

ÍNDICE

1. Organización inicial de la explotación ferroviaria.			
Apuntes históricos	19		
1.1 Introducción	19		
1.2 Tracción vapor	19		
1.3 Tracción diesel	20		
1.4 Tracción eléctrica	22		
1.4.1 Electrificación de una línea	22		
1.4.2 Electrificación en corriente continua	24		
1.4.3 Electrificación en corriente alterna monofásica con frecuencia especial	24		
1.4.4 Electrificación en corriente alterna monofásica con frecuencia industrial	24		
1.4.5 Comparación económica de los diversos sistemas de tracción en la década de los años sesenta del siglo XX	25		
1.5 Señalización y enclavamientos	28		
1.6 Comunicaciones	34		
1.7 El sentido de circulación de los trenes	36		
2. La moderna señalización ferroviaria de líneas convencionales y de alta velocidad	39		
2.1 Introducción	39		
2.2 El circuito de vía	39		
2.3 Velocidad de circulación y longitud de los cantones	43		
2.4 Repetición de señales en la locomotora y control de velocidad	45		
2.4.1 Repetición de señales por cocodrilo y baliza	45		
2.4.2 Sistema francés de repetición de señales y control de velocidad (Preanuncio)	45		
2.4.3 Sistema francés de control de velocidad por balizas (KVB)	46		
2.4.4 Sistema alemán Indusi	47		
2.4.5 Sistema español ASFA	47		
2.4.6 Sistema español ATP (Ebicab 900)	50		
2.5 Señalización en líneas de alta velocidad	51		
2.5.1 Introducción	51		
2.5.2 Sistemas TVM	52		
2.5.3 Sistema LZB	57		
2.6 Sistema ERTMS	59		
3. Electrificación de una línea	69		
3.1 Introducción	69		
3.2 Línea aérea de contacto	69		
3.2.1 Ecuación de catenaria	74		
3.2.2 Longitud de la catenaria	76		
3.2.3 Principales componentes de la línea aérea de contacto	76		
3.2.4 Tipos de catenarias	78		
3.3 Análisis de los componentes de la catenaria	81		
3.3.1 Postes	81		
3.3.2 Ménsulas	86		
3.3.3 Aisladores	87		
3.3.4 Hilo sustentador	87		
3.3.5 Péndolas	87		
3.3.6 Hilo de contacto	87		
3.3.7 La catenaria en túnel	88		
3.3.8 Aisladores de sección	88		
3.3.9 Seccionadores	89		
3.3.10 Agujas aéreas	90		
3.3.11 Pórticos	91		
3.4 Compensación mecánica de la catenaria	94		
3.5 Interacción pantógrafo-catenaria	95		

3.5.1	Introducción	95	5.	Planificación del movimiento de trenes	175
3.5.2	Comportamiento dinámico	98	5.1	Introducción	175
3.5.3	Frecuencia de oscilación propia de la catenaria	106	5.2	Servicios de viajeros	175
3.5.4	Velocidad crítica de la catenaria	107	5.2.1	Cercanías	175
3.5.5	Velocidad límite de la catenaria	108	5.2.2	Regionales	177
3.5.6	Esfuerzo pantógrafo-catenaria	111	5.2.3	Grandes líneas (largo recorrido)	177
3.6	Principales tipos de catenarias utilizadas en líneas de alta velocidad	121	5.3	Servicios de mercancías	180
3.6.1	Francia	121	5.4	Planificación de la circulación de los trenes	181
3.6.2	Alemania	123	5.4.1	Estudio de horarios	181
3.6.3	Catenarias en Francia y Alemania para circulaciones experimentales a muy alta velocidad	123	5.5	Gráficos de marcha	185
3.6.4	España	124	5.5.1	Conceptos básicos	185
3.7	Principales características de la electrificación de una línea en corriente continua	124	5.5.2	Trazado de un gráfico	185
3.7.1	Aspectos básicos	124	5.5.3	Gráficos de marcha típicos	187
3.7.2	Metodología de cálculo	125	5.5.4	Gráficos reales de algunas líneas de ferrocarril	188
3.8	Principios de la electrificación en corriente alterna	128	5.6	Horario cadenciado	188
3.8.1	Generación y distribución de energía	128	5.6.1	Introducción	188
3.8.2	Alimentación de energía a las líneas de ferrocarril	132	5.6.2	Elementos de referencia	188
3.8.3	Sistemas de electrificación en corriente alterna	134	5.6.3	El material necesario	193
3.8.4	Dimensionamiento de la electrificación en corriente alterna	141	5.6.4	Implementación práctica	195
3.9	La electrificación de las líneas de ferrocarril en la actualidad	143	5.7	Libros de itinerarios	196
4.	Sistemas técnicos de explotación	149	5.8	La organización del material de transporte y de los equipos humanos necesarios	197
4.1	Introducción	149	6.	Capacidad de líneas	201
4.2	Estaciones en línea	149	6.1	Introducción	201
4.2.1	Configuración de vías en estaciones de líneas con vía única	150	6.2	Conceptos preliminares	201
4.2.2	Configuración de vías en estaciones de líneas con vía doble	152	6.3	Análisis de los factores que influyen en la capacidad de una línea	203
4.3	Análisis de los principales sistemas de bloqueo	152	6.4	Espaciamiento mínimo entre trenes consecutivos con señalización lateral	204
4.3.1	Bloqueo telefónico	154	6.4.1	Bloqueo manual	204
4.3.2	Bloqueo eléctrico manual	154	6.4.2	Bloqueo automático	205
4.3.3	Bloqueo automático	154	6.4.3	Espaciamiento mínimo y capacidad de una línea	207
4.4	Vías banalizadas e instalaciones permanentes de contrasentido	160	6.5	Cálculo de la capacidad de una línea	209
4.5	Sistemas de bloqueo actuales en el ferrocarril español	162	6.5.1	Introducción	209
4.6	Sistema de radiotelefonía	162	6.5.2	Método AAR	209
4.7	Control de la circulación en líneas de alta velocidad	166	6.5.3	Método de los ferrocarriles alemanes (1975)	210
4.8	Zonas singulares de la explotación ferroviaria: pasos a nivel	166	6.5.4	Método UIC (1979)	211
4.8.1	Introducción	166	6.6	La capacidad de una línea y la petición de sillones	212
4.8.2	Sistemas tradicionales de protección de un paso a nivel	167	6.6.1	Una nueva perspectiva sobre la capacidad	212
4.8.3	Funcionamiento de un paso a nivel	168	6.6.2	Evaluación de la capacidad consumida	214
4.8.4	Protección de pasos a nivel con $V > 160$ Km/h	169	6.7	Órdenes de magnitud de la capacidad de una línea	217
4.8.5	Eliminación de pasos a nivel. Criterio de decisión en España	171	6.8	Aumento de la capacidad de las líneas	217
			6.9	La construcción de nuevas líneas y la falta de capacidad de las líneas convencionales	221
			6.10	Capacidad de líneas en infraestructuras de alta velocidad	223

7. La organización de los servicios de viajeros	227	8.5 La evolución de la demanda de transporte de mercancías por ferrocarril desde 1992 en RENFE	341
7.1 Introducción	227	8.6 La situación del transporte de mercancías por ferrocarril en Europa	341
7.2 Servicios de cercanías	228	8.7 El transporte combinado en Europa	350
7.2.1 El inicio de los servicios de cercanías	228	8.8 El tráfico de mercancías por ferrocarril a través de los Pirineos y los Alpes	366
7.2.2 La red actual de cercanías en España	230	8.9 Transporte marítimo y ferrocarril	376
7.2.3 Factores determinantes en los servicios de cercanías	235	8.9.1 Introducción	376
7.2.4 La medida de la calidad del servicio	239	8.9.2 El papel de ferrocarril en el preencaminamiento o postencaminamiento de las mercancías para transporte marítimo.	377
7.2.5 La relación entre la calidad del servicio y la demanda de tráfico	240	8.9.3 La potencialidad del ferrocarril en los principales puertos europeos: Horizonte 2005/2010	381
7.2.6 El material para los servicios de cercanías	241	8.9.4 La potencialidad del ferrocarril en el transporte de mercancías entre continentes	392
7.2.7 Evolución y situación actual de los servicios de cercanías	245		
7.3 Servicios regionales	246	<hr/>	
7.3.1 Introducción	246	9. El movimiento de un tren: potencia necesaria y carga remolcable en composiciones clásicas	395
7.3.2 Los servicios regionales en España: organización y tendencias	247	9.1 Planteamiento general	395
7.3.3 Evolución del tráfico de viajeros y de la calidad del servicio	251	9.2 Resistencias al avance	396
7.3.4 Los servicios regionales en Francia	253	9.2.1 Resistencia debida al rozamiento en las cajas de grasa	396
7.3.5 Los servicios regionales en Alemania	257	9.2.2 Resistencia debida a la rozadura	396
7.4 Servicios interurbanos de viajeros	260	9.2.3 Resistencia debida a la flexión del carril	397
7.4.1 Apuntes históricos	260	9.2.4 Resistencia debida a las curvas	397
7.4.2 Indicadores de la calidad de la oferta en los servicios diurnos	265	9.2.5 Resistencia debida a las rampas	399
7.4.3 La organización de los servicios de largo recorrido en el ferrocarril español	279	9.2.6 Resistencia total al avance. Primeras expresiones	403
7.4.4 Evolución del tráfico de viajeros de grandes líneas y AVE	284	9.2.7 Modernas expresiones de resistencia al avance	405
7.5 El tráfico de viajeros por ferrocarril en algunos países europeos	288	9.2.8 Resistencias en el interior de un túnel	407
7.6 Terminales de viajeros	290	9.3 Resistencias al arranque	407
7.6.1 Introducción	290	9.4 Carga remolcable por una locomotora	408
7.6.2 Tipología de estaciones de líneas en grandes corredores	296	9.4.1 Introducción	408
7.6.3 Tipología de grandes terminales	299	9.4.2 La adherencia	408
7.6.4 Dimensionamiento de estaciones de línea y de grandes terminales	305	9.4.3 Limitación del gancho de tracción	411
7.7 Estaciones de ferrocarril en aeropuertos	316	9.4.4 Carga remolcable en el arranque	411
7.7.1 Introducción	316	9.4.5 Carga remolcable a velocidad constante	412
7.7.2 Estaciones para acceder a los aeropuertos con líneas convencionales de ferrocarril	317	9.4.6 Limitaciones complementarias para establecer la carga práctica remolcable	412
7.7.3 Estaciones de ferrocarril en aeropuertos conectados a la red de alta velocidad	318	9.4.7 Diagramas esfuerzo-velocidad de una locomotora	415
7.7.4 Valoración global de la situación actual y de las tendencias previstas	320	9.5 Potencia necesaria	416
<hr/>		<hr/>	
8. Organización del transporte de mercancías	325	10. Resistencias al avance, adherencia y potencia de las ramas de alta velocidad	419
8.1 Antecedentes de referencia	325	10.1 Introducción	419
8.2. Principales factores de elección modal en el transporte de mercancías	331	10.2 La resistencia al avance de ramas de alta velocidad: la experiencia francesa	422
8.3 La organización del transporte de mercancías en RENFE a partir de 1992	334	10.3 Fórmulas prácticas de resistencia al avance de ramas de alta velocidad	424
8.4 El transporte internacional de mercancías y el ancho de vía	337	10.4 La experiencia japonesa	426

10.5	Adherencia a alta velocidad	430		
10.6	Potencia de las ramas de alta velocidad	432		
<hr/>				
11.	Frenado	437		
11.1	Introducción	437		
11.2	Condicionantes principales. El freno con zapatas	437		
11.3	Sistema de accionamiento de los frenos con zapatas	442		
11.4	Potencia de frenado y distancia de parada	445		
11.5	Evolución y desarrollo de los sistemas de frenado	448		
11.6	Limitaciones de velocidad debidas al frenado	453		
11.7	Frenado a alta velocidad	454		
<hr/>				
12.	Planificación y explotación comercial de líneas de alta velocidad	461		
12.1	Origen y justificación de la alta velocidad en el ferrocarril europeo	461		
12.1.1	El límite de velocidad de los itinerarios clásicos	461		
12.1.2	Los problemas de falta de capacidad y su influencia en la construcción de nuevas líneas	462		
12.1.3	Las dificultades comerciales del ferrocarril convencional frente al desarrollo de la carretera y la aviación	463		
12.1.4	Los progresos técnicos que hicieron posible la alta velocidad	464		
12.1.5	Alta velocidad y muy alta velocidad	464		
12.1.6	Sistema de explotación de las líneas de alta velocidad	466		
12.1.7	¿Tráfico de viajeros o tráfico mixto?	483		
12.2	Impacto comercial de los servicios de alta velocidad por ferrocarril	488		
12.2.1	La experiencia japonesa: una referencia obligada	488		
12.2.2	La experiencia europea	490		
12.3	Optimización del papel del ferrocarril en los servicios interurbanos de viajeros	496		
12.3.1	El progreso técnico del ferrocarril	496		
12.3.2	El interés comercial del incremento de la velocidad	497		
12.3.3	Posibles nuevos escenarios de servicios en líneas de alta velocidad	499		
<hr/>				
13.	Ferrocarril, energía y medio ambiente	501		
13.1	Introducción	501		
13.2	Consumo energético del ferrocarril en el transporte interurbano de viajeros (1970-1990)	503		
13.3	Consumo energético del ferrocarril en el transporte interurbano de viajeros (1990-2007)	504		
13.4	Consumo energético en el tráfico de cercanías y regionales	507		
13.5	Consumo energético en el transporte de mercancías	507		
13.6	Contaminación atmosférica, cambio climático y ferrocarril	508		
13.7	Una visión integrada del impacto de una línea de alta velocidad sobre el medio ambiente	513		
<hr/>				
14.	Gestores de infraestructuras y operadores de transporte	515		
14.1	Introducción	515		
14.2	La organización tradicional de las empresas ferroviarias: el caso de RENFE	516		
14.3	La directiva 91/440 y su repercusión en la organización de las empresas ferroviarias tradicionales	518		
14.4	El canon por el uso de la infraestructura ferroviaria	519		
<hr/>				
Anexo. Estimación de la demanda de viajeros por las nuevas líneas de alta velocidad		525		
Introducción		525		
Estimación del tráfico de viajeros en la red japonesa de alta velocidad		525		
Estimación del tráfico de viajeros en la línea TGV-Sudeste		526		
Eje Barcelona-Narbona		528		
Línea TGV-Atlántico		531		
Línea Madrid-Barcelona		532		
Línea Milán-Roma-Nápoles-Battipaglia		534		
<hr/>				
Bibliografía		537		