



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

ANÁLISIS DE PATOLOGÍAS DE VÍA FÉRREA EN
PUERTOS. PROPUESTA DE MANTENIMIENTO.

ANALYSIS OF RAIL TRACK PATHOLOGIES
IN PORTS. MAINTENANCE PROPOSAL.

Autor

Daniel Requena Romero

Directores

Emmanuel Trigo Lorente
Rosa Victoria Vicente Vas

Escuela Universitaria Politécnica La Almunia

Septiembre 2024



**Escuela Universitaria
Politécnica** - La Almunia
Centro adscrito
Universidad Zaragoza

**ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA
DE LA ALMUNIA DE DOÑA GODINA (ZARAGOZA)**

MEMORIA

**ANÁLISIS DE PATOLOGÍAS DE VÍA FÉRREA EN
PUERTOS. PROPUESTA DE MANTENIMIENTO.**

**ANALYSIS OF RAIL TRACK PATHOLOGIES
IN PORTS. MAINTENANCE PROPOSAL.**

Identificador: 425.23.31

Autor: Daniel Requena Romero
Director: Emmanuel Trigo Lorente
Codirectora: Rosa Victoria Vicente Vas
Fecha: 09 2024

INDICE DE CONTENIDO BREVE

1. RESUMEN	1
2. ABSTRACT	3
3. ANTECEDENTES	5
4. LA VÍA FÉRREA EN EL ÁMBITO PORTUARIO	9
5. ACTUACIONES Y ESTABLECIMIENTO DE CRITERIOS DE MANTENIMIENTO	93
6. PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO FERROVIARIO EN PUERTOS	119
7. CONCLUSIONES	137
8. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE	140
9. BIBLIOGRAFÍA	141

INDICE DE CONTENIDO

1. RESUMEN	1
1.1. PALABRAS Y CONCEPTOS CLAVE	2
2. ABSTRACT	3
2.1. KEY WORDS AND TERMS	4
3. ANTECEDENTES	5
3.1. INTRODUCCIÓN	5
3.2. OBJETO Y ALCANCE	7
4. LA VÍA FÉRREA EN EL ÁMBITO PORTUARIO	9
4.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA VÍA FÉRREA EN EL ÁMBITO PORTUARIO	9
4.1.1. Aspectos a considerar de una vía férrea en un puerto	10
4.1.2. Comparativa general red ferroportuaria / Adif	12

INDICES

4.2. ELEMENTOS DE LA INFRAESTRUCTURA DE VÍA	13
4.2.1. Desbroces y limpieza	14
4.2.1.1. Desbroce de vegetación	14
4.2.1.1.1. Zonas no urbanizadas	15
4.2.1.1.2. Zonas urbanizadas	19
4.2.1.2. Limpieza de zonas de vía	21
4.2.1.2.1. Residuos de las propias composiciones ferroviarias	21
4.2.1.2.2. Residuos de obras y reparaciones en vía	23
4.2.1.2.3. Residuos ajenos a la vía férrea	24
4.2.2. Drenajes de plataforma	26
4.2.2.1. Drenajes longitudinales	27
4.2.2.2. Drenajes transversales	28
4.2.2.3. Drenajes verticales o pozos de grava	29
4.2.3. Pasos de instalaciones	31
4.2.4. Viales en intersecciones especiales o PN	34
4.2.4.1. Definición	34
4.2.4.2. Problemáticas habituales	36
4.3. ELEMENTOS DE LA SUPERESTRUCTURA DE VÍA	39
4.3.1. Vía férrea	39
4.3.1.1. Definición	39
4.3.1.2. Elementos básicos de la vía férrea	40
4.3.1.2.1. Balasto	40
4.3.1.2.2. Traviesas y sujeciones de vía en balasto	41
4.3.1.2.3. Traviesas y sujeciones de vía en placa	44
4.3.1.2.4. Carril y juntas de carril	46
4.3.1.3. Problemáticas habituales	49
4.3.1.3.1. Balasto	49
4.3.1.3.2. Traviesas y sujeciones de vía en balasto	50
4.3.1.3.3. Traviesas y sujeciones de vía en placa	54
4.3.1.3.4. Carril y juntas de carril	58
4.3.2. Aparatos de vía y accionamientos	71
4.3.2.1. Aparatos de vía	71
4.3.2.2. Accionamientos	77
4.3.2.3. Problemáticas habituales	79
4.3.3. Intersecciones especiales o PN	86
4.3.3.1. Definición	86
4.3.3.2. Clase de protección de intersecciones especiales	87
4.3.3.3. Problemáticas habituales	88
4.3.4. Puertas ferroviarias	89

INDICES

4.3.4.1. Definición	89
4.3.4.2. Problemáticas habituales	91
5. ACTUACIONES Y ESTABLECIMIENTO DE CRITERIOS DE MANTENIMIENTO	93
5.1. INTRODUCCIÓN	93
5.2. ORGANIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO FERROVIARIO	93
5.3. TIPOS DE MANTENIMIENTO Y HERRAMIENTAS DE AYUDA A LA GESTIÓN	96
5.3.1. <i>Inspecciones en cabina</i>	99
5.3.2. <i>Inspecciones a pie</i>	100
5.3.3. <i>Otras inspecciones No destructivas</i>	101
5.4. CRITERIOS Y ACTUACIONES PREVENTIVAS APLICABLES A LA INFRAESTRUCTURA	102
5.4.1. <i>Desbroces y limpieza</i>	102
5.4.2. <i>Drenajes de plataforma</i>	103
5.4.3. <i>Pasos de instalaciones</i>	103
5.4.4. <i>Viales en intersecciones especiales o PN</i>	104
5.5. CRITERIOS Y ACTUACIONES PREVENTIVAS Y CORRECTIVAS APLICABLES A LA SUPERESTRUCTURA	105
5.5.1. <i>Vía férrea</i>	105
5.5.1.1. Balasto	105
5.5.1.2. Traviesas y sujeciones de vía en balasto	106
5.5.1.3. Traviesas y sujeciones de vía en placa	107
5.5.1.4. Carriles y juntas de carril	108
5.5.2. <i>Aparatos de vía y accionamientos</i>	111
5.5.3. <i>Intersecciones especiales o PN</i>	114
5.5.4. <i>Puertas ferroviarias</i>	115
5.5.5. <i>Criterios generales de diseño y mantenimiento</i>	116
6. PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO FERROVIARIO EN PUERTOS	119
6.1. CALENDARIO SEMANAL DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	119
6.2. FICHAS DE TRABAJOS PREVENTIVOS	121
6.3. FICHAS DE INSPECCIÓN	125
6.4. AHORROS ESTIMADOS	131
6.4.1. <i>Sobrecostes de explotación</i>	131
6.4.2. <i>Sobrecostes derivados de accidentes ferroviarios</i>	132
6.4.3. <i>Sobrecostes de mantenimiento</i>	133
6.4.3.1. Ejemplo 1: pavimentos dañados por vegetación	133
6.4.3.2. Ejemplo 2: cuponado en vía en placa con carril al aire o carril embebido	135
7. CONCLUSIONES	137



INDICES

8. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE	140
9. BIBLIOGRAFÍA	141
9.1. CITAS BIBLIOGRÁFICAS	141
9.2. LEGISLACIÓN	146
9.3. NORMATIVA TÉCNICA	147

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Plataforma afectada por la vegetación. Fuente propia.	16
Ilustración 2: Señal ferroviaria ocultada parcialmente por la vegetación. Fuente propia.	16
Ilustración 3: Vegetación en gálibo ferroviario. Fuente propia.	17
Ilustración 4: Desbroce de zarzas secas en plataforma ferroviaria. Fuente propia.	18
Ilustración 5: Arbolado próximo a la vía. Fuente propia.	18
Ilustración 6: Herbáceas en juntas de hormigonado. Fuente propia.	19
Ilustración 7: Arbolado en paramentos junto a vía en placa. Fuente propia.	20
Ilustración 8: Silleta de sujeción de vehículos. Fuente propia.	22
Ilustración 9: Restos metálicos de una rueda frenada. Fuente propia.	22
Ilustración 10: Baliza plástica de señalización viaria en una terminal. Fuente propia.	23
Ilustración 11: Contracarril acopiado junto a la vía, y próximo a la canaleta de cableado de instalaciones. Fuente propia.	24
Ilustración 12: Acumulación de residuos en un desvío. Fuente propia.	25
Ilustración 13: Acumulación de barro en la acanaladura de la cara activa del carril. Fuente propia.	25
Ilustración 14: Drenaje longitudinal mediante cuneta hacia arqueta conectada a colector de vial de carretera. Fuente propia.	27
Ilustración 15: Plataforma sin drenaje longitudinal encajada entre edificaciones. Fuente propia.	28
Ilustración 16: Drenaje transversal en plataforma de vía en placa. Fuente propia.	29
Ilustración 17: Desvío embebido en hormigón con el drenaje obturado. Fuente propia.	30
Ilustración 18: Acanaladuras de un desvío embebido en hormigón una vez drenado, con restos de suciedad y oxidado. Fuente propia.	30
Ilustración 19: Prisma de tubos en arqueta de paso bajo vía. Fuente propia.	31

INDICES

Ilustración 20: Cableado de conexión de un pedal cuyo corrugado de protección se ha degradado. Fuente propia.	33
Ilustración 21: Paso de cableado señalizado para no dañarlo en caso de bateo. Fuente propia.	33
Ilustración 22: Intersección en ancho ibérico y ancho UIC mediante entablonado de traviesas de madera en el Puerto de Barcelona. Fuente propia.	34
Ilustración 23: PN de paneles de caucho en la L/ Madrid-Zaragoza-Barcelona, red convencional de Adif en la estación de Embid de la Ribera. (Fuente propia).	35
Ilustración 24: Intersección de vía en placa estuchada de anchos ibérico, UIC y métrico. Puerto de Barcelona. Fuente propia.	35
Ilustración 25: Vía en placa con perfiles a modo de traviesa en el Puerto de Barcelona. Fuente propia.	36
Ilustración 26: Pavimento cuarteado por el paso de vehículos en una intersección especial en el Puerto de Barcelona. Fuente propia.	38
Ilustración 27: Pavimento cuarteado en una intersección especial en el Puerto de Barcelona. Fuente propia.	38
Ilustración 28: Sección transversal de plataforma ferroviaria [17, p. 68656].	40
Ilustración 29: Sección tipo banquetta balasto. Fuente: NAV 3-4-1.0 [18, p. Fig. 5.7].	41
Ilustración 30: Traviesas de hormigón pretensado AM-05 para 4 hilos (3 anchos: ibérico internacional y métrico) con sujeción elástica en el Puerto de Barcelona. Fuente propia.	42
Ilustración 31: Traviesas RS con sujeción elástica J-2 [29] en la red convencional de Adif en El Prat de Llobregat. Año 2007. Fuente propia.	43
Ilustración 32: Traviesas monobloc MR-93 con sujeción elástica SKL-1 en la red convencional de Adif en el Prat de Llobregat. Año 2007. Fuente propia.	43
Ilustración 33: Abajo sistema de falsas traviesas tipo e-Clip SRS de Pandrol [36] con carril al aire, y arriba carril embebido con perfiles metálicos a modo de traviesas. Puerto de Barcelona. Fuente propia.	45
Ilustración 34: Izquierda vía mixta en balasto. Derecha vía mixta en placa con carril embebido. Puerto de Barcelona. Fuente propia.	45

Ilustración 35: Terminal carga/descarga de vehículos. Vía con carril embebido de ancho ibérico. Puerto de Barcelona. Fuente propia.	46
Ilustración 36: Perfil tipo carril Vignole. Extraído de: "Estudio del desgaste de carriles en servicio y optimización de su mantenimiento" [38].	47
Ilustración 37: Desvío en ancho ibérico no soldable con bridas atornilladas. Fuente propia.	48
Ilustración 38: Traviesa monobloc rajada al reapretar tirafondo por acumulación de suciedad en la vaina. Fuente propia.	51
Ilustración 39: Placa de asiento metálica sobre traviesa de madera con tirafondo. L/Barcelona-Mataró, Red convencional de Adif. Año 2008. Fuente propia.	53
Ilustración 40: Placas de asiento elásticas y placas acodadas con clip SKL-1 sobre traviesa MR-00. L/Madrid-Zaragoza-Barcelona. Red convencional de Adif. Año 2007. Fuente propia.	53
Ilustración 41: Vía en placa con traviesa Rheda 2000 [33] antes de hormigonar. L.A.V. Madrid-Zaragoza-Barcelona. El Prat de Ll. Año 2007. Fuente propia.	55
Ilustración 42: Vía en placa con traviesa Rheda 2000 [33] después de hormigonar. L.A.V. Madrid-Zaragoza-Barcelona. El Prat de Ll. Año 2007. Fuente propia.	55
Ilustración 43: Ejecución de placa de hormigón con extendedora dejando acanaladuras para alojar el carril. L.A.V. Madrid-Zaragoza-Barcelona. El Prat de Ll. Año 2007. Fuente propia.	56
Ilustración 44: Instalación de banda de asiento, imprimación y tacos de elastómero en el alma de carril. Sistema Corkelast [34]. L.A.V. Madrid-Zaragoza-Barcelona. El Prat de Ll. Año 2007. Fuente propia.	57
Ilustración 45: Vía en placa de 3 anchos premontada sobre perfiles en el puerto de Barcelona. Año 2015. Fuente propia.	58
Ilustración 46: Viruta metálica en hilo exterior de ancho exclusivo ibérico. Fuente propia.	60
Ilustración 47: Patinazo en la banda de rodadura. Fuente propia.	61
Ilustración 48: Fatiga superficial con desprendimiento de material. Fuente propia. ...	61
Ilustración 49: Cara activa de carril en curva desgastada por efecto de la deformación plástica. Fuente propia.	62

INDICES

Ilustración 50: Patín partido en una soldadura por el paso de una rueda descarrilada de un vagón al apoyar en la pipa. Fuente propia.	63
Ilustración 51: Carril partido en vía en placa embebida. Fuente propia.	64
Ilustración 52: Carril partido una vez repicado el hormigón de la vía en placa. Fuente propia.	64
Ilustración 53: Marcas de arrastre de ruedas descarriladas en la cabeza y en el patín del carril y sujeciones rotas. Fuente propia.	65
Ilustración 54: Hojas de brida con taladros. Fuente propia.	66
Ilustración 55: Soldadura de carril embridada con hojas de brida y bridas C.	66
Ilustración 56: Junta de carril embridada y chafada por el paso de las circulaciones. Fuente propia.	67
Ilustración 57: Cupón de carril RN45 en una cala para reducir el hueco y el golpeteo al pasar las ruedas del tren. Fuente propia.	68
Ilustración 58: Camión de soldadura eléctrica a tope por chisporroteo. Proyecto Marmaray (Estambul) Feb-2014. Fuente propia.	69
Ilustración 59: Soldaduras aluminotérmicas. Fuente propia.	69
Ilustración 60: Escape en vía en balasto. El Prat de Ll. 2007. Fuente propia.	71
Ilustración 61: Esquema básico de un desvío [54, p. 6].	72
Ilustración 62: Esquema básico de una travesía sin unión (TSU) [54, p. 6].	73
Ilustración 63: Esquema de una travesía de unión simple [54, p. 29].	73
Ilustración 64: Esquema de una travesía de unión doble (TUD) [54, p. 29].	74
Ilustración 65: Cambiador de hilo para ancho UIC en el puerto de Barcelona.	74
Ilustración 66: Aparato de dilatación en la LAV Madrid-Levante. Fuente propia.	75
Ilustración 67: Entreeje en una terminal de carga/descarga de vehículos en el puerto de Barcelona. Fuente propia.	77
Ilustración 68: Desvío accionado mediante cerrojo de uña y marmita en el puerto de Barcelona. Fuente propia.	78
Ilustración 69: Accionamiento motorizado en el puerto de Barcelona. Fuente propia.	79
Ilustración 70: Desvío mixto con una rama en ancho métrico y la otra en ancho ibérico en carril RN45 en el Puerto de Barcelona. Fuente propia.	80

INDICES

Ilustración 71: Espadines con acople incorrecto por daño en el cerrojo de uña o en el embrague del motor. Fuente propia.	81
Ilustración 72: Punta de espadín chafada. Fuente propia.	82
Ilustración 73: Punta de espadín deteriorada por desgaste. Fuente propia.	82
Ilustración 74: Virata metálica producida por desgaste por abrasión de las ruedas del tren en un cruzamiento. Fuente propia.	83
Ilustración 75: Resbaladera de una aguja de un desvío. Fuente propia.	83
Ilustración 76: Barra de contrapeso parcialmente partida en un desvío con accionamiento con marmita. Fuente propia.	84
Ilustración 77: Motor en foso con problemas de inundación por falta de desagüe y de acumulación de suciedad. Fuente propia.	85
Ilustración 78: Motor sobre elevado para evitar el problema de la inundación. Fuente propia.	85
Ilustración 79: Intersección especial con barreras tipo A3 en el puerto de Barcelona. Fuente propia.	89
Ilustración 80: Puerta ferroviaria automática batiente de acceso a una terminal en el Puerto de Barcelona. Fuente propia.	90
Ilustración 81: Puerta ferroviaria enganchada al paso del tren a causa del viento. Fuente propia.	92
Ilustración 82: Principales tipos de mantenimiento según la UNE-EN-13306 [61, p. 71].	97

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Listado de Autoridades Portuarias conectadas a la RFIG a 2023. Fuente: Declaración de Red 2025. Adif [3].	6
Tabla 2: Propuesta de Plan Anual de Mantenimiento Preventivo por semanas.....	120
Tabla 3: Estimación coste desbroce.	134
Tabla 4: Estimación de reposición de pavimento dañado por vegetación.....	134
Tabla 5: Estimación coste cuponado en 2 hilos con carril al aire.	135
Tabla 6: Estimación coste cuponado en 2 hilos con carril embebido.	135

INDICE DE FORMATOS

Infografía 1: Comprobación de sujeciones y de par de apriete en vía.	121
Infografía 2: Comprobación de engrasadores de carril en vía y en aparatos.	121
Infografía 3: Comprobación de resbaladera en aparatos de vía.....	122
Infografía 4: Inspección geométrica, comprobación de sujeciones y par de apriete en aparatos de vía.	122
Infografía 5: Comprobación de puertas ferroviarias.....	123
Infografía 6: Ficha de tareas preventivas de infraestructura.....	124
Infografía 7: Formato de inspección en cabina.	127
Infografía 8: Formato de inspección a pie. Infraestructura.	128
Infografía 9: Formato de inspección a pie. Superestructura (1 de 2).	129
Infografía 10: Formato de inspección a pie. Superestructura (2 de 2).	130

1. RESUMEN

La idea original de este trabajo parte de algunas problemáticas observadas en el ámbito del mantenimiento ferropuertoario.

Mi bagaje previo, en mantenimiento ferroviario en la red gestionada por Adif, me había generado una idea preconcebida de lo que significa el concepto '*mantenimiento ferroviario*'. A pesar de ello, mi experiencia posterior en la red ferroviaria del Puerto de Barcelona me ha hecho replantearme algunos aspectos que aún no había considerado.

En las redes ferroviarias gestionadas por Adif (de ancho ibérico, UIC y métrico) todo está muy normado y acotado, existiendo escaso margen para la interpretación. Sin embargo, en el ámbito ferropuertoario, donde cada Autoridad Portuaria es un pequeño administrador de infraestructuras ferroviarias, se intentan seguir, en la medida de lo posible, los criterios y normativas de Adif.

Posiblemente, las problemáticas e ineficiencias observadas están relacionadas con la falta de cultura ferroviaria en el ámbito portuario, por una menor disponibilidad de medios técnicos y económicos, así como por las especificidades de las redes ferropuertoarias en comparación con las redes gestionadas por Adif.

Este TFG pretende ser un trabajo académico basado en conocimientos profesionales personales, apoyado en bibliografía técnica relativa a la materia, y con la aportación de diversas informaciones basadas en datos de algunas de las autoridades portuarias españolas que en la actualidad disponen de red ferropuertoaria.

Como resultado de esta confrontación de experiencias y problemáticas, la idea es realizar una propuesta de plan de mantenimiento ferroviario en puertos, adaptada a las especificidades del ámbito portuario. El enfoque del trabajo pretende ser abierto, genérico y aplicable a cualquier puerto con red ferroviaria en España, sin querer ser un caso de estudio específico. Y dado que el referente es uno de los puertos españoles con una de las mayores redes ferroviarias y, probablemente, con la mayor complejidad en la actualidad, la idea es que las conclusiones extraídas sean extrapolables, con la correspondiente cautela, al resto de puertos de interés general.

1.1. PALABRAS Y CONCEPTOS CLAVE

Las palabras y conceptos clave del presente TFG son las siguientes:

- Mantenimiento ferroviario.
- Red ferroportuaria.
- Administrador de Infraestructuras Ferroviarias.
- Autoridades Portuarias.
- Adif.

2. ABSTRACT

The original idea of this paper is grounded on some problems identified in the field of railway maintenance.

My previous background in Adif's railway maintenance had given me a preconceived idea of what the concept 'railway maintenance' means. Despite this, my subsequent experience on the railway network of the Port of Barcelona has made me rethink some aspects that I had not considered yet.

In the railway networks managed by Adif (Iberian, UIC and metric gauge), everything is fully standardised and constrained, with little room for interpretation. However, in the port railway field, each Port Authority is a small railway infrastructure manager and as far as possible, each one tries to meet Adif's criteria and regulations.

Likely, problems and inefficiencies identified are related to the lack of railway culture in the maritime sector, due to the reduced availability of technical and economic resources, as well as the particularities of a port railway network compared to the Adif's networks.

This bachelor's degree Final Project aims to be an academic work based on my own professional experience, supported by technical bibliography related to the subject, and with the contribution of several data from some of the Spanish port authorities that currently are running a port railway network.

As a result of this comparison of experiences and problems, the aim is to make a proposal for a railway maintenance plan in ports, adapted to the particularities of the port environment. The approach of the paper intends to be open, generic and applicable to any port with a railway network in Spain, without focusing on a specific case study. And provided that the reference is one of the Spanish ports with one of the largest railway networks and, probably, with the greatest complexity at present, the idea is that the conclusions drawn can be extrapolated, with the corresponding caution, to the rest of the main Spanish ports.

2.1. KEY WORDS AND TERMS

Key words and terms of the current dissertation are the following ones:

- Railway maintenance.
- Railway port network.
- Railway infrastructure administrator.
- Port Authorities.
- Adif.

3. ANTECEDENTES

3.1. INTRODUCCIÓN

En el artículo 39.1 de la *Ley del Sector Ferroviario*^A, se dice al respecto de las Autoridades Portuarias lo siguiente:

Las infraestructuras ferroviarias y las terminales ferroviarias de transporte de mercancías de titularidad de una autoridad portuaria que en cada momento existan en las zonas de servicio de los puertos de interés general y estén conectadas con la Red Ferroviaria de Interés General, formarán parte de esta [...] [1].

Asimismo, en el artículo 39.2 de dicha ley^B se le atribuyen a las Autoridades Portuarias algunas de las competencias de los administradores generales de infraestructuras ferroviarias, entre otras, la construcción, administración, explotación, control, vigilancia e inspección de la infraestructura ferroviaria que administre.

Así pues, a partir de ese momento las Autoridades Portuarias españolas que disponían de red ferroviaria conectada a la red gestionada por Adif, pasaron a formar parte de la Red Ferroviaria de Interés General (en adelante, RFIG^C).

Dadas las nuevas competencias atribuidas por la Ley del Sector Ferroviario a las Autoridades Portuarias, éstas pasaron a ser las responsables, de forma reglada y no de facto como hasta ese momento, del mantenimiento de todas las infraestructuras ferroviarias de su titularidad.

A consecuencia de lo anteriormente dicho, la legislación y normativa ferroviaria de aplicación en la RFIG, pasó a ser aplicación a todos los administradores de infraestructuras de la RFIG, es decir, a Adif y a aquellas Autoridades Portuarias con red ferroviaria conectada a la red gestionada por Adif.

En la actualidad, en España existen un total de 46 puertos de interés general, que son gestionados a través de 28 Autoridades Portuarias en todo el territorio nacional [2].

Y de estas 28 Autoridades Portuarias, 21 disponen de red ferroviaria conectada a la RFIG [3], tal y como se indica en la siguiente tabla:

^A Artículo 39.1 de la Ley 38/2015, de 29 de septiembre, del sector ferroviario.

^B Artículo 39.2 de la Ley 38/2015, de 29 de septiembre, del sector ferroviario.

^C RFIG. Definido en el Artículo 4 de la Ley 38/2015.

ANÁLISIS DE PATOLOGÍAS DE VÍA FÉRREA EN PUERTOS. PROPUESTA DE MANTENIMIENTO.

Antecedentes

Tabla 1: Listado de Autoridades Portuarias conectadas a la RFIG a 2023. Fuente: Declaración de Red 2025. Adif [3].

Nº	Comunidad Autónoma	Autoridad Portuaria
1	Andalucía	A.P. de la Bahía de Algeciras
2		A.P. de la Bahía de Cádiz
3		A.P. de Huelva
4		A.P. de Málaga
5		A.P. de Sevilla
6	Asturias	A.P. de Avilés
7		A.P. de Gijón
8	Cantabria	A.P. de Santander
9	Cataluña	A.P. de Barcelona
10		A.P. de Tarragona
11	Galicia	A.P. de A Coruña
12		A.P. de Ferrol-San Cibraio
13		A.P. de Marín y Ría de Pontevedra
14		A.P. de Vigo
15		A.P. de Vilagarcía de Arousa
16	Murcia	A.P. de Cartagena
17	País Vasco	A.P. de Pasajes
18		A.P. de Bilbao
19	Comunidad Valenciana	A.P. de Alicante
20		A.P. de Castellón
21		A.P. de Valencia

Así pues, las Autoridades Portuarias han adquirido en sus zonas de servicio un estatus análogo al de Adif en su red, siendo las responsables de administrar su red ferroviaria correspondiente. Es decir, Adif no tiene responsabilidades de gestión dentro de las redes ferroportuarias, ni tampoco las Autoridades Portuarias tienen responsabilidades de gestión en la red de Adif. Sin embargo, ambos entes sí que han de asumir un rol colaborador para la regulación de los tramos de conexión entre ambas redes mediante un convenio de conexión Autoridad Portuaria/Adif.

A pesar de todo lo dicho, para no perder la perspectiva y planteamiento de este trabajo, hay que tener en cuenta un hecho comparativo relevante. Mientras que la longitud de las diferentes redes ferroportuarias españolas es a lo sumo de algunos kilómetros cada una, la red de Adif es mayor de 10.000 km a 2023.

Por tanto, queda patente que la presunta equiparación entre Adif y una Autoridad Portuaria cualquiera dista mucho de una situación de igualdad real. Se trata más bien de una asunción de responsabilidades y funciones con unos medios reducidos y una experiencia relativamente escasa por parte de las Autoridades Portuarias españolas.

3.2. OBJETO Y ALCANCE

La pretensión del presente trabajo es realizar una reflexión global acerca del mantenimiento ferroviario en el ámbito portuario español.

Si se acude a la bibliografía existente, no se encuentran demasiados textos técnicos actuales relativos al mantenimiento de vía e infraestructura. La mayoría de los textos hablan de aspectos teóricos o del diseño en fase de proyecto, otros desarrollan y/o comentan la normativa de Adif, o bien, existen estudios técnicos especializados de patologías y otros aspectos muy concretos. En consecuencia, parece que, aparte de la propia normativa generada por Adif, hay relativamente poca información publicada en abierto desde un punto de vista práctico de cómo mantener la vía férrea, y mucho menos en el ámbito portuario.

Las condiciones de contorno y las solicitudes que sufren las vías de un puerto difieren en varios aspectos de las que se pueden encontrar en la red administrada por Adif. Por tanto, las problemáticas más habituales y el enfoque y los criterios para su mantenimiento también deberían diferir en algunos aspectos. Evidentemente habrá muchas similitudes, pero en cada caso se dará prioridad a unos criterios frente a otros y a la inversa.

Antecedentes

Así pues, partiendo de esta premisa, el objetivo de este TFG es definir en primer lugar los principales elementos de la infraestructura y superestructura ferroviaria en un puerto, como son:

- Los desbroces de la vegetación y limpieza en zonas circundantes a la vía.
- Drenajes longitudinales y transversales de la plataforma ferroviaria.
- Pasos de instalaciones y/o servicios bajo vía.
- Viales en intersecciones especiales o pasos a nivel.
- Vía férrea (carril, armamento y sujeciones) en sus diferentes tipologías (balasto y vía en placa en sus diferentes clases).
- Aparatos de vía y accionamientos (marmitas y motores), desde un punto de vista mecánico.
- Intersecciones especiales o pasos a nivel.
- Puertas ferroviarias.

Paralelamente, se pretende plantear y analizar las especificidades desde un punto de vista práctico de las vías férreas en puertos, y analizar sus principales patologías y problemáticas.

Finalmente, con las conclusiones extraídas, se podrán obtener criterios de mantenimiento, que deberán ser lo más claros y sencillos posible, permitiendo realizar una propuesta de plan de mantenimiento adaptado a las necesidades reales de una red ferroportuaria.

4. LA VÍA FÉRREA EN EL ÁMBITO PORTUARIO

Las características y tecnología del ferrocarril de viajeros y del ferrocarril de mercancías han evolucionado en direcciones diferentes [4, p. 47], afectando de forma distinta a los subsistemas estructurales y funcionales^D.

Dentro de los subsistemas estructurales se halla el de infraestructura, que es uno de los que más impacta en la eficiencia de los servicios ferroviarios de mercancías [4, p. 47].

En la actualidad, podemos encontrar redes ferroviarias para tráfico exclusivo de pasajeros, redes para tráfico mixto (pasajeros y mercancías) y redes para tráfico exclusivo de mercancías. Un ejemplo de cada tipo sería la red de alta velocidad de Adif para tráfico exclusivo de pasajeros, la red en ancho ibérico y métrico de Adif para tráfico mixto, y las redes ferroportuarias para tráfico exclusivo de mercancías.

En cuanto a las redes para tráfico exclusivo de mercancías, se pueden subdividir en dos subtipos. Podemos diferenciar entre las redes gestionadas por Adif y las redes gestionadas por las Autoridades Portuarias en cada uno de los puertos con red ferroviaria. Las diferencias entre la red de Adif y las de las Autoridades Portuarias es notoria, sobre todo en el ámbito tecnológico. Sin embargo, todas ellas, dado que pertenecen a la RFIG, se rigen por la misma legislación. Y es aquí donde entra en juego el concepto de interoperabilidad, que se puede definir como [5]: *“la capacidad del sistema ferroviario transeuropeo de permitir la circulación segura e ininterrumpida de trenes que cumplen las prestaciones requeridas para las líneas por las que pretenden circular”*.

4.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA VÍA FÉRREA EN EL ÁMBITO PORTUARIO

A continuación, se va a describir en líneas generales el paisaje, la configuración del territorio y las características de un puerto por donde discurre una línea ferroportuaria. De esta forma, acto seguido se podrá realizar una pequeña comparativa entre las redes ferroportuarias y las redes ferroviarias de Adif para resaltar las principales diferencias.

^D Anexo X: Subsistemas, del RD 929/2020, de 27 de octubre, sobre seguridad operacional e interoperabilidad ferroviarias.

4.1.1. Aspectos a considerar de una vía férrea en un puerto

El primer aspecto que se debe tener en cuenta es que, la *zona de servicio de un puerto*^E es una zona terrestre y marítima donde se llevan a cabo operaciones de tráfico portuario. Estas zonas, habitualmente se hallan en la costa, aunque en ocasiones, pueden localizarse en la ribera de un río caudaloso, como es el caso del Puerto de Sevilla.

En segundo lugar, las actividades que se realizan dentro de una zona de servicio portuario son, entre otras, de servicios de manipulación de mercancías, servicios al pasaje, servicios técnico-náuticos, servicios de recepción de residuos, control aduanero, actividades logísticas, transporte ferroviario de mercancías, etc.

El tercer aspecto relevante a considerar es que la zona terrestre de un puerto, a excepción de la zona de interacción puerto-ciudad, posee un perímetro delimitado mediante vallado y accesos controlados, por motivos aduaneros y/o de control de mercancías. En consecuencia, la circulación de vehículos terrestres y personas se realiza de forma controlada, siendo la Policía Portuaria la encargada de dicho control.

Una vez rebasado el control de acceso, todo el territorio y los elementos existentes en él son de titularidad de la Autoridad Portuaria correspondiente (viales, señalización, mobiliario, iluminación, pasarelas, muelles, ...). De una forma muy simplificada, se podría decir que el territorio dentro de la zona de servicio de un puerto de interés general se distribuye en tres tipos de zonas diferenciadas:

- Zonas comunes, como viales, zonas de estacionamiento y traza ferroviaria fuera de las terminales.
- Zonas de instalaciones de la propia Autoridad Portuaria.
- Zonas o parcelas para usos portuarios, bajo régimen de autorización o de concesión. Y dentro de estas zonas de usos portuarios, estarían englobadas las terminales ferroviarias de un puerto. Estas parcelas suelen ser recintos cerrados y separados de las zonas comunes mediante muros y/o vallado, con sus propios controles de acceso, como cualquier empresa fuera del puerto. A su vez, las terminales ferroviarias pueden ser de tres tipos:

^E Artículo 69 del RDL 2/2011, de 5 de septiembre, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Puertos del Estado y de la Marina Mercante.

ANÁLISIS DE PATOLOGÍAS DE VÍA FÉRREA EN PUERTOS. PROPUESTA DE MANTENIMIENTO.

La vía férrea en el ámbito portuario

- Terminal ferroviaria pública, donde pueden operar todas aquellas empresas cargadoras que dispongan de una autorización de uso en vigor.
- Terminal ferroviaria concesionada, donde opera de forma preferente, pero no exclusiva, el concesionario correspondiente.
- Apartaderos particulares, donde solamente opera el concesionario correspondiente.

En cuarto lugar, se ha de tener en cuenta que un puerto es una zona orográficamente plana, dado que se localiza junto al mar o una ribera fluvial. No suelen existir túneles ni puentes en zona portuaria, pues las distancias son muy cortas para salvar un obstáculo con las pendientes máximas que impone una vía férrea, y físicamente no suele ser viable. Todas las instalaciones, viales de carretera, la plataforma y las terminales ferroviarias se hallan habitualmente a la misma cota, con una pendiente nula o despreciable. Además, la longitud de vías en un puerto, incluyendo las vías de las terminales, oscila entre los pocos cientos de metros hasta los aproximadamente 50 km, como es el caso de Barcelona [6, p. 9].

En quinto lugar, se ha de considerar que una red ferroportuaria se explota para tráfico exclusivo de mercancías.

En sexto lugar, otro aspecto relevante es que la traza ferroviaria en un puerto discurre habitualmente por una calzada separada y de forma paralela a los viales de carretera. Sin embargo, para que las composiciones ferroviarias puedan acceder a las terminales, en varios puntos la vía férrea ha de cruzar estos viales al mismo nivel de forma perpendicular u oblicua. Además, los viales de un puerto, que suelen ser de alta capacidad en zonas de accesos, conllevan intensidades de circulación de vehículos pesados muy elevadas, generando en ocasiones atascos y colas en estos puntos de intersección al mismo nivel.

En séptimo y último lugar, hay que considerar que la velocidad de circulación de las composiciones ferroviarias en un puerto suele ser muy reducida por los condicionantes del entorno. Así pues, es habitual que las composiciones circulen en régimen de *marcha de maniobras*^F, siendo como máximo 30 km/h tirando o 20 km/h empujando.

^F Punto 2 del apartado '1.5.1.4. Condiciones de marcha especiales' del RD 664/2015, de 17 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Circulación Ferroviaria.

4.1.2. Comparativa general red ferroportuaria / Adif

En primer lugar, es obvio que la zona de servicio de un puerto y la zona de dominio público ferroviario de Adif son bastante diferentes. El dominio público ferroviario de Adif solamente es de ámbito terrestre, estando configurado por corredores de gran longitud por donde discurren las vías, mientras en un puerto es una zona muy acotada. Sin embargo, las terminales gestionadas por Adif o las de un puerto son relativamente similares en cuanto a superficie, si no tenemos en cuenta los muelles anexos a las terminales ferroportuarias.

En segundo lugar, si comparamos las actividades que se realizan en las instalaciones y terminales gestionadas por Adif y las terminales de un puerto, estas son relativamente parecidas a las que se realizan en un puerto (transporte de mercancías, manipulación de mercancías, y actividades logísticas), a excepción de los servicios para embarcaciones. Otro aspecto importante a considerar es que la red ferroviaria para Adif es su principal medio de negocio, focalizándose totalmente en el tren. Por el contrario, la red ferroportuaria para una Autoridad Portuaria es uno de los medios de que dispone para atraer mercancías al puerto, pues su negocio principal es el barco, y no el tren.

En tercer lugar, si comparamos una terminal gestionada por Adif y una terminal ferroportuaria, éstas suelen ser bastante similares. Las terminales en ambos casos suelen estar valladas en todo su perímetro, disponiendo de control de acceso por temas de seguridad. Y dentro de la terminal también se pueden encontrar zonas comunes, zonas con instalaciones de Adif y zonas concesionadas a diferentes operadores, así como derivaciones a instalaciones particulares anexas.

En cuarto lugar, la red de Adif difiere bastante de una red portuaria por el hecho de que discurre por diferentes tipos de orografía, necesitando la construcción de túneles, viaductos, terraplenes o desmontes y otras estructuras para salvar obstáculos. En cuanto a la longitud de las vías de Adif, hay que mencionar que es una red muy extensa, frente a una red ferroportuaria. Como referencia, se puede indicar que la red convencional de Adif [7, p. 21] es del orden de los 11.671 km a finales de 2023.

En quinto lugar, la red convencional de Adif, a diferencia de una red ferroportuaria, está diseñada habitualmente para tráfico mixto (pasajeros y mercancías). El caso de la red de alta velocidad es diametralmente opuesto, pues se explota solamente para tráfico de pasajeros. Por otro lado, Adif está construyendo actualmente los futuros corredores Mediterráneo [8] y Atlántico [9] en anchos ibérico y UIC para potenciar el transporte de mercancías.

En sexto lugar, la red convencional de Adif no discurre de forma habitual cerca de viales y carreteras. Sin embargo, sí que, en determinadas ocasiones, de la misma forma que una red ferroportuaria, tiene cruces al mismo nivel denominados *pasos a nivel*^G. A pesar de ello, la tendencia en los últimos años ha sido la de suprimir estos pasos a nivel, de forma que los cruces al mismo nivel que aún siguen en servicio son de poca entidad, por lo que los cruces se producen con viales con una baja intensidad de circulación. Nuevamente, el caso de la red de alta velocidad es diametralmente opuesto, dado que en dicha red no existen intersecciones a nivel.

En séptimo y último lugar, la velocidad de circulación en la red convencional de Adif suele ser mucho mayor que en los puertos. En zonas urbanas, los trenes de cercanías suelen circular a velocidades del orden de los 60 a 80 km/h, y en vías fuera de población a velocidades de hasta 160 o 200 km/h dependiendo del tipo de línea y de tren. En cuanto a la red de alta velocidad, los trenes alcanzan puntas de 300 km/h.

4.2. ELEMENTOS DE LA INFRAESTRUCTURA DE VÍA

La infraestructura de vía^H se define como:

...el conjunto de obras de tierra y de fábrica necesarias para construir la plataforma sobre la que se apoya la superestructura de vía. Entre las obras de tierra se encuentran los terraplenes, las trincheras y los túneles y, entre las obras de fábrica, los puentes, viaductos, drenajes y pasos a nivel [10].

A continuación, se describen los principales elementos de la infraestructura ferroviaria que se pueden encontrar en una zona de servicio portuario cualquiera, así como la problemática asociada a cada uno de los aspectos desarrollados.

Las descripciones no pretenden ser exhaustivas, sino lo más genéricas posible. Las diferencias entre un puerto y otro dependerán en gran medida del clima de la región donde se localicen, de los usos de las parcelas, de la organización y distribución del espacio portuario, o del tipo de mercancías que se manipule, entre otros factores.

^G Punto 31 del apartado '1.1.1.3. Definiciones' del del RD 664/2015, de 17 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Circulación Ferroviaria.

^H Punto 3 del Artículo 3. Elementos que integran la infraestructura ferroviaria, del RD 2387/2004, de 30 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento del Sector Ferroviario.

En cuanto a las problemáticas a exponer, se pretende dar una visión desde un punto de vista del mantenimiento, y lo más realista posible, que sea de aplicación a cualquier puerto español con red ferroviaria.

4.2.1. Desbroces y limpieza

Los desbroces de vegetación y la limpieza de residuos son dos aspectos que, aunque posiblemente subestimados por ser algo básico, tienen una vital importancia por las afectaciones que pueden provocar a la infraestructura y superestructura, y a las circulaciones ferroviarias.

4.2.1.1. Desbroce de vegetación

Los terrenos portuarios suelen ser de tipo aluvial, pues se localizan en las planicies costeras, estando habitualmente próximos a las desembocaduras de algunos ríos, torrentes y rieras. En consecuencia, gran parte de los terrenos donde se localizan las zonas de servicio portuarias están formados por materiales arrastrados por el agua, sobre los que existe cierta capa de materia orgánica que facilita el desarrollo y proliferación de plantas y maleza.

Sin embargo, en los puertos también existen zonas ganadas al mar que se han ejecutado con materiales de aportación, exentos de materia orgánica y con mayor capacidad portante. En este caso, si se ha procedido a la ejecución de explanaciones y su pavimentación para la construcción de muelles o terminales portuarias, en principio no suele haber tanta vegetación, pues los mismos pavimentos impiden su crecimiento.

Así pues, en una zona de servicio portuaria se pueden encontrar:

- Zonas no urbanizadas: Parcelas no concesionadas o sin uso determinado, zonas de viales de emergencia, acopios de materiales, zonas de vía en balasto, márgenes de caminos, parterres, etc.
- Zonas urbanizadas: Parcelas con uso asignado, terminales y/o concesiones, viales de carretera, edificios de oficinas, almacenes, zonas de aparcamiento, aceras, paradas de autobús, zonas de vía en placa, etc.

4.2.1.1.1. Zonas no urbanizadas

Las zonas no urbanizadas y no pavimentadas son las que presentan una mayor problemática en cuanto a la afectación por la aparición de vegetación en la plataforma ferroviaria. Dada la naturaleza del terreno en zona portuaria, son áreas propensas a la proliferación de vegetación herbácea, arbustiva y de arbolado.

Los problemas más destacables son:

- Los daños producidos a la plataforma ferroviaria por la vegetación y sus raíces.
- La ocultación de las señales ferroviarias a los maquinistas, con los consecuentes riesgos a la circulación por inobservancia.
- La reducción del gálibo ferroviario por el excesivo crecimiento de la vegetación.
- El riesgo de incendio motivado por la presencia de materia vegetal seca que se convierte en combustible ante una chispa.
- La interceptación de la vía, al caer ramas o incluso algún árbol, bien por la acción del viento o porque un árbol se ha secado y cae en la misma vía.

La aparición de vegetación, sobre todo arbustiva y de arbolado, en las inmediaciones de la plataforma ferroviaria puede provocar que las raíces se abran camino y horaden la plataforma ferroviaria por debajo de las capas de asiento en busca de humedad. Este hecho provoca a medio plazo la infiltración de agua debajo de la caja de la vía, lo que produce problemas de asentamientos, así como la aparición de brotes y ramas a través del balasto, malogrando la plataforma ferroviaria. Todo ello conlleva la afectación a los parámetros geométricos de la vía, generándose principalmente problemas de nivelación en ambos hilos (baches), o en un solo hilo (alabeos).

**ANÁLISIS DE PATOLOGÍAS DE VÍA FÉRREA EN
PUERTOS. PROPUESTA DE MANTENIMIENTO.****La vía férrea en el ámbito portuario**

Ilustración 1: Plataforma afectada por la vegetación. Fuente propia.

De forma habitual, la vegetación que crece alrededor de la plataforma ferroviaria va aumentando de tamaño y volumen, y sobre todo en primavera, provoca problemas de ocultación de señales ferroviarias por el desarrollo del follaje. Este hecho conlleva problemas de falta de visibilidad de las señales por parte de los maquinistas, que podrían desembocar en incidentes o accidentes ferroviarios por inobservancia de sus indicaciones.



Ilustración 2: Señal ferroviaria ocultada parcialmente por la vegetación. Fuente propia.

También es relativamente habitual que la vegetación arbustiva y las enredaderas se entrelacen con los vallados perimetrales que a veces delimitan la zona de vías, y acaben invadiendo el gálibo ferroviario. Incluso los árboles y arbustos al crecer ensanchan sus ramas y copas y llegan a entrar en el gálibo de obstáculos del tren, de tal forma que el propio tren hace las veces de podadora al pasar.



Ilustración 3: Vegetación en gálibo ferroviario. Fuente propia.

Una vez llega el verano, con las altas temperaturas y la baja humedad ambiental, gran parte de la vegetación existente alrededor de las vías se seca, convirtiéndose en combustible y posible foco de incendios ante cualquier chispa. Las zonas portuarias presentan relativamente poca vegetación, existiendo poco riesgo de expansión, pues son zonas acotadas. Sin embargo, en algunos casos podrían conllevar riesgos adicionales por la proximidad a la vía de instalaciones ajenas a la red ferroviaria.

El problema principal en cuanto a las instalaciones ferroviarias se halla en el hecho de que los motores de los desvíos, las señales ferroviarias y el cableado de las instalaciones de seguridad y señalización podrían resultar gravemente dañados por el fuego. Más si cabe, en aquellos casos en que la vegetación rodea u oculta señales, arquetas de cableado y otros elementos ferroviarios.

ANÁLISIS DE PATOLOGÍAS DE VÍA FÉRREA EN PUERTOS. PROPUESTA DE MANTENIMIENTO.

La vía férrea en el ámbito portuario



Ilustración 4: Desbroce de zarzas secas en plataforma ferroviaria. Fuente propia.

Finalmente, uno de los problemas menos habituales, pero de mayor repercusión, es la caída de elementos a la caja de la vía con interceptación de las circulaciones. Un claro ejemplo son la caída ramas o incluso de árboles por acción del viento, o por haberse secado.



Ilustración 5: Arbolado próximo a la vía. Fuente propia.

4.2.1.1.2. Zonas urbanizadas

Las zonas urbanizadas y pavimentadas no suelen tener excesivos problemas por motivo de la vegetación, pues como se ha comentado anteriormente, el mismo pavimento impide su crecimiento.

El problema más destacable es la aparición de herbáceas y matorrales que crecen a través de las juntas y grietas de los pavimentos.

Este tipo de vegetación silvestre, con el tiempo va creciendo y va rompiendo el pavimento, haciendo más grandes las grietas, y facilitando la infiltración de agua en la plataforma. Adicionalmente, esta vegetación también puede provocar la ocultación de la señalización ferroviaria.

En el caso de las vías ferroportuarias, este caso es habitual en los tramos de vía en placa existentes en las zonas donde la vía férrea cruza viales de carretera, y en las terminales ferroportuarias donde se realizan las operativas de carga y descarga de mercancías.

Cuando la vegetación que crece a través de las juntas es de tipo herbáceo, no suele haber excesivos problemas, pues su retirada es bastante fácil y no se producen daños apreciables.



Ilustración 6: Herbáceas en juntas de hormigonado. Fuente propia

Sin embargo, cuando la vegetación que surge de estas juntas o grietas es de tipo arbustivo, suele comportar problemáticas añadidas.

Por un lado, los troncos leñosos dañan el pavimento cuarteándolo, facilitando la infiltración de agua de lluvia bajo el pavimento y la aparición

ANÁLISIS DE PATOLOGÍAS DE VÍA FÉRREA EN PUERTOS. PROPUESTA DE MANTENIMIENTO.

La vía férrea en el ámbito portuario

progresiva de más vegetación, así como posibles blandones o asentamientos en la plataforma.

Por otro lado, las raíces se extienden por debajo de pavimento, levantando el suelo en algunos puntos y produciendo grietas que con el tiempo degradan aún más el pavimento circundante. Además, cuando estas plantas mueren, bien por sequía, o bien porque se les ha aplicado algún tratamiento herbicida u otro motivo, aparece la problemática añadida que las raíces se secan, pierden volumen y dejan hueco en el terreno a través del cual se habían abierto paso. Este hecho también suele provocar pequeños asentamientos que acaban afectando a la plataforma ferroviaria y, por ende, a la calidad de la vía.

Finalmente, como problemática adicional, las ramas y el follaje también pueden llegar a reducir la visibilidad del trazado, o lo que es peor, a ocultar señales ferroviarias.



Ilustración 7: Arbolado en paramentos junto a vía en placa. Fuente propia.

4.2.1.2. Limpieza de zonas de vía

El tema de la limpieza en el entorno ferroviario en las zonas de servicio de los puertos tiene una gran trascendencia, aunque de entrada no lo parezca.

Podemos clasificar los residuos más habituales según su origen:

- Residuos de las propias composiciones ferroviarias.
- Residuos de obras y reparaciones en vía.
- Residuos ajenos a la vía férrea.

Todos estos residuos acaban depositados en la plataforma ferroviaria junto a la vía, o en la propia vía. Y en algunos casos, pueden ser arrastrados por el viento o el agua, quedando depositados en las cunetas y drenajes transversales, provocando atascos y la acumulación de agua en la plataforma.

Los elementos que quedan depositados en la caja de la vía son los de mayor riesgo, pues podrían provocar incidentes o incluso accidentes durante la circulación de las composiciones ferroviarias como, por ejemplo, un descarrilo.

4.2.1.2.1. Residuos de las propias composiciones ferroviarias

La tipología de vagones que circulan por un puerto es diversa. Desde vagones portacoques, plataformas portacontenedores, cisternas para graneles líquidos, y hasta tolvas para graneles sólidos.

Al paso de las circulaciones suelen caer elementos u objetos de las propias composiciones ferroviarias. Lo más habitual es encontrar en la caja de la vía, y a su alrededor, piezas metálicas procedentes del material rodante o elementos de la carga del tren.

Las piezas más frecuentes son zapatas de freno, restos metálicos de ruedas frenadas, tornillos, tramex y silletas de sujeción de coches procedentes de los vagones portacoques, pines de sujeción de contenedores de las plataformas portacontenedores. En cuanto a los restos de la carga de los trenes, es habitual encontrar restos del material transportado por las tolvas (cereal, potasa, sal, cemento, etc.).

También se pueden ver en algunas ocasiones pegotes de arena procedente de los areneros de las locomotoras, utilizados para mejorar la adherencia entre las ruedas y el carril, y manchas de aceite en la caja de la vía por pérdidas en el material rodante motor.

ANÁLISIS DE PATOLOGÍAS DE VÍA FÉRREA EN PUERTOS. PROPUESTA DE MANTENIMIENTO.

La vía férrea en el ámbito portuario



Ilustración 8: Silleta de sujeción de vehículos. Fuente propia.



Ilustración 9: Restos metálicos de una rueda frenada. Fuente propia.



Ilustración 10: Baliza plástica de señalización viaria en una terminal. Fuente propia.

4.2.1.2.2. Residuos de obras y reparaciones en vía

Otro tipo de residuos que se puede encontrar ocasionalmente en la plataforma ferroviaria son los restos de obras y reparaciones de vía. Este aspecto está más acotado por ser responsabilidad de los *encargados de trabajos y/o de los pilotos de seguridad en la circulación*¹ la vigilancia de la infraestructura y la protección de las circulaciones y los trabajos. Sin embargo, en ocasiones se hallan tirafondos, clips, cupones de carril, traviesas, canaletas, cableados, varillas de hierro, tierras, sacos, bobinas, etc, que pueden haber quedado acopiados de forma incorrecta o excesivamente próximos a la vía, y que pueden no haber sido detectados por estos responsables.

En estos casos, lo más habitual es que algún elemento pueda quedar próximo a la vía, pero sin interceptarla. Estas situaciones, a priori, no tienen por qué provocar ninguna situación de riesgo a las circulaciones, pero pudieran afectar a las instalaciones ferroviarias.

¹ Artículo 13.1 y 13.2 de la Orden FOM/2872/2010, de 5 de noviembre.



Ilustración 11: Contracarril acopiado junto a la vía, y próximo a la canaleta de cableado de instalaciones. Fuente propia.

4.2.1.2.3. Residuos ajenos a la vía férrea

El tránsito diario de personas y vehículos (coches y camiones) por los viales anexos a una red ferroportuaria genera la acumulación de gran cantidad de residuos y suciedad en la zona de vía y sus alrededores.

Los residuos más habituales son: plásticos, restos de comida, latas de bebida, botellas de agua y de orines, piezas de vehículos, cajetillas de tabaco, balizas reflectantes de señalización viaria, barro y suciedad (sobre todo en la vía en placa), animales muertos (sobre todo gatos y gaviotas), restos de vegetación, así como cualquier cosa que pueda arrastrar el viento.

Estos elementos, a priori, no suelen representar un riesgo para las circulaciones ferroviarias, pues son desplazados por el propio tren a su paso. Sin embargo, su acumulación en los drenajes, en aparatos de vía, en la vía en placa embebida o en la plataforma sí que puede llegar a crear problemas por atasco de los drenajes, faltas de comprobación de agujas, acumulación de sólidos en la acanaladura de la cara activa del carril de la vía embebida, riesgo de incendio, etc. Además, en caso de tener que acometer trabajos de mantenimiento, pueden ser un inconveniente importante.



Ilustración 12: Acumulación de residuos en un desvío. Fuente propia.



Ilustración 13: Acumulación de barro en la acanaladura de la cara activa del carril. Fuente propia.

4.2.2. Drenajes de plataforma

El drenaje de una plataforma ferroportuaria es un tema muy delicado dada la orografía plana del terreno en las zonas portuarias. Al no existir habitualmente terraplenes ni desmontes, a diferencia de la mayoría de plataformas ferroviarias, el drenaje superficial de la plataforma se convierte en un aspecto crítico.

Así pues, dado que *"el drenaje superficial, generalmente, no es una medida suficiente, pero sí necesaria"* [11, p. 22], cada vez que se actúe sobre un elemento que afecte a la plataforma será necesario estudiar la forma más eficaz de captar la escorrentía que se genere. La normativa de aplicación para el establecimiento de criterios y consideraciones para el diseño de obras de drenaje en las redes de Adif es la NAP 1-2-0.3 [12], que utiliza como referencia la Instrucción 5.2-I.C. Drenaje Superficial de la Dirección General de Carreteras^J.

En un puerto suele ser difícil realizar drenajes longitudinales y transversales en la plataforma ferroviaria, básicamente por la falta de pendientes y por la falta de espacio. El trazado ferroviario suele estar muy encajado entre parcelas, muros y elementos urbanos, y puede tener diversos cruces a nivel con viales, lo que dificulta un correcto drenaje de la plataforma ferroviaria.

Para el caso de plataformas de nueva construcción, el estudio de drenaje que se realiza en los proyectos constructivos suele ser adecuado, implementando las soluciones que mejor resuelven las posibles problemáticas. Sin embargo, cuando hablamos de plataformas ferroviarias que llevan construidas hace muchos años, y alrededor de las cuales se han ido urbanizando los terrenos colindantes, aparecen problemáticas de difícil solución y con un alto coste económico. En estos casos, la propia plataforma ferroviaria acaba siendo el punto bajo de la zona, donde acaba confluyendo la escorrentía, lo que provoca su rápido deterioro y la aparición de diversas problemáticas asociadas.

^J Orden FOM/298/2016, de 15 de febrero, por la que se aprueba la norma 5.2 - IC drenaje superficial de la Instrucción de Carreteras.

4.2.2.1. Drenajes longitudinales

En las redes ferroportuarias se pueden encontrar cunetas longitudinales en los laterales de la vía en lugares muy concretos, donde las pendientes permiten la evacuación de las aguas que recogen. Sin embargo, en muchos casos las cunetas suelen tener pendiente casi nula, desaguando por incremento del nivel de la lámina de agua hacia los colectores que discurren por los viales de carretera anexos a la plataforma ferroviaria.

Este desaguado deficiente, junto con la acumulación de materiales sólidos (sobre todo balasto, tierra, vegetación y suciedad), provoca en algunos casos el embalsamiento de agua en algunos puntos, provocando la proliferación de vegetación, e introduciendo agua en la plataforma ferroviaria. Como resultado de ésto, pueden aparecer asentamientos, contaminación del balasto y fallos en la plataforma ferroviaria que se traducen sobre todo en problemas de nivelación de la vía.



Ilustración 14: Drenaje longitudinal mediante cuneta hacia arqueta conectada a colector de vial de carretera. Fuente propia.

En otros puntos, donde la vía queda encajada, la urbanización de los terrenos de alrededor está a la misma cota o cota superior, con lo que la vía acaba siendo el punto bajo y, por lo tanto, el lugar donde se acumula el agua de la escorrentía. Esto provoca que se produzcan asentamientos y blandones en la plataforma, proliferación de vegetación, contaminación del balasto por la suciedad que arrastra el agua y por el barro que acaba ascendiendo desde la plataforma al balasto, etc. En definitiva, se malogra la plataforma ferroviaria, debiendo realizar actuaciones cada cierto tiempo para restituir unas adecuadas condiciones de circulación.



Ilustración 15: Plataforma sin drenaje longitudinal encajada entre edificaciones. Fuente propia.

4.2.2.2. Drenajes transversales

Por motivos similares a los drenajes longitudinales, no es habitual encontrar drenajes transversales bajo vía en una red ferroportuaria. La falta de pendientes, la similitud de cota entre la vía y los viales colindantes y el encaje de la vía con la urbanización dificultan la existencia de este tipo de drenajes, pues muchas veces no tendrían cota de desagüe.

En los tramos de nueva construcción y en las terminales donde la vía suele estar embebida en muchos casos, pueden llegar a existir drenajes transversales, funcionando de una forma relativamente razonable, y desaguando en los colectores de los viales de carretera o de las terminales.

En tramos de plataforma antigua los drenajes transversales son prácticamente inexistentes, o se hallan obturados por materiales arrastrados por el agua, debiendo ser desatascados cada cierto tiempo para su correcto funcionamiento.



Ilustración 16: Drenaje transversal en plataforma de vía en placa. Fuente propia.

4.2.2.3. Drenajes verticales o pozos de grava

En las redes ferroportuarias, y sobre todo en las terminales con tipología de vía en placa embebida, suelen encontrarse un tipo de drenajes llamados verticales o pozos de gravas. Este tipo de drenajes se utilizan en lugares donde no hay posibilidad de drenar el agua por la planitud de la superficie donde se localiza la vía.

En algunos casos, como el de las fotos de más abajo, la vía se halla en una zona de muelle, donde el pavimento es totalmente plano debido a la circulación de vehículos de carretera o de grúas portacontenedores sobre neumáticos. Al ser la superficie totalmente plana y junto al mar, no es posible conseguir una pendiente mínima suficiente para conseguir el correcto drenaje de la zona. En consecuencia, las acanaladuras del carril son el punto bajo de toda la zona, por lo que se hace necesario la ejecución de pozos de gravas en estos puntos bajos para que el agua se evacúe a través de ellos. Sin embargo, estos pozos también tienen sus limitaciones, más si cabe porque al excavar enseguida nos encontramos con la lámina de agua del mar.

Adicionalmente, dado que estos pozos son puntos bajos, el agua que se vierte en ellos arrastra sólidos y cualquier otro residuo o suciedad que pudiera haber en la zona, provocando la colmatación y taponado de estos drenes. Así pues, uno de los problemas más típicos que nos encontramos en estos casos es que se hace necesario limpiar estos pozos de gravas de forma habitual para que puedan seguir funcionando. Y entretanto, los

**ANÁLISIS DE PATOLOGÍAS DE VÍA FÉRREA EN
PUERTOS. PROPUESTA DE MANTENIMIENTO.****La vía férrea en el ámbito portuario**

elementos de vía (carrilaje y sujeciones, etc.) quedan anegados de agua y suciedad, lo que provoca su oxidación con el paso del tiempo.

Lamentablemente, la dificultad de limpiar estos pozos conlleva que muchas veces la solución por la que se opta es la de drenar por bombeo, quedando fuera de servicio estos drenes, y deteriorando el estado de los elementos de vía de una forma más rápida de lo normal.



Ilustración 17: Desvío embebido en hormigón con el drenaje obturado. Fuente propia.



Ilustración 18: Acanaladuras de un desvío embebido en hormigón una vez drenado, con restos de suciedad y oxidado. Fuente propia.

4.2.3. Pasos de instalaciones

Las instalaciones de seguridad y señalización ferroviaria en una red ferroportuaria suelen discurrir, como en las redes de Adif, a lo largo de la traza de la vía en canaletas semienterradas de hormigón o plásticas, en canalizaciones de prismas hormigonados y enterrados, o en perchas ancladas a los paramentos verticales y protegidas con perfiles de chapa.

Asimismo, cuando se hace necesario cruzar la plataforma ferroviaria o algún vial para encaminar el cableado hacia los enclavamientos o hacia otras señales o elementos de instalaciones interrelacionadas se suele hacer mediante pasos de instalaciones bajo vía perpendiculares a ésta.

Estos pasos bajo vía o cruces de vía se realizan mediante prismas de tubos hormigonados, conectados a una arqueta a cada lado de la vía, desde donde se distribuye el cableado hasta su punto de conexión.

Su ejecución es más o menos complicada dependiendo de la tipología de vía (vía en balasto o vía en placa en sus diferentes subtipologías), la existencia de otros servicios o pasos, la cantidad de tubos del prisma, la longitud del prisma a ejecutar (una vía o más vías), si es zona de desvíos o de vía recta, de la duración de la banda de mantenimiento habitual en ese trayecto (tiempo en el que no se producen circulaciones ferroviarias y se puede trabajar en gálibo).



Ilustración 19: Prisma de tubos en arqueta de paso bajo vía. Fuente propia.

Usualmente, al ejecutar estos prismas se dejan algunos tubos de reserva para futuras necesidades, de forma que haya tubos libres para pasar más cableado. Una buena práctica es dejar mandrilados los tubos con cuerda para poder pasar el nuevo cableado a instalar de una forma más fácil y rápida.

En ocasiones, debido a la premura, se hace necesario realizar cruces provisionales más superficiales que se deben señalar para evitar roturas de cableado cuando se trata de vía en balasto. Estos cruces, aunque en teoría no deben ser definitivos, muchas veces permanecen durante mucho tiempo hasta que son movidos a una conducción definitiva.

También existen cruces que no se pueden realizar enterrados, pues el cableado conecta con elementos que van directamente al carril. En estos casos, el cableado se suele proteger dentro de un corrugado, enterrando en el balasto el corrugado y dejando a la intemperie la longitud mínima posible.

Las principales problemáticas asociadas a este tipo de pasos de vía suelen ser las siguientes:

- Tubos obturados bien por estar chafados, o por estar rellenos de hormigón. Los tubos de reserva quedan inservibles no pudiendo pasar más cableado.
- Los cableados provisionales, cuando permanecen en esa provisionalidad durante mucho tiempo, acaban por perder su protección por exposición al sol, el frío y la humedad. Adicionalmente, dado que muchas veces no están señalizados, pueden sufrir golpes, roces, cortes o incluso ataques de roedores que pueden provocar el mal funcionamiento de las instalaciones, así como conexiones defectuosas y derivaciones.
- Los cableados que han de cruzar por debajo del carril han de estar protegidos en un corrugado y enterrados en el balasto, estando correctamente señalizados, marcando la traviesa anterior y posterior al cruce. Sin embargo, cuando la señalización desaparece por acción del agua, o bien no se señaló correctamente el cruce, se corre el riesgo de romper el cableado al realizar trabajos de bateo al insertar los bates en el cajón entre traviesas.



Ilustración 20: Cableado de conexión de un pedal cuyo corrugado de protección se ha degradado. Fuente propia.



Ilustración 21: Paso de cableado señalizado para no dañarlo en caso de bateo. Fuente propia.

4.2.4. Viales en intersecciones especiales o PN

4.2.4.1. Definición

A modo introductorio, y sin entrar por el momento en términos legales ni técnicos (se verá en el apartado 4.3.3), se puede definir una intersección especial o un paso a nivel como un punto de cruce al mismo nivel entre una carretera o camino con una vía férrea.

En los cruces de vía con carretera en la red de Adif, se suele ver que la tipología de vía es en balasto. En el caso de vía en balasto, cuando se trata de viales secundarios o de poca intensidad viaria, se suele rellenar la caja de la vía y los laterales de los carriles con un entablonado de traviesas de madera.



Ilustración 22: Intersección en ancho ibérico y ancho UIC mediante entablonado de traviesas de madera en el Puerto de Barcelona. Fuente propia.

Para viales con mayor intensidad viaria, se suelen utilizar soluciones más técnicas y actuales como son los paneles de caucho tipo Strail [13] o Rosehill [14], que proporcionan una superficie de rodadura más confortable, duradera y con menos discontinuidades.



Ilustración 23: PN de paneles de caucho en la L/ Madrid-Zaragoza-Barcelona, red convencional de Adif en la estación de Embid de la Ribera. (Fuente propia).

En los puertos, puede hallarse estas dos tipologías de cubrición de la caja de la vía para salvar el paso de vehículos. Sin embargo, también es muy habitual encontrar que la vía no es de tipología en balasto, sino que se trata de vía en placa embebida o estuchada. Es decir, los carriles están embebidos en una losa de hormigón, quedando la superficie de acabado a la misma cota que la cabeza del carril, o muy próxima. En los casos en que la losa queda algo por debajo de la cota de carril se suele extender una pequeña capa de rodadura de asfalto para acabar de nivelar la superficie. En este caso de vía embebida, se deja una acanaladura en la cara activa del carril para el paso de la rueda del tren.



Ilustración 24: Intersección de vía en placa estuchada de anchos ibérico, UIC y métrico. Puerto de Barcelona. Fuente propia.

Para el caso de cubrición mediante entablado o de paneles de caucho, el ancho de vía se da mediante traviesas de madera o de hormigón, y en el caso de losa hormigonada, el ancho se puede dar mediante traviesas de hormigón embebidas o mediante perfiles metálicos que se sueldan al patín de los carriles transversalmente a modo de traviesas.



*Ilustración 25: Vía en placa con perfiles a modo de traviesa en el Puerto de Barcelona.
Fuente propia.*

4.2.4.2. Problemáticas habituales

Cualquiera de las posibles soluciones utilizadas para realizar estos cruces a nivel tiene sus problemáticas, debido sobre todo a las fuerzas laterales perpendiculares a la vía, y a los esfuerzos verticales de los ciclos de carga/descarga ejercidos por los ejes de los vehículos de carretera al cruzar.

Lo primero a considerar es que en un puerto un alto porcentaje de los vehículos de carretera son camiones de gran tonelaje cargados, y en menor medida, vehículos particulares. El porcentaje de vehículos de dos ruedas es mínimo, pues resulta peligroso circular entre tanto camión.

Así pues, al cruzar un vehículo por la intersección, se genera un momento de torsión en los carriles de la vía que ha de ser resistido por las sujeciones para mantener el ancho de vía dentro de tolerancia. También se genera un esfuerzo dinámico vertical cada vez que un eje de un vehículo circula sobre los carriles. Cuanto más irregular sea el firme, más rebote de los ejes de un vehículo se generará, y más ciclos de carga/descarga sufrirán estas zonas. Por ello, interesa que el acabado (entablado, paneles de caucho, hormigón, asfalto...) esté a la misma

cota que la cabeza del carril para reducir los posibles esfuerzos laterales y los ciclos de carga/descarga vertical. Sin embargo, dado que no se puede eliminar la acanaladura para el paso de la rueda del tren, siempre existirán discontinuidades que favorecerán estos esfuerzos.

Y esa acanaladura es uno de los aspectos a tener en cuenta, sobre todo con entablonados y paneles de caucho. A la larga, el tráfico viario puede provocar que las fijaciones de los entablonados o de los paneles de caucho se aflojen, produciéndose pequeños desplazamientos de las piezas. En consecuencia, será necesario verificar que la entrecalle o ancho de la acanaladura se mantiene correctamente abierto para el paso de la rueda del tren.

Otro aspecto a tener en cuenta es la junta que se crea entre los carriles y el pavimento del vial, y la junta entre la losa de la vía y el pavimento. Estas juntas longitudinales paralelas a los carriles también sufren los efectos de los esfuerzos generados por los vehículos, más si cabe, si consideramos que en muchos casos los vehículos frenan o arrancan justo antes de esa junta para detener el vehículo en caso de pasar un tren, o reiniciar la marcha al liberarse la intersección.

Con el tiempo, las juntas del pavimento acaban deteriorándose, lo que provoca que el pavimento se cuartee y se generen baches. Para solventar de forma provisional estos baches se suele parchear con hormigón o con asfalto en frío. Sin embargo, como se indica, es una solución provisional que puede resultar efectiva durante una temporada hasta que se haya de plantear una intervención más generalizada.

Además de la problemática del bacheado del pavimento, las sujeciones de carril y las soldaduras de los perfiles en el patín del carril acaban fallando por fatiga (se rompen las sujeciones y se parten las soldaduras). A consecuencia de esto, el pavimento en las zonas junto al carril empieza a deteriorarse muy rápido debido a ciclos de carga/descarga por el paso de vehículos. Al no estar los carriles sólidamente sujetos a las traviesas, a los perfiles o elementos que aseguren su posición y ancho de vía, los golpeteos por el paso de los ejes de los vehículos aceleran el deterioro de la vía, creándose holguras que conllevan intervenir para su reparación en el corto plazo.

ANÁLISIS DE PATOLOGÍAS DE VÍA FÉRREA EN PUERTOS. PROPUESTA DE MANTENIMIENTO.

La vía férrea en el ámbito portuario



Ilustración 26: Pavimento cuarteado por el paso de vehículos en una intersección especial en el Puerto de Barcelona. Fuente propia.



Ilustración 27: Pavimento cuarteado en una intersección especial en el Puerto de Barcelona. Fuente propia.

4.3. ELEMENTOS DE LA SUPERESTRUCTURA DE VÍA

La superestructura de vía^K se define como:

...el conjunto integrado por los carriles, contracarriles, las traviesas o, en su caso, la placa, las sujeciones, los aparatos de vía y, en su caso, el lecho elástico formado por el balasto, así como las demás capas de asiento, sobre el que estos elementos apoyan [10].

A continuación, se describen los principales elementos de la superestructura ferroviaria que se pueden encontrar en una zona de servicio portuario cualquiera, así como la problemática asociada a cada uno de los aspectos desarrollados.

Las descripciones no pretenden ser exhaustivas, sino lo más genéricas posible. Las diferencias entre un puerto y otro dependerán en gran medida del uso histórico de sus instalaciones, los criterios de diseño y necesidades en sus distintas épocas, los anchos de circulación presentes y el tipo de mercancías que se manipule, entre otros factores.

En cuanto a las problemáticas a exponer, se pretende dar una visión desde un punto de vista del mantenimiento, y lo más realista posible, que sea de aplicación a cualquier puerto español con red ferroviaria.

4.3.1. Vía férrea

4.3.1.1. Definición

Se define la vía en la Orden FOM/1630/2015^L como: el "Conjunto de elementos que constituye el camino de rodadura del tren. Está compuesta por dos carriles cuya inclinación y separación relativa son mantenidas por las traviesas o por cualquier otro sistema equivalente".

A continuación, se describirán los principales elementos de la vía, así como sus problemáticas asociadas.

^K Punto 3 del Artículo 3. Elementos que integran la infraestructura ferroviaria, del RD 2387/2004, de 30 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento del Sector Ferroviario.

^L Anejo 1. Definiciones, de la Orden FOM/1630/2015, de 14 de julio, por la que se aprueba la "Instrucción ferroviaria de gálivos".

4.3.1.2. Elementos básicos de la vía férrea

4.3.1.2.1. Balasto

La banqueta de balasto [15, p. 41] es una capa granular sobre la que se apoyan las traviesas, a fin de transmitir y repartir las cargas de los trenes con una tensión admisible para las capas inferiores.

Otras de sus principales funciones son [16, p. 241]: dar la elasticidad necesaria a la vía, permitir obtener la geometría de vía adecuada en cuanto a peralte y alineación, impedir los movimientos de la vía (longitudinales y transversales) por dilatación dándole estabilidad, reducir el nivel sonoro de las circulaciones, facilitar el drenaje de la plataforma y permitir la restitución de la geometría de la vía con maquinaria pesada de vía.

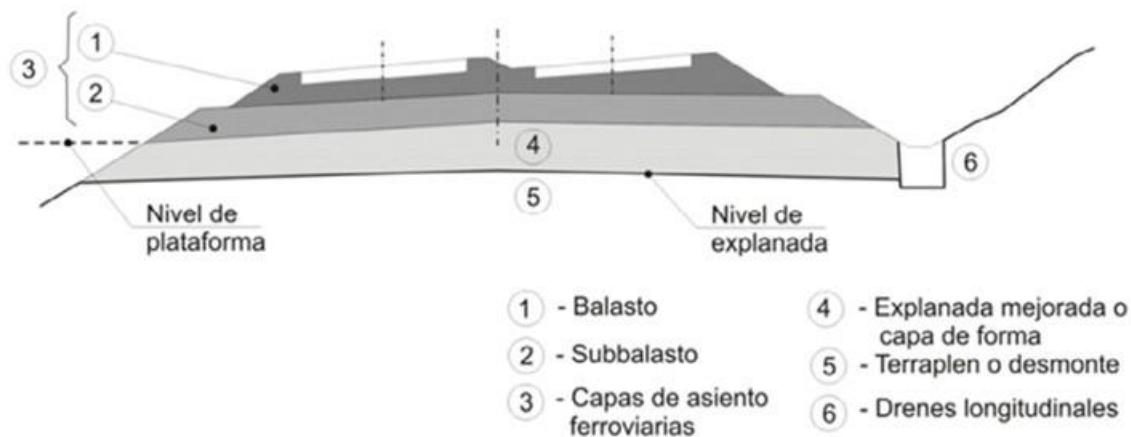


Ilustración 28: Sección transversal de plataforma ferroviaria [17, p. 68656].

De acuerdo con la norma NAV 3-4-1.0 [18, p. 8], "las dimensiones de la banqueta son función del tráfico ficticio diario de la línea o del tramo que corresponda". Es decir, en función de las t-Km diarias estimadas para una línea férrea en concreto. Además, en dicha normativa se realiza una estimación del espesor de la capa de subbalasto y de balasto conjuntamente, pudiendo adecuarse el espesor final en cada proyecto, dependiendo de la calidad de la plataforma.

A modo de simplificación, sin tener en cuenta el tipo de traviesa y de acuerdo a lo indicado en la Orden FOM/1631/2015^M, se puede considerar como valor orientativo de espesor mínimo de balasto bajo traviesa los 25 cm, para velocidades <120 km/h, y los 30 cm, para velocidades ≥120 km/h [17, p. 68661]. A pesar de lo indicado, en los nuevos

^M Apartado 7, página 68661, de la Orden FOM/1631/2015, de 14 de julio, por la que se aprueba la Instrucción para el proyecto y construcción de obras ferroviarias IF-3. Vía sobre balasto. Cálculo de espesores de capas de la sección transversal.

proyectos, sobre todo en alta velocidad, los espesores mínimos de balasto bajo traviesa considerados suelen ser de 35 cm [19, p. 62].

Adicionalmente se ha de tener en cuenta que, como puede verse en la ilustración siguiente, el espesor de la capa de balasto bajo traviesa no suele ser el mismo en toda la sección de las traviesas, bien por motivo del peralte en curvas, o bien por la pendiente de drenaje del subbalasto en rectas. En consecuencia, los asentos generados por la carga vertical no son los mismos para cada carril [20, p. 80].

Asimismo, los hombros de balasto [18, p. 13] que arropan las traviesas, dependiendo del tipo de línea y velocidad, pueden medir desde los 90 cm hasta los 105 cm.

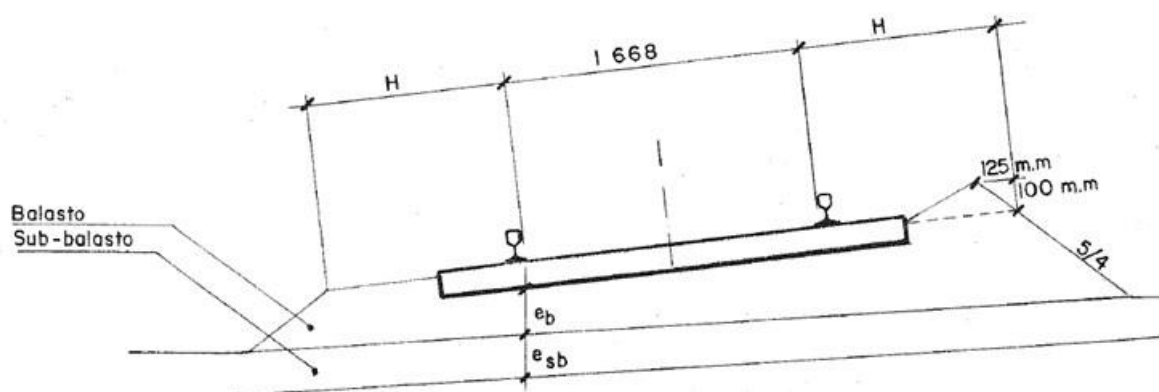


Ilustración 29: Sección tipo banqueta balasto. Fuente: NAV 3-4-1.0 [18, p. Fig. 5.7].

4.3.1.2.2. Traviesas y sujeciones de vía en balasto

Las traviesas o armamento [15, p. 51] son los elementos transversales a la traza ferroviaria dispuestas habitualmente cada 60 cms sobre las que se apoyan los carriles, y que a su vez transmiten la carga del tren al balasto y a la plataforma. Íntimamente ligado, existe otro elemento que acompaña a las traviesas, las sujeciones de vía. La función de las sujeciones [15, p. 72] es fijar el carril a las traviesas, evitando su vuelco lateral o su desplazamiento longitudinal. Además, las sujeciones son las encargadas de garantizar el ancho de vía o distancia entre las caras activas de los carriles (característicamente 1.000 mm en ancho métrico, 1.435 mm en ancho UIC o internacional y 1.668 mm en ancho ibérico o convencional).

En cuanto a traviesas, existen en el mercado múltiples tipologías. Traviesas de madera de pino o akoga, traviesas metálicas (ya en desuso), traviesas de hormigón pretensado con o sin suela de goma, e incluso últimamente han salido al mercado traviesas de polímero, entre otros tipos menos habituales.

En cuanto a sujeciones [21, p. 5], éstas pueden ser directas, indirectas o mixtas, dependiendo de la forma de fijación del carril y la sujeción a la traviesa. También se pueden clasificar en rígidas (escarpas y tirafondos) o elásticas (clavo elástico, grapa, clip...), dependiendo de la deformabilidad de los elementos de la sujeción al ser sometidos a esfuerzos por el paso del tren.

En los puertos se pueden encontrar diversos tipos de traviesas y sujeciones de vía en balasto, pues conviven tramos de vía antiguos con tramos nuevos o renovados, que además pueden ser de un solo ancho, o de ancho mixto.

Por ejemplo, en la red ferroviaria del Puerto de Barcelona, se pueden encontrar traviesas de madera, traviesas mixtas monobloc de hormigón (AM-05 [22, p. 68]) de tres hilos para dos anchos (1.668 y 1.435 mm) y de cuatro hilos para tres anchos (1.668, 1.435 y 1.000 mm). En cuanto a sujeciones, lo más habitual en tramos de vía con traviesa de madera son las sujeciones directas rígidas mediante tirafondo en los tramos antiguos de vía con traviesas de madera, o sujeciones elásticas con clip SKL-12 [23] en los tramos nuevos de vía. En los tramos de vía con traviesa de hormigón lo más habitual son sujeciones elásticas con clip SKL-1 [24].



Ilustración 30: Traviesas de hormigón pretensado AM-05 para 4 hilos (3 anchos: ibérico internacional y métrico) con sujeción elástica en el Puerto de Barcelona. Fuente propia.

En el caso de la red ferroviaria del Puerto de Tarragona, hasta no hace mucho se utilizaban traviesas bloque con alma metálica, tipo RS [25, p. 2], que habían sido retiradas de la red convencional de Adif, y reaprovechadas en el puerto por su gran cantidad, disponibilidad y bajo coste. Sin embargo, actualmente según se indica en la Información de red del Puerto de Tarragona [26, p. 26], para vías en balasto se utilizan traviesas de madera y de hormigón (PR-90 [27] y MR-93 [28]).



Ilustración 31: Traviesas RS con sujeción elástica J-2 [29] en la red convencional de Adif en El Prat de Llobregat. Año 2007. Fuente propia.

En la red ferroviaria del Puerto de Castellón, según su información de red [30, pp. 19 y 20], se utilizan en la línea de conexión traviesas de hormigón (MR-93 [28]) con sujeción elástica de clip SKL-1 [24], y en las vías interiores traviesas metálicas de 2.000x160x15 mm distribuidas cada metro.



Ilustración 32: Traviesas monobloc MR-93 con sujeción elástica SKL-1 en la red convencional de Adif en el Prat de Llobregat. Año 2007. Fuente propia.

4.3.1.2.3. Traviesas y sujeciones de vía en placa

La vía en placa se podría definir como una tipología de vía sin balasto donde el elemento que realiza el reparto de cargas sobre la plataforma es la placa de hormigón. Esta placa de hormigón puede ejecutarse mediante hormigonado in situ, o bien, mediante tramos o bloques de losa prefabricada, dependiendo del sistema constructivo. La función principal, y más obvia, de la placa es la sustitución del balasto por la placa de hormigón asumiendo esta última junto a otros elementos las funciones del balasto [31, p. 4].

Actualmente existe una gran variedad de sistemas de vía en placa como los bloques TRANOSA [31, p. 29], el sistema STEDEF [32, p. 8], el sistema de traviesas bibloque con celosía RHEDA 2000 [33], la vía en placa con carril embebido de forma continua mediante el sistema Corkelast de Edilon)(Sedra [34], o los sistemas de semi traviesas o falsas traviesas tipo DFF [35] o e-Clip SRS [36] de Pandrol, etc...

Adicionalmente a lo comentado, la vía en placa se clasifica en dos tipologías claramente diferenciadas, vía en placa con carril embebido y vía en placa con carril al aire. Este detalle, que en el ámbito de la red de Adif no siempre es relevante. Sin embargo, en el ámbito portuario y de las terminales de mercancías es de extrema importancia.

En los puertos es bastante habitual encontrar tramos de vía en placa con carril embebido, sobre todo en el interior de las grandes terminales de mercancías y en las zonas de carga/descarga y en las intersecciones especiales o pasos a nivel. También pueden encontrarse tramos de vía en placa con carril al aire, en algunas terminales de contenedores donde la carga/descarga se realiza con puentes grúa, en zonas de acceso a la red del puerto fuera de las terminales de mercancías y fuera de las zonas de cruce con viales. En el caso de los puertos y las terminales de mercancías, la aproximación al tren con maquinaria para la carga y descarga de contenedores, la existencia de viales de emergencia sobre todo en las terminales de graneles líquidos peligrosos y la carga/descarga de vehículos desde vagones portacoches hace necesario disponer de una superficie plana por donde se pueda circular alrededor de los trenes.

En cuanto a la tipología de traviesas y sistemas de sujeción para vía en placa, en los puertos se puede encontrar varios de los comentados anteriormente. Las únicas salvedades son los puertos del norte de España (Asturias, Cantabria y País Vasco) donde coexisten hasta dos anchos (ibérico-métrico) y el puerto de Barcelona donde coexisten hasta tres anchos en una misma vía (ibérico-internacional-métrico). En los trayectos de estos puertos donde la vía posee dos o tres anchos, las traviesas sólo pueden ser aquellos sistemas que permiten la instalación de los carriles necesarios para los anchos mixtos. Es decir, traviesas de ancho mixto, falsas traviesas, sistemas de vía embebida o el sistema de perfiles

metálicos utilizado en el puerto de Barcelona. Sin embargo, a medida que se desarrolle el corredor Mediterráneo [8] y el corredor Atlántico [9], y se vayan implantando vías en ancho internacional, o en ancho mixto, posiblemente se tenderá a una mayor uniformidad en la tipología de materiales de vía.

Un claro ejemplo de esta diversidad de materiales de vía es el puerto de Barcelona, donde podemos encontrar, además de vía en balasto, vía en placa con carril embebido y carril al aire.



Ilustración 33: Abajo sistema de falsas traviesas tipo e-Clip SRS de Pandrol [36] con carril al aire, y arriba carril embebido con perfiles metálicos a modo de traviesas. Puerto de Barcelona. Fuente propia.



Ilustración 34: Izquierda vía mixta en balasto. Derecha vía mixta en placa con carril embebido. Puerto de Barcelona. Fuente propia.



Ilustración 35: Terminal carga/descarga de vehículos. Vía con carril embebido de ancho ibérico. Puerto de Barcelona. Fuente propia.

4.3.1.2.4. Carril y juntas de carril

El carril [16, p. 122] es un perfil laminado de acero que sirve como elemento de guiado de las ruedas del tren y que soporta directamente las cargas del tren transmitiéndolas a las traviesas.

El perfil utilizado habitualmente por la mayoría de administradores de infraestructuras ferroviarias como Adif y las Autoridades Portuarias, entre otros, es el tipo Vignole [16, p. 123], que se caracteriza por tener tres partes claramente diferenciadas: cabeza o pera (zona de rodadura), alma (parte central) y patín (zona de apoyo sobre las placas de asiento y las traviesas).

De acuerdo con la normativa europea, existen múltiples tipos de perfiles que se diferencian, además de por su geometría característica, por su peso por metro lineal y por su dureza. Los carriles más habituales en España son el carril 45E3 o RN45 (45 kg/ml), el 54E1 (54 kg/ml) y el 60E1 (60 kg/ml).

De acuerdo con lo indicado en la Especificación Técnica de Adif ET03.360.161.8_ED3 [37, p. 8], la calidad o grado de dureza del acero a utilizar en los carriles ferroviarios puede ser R260 (sin tratamiento térmico), o bien, R350 HT (con tratamiento térmico). Habitualmente el

carril utilizado en las redes ferroportuarias es de grado R260, es decir, normalmente duro.

En cuanto a las longitudes mínimas de carril permitidas en la red de Adif, en la citada ET03.360.161.8_ED3 [37, p. 8], se indica que para el montaje de barra larga soldada de carril en vía de nueva ejecución la longitud mínima será de 90 mts, o longitudes superiores múltiples de 18 mts (144, 180, 270 y hasta 288 mts). Para el caso de actuaciones de mantenimiento, la norma permite utilizar carriles de 12, 18, 36 y 72 mts de longitud, siendo la longitud mínima de cupón de carril en alta velocidad de 18 mts.

FIGURA 1. El perfil de carril con sus dimensiones geométricas.
DOI: 10.3989/revmetalm.080

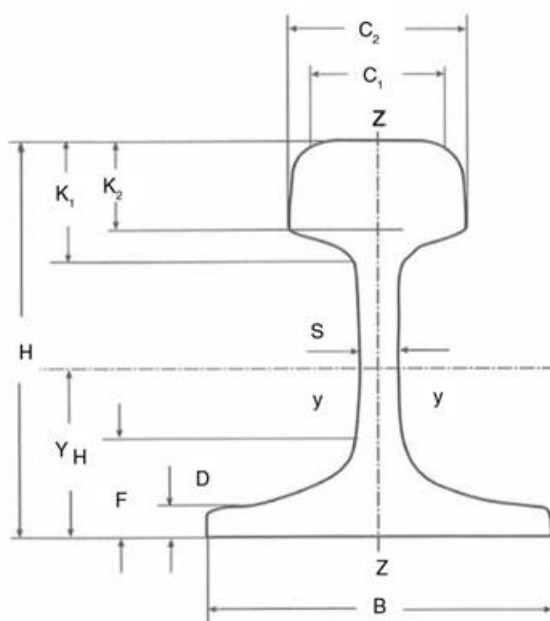


Ilustración 36: Perfil tipo carril Vignole. Extraído de: "Estudio del desgaste de carriles en servicio y optimización de su mantenimiento" [38].

En los puertos, dependiendo de la antigüedad de sus infraestructuras ferroviarias, se puede encontrar una amalgama de tramos con carril RN45 (a extinguir), 54E1 y 60E1. En casos aislados, pueden hallarse aún vestigios de pequeños tramos, normalmente fuera de servicio, con carril de 42,5 kg/ml o inferiores.

En consecuencia, en los tramos ferroviarios más recientes se utilizan de forma generalizada los carriles 54E1 y 60E1, cambiando de un tipo de carril a otro mediante cupones mixtos, que son carriles especiales de transición hechos en fábrica a tal efecto. Sin embargo, en puertos con una red ferroviaria longeva, aún se pueden encontrar tramos de carril RN45 enlazados con tramos de carril 54E1. Estos tramos, aunque ya

obsoletos, siguen dando servicio en tanto en cuanto no se renueven y se sustituya la vía.

En lo relativo a las juntas de carril, éstas se han de entender como la unión mecánica mediante bridas y tornillos o por soldeo de dos carriles diferentes en un mismo hilo para darle continuidad a la vía. En la actualidad, prácticamente la totalidad de las juntas de carril en la red de Adif se realizan mediante soldeo aluminotérmico, lo que se define como *'la vía sin junta'* [16, p. 141]. Este tipo de unión conlleva la realización de una operación llamada *'neutralización de tensiones'* [39, p. 6], mediante la cual se pretende conseguir un estado tensional medio del carril entre condiciones extremas de calor y de frío en la zona geográfica donde se halla la vía. Con ello, lo que se pretenden evitar son las deformaciones de la vía por causa de los cambios de temperatura.

Sin embargo, en las redes ferroportuarias no siempre encontramos vía sin juntas, aunque es a lo que se tiende en la actualidad. De forma relativamente habitual, en algunos tramos antiguos aún existen juntas de carril embridadas, e incluso con bridas correderas para absorber los movimientos longitudinales del carril por los cambios de temperaturas. La coexistencia de tramos de vía nuevos o renovados, con tramos más antiguos, con diferentes tipos de carril y con aparatos de vía de más de un ancho, o incluso aparatos no soldables, dificultan que la totalidad de la vía férrea en los puertos sea sin juntas.



Ilustración 37: Desvío en ancho ibérico no soldable con bridas atornilladas. Fuente propia.

4.3.1.3. Problemáticas habituales

4.3.1.3.1. Balasto

El balasto, como el resto de elementos que forman parte de la vía, sufre desgaste y desarrolla patologías por la acción de las circulaciones ferroviarias de forma repetida a lo largo del tiempo. Además, el balasto también transmite a la vía los problemas que pueda padecer la plataforma ferroviaria.

Un hecho relevante a tener en cuenta, es que en las zonas portuarias con vías antiguas en servicio, existen problemas recurrentes y generalizados relativos a la calidad y conservación de la plataforma ferroviaria debidos a los medios arcaicos que se utilizaron para su construcción [40, p. 93].

En cuanto a las cargas, hoy en día los ejes de los trenes de mercancías pueden llegar a transmitir una carga máxima del orden de 22,5 tn/eje u 8 tn/ml [41, p. 21], como es el caso del Puerto de Valencia.

Una de las principales problemáticas del balasto es que su comportamiento elástico se reduce a medida que circulan las composiciones. Tal y como indica Zarembski [42], citado por M. Robinson y A. Kapoor [43, p. 40]: "*As in any elastic system, two mechanism can cause fatigue failure*".

El primero de los mecanismos es el número de circulaciones y la carga por eje de esos trenes [43, p. 40]. El paso de los ejes del tren provoca en la vía ciclos de carga/descarga que son transmitidos al balasto para su reparto en la plataforma, produciendo a su vez la deformación de la banqueta de balasto [15, p. 43]. Asimismo, estos ciclos de carga provocan el desgaste de las piedras de balasto produciendo la formación de partículas finas que con el tiempo colmatan los huecos, compactan el lecho de balasto y reducen su elasticidad.

El segundo de los mecanismos es la reducción del límite elástico del balasto por debajo de la carga máxima por eje estipulada en una línea ferroviaria [43, p. 40].

Si además, a estos dos mecanismos, se le añade la acción del agua en la plataforma por condiciones de drenaje deficientes, el fallo por fatiga del balasto es mucho más acelerado [43, p. 40]. En este último caso, las cargas verticales facilitan que el balasto se clave en la plataforma, provocando el ascenso de material (subbalasto, capa de forma...), su mezcla y compactación con el balasto, y por tanto un aumento de la rigidez de la capa de balasto, perdiendo su función elástica.

Para corregir las deformaciones provocadas por las circulaciones ferroviarias se hace necesario realizar actuaciones de bateo para restituir la geometría de la vía en cuanto a nivelación (parámetros en alzado) y

alineación (parámetros en planta). Para restituir la elasticidad de la capa de balasto por acumulación de finos, la actuación correctiva consiste en desguarnecer la vía (retirar el balasto viejo, desgastado y/o contaminado), aportar balasto nuevo y batear para restituir la geometría de la vía.

4.3.1.3.2. Traviesas y sujeciones de vía en balasto

Las traviesas junto con las sujeciones de vía tienen una función primordial a la hora de repartir y transmitir las cargas verticales de las circulaciones, así como de asegurar el ancho de vía. Cuando algunos de estos elementos fallan, se generan algunas problemáticas que se han de corregir en un corto periodo de tiempo para evitar la degradación progresiva de la geometría de la vía.

Las traviesas de madera suelen ser un material económico, sufrido y versátil. Para prolongar su vida útil, durante su fabricación [44] se les aplica un tratamiento de impregnación con creosota en autoclave que evita la afectación por plagas (termitas, carcoma, polillas, etc...) y aumenta su durabilidad a la intemperie. Sin embargo, a la larga la madera acaba resultando afectada por el frío y el calor, por el agua y otros agentes externos, produciéndose su deterioro. Con este deterioro se dan situaciones en las que las sujeciones están en buen estado, pero la madera ya no fija la sujeción adecuadamente, provocando que los tirafondos, clavos u otros tipos de sujeción no den el apriete necesario. El fallo más típico en estos casos es que se pueda extraer directamente con la mano un tirafondo al no estar correctamente sujeto por la madera. En caso de ocurrir solamente en una o dos traviesas es un problema aislado que puede no ser un problema grave. Sin embargo, cuando este defecto se extiende a una zona más larga, existiendo varias sujeciones seguidas en ese estado, se puede dar el caso que ante una circulación se abran los carriles de la vía, y el tren descarrile.

Una de las soluciones más sencillas y rápidas en este caso, si las traviesas en cuestión están aún en un estado aceptable, es reutilizarlas realizando un estaquillado, zunchado, recajeo y taladrado en una zona sana para insertar la clavazón. Sin embargo, si la madera está muy deteriorada, se deberá sustituir la traviesa por otra nueva.

Las traviesas metálicas y las traviesas bloque tipo RS (dos cabezas de hormigón con alma metálica que las une), ampliamente usadas en el pasado, y presentes aún en algunos lugares, suelen padecer el mismo inconveniente. La parte metálica de estas traviesas, debido a su exposición a los agentes climáticos, y sobre todo a la humedad, sufren problemas de oxidación que reducen la sección del perfil metálico, por lo que acaban partiendo. Y al partir, estas traviesas dejan de garantizar el

ancho de vía y se han de sustituir. Actualmente estas traviesas están en desuso. Sin embargo, todavía quedan algunos pequeños tramos en las redes ferroportuarias que irán siendo sustituidos por traviesas monobloc a medida que se realicen renovaciones.

Las traviesas monobloc de hormigón que encontramos hoy en día en las redes ferroportuarias suelen ser todas de tipo pretensado. Estas traviesas pesan más (del orden los 300 kg) y poseen una mayor resistencia y durabilidad que las de madera, las metálicas y las bibloque. A pesar de ello, también presentan algunas problemáticas.

Las traviesas monobloc más antiguas adolecen de un defecto que se corrigió en posteriores versiones. Sin embargo, en vías de cierta antigüedad aún puede darse este problema si este tipo de traviesas siguen estando en uso. El orificio donde se insertan los tirafondos es ciego y no tiene apertura por debajo de la traviesa. Este hecho provoca que, tras la realización de diferentes actuaciones o trabajos, al extraer y volver a insertar los tirafondos entre suciedad dentro de la vaina quedando alojada en el orificio. A la hora de reapretar los tirafondos, como esta suciedad no tiene salida, provoca que la traviesa termine por agrietarse. Así pues, en las traviesas más modernas, el orificio del tirafondo es pasante, con lo que se permite evacuar el aguay la suciedad, y se evitan las roturas al reapretar.



Ilustración 38: Traviesa monobloc rajada al reapretar tirafondo por acumulación de suciedad en la vaina. Fuente propia.

También puede ser motivo de agrietamiento o incluso de partirse una traviesa, un blandón en la plataforma de la vía. Al pasar una circulación bajarán los dos hilos de forma desigual, produciéndose en ese momento

un esfuerzo de flexión en la traviesa y un alabeo que conlleva peligro de descarrilo. Con las sucesivas circulaciones, al final la traviesa acaba partiendo por fatiga si no se actúa a tiempo en dicho punto. Sin embargo, en las redes ferroportuarias, al tratarse de trazados prácticamente planos y con peraltes muy pequeños, y con velocidades muy bajas, no suele ser un problema tan crítico como en la red de Adif, y es más probable que no haya descarrilos en esa zona y que se tarde más en detectar el problema, llegando a partirse una traviesa.

Otra patología típica de las traviesas en las zonas ferroportuarias son los daños causados por los descarrilos. Ante un descarrilo, las traviesas de la zona del descarrilo suelen resultar afectadas en mayor o menor medida. Las de madera son las más sufridas, pues suelen resultar menos afectadas dada su relativa flexibilidad. A lo sumo suelen tener marcas de rueda y astillados puntuales, pudiendo seguir usándolas en muchos casos. En el caso de las traviesas RS o metálicas suelen resultar inservibles, pues los perfiles suelen acabar doblados o incluso partidos, perdiendo las traviesas toda su funcionalidad. Y en el caso de las traviesas de hormigón monobloc, dependerá de las circunstancias. En ocasiones tan solo tendrán pequeñas marcas de haber pasado la rueda por encima, pudiendo seguir usándolas. Y en otras ocasiones resultan golpeadas, descantilladas, fisuradas, agrietadas y hasta partidas, debiendo sustituirse.

En lo relativo a las sujeciones de vía, además de lo ya introducido anteriormente, las problemáticas más habituales son la pérdida de elasticidad de la sujeción, la falta de apriete, las holguras y los daños producidos por golpes. En líneas generales, los elementos con mayor problemática suelen ser las placas de asiento, las placas acodadas, los tirafondos y los clips.

Las placas de asiento, que son el elemento de la sujeción que se ubica bajo el patín del carril, y que le da a éste la inclinación de 1/20 hacia el interior de la vía, pueden ser metálicas (rígidas) o elásticas [45, p. 7].

Las placas de asiento metálicas, usadas en traviesas de madera, aunque resistentes y rígidas, pueden tener variaciones en su geometría motivadas por la oxidación, y padecer problemáticas asociadas a los efectos de los cambios de temperatura.

Las placas de asiento elásticas y las placas acodadas son de tipo plástico, y tienen una gran durabilidad. Sin embargo, con el tiempo también resultan afectadas por el sol, los cambios de temperatura, la humedad y los ciclos de carga. A la larga acaban vulcanizándose y se deshacen, lo que provoca la pérdida del 1/20 de inclinación del carril y la aparición de holguras que afectan a la fijación del carril (el clip no sujeta el patín correctamente) y al correcto mantenimiento del ancho de vía.



*Ilustración 39: Placa de asiento metálica sobre traviesa de madera con tirafondo.
L/Barcelona-Mataró, Red convencional de Adif. Año 2008. Fuente propia.*



*Ilustración 40: Placas de asiento elásticas y placas acodadas con clip SKL-1 sobre traviesa
MR-00. L/Madrid-Zaragoza-Barcelona. Red convencional de Adif. Año 2007. Fuente propia.*

Finalmente, otra de las problemáticas que ocurren ocasionalmente son los tirafondos trasroscados en las traviesas de hormigón. Esta patología suele ocurrir al aflojar un tirafondo en el que la vaina resulta dañada, y ya no se puede volver a apretar el tirafondo, con lo que el clip no sujeta correctamente el patín del carril. Para estos casos existe la posibilidad de realizar una reparación puntual consistente en taladrar la vaina, sacar el plástico, limpiar y aspirar el polvo y suciedad, rellenar con resina epoxi de alta resistencia e introducir una nueva vaina. Y cuando la resina haya obtenido la resistencia suficiente, volver a introducir un tirafondo y volver a darle para de apriete a la sujeción. Sin embargo, al ser una tarea tan

laboriosa y manual, muchas veces se opta directamente por cambiar la traviesa en cuanto se puede, pues suele ser más rápido y barato que adquirir los productos para esa reparación puntual.

4.3.1.3.3. Traviesas y sujeciones de vía en placa

Las traviesas o falsas traviesas usadas en la vía en placa con carril al aire, aunque más caras y de más complicada instalación, a priori no suelen tener tantas problemáticas como las traviesas para la vía en balasto. Son traviesas que van embebidas en la placa de hormigón, y por tanto reparten de una manera más eficiente las cargas del tren, por lo que poseen una mayor durabilidad.

Este tipo de traviesas no sufren la manipulación con maquinaria pesada de vía que padecen las traviesas de madera o las monobloc de hormigón durante el bateo, pues este tipo de vía no se puede batear. La geometría de la vía en placa una vez hormigonada se mantiene inalterable y de forma casi permanente. Tampoco sufren las problemáticas de flexión que se generan cuando surge un blandón en la plataforma, pues la placa de hormigón reparte mucho mejor las cargas.

La mayor problemática de este tipo de traviesas se da cuando ocurre algún descarrilo o durante la realización de trabajos con maquinaria pesada, pudiendo resultar golpeada y/o dañada la cabeza de alguna traviesa. También en el caso de que, al extraer un tirafondo, si entra suciedad en la vaina y se reaprieta el tirafondo, la cabeza de la traviesa puede acabar rajándose.

Cuando las cabezas de las traviesas resultan dañadas, y éstas se han de sustituir, se hace necesario realizar una intervención de cierta consideración. Para ello se ha de picar el hormigón de la placa para extraer las traviesas afectadas, sustituirlas, reponer la armadura de la placa y hormigonar o reparar con mortero de alta resistencia, dependiendo del tipo de traviesa o falsa traviesa. La cuestión es que, hasta que el hormigón o el mortero no adquiriera la resistencia suficiente, no debe circular ningún vehículo por esa vía. Este hecho es altamente limitante, pues puede conllevar periodos de reparación extensos (24 a 48 horas, o más en algunos casos) que afectan al servicio ferroviario.

En lo relativo a las sujeciones de vía, dado que normalmente son similares a las de la vía en balasto, las problemáticas más habituales son las mismas que las explicadas en el apartado anterior: pérdida de elasticidad de la sujeción, falta de apriete, holguras y daños producidos por golpes.



Ilustración 41: Vía en placa con traviesa Rheda 2000 [33] antes de hormigonar. L.A.V. Madrid-Zaragoza-Barcelona. El Prat de Ll. Año 2007. Fuente propia.



Ilustración 42: Vía en placa con traviesa Rheda 2000 [33] después de hormigonar. L.A.V. Madrid-Zaragoza-Barcelona. El Prat de Ll. Año 2007. Fuente propia.

En el caso de la vía en placa con carril embebido la problemática es algo diferente, debiendo distinguir entre los diferentes sistemas.

En el caso de la vía con carril embebido tipo Corkelast [34] no existe ningún tipo de traviesa ni de sujeción al uso. El propio hormigón de la placa es el que hace las veces de traviesa y sujeción, junto con los elementos que se instalan alrededor del carril.

El sistema se basa en una placa de hormigón armada ejecutada con extendidora a la cual se le han dejado unas acanaladuras donde va introducido el carril.



Ilustración 43: Ejecución de placa de hormigón con extendidora dejando acanaladuras para alojar el carril. L.A.V. Madrid-Zaragoza-Barcelona. El Prat de Ll. Año 2007. Fuente propia.

Para conseguir la inclinación del carril, éste se calza con una banda de elastómero y con cuñas a modo de placas de asiento, y para dar el ancho de vía correcto, el carril se fija mediante la instalación de unos tacos de elastómero a ambos lados del alma dentro de la acanaladura. Una vez instalado el carril junto con los elementos de posicionamiento y realizada la comprobación geométrica, se vierte un líquido viscoso bicomponente que al endurecerse fija los carriles a la placa.



Ilustración 44: Instalación de banda de asiento, imprimación y tacos de elastómero en el alma de carril. Sistema Corkelast [34]. L.A.V. Madrid-Zaragoza-Barcelona. El Prat de Ll. Año 2007. Fuente propia.

Por otro lado, el sistema de vía embebida usado en el puerto de Barcelona mediante perfiles metálicos a modo de traviesas también tiene sus particularidades. Los perfiles metálicos se unen a los carriles mediante soldaduras, realizando una doble función, de traviesa y de sujeción de carril. Este tipo de traviesa/sujeción resulta muy útil en vías de ancho mixto, sobre todo cuando existen varios anchos, como es el caso de puerto de Barcelona, donde hay vías de hasta tres anchos diferentes (métrico-UIC-ibérico). El principal inconveniente es que las soldaduras de unión son puntos de unión muy resistentes, pero a la vez muy rígidos.

Este tipo de vía suele dar buen resultado en zonas con una plataforma con baja capacidad portante, como es el terreno portuario, sobre todo en zona de plataforma antigua. También es ampliamente utilizado en el interior de terminales de carga/descarga de mercancías, donde el tráfico rodado de vehículos es limitado. Este tipo de vía embebida, cuando no tiene un tráfico rodado continuo, sino puntual, ya sea por utilizarse como acceso de emergencia o como zona de tráfico de maquinaria o vehículos que se cargan o descargan en los trenes, suele funcionar muy bien y tiene gran durabilidad a medio/largo plazo.

Sin embargo, como se explica en el apartado 4.2.4, en las intersecciones especiales, donde existe mucho tráfico de camiones en sentido perpendicular a la vía, estas soldaduras acaban por romper por fatiga. El carril se separa de los perfiles y empieza a bachear. Con el bacheo, y a medida que se suceden las circulaciones de camiones y otros vehículos, el carril se despegaba del hormigón, y se empieza a cuartear el hormigón y el pavimento alrededor de este punto de rotura. Su reparación conlleva, nuevamente, un corte de vía y de vial de carretera para picar el hormigón,

sustituir los perfiles a modo de traviesas, soldar, y volver a hormigonar la placa debiendo esperar a que el hormigón fragüe y se obtenga la resistencia necesaria. Los tiempos de ejecución habitualmente oscilan entre las 24 y 48 horas, dependiendo del tamaño de la zona de actuación, con lo que en este caso se afecta al servicio ferroviario y al viario también.



Ilustración 45: Vía en placa de 3 anchos premontada sobre perfiles en el puerto de Barcelona. Año 2015. Fuente propia.

4.3.1.3.4. Carril y juntas de carril

A consecuencia del paso de las sucesivas circulaciones ferroviarias por encima de los carriles, éstos se desgastan y se van deteriorando con el tiempo. Sin embargo, los carriles también pueden tener defectos de fabricación, que empeoren su comportamiento a los esfuerzos y aceleren su deterioro, o incluso pueden sufrir daños causados por el material rodante o por agentes externos a la vía.

Defectos de fabricación:

En lo relativo a los defectos de fabricación, aparte de los estrictos procesos de laminado, se realizan también ensayos de recepción de carril [16, p. 138] tanto en fábrica como en vía, para intentar asegurar el correcto estado del carril. Sin embargo, todos estos ensayos aleatorios de tipo no destructivo son de carácter discreto o puntual, por lo que no aseguran al 100% que no existan defectos en un carril. Entre otros, se realizan análisis químicos, controles geométricos, macroscopías, ensayos

de dureza, inspecciones visuales, inspecciones con líquidos penetrantes, inspecciones con ultrasonidos, etc...

Desgaste de carril:

En cuanto al desgaste de los carriles por uso, existen dos tipologías principales a considerar:

- Desgaste normal u ordinario, que se subdivide en tres subtipologías [16, p. 132]: vertical (por abrasión de las ruedas y oxidación por factores meteorológicos), lateral (por contacto pestaña-carril en el hilo alto de curvas o por el movimiento de lazo en rectas) y deformación plástica (por aplastamiento de la cabeza del carril).
- Desgaste ondulatorio [16, p. 132]: aparece longitudinalmente en la banda de rodadura del carril con una periodicidad o longitud de onda comprendida entre los 10 mm y 1.000 mm [46, p. 9]. Siendo habitual longitudes de onda corta cuando se trata de tráfico de mercancías a velocidad similar y radios pequeños. Se pueden distinguir tres tipos de longitud de onda: muy corta (10-100 mm, corta (30-300 mm) y larga (300-1.000 mm) [46, pp. 11, Tabla 1].

En los puertos, las circulaciones ferroviarias se producen a baja velocidad, en régimen de marcha de maniobras^N (es decir, ≤ 30 km/h tirando y ≤ 20 km/h empujando), o incluso a velocidades inferiores. Estas bajas velocidades no producen esfuerzos dinámicos tan intensos como los trenes en la red de Adif, pero sí causan algunas problemáticas más acusadas por el mayor tonelaje por eje y las especificidades de las redes ferroportuarias.

En general, en las redes ferroportuarias los radios existentes son más pequeños que en la red de Adif. En consecuencia, la abrasión de las ruedas y el contacto rueda-carril suele ser más agresivo, produciéndose un mayor desgaste de la cabeza del carril. Por otra parte, los peraltes tienden a ser casi inexistentes o muy pequeños, con lo que el reparto de los esfuerzos verticales se distribuye de forma más igualitaria entre los dos hilos, no sufriendo tanto el hilo bajo al paso de composiciones a baja velocidad.

Un aspecto relevante a tener en cuenta es la existencia de vías de ancho mixto en los puertos. En una vía mixta de dos o más anchos existe un hilo común para las circulaciones de los diferentes anchos, y un hilo exclusivo para cada ancho. En este caso, el hilo común soporta el total de las circulaciones, mientras que los hilos de cada ancho exclusivo por separado sólo las circulaciones en su ancho correspondiente. A

^N Punto 2 del apartado '1.5.1.4. Condiciones de marcha especiales' del RD 664/2015, de 17 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Circulación Ferroviaria

consecuencia de ésto, el desgaste y deterioro del hilo común será superior a los otros carriles de la vía. También es relevante el número de circulaciones en un ancho u otro dado que, a diferente número de circulaciones en cada ancho, el desgaste será mayor en el hilo de ancho exclusivo con más circulaciones.

Como ejemplo, puede observarse en la siguiente ilustración el desgaste lateral por abrasión rueda-carril del hilo exterior de ancho exclusivo ibérico al inicio de una curva. El hilo exterior de ancho exclusivo UIC no sufre desgaste por tener pocas circulaciones (por eso se ve oxidado).



Ilustración 46: Viruta metálica en hilo exterior de ancho exclusivo ibérico. Fuente propia.

En el desgaste por abrasión, que ocurre sobre todo con radios reducidos (≤ 300 mts), también suele tener mucha incidencia el tipo de material rodante que circula por dichas vías, observándose mayor problemática en los vagones con mayor batalla y en los vagones rígidos de dos ejes, que en los vagones de menor batalla y los vagones con bogies.

Otro tipo, es el desgaste por adhesión [47, p. 73], más comúnmente conocido como 'patinazo'. Se produce por el deslizamiento acero-acero entre la rueda y el carril por falta de adherencia, llegando a provocar el desprendimiento de material de la superficie del carril.



Ilustración 47: Patinazo en la banda de rodadura. Fuente propia.

También se pueden producir desgastes por fatiga superficial de la cabeza del carril [47, p. 74]. Este fenómeno, también conocido como “*head checks*”, se produce a partir de la aparición de fisuras en la cabeza del carril, que al hacerse mayores penetran hacia el interior del carril ocasionando desprendimientos de material.



Ilustración 48: Fatiga superficial con desprendimiento de material. Fuente propia.

Con cargas elevadas, como es el caso de los trenes de mercancías, los carriles pueden llegar a sufrir el fenómeno del “*tongue lipping*” o flujo plástico [47, p. 75], que se basa en una deformación plástica del carril en el hilo alto y en curvas. Este fenómeno está relacionado con el endurecimiento superficial del carril, el aumento de la fragilidad y la formación de fisuras, que acaba produciendo un desgaste lateral importante [38, p. 4 a 6], como puede verse en la siguiente ilustración.



Ilustración 49: Cara activa de carril en curva desgastada por efecto de la deformación plástica. Fuente propia.

También nos podemos encontrar con el desgaste ondulatorio. Este clase de desgaste se manifiesta como una ondulación periódica en la superficie de la cabeza del carril, con una tipología variada y que se puede clasificar según su longitud de onda [48, p. 3]. Y estas ondulaciones, característicamente son una fuente importante de vibraciones y ruido ambiental al paso del tren, que resultan muy molestos [49, p. 9].

En vías con circulaciones a baja velocidad y elevadas cargas, como es el caso de las vías ferroportuarias, es habitual el desgaste "Heavy Haul", tal y como indican Grassie y Kalousek [50] (citado en [48, p. 4]). Este desgaste posee longitudes de onda del orden de 200 a 300 mm, produciéndose a partir de juntas de carril, soldaduras u otros puntos de discontinuidad, habitualmente en el carril exterior en curvas.

Otros daños en el carril:

Adicionalmente a lo dicho anteriormente, los carriles también pueden sufrir daños con un origen diferente a su fabricación o desgaste por uso. Estos daños pueden derivar de trabajos en vía, material rodante en mal estado, accidentes ferroviarios, o incluso de la rotura de otros elementos de la vía.

Durante la realización de trabajos de mantenimiento u otros, puede dañarse de forma involuntaria algún elemento de la vía, incluso los carriles. No suele ser habitual, pero puede darse el caso. Por ejemplo, cuando se realiza una mala praxis al descargar los carriles al suelo, al

utilizar herramientas de corte como tronzadoras o al trabajar con maquinaria pesada de vía.

En cuanto al material rodante, uno de los sucesos relativamente habituales es que los ejes de algunos vagones tengan algún problema de frenos durante el trayecto. En el caso de que un eje se quede trabado o frenado de forma aislada, se produce el bloqueo de las ruedas, que dejan de girar y deslizan sobre el carril. Además de los posibles daños al carril, las ruedas afectadas desarrollan una zona de plano por ese mismo deslizamiento. Y cuando a veces se destraba el eje por degradación de las zapatas de freno, las ruedas vuelven a girar libremente. El problema en ese momento es que las ruedas ya no son cilíndricas, pues poseen una zona plana, que al girar golpetean y marcan la superficie del carril allá por donde circula ese eje.

Cuando ocurre algún accidente ferroviario, sobre todo en los descarrilos, suelen resultar dañados algunos elementos de la vía. En el caso de descarrilar vagones en cola o descargados, los daños suelen ser mayores, pues muchas veces el maquinista no percibe el descarrilo en un primer momento, y la composición continúa su marcha golpeando más elementos. Algunos de los elementos dañados suelen ser traviesas golpeadas, algunos tirafondos y/o clips golpeados y/o seccionados, e incluso daños en el carril en distintas formas (marcas de arrastre, rotura de soldaduras, etc...). En estos casos se suele sustituir el material dañado, pero también puede haber material que se puede seguir usando.



Ilustración 50: Patín partido en una soldadura por el paso de una rueda descarrilada de un vagón al apoyar en la pipa. Fuente propia.

La vía férrea en el ámbito portuario

Otra posibilidad, no muy habitual, pero posible, es que el carril embebido de una vía en placa parta por fatiga tras sucesivos ciclos de carga por las circulaciones. Cuando la unión mediante soldadura entre el patín del carril y los perfiles metálicos a modo de traviesas parte, el carril queda suelto, sufriendo esfuerzos verticales y de flexión, dando como resultado su rotura.



Ilustración 51: Carril partido en vía en placa embebida. Fuente propia.



Ilustración 52: Carril partido una vez repicado el hormigón de la vía en placa. Fuente propia.



Ilustración 53: Marcas de arrastre de ruedas descarriladas en la cabeza y en el patín del carril y sujeciones rotas. Fuente propia.

Juntas de carril:

En lo relativo a las juntas de carril, hemos de distinguir dos tipos: las juntas mecánicas o embridadas, y las juntas continuas o vía sin junta (soldaduras).

Las juntas de carril embridadas son uniones mecánicas utilizando dos piezas de acero llamadas hojas de brida, que se colocan a cada lado del alma del carril, y que se fijan de dos formas posibles:

- La forma habitual e histórica de fijación en todas las redes ferroviarias ha sido mediante tornillos que atraviesan el alma del carril a través de taladros. Estas juntas sólo están permitidas en las redes de Adif con velocidades inferiores a los 160 km/h [51, p. 45], aunque en la actualidad sólo se realizan de forma puntual y sobre todo de forma provisional en cuponados, que posteriormente se soldarán. En otras redes como las del ámbito ferroportuario donde las velocidades son más reducidas, existe un mayor porcentaje de uniones embridadas, aunque en los últimos tiempos también se tiende a la barra larga soldada.
- En las redes de Adif con velocidades superiores a 160 km/h está prohibido taladrar los carriles, a excepción de taladros para cableado de instalaciones. Para unir los carriles de forma provisional y en reparaciones se usan otro tipo de bridas llamadas bridas C, que realizan la misma función sujetando las hojas de brida por debajo del patín, sin tener que taladrar el alma del carril.

En el ámbito portuario se pueden llegar a ver este tipo de bridas tipo C, coexistiendo con las bridas atornilladas, aunque son más habituales éstas últimas.

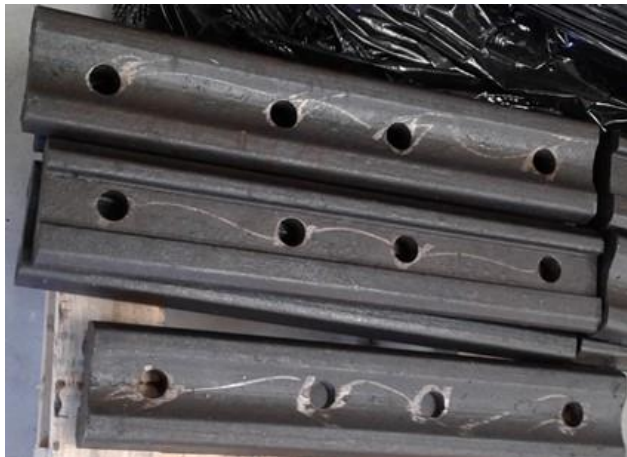


Ilustración 54: Hojas de brida con taladros. Fuente propia.



Ilustración 55: Soldadura de carril embrizada con hojas de brida y bridas C.

Las juntas de carril embrizadas, atornilladas o no, se utilizan en las redes ferroportuarias de forma habitual en tramos de vía antiguos, y de forma puntual para reparaciones, en los tramos de nueva construcción.

A pesar de ser viable el uso de bridas para unir los carriles, existen algunos inconvenientes, sobre todo en zonas con alta variabilidad térmica entre el verano y el invierno, y en curvas de radio reducido, que se deben reseñar.

Por un lado, tenemos el problema de la cala o hueco a dejar entre carriles:

- Si la cala es excesivamente pequeña, en época estival los carriles se dilatan, tienden a aumentar de longitud, y se produce un punto de grandes esfuerzos en la zona de unión o junta. En el caso de que las traviesas no estén bien arropadas con balasto, y especialmente en curvas cerradas, se puede llegar a dar el caso de que se produzca lo que comúnmente se conoce como un 'garrote'. Básicamente se trata de una deformación en planta o ripado de la

vía debida a la excesiva tensión creada por la dilatación de los carriles. Esta pérdida de la alineación en planta resulta peligrosa, pues dependiendo de su magnitud, en el peor de los casos puede provocar el descarrilo de un tren al no poder tomar la curva-contracurva generada de radio reducido.

- En cambio, si la cala es excesivamente grande, en época invernal los carriles se contraen, tendiendo a disminuir su longitud. Nuevamente se produce un punto de grandes esfuerzos, en este caso de tracción, en la zona de unión o junta, que pueden llegar a romper los tornillos de la brida, y provocar también una deformación. En este caso lo peor suele ser que al partir los tornillos, quede un hueco entre los carriles, pudiendo caer el tren en éste y descarrilar.

A veces, para mitigar los efectos de la dilatación y contracción del carril se utilizan las llamadas bridas correderas, que son hojas de brida normales a las que se les agrandan los agujeros de uno de sus extremos para darle un mayor grado de libertad u holgura al carril evitando la rotura de la unión mecánica.



*Ilustración 56: Junta de carril embridada y chafada por el paso de las circulaciones.
Fuente propia.*

Adicionalmente al problema de la dilatación/contracción del carril, existe otro problema añadido. Al existir una cala o discontinuidad entre los dos carriles de un mismo hilo, cada vez que pasan las ruedas del tren, éstas golpetean la cabeza del carril en la zona de discontinuidad [16, p. 204]. Tras cierto número de circulaciones, la cabeza del carril en dicha zona empieza a chafarse y deformarse, sufriendo un desgaste por flujo plástico [47, p. 75].

La vía férrea en el ámbito portuario

Para reducir este golpeteo, y aumentar la durabilidad de los carriles en las juntas, se solía introducir un pequeño cupón de carril de pocos centímetros en la cala durante el invierno, y se retiraba en el verano cuando los carriles se dilatan.

Este tipo de soluciones, se pueden llevar a cabo de forma puntual y en zonas muy localizadas, como puede ser un puerto o una terminal ferroviaria. Sin embargo, su uso de forma generalizada en redes de gran tamaño, como la de Adif, con grandes longitudes, gran número de circulaciones y mayores velocidades se torna inviable a medio y largo plazo.



Ilustración 57: Cupón de carril RN45 en una cala para reducir el hueco y el golpeteo al pasar las ruedas del tren. Fuente propia.

Afortunadamente, con el avance de la tecnología, poco a poco se ha ido generalizando la vía sin juntas, con uniones mediante soldeo. Estas uniones pueden ser ejecutadas de dos formas: soldadura eléctrica a tope por chisporroteo en fábrica, taller u obra con camión de soldadura, y soldadura aluminotérmica.

La soldadura a tope por chisporroteo suele realizarse en fase de obra, dada la carestía de los equipos utilizados, y los altos rendimientos necesarios para rentabilizar su uso. En consecuencia, no se utiliza en actuaciones de mantenimiento.



Ilustración 58: Camión de soldadura eléctrica a tope por chisporroteo. Proyecto Marmaray (Estambul) Feb-2014. Fuente propia.

La soldadura aluminotérmica, usada también habitualmente en obra, es la que se utiliza en la práctica totalidad de las actuaciones de mantenimiento. Este tipo de unión entre carriles se basa en la reacción exotérmica que se produce al mezclar óxido de hierro con aluminio en polvo, junto con otros elementos, permitiendo obtener un acero de composición similar a los carriles a soldar [52, p. 112].

El procedimiento de soldeo aluminotérmico, que es realizado por personal específicamente habilitado por Adif, está regulado por la norma NAV 3-3-2.1 [53], siendo de aplicación para la red de Adif, y en la práctica, también en las redes ferroportuarias españolas.



Ilustración 59: Soldaduras aluminotérmicas. Fuente propia.

Las soldaduras de carril son un tipo de unión muy sólida y resistente, que permite obtener una superficie de rodadura continua y sin resaltos, y que alarga la vida del carril. Gracias a las soldaduras, se evita el machaqueo de la cabeza del carril que se produce en las juntas embridadas. Sin embargo, existe un problema intrínseco a las propiedades físicas del acero del carril que se ha de solventar. Nuevamente se ha de afrontar la problemática de las temperaturas extremas entre invierno y verano. La contracción/dilatación del carril por los cambios de temperatura. En este caso, al no disponer de cala entre los dos carriles a unir, pues el carril es continuo, podemos tener dos casos.

- En invierno, con temperaturas muy bajas, el carril tiende a contraerse, generando esfuerzos longitudinales de tracción, y pudiendo llegar a partirse [16, p. 147].
- En verano, con temperaturas elevadas, el carril tiende a expandirse, generando esfuerzos longitudinales de compresión, y pudiendo dar lugar a deformaciones de vía [16, p. 147].

La solución de compromiso a esta problemática es la neutralización de tensiones, regulada por la NAV 7-1-4.1 [39]. Éste es un procedimiento mediante el cual se concede al carril un estado tensional medio entre los estados tensionales existentes a temperaturas extremas (máxima y mínima) de la zona geográfica donde se halla la vía en cuestión [39, pp. 8 y 9]. Asimismo, el procedimiento de la norma considera algunas consideraciones en los cálculos del lado de la seguridad, pues habitualmente es más peligrosa una deformación por calor, que una rotura de carril. Esta afirmación, en general es cierta, pues las roturas de carril suelen ser fácilmente detectables gracias a los circuitos de vía en la red de Adif, mientras que las deformaciones no son detectadas por los circuitos de vía. Sin embargo, en la mayor parte de las redes ferroportuarias no existen circuitos de vía, sino pedales o detectores de paso de rueda de tren. Pero a pesar de estas diferencias, es más fácil que descarrile un tren ante una deformación o garrote que ante una rotura de carril.

Adicionalmente a lo dicho, hay que tener en cuenta que una vez que se ha neutralizado un carril o barra larga, si este se corta por motivo de un cuponado o cualquier otro motivo, se pierde ese estado tensional medio, por lo que se debería volver a neutralizar el hilo o carril donde se haya actuado.

Otro aspecto íntimamente ligado a la neutralización, sobre todo en la vía en balasto y en verano, es que la vía ha de estar correctamente embalastada, perfilada y con el hombro de balasto necesario para reducir el desplazamiento longitudinal del carril. El carril, unido a las traviesas mediante las sujeciones, al dilatarse transmite estos esfuerzos longitudinales a las traviesas, y estos esfuerzos son coartados por la

banqueta de balasto, evitando la deformación de la vía. En el caso de la vía en placa, es la placa de hormigón la que realiza la función de coartar estas deformaciones, por lo que obviamente no suele ser un problema tan relevante como en la vía en balasto.

4.3.2. Aparatos de vía y accionamientos

4.3.2.1. Aparatos de vía

Los aparatos de vía se pueden definir como el [54, p. 4] “[...] conjunto de dispositivos que tienen por misión asegurar la continuidad de la vía en los cruces y bifurcaciones”.



Ilustración 60: Escape en vía en balasto. El Prat de Ll. 2007. Fuente propia.

Los aparatos de vía pueden ser de un solo ancho o de ancho mixto (con dos o incluso tres anchos diferentes). De la misma forma que la vía de ancho mixto, estos aparatos tienen un hilo exclusivo para cada ancho y un hilo común para todos los anchos. En los puertos españoles, con la progresiva conexión al Corredor Mediterráneo [8] y Atlántico [9], cada vez es más habitual la existencia de vías de ancho mixto para poder recepcionar y operar trenes en varios anchos. En consecuencia, tanto la vía como los aparatos de vía han de disponer de los mismos anchos para poder llevar a cabo su función. Véase, según se citaba anteriormente, el ejemplo del puerto de Barcelona con vías de hasta tres anchos (ibérico, UIC y métrico).

En cuanto a materiales, los aparatos pueden ser de traviesas de madera o de traviesas de hormigón, con carril 54E1, 60E1, o incluso RN 45 en los aparatos más antiguos. Asimismo, el carril de los aparatos puede tener una dureza de grado R260 (normal) o R350 HT (duro) para asegurar una mayor durabilidad. En la actualidad Adif no utiliza carril de mayor grado de dureza (extraduro), aunque sería posible utilizarlo en una red ferroportuaria.

En cuanto a la tipología de los aparatos de vía, de forma general se puede distinguir entre los siguientes [55, pp. 296-299]:

- Aparatos de vía sencillos: desvíos y travesías sin unión.
- Aparatos de vía compuestos: escapes, bretelles, travesías de unión simple y de unión doble, así como combinaciones de éstos.
- Otros aparatos de vía: cambiadores de hilo, aparatos de dilatación, etc.

Los desvíos [55, p. 297] son aquellos aparatos que bifurcan una vía en dos ramas, o más, mediante unos elementos móviles llamados agujas, y un punto de cruce o cruzamiento. Las partes principales de un desvío son:

- Cambio, que es la zona donde se ubican las agujas.
- Carriles de unión o carrilaje intermedio, que conecta el cambio con el cruzamiento.
- Cruzamiento, que es la zona donde se cruzan los carriles de la rama principal y la rama desviada.



Ilustración 61: Esquema básico de un desvío [54, p. 6].

Las travesías son aquellos aparatos que disponen de varios cruzamientos para permitir la intersección entre dos vías, pudiendo ser de tres tipos:

- Travesía sin unión (TSU); este tipo de travesía no dispone de agujas, y solo permite el direccionamiento del tren por la vía que circula, intersectando otra vía. Suelen cruzarse en ángulo recto o en ángulo agudo.

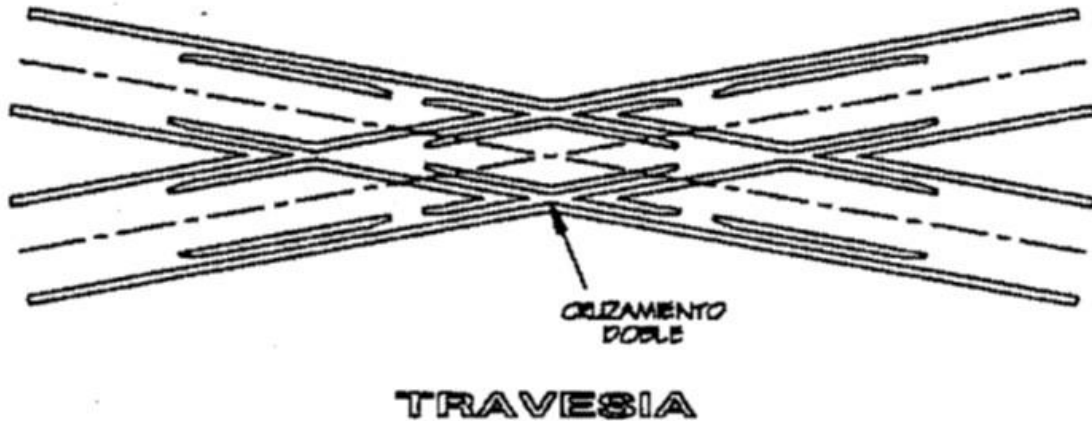


Ilustración 62: Esquema básico de una travesía sin unión (TSU) [54, p. 6].

- Travesía de unión simple (TUS); este tipo de travesía dispone de dos cambios, permitiendo el direccionamiento del tren a dos de sus ramas. Se cruzan en ángulo agudo.

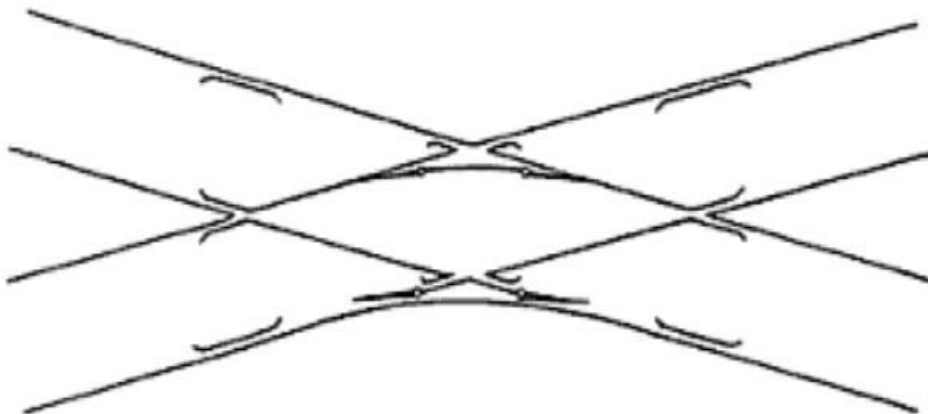


Ilustración 63: Esquema de una travesía de unión simple [54, p. 29].

La vía férrea en el ámbito portuario

- Travesía de unión doble (TUD); este tipo de travesía dispone de cuatro cambios, permitiendo el direccionamiento del tren a sus cuatro ramas. Se cruzan en ángulo agudo.

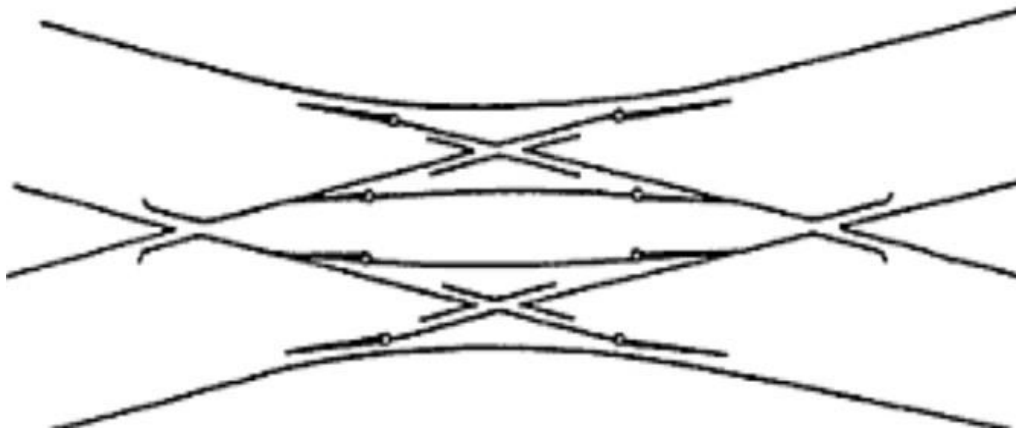


Ilustración 64: Esquema de una travesía de unión doble (TUD) [54, p. 29].

En cuanto a los aparatos compuestos, dado que son combinaciones de los aparatos sencillos, se les aplican los mismos criterios que a los primeros.

En cuanto a otros tipos de aparatos, son destacables los cambiadores de hilo. Se trata de un tipo de aparato específico para vías de ancho mixto en las que es necesario cambiar el hilo común de un hilo a otro al llegar a otro aparato o bifurcación donde el hilo común cambia de lado. Este cambio de hilo solo es necesario para los anchos inferiores al ibérico.



Ilustración 65: Cambiador de hilo para ancho UIC en el puerto de Barcelona.

Fuente propia.

También son relevantes los aparatos de dilatación en las redes de Adif, pues se instalan en los extremos de estructuras como viaductos para absorber los movimientos de dilatación / contracción del tablero, de forma que las circulaciones se realicen de forma segura. Este tipo de aparatos se caracteriza por disponer de agujas rectas, que son las que se desplazan una sobre la otra para permitir la continuidad de la vía en una estructura sin que se partan los carriles. Asimismo, los aparatos de dilatación se caracterizan por su carrera o desplazamiento longitudinal, dependiendo del tipo de estructura. Sin embargo, este tipo de aparatos no suele ser habitual en los puertos, por lo que no se entra más en detalle.



Ilustración 66: Aparato de dilatación en la LAV Madrid-Levante. Fuente propia.

A continuación, se describen de forma general los principales parámetros característicos de un aparato de vía, pues su tipología, materiales, geometría, pues son muchas las variables que los definen:

Parámetros de un aparato de vía:

Los aparatos de vía, además del tipo de traviesa y carril, también se caracterizan por otros parámetros, como son [56, p. 3]:

- Tipo de aparato de vía; desvío sencillo, desvío mixto, escape, travesía, etc.
- Ancho/s de circulación; ibérico, internacional o métrico.
- Tipo de traviesa/infraestructura; madera, hormigón balasto, hormigón sin balasto, vía en placa, etc.

La vía férrea en el ámbito portuario

- Tipo de desvío; A, B1, B2, C, P, G; lo que define si es o no soldable, así como la velocidad máxima por vía directa.
- Tipo de carril; de 45, 54, 60 kg/ml.
- Radio de la aguja.
- Tangencia, o ángulo del cruzamiento; tg 0.13, tg 0.11, tg 0.09, etc.
- Tipo de corazón; recto o curvo.
- Mano del aparato, a izquierdas o a derechas.
- Entreeje, o distancia entre los ejes de las vías contiguas antes de entrar en el aparato.

Por ejemplo: DS-I-H-C-54-300-0.09-CR-D-3808 (desvío simple, en ancho internacional, tipo C, carril 54E1, radio 300 m, tg 0.09 del cruzamiento, corazón recto, mano a derechas y entreeje de 3.808 mm).

Lo habitual en la red de Adif convencional son los desvíos tipo C y tipo P, con carril de 54 ó 60, tg 0,09 y tg 0,11, y entreeje de 3.808 mm en ancho ibérico y de 4.300 mm en ancho UC. Sin embargo, en las redes ferroportuarias la tipología de los aparatos de vía suele ser muy diversa, y estos parámetros pueden variar.

Por ejemplo, en el caso del puerto de Barcelona, el criterio de diseño utilizado en nuevas terminales y renovaciones es el de disponer de la mayor longitud de estacionamiento y operación de trenes en las terminales ferroviarias (vías de 750 mts o más, según el estándar europeo [4, p. 56]), por lo que se utilizan desvíos lo más cortos posibles. Todo ello comporta que, dado que el espacio en las zonas portuarias es muy limitado y costoso, pues en algunos casos se ha ganado al mar y además muchas veces el tren comparte calzada con los vehículos de carretera, los trazados suelen ser muy ajustados y su encaje geométrico suele ser complicado.

En consecuencia, en puertos es habitual hallar desvíos tipo B1, soldables, con longitudes entre los 32 y 36 mts, con traviesas de madera, de hormigón o para vía en placa. También se pueden hallar desvíos tipo A, de 32 mts de longitud, ya descatalogados en la normativa de Adif, pero que perduran en vías antiguas.

Es habitual que los radios de las agujas sean pequeños, de 190, 200, 250 o 318 mts, con tangencias de los cruzamientos habituales de 0.11 y 0.13, y con corazones rectos y curvos, que permiten bifurcaciones más cortas con desviadas muy forzadas.

Respecto a los entreejes, en los tramos de acceso, cuando existe doble vía, pueden ser de ≥ 3.808 mm en ancho ibérico, y ≥ 4.300 mm en ancho UIC, dependiendo de por donde discurren los trazados. A veces el trazado

discurre paralelo a calzadas viales, por lo que se han de ajustar todo lo posible. Sin embargo, dentro de las terminales, muchas veces se considera un carril viario de circulación entre dos vías ferroviarias para las circulaciones de coches durante las operativas de carga y descarga de trenes. En estos casos se suele dejar un carril viario de aproximadamente 3 mts para vehículos, y un pasillo a cada lado de 1 mt para los operarios que suban/bajen del tren (sobre todo en operativas de carga/descarga de trenes de coches), con lo que el entreeje sería del orden de los 6,5 mts aproximadamente.



Ilustración 67: Entreeje en una terminal de carga/descarga de vehículos en el puerto de Barcelona. Fuente propia.

4.3.2.2. Accionamientos

Se pueden definir los accionamientos como los mecanismos, manuales o eléctricos, que actúan sobre las partes móviles de los aparatos de vía (agujas o corazones de punta móvil), permitiendo la circulación de un tren en la dirección deseada. En cuanto a accionamientos se pueden destacar, entre otros, los accionamientos de barra con mecanismo de cremallera, los accionamientos manuales mediante marmitas y accionamientos eléctricos o motorizados.

Los accionamientos de barra [57, p. 6] mediante mecanismo de cremallera se hallan albergados dentro de una arqueta en el suelo, entre los carriles. La cremallera une las agujas a unos pitones, que son los que permiten mover las agujas. Una vez abierta la trampilla de la arqueta, se ha de retirar un bulón que bloquea el sistema de cremallera, introducir una barra en el pitón y hacer fuerza con la barra para mover las agujas hacia la dirección deseada, comprobando que el espadín o aguja queda correctamente acoplado. A continuación, se ha de volver a introducir el bulón para asegurar que el espadín del aparato de vía queda correctamente asegurado, pudiendo circular el tren de forma segura.

La vía férrea en el ámbito portuario

Los accionamientos mediante marmita se basan en un mecanismo llamado cerrojo de uña o tirantería, que está unido a las agujas y a un contrapeso llamado marmita. Al mover la marmita manualmente con una palanca hacia una posición u otra, se arrastra el cerrojo junto a las agujas, acoplando el espadín. El contrapeso de la marmita es el que asegura en este caso que el espadín no tenga retroceso ni se mueva de su posición, asegurando la circulación del tren.



Ilustración 68: Desvío accionado mediante cerrojo de uña y marmita en el puerto de Barcelona. Fuente propia.

Finalmente, podemos encontrar accionamientos motorizados que funcionan mediante un motor eléctrico con embrague, que se halla unido al cerrojo de uña. El cerrojo de uña está a su vez unido a las agujas para asegurar que se mueven de forma solidaria.

Cuando el motor recibe la orden de direccionamiento, bien desde un pulsador de maniobra, bien desde el enclavamiento, o bien desde el CTC [58], éste mueve las agujas hacia la posición deseada acoplado la aguja, y asegurando que ésta queda correctamente asegurada para el paso del tren. Asimismo, el motor dispone de un mecanismo de seguridad llamado comprobador, que es el que confirma eléctricamente el correcto acople de la aguja, dando autorización a las señales, si las hubiera.



Ilustración 69: Accionamiento motorizado en el puerto de Barcelona. Fuente propia.

4.3.2.3. Problemáticas habituales

Como se ha comentado anteriormente, una de las principales problemáticas existentes en los puertos es la gran diversidad de aparatos de vía con diferentes características y parámetros geométricos.

A priori, pudiera no parecer un problema tan importante. Sin embargo, teniendo en cuenta el tamaño reducido de las redes ferroportuarias, las especificidades de los desvíos y la gran variabilidad de parámetros geométricos, comporta que tener los repuestos necesarios para todos los tipos de aparatos de vía que pudiese haber es inviable por el alto coste económico que supondría. Este problema también es extensible al resto de materiales de vía, pero con menor incidencia, pues suelen ser materiales más habituales en el mercado, con un coste menor y más fáciles de adquirir.

En un puerto se pueden encontrar aparatos tipo A, B y C, principalmente, con traviesas de madera, de hormigón o de vía en placa. Con diferentes tipos de sujeciones. Con agujas de diferentes radios, de mano izquierda y de mano derecha, cruzamientos con diferentes tangentes (0.13, 0.11, 0.09), con carril RN45, 54E1 o 60E1, con grados de dureza R260 y/o R350 HT, accionados con marmitas, cremalleras o motores, cupones mixtos para realizar las transiciones entre diferentes tipos de carril...

Toda esta variedad de materiales resulta muy cara de adquirir para las autoridades portuarias. Y considerando además las bajas velocidades de circulación y la relativa baja incidencia ante el corte temporal de una vía

La vía férrea en el ámbito portuario

(hablamos de mercancías, y no de pasajeros), el criterio habitual suele ser el de disponer de los mínimos repuestos posibles para evitar tener inmovilizado que no se sabe si se llegará a usar.

Por otra parte, está la problemática de que para adquirir muchos de estos repuestos, los plazos de suministro a veces son extensos (del orden de 6 meses o más), y si le añadimos que, dependiendo de los importes para su adquisición, se ha de llevar a cabo su compra mediante licitación de acuerdo con la Ley Contratos del Sector Público^o, los plazos a veces se dilatan mucho más.

Otro de los problemas típicos cuando existe esta gran variedad de materiales, antiguos y más modernos, es el mantenimiento de inventarios de materiales de vía correctamente actualizado. Se ha de tener en cuenta que el ferrocarril no es el negocio principal de una Autoridad Portuaria, por lo que los medios dedicados a estos fines son escasos, y resulta difícil tenerlo al día.

Un claro ejemplo de lo comentado es el desvío siguiente. Se puede observar que es un desvío en ancho mixto tipo A (no soldable) con carril RN 45 y traviesas de madera, para ancho ibérico en la rama derecha y ancho métrico en la rama izquierda. Además, este desvío está enlazado en su junta de contraaguja (JCA) y en uno de sus talones de contraaguja (TC) con cupones mixtos 45/54 a carril 54E1.



Ilustración 70: Desvío mixto con una rama en ancho métrico y la otra en ancho ibérico en carril RN45 en el Puerto de Barcelona. Fuente propia.

^o Ley 9/2017, de 8 de noviembre, de Contratos del Sector Público, por la que se transponen al ordenamiento jurídico español las Directivas del Parlamento Europeo y del Consejo 2014/23/UE y 2014/24/UE, de 26 de febrero de 2014.

La vía férrea en el ámbito portuario

Se trata de un desvío antiguo y descatalogado, que sigue prestando servicio, y que posee unas características suficientemente específicas como para que algunas de sus piezas no sean fácilmente sustituibles de forma inmediata. Bien porque los repuestos son escasos, o bien porque los repuestos se han de fabricar expresamente para ese aparato y no sirven para ningún otro.

Adicionalmente a las problemáticas comentadas, los aparatos de vía en los puertos suelen tener algunos problemas recurrentes en algunos elementos, bien por desgaste, bien por accidentes. Por ejemplo, uno de los problemas típicos son los daños en las agujas. En ocasiones estos aparatos sufren algún descarrilo o talonamiento, resultando dañadas y/o chafadas las puntas de los espadines, forzados los cerrojos de uña y produciéndose un mal acople de los espadines. También son habituales los desgastes de los cruzamientos, dado que las tangentes de estos son muy cerradas, y las ruedas del material rodante al pasar ejercen una abrasión importante en estos elementos.



Ilustración 71: Espadines con acople incorrecto por daño en el cerrojo de uña o en el embrague del motor. Fuente propia.



Ilustración 72: Punta de espadín chafada. Fuente propia.



Ilustración 73: Punta de espadín deteriorada por desgaste. Fuente propia.



Ilustración 74: Virata metálica producida por desgaste por abrasión de las ruedas del tren en un cruzamiento. Fuente propia.

En cuanto a los accionamientos, las principales problemáticas que pueden ocurrir son, entre otras:

- La acumulación de suciedad en las resbaladeras. Cuando se acumula suciedad en las resbaladeras de las agujas, ésta se mezcla con la grasa y aceites y forma una pasta que se endurece y dificulta el desplazamiento de la aguja. Es por ello que es importante mantener estas partes de deslizamiento limpias y bien engrasadas para que la aguja se desplace correctamente en caso de necesitar direccionarla.



Ilustración 75: Resbaladera de una aguja de un desvío. Fuente propia.

La vía férrea en el ámbito portuario

- La deformación o rotura de la tirantería o de los cerrojos de uña. No suele ser habitual. Sin embargo, en algunas ocasiones puede resultar dañada durante un descarrilo o al paso de un vagón encaballado. El resultado es que el accionamiento no funciona correctamente, y puede no llegar a acoplar correctamente y dar problemas de encerrojamiento y comprobación.
- La rotura de la barra del contrapeso en los accionamientos de marmita. No es muy habitual, pero cuando pasa, la aguja no acopla bien, pues le falta la fuerza que ejerce el contrapeso para asegurar la posición de la aguja al paso del tren.



Ilustración 76: Barra de contrapeso parcialmente partida en un desvío con accionamiento con marmita. Fuente propia.

- Fallo eléctrico o mecánico del motor, inundación de motor cuando se halla en un punto bajo. Como todo elemento eléctrico, a veces puede fundirse algún fusible, o el embrague puede haber sufrido un sobre esfuerzo, lo que puede producir un mal funcionamiento del motor. En algunos puntos concretos, debido a la ubicación del motor, este queda albergado en un punto bajo, y cuando llueve si el desagüe es insuficiente o sencillamente queda taponado, el motor puede quedar inundado, produciéndose su fallo.

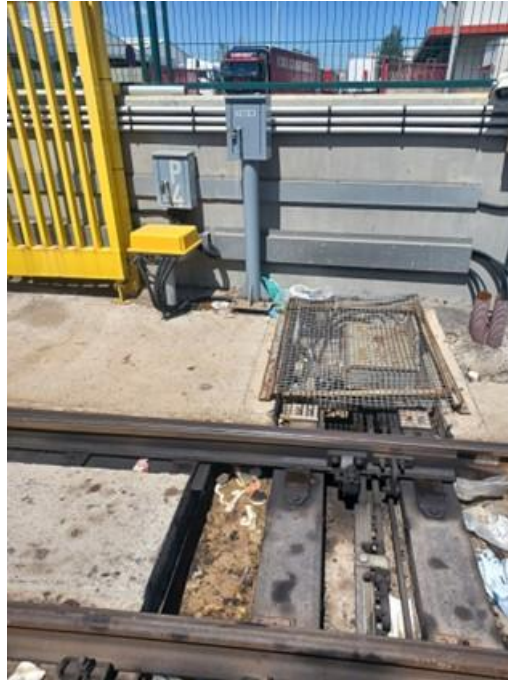


Ilustración 77: Motor en foso con problemas de inundación por falta de desagüe y de acumulación de suciedad. Fuente propia.

- Problemas de dilatación de la tirantería provocando un acople incorrecto de la aguja y fallos de comprobación. En algunos puntos donde se sabe que un motor es propenso a recibir cierto flujo de agua, produciendo su avería, éstos se elevan sobre el suelo, y se les coloca una tirantería con forma de silleta, en vez de recta. De esa forma se evitan los problemas generados por el agua, pero dependiendo de su exposición al sol y el calor, puntualmente aparecen problemas de falta de comprobación por dilatación de la tirantería. En consecuencia, estos accionamientos se deben reajustar cuando las temperaturas son extremas para evitar este tipo de mal funcionamiento.

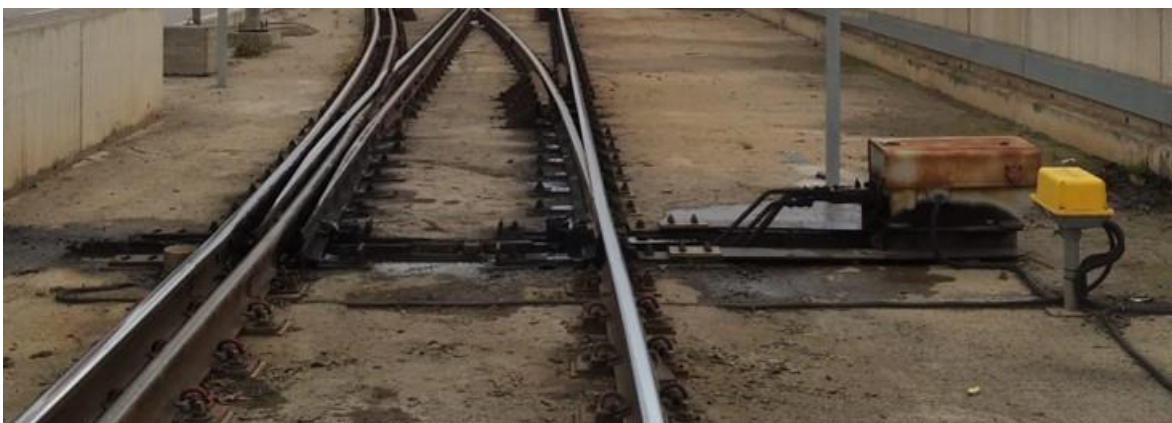


Ilustración 78: Motor sobre elevado para evitar el problema de la inundación. Fuente propia.

4.3.3. Intersecciones especiales o PN

4.3.3.1. Definición

A modo introductorio, a continuación, se define qué es un paso a nivel y una intersección especial desde el punto de vista legal. En la práctica ambos conceptos son equiparables. Sin embargo, desde un punto de vista normativo cada término tiene connotaciones legales diferentes.

Se define "paso a nivel"^P como: "cualquier intersección a nivel entre una carretera o camino y una línea férrea, reconocida por el administrador de infraestructuras y abierta a usuarios públicos o privados" [59, p. 31].

Y en cuanto a las "intersecciones especiales"^Q se indica que: "...no se consideran pasos a nivel las intersecciones de carreteras o caminos con líneas ferroviarias cuando aquellas se produzcan dentro de zonas industriales o portuarias o en los accesos a las mismas..." [59, p. 31].

Asimismo, en la ley del sector ferroviario^R se citan las condiciones que se han de dar de forma simultánea para la aplicabilidad de esta consideración de intersección especial:

- a) Que la entidad explotadora de dichas líneas ferroviarias comparta con la responsable de la carretera la ordenación de los tráficos en los puntos de cruce.
 - b) Que la preferencia en dichos puntos quede fijada en cada momento con arreglo al referido sistema de ordenación de los tráficos, pudiendo llegar a compartir la plataforma de la línea ferroviaria con el tráfico viario.
- Dichas intersecciones habrán de contar con la protección que corresponda conforme a lo que se determine reglamentariamente y los trenes deberán limitar su velocidad máxima de circulación por aquéllas a 40 kilómetros por hora [1].

Así pues, de acuerdo con la ley del sector ferroviario, dado que los viales dentro de una zona de servicio portuario y la explotación ferroviaria, así como el sistema de ordenación de los tráficos son competencia de la Autoridad portuaria correspondiente, y la velocidad máxima de los trenes en las zonas de servicio de los puertos es en marcha de maniobras^S (es decir, ≤ 30 km/h tirando, ≤ 20 km/h empujando), los cruces a nivel se consideran intersecciones especiales.

^P Artículo 47.1 del RD 929/2020, de 27 de octubre, sobre seguridad operacional e interoperabilidad ferroviarias

^Q Artículo 47.2 del RD 929/2020, de 27 de octubre, sobre seguridad operacional e interoperabilidad ferroviarias.

^R Artículo 8.8 de la Ley 38/2015, de 29 de septiembre, del sector ferroviario.

^S Punto 2 del apartado '1.5.1.4. Condiciones de marcha especiales' del RD 664/2015, de 17 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Circulación Ferroviaria.

La normativa y las administraciones han promovido desde hace un tiempo atrás la supresión de este tipo de cruces por la peligrosidad que comportan para los vehículos de carretera y peatones, sobre todo cuando el ferrocarril atraviesa zonas pobladas o con una intensidad de tráfico rodado considerable.

En muchos casos, las soluciones más habituales suelen ser la ejecución de pasos superiores o inferiores a la línea férrea. Sin embargo, en el caso de las zonas portuarias, la supresión de estos cruces al mismo nivel resulta muy compleja, y en algunos casos casi imposible. Las principales dificultades residen en la diferencia de cotas necesaria para realizar estos cruces a diferente nivel, y en las rampas máximas que admite, sobre todo el tráfico de mercancías, para poder circular (del orden de 12,5 mm/m en vía general, y del orden de 2 mm/m en zonas de estacionamiento o enganche/desenganche de composiciones [60, pp. 34, 35]).

4.3.3.2. Clase de protección de intersecciones especiales

De forma análoga a los pasos a nivel, las intersecciones especiales pueden ser de diferentes tipologías, definiéndose según su clase de protección.

De acuerdo con el RD 929/2020^T, las clases de protección pueden ser:

Clase P: protección pasiva sin aviso al conductor. Advertencia mediante señalización vertical.

Clase A: protección activa con aviso al conductor, diferenciando cuatro subtipos.

- Clase A1: protección manual, con aviso al conductor por parte de personal ferroviario.
- Clase A2: protección automática, con aviso al conductor mediante señales verticales, señales luminosas y señales acústicas.
- Clase A3: protección automática, con aviso al conductor mediante señales verticales, señales luminosas y señales acústicas, y protección del paso mediante barreras o semi barreras.
- Clase A4: protección automática, con aviso al conductor mediante señales verticales, señales luminosas y señales acústicas, y protección del paso mediante barreras o semi

^T Punto II, del Anexo VII Protección de pasos a nivel, del RD 929/2020, de 27 de octubre, sobre seguridad operacional e interoperabilidad ferroviarias.

barreras, y aviso al tren mediante espiras de detección u otro sistema informando de que el paso está libre de obstáculos.

En las áreas de servicio de los puertos con este tipo de instalaciones de seguridad, como es el caso del puerto de Barcelona, las más habituales son, de mayor a menor número, las de clase A3, clase A2 y clase P.

4.3.3.3. Problemáticas habituales

De forma general, las principales problemáticas existentes con este tipo de instalaciones son de tres tipos: fallo mecánico, fallo eléctrico o fallo electrónico.

Los fallos mecánicos más habituales son por caída o rotura de las barreras de protección del paso. Lo más habitual es que las barreras se rompan porque los vehículos de carretera no respeten los puntos de parada, y las barreras los golpeen al bajar. También suele ser relativamente habitual que las barreras de mayor longitud, entre 6 y 7 metros, partan por las rachas de viento.

Los fallos eléctricos más habituales son motivados por la fusión de las bombillas de las señales luminosas, y en ocasiones puntuales por caídas de tensión por diversos motivos.

Los fallos electrónicos vienen dados por el sistema de detección de los trenes mediante pedales cuentaejes. En el caso de que la rueda de un tren para justamente encima de uno de los pedales, el sistema cae reaccionando del lado de la seguridad, es decir, poniendo todas las señales en aspecto restrictivo e impidiendo que el enclavamiento autorice ninguna maniobra. Este fallo, más que un fallo en sí, es una limitación del sistema. Sin embargo, a día de hoy los pedales son uno de los pocos métodos homologados para controlar el paso de trenes en zonas con cantones muy cortos y con varios anchos de vía coexistiendo, donde no se pueden instalar circuitos de vía.



*Ilustración 79: Intersección especial con barreras tipo A3 en el puerto de Barcelona.
Fuente propia.*

4.3.4. Puertas ferroviarias

4.3.4.1. Definición

Las puertas ferroviarias pudieran parecer un contrasentido. A priori, resulta difícil de imaginar la razón por la que se instale una puerta en una vía férrea. Sin embargo, su existencia viene dada por tres motivos:

- Delimitación de acceso a la zona de servicio del puerto por control aduanero y de seguridad.
- Delimitación de acceso a terminales ferroviarias por seguridad.
- Delimitación de zonas de carga/descarga en vía.

Las zonas de servicio de los puertos están totalmente perimetradas, y disponen de controles de acceso para vehículos de carretera y para personas. En dichos controles de acceso se verifica que los vehículos y las personas que acceden / salen lo hacen con la autorización correspondiente, pues trabajan para alguna de las empresas establecidas en la zona de servicio portuario, o bien acarrean mercancías de entrada o salida a una terminal portuaria. Sin embargo, no existe ningún control físico en los accesos ferroviarios a puerto. En su lugar, se instalan unas puertas perimetrales, normalmente automáticas, activadas mediante pedal al paso del tren que permiten el paso de composiciones ferroviarias a la zona de servicio del puerto. Una vez ha pasado el tren, estas puertas

La vía férrea en el ámbito portuario

se vuelven a cerrar garantizando que no accedan ni vehículos ni personas de forma incontrolada por estos accesos ferroviarios.

A su vez, todas las terminales del puerto, inclusive las ferroviarias, están perimetradas y disponen de controles de acceso, como cualquier empresa fuera del puerto. Sin embargo, nuevamente, tampoco existe un control físico de acceso ferroviario. En su lugar se utilizan también puertas automáticas activadas mediante pedales para la entrada/salida de trenes.

Finalmente, de forma puntual se puede llegar a utilizar alguna vía de paso como vía de carga / descarga de automóviles nuevos. En estos casos, dado que se trata de una vía de paso, se ha de asegurar que ningún otro tren acceda a dicha zona. Por otra parte, al tratarse de vehículos sin matricular, en principio no pueden circular fuera de las terminales. Para ello, se delimita la vía en cuestión por delante y por detrás del tren con la señalización correspondiente. De esa forma se impide el acceso o salida de personal y/o vehículos de forma incontrolada, evitando posibles robos y/o accidentes.



Ilustración 80: Puerta ferroviaria automática batiente de acceso a una terminal en el Puerto de Barcelona. Fuente propia.

4.3.4.2. Problemáticas habituales

Las puertas ferroviarias, como elemento físico no suelen tener problemas. Según su forma de apertura las hay de tipo batiente o correderas. Y según el medio de apertura las hay manuales y automáticas. Las manuales, utilizadas en accesos de poco tráfico ferroviario, no presentan prácticamente ninguna problemática dada su simplicidad. Sin embargo, las puertas de accionamiento automático están íntimamente relacionadas con las instalaciones de seguridad y señalización.

Los problemas que suelen tener éstas últimas, están motivados por el mal funcionamiento de algún elemento. En otros, los más frecuentes suelen ser los siguientes:

- Mal funcionamiento del motor de la puerta. Los motores han de estar correctamente dimensionados al tamaño y peso de cada puerta. Además, para su dimensionamiento hay que tener en cuenta la posible afectación del viento sobre la puerta, sobre todo en el caso de las de tipo batiente.
- Fallo en el final de carrera o el comprobador de cierre. A veces, puede quedar algún elemento atrapado por la puerta, sin que esta pueda llegar a su final de carrera. En estos casos, la puerta sigue accionada intentando cerrar, hasta que llega un momento en que se quema el motor.
- Mal funcionamiento del pedal o sistema de solicitud de apertura. En algunas ocasiones, si los pedales están ubicados en lugares expuestos al tráfico viario, es posible que resulten dañados por el paso de algún vehículo, provocando su mal funcionamiento.
- Caída de tensión. Otro de los problemas que ocurren ocasionalmente son las caídas de tensión en las instalaciones. Normalmente, este tipo de instalaciones no están alimentadas de una red exclusiva como la red de Adif. La alimentación puede ser de la red del viario, o de la red de la terminal a la que dé servicio la puerta en cuestión. Así pues, en caso de corte de tensión, la puerta no funcionaría.

Una vez que la puerta está fuera de servicio, para abrirla se ha de desembragar manualmente, y asegurarla con su correspondiente pasador para que el viento u otro agente no la mueva. En especial este aspecto es importante en las puertas batientes. Tanto es así que, en ocasiones, las composiciones han colisionado o enganchado las puertas batientes mal aseguradas, destrozándolas a su paso.

Las colisiones con puertas ferroviarias suelen ocurrir en zonas de poca visibilidad donde la vía es en curva o discurre entre edificios, de forma que el maquinista no tiene visibilidad hasta el último momento. Y, a pesar de que los trenes circulan a velocidades <30 km/h, las composiciones no pueden detenerse a tiempo por la inercia de la composición al arrastrar

ANÁLISIS DE PATOLOGÍAS DE VÍA FÉRREA EN PUERTOS. PROPUESTA DE MANTENIMIENTO.

La vía férrea en el ámbito portuario

cientos de toneladas, lo que provoca su arrollamiento ante un mal funcionamiento de la puerta. Otros sucesos, achacables al despiste del personal, suceden cuando se desembraga una puerta batiente por avería, pero no se le pone el pasador de seguridad. Se han dado casos de trenes que, al circular con una puerta batiente abierta sin asegurar, ésta se ha movido por efecto del viento, y el tren la ha enganchado a su paso.



Ilustración 81: Puerta ferroviaria enganchada al paso del tren a causa del viento. Fuente propia.

5. ACTUACIONES Y ESTABLECIMIENTO DE CRITERIOS DE MANTENIMIENTO

5.1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con lo expuesto en los puntos anteriores, el mantenimiento de las vías férreas del ámbito portuario puede parecer que ha de ser igual al mantenimiento realizado en las redes de Adif. Sin embargo, las especificidades y el reducido tamaño de las redes ferroportuarias, así como la menor disponibilidad de medios y personal, hacen necesario un replanteamiento de los criterios a aplicar en estas redes.

En consecuencia, esta falta de criterios suficientemente adaptados a las redes ferroportuarias ha provocado que muchas veces se intente seguir las directrices de Adif hasta cierto punto, en la medida que cada Autoridad Portuaria ha sabido y ha podido. Lamentablemente, ello ha conllevado que las instalaciones portuarias han tenido un mantenimiento mínimo, que en algunos casos se ha limitado a acometer acciones correctoras ante una avería o rotura del material de vía, o ante un accidente ferroviario de una relativa baja repercusión, como un descarrilo a baja velocidad.

5.2. ORGANIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO FERROVIARIO

El mantenimiento ferroviario se suele subdividir en especialidades tales como: infraestructura y vía, electrificación y subestaciones de tracción, instalaciones de seguridad y comunicaciones.

El presente trabajo se ciñe exclusivamente a la primera especialidad, es decir, infraestructura y vía. Sin embargo, las interrelaciones de algunos elementos y/o su naturaleza hacen imposible en algunos casos su disociación absoluta entre una especialidad u otra.

En la actualidad, el mantenimiento se ha de enfocar desde un punto de vista global e integrador, siguiendo la normativa aplicable del ámbito en cuestión, intentando aplicar las metodologías más eficientes posibles y una organización lo más adaptada posible al ámbito y organización a la que se le presta servicio, y al mínimo coste posible [61, p. 42].

ANÁLISIS DE PATOLOGÍAS DE VÍA FÉRREA EN PUERTOS. PROPUESTA DE MANTENIMIENTO.

Actuaciones y establecimiento de criterios de mantenimiento

En los últimos años, una de las formas de perseguir una mayor eficiencia, una mayor especialización del personal y una reducción de costes en el mantenimiento ferroviario ha sido su externalización parcial o total [61, p. 62]. En administradores de infraestructuras como Adif, FEVE (actualmente Adif Métrico), FGV, FGC, Metro Madrid, etc..., gran parte de estos trabajos se ha externalizado, manteniendo una pequeña parte de personal propio dedicada a ello. Sin embargo, en el ámbito portuario la práctica totalidad del personal de mantenimiento ferroviario, a excepción del técnico encargado de la Autoridad Portuaria (muchas veces sin experiencia ferroviaria previa) está externalizado en las contratatas.

Un aspecto positivo de este hecho es que el personal de las contratatas sí que dispone de amplia experiencia en mantenimiento, y aplica una normativa que le resulta conocida y habitual, que no es otra que la normativa de Adif. El aspecto negativo es que no existe un criterio general adaptado a estas redes ferroportuarias que optimice las decisiones. En muchos casos el criterio es el que indican las contratatas, precisamente por la falta de criterio de la Autoridad Portuaria. Sin embargo, ese criterio no siempre será el mejor para el gestor de esa red, lo que delata la falta de medios y de personal con experiencia dedicado a este ámbito.

Otro aspecto esencial que, aunque obvio, muchas veces suele tener ciertas carencias en las redes ferroportuarias, son los esquemas de vía y los inventarios. Para una buena gestión del mantenimiento en las redes ferroportuarias es necesario disponer de unos esquemas de vía, un inventario de materiales en vía y un inventario de las existencias de repuestos actualizados.

Con unos esquemas de vía actualizados es posible analizar los movimientos que pueden realizar los trenes, así como las alternativas de desvío de tráfico ferroviario ante una incidencia. En los puertos suelen existir tramos de vía obsoletos que están fuera de servicio, y que incluso a veces no se han desmontado. Estos tramos muchas veces perduran en los esquemas de vía, pudiendo llevar a la confusión. Además, los materiales de estos tramos pudieran ser fuente de posibles repuestos, y al estar olvidados, es posible que no se tengan en cuenta a la hora de realizar una reparación.

Con un inventario de vía actualizado es posible conocer, entre otros detalles, el tipo de vía (balasto o placa) en un tramo determinado, el tipo de carril, el tipo de traviesas, el tipo de sujeciones, las características de los aparatos de vía, etc. Recopilar estos datos y mantener un listado actualizado puede ser una tarea ardua. Sin embargo, cuando ocurre cualquier incidencia facilita mucho las gestiones de búsqueda de repuestos, y ahorra mucho tiempo. Además, en tramos con vía en placa donde los aparatos de vía están embebidos suelen haber problemas de

ANÁLISIS DE PATOLOGÍAS DE VÍA FÉRREA EN PUERTOS. PROPUESTA DE MANTENIMIENTO.

Actuaciones y establecimiento de criterios de mantenimiento

identificación de las características de un aparato de vía (tangencia de un desvío, radio...). Si se dispone de un inventario de los aparatos de vía con sus características se puede ahorrar mucho tiempo en comprobar si se dispone del repuesto necesario o en agilizar su adquisición.

Con un inventario de existencias de repuestos es posible saber rápidamente si se dispone de una pieza determinada ante una avería o fallo, para proceder a su reparación, o poder reaccionar de forma ágil para buscar el elemento correspondiente.

Por otra parte, el mantenimiento ferroviario en la *zona de peligro*^U y en la *zona de riesgo*^V (zonas a menos de 3 metros del carril y la propia caja de la vía) se suele realizar en periodos en los cuales no se producen circulaciones comerciales, llamados '*Banda de mantenimiento*'.

En esa banda de mantenimiento, usualmente cuando se utiliza maquinaria pesada de vía o se realizan trabajos en los que ésta no puede retirarse de forma rápida de la vía para permitir la circulación segura de un tren, se aplica el llamado "*Sistema de interrupción de la circulación con Entrega de Vía Bloqueada*"^W. Mediante este régimen de trabajos se prohíben las circulaciones ferroviarias, quedando el tramo de vía afectado al cargo de una persona responsable con habilitación ferroviaria en coordinación con el Responsable de Circulación. Lo más habitual es que la banda de mantenimiento sea en horario nocturno, aunque no siempre es así. Dependerá mucho de la línea ferroviaria en cuestión y de los horarios de circulación.

Para la realización de pequeñas actuaciones sin maquinaria, con pequeña herramienta y que permitan la retirada rápida de la vía permitiendo la circulación segura de un tren, se aplica el llamado "*Sistema de trabajos en intervalo de liberación por tiempo*"^X. Mediante este régimen de trabajos se permite realizar trabajos entre circulaciones ferroviarias, quedando el tramo de vía afectado al cargo de una persona responsable con habilitación ferroviaria en coordinación con el Responsable de Circulación.

^U Nº58, 1.1.1.3. Definiciones, del RD 664/2015, de 17 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Circulación Ferroviaria.

^V Nº59, 1.1.1.3. Definiciones, del RD 664/2015, de 17 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Circulación Ferroviaria.

^W Sección 3. Sistema de interrupción de la circulación con Entrega de Vía Bloqueada, del RD 664/2015, de 17 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Circulación Ferroviaria.

^X Sección 2. Sistema de trabajos en intervalo de liberación por tiempo, del RD 664/2015, de 17 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Circulación Ferroviaria.

En el caso de las redes ferroportuarias, la aplicación de los sistemas de trabajos suele ser parecida a la de Adif, aunque con ciertas adaptaciones a la realidad y condicionantes de cada puerto. Estas particularidades se reflejan en los sistemas de gestión de la seguridad ferroviaria de cada Autoridad Portuaria^Y, por lo que algunas denominaciones y/o definiciones variarán ligeramente respecto a los procedimientos de Adif por las implicaciones legales que conllevan.

Así pues, dependiendo del puerto y el tráfico ferroviario que tenga cada puerto en cuestión, las bandas de mantenimiento serán más amplias o escasas. En puertos con el de Marín o el de Cartagena, donde tienen pocos trenes a la semana, la banda de mantenimiento será muy amplia. Sin embargo, en puertos como el de Valencia o el de Barcelona, donde hay mucho más tráfico ferroviario, y repartido durante las 24 horas, las bandas de mantenimiento son mucho más reducidas, debiendo aplicar diferentes duraciones a diferentes trayectos. En puertos como el de Barcelona, se receptionan trenes a casi cualquier hora, por lo que, dependiendo de la terminal de destino, en algunos trayectos solo se puede bloquear vía las noches del fin de semana, debiendo de realizar el resto de trabajos en liberación por tiempos entre circulaciones. También hay que tener en cuenta que los periodos entre tren y tren en algunos tramos ferroviarios en un puerto pueden ser de 2 ó 3 horas o incluso más, a diferencia de la red de Adif donde en algunos tramos circulan trenes cada 5 a 10 minutos dependiendo del tramo.

5.3. TIPOS DE MANTENIMIENTO Y HERRAMIENTAS DE AYUDA A LA GESTIÓN

La perspectiva y el enfoque del mantenimiento ferroviario se basa principalmente en tres aspectos [62, p. 5]:

- El mantenimiento preventivo.
- La inspección de la vía.
- El mantenimiento correctivo.

^Y Artículo 13. Sistemas de gestión de la seguridad, del RD 929/2020, de 27 de octubre, sobre seguridad operacional e interoperabilidad ferroviarias.

**Actuaciones y establecimiento de criterios de
mantenimiento**

De acuerdo con la normativa UNE-EN-13306 [63], el mantenimiento se puede clasificar en los siguientes tipos principales:

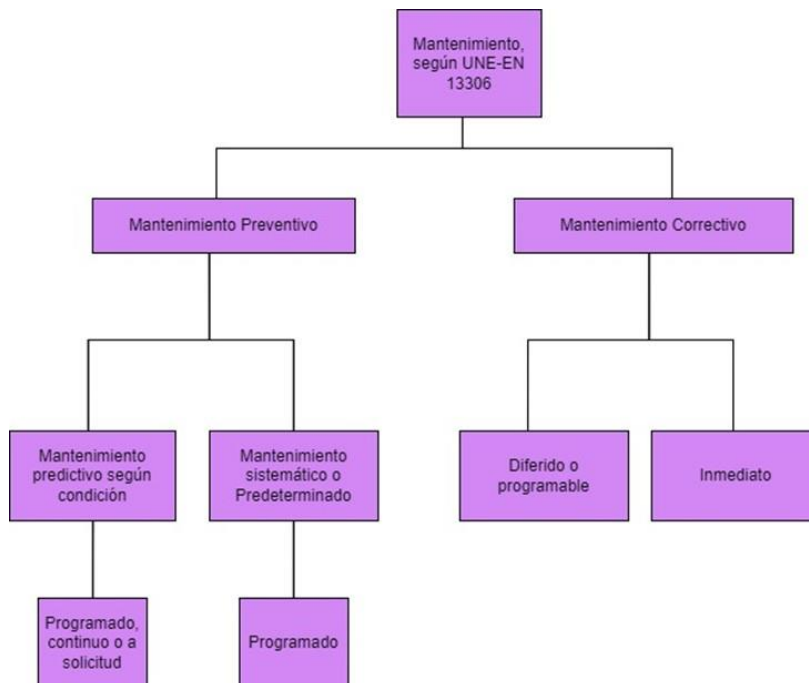


Ilustración 82: Principales tipos de mantenimiento según la UNE-EN-13306 [61, p. 71].

El mantenimiento correctivo [64, p. 3] se puede definir como el que se realiza cuando se produce el fallo, avería o mal funcionamiento. Para solventar la problemática generada, de forma habitual se repara o sustituye el elemento dañado que provoca el fallo o avería, normalmente de forma urgente. Sin embargo, dependiendo del elemento a reparar o sustituir se deben tener los medios y/o repuestos necesarios en stock para que el tiempo de indisponibilidad sea el menor posible. Los tiempos de reacción de las contratadas para acudir al lugar de la actuación se suelen regular por pliego, siendo del orden de 1 a 3 horas.

En determinadas circunstancias, si no se dispone del elemento, es posible que se pueda realizar una reparación provisional para reiniciar el servicio, y realizar la reparación definitiva posteriormente de forma programada. En caso de no disponer de los elementos necesarios, lo más probable será que se haya de implantar una limitación de velocidad o una restricción de paso para mantener la circulación ferroviaria de forma segura. En los casos más críticos, es posible que no pueda reiniciar el servicio hasta disponer de las piezas necesarias, con los consecuentes costes de parada o indisponibilidad de la red ferroviaria.

El mantenimiento preventivo [64, p. 6] se puede definir como el que se realiza a partir de tareas programadas en el tiempo de forma planificada para minimizar la posibilidad de que el fallo o la avería se llegue a

ANÁLISIS DE PATOLOGÍAS DE VÍA FÉRREA EN PUERTOS. PROPUESTA DE MANTENIMIENTO.

Actuaciones y establecimiento de criterios de mantenimiento

producir. Mediante estas actuaciones preventivas se puede detectar un posible problema antes de que suceda, permitiendo sustituir el elemento en cuestión, y evitando la indisponibilidad del sistema. Además, este tipo de mantenimiento aumenta la confiabilidad del sistema, y permite cierto margen de tiempo para obtener las piezas de repuesto, en caso de no disponer en stock. Gracias al mantenimiento preventivo se pueden llegar a ahorrar grandes costes, pues se puede evitar la avería total de algunos elementos, así como los daños producidos a causa de la avería o fallo. Por ejemplo, los daños producidos por el descarrilo de una composición a consecuencia de un fallo en las sujeciones de vía.

En el ferrocarril, una de las estrategias más habituales del mantenimiento preventivo es el llamado '*mantenimiento según estado*' [65, p. 12], que tiene como fin el mantener un nivel de calidad de vía establecido actuando cuando sea necesario utilizando como herramienta principal las inspecciones de vía para conocer su estado.

Las inspecciones y auscultaciones de vía son todos aquellos métodos, sistemas o herramientas de tipo preventivo que se utilizan para verificar, comprobar o diagnosticar el estado de la vía y sus elementos. Los métodos utilizados pueden ser muy variados. Desde los más simples, como las inspecciones a pie y las inspecciones en cabina, hasta los más tecnológicos como las auscultaciones geométricas con maquinaria pesada o las auscultaciones de ultrasonidos. Todas estas inspecciones tienen como objetivo la búsqueda de posibles defectos de la vía y/o sus elementos, o de potenciales problemas que aún no se han manifestado.

Dada la gran cantidad de información que se genera a partir de los esquemas e inventarios, así como de las inspecciones y actuaciones preventivas y correctivas, una herramienta que pudiera ayudar a mejorar la gestión del mantenimiento podría ser un sistema GMAO [66]. Básicamente, un sistema GMAO es una aplicación informática donde se centraliza toda la información relativa al mantenimiento, con el objetivo de optimizar tiempos, medios y costes. Un sistema de este tipo puede ser de gran ayuda en la gestión del mantenimiento. Sin embargo, su implantación es complicada, pues como todo software, se ha de adaptar a las especificidades de cada organización, se ha de dar formación a todo el personal que ha de aportar datos al sistema, y se ha de partir de unos inventarios y estructura de datos correctamente estructurada para que sean de utilidad, y permitan ser lo más eficiente posible.

Otra herramienta de apoyo al mantenimiento, ampliamente utilizada en el sector ferroviario, es el análisis RAMS (Reliability, Availability, Maintainability, Security). El análisis RAMS se podría definir someramente como un estudio [67] de "*caracterización probabilística de los procesos de deterioro*" del estado actual de un sistema conforme a los factores de

confiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y seguridad. Con dicho estudio se persigue prever el comportamiento futuro del sistema en cuanto a fallos o averías.

El análisis RAMS puede ser una herramienta muy útil para estudiar el ciclo de vida de los materiales, así como la fiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y seguridad del sistema. Sin embargo, para llevarlo a cabo es necesario recopilar datos reales de los elementos del sistema o red ferroviaria en cuestión que se definan como críticos. De esa manera se podrían realizar propuestas de mejora tendientes a mejorar la gestión del mantenimiento de la red ferroviaria estudiada.

5.3.1. Inspecciones en cabina

Las inspecciones en cabina se deberían realizar, al menos, una vez cada cuatro meses. Dada la baja velocidad de circulación de las composiciones, y que se trata de trenes de mercancías, el tema del confort no es un aspecto tan prioritario. Además, las denuncias de los maquinistas y/o los auxiliares de circulación que circulan cada día por una red ferroviaria también se pueden considerar como inspecciones en cabina no planificadas. Estas inspecciones servirán para detectar de forma rápida las posibles deficiencias o averías que pudieran existir. En este caso, el maquinista y/o el auxiliar de circulación en cuestión deberá informar al Responsable de Circulación de lo observado y de su ubicación, para que éste último lo notifique a Mantenimiento y se proceda a la revisión a pie de las anomalías informadas.

El principal objetivo de las inspecciones en cabina en el ámbito portuario es verificar aspectos de seguridad en la circulación y aspectos relativos al correcto estado de la vía. Mediante estas inspecciones de la superestructura se deberá observar el correcto funcionamiento y enrutamiento de los motores y marmitas de los aparatos de vía, posibles defectos de alineación y/o nivelación, el estado y visibilidad de las señales ferroviarias, el correcto funcionamiento de las intersecciones especiales, así como cualquier otro aspecto que el inspector estime relevante. También podrán realizarse anotaciones relativas a la infraestructura (vallado, vegetación, drenajes, etc...), a pesar de que no sean el objetivo prioritario de estas inspecciones.

Estas inspecciones en cabina se deberán preparar previamente, llevando el inspector consigo los esquemas de vía y un listado de las incidencias técnicas en seguimiento del tramo a inspeccionar para observar si han evolucionado negativamente o siguen en el mismo estado.

Para ello, el personal que realice estas inspecciones deberá disponer de la formación y experiencia necesaria para llevar a cabo estas inspecciones. Durante las inspecciones se recopilará y documentará, mediante información escrita y fotográfica, lo observado. De esta forma se podrá realizar un registro de lo detectado en las inspecciones, y programar de una forma más eficiente actuaciones preventivas y actuaciones correctivas programables. Además, todas las anotaciones realizadas servirán para realizar una mejor planificación de las inspecciones a pie.

El formato para la realización de las inspecciones en cabina podría ser el reflejado en el apartado 6.3: Formato de inspecciones en cabina.

5.3.2. Inspecciones a pie

Las inspecciones a pie se deberán realizar, al menos, una vez al mes para revisar y verificar el estado de los elementos de la infraestructura y de los elementos de la superestructura. Preferiblemente las inspecciones de infraestructura y de superestructura se realizarán por separado. Sin embargo, podrán tomarse notas de temas relevantes para verificar en su correspondiente inspección, o de aspectos que se consideren urgentes y haya que atenderlos de forma inmediata.

Para la realización de las inspecciones se priorizarán aquellos defectos que hayan sido detectados en anteriores inspecciones a pie o en cabina para hacer seguimiento de su evolución. También servirán para detectar posibles nuevos defectos, y tomar las decisiones de actuación oportunas.

Las inspecciones a pie se deberán preparar previamente, llevando el inspector consigo los esquemas de vía y un listado de las incidencias técnicas en seguimiento del tramo a inspeccionar para observar si han evolucionado negativamente o siguen en el mismo estado.

Para ello, el personal que realice estas inspecciones deberá disponer de la formación y experiencia necesaria para llevar a cabo estas inspecciones. Durante las inspecciones se recopilará y documentará, mediante información escrita y fotográfica, lo observado. De esta forma se podrá realizar un registro de lo detectado en las inspecciones, y programar de una forma más eficiente actuaciones preventivas y actuaciones correctivas programables.

Los formatos para la realización de las inspecciones a pie podrían ser los reflejados en el apartado 6.3: Formato de inspecciones a pie. Inspección de infraestructura, y Formato de inspecciones a pie. Inspección de superestructura.

5.3.3. Otras inspecciones No destructivas

Entre otras, se puede realizar la auscultación geométrica de vía y aparatos de vía con medios manuales, inspección visual de soldaduras o mediante líquidos penetrantes [68] o partículas magnéticas [69], la auscultación manual de carril y soldaduras con ultrasonidos, o la medición de tensiones longitudinales en carril con el sistema Flexirail [70] para determinar si la neutralización de tensiones en un carril es correcta o no.

Las inspecciones en las redes ferroviarias se realizan siempre con medios manuales porque las longitudes a inspeccionar no son lo suficientemente extensas como para justificar el elevadísimo coste de las inspecciones con maquinaria.

En los puertos no es habitual ver una bateadora para realizar nivelaciones, ripados de vía o registrar la geometría de una vía, a excepción de la construcción de algunos nuevos tramos en balasto.

Además del elevado coste de este tipo de maquinaria, en los puertos con vías en ancho mixto existe el problema añadido de que las bateadoras sólo trabajan en un único ancho, debiendo cambiarles de ejes para cambiar de ancho de trabajo, disponer de una bateadora de cada ancho, o bien batear con una bateadora de ancho ibérico, y realizar la nivelación de los hilos de ancho inferior con vaiacar o de con grupo de bateo manual.

Así pues, las auscultaciones geométricas en redes ferroviarias se realizan de forma habitual con medios manuales para verificar que la geometría de la vía y/o de los aparatos de vía está dentro de tolerancias, de acuerdo con los parámetros para vías no generales de la normativa de Adif, NAV 3-0-5.2 Parámetros de geometría de vía [71, p. 16].

Este tipo de inspecciones geométricas se debería realizar en todos los aparatos de vía junto con la revisión completa del aparato de vía, según lo indicado en el apartado 0.

En el caso de los tramos de vía recta, según el apartado 5.5.1, dado el bajo riesgo de incidente grave, solamente se realizaría su auscultación geométrica a demanda cuando se denuncie algún tipo de incidencia por una circulación o cuando exista alguna sospecha o indicio de posible fallo tras una inspección a pie.

La inspección visual de soldaduras suele ser una práctica habitual, pues es relativamente sencilla y no requiere de medios extraordinarios para realizarla, salvo que el inspector tenga experiencia en la materia. Sin embargo, las inspecciones de soldaduras mediante líquidos penetrantes o partículas magnéticas, además de los materiales necesarios, requieren que el inspector disponga de formación específica.

En cuanto a la auscultación de carril y soldaduras con ultrasonidos, en España sólo dispone de vehículos auscultadores Adif, por lo que una auscultación en una red que no gestiona Adif no suele ser habitual, además de tener un elevado coste económico. Por otro lado, en caso de vías de ancho mixto, se vuelve a tener de nuevo el mismo problema que anteriormente, no pudiendo auscultar todos los hilos. La auscultación manual con ultrasonidos tampoco es habitual en las redes ferroportuarias por la baja gravedad de un incidente de este tipo. Algunos de los inconvenientes de este tipo de auscultación son que el equipo manual también es muy costoso, y que el personal que lo manipula ha de disponer de una formación muy específica. En consecuencia, ante una sospecha de defecto en un carril, habitualmente es más ágil y menos costoso embridar el carril, y proceder a cuponar de forma programada lo antes posible.

Finalmente, la medición de tensiones longitudinales en el carril mediante el sistema Flexirail tampoco es habitual en puertos, dado que es un sistema desarrollado por Adif. Este sistema persigue realizar una revisión preventiva del estado tensional de los carriles para evitar la aparición de garrotes o roturas de carril por deficiente neutralización de tensiones. En los puertos, dado que no se dispone de esta tecnología, lo habitual es realizar una actuación correctiva cuando ocurre el fallo o avería.

5.4. CRITERIOS Y ACTUACIONES PREVENTIVAS APLICABLES A LA INFRAESTRUCTURA

5.4.1. *Desbroces y limpieza*

En las redes ferroportuarias, los desbroces y limpiezas de la plataforma ferroviaria se pueden plantear como una actividad conjunta. Es habitual que los contratos de limpieza incluyan una partida de desbroce de herbáceas. En cambio, las talas y las podas de arbustivas y arbolado suelen ir en contrato aparte.

La limpieza de la plataforma ferroviaria se debería plantear de forma continua todos los meses del año. Para su seguimiento se pueden aprovechar las inspecciones a pie o incluso las inspecciones en cabina.

En una zona portuaria, donde los trenes circulan adyacentes a los viales por donde circulan vehículos y personas todos los días, se genera gran cantidad de residuos que deben ser retirados con asiduidad.

Los desbroces y los riegos herbicidas se suelen plantear en primavera y en otoño, que suelen ser las épocas de lluvia y de mayor crecimiento de la vegetación. Sin embargo, dado que en los puertos no se suelen realizar riegos herbicidas porque el tren circula junto a calzadas por donde circulan vehículos y personas, sería adecuado plantear aumentar las frecuencias de actuación:

- Desbroces de herbáceas al menos una vez al mes, en los meses de menor crecimiento. En los meses de primavera y verano sería adecuado incrementar las actuaciones dos veces al mes para controlar el crecimiento y reducir la masa vegetal seca.
- En cuanto a podas y talas, se deberían planificar, al menos una vez al mes, en los meses de primavera de forma prefijada.
- También se tendrán en cuenta los desbroces de herbáceas, de arbustivas y podas a demanda el resto de los meses, sobre todo en casos de ocultación de señales ferroviarias o casos de invasión del gálibo ferroviario por vegetación. Estas actuaciones se basarán en las inspecciones a pie, las inspecciones en cabina o denuncias de los maquinistas.

5.4.2. Drenajes de plataforma

Los drenajes de plataforma pueden sufrir problemas de atasco por los arrastres de sólidos de diferentes procedencias. Sería adecuado realizar una revisión y limpieza, en caso de ser necesario, de estos drenajes cada cuatro meses, haciendo coincidir estas inspecciones justo antes de la época de lluvias, es decir antes de primavera y antes de otoño. De esa forma se pueden prevenir atascos e inundaciones por acumulación de sólidos.

Para su seguimiento se pueden aprovechar las inspecciones a pie o incluso las inspecciones en cabina.

5.4.3. Pasos de instalaciones

No es habitual que ocurran percances con este tipo de infraestructura a menos que se realicen obras o tendidos de nuevo cableado. En consecuencia, a priori no se trata de un aspecto crítico que se haya de inspeccionar a menudo. La revisión de arquetas y pasos de cableado debería realizarse, al menos una vez al año, para confirmar su buen

estado, y que no existe ningún asentamiento ni rotura de prismas de cableado. También sería necesario realizar una revisión expreso después de la realización de obras o nuevos tendidos, tanto en las nuevas canalizaciones como en las existentes en las proximidades, para confirmar que estos pasos no han sido afectados en el transcurso de las actuaciones realizadas.

Para su seguimiento se pueden aprovechar las inspecciones a pie o incluso las inspecciones en cabina.

5.4.4. Viales en intersecciones especiales o PN

Los viales en los puertos suelen tener un alto porcentaje de tráfico pesado (camiones) cruzando las vías por los mismos puntos de forma reiterada todos los días. El fallo en las juntas entre el pavimento y los carriles de la vía, una vez se produce, su deterioro suele ser muy rápido aumentando su gravedad de forma exponencial. Es por lo que una detección y actuación temprana puede evitar accidentes de carretera, así como problemas en la plataforma ferroviaria al paso de los trenes. También resulta interesante verificar el buen estado del cebreado o señalización horizontal en las intersecciones especiales, por si se ha de plantear su repintado para una buena visibilidad e información para los vehículos de carretera.

En consecuencia, sería adecuado realizar una vez al mes una inspección visual del estado de los pavimentos en su unión con la vía y la existencia de una entrecalle de paso de la rueda del tren suficiente en todas las intersecciones especiales o en los pasos a nivel. De esta forma, se puede realizar un seguimiento continuado, y programar con antelación las actuaciones correspondientes.

La cubrición que permitirá el paso de vehículos sobre la vía podrá ser de diferentes tipologías:

- Pasos entablonados. Deberá verificarse el buen estado del entablonado, así como la fijación de los largueros de madera para que éstos no se muevan al paso de vehículos, ni tampoco al paso del tren.
- Pasos de paneles de caucho. Deberá verificarse su integridad, así como la correcta fijación de los paneles para que no se muevan al paso de vehículos, ni tampoco al paso del tren.

- Pasos hormigonados. Deberá verificarse el estado y aspecto del pavimento de hormigón. Y sobre todo, el aspecto de la junta entre carril y pavimento, verificando si hay trozos cuarteados y/o sueltos.
- Pasos asfaltados. Estos pasos se tratarán de igual forma que los hormigonados, siendo la única diferencia que existe una capa asfáltica sobre la placa de hormigón.

Para su seguimiento se pueden aprovechar las inspecciones a pie o incluso las inspecciones en cabina.

5.5. CRITERIOS Y ACTUACIONES PREVENTIVAS Y CORRECTIVAS APLICABLES A LA SUPERESTRUCTURA

5.5.1. *Vía férrea*

5.5.1.1. Balasto

En las inspecciones en cabina se prestará atención a los problemas de nivelación o bacheos, pues son síntoma de mal estado del balasto y/o la plataforma.

En las inspecciones a pie se verificará el aspecto del balasto, comprobando si presenta un tamaño uniforme, o por el contrario presenta un aspecto redondeado con tamaño de piedra pequeño o con aspecto arenoso. También se deberá comprobar si el balasto está limpio de tierra y/o suciedad. En cualquiera de los dos casos, el balasto habrá perdido su comportamiento elástico, produciendo problemas de nivelación, y probablemente bacheo. Así pues, será adecuado observar por parte del inspector el bacheo a paso de tren para poder valorar adecuadamente el nivel de degradación de la banqueta de balasto y/o la plataforma.

Si el bacheo es apreciable a paso de tren, se realizará una actuación correctiva programada para eliminar este defecto.

Una posible solución sería la aportación de balasto y bateo con medios manuales (bateadora manual tipo Jackson o retro bivial con grupo de bateo). Sin embargo, dada la baja velocidad y el elevado peso de los trenes en una red ferroportuaria, las vías suelen estar bien asentadas. En consecuencia, cuando existe bacheo apreciable, es más adecuado realizar de forma previa una depuración de balasto, en el caso de tratarse de una zona muy limitada de poco volumen y sin humedad. Para zonas más

extensas, o zonas con alto grado de contaminación o deterioro del balasto, sería más adecuado realizar un desguarnecido de balasto con aportación de balasto nuevo y su posterior bateo de nivelación.

5.5.1.2. Traviesas y sujeciones de vía en balasto

En las inspecciones a pie se prestará atención a la presencia de fisuras y de grietas en las traviesas, así como al estado visual de las sujeciones. En aquellos puntos donde se detecte alguna anomalía, el inspector deberá observar el comportamiento de la vía a paso de tren para cuantificar la afectación.

La presencia de varias traviesas consecutivas agrietadas o partidas pudiera motivar la aparición de problemas de ancho, de bacheo e incluso de alabeo vertical al paso de los trenes. De estos problemas, el sobre ancho y el alabeo vertical son los defectos más peligrosos, ya que pueden provocar el descarrilo del tren a bajas velocidades. Ante esta situación se realizará la sustitución de las traviesas afectadas mediante actuación correctiva urgente.

En cuanto a las sujeciones de carril, se deberá observar que no haya falta de sujeciones (clip o tirafondo) en las traviesas de hormigón. También se deberá observar si, aun habiendo sujeciones, éstas no están visiblemente flojas (sobre todo en la cara inactiva del carril). La ausencia de sujeciones o la presencia de sujeciones flojas de forma aislada, en principio no representa excesivos problemas. Sin embargo, cuando se hallan varias sujeciones faltantes o flojas de forma consecutiva, sobre todo en la cara inactiva del carril, existen altas probabilidades de descarrilo de un tren por apertura de la vía o sobre ancho.

Para el caso de las traviesas de madera, si la zona de fijación está en mal estado, y por tanto las sujeciones no están realizando su función, se deberá plantear el recajeo y estaquillado de las traviesas afectadas si las traviesas están en estado aceptable. Si las traviesas estuvieran en mal estado, se debería plantear su sustitución por traviesas de madera nuevas.

También es importante comprobar el estado de las placas de asiento y de las placas acodadas. El mal estado de las placas de asiento o de las placas acodadas provoca por un lado problemas de vibraciones al contactar el carril con el hormigón de las traviesas, y por otro, reduce la eficacia de las sujeciones. Esta reducción de eficacia en el apretado ocurre al crearse holgura entre la sujeción y el patín del carril, lo que implica

que, aunque el tirafondo y el clip estén apretados, el patín del carril no esté firmemente sujeto debido a esta holgura.

Para el caso de sujeciones localizadas de forma aislada, éstas se anotarán y se deberán marcar in situ con pintura o de otra forma que no sea borrada por la lluvia, para ser repuestas de forma planificada.

De forma semestral, se deberán realizar campañas programadas de comprobación de par de apriete y de sustitución de sujeciones dañadas (tirafondos, clips, placas acodadas, placas de asientos, etc) en los tramos ferroviarios de la red ferroportuaria, de forma que al cabo del año se haya comprobado toda la red.

Para el caso de varias sujeciones consecutivas faltantes o en mal estado se deberá realizar una actuación correctiva urgente.

5.5.1.3. Traviesas y sujeciones de vía en placa

En las inspecciones a pie se prestará atención a la presencia de grietas en las cabezas de las traviesas y en el hormigón de la vía en placa, así como al estado visual de las sujeciones. En aquellos puntos donde se detecte alguna anomalía, el inspector deberá observar el comportamiento de la vía a paso de tren para cuantificar la afectación.

En este caso, la inspección dependerá mucho del tipo de vía en placa. En caso de traviesas con las cabezas al aire, deberá revisarse que éstas no presentan daños o grietas. También será importante verificar que la superficie del hormigón de la placa no presenta grietas, desconchones o indicios de que las sujeciones no están firmemente fijadas a la placa.

Un caso especialmente habitual en las vías en placa embebidas, con perfiles metálicos transversales a modo de traviesas, es el desconchado del hormigón alrededor del punto de unión entre el carril y la traviesa-perfil. Al partir la soldadura de unión entre el carril y la traviesa-perfil, el carril oscila verticalmente al paso de tren y se cuartea el hormigón de la placa alrededor de este punto.

Ante esta situación no suele ser necesario para el servicio ferroviario ni realizar una actuación urgente, a lo sumo se limita la velocidad de paso por ese punto para reducir la velocidad de degradación hasta que se actúe. Dada la baja velocidad en los puertos, se trata de un problema de bacheo leve, pues suele ocurrir en ambos hilos. Para solventar el problema se realizará una actuación correctiva programada, pues será necesario un corte total de vía de 24 a 48 horas para su restitución hasta que el hormigón adquiera la resistencia necesaria.

En cuanto a las sujeciones de carril, se procederá según lo indicado en el apartado 5.5.1.2.

5.5.1.4. Carriles y juntas de carril

Actuaciones y criterios preventivos:

En las inspecciones en cabina principalmente se prestará atención a los problemas de nivelación, a los ruidos producidos en curva por la fricción rueda-carril y a los golpeteos en juntas de carril embridadas. De esta forma se podrá realizar un primer análisis de los puntos críticos para su inspección a pie.

En las inspecciones a pie mensuales se prestará atención al aspecto visual del carril, a las soldaduras y a las juntas embridadas. Se deberán revisar aspectos relativos al carril como:

- La cabeza del carril presenta marcas de acuchillamiento. Es habitual en zonas de descarrilo por el paso de las ruedas.
- La cabeza del carril tiene zonas con desprendimiento de material o marcas de arrastre o deslizamiento. Habitual en zonas con desgaste superficial o que ha sufrido un patinazo.
- La cabeza del carril presenta zonas con fisuras. Habitual en zonas con fatiga superficial.
- La cara activa del carril presenta zonas con alto desgaste lateral. Habitual en curvas de radios reducidos.
- Existen zonas donde la huella de la rueda del tren es heterogénea. Es decir, se observan zonas oxidadas donde la cabeza del carril debería presentar un aspecto metálico por el paso de las ruedas.
- Existen zonas de rizado del carril en diferentes longitudes de onda. Desgaste longitudinal.
- Existen zonas donde se observan problemas de alineación, pequeños garrotes, probablemente por problemas con la neutralización de tensiones.
- Aspecto de las soldaduras. Pueden estar altas o bajas, creando un punto de discontinuidad en la rodadura.
- Aspecto de las juntas de carril embridadas y su tornillería. Es habitual que la cabeza del carril esté chafada en estos puntos de discontinuidad. Además, se debe comprobar que las bridas están

ANÁLISIS DE PATOLOGÍAS DE VÍA FÉRREA EN PUERTOS. PROPUESTA DE MANTENIMIENTO.

Actuaciones y establecimiento de criterios de mantenimiento

bien apretadas, y la tornillería está en buenas condiciones para evitar problemas de alineación.

- Aspecto del patín y del alma. Verificar que no presentan fisuras o descamación.
- Aspecto de las fijaciones. Confirmar que no faltan sujeciones, y que éstas no presentan golpes ni están golpeadas o seccionadas.

Será adecuado que en aquellos puntos donde se detecte alguna anomalía, el inspector observe el comportamiento de la vía a paso de tren para cuantificar la afectación.

Otra actuación preventiva esencial será la comprobación de funcionamiento y el rellenado de los depósitos de los engrasadores de carril existentes, de forma quincenal. También sería adecuado estudiar la posibilidad de instalar nuevos engrasadores en aquellos puntos de la red donde se observe mayor desgaste lateral, y no se hubieran instalado anteriormente.

El buen funcionamiento de los engrasadores permitirá la lubricación del carril reduciendo el desgaste de la cara activa en los tramos de vía con radios reducidos. En cuanto al tipo de lubricantes a utilizar, resulta aconsejable el uso de grasas antigripantes porque mantienen sus características lubricantes a pesar de la suciedad, las altas temperaturas y las elevadas cargas del tren [70].

Lamentablemente, en algunos puntos de las redes ferroviarias como las intersecciones especiales no resulta adecuado el uso de este tipo de soluciones. El uso de aceites y/o grasas pueden provocar accidentes viarios de camiones, coches y motocicletas por deslizamiento, por lo que habitualmente se descarta esta solución. La consecuencia de no poder instalar dichos engrasadores en las intersecciones especiales es que el desgaste lateral del carril por abrasión será mayor, y las intervenciones de cuponado de carril serán más frecuentes. Además, las indisponibilidades de la red por estas actuaciones serán de mayor duración al tratarse de zonas de vía en placa donde casi cualquier actuación conlleva un corte de vía mínimo de 24 a 48 horas, o más debido a que no siempre es posible cortar el tráfico viario totalmente y se ha de dar paso alternativo.

Otra posible opción para reducir el nivel de desgaste del carril, sobre todo en las intersecciones especiales, sería usar carril endurecido, grado R350 HT o superior, que permita una mayor durabilidad del carril, a costa de desgastar en mayor grado los cercos de las ruedas de los trenes. El problema de usar este tipo de carril es que se ha de tener en cuenta a la hora de soldar, pues las cargas de soldadura para grado R260 y para grado R350 HT no son las mismas. Para el caso de grados superiores

ANÁLISIS DE PATOLOGÍAS DE VÍA FÉRREA EN PUERTOS. PROPUESTA DE MANTENIMIENTO.

Actuaciones y establecimiento de criterios de mantenimiento

(carril extraduro), como el R400 HT [72], la problemática es aún mayor porque no es un grado usado en la actualidad por Adif, y es más complicado y caro encontrar en el mercado.

Actuaciones y criterios preventivos adicionales:

A partir de las inspecciones realizadas mensualmente, se podrán plantear inspecciones preventivas adicionales como, por ejemplo:

- Campañas de auscultación de soldaduras, con regla electrónica de medición de la planitud de las soldaduras, o con auscultador ultrasónico portátil para verificar la integridad de las soldaduras y del carril tanto en la cabeza como en el alma.
- Campañas de auscultación geométrica de vía recta con regla de anchos y regla de peraltes calibradas, para verificar los parámetros geométricos de la vía y comprobar que están en tolerancia según la normativa de aplicación.

Actuaciones y criterios correctivos:

Finalmente, en base a lo detectado en las anteriores inspecciones y actuaciones preventivas, se determinarán las actuaciones correctivas urgentes o programadas a realizar en una red ferroviaria.

Una posibilidad para restituir el carril ante defectos superficiales en su cabeza es el amolado de carril. Con esta operación se esmerila la cabeza del carril eliminando las partes dañadas y restituyendo su perfil teórico, lo que alarga su vida útil. Aunque no es habitual amolar el carril en redes ferroviarias, éste se podría realizar mediante maquinaria ligera. Su realización con maquinaria pesada resultaría inviable dado su alto coste.

En caso de que los defectos tuviesen una superficie y/o profundidad algo mayor, se podría optar por el recargue en una o dos capas [16, p. 134]. El recargue consiste en el relleno de los huecos del material desprendido mediante aportación de acero por soldadura eléctrica al arco. Es un procedimiento que no se suele utilizar demasiado en carril en plena vía, pues suele ser más ágil y barato cuponar.

Finalmente, cuando los daños detectados en el carril no se puedan solventar con las actuaciones anteriores, sea por reiteración del defecto o porque el daño en cuestión no tenga reparación posible, como una rotura de carril, se deberá plantear el cuponado o sustitución de carril y realización de soldaduras.

5.5.2. Aparatos de vía y accionamientos

Actuaciones y criterios preventivos:

En las inspecciones en cabina cuatrimestrales principalmente se prestará atención al correcto direccionamiento de las agujas de los aparatos ante una solicitud de maniobra y a los ruidos y golpeteos producidos al paso de una circulación por un aparato. De esta forma se podrá realizar un primer análisis de los puntos críticos para su inspección a pie.

En las inspecciones a pie se prestará atención al aspecto visual del carril, a las soldaduras, las juntas de carril si las hubiese, los contracarriles, los cruzamientos, las traviesas, las sujeciones, y sobre todo las partes móviles (agujas y tirantería). Se deberán revisar aspectos como:

- La cabeza del carril presenta marcas de acuchillamiento. Es habitual en zonas de descarrilo por el paso de las ruedas.
- La cabeza del carril tiene zonas con desprendimiento de material o marcas de arrastre o deslizamiento. Habitual en zonas con desgaste superficial o que haya sufrido un patinazo.
- La cabeza del carril presenta zonas con fisuras. Habitual en zonas con fatiga superficial.
- La cara activa del carril presenta zonas con alto desgaste lateral, habiéndose perdido el perfil teórico. Habitual en curvas de radios reducidos.
- Existen zonas donde la huella de la rueda del tren es heterogénea. Es decir, se observan zonas oxidadas donde la cabeza del carril debería presentar un aspecto metálico por el paso de las ruedas.
- Aspecto y planicidad de las soldaduras. Pueden estar altas o bajas, creando un punto de discontinuidad en la rodadura.
- Aspecto de las juntas de carril embridadas y su tornillería, si las hubiera. Las juntas pueden estar chafadas o incluso desalineadas si algún tornillo o las bridas estuviesen en mal estado.
- Aspecto del patín y del alma de los carriles. Verificar que no presentan fisuras o descamación.
- Aspecto de las traviesas. Comprobar la ausencia de marcas y golpes, o de traviesas partidas o agrietadas.
- Aspecto de las fijaciones. Confirmar que no faltan sujeciones, y que éstas no presentan golpes ni están seccionadas.

ANÁLISIS DE PATOLOGÍAS DE VÍA FÉRREA EN PUERTOS. PROPUESTA DE MANTENIMIENTO.

Actuaciones y establecimiento de criterios de mantenimiento

- Aspecto de los espadines. Suele ser relativamente habitual que la punta de los espadines esté desgastada por el paso de las ruedas hacia desviadas en los cambios. Un excesivo desgaste podría provocar un descarrilo.
- Ausencia de suciedad y/o elementos extraños, y correcto engrasado de las resbaladeras de los espadines. La presencia de elementos extraños puede dificultar el direccionamiento de las agujas, y provocar una falta de comprobación en los aparatos de vía.
- Aspecto de la tirantería y de los cerrojos de uña. Deben estar en buen estado, sin observarse deformaciones aparentes, y correctamente engrasados. También hay que verificar que las agujas están sólidamente unidas a la tirantería, pues si la tornillería de unión está en mal estado, la aguja podría quedar suelta y producir un descarrilo.
- Aspecto de los accionamientos manuales mediante marmita o cremallera. Deben estar en buen estado, sin piezas aparentemente rotas, y correctamente engrasados.
- Aspecto de los accionamientos motorizados. El cerrojo de uña debe estar sólidamente unido al motor, la tapa del motor debe estar correctamente colocadas, y el led de comprobación debe lucir confirmando la comprobación de la aguja.
- Aspecto de los contracarriles. Comprobar que no presentan golpes, deformaciones o marcas de las ruedas.
- Aspecto de los cruzamientos. Comprobar que están correctamente engrasados, y no presentan restos de virutas metálicas o elementos extraños.

Será adecuado que en aquellos puntos donde se detecte alguna anomalía, el inspector observe el comportamiento de la vía a paso de tren para cuantificar la afectación.

Otra actuación preventiva esencial será la comprobación de funcionamiento y el rellenado de los depósitos de los engrasadores de carril existentes en aparatos de vía de forma quincenal.

El buen funcionamiento de los engrasadores permitirá la lubricación de la aguja, contraaguja, el carrilaje intermedio y el cruzamiento de los aparatos, reduciendo así su desgaste. Nuevamente, resulta aconsejable utilizar grasas antigripantes, dado que mantienen sus características lubricantes a pesar de la suciedad, las altas temperaturas y las cargas elevadas del tren [70].

ANÁLISIS DE PATOLOGÍAS DE VÍA FÉRREA EN PUERTOS. PROPUESTA DE MANTENIMIENTO.

Actuaciones y establecimiento de criterios de mantenimiento

Adicionalmente a los engrasadores, en los aparatos de vía también se deberá realizar la limpieza y engrasado de resbaladeras de los espadines y de cruzamientos de forma quincenal.

La correcta limpieza y engrasado de las resbaladeras de los espadines permitirá que las agujas se desplacen a la posición requerida sin impedimentos y alargando la vida útil del embrague del motor.

Asimismo, de la misma forma que en el carril de vía recta, una posibilidad para reducir el nivel de desgaste del carril en aparatos sería usar carril endurecido, grado R350 HT (endurecido). El uso de carril de un grado superior tiene las mismas problemáticas explicadas en el apartado 5.5.1.4.

Mensualmente, se deberá realizar una auscultación geométrica de todos los aparatos de vía con regla de anchos, regla de peraltes y regla de inclinación de carril calibradas, para verificar los parámetros geométricos del aparato y comprobar que están en tolerancia según la normativa de aplicación. Para ello se deberá disponer de los planos de montaje del aparato, con sus correspondientes sobre anchos, cotas de protección y medidas específicas, sobre todo en aquellos aparatos que no pertenezcan al catálogo de aparatos de Adif.

Actuaciones y criterios preventivos adicionales:

A partir de las inspecciones realizadas mensualmente, se podrán plantear inspecciones preventivas adicionales como, por ejemplo:

- Campañas de auscultación de soldaduras, con regla electrónica de medición de la planitud de las soldaduras, o con auscultador ultrasónico portátil para verificar la integridad de las soldaduras y del carril tanto en la cabeza como en el alma.
- Campañas de inspección de acoplamiento de espadines mediante galgado al solicitar un enrutamiento.
- Campañas de auscultación geométrica adicionales de aparatos de vía para realizar un seguimiento exhaustivo del desgaste de sus elementos.

Actuaciones y criterios correctivos:

Finalmente, en base a lo detectado en las anteriores inspecciones y actuaciones preventivas, se determinarán las actuaciones correctivas urgentes o programadas a realizar en una red ferroviaria.

Una posibilidad para restituir el carril de un aparato de vía ante defectos superficiales en su cabeza es el amolado de carril. Con esta operación se esmerila la cabeza del carril eliminando las partes dañadas y restituyendo

su perfil teórico, lo que alarga su vida útil. Nuevamente, en caso de realizarse, se podría realizar mediante maquinaria ligera.

En caso de que los defectos tuviesen una superficie y/o profundidad algo mayor, de la misma forma que en el carril, se optaría por el recargue en una o dos capas [16, p. 134]. En el caso de los aparatos de vía, el recargue también consiste en el relleno de los huecos del material desprendido mediante aportación de acero por soldadura eléctrica al arco. Este procedimiento se suele utilizar para la reparación del carrilaje intermedio, de los cruzamientos y de las patas de liebre.

Sin embargo, también se suele utilizar el recargue para realizar la reparación provisional de los espadines, cuando éstos presentan mordeduras. No suele ser habitual que las Autoridades Portuarias dispongan de repuestos en stock para aparatos de vía. Y resulta bastante complicado poder canibalizar otro aparato porque es difícil dejar sin servicio una terminal, y porque dada la gran diversidad de aparatos, no suelen haber dos exactamente iguales pudiendo dejar fuera de servicio uno de ellos. Por ello, muchas veces se tiene la necesidad de acometer reparaciones de este tipo, aunque el recargue sea de relativa efectividad y dure poco tiempo. Con ello lo que se pretende es prolongar durante algún tiempo el uso de las agujas hasta que se obtenga su repuesto, dado que su plazo de suministro suele ser del orden de 6 a 9 meses.

Finalmente, cuando los daños detectados en el carril, en las agujas o los cruzamientos no se puedan solventar con las actuaciones anteriores, sea por reiteración del defecto o porque el daño en cuestión no tenga reparación posible, como una rotura, se deberá plantear su sustitución y realización de soldaduras. El problema en este caso es que, si no se dispone del repuesto, es posible que no se pueda utilizar el aparato de vía, o que haya que condenarlo a una sola dirección mediante grilletes, hasta no poder sustituir la pieza.

5.5.3. Intersecciones especiales o PN

En las inspecciones en cabina cuatrimestrales se prestará atención al correcto funcionamiento de la señalización luminosa y acústica de una intersección, así como al correcto estado de las barreras de protección, en caso de disponer de ellas la intersección.

En aquellos casos en que exista alguna incidencia (bombillas fundidas, barreras caídas o golpeadas u otras afectaciones a la instalación), la señalización indicará al tren fallo o desprotección de la intersección, debiendo aplicarse lo indicado en la correspondiente consigna de

circulación. En estos casos, el maquinista y/o el auxiliar de circulación deberán avisar al Responsable de Circulación para que lo notifique a Mantenimiento para que proceda a su restitución a la mayor brevedad posible.

En las inspecciones a pie mensuales se prestará atención al estado de las barreras y de los armarios, así como al estado general de la señalización fija vertical y horizontal, la visibilidad de los vehículos de carretera, y la existencia o ausencia de elementos que pudieran provocar el mal funcionamiento de la intersección. En los puertos es habitual que estacionen camiones, o se dejen contenedores en zonas próximas a una intersección, reduciendo la visibilidad del resto de conductores. En estos casos es habitual avisar de forma inmediata a Policía Portuaria para que proceda a despejar la zona a la mayor brevedad posible, y para que realice las diligencias correspondientes al infractor.

5.5.4. Puertas ferroviarias

Las puertas ferroviarias son un elemento que se utiliza de forma diaria para el acceso y salida de las composiciones a la zona portuaria y a las terminales de carga/descarga. Las puertas más sensibles a sufrir incidencias son, evidentemente, aquellas que funcionan de forma automática mediante la activación eléctrica de un motor hidráulico a través de un pedal detector de paso de tren o de un pulsador de solicitud. Y dentro de esta tipología, las que presentan mayor problemática son las puertas batientes, y en menor medida las puertas correderas. Las puertas manuales, batientes o correderas, no suelen tener gran problemática, pues han de ser acompañadas por el auxiliar de circulación hasta su punto de anclaje.

En consecuencia, las puertas batientes automáticas se deberían revisar y engrasar cada quince días para comprobar que su funcionamiento es correcto, y abren y cierran según el final de carrera esperado. Las puertas correderas automáticas se deberían revisar y engrasar una vez al mes para comprobar que se deslizan correctamente por la guía, y que llegan a su final de carrera. En cuanto a las puertas manuales, son un mecanismo sencillo que no suele dar problemas, con lo que su revisión y engrase podría realizarse cada seis meses.

Otro aspecto importante asociado a las puertas batientes, automáticas o manuales, es la revisión de los pasadores de seguridad de anclaje para que no se abran al paso de una composición. Dicha revisión se debería realizar cada seis meses para asegurar que el elemento de fijación está en buen estado, pudiendo ser utilizado en caso de necesidad.

5.5.5. Criterios generales de diseño y mantenimiento

De forma general, a continuación, se plantean algunas propuestas con la pretensión de reducir el número, gravedad y afectación de las operaciones de mantenimiento en redes ferroviarias. Evidentemente, estas medidas no se pueden aplicar de un día para otro, sino que se han de aplicar de forma progresiva. Las posibles medidas a considerar serían las siguientes:

- Realización de un inventario exhaustivo y actualizado en el tiempo de materiales de vía en una red ferroviaria, identificando de forma unívoca su localización y características.
- Realización de unos esquemas de vía exhaustivos y actualizados en el tiempo que permitan conocer y localizar de forma rápida cualquier elemento en el plano.
- Disponer de una kilometración de vía y una identificación unívoca de elementos relevantes nombrados en campo, como pudieran ser motores y marmitas de aparatos de vía, puertas ferroviarias, intersecciones especiales, hitos hectométricos, señales de vía, etc.
- La plataforma ferroviaria debiera estar libre de vegetación en una franja de al menos tres metros a cada lado de los carriles, de forma que no existiesen riesgos de mala visibilidad, o riesgos de invasión del gálibo o caída de árboles o vegetación en la caja de la vía. Este aspecto es complicado, más si cabe, considerando que no se suelen usar herbicidas en las zonas portuarias. Sin embargo, sí pudiera ser viable limpiar los laterales de la vía y cubrirlos con materiales tipo mallas antihierbas, que reduzcan la proliferación de vegetación en la plataforma ferroviaria.
- El material de vía (tipo de carril, traviesas y sujeciones, y cualquier otro elemento del que se haya de disponer de repuestos) deberá ser lo más homogéneo posible. Es decir, preferentemente cuando sea posible se debería utilizar el mismo tipo de carril, el mismo tipo de traviesas y el mismo tipo sujeciones de vía en toda la red. De esta forma los stocks de repuestos podrán ser más reducidos y menos costosos. Y los tiempos de reacción para realizar una actuación correctiva programada podrán ser menores. También se reducirá el riesgo de indisponibilidad de algún material en concreto por estar obsoleto, o por ser de difícil consecución en el mercado. Lo deseable sería utilizar carril 60E1 de grado R350 HT (endurecido), traviesas de hormigón monobloc de ancho mixto, sujeciones elásticas tipo clip + tirafondo, etc.

ANÁLISIS DE PATOLOGÍAS DE VÍA FÉRREA EN PUERTOS. PROPUESTA DE MANTENIMIENTO.

Actuaciones y establecimiento de criterios de mantenimiento

- Los radios de las curvas deberían diseñarse o adaptarse, en la medida de lo posible, lo más abiertos posible en función del trazado que se pueda encajar. Y cuando no sea posible implantar radios más abiertos se planteará la instalación de engrasadores para reducir el desgaste de los carriles.
- En general, la vía y los aparatos de vía de vía en placa, siempre que sea posible, deberán ser de la tipología de carril al aire, y no embebidos. Ante cualquier rotura de carril o problema con las sujeciones, los tiempos de intervención serán mucho menores al no tener que demoler la placa de hormigón, retirar los materiales demolidos, explanar, montar vía nueva, hormigonar y esperar a que se obtenga la resistencia necesaria para reiniciar las circulaciones. En consecuencia, se debería intentar utilizar vía y aparatos de vía en placa con carril embebido solamente en el interior de terminales con tráfico rodado donde no hay más remedio. En el caso de las intersecciones especiales, sería interesante primar el uso de pasos a nivel mediante paneles de caucho, en vez de vía en placa embebida.
- En cuanto a la tipología de los aparatos de vía, tanto los aparatos en balasto como en placa deberían de ser del mismo tipo. Es decir, tipo B2 o tipo C. En primer lugar, se trata de aparatos soldables, lo que eliminaría las juntas de carril embridadas y sus problemáticas. Por otro lado, sería preferible que los desvíos y escapes fuesen tipo C en vez de B2, por su mayor desarrollo y longitud, aunque no siempre será posible. Se debería tender a tener aparatos con la misma entrevía para que así, las traviesas intermedias fuesen iguales. Sería preferible que en general los diseños se realizaran con aparatos de la misma tangencia ($\text{tg } 0.09$ preferiblemente o $\text{tg } 0.11$, pero no $\text{tg } 0.13$) y con corazones rectos en vez de curvos, con agujas con los mismos radios. El uso de tangencias pequeñas, corazones rectos y radios en las agujas lo mayores posibles reduce considerablemente su desgaste. Además, el hecho de disponer de aparatos de la misma tangencia y mismo tipo de corazones, y con agujas con el mismo radio y la misma longitud, facilitará y abaratará la disponibilidad de repuestos. Y en el peor de los casos, ante una urgencia, se podría llegar a canibalizar las piezas de algún aparato que tenga poco uso condenándolo.
- En cuanto a la vía embebida, se debería intentar que dispusiera de unos drenajes eficaces para evitar que el agua no permanezca embalsada durante tiempo en las hendiduras de la vía en placa produciendo oxidación del carril. De igual forma, en el caso de los accionamiento automáticos o eléctricos, se debería evitar su

ANÁLISIS DE PATOLOGÍAS DE VÍA FÉRREA EN PUERTOS. PROPUESTA DE MANTENIMIENTO.

Actuaciones y establecimiento de criterios de mantenimiento

montaje en puntos bajos para evitar que éstos se inunden llegando a quedar inservibles por oxidación de los contactos.

- En cuanto a las puertas ferroviarias, siempre que sea posible, se debería primar la instalación de puertas correderas en vez de puertas batientes. Las puertas batientes suelen sufrir más problemas mecánicos derivados de las rachas de viento.

6. PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO FERROVIARIO EN PUERTOS

6.1. CALENDARIO SEMANAL DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

A partir de los criterios establecidos en los apartados anteriores se establece el siguiente calendario anual de actuaciones de mantenimiento preventivo por semanas.

De acuerdo con el plan de mantenimiento, algunas tareas se deberán realizar de forma predeterminada según las frecuencias indicadas. Sin embargo, otras tareas se realizarán dependiendo del estado real en que se encuentre el elemento en cuestión. Las decisiones de actuar de forma programada o mantener en seguimiento un elemento se tomarán a partir de las inspecciones a pie y en cabina planificadas en el propio plan de mantenimiento.

Las frecuencias reflejadas en la siguiente propuesta no pretenden ser exhaustivas. Dependerá en gran medida del tamaño de la red ferroviaria en cuestión, y de los equipos de los que se disponga para realizar el mantenimiento. Las frecuencias indicadas sencillamente pretenden ser una posible guía de acuerdo con los criterios expuestos.

**Propuesta de Plan de Mantenimiento Ferroviario en
puertos**

6.2. FICHAS DE TRABAJOS PREVENTIVOS

A continuación, se adjuntan algunos de los posibles formatos de las fichas de trabajos preventivos de superestructura e infraestructura, donde se describen las principales tareas preventivas a realizar, así como la duración estimada para su realización.

FICHA DE TRABAJO DE SUPERESTRUCTURA				
FECHA:	<input type="text"/>	TRAMO:	<input type="text"/>	Del Pk: <input type="text"/> al Pk: <input type="text"/>
TAREA:	COMPROBACIÓN DE SUJECIONES Y DE PAR DE APRIETE EN VÍA	VERIFICACIÓN		Observaciones
		OK	NOK	
Comprobación (Tramos de 60 mts x 2 hilos, 200 sujeciones, 4 tirafondos + 4 clips por traviesa de 1 ancho)	* Verificación de que no faltan tirafondos, clips, placas acodadas o placas de asientos.			
	* Comprobación visual de tirafondos. No presentan golpes ni están doblados ni partidos.			
	* Comprobación visual de clips. No presentan golpes ni están doblados ni sueltos.			
	* Comprobación visual de placas acodadas. No presentan deformaciones, están correctamente colocadas y no presentan degradación.			
	* Comprobación visual de placas de asiento. Están correctamente colocadas y no presentan degradación.			
	* Comprobación de par de apriete de los tirafondos con motoclavadora o llave dinamométrica calibradas. Deben estar entre 180 a 200 Nm, según N.A.V. 3-2-2.1			
	* En caso de que los tirafondos no den el par de apriete requerido, verificar si éstos están trasroscados.			
FRECUENCIA REVISIÓN	<input type="text" value="Revisión del 100% de sujeciones 1 vez al año o cada 1.000.000 t de circulación"/>			
DURACIÓN ESTIMADA	<input type="text" value="20 minutos para 100 m de vía"/>			

Infografía 1: Comprobación de sujeciones y de par de apriete en vía.

FICHA DE TRABAJO DE SUPERESTRUCTURA				
FECHA:	<input type="text"/>	TRAMO:	<input type="text"/>	Pk: <input type="text"/> Aparato: <input type="text" value="Sí / No"/>
OPERACIÓN	COMPROBACIÓN DE ENGRASADORES DE CARRIL Y DE APARATOS	VERIFICACIÓN		Observaciones
		OK	NOK	
Comprobación de estado y funcionamiento de engrasadores y rellenado de depósitos de grasa.	* Comprobación de que el engrasador no ha recibido golpes y que su fijación a la vía es correcta.			
	* Limpiar de restos de grasa y suciedad adherida.			
	* Comprobación visual de la cantidad y estado de la grasa del depósito. Si está en mal estado vaciar, limpiar y reponer hasta el máximo. Si está en buen estado, rellenar hasta el máximo.			
	* Comprobación de funcionamiento del dispensador de grasa por presión.			
	* Comprobación de la cantidad de grasa dispensada. Si no es la adecuada, regular cantidad.			
FRECUENCIA REVISIÓN	<input type="text" value="Revisión cada 15 días o cada 450 circulaciones"/>			
DURACIÓN ESTIMADA	<input type="text" value="15 minutos por ud"/>			

Infografía 2: Comprobación de engrasadores de carril en vía y en aparatos.

ANÁLISIS DE PATOLOGÍAS DE VÍA FÉRREA EN PUERTOS. PROPUESTA DE MANTENIMIENTO.

Propuesta de Plan de Mantenimiento Ferroviario en puertos

FICHA DE TRABAJO DE SUPERESTRUCTURA

FECHA: TRAMO: Pk: Aparato:

OPERACIÓN	COMPROBACIÓN DE RESBALADERAS DE AGUJAS EN APARATOS	VERIFICACIÓN		Observaciones
		OK	NOK	
Comprobación de correcto engrase y facilidad de movimientos de las agujas sobre las resbaladeras.	* Limpiar de restos de grasa y suciedad adherida en toda su longitud.			
	* Engrase de resbaladera en toda su longitud.			
	* Realizar movimientos de comprobación de la aguja a sus dos posiciones, observando si se desplaza continua y suave.			
	* Verificar el correcto acople de la aguja, midiendo con las galgas.			
	* Comprobación de la cantidad de grasa dispensada. Si no es la adecuada, regular cantidad.			

FRECUENCIA REVISIÓN

DURACIÓN ESTIMADA

Infografía 3: Comprobación de resbaladera en aparatos de vía.

FICHA DE TRABAJO DE SUPERESTRUCTURA

FECHA: TRAMO: Pk: Aparato:

TAREA:	INSPECCIÓN GEOMÉTRICA, COMPROBACIÓN DE SUJECIONES Y DE PAR DE APRIETE EN APARATOS DE VÍA	VERIFICACIÓN		Observaciones
		OK	NOK	
Comprobación parámetros de aparato de vía	* Medición de anchos en directa y desviada, verificando que están en tolerancias. Según NAV 7-5-3.1 y NAV 3-0-5.2			
	* Medición de las cotas de protección entre contracarril y cruzamiento, verificando que están en tolerancia. Según NAV 7-5-3.1			
	* Medición de entrecalles entre aguja y contraaguja, verificando que esté en tolerancia.			
	* Medición de entrecalles entre carril y contracarril, verificando que esté en tolerancia.			
	* Comprobación del desgaste de la aguja.			
	* Comprobación del desgaste del cruzamiento y las patas de libre.			
	* Comprobación del buen estado y correcto funcionamiento de los accionamientos y su tirantería y cerrojos de uña.			
	* Comprobación visual de traviesas.			
	* Comprobación de que no faltan tirafondos, clips, placas acodadas o placas de asientos.			
	* Comprobación visual de tirafondos. No presentan golpes ni están doblados ni partidos.			
	* Comprobación visual de clips. No presentan golpes ni están doblados ni sueltos.			
	* Comprobación visual de placas acodadas. No presentan deformaciones, están correctamente colocadas y no presentan degradación.			
	* Comprobación visual de placas de asiento. Están correctamente colocadas y no presentan degradación.			
* Comprobación de par de apriete de los tirafondos con motoclavadora o llave dinamométrica calibradas. Deben estar entre 180 a 200 Nm, según N.A.V. 3-2-2.1				
* En caso de que los tirafondos no den el par de apriete requerido, verificar si éstos están trasroscados.				

FRECUENCIA REVISIÓN

DURACIÓN ESTIMADA

Infografía 4: Inspección geométrica, comprobación de sujeciones y par de apriete en aparatos de vía.

ANÁLISIS DE PATOLOGÍAS DE VÍA FÉRREA EN PUERTOS. PROPUESTA DE MANTENIMIENTO.

Propuesta de Plan de Mantenimiento Ferroviario en puertos

FICHA DE TRABAJO DE SUPERESTRUCTURA						
FECHA:	<input style="width: 90%;" type="text"/>	TRAMO:	<input style="width: 90%;" type="text"/>			
		Pk:	<input style="width: 90%;" type="text"/>			
		Puerta:	<input style="width: 90%;" type="text"/>			
TAREA:	COMPROBACIÓN DE PUERTAS FERROVIARIAS	VERIFICACIÓN				
		OK	NOK			
Comprobación de estado de puertas ferroviarias	* Engrase de bisagras y partes móviles.					
	* Comprobación del buen estado del motor (automáticas).					
	* Comprobación del guiado y final de carrera, y comprobación de cierre y apertura.					
	* Comprobación de buen funcionamiento al activar botonera de solicitud o pedal de apertura (automáticas).					
	* Comprobación de correcto desembagado en caso de tener que abrirla manualmente (automáticas).					
	* Comprobación de la presencia de pasador de seguridad y su buen estado (puertas batientes).					
FRECUENCIA REVISIÓN	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">Batiente automática. Revisión cada 15 días o cada 100 aperturas</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Corredera automática. Revisión 1 vez al mes o cada 300 aperturas</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Manual. Revisión cada 6 meses</td> </tr> </table>			Batiente automática. Revisión cada 15 días o cada 100 aperturas	Corredera automática. Revisión 1 vez al mes o cada 300 aperturas	Manual. Revisión cada 6 meses
Batiente automática. Revisión cada 15 días o cada 100 aperturas						
Corredera automática. Revisión 1 vez al mes o cada 300 aperturas						
Manual. Revisión cada 6 meses						
DURACIÓN ESTIMADA	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">Entre 1 y 2 horas por puerta</td> </tr> </table>			Entre 1 y 2 horas por puerta		
Entre 1 y 2 horas por puerta						

Infografía 5: Comprobación de puertas ferroviarias.

ANÁLISIS DE PATOLOGÍAS DE VÍA FÉRREA EN PUERTOS. PROPUESTA DE MANTENIMIENTO.

Propuesta de Plan de Mantenimiento Ferroviario en puertos

FICHAS DE TRABAJOS DE INFRAESTRUCTURA.					
TAREA	DESCRIPCIÓN DE TAREAS	OBSERVACIONES	VERIFICACIÓN		DURACIÓN
			OK	NOK	ESTIMADA
DESBROCE	* Desbroce y limpieza de vegetación existente en la caja de la vía.				Se estima entre 1 y 2 jornadas por tramo ferroviario
	* Desbroce, poda, tala y limpieza de vegetación invadiendo en gálibo ferroviario (3 mts a cada lado de los carriles).				
	* Poda o tala de árboles y arbustivos, que estando a más de 3 mts de la vía, tengan riesgo de caer interceptando la vía.				
	* Desbroce, poda, tala y limpieza de vegetación que oculte o dificulte la visibilidad de una señal ferroviaria a los maquinistas.				
	* Eliminación de vegetación alrededor de los accionamientos motorizados y armarios de instalaciones y/o cableados.				
	* Eliminación de vegetación en el recorrido de apertura de una puerta ferroviaria.				
LIMPIEZA	* Eliminación de vegetación y riego herbicida en juntas de pavimentos que puedan provocar su rotura.				Se estima 1 jornada por tramo ferroviario
	* Recogida de residuos sólidos urbanos de la caja de la vía.				
	* Recogida de residuos sólidos urbanos en gálibo ferroviario (3 mts a cada lado de los carriles).				
	* Recogida de elementos caídos del tren (mercancía y/o piezas del propio tren).				
	* Limpieza de suciedad acumulada en la acanaladura del carril en vía en placa.				
	* Limpieza de residuos sólidos acumulados en fosos de accionamientos de motores y en las proximidades a las agujas de aparatos de vía.				
DRENAJES	* Recogida con sepiolita u otros absorbentes de derrames de grasas, aceites u otros fluidos, sobre todo en intersecciones especiales.				Se estima entre 2 y 3 jornadas por tramo ferroviario
	* Limpieza y retirada con medios manuales y/o mecánicos de tierras o residuos acumulados en los drenajes longitudinales (cunetas).				
	* Comprobación de que las cunetas longitudinales no presentan hundimientos o asentamientos en toda su longitud.				
	* Limpieza de residuos sólidos acumulados en el entronque de las cunetas con las arquetas de los drenajes transversales, permitiendo que desagüen correctamente.				
	* Limpieza y retirada con medios manuales de tierras y residuos acumulados en los areneros de las arquetas de los drenajes.				
PASO INSTALACIONES	* Comprobación de funcionamiento de los drenajes verticales. En caso de estar colmatados se deberán limpiar con agua a presión. Si no fuera posible se reharán para garantizar el correcto drenaje de la zona.				Se estiman de 1 a 2 horas por paso
	* Verificar que los tubos de los pasos de instalaciones están mandrilados e identificados, existiendo cuerda en cada extremo. En caso de no estar mandrilados, se deberán mandrilar e identificar. Y en caso de detectar uno obturado, intentar desatascarlo. Si no se puede, indicarlo in situ.				
	* Limpieza y retirada de sólidos y líquidos de las arquetas de los pasos de instalaciones. Comprobar que no se vuelven a inundar una vez achicada el agua.				
VIALES EN IES O PN	* Comprobar que no se aprecian asentamientos ni roturas de las arquetas o de los primas de cableado.				Se estima entre 20 minutos y 2 horas por intersección.
	* Comprobar aspecto de los pasos entablados, verificar que los largueros no se mueven al paso de vehículos y que las sujeciones están bien apretadas. En caso necesario se sustituirán los largueros dañados. En caso de moverse los largueros se reapretarán las sujeciones. Y en caso de faltar alguna sujeción, ésta se repondrá.				
	* Comprobar aspecto de los paneles de caucho, y verificar que éstos no se mueven al paso de vehículos y que las sujeciones están bien apretadas. En caso necesario se sustituirán los paneles dañados. En caso de moverse los paneles se reapretarán las sujeciones. Y en caso de faltar alguna sujeción, ésta se repondrá.				
	* El pavimento de hormigón o asfalto no presenta zonas cuarteadas, agrietadas o rotas. No existen baches. En caso de detectar zonas bacheadas o agrietadas o con materiales sueltos, se procederá a su programación.				
	* Medición de la entrecalle para el paso de las ruedas del tren está dentro de tolerancias. Si las medidas no están dentro de tolerancias se deberá proceder a su corrección.				

Infografía 6: Ficha de tareas preventivas de infraestructura.

6.3. FICHAS DE INSPECCIÓN

A continuación, se adjuntan los posibles formatos de fichas de inspección en cabina y de inspección a pie, donde se podrían recopilar los defectos y anomalías observados por los inspectores tanto de infraestructura como de superestructura. Estos formatos son generalistas, e intentan abarcar los aspectos más habituales que se pueden hallar en una red ferropuertaria. Sin embargo, estos formatos pudieran tener ser adaptados a las especificidades de cada red ferropuertaria.

En las siguientes fichas, el inspector deberá indicar a partir de lo observado, los datos y mediciones recabados, y bajo su criterio y experiencia la valoración del estado de los elementos inspeccionados. La escala de valoración de las actuaciones será:

- Correcto (OK): el elemento inspeccionado se halla en buen estado.
- En seguimiento: el elemento inspeccionado presenta indicios de empezar a degradarse, sin estar en parámetros fuera de tolerancia. No es necesario actuar sobre el elemento, pero se ha de realizar un seguimiento de su evolución de forma periódica. En caso de empeorar en inspecciones posteriores, se clasificará como actuación 'Programable' o actuación 'Urgente'.
- Programable: el elemento presenta señales de estar próximo a fallar o sufrir avería o incluso sus parámetros están ligeramente fuera de tolerancia, sin ser un riesgo inminente. Es necesaria la programación de su sustitución de forma que se reduzcan las afectaciones al servicio. Es posible que se haya de implantar una limitación de velocidad o de otro tipo, para salvaguardar los elementos hasta su sustitución.
- Urgente (NOK): el elemento presenta señales claras señales de estar al borde del fallo o avería, o incluso puede estar en fallo o avería. Los parámetros están claramente fuera de tolerancias. Es posible que se haya de suspender la circulación ferroviaria temporalmente para realizar una reparación provisional que permita reiniciar el servicio a la mayor brevedad posible, y programar la reparación definitiva en un corto plazo de tiempo para restituir el elemento a su buen estado de uso.

ANÁLISIS DE PATOLOGÍAS DE VÍA FÉRREA EN PUERTOS. PROPUESTA DE MANTENIMIENTO.

Propuesta de Plan de Mantenimiento Ferroviario en puertos

Adicionalmente, uno de los aspectos vitales a cumplimentar en las fichas de inspección será la identificación unívoca de los elementos de medición utilizados, así como de la fecha de caducidad del certificado de calibración en el momento de realizar la inspección correspondiente. De esa forma se dispondrá de la trazabilidad y verificación de que las mediciones se han realizado con aparatos de medición debidamente calibrados.

ANÁLISIS DE PATOLOGÍAS DE VÍA FÉRREA EN PUERTOS. PROPUESTA DE MANTENIMIENTO.

Propuesta de Plan de Mantenimiento Ferroviario en puertos

AUTORIDAD PORTUARIA DE XXX

FICHA DE INSPECCIÓN EN CABINA

INSPECTOR:

FECHA:

ORIGEN MANIOBRA:

DESTINO MANIOBRA:

HORA INICIO
MANIOBRA

DATOS COMPOSICIÓN:	MODELO	SERIE	SUBSERIE	POTENCIA	MASA	Nº UIC	OBSERVACIONES
LOMOTORA							

DATOS COMPOSICIÓN:	Nº VAGONES (nº total)	PLATAFORMA (indicar nº)	CISTERNAS (indicar nº)	TOLVAS (indicar nº)	PORTACOCHEES (indicar nº)	MASA TOTAL REMOLCADA	
TIPO VAGONES							

TRAYECTO:	TRAMO: (.....)		ANCHO/S: (.....)		TIPO DE VÍA			APARATOS DE VÍA		
VÍA	PK INICIO	PK FIN	TREN	TRAMO	BALASTO	PLACA	DESVÍO	ESCAPE	CAMBIADOR HILO	TRAVESÍA

DEFICIENCIAS O INCIDENCIAS OBSERVADAS (SUPERESTRUCTURA Y/O INFRAESTRUCTURA):						VALORACIÓN DEFECTO O INCIDENCIA OBSERVADA (Indicar si es necesaria inspección adicional).	ESTADO*
VÍA	PK	APARATO	ANCHO	BALASTO	PLACA		C / S / P / U

*ESTADO: Correcto (no es necesario actuar), Seguimiento (no es necesario actuar, observar evolución), Programable (planificar actuación), Urgente (actuación inmediata).

Formato IC-2024.rev01

Infografía 7: Formato de inspección en cabina.

ANÁLISIS DE PATOLOGÍAS DE VÍA FÉRREA EN PUERTOS. PROPUESTA DE MANTENIMIENTO.

Propuesta de Plan de Mantenimiento Ferroviario en puertos

AUTORIDAD PORTUARIA DE XXXXX

FICHA DE INSPECCIÓN A PIE

INSPECTOR:

FECHA Y HORA:

TRAMO INSPECCIONADO:

ANCHO/S:

TIPO DE VÍA:

INSPECCIÓN DE INFRAESTRUCTURA

ELEMENTO	TRAMO: {.....}			ESTADO				VALORACIÓN DE LO OBSERVADO
	VÍA	PK INICIO	PK FIN	CORRECTO	SEGUIMIENTO	PROGRAMABLE	URGENTE	Indicar si es necesaria inspección adicional.
DESBROCE								
LIMPIEZA								
DRENAJES								
PASO INSTALACIONES								
VIALES EN IE'S O PN								

Formato IAP_INFRA-2024_rev01

Infografía 8: Formato de inspección a pie. Infraestructura.

ANÁLISIS DE PATOLOGÍAS DE VÍA FÉRREA EN PUERTOS. PROPUESTA DE MANTENIMIENTO.

Propuesta de Plan de Mantenimiento Ferroviario en puertos

AUTORIDAD PORTUARIA DE XXXXX

FICHA DE INSPECCIÓN A PIE

INSPECTOR:

FECHA Y HORA:

TRAMO INSPECCIONADO:

ANCHO/S:

TIPO DE VÍA:

INSPECCIÓN DE SUPERESTRUCTURA

ELEMENTO	TRAMO: (.....)			ESTADO				VALORACIÓN DE LO OBSERVADO
	VÍA	PK INICIO	PK FIN	CORRECTO	SEGUIMIENTO	PROGRAMABLE	URGENTE	Indicar si es necesaria inspección adicional.
BALASTO								
TRAVIESAS								
SUJECIONES. Llave dinamoétrica utilizada: (.....). Certificado calibración válido hasta: (.....).								
CARRIL								
JUNTAS DE CARRIL EMBRIDADAS								
SOLDADURAS CARRIL. Regla planitud utilizada: (.....). Certificado calibración válido hasta: (.....).								

Formato IAP_SUPER-2024.rev01

Infografía 9: Formato de inspección a pie. Superestructura (1 de 2).

ANÁLISIS DE PATOLOGÍAS DE VÍA FÉRREA EN PUERTOS. PROPUESTA DE MANTENIMIENTO.

Propuesta de Plan de Mantenimiento Ferroviario en puertos

AUTORIDAD PORTUARIA DE XXXXX

FICHA DE INSPECCIÓN A PIE

INSPECTOR:

FECHA Y HORA:

TRAMO INSPECCIONADO:

ANCHO/S:

TIPO DE VÍA:

INSPECCIÓN DE SUPERESTRUCTURA

ELEMENTO	TRAMO: (.....)			ESTADO				VALORACIÓN DE LO OBSERVADO Indicar si es necesaria inspección adicional.
	VÍA	PK INICIO	PK FIN	CORRECTO	SEGUIMIENTO	PROGRAMABLE	URGENTE	
VÍA. Regla anchos / regla peraltes utilizada: (.....). Certificado calibración válido hasta: (.....).								
APARATOS DE VÍA. Regla anchos utilizada: (.....). Certificado calibración válido hasta: (.....).								
ACCIONAMIENTOS MANUALES (DE MARMITA O CREMALLERA)								
ACCIONAMIENTOS MOTORIZADOS								
INTERSECCIONES ESPECIALES Y PN								
PUERTAS FERROVIARIAS								

Formato IAP_SUPER-2024.rev01

Infografía 10: Formato de inspección a pie. Superestructura (2 de 2).

6.4. AHORROS ESTIMADOS

Las operaciones de mantenimiento en una red ferroportuaria pueden ayudar a reducir los sobrecostes de explotación, los sobrecostes derivados de accidentes ferroviarios, así como optimizar los propios costes de mantenimiento.

6.4.1. Sobrecostes de explotación

Por sobrecostes de explotación, se pueden entender los costes de las terminales de carga / descarga, de las empresas ferroviarias que prestan el servicio de tracción, de los propietarios de las mercancías y de la Autoridad Portuaria correspondiente, a consecuencia de un fallo o avería en una red ferroportuaria.

Ante una avería o fallo de los elementos de vía pueden ocasionarse retrasos en las entradas y salidas de trenes a las terminales. En el mejor de los casos, retrasos de minutos o incluso pocas horas, pueden no implicar costes adicionales. Sin embargo, si un tren pierde el surco de circulación por la red de Adif por no salir de la red ferroportuaria a tiempo, ello puede implicar que el tren no pueda circular hasta el día siguiente, o incluso más tiempo, dependiendo del destino. En este caso, se incurrirá en costes por:

- Locomotora y maquinista inmovilizados en puerto hasta disponer de un nuevo surco de circulación en la red de Adif.
- Composición inmovilizada en terminal, impidiendo la rotación con otros trenes que hayan de acceder a esa misma terminal. Costes por no disposición de vías libres, y costes por dejar de operar otros trenes, al ocupar la franja de operativa prevista de otro tren.
- En el caso de trenes de acceso a puerto, el hecho de que un tren no pueda acceder a tiempo a una terminal de carga / descarga pudiera suponer que, si la operativa no se realiza a tiempo, el barco donde se ha de cargar la mercancía contenerizada parta hacia su destino sin ella. En este caso, se incurrirá en costes de gestión y costes de almacenamiento temporal en terminal hasta que haya otro barco, e incluso costes de flete. En algunos casos, dependiendo de la ruta marítima, puede llegar a suponer un retraso de entre una a dos semanas.

**Propuesta de Plan de Mantenimiento Ferroviario en
puertos**

- Costes de combustible para alimentar los grupos electrógenos en caso de trenes reefer (refrigerados o congeladores). En caso de agotarse el combustible, la mercancía se echaría a perder.
- Reclamaciones a las Autoridades Portuarias de las terminales, las empresas ferroviarias y de los propietarios de las mercancías por los retrasos o por el deterioro de la mercancía.

La valoración de estos costes es muy dispar y difícil de estimar, dada la distinta naturaleza de éstos. En el caso de retrasos sin afectación a las mercancías, el coste puede ser del orden de 5.000 a 10.000€. En el caso de afectaciones a la mercancía, o de periodos prolongados de retraso, el coste puede ser del orden de 100.000 a 200.000€ o más.

6.4.2. Sobrecostes derivados de accidentes ferroviarios

Por sobrecostes originados por una avería o fallo de los elementos de vía que deriva en un accidente ferroviario, además de los posibles sobrecostes de explotación ya comentados, se entenderán los costes por el rescate del tren, las posibles reparaciones del material rodante y su posible inmovilización, la reposición de los elementos dañados de vía, así como las problemáticas de operar en degradado si no es posible realizar una reparación definitiva en un corto periodo de tiempo.

Los costes del tren de rescate o tren taller, o de los servicios de grúa necesarios para el rescate de una composición descarrilada en un puerto suelen oscilar entre los 10.000 a 20.000€ aproximadamente. Los retrasos ocasionados pueden ser del orden de las 5 a 10 horas.

La valoración de las reparaciones del material rodante dependerá en gran medida de los daños sufridos. Considerando que suelen ser accidentes a baja velocidad donde puede estar implicado uno o dos vagones, y en algunos casos la locomotora, el coste puede oscilar entre 5.000 a 20.000€. También habrá que repercutir los costes de estacionamiento en vías portuarias del material rodante afectado en caso de no poder repararse de forma rápida, o incluso gastos de traslado hasta un centro de mantenimiento fuera de puerto. Por ejemplo, en el caso del Puerto de Barcelona, según se indica en el documento público de tarifas de servicios básicos ferroviarios [73, p. 6], la tarifa SB-10 de ocupación de vías portuarias para ancho UIC e ibérico devengará a partir de las 24 horas una tarifa de 97,32€/día por cada tren estacionado ocupando vías portuarias.

La valoración de las reparaciones de los elementos dañados de vía dependerá mucho de los daños concretos, los repuestos y los medios

**Propuesta de Plan de Mantenimiento Ferroviario en
puertos**

auxiliares necesarios. No costará lo mismo la sustitución de pequeño material como sujeciones de vía, realizar un cuponado de carril, o sustituir una aguja de un desvío. En el primer caso hablaríamos de cifras alrededor de 1.000€, en el segundo de cifras entre 5.000 a 10.000€, y en el tercer caso de cifras en torno a los 40.000 a 60.000€, dependiendo de si se realiza de noche y/o fin de semana, el tipo de aguja, y los medios a utilizar.

6.4.3. Sobrecostes de mantenimiento

Por sobrecostes de mantenimiento se entenderán aquellos costes imputables a la detección tardía de indicios de fallos y/o averías que comporten actuaciones más costosas de lo que hubiese costado actuar de forma preventiva o programada. Los dos casos anteriores, sobrecostes de explotación y derivados de un accidente ferroviario podrían ser un claro ejemplo cuando ocurran por fallo o avería. Sin embargo, un mantenimiento insuficiente o con frecuencias excesivas también puede generar sobrecostes sin llegar a ser tan graves como los casos anteriores.

A continuación, se dan algunos ejemplos valorados de acuerdo con la base de precios de Adif [74], que pueden ser orientativos, a pesar de que en algunas partidas no son necesariamente precios de mercado, estando por debajo del coste real.

6.4.3.1. Ejemplo 1: pavimentos dañados por vegetación

La falta de desbroce y tratamiento con herbicidas en juntas de pavimentos en las terminales ferroviarias favorecerá la proliferación de la vegetación, el aumento de volumen de raíces y troncos y, por consiguiente, la rotura de los pavimentos implicados.

Resulta mucho más barato realizar varias actuaciones de desbroce preventivo de forma regular en una zona, que tener que demoler un pavimento, recompactar el terreno y volver a hormigonar el pavimento.

En las siguientes tablas se realiza la comparativa del coste que supondría desbrozar y utilizar herbicida varias veces al año, frente a la reposición de un pavimento de hormigón dañado por la vegetación.

ANÁLISIS DE PATOLOGÍAS DE VÍA FÉRREA EN PUERTOS. PROPUESTA DE MANTENIMIENTO.

Propuesta de Plan de Mantenimiento Ferroviario en puertos

Tabla 3: Estimación coste desbroce.

Ud	Partidas	Precio ud	Medición	Importe
m2	Desbroce y limpieza superficial del terreno en jornada diurna e intervalo inferior a 3h.	1,14€/m2	1.000 m2	1.140€
m2	Desvitalización de tocones y tratamiento herbicida de matorrales y arbustos con medios manuales en jornada diurna e intervalo inferior a 3h.	1,38€/m2	1.000 m2	1.380€
	Coste de 1 actuación			2.520€
	Suponiendo 12 veces/año			30.240 €

Tabla 4: Estimación de reposición de pavimento dañado por vegetación.

Ud	Partidas	Precio ud	Medición	Importe
m2	Demolición de solera de hormigón de 15 cm de espesor armado con mallazo en jornada diurna.	25,98 €/m2	1.000 m2	25.980 €
m2	Compactado superficial de terreno natural sin aportación de terrenos en jornada diurna e intervalo inferior a 3h.	3,75 €/m2	1.000 m2	3.750 €
m2	Suministro y puesta en obra de solera de hormigón de hasta 20 cm de espesor incluyendo materiales (hormigón y malla electrosoldada 15x15 cm D6mm), encofrado, vertido, extendido y fratasado, así como medios auxiliares.	35,61 €/m2	1.000 m2	35.610 €
	Coste de 1 actuación			65.340 €

En este caso, se puede observar que el coste de desbrozar 12 veces al año una zona de 1.000 m² supone un coste de aproximadamente 2,16 veces menos que el coste de reposición del pavimento. Sin embargo, la diferencia de coste sería aún mayor, dado que habría que sumarle al coste de reposición del pavimento las afectaciones al tráfico ferroviario que implicaría su ejecución en una terminal ferroviaria.

**Propuesta de Plan de Mantenimiento Ferroviario en
puertos**

6.4.3.2. Ejemplo 2: cuponado en vía en placa con carril al aire o carril embebido

Tal y como se indica en el apartado 5.5, siempre que se pueda, la vía y los aparatos de vía de vía en placa deberían ser de la tipología de carril al aire, y no embebidos. El coste de realizar un cuponado en vía con carril al aire, o en vía con carril embebido, además de la diferencia en tiempo, supone también una diferencia sustancial en coste, como se puede ver a continuación.

Supondré una actuación de sustitución de dos cupones de carril de 18 metros con carril 60E1 y calidad R260, en lugar equivalente en cuanto a condiciones de acceso, en jornada nocturna.

Tabla 5: Estimación coste cuponado en 2 hilos con carril al aire.

Ud	Partidas	Precio ud	Medición	Importe
t	Carril R260 en fábrica.	1.213,78 €/t	2,160 t	2.621,76 €
t	Transporte de barra elemental de factoría a obra (hasta 340 km)	29,92 €/t	2,160 t	64,63 €
m	Transporte desde acopio a traza, incluso descarga de cupón de 18 mts mediante camión	0,34 €/m	36 m	12,24 €
ud	Corte de carril en jornada nocturna	9,83 €/ud	4 ud	39,32 €
m	Sustitución de carril en jornada nocturna	34,05 €/m	36 m	1.225,80 €
ud	Soldadura aluminotérmica carril R260 en jornada nocturna	542,36 €/ud	4 ud	2.169,44 €
m	Homogeneización de tensiones	5,91 €/m	236 m	1.394,76 €
	Coste actuación			7.527,95 €

Esta actuación se suele realizar en dos noches, en intervalos de 3 a 4 horas en banda de mantenimiento, sin crear afectaciones al servicio ferroviario.

Tabla 6: Estimación coste cuponado en 2 hilos con carril embebido.

Ud	Partidas	Precio ud	Medición	Importe
----	----------	-----------	----------	---------

ANÁLISIS DE PATOLOGÍAS DE VÍA FÉRREA EN PUERTOS. PROPUESTA DE MANTENIMIENTO.

Propuesta de Plan de Mantenimiento Ferroviario en puertos

m2	Demolición de solera de hormigón 35 cm espesor	47,52 €/m2	19x2,40 m2	2.166,91 €
m2	Compactado superficial de terreno natural sin aportación de terreno.	3,75 €/m2	19x2,40 m2	171 €
t	Carril R260 en fábrica.	1.213,78 €/t	2,160 t	2.621,76 €
t	Transporte de barra elemental de factoría a obra (hasta 340 km)	29,92 €/t	2,160 t	64,63 €
m	Transporte desde acopio a traza, incluso descarga de cupón de 18 mts mediante camión	0,34 €/m	36 m	12,24 €
ud	Corte de carril en jornada nocturna	9,83 €/ud	4 ud	39,32 €
m	Suministro y montaje vía en placa carril embebido, incluyendo hormigón y encofrado.	1.062,36 €/m	18 m	19.122,48 €
ud	Soldadura aluminotérmica carril R260 en jornada nocturna	542,36 €/ud	4 ud	2.169,44 €
	Coste actuación			26.367,78 €

Esta actuación se suele realizar en un intervalo aproximado de 48 horas, con interrupción total de las circulaciones por la vía implicada hasta que el hormigón haya ganado la resistencia suficiente para poder circular los trenes.

Como se puede observar en este caso, el criterio de diseño elegido a la hora de construir un tramo de vía con una tipología u otra incide directamente en los costes de mantenimiento y en los plazos de indisponibilidad ante una misma operación. El coste de sustituir cupones en vía en placa con carril al aire frente a la misma operación en vía embebida tiene una diferencia del orden de 3,5 veces. Además, el tiempo necesario para el cuponado de vía con carril al aire es del orden de 6 a 8 horas en total, repartido en 2 noches, frente a 48 horas seguidas de interrupción total para la vía embebida.

7. CONCLUSIONES

En el ámbito portuario, el ferrocarril no es el negocio principal de los puertos. Su negocio principal son los barcos de pasaje y de mercancías. El ferrocarril en los puertos es una de las herramientas mediante las cuales se pretende optimizar su potencial como nodos de concentración y distribución de mercancías.

Desde el punto de vista medio ambiental, el ferrocarril es el medio de transporte de mercancías de media distancia más sostenible, por su contribución a la reducción del número de camiones en las carreteras, y por tanto de las emisiones de gases contaminantes.

Como parte del objetivo de potenciar el transporte de mercancías por ferrocarril, el mantenimiento ferroviario en los puertos juega un papel clave y necesario para conseguir un nivel de servicio adecuado a las elevadas exigencias del mercado. Sin un servicio atractivo, barato, puntual y fiable, no será posible incrementar la tasa ferroviaria de transporte de mercancías.

Las vías férreas en el ámbito portuario poseen unas características y especificidades que las hacen sensiblemente diferentes a las vías de las redes de Adif o de otros administradores de infraestructuras ferroviarias. Se trata de vías por las que circulan de forma exclusiva trenes de mercancías con grandes masas a baja velocidad, en uno o en varios anchos (ibérico, UIC y métrico) y con trazados planos pero relativamente sinuosos en planta.

Los trazados en las redes ferroportuarias no suelen ser los más óptimos posibles. A excepción de las redes ferroportuarias más nuevas, gran parte son vías construidas años atrás y que muchas veces comparten plataforma con los viales de vehículos de carretera, incluso existiendo cruces a mismo nivel. Con el tiempo, en las redes ferroviarias se ha tendido a la supresión de los pasos a nivel mediante pasos inferiores o superiores. Sin embargo, en las redes ferroportuarias no ha sido posible su supresión debido a las grandes longitudes que necesita el ferrocarril para salvar un obstáculo y el limitado espacio existente en los puertos para que los vehículos de carretera salven los cruces a diferente cota. En consecuencia, los trazados existentes se han tenido que adaptar a la morfología portuaria siempre al mismo nivel.

También cabe destacar la importancia de escoger correctamente los criterios de diseño de las redes ferroportuarias en lo relativo su mantenimiento. En algunos casos se eligieron soluciones técnicas que se creyeron adecuadas en un inicio, sin pensar en su mantenibilidad y disponibilidad posteriores. Cuando se ha tenido que actuar en esas infraestructuras se ha hecho patente su mayor coste de reparación y

Conclusiones

mayores periodos de indisponibilidad, lo que debería hacer que se replanteasen los criterios de diseño para evitar estas situaciones.

Otro condicionante que ha complicado el desarrollo y mejora de las redes ferroportuarias ha sido la gestión del tráfico no ferroviario, pues dificulta enormemente la explotación y el mantenimiento ferroviario. La avería de un tren o de la señalización suele provocar grandes atascos viarios en los accesos a los puertos. Y cualquier actuación en vía de cierta entidad en zonas de cruce conlleva interrupciones del servicio ferroviario prolongadas, que además se han de compatibilizar con el tráfico viario.

El mantenimiento ferroviario en puertos se ha caracterizado hasta la fecha por una importante falta de cultura y experiencia ferroviaria, y por una escasa disposición de personal y medios técnicos especializados, así como por presupuestos reducidos.

Muchas de las actuaciones de mantenimiento se han de realizar de forma manual o con medios ligeros, por la inviabilidad económica de utilizar medios pesados y de última generación. Sin embargo, ello no quiere decir que la calidad de la vía y su disponibilidad hayan de ser menos exigentes que en otras redes ferroviarias. Es por lo que la gestión del mantenimiento ferroportuario tiene como reto constante el optimizar al máximo los pocos recursos de que se dispone para ofrecer un servicio ferroviario a las terminales de carga/descarga de calidad y lo más ágil posible.

La experiencia y el conocimiento de las problemáticas particulares de mantenimiento ferroviario en cada puerto son un factor clave para que las personas encargadas puedan desarrollar su trabajo con los medios disponibles, la calidad exigida, en un plazo razonable y con el menor coste económico posible.

Con este trabajo fin de grado se ha pretendido exponer varias de las problemáticas más habituales de infraestructura y superestructura en una red ferroportuaria. Las problemáticas sobre las que se ha basado el trabajo pueden ser comunes a muchos de los puertos españoles con red ferroviaria, aunque el referente sin llegar a ser un caso de estudio ha sido el puerto de Barcelona.

Una de las aspiraciones de este trabajo es el poder servir de guía de referencia para el desarrollo de los planes de mantenimiento ferroviario en aquellas Autoridades Portuarias donde aún no se haya desarrollado un plan de mantenimiento específico y adaptado sus singularidades.

De cara a un futuro, podría resultar interesante realizar un estudio de benchmarking de las mejores prácticas de mantenimiento ferroviario en puertos. Mediante este estudio se podrían recopilar las incidencias técnicas y problemáticas a nivel ferroviario de todos los puertos españoles, para así elaborar una serie de recomendaciones tendentes a

Conclusiones

implantar criterios de diseño, criterios de mantenimiento adaptados a redes ferroviarias, a reducir costes de gestión del mantenimiento, e incluso a crear sinergias entre varios puertos, como pudiera ser la compra conjunta de repuestos de aparatos de vía.

Lamentablemente, esta iniciativa es de difícil ejecución en la actualidad dada la elevada competitividad entre Autoridades Portuarias, las reticencias a compartir determinado tipo de información, así como la necesidad de llevarla a cabo a través de un ente supraportuario, como podría ser Puertos del Estado.

En caso de poderse llevar a cabo esta iniciativa con la participación de todas las partes, sería posible avanzar en la filosofía de la ingeniería RAMS, aumentando la confiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y seguridad de las redes ferroviarias españolas.

Y a modo de conclusión, se podría decir que, un buen mantenimiento es aquel que no se ve, pero sí que se nota.

8. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Los objetivos de este Trabajo Fin de Grado están alineados con los siguientes Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y metas, de la Agenda 2030, representados los logos adjuntos, y definidos de la siguiente forma:

- Objetivo 9 - Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación.



- Meta 9.1 Desarrollar infraestructuras fiables, sostenibles, resilientes y de calidad, incluidas infraestructuras regionales y transfronterizas, para apoyar el desarrollo económico y el bienestar humano, haciendo especial hincapié en el acceso asequible y equitativo para todos.
- Meta 9.4 De aquí a 2030, modernizar la infraestructura y reconvertir las industrias para que sean sostenibles, utilizando los recursos con mayor eficacia y promoviendo la adopción de tecnologías y procesos industriales limpios y ambientalmente racionales, y logrando que todos los países tomen medidas de acuerdo con sus capacidades respectivas.

- Objetivo 13 - Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.



- Meta 13.2 Incorporar medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales [75].

9. BIBLIOGRAFÍA

Las referencias bibliográficas del presente trabajo se han realizado mediante el gestor bibliográfico Zotero, utilizando el estilo de citación IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) [76].

9.1. CITAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ministerio de Fomento, *Ley 38/2015, de 29 de septiembre, del sector ferroviario.*, vol. BOE-A-2015-10440. 2015. [En línea]. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/pdf/2015/BOE-A-2015-10440-consolidado.pdf>
- [2] Puertos del Estado, «Nosotros | puertos.es». Accedido: 7 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.puertos.es/es-es/nosotrospuertos>
- [3] Adif, «Declaración sobre la Red 2025. Adif. 10 Catálogos.» DIRECCIÓN GENERAL DE NEGOCIO Y OPERACIONES COMERCIALES Dirección de Explotación Comercial, 5 de diciembre de 2023. Accedido: 7 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.adif.es/documents/20124/26593590/20231205_04_DR_Adif_Relac+IISS_2025.pdf/f1f55dad-d3c7-600c-70a5-b975bf5bb1e8?t=1701779149688
- [4] Ignacio Sanz, Íñigo de Peñaranda, Joan Carles Enguix, y Jordi Mas, *Transporte ferroviario de mercancías*, 1a edición. Barcelona: Editorial Marge Books, 2013.
- [5] Agencia Estatal de Seguridad Ferroviaria, «Interoperabilidad | AESF: AGENCIA ESTATAL DE SEGURIDAD FERROVIARIA». Accedido: 4 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.seguridadferroviaria.es/actividades/interoperabilidad>
- [6] Autoridad Portuaria de Barcelona y José Alberto Carbonell Camallonga, «Información sobre la Red Ferroviaria del Puerto de Barcelona», Autoridad Portuaria de Barcelona, Barcelona, Técnico, may 2023. Accedido: 5 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://contentv5.portdebarcelona.cat/cntmng/gd/d/workspace/SpacesStore/72beb6dc-1a62-4832-8b00-7ee74d31e50e/InformacionRedFerroviariaPuertoBcn.pdf>
- [7] Adif, «Declaración sobre la Red 2025. Adif. Libro.» DIRECCIÓN GENERAL DE NEGOCIO Y OPERACIONES COMERCIALES Dirección de Explotación Comercial, 5 de diciembre de 2023. Accedido: 7 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.adif.es/documents/20124/26593590/20231205_01_DR_Adif_Libro_2025.pdf/3bdc9619-43cb-7699-c264-2098ccc7810a?t=1701795713562
- [8] Iveta Radičová y Directorate-General for Mobility and Transport of the European Commission, «Mediterranean corridor - European Commission». Accedido: 9 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/infrastructure-and-investment/trans-european-transport-network-ten-t/mediterranean-corridor_en
- [9] Carlo Secchi y Directorate-General for Mobility and Transport of the European Commission, «Atlantic corridor - European Commission». Accedido: 9 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/infrastructure-and-investment/trans-european-transport-network-ten-t/atlantic-corridor_en
- [10] Ministerio de Fomento, *Real Decreto 2387/2004, de 30 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento del Sector Ferroviario.*, vol. BOE-A-2004-21908. 2005. Accedido: 30 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2004-21908>
- [11] Ricardo Insa Franco, Pablo Salvador Zuriaga, Pablo Martínez Fernández, Ignacio Villalba Sanchís, Carla García Román, y Jaime Pallarol Simón, *Una introducción al ferrocarril. Volumen II: Elementos*

- constituyentes de la infraestructura.*, vol. Vol. 2, 2 vols. en Manual de referencia, vol. Vol. 2. Valencia, España: Editorial Universitat Politècnica de València, 2016.
- [12] Grupo de Trabajo GT-100, Adif, «NAP 1-2-0.3 Climatología, hidrología y drenaje. (2ª Edición +M1)». Accedido: 2 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://normativatecnica.adif.es/ntw/views/documentacion/body-documentacion.jsp>
- [13] KRAIBURG STRAIL GmbH & Co. KG, «Sistemas de cruce de paso a nivel», KRAIBURG STRAIL. Accedido: 29 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.strail.de/es/sistemas-de-cruce-de-paso-a-nivel/>
- [14] Rosehill Polymers Group, «Railway Level Crossing Systems, Rubber Crossing Panels: Rosehill Rail UK». Accedido: 29 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://rosehillrail.com/products/>
- [15] Francisco Javier González Fernández, *Ingeniería Ferroviaria*, 2ª. España: Editorial UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia, 2010.
- [16] Juan Antonio Villaronte Fernández-Villa, *Ingeniería y Tecnología Ferroviaria. Tecnología de la vía.*, 2ª. Madrid: Delta Publicaciones, 2010.
- [17] Ministerio de Fomento, *Orden FOM/1631/2015, de 14 de julio, por la que se aprueba la Instrucción para el proyecto y construcción de obras ferroviarias IF-3. Vía sobre balasto. Cálculo de espesores de capas de la sección transversal*, vol. BOE-A-2015-8766. 2015, pp. 68651-68689. Accedido: 30 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/o/2015/07/14/fom1631>
- [18] Renfe. Dirección de Inversiones en Obras e Instalaciones y Adif, «NAV 3-4-1.0 Balasto. Dimensionado de la banqueta. 1ª Edición: Julio de 1985.» Accedido: 31 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://normativatecnica.adif.es/ntw/views/documentacion/body-documentacion.jsp>
- [19] Moisés Gilaberte, «Criterios y funcionalidad», en *Jornada de reflexión y debate: Vía con balasto versus vía en placa: criterios técnico-económicos para una decisión*, INECO-TIFSA Aula Carlos Roa, Ed., Madrid: INECO-TIFSA, jun. 2007. [En línea]. Disponible en: <https://books.google.es/books?id=UhlMQwAACAAJ>
- [20] V. C. Mirasol, «Comportamiento dinámico de líneas ferroviarias con balasto bajo cargas verticales», *Rev. Digit. Cedex*, n.º 183, Art. n.º 183, jun. 2016, Accedido: 14 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://ingenieriaviv.cedex.es/index.php/ingenieria-civil/article/view/460>
- [21] I. Villalba Sanchís, «Sujeciones ferroviarias». Departamento de Ingeniería e Infraestructura de los Transportes Universitat Politècnica de València, 1 de febrero de 2021. [En línea]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/160881/12016-Sujeciones%20ferroviarias.pdf>
- [22] Grupo de Trabajo de GT-201 del Comité de Normativa de la DG de Explotación y Construcción de Adif, «Especificación Técnica ET 03.360.571.8 Traviesas Monobloque de Hormigón Pretensado», Especificación Técnica. Accedido: 2 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://normativatecnica.adif.es/ntw/views/documentacion/body-documentacion.jsp>
- [23] Grupo de Trabajo GT-201 del Comité de Normativa de Adif, «Clip SKL-12 (plano PAV 01_02.01.003)», Ficha de Normativa. Accedido: 2 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://normativatecnica.adif.es/ntw/views/documentacion/body-documentacion.jsp>
- [24] Grupo de Trabajo GT-201 del Comité de Normativa de Adif, «Clip SKL-1 (plano PAV 01_02.01.001)», Ficha de Normativa. Accedido: 2 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://normativatecnica.adif.es/ntw/views/documentacion/body-documentacion.jsp>
- [25] Renfe. Área de Inversiones. Gabinete de proyectos y normas., «Traviesas de hormigón armado (NRV 3-1-1.0._1981)», Norma Renfe Vía NRV 3-1-1.0. Accedido: 2 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://normativatecnica.adif.es/ntw/views/documentacion/body-documentacion.jsp>
- [26] Autoridad Portuaria de Tarragona y Ramón Ignacio García Rodríguez, «Información sobre la Red Ferroviaria del Puerto de Tarragona», Autoridad Portuaria de Tarragona, Tarragona, Técnico, dic. 2022. Accedido: 5 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.porttarragona.cat/files/docs/Serveis_Negoci/Serveis/FERROCARRIL/2023/230117_Informacion_Red_Ferroviaria_Port_Tarragona_Rev.6.pdf

- [27] Grupo de Trabajo GT-201 del Comité de Normativa de Adif, «Traviesas PR (plano PAV 02_01.01.002_ED1M1M2M3)», Ficha de Normativa. Accedido: 2 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://normativatecnica.adif.es/ntw/views/documentacion/body-documentacion.jsp>
- [28] Grupo de Trabajo GT-201 del Comité de Normativa de Adif, «Traviesas MR (plano PAV 02_01.01.004_ED1M1M2)», Ficha de Normativa. Accedido: 2 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://normativatecnica.adif.es/ntw/views/documentacion/body-documentacion.jsp>
- [29] Renfe. UN Mantenimiento de Infraestructura. Dirección Técnica., «Sujeción elástica J2 NAV 3213», NAV 3-2-1.3. Accedido: 2 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: [https://descargas.adif.es/ade/u18/GCN/NormativaTecnica.nsf/v0/A289DA501E7D6197C12573AA003E86EA/\\$FILE/NAV%203213.pdf?OpenElement](https://descargas.adif.es/ade/u18/GCN/NormativaTecnica.nsf/v0/A289DA501E7D6197C12573AA003E86EA/$FILE/NAV%203213.pdf?OpenElement)
- [30] Autoridad Portuaria de Castellón, «Información de la Red Ferroviaria del Puerto de Castellón», Autoridad Portuaria de Castellón, Castellón, Técnico, abr. 2013. Accedido: 5 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.portcastello.com/wp-content/uploads/2018/02/informacion-de-la-red-ferroviaria-del-puerto-de-castellon.pdf>
- [31] Luigi dell'Olio, Borja Alonso Oreña, y José Luis Moura Berodia, «11.0 Vía en placa. Apuntes asignatura Ferrocarriles. Grado en Ingeniería Civil.» Universidad de Cantabria, 14 de noviembre de 2023. Accedido: 9 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://ocw.unican.es/pluginfile.php/3092/course/section/2947/11.0%20Via%20en%20placa.pdf>
- [32] Eptisa y Fulcrum, «PROYECTO CONSTRUCTIVO DE LA LÍNEA 5 DEL FERROCARRIL METROPOLITANO DE BILBAO TRAMO SARRATU-APERRIBA. Anejo nº17: Superestructura de vía». 5 de agosto de 2021. Accedido: 9 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/sarratu_aperribai/es_def/adjuntos/L5-SA-AN17_Superestructura.pdf
- [33] Yumpu.com, «rheda 2000® - RAIL.ONE GmbH», yumpu.com. Accedido: 23 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.yumpu.com/es/document/view/26674158/rheda-2000r-railone-gmbh>
- [34] edilon)(sedra, «Embedded Rail System», edilon)(sedra. Accedido: 23 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.edilonsedra.com/es/system/embedded-rail-system/>
- [35] Pandrol, «DFE adherizada Sistemas de fijación», Pandrol. Accedido: 23 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.pandrol.com/es/product/dfc-adherizada/>
- [36] Pandrol, «e-Clip SRS Sistemas de fijación», Pandrol. Accedido: 2 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.pandrol.com/es/product/e-clip-srs/>
- [37] Comité de Normativa de Adif, «Especificación técnica ET 03.360.161.8 CARRIL.», Ficha de Normativa. Accedido: 9 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://normativatecnica.adif.es/ntw/views/documentacion/body-documentacion.jsp>
- [38] A. Quintana-Nicolás y M. Preciado-Calzada, «Estudio del desgaste de carriles en servicio y optimización de su mantenimiento», *Rev. Metal.*, vol. 52, n.º 4, p. 080, dic. 2016, doi: 10.3989/revmetalm.080.
- [39] Comité de Normativa de Adif, «NAV 7-1-4.1 Neutralización y homogeneización de tensiones del carril en la vía sin juntas». Accedido: 15 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://normativatecnica.adif.es/ntw/views/documentacion/body-documentacion.jsp>
- [40] Jean Alias y Antonio Valdés González-Roldán, *La Vía del Ferrocarril*, 1ª. España: Bellisco Librería editorial, 1990.
- [41] Autoridad Portuaria de Valencia y Francesc J. Sánchez Sánchez, «Información sobre la Red Ferroviaria del Puerto de Valencia», Autoridad Portuaria de Valencia, Valencia, Técnico, dic. 2018. [En línea]. Disponible en: https://www.valenciaport.com/wp-content/uploads/2019-Informacion-sobre-la-Red-Ferroviaria-Puerto-Valencia-APV.pdf.esig_.pdf
- [42] ALLAN M. ZAREMBSKI, «Effect of Rail Section and Traffic on Rail Fatigue Life». American Railway Engineering Association Bulletin 673, Vol. 80., marzo de 1979.
- [43] Alexander Mark Robinson y Ajay Kapoor, *Fatigue in railway infrastructure*, 1ª. en Woodhead publishing in mechanical engineering. Boca Raton: CRC press, 2009.

- [44] IMPREGNA S.A., «TRAVIESAS DE MADERA - Impregna - Duraderas, útiles y resistentes», Impregna. Accedido: 16 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://impregna.es/productos/traviesas/>
- [45] Pilar Jiménez Gómez, «3.4 Las sujeciones. Apuntes de Ferrocarriles en Grado de Ingeniería Civil». Universidad Politécnica de Cartagena, 3 de febrero de 2017. Accedido: 16 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/13023/mod_resource/content/1/B1Tema34SujFFCC.pdf
- [46] Grupo de Trabajo GT-208 del Comité de Normativa de Adif, «NAV 7-5-2.2 Perfilado de carril (1ª edición)». Accedido: 23 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://normativatecnica.adif.es/ntw/views/documentacion/body-documentacion.jsp>
- [47] J. C. Sánchez, J. F. Santa, G. Idárraga, y A. Toro, «IDENTIFICACIÓN DE MECANISMOS DE DESGASTE EN RIELES DE VÍA COMERCIAL DEL METRO DE MEDELLÍN», *Rev. Colomb. Mater.*, n.º 5, Art. n.º 5, may 2014, doi: 10.17533/udea.rcm.19133.
- [48] Ignacio Villalba Sanchís, «Desgaste ondulatorio de carriles ferroviarios.pdf», *Univ. Politècnica València*, p. 7, 2020, Accedido: 23 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/141035/Villalba%20-%20Desgaste%20ondulatorio%20de%20carriles%20ferroviarios.pdf>
- [49] Q.-A. Wang *et al.*, «Concise Historic Overview of Rail Corrugation Studies: From Formation Mechanisms to Detection Methods», *Buildings*, vol. 14, n.º 4, p. 968, abr. 2024, doi: 10.3390/buildings14040968.
- [50] S. L. Grassie y J. Kalousek, «Rail Corrugation: Characteristics, Causes and Treatments», *Proc. Inst. Mech. Eng. Part F J. Rail Rapid Transit*, vol. 207, n.º 1, pp. 57-68, ene. 1993, doi: 10.1243/PIME_PROC_1993_207_227_02.
- [51] Grupo de Trabajo GT-204 del Comité de Normativa de la DG de Explotación y Construcción de Adif, «NAV 3-4-3.0 Montaje de vía en balasto para obra nueva». Accedido: 14 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://normativatecnica.adif.es/ntw/views/documentacion/body-documentacion.jsp>
- [52] Alejandro Álvarez Stein, *Técnica Ferroviaria*. Madrid: Editorial Tébar, 2012.
- [53] Grupo de Trabajo GT-200 del Comité de Normativa de Adif, «NAV 3-3-2.1 Soldadura aluminotérmica de carriles. Ejecución y recepción de soldaduras.» Accedido: 15 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://normativatecnica.adif.es/ntw/views/documentacion/body-documentacion.jsp>
- [54] Pilar Jiménez Gómez, «4. Los aparatos de vía. Apuntes de Ferrocarriles en Grado de Ingeniería Civil». 7 de febrero de 2017. Accedido: 21 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/13027/mod_resource/content/1/B1Tema4AparatosViaFFCC.pdf
- [55] Ricardo Insa Franco, Pablo Salvador Zuriaga, Pablo Martínez Fernández, Ignacio Villalba Sanchís, y Carla García Román, *Una introducción al ferrocarril. Volumen I: Elementos constituyentes de la superestructura.*, vol. Vol. 1, 2 vols. en Manual de referencia, vol. Vol. 1. Valencia, España: Editorial Universitat Politècnica de València, 2015.
- [56] Amurrio ferrocarril y equipos S.A., «Aparatos de vía: Trazado convencional». 9 de noviembre de 2015. Accedido: 21 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.amufer.es/wp-content/uploads/2017/12/FICHASAFE.pdf>
- [57] J. González y Autoridad Portuaria de Valencia, «ANEXO AX-CO 6-01 PROTOCOLO PARA REALIZAR LOS CAMBIOS EN LOS APARATOS DE VÍA (ADV) DE LA RED FERROVIARIA DEL PUERTO DE VALENCIA». Valenciaport, 15 de febrero de 2021. Accedido: 21 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.valenciaport.com/wp-content/uploads/AX-CO-6-01-PROTOCOLO-PARA-REALIZAR-CAMBIOS-Rev.-2-15-02-2021.pdf>
- [58] C. Mohedas, «El Control de Tráfico Centralizado (CTC)», Andén 1. Accedido: 18 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://anden1.es/historia/el-control-de-traffic-centralizado-ctc>
- [59] Ministerio de Fomento, *Real Decreto 929/2020, de 27 de octubre, sobre seguridad operacional e interoperabilidad ferroviarias.*, vol. BOE-A-2020-13115. 2020. Accedido: 14 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2020-13115>
- [60] Comité de Normativa del Administrador de Infraestructuras Ferroviarias (ADIF), «NAP 1-2-1.0 Metodología para el diseño del trazado ferroviario. 1ª Edición: Enero 2021 + M1: Enero 2024». Accedido:

- 29 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://normativatecnica.adif.es/ntw/views/documentacion/body-documentacion.jsp>
- [61] F. J. González Fernández, *Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado*, 5ª ed. Madrid: Fundación Confemetal, 2015.
- [62] J. J. Mendoza Fernández y Adif, «Aspectos técnicos del mantenimiento de vía. XIX Curso general de transportes terrestres.» Fundación de los Ferrocarriles Españoles, 2005.
- [63] Comité técnico CTN 151 Mantenimiento y Ingeman, «UNE-EN 13306:2018 Mantenimiento. Terminología del mantenimiento.» Accedido: 29 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0060338>
- [64] C. Pinzón, «TIPOS DE MANTENIMIENTO», p. 16, ene. 2023, Accedido: 29 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://cmmsHERE.com/wp-content/uploads/2023/01/art-CMMSHERE-tipos-mantenimiento.pdf>
- [65] I. Gallego Giner, «Mantenimiento de infraestructuras en líneas de Alta Velocidad: Metodología para el desarrollo de un plan de mantenimiento y conservación.» Fundación de los Ferrocarriles Españoles y Gestor de Infraestructuras Ferroviarias, 31 de diciembre de 2002.
- [66] Eurofins Environment Testing Spain, «¿Qué es y para qué sirve un GMAO en mantenimiento?», Eurofins Environment Testing Spain. Accedido: 4 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.eurofins-environment.es/es/que-es-y-para-que-sirve-un-gmao-en-mantenimiento/>
- [67] G. Povedano Díaz, «El análisis RAMS», Terotecnic Ingeniería. Accedido: 11 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://terotecnic.com/ingenieria/el-analisis-rams/>
- [68] SCISA, Control – Inspección S.A., «Ensayos por Líquidos Penetrantes | SCI». Accedido: 11 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://scisa.es/ensayos-no-destructivos-y-laboratorio-metalurgico/ensayo-no-destructivos/ensayos-por-liquidos-penetrantes/>
- [69] SCISA, Control – Inspección S.A., «Ensayos por Partículas Magnéticas | SCI». Accedido: 11 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://scisa.es/ensayos-no-destructivos-y-laboratorio-metalurgico/ensayo-no-destructivos/ensayos-por-particulas-magneticas/>
- [70] Adif Administrador de Infraestructuras Ferroviarias, «Flexrail - Adif». Accedido: 4 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.adif.es/w/flexrail-1>
- [71] Comité de Normativa de Adif, «NAV 3-0-5.2 Parámetros de geometría de vía. (1ª Edición +M1)». Accedido: 10 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://normativatecnica.adif.es/ntw/views/documentacion/body-documentacion.jsp>
- [72] H. León-Henao, Á. D. Bedoya-Zapata, C. Franco-Rendón, J. F. Santa, y J. E. G. Barrada, «Evaluación de la Soldabilidad de Rieles Endurecidos Grado R350HT para la Reparación de Ferrovías con Recargues Superficiales», *Soldag. Insp.*, vol. 25, p. e2537, 2020, doi: 10.1590/0104-9224/si25.37.
- [73] José Alberto Carbonell Camallonga, «Tarifas de la Autoridad Portuaria de Barcelona para el año 2019, por la prestación de servicios básicos ferroviarios en ancho UIC, en la zona de servicio ferroviario administrado por la misma.» 24 de abril de 2019. Accedido: 9 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.portdebarcelona.cat/sites/default/files/content/file/2021/09/30/1/tarifasapb_prestacionserviciosferrovuic.pdf
- [74] Administrador de Infraestructuras ferroviarias, «BPA: Base de Precios de ADIF», BPA: Base de Precios de ADIF. Accedido: 9 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://bpa.adif.es/bp1/#/welcome>
- [75] M. J. Gámez y Organización de las Naciones Unidas (ONU), «Objetivos y metas de desarrollo sostenible», Desarrollo Sostenible. Accedido: 2 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- [76] Biblioteca de la Universidad Pública de Navarra. Oficina de Referencia. y M. Ruiz de Luzuriaga, «Guía para citar y referenciar. Estilo IEEE», jul. 2016, doi: 10.5281/zenodo.583620.

- [77] M. Sánchez Borrás, *Agenda estratégica de investigación del sector ferroviario: visión 2030*. España: Plataforma Tecnológica Ferroviaria Española, 2011. Accedido: 29 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/15073>
- [78] Andrés. López Pita, *Explotación de líneas de ferrocarril*, 1a. ed. Barcelona: Edicions UPC, 2008.
- [79] Ruth De San Dámaso Martín y Dirección Ejecutiva de Operaciones e Ingeniería de Red de Alta Velocidad Adif, «La vía de tres carriles. Situación Actual y Perspectivas.» 24 de mayo de 2012. Accedido: 25 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: https://adfersit.pt/docs/tema_proj-prio_2020_ref-33.pdf
- [80] ERA - European Union Agency for Railways, «Fostering the railway sector through the european green deal. Report Rail-Port Synergies», Valenciennes, France, ERA1234, jul. 2022. Accedido: 25 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.era.europa.eu/system/files/2022-10/fostering_the_railway_sector_through_the_european_green_deal_-_rail-ports_synergies_1.pdf
- [81] CNMC - Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia, «Informe Anual del Sector Ferroviario (2023)», Madrid, INF/DTSP/033/24, jul. 2024. Accedido: 25 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.cnmc.es/sites/default/files/5441138.pdf>

9.2. LEGISLACIÓN

A continuación, se relaciona el listado de la legislación referenciada en el presente trabajo:

- RD 2387/2004, de 30 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento del Sector Ferroviario.
- RD 664/2015, de 17 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Circulación Ferroviaria.
- Ley 38/2015, de 29 de septiembre, del sector ferroviario.
- Ley 9/2017, de 8 de noviembre, de Contratos del Sector Público, por la que se transponen al ordenamiento jurídico español las Directivas del Parlamento Europeo y del Consejo 2014/23/UE y 2014/24/UE, de 26 de febrero de 2014.
- RD 929/2020, de 27 de octubre, sobre seguridad operacional e interoperabilidad ferroviarias.
- RDL 2/2011, de 5 de septiembre, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Puertos del Estado y de la Marina Mercante.
- Orden FOM/2872/2010, de 5 de noviembre, por la que se determinan las condiciones para la obtención de los títulos habilitantes que permiten el ejercicio de las funciones del personal ferroviario relacionadas con la seguridad en la circulación, así como el régimen de los centros homologados de formación y de los de reconocimiento médico de dicho personal.

- Orden FOM/1630/2015, de 14 de julio, por la que se aprueba la "Instrucción ferroviaria de gálibos.
- Orden FOM/1631/2015, de 14 de julio, por la que se aprueba la Instrucción para el proyecto y construcción de obras ferroviarias IF 3. Vía sobre balasto. Cálculo de espesores de capas de la sección transversal.
- Orden FOM/298/2016, de 15 de febrero, por la que se aprueba la norma 5.2 - IC drenaje superficial de la Instrucción de Carreteras.

9.3. NORMATIVA TÉCNICA

A continuación, se relaciona el listado de normativas técnicas referenciadas en el presente trabajo:

- ET 03.360.161.8 Carril.
- ET 03.360.571.8 Traviesas Monobloque de Hormigón Pretensado.
- Instrucción 5.2-I.C. Drenaje Superficial de la Dirección General de Carreteras.
- NAP 1-2-0.3 Climatología, Hidrología y Drenaje.
- NAP 1-2-1.0 Metodología para el diseño del trazado ferroviario.
- NAV 3-0-5.2 Parámetros de geometría de vía.
- NAV 3-2-1.3 Sujeción elástica J2.
- NAV 3-2-2.1 Sujeciones de carriles. Sujeción elástica SKL-12.
- NAV 3-3-2.1 Soldadura Aluminotérmica de carriles. Ejecución y recepción de soldaduras.
- NAV 3-4-1.0 Balasto. Dimensionado de la banqueta.
- NAV 7-1-4.1 Neutralización y homogeneización de tensiones del carril en la vía sin juntas.
- NAV 7-5-2.2 Perfilado de carril.
- NAV 7-5-3.1 Mantenimiento de desvíos y otros aparatos de vía.
- N.R.V. 3-1-1.0 Traviesas de hormigón armado.
- UNE 13306 2018 - Terminología Del Mantenimiento.



Relación de documentos

- (X) Memoria 147 páginas
- () Anexos 0 páginas

La Almunia, a 10 de septiembre de 2024

Firmado: Daniel Requena Romero