilancia, etc.), resultan muy importantes para la operación diaria.

2.3. LA IMPORTANCIA DE LA GEOMETRÍA DE LA VÍA

El camino de rodadura soporta la circulación del material móvil. Entre este camino y los vehículos se produce una interacción que provoca movimientos en el material móvil. A su vez, estos movimientos producen golpes y deformaciones en la vía, en un proceso continuo. Los distintos movimientos a los que está sometido el vehículo generan aceleraciones de sus masas que son las que determinan los esfuerzos sobre la vía y la falta de confort en el viajero. Las variables geométricas a considerar son las siguientes:

Para seguir leyendo haga click aquí