
Una introducción al ferrocarril

Elementos constituyentes de la infraestructura (Vol. 2)

Ricardo Insa Franco

Pablo Salvador Zuriaga

Pablo Martínez Fernández

Ignacio Villalba Sanchis

Carla García Román

Jaime Pallarol Simón

EDITORIAL
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

2016

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
Jaime Pallarol Simón

© 2016, de la presente edición: Editorial Universitat Politècnica de València
distribución: Telf.: 963 877 012 / www.lalibreria.upv.es / Ref.: 0485_08_01_01

Imprime: Byprint Percom, sl

ISBN: 978-84-9048-380-0 (O.C.)
ISBN: 978-84-9048-381-7 (Vol 2)
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 II

**ELEMENTOS CONSTITUYENTES
DE LA INFRAESTRUCTURA**

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

Capítulo 3: Ejercicios de geometría de vía

Capítulo 4: Ejercicios de test

PRÓLOGO

El presente libro nace con vocación de servir como guía o manual de referencia para los alumnos que cursan las diferentes asignaturas relacionadas con la materia de ferrocarriles que se imparten en la ETSICCP de la UPV. En él se recogen los conocimientos básicos y la experiencia del profesorado de la asignatura, tanto en materia docente 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. Éste 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 estas dos áreas de conocimiento.

La primera parte titulada *Elementos constituyentes de la superestructura*, trata de los aspectos de 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 parte, titulada *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 uno o más 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 que 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

Índice de capítulos	7
Prólogo.....	9
Índice	11
Capítulo 1: Movimiento de tierras y pequeñas obras de fábrica	13
Índice del capítulo	15
1. Introducción	17
2. Obras de tierra	17
2.1. Desmontes	18
2.2. Terraplenes	22
3. Obras de fábrica	25
4. Plataforma.....	27
4.1. Definición.....	27
4.2. Filosofía de diseño	27
4.3. Capacidad resistente de una plataforma	28
4.4. Elección del tipo de plataforma	32
5. Capas intermedias	32
5.1. Definición y funciones	32
5.2. Diseño de los espesores de las capas.....	33
Bibliografía	37
Capítulo 2: Capas constituyentes de la plataforma	39
Índice del capítulo	41
1. Introducción	43
2. Constitución de la plataforma	45
2.1. Consideraciones generales.....	45
2.2. Clasificación de suelos.....	45

2.3. Sensibilidad de los suelos ante las heladas	48
2.4. Protecciones de la plataforma	49
3. Clasificación de las plataformas por su capacidad portante	53
3.1. Consideraciones generales	53
3.2. Calidad de suelos para plataformas	54
3.3. Capacidad portante de la plataforma.....	56
3.4. Determinación de e_d	60
4. Capas de asiento ferroviarias.....	63
4.1. Consideraciones generales	63
4.2. Composición de las capas de asiento	64
4.3. Prescripciones de los materiales	67
4.4. Espesores de las capas.....	71
5. Catálogos de estructuras.....	77
Bibliografía.....	82
Capítulo 3: Ejercicios de geometría de vía	83
Índice del capítulo.....	85
1. Introducción al comportamiento del vehículo en curva	87
2. Ejercicios resueltos.....	95
3. Ejercicios propuestos	120
Capítulo 4: Ejercicios de test	123
Índice del capítulo.....	125
1. Introducción	127
2. Preguntas test	127
3. Solución a las preguntas test	161
Epílogo	163

CAPÍTULO 1
MOVIMIENTO DE TIERRAS Y PEQUEÑAS OBRAS DE
FÁBRICA

RICARDO INSA FRANCO, PABLO SALVADOR ZURIAGA, IGNACIO
VILLALBA SANCHIS

ÍNDICE DEL CAPÍTULO

1. Introducción	17
2. Obras de tierra	17
2.1. Desmontes	18
2.1.1. Pendiente del talud	18
2.1.2. Drenaje superficial	19
2.2. Terraplenes	22
2.2.1. Partes de un terraplén.....	23
2.2.2. Consideraciones de diseño.....	23
2.2.3. Paso del agua	24
3. Obras de fábrica	25
4. Plataforma.....	27
4.1. Definición.....	27
4.2. Filosofía de diseño	27
4.3. Capacidad resistente de una plataforma	28
4.3.1. Relación tensión admisible-CBR	29
4.3.2. Relación densidad proctor-CBR	30
4.3.3. Relación empírica e_d -CBR.....	31
4.4. Elección del tipo de plataforma	32
5. Capas intermedias	32
5.1. Definición y funciones	32
5.2. Diseño de los espesores de las capas.....	33
Bibliografía	37

1. INTRODUCCIÓN

Toda línea ferroviaria tiene una estructura, entendida como el conjunto de los componentes que la forman, que se divide en dos partes: la infraestructura y la superestructura.

La infraestructura es el conjunto de obras de tierra y de fábrica que materializan la plataforma sobre la que se dispone la superestructura. Esta última está formada por los elementos sobre los que circula el material móvil (carril, traviesas, balasto) ya vistos en los capítulos anteriores.

En este capítulo nos centraremos en la infraestructura. En el Apartado 2 explicaremos las particularidades de las obras de tierra que son los desmontes y terraplenes. Se hablará tanto de sus funciones como de sus elementos, incluyendo los dispositivos de drenaje.

Cuando el trazado en alzado está muy por encima o por debajo del terreno natural, se hace inviable que la infraestructura esté compuesta sólo por obras de tierra. Se requerirían grandes cantidades de tierra en desmontes y terraplenes. En este caso, tal y como se explica en el Apartado 3, son necesarias obras de fábrica. Estas estructuras de acero u hormigón permiten salvar grandes desniveles superiores (puentes y viaductos) o inferiores (túneles y obras subterráneas).

Sobre las obras de tierra se dispone la plataforma, estructura que se realiza partiendo de un objetivo principal: debe servir de apoyo de la estructura ferroviaria minimizando los problemas de conservación. Esto pasa por un buen conocimiento de la mecánica de suelos. En el Apartado 4 se explican las distintas propiedades útiles para conocer la capacidad resistente de una plataforma.

Sobre la plataforma se disponen las capas intermedias, en el Apartado 5 se explican sus propiedades y funciones así como algunos criterios de diseño establecidos en la norma española.

2. OBRAS DE TIERRA

Una vez diseñado el trazado en alzado, se conocen los tramos en los que la vía estará por encima o por debajo del terreno natural. Las obras

de tierra son las excavaciones o los depósitos de material que permiten posicionar la vía en la cota establecida en el trazado en alzado.

Cuando el perfil longitudinal de la vía debe estar por encima del terreno natural hablamos de terraplenes. En el caso contrario (vía por debajo del terreno natural) hablamos de desmontes. Así, las obras de tierra son la sucesión de los desmontes y terraplenes que crean la infraestructura sobre la que se dispone la plataforma. Puede haber tramos *a media ladera* (una parte en desmonte y otra en terraplén).

Cabe resaltar la importancia de la infraestructura puesto que determina aspectos clave del posterior mantenimiento de la vía. Su diseño se ha basado en el avance de la mecánica de suelos y rocas.

Al principio, no se conocía bien el comportamiento del ferrocarril por lo que se extrapoló la metodología de diseño desde la carretera. Más tarde, los estudios en el ámbito ferroviario fueron desarrollándose consiguiendo adquirir conocimientos suficientemente especializados para el sector ferroviario.

2.1. DESMONTES

Un desmonte es una excavación en el terreno (generalmente en trinchera o V) que permite posicionar el perfil longitudinal de la vía cuando ésta debe estar por debajo del terreno natural.

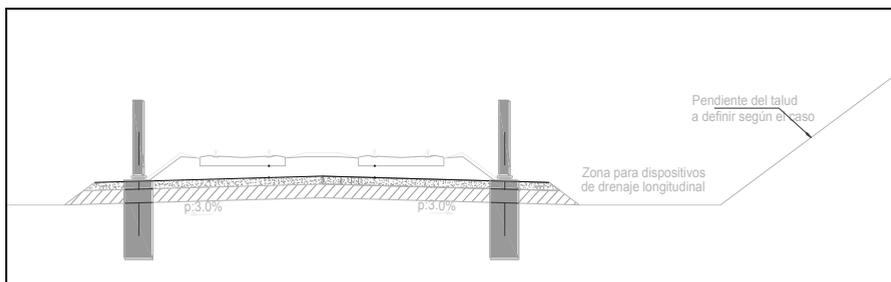


Figura 1.1. Sección transversal de un desmonte

2.1.1. PENDIENTE DEL TALUD

La parte fundamental de un desmonte son sus taludes, esto es la inclinación de las tierras excavadas. Para determinar ese valor, es necesario realizar un estudio geotécnico que proporcionará el tipo de

terreno que se tiene y ángulo de inclinación de los taludes garantizando la estabilidad del mismo.

A título orientativo:

Tabla 1.1. Taludes orientativos para distintas naturalezas de suelo

Tipo de terreno	TALUD H/V
Margas o calizas no muy sanas	1/2
Roca en general	3/2
Granitos, gneiss	1/5
Rocas sanas	1/1
Arcillas	1/2

Una elección acertada de la pendiente del talud evita: desprendimientos, bolos y cantos rodados con la correspondiente erosión que acarrearán, obras de protección que implican un coste importante o deslizamientos de ladera. Muchas veces, aunque implique realizar un talud más tendido es necesario asegurar la seguridad de la obra de tierra.

Desde el punto de vista geológico, cabe distinguir entre materiales rocosos con taludes que pueden llegar a ser verticales y materiales blandos que requieren taludes más tendidos.

Es evidente, que todos los terrenos no admiten taludes más o menos inclinados y que aseguren su perfecto funcionamiento, es el caso de terrenos muy fracturados, por ejemplo. En estos casos, puede que sí sea necesario aplicar técnicas de sostenimiento como anclajes o bulones o construir obras de protección como muros, falsos túneles, etc.

2.1.2. DRENAJE SUPERFICIAL

Un desmonte no deja de ser una gran zanja en el terreno, una brecha que pone freno a la continuidad del mismo. En este sentido, la escorrentía superficial se ve alterada.

Por ello, se debe diseñar el correspondiente sistema de drenaje superficial que servirá para canalizar el flujo superficial de agua que se crea en periodos de lluvia y evitar que ésta discurra libremente. Si esto ocurre habrá una afección directa al talud, ya que si se introduce agua

por las grietas se puede desencadenar un movimiento de la masa de tierra.

Un buen diseño del sistema de drenaje de la plataforma implica un análisis detallado de la topografía del terreno, vigilando la captación de aguas y las líneas de escorrentía.

Los elementos del sistema de drenaje superficial se dividen en dos grupos: las cunetas de coronación o de guarda y el drenaje de la plataforma.

CUNETAS DE GUARDA

Las cunetas de guarda se colocan en la coronación de los desmontes. Sirven para captar las aguas que llegan a la vía férrea procedentes de terrenos más altos y su función principal es conducir dichas aguas hasta las cunetas de la explanación.



Figura 1.2. Cuneta de guarda y trayectoria del agua hasta la explanación

Como se muestra en la Figura 1.2, las aguas pueden pasar desde la cuneta de guarda hasta la cuenta de la plataforma de forma directa, cuando se acaba el desmorte o, tal y como muestra la Figura 1.3, por medio de bajantes de hormigón dispuestas de forma continua por el desmorte.

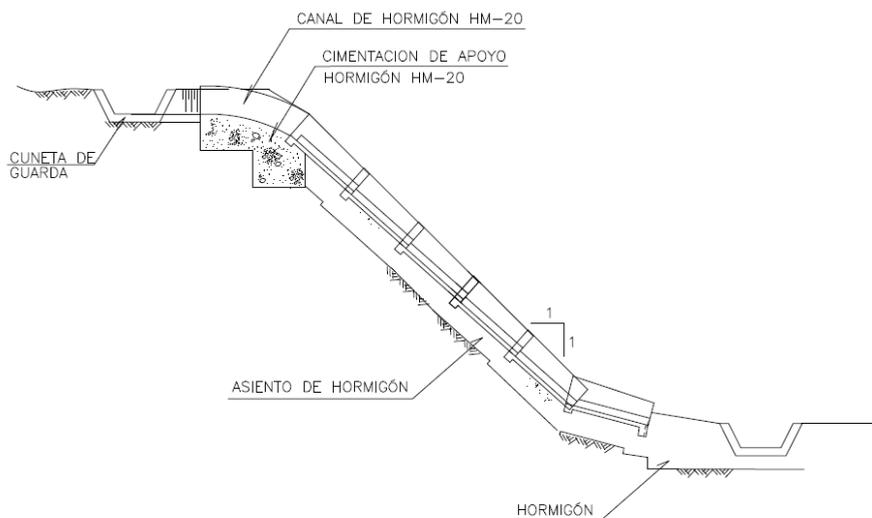


Figura 1.3. Vista de una bajante de hormigón

Según su pendiente pueden estar revestidas de hormigón o no, para evitar filtraciones que puedan contribuir a la inestabilización del talud. Sin embargo, a pesar de sus ventajas, es necesario considerar que la entalladura que se realiza en el terreno para su ejecución produce un corte del terreno que puede ser el inicio de un círculo de deslizamiento.

Por otra parte, la degradación superficial del talud se debe controlar procurando que la circulación del agua que no pueda ser conducida por cunetas de guarda lo haga a la menor velocidad posible, para lo que resulta positivo el uso de plantaciones que frenan el impacto del agua de lluvia.

DRENAJE DE PLATAFORMA

El drenaje de la plataforma puede ser de dos tipos: drenaje superficial y drenaje profundo. Las cunetas son los elementos principales del drenaje

superficial y los drenes y arquetas son los componentes del drenaje profundo.

Las cunetas tienen como misión:

- Recoger y evacuar las aguas de escorrentía de los taludes, las procedentes de la propia plataforma y las infiltradas a través del balasto.
- Conducir el agua hacia las obras transversales de drenaje longitudinal (OTDL). Que son elementos transversales al eje de la vía que crean una vía de escape para el agua de las cunetas.

El drenaje superficial, generalmente, no es una medida suficiente, pero sí necesaria. Lo primero que debe hacerse es que todos los arroyos, torrentes y corrientes permanentes o temporales de todo género deben ser desviados antes de llegar a la zona de corrimiento. Además, se deben buscar todas las fuentes o salidas de agua en el corrimiento, propiamente dicho, y deben ser captadas y conducidas fuera del área.

El drenaje profundo está formado por drenes y arquetas. Su misión principal es controlar el nivel freático. Los drenes son tubos con ranuras que se colocan bajo las cunetas para captar el agua infiltrada en la plataforma (drenes longitudinales) o de forma transversal al eje de la vía (drenes transversales). Los drenes conducen el agua hasta las arquetas que son unos prismas huecos de hormigón que hacen las veces de depósito. Las arquetas están comunicadas entre ellas y desaguan frecuentemente a OTDL.

No existe una normativa específica para el diseño de elementos de drenaje en obras de ferrocarril, por eso se emplea la Instrucción de Carreteras 5.2-I.C de Drenaje Longitudinal, aunque como norma auxiliar se puede emplear la norma N.R.V 2-1-1.0 de RENFE.

2.2. TERRAPLENES

Un terraplén es un depósito de terreno que permite posicionar el perfil longitudinal de la vía por encima del terreno natural.

2.2.1. PARTES DE UN TERRAPLÉN

En un terraplén se pueden distinguir varias zonas atendiendo a la función que cumplen los materiales constituyentes. Las cuatro zonas de un terraplén son las siguientes:

- *Coronación*: parte superior del relleno cuya superficie constituye la explanada sobre la que se asientan las capas intermedias de la plataforma.
- *Núcleo*: Parte del relleno constituida por el material colocado entre el cimiento y la coronación, en la zona central del terraplén.
- *Espaldón*: Parte exterior del relleno constituido por material que envuelve lateralmente el núcleo protegiéndolo de los agentes externos.
- *Cimiento*: Parte inferior del terraplén en contacto con el terreno natural o de asiento.

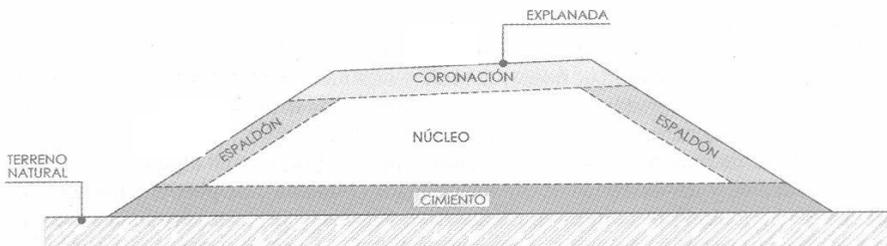


Figura 1.4. Partes de un terraplén. Fuente: Kraemer, C.

2.2.2. CONSIDERACIONES DE DISEÑO

En el caso de las exigencias normativas para terraplenes en obras de ferrocarril, no existe tampoco una normativa específica para este ámbito. Por este motivo, se emplea el Pliego de prescripciones técnicas Generales para obras de carreteras y puentes (PG-03).

En líneas generales, se dimensiona en función de la capacidad portante del terreno de asiento y no se profundiza en el problema de deformación y asientos que influye en la evolución de la geometría.

Para seguir leyendo haga click aquí