

Diseño de desvíos y cruzamientos adaptados al sistema de vía en placa

Ricardo Galán de Vega

José Manuel García Campos

Gloria Venegas del Valle

Juan Aguilar Guisado

Rubén Rodríguez Aparicio

Diseño de desvíos y cruzamientos adaptados al sistema de vía en placa

Ricardo Galán de Vega
José Manuel García Campos
Gloria Venegas del Valle
Juan Aguilar Guisado
Rubén Rodríguez Aparicio

Diciembre 2022

Edita: Fundación Ayesa
Innovación y conocimiento
ISBN: 978-84-09-47203-1

Índice

1	Introducción	1
2	Desvíos y Cruzamientos	2
2.1	Definiciones. Tipologías de aparatos de vía	2
2.2	Parámetros de diseño	5
2.2.1	Radio de la vía desviada. Velocidad	5
2.2.2	Velocidades de paso	7
2.3	Tipología de desvíos	8
2.4	Representación gráfica y nomenclatura	21
2.4.1	Representación gráfica	21
2.5	Principales componentes del desvío	26
2.5.1	El cambio	26
2.5.2	Carriles intermedios	44
2.5.3	Dispositivos de accionamiento y encerrojamiento	44
2.5.4	Travesía de cajón para cables	50
2.5.5	Aislamiento eléctrico de desvíos. Juntas aislantes	52
2.6	Sistemas de sujeción en aparatos de vía	56
2.6.1	Descripción general	56
2.6.2	Sistemas de sujeción existentes para vía en placa	59
2.7	Definición del procedimiento constructivo	69
2.7.1	Procedimientos habituales de montaje de desvíos en vía sobre balasto	70
2.7.2	Procedimientos habituales de montaje de desvíos en vía en placa	91
2.8	Adaptación a la zona de desvíos de diferentes sistemas de vía en placa	97
2.8.1	Sistema Rheda 2000	98
2.8.2	Sistema LVT. LVT S&C (Low Vibration Track System for Switches and Crossings)	102
2.8.3	Sistema FF Bögl	106
2.9	Requerimientos impuestos por los sistemas de señalización y comunicaciones	114
2.9.1	Catenaria	114
2.9.2	Instalaciones de seguridad	114
2.9.3	Calefactores de aguja	117
2.9.4	Canalizaciones	117
2.9.5	Cableado	117
3	Aparatos de dilatación	119

3.1	Modelización de la interacción vía-tablero en estructuras	119
3.1.1	Objetivos	121
3.1.2	Metodología	122
3.1.3	Bases de cálculo	123
3.1.4	Modelización y análisis del viaducto de Porto, de Tuela y Nervión	131
3.1.5	Análisis de los resultados obtenidos	165
3.2	Aparatos de dilatación de vía	180
3.2.1	Principales funciones de los aparatos de dilatación de vía	180
3.2.2	Normativa de referencia en el diseño y montaje de aparatos de dilatación . . .	180
3.2.3	Descripción y componentes de un aparato de dilatación	180

Bibliografía

188

Capítulo 1

Introducción

La modernización progresiva de las infraestructuras ferroviarias y del material rodante, junto con el desarrollo tecnológico que está viviendo el sector, están aumentando la eficiencia del transporte por ferrocarril, la cual se consigue con la necesidad de mejorar las prestaciones de la infraestructura y aumentando la capacidad de la misma, obteniéndose mediante un aumento progresivo de la velocidad de circulación en las últimas décadas. Este hecho refuerza la utilización cada vez más habitual del sistema de vía en placa, dadas sus ventajas competitivas frente al sistema convencional sobre balasto. Además, la necesidad de buscar mercado en el exterior por parte de las empresas españolas del sector, hace que sea vital que dichas empresas se conviertan en “punta de lanza” en la utilización de este tipo de sistemas de vía, requiriendo de un expertise y desarrollarlos propios en todo el proceso que conlleva su utilización: desde el diseño de cada uno de sus elementos, a la comprobación de calidad, mejoras de los subsistemas con los que interacciona, fabricación y puesta en obra del mismo.

Así pues, el objeto del presente documento será de una parte la definición de los parámetros que deberán de tenerse en cuenta para la adaptación de los desvíos y cruzamientos al nuevo sistema de vía en placa. Para realizar este análisis es necesario realizar un estudio de los parámetros de diseño de los diferentes desvíos empleados en líneas de alta velocidad, analizando su geometría, velocidades de paso y materiales empleados. Aparte de lo anterior, se llevará a cabo un estudio de los diferentes procedimientos de montaje de desvíos, tanto en vía sobre balasto como vía en placa, así como de las interfaces que será necesario cumplir por el nuevo sistema de vía con los sistemas de señalización y de comunicaciones existentes.

Por otro parte, se haría un análisis en profundidad de la problemática existente en las zonas transición, modelizándose casos reales de viaductos existentes y analizando las diferencias de comportamiento de estas estructuras ante diferentes hipótesis de superestructura con vía en placa y vía sobre balasto con la finalidad de establecer los principales parámetros a tener en cuenta en lo que se refiere a la necesidad de disponer aparatos de dilatación en estas estructuras, así como los elementos diferenciadores de uno y otro sistema que permitirán valorar la posibilidad de adaptación de los aparatos de dilatación existentes en el mercado al nuevo sistema de vía en placa.

Capítulo 2

Desvíos y Cruzamientos

2.1 Definiciones. Tipologías de aparatos de vía

De acuerdo con la norma UNE-EN 13232-1 Aplicaciones ferroviarias. Vía. Aparatos de vía. Parte 1: Definiciones, se define aparato de vía como: [...] Mecanismos de la vía que aseguran la sustentación y el guiado de un vehículo a lo largo de un itinerario dado entre varias vías divergentes o que se cortan entre sí [...] Dentro de esta definición aparecen ciertos elementos de la vía que cumplen otras funciones específicas, como por ejemplo los aparatos de dilatación. Se puede definir como desvío el aparato de vía que permite la separación de una vía en dos o más. La travesía es un aparato de vía que permite la intersección de dos vías dando continuidad a cada una de ellas, sin que exista la posibilidad de que las circulaciones que utilizan una de ellas puedan emplear la otra. La combinación de varios de estos aparatos de vía da lugar a otro tipo de configuraciones más complejas, de las cuales, las que se emplean más habitualmente, son las que se relacionan a continuación:

- **Escape.** Se trata de la combinación de dos desvíos del mismo tipo, que se unen mediante un cupón por sus respectivos talones, permitiendo la conexión de las circulaciones entre dos vías paralelas.
- **Diagonal.** Esta configuración permite la conexión de dos o más vías que discurren de forma sensiblemente paralela, mediante la disposición de dos desvíos y las correspondientes travesías en la intersección con las vías intermedias.
- **Haz.** Se trata de una configuración que permite separar las circulaciones de una vía en múltiples vías mediante la disposición sucesiva de desvíos.
- **Bretelle.** Se trata de la combinación de cuatro desvíos del mismo tipo (aunque con vías desviadas de distinto signo dos a dos), y una travesía. Este aparato permite la conexión de dos vías paralelas permitiendo todas las combinaciones posibles de movimientos entre ambas vías, en un espacio mucho más reducido que si se colocasen dos escapes de distinto signo de manera consecutiva.



Figure 2.1: Esquema general de un desvío

En el caso de los desvíos simples, recibe el nombre de vía directa o principal, la vía con un mayor radio de curvatura (la vía recta en los casos más habituales), mientras que la vía con un menor radio de curvatura recibe el nombre de vía desviada.

- Desvío sencillo recto. Desvío con una vía directa recta y una vía desviada curva.

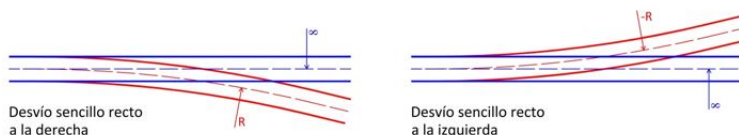


Figure 2.2: Esquema general de un desvío sencillo recto

- Desvío sencillo curvo. Desvío en el que tanto la vía directa como la vía desviada son curvas. Si tienen el mismo signo de curvatura se denominan convergentes (interior, si la vía directa es la de mayor radio, o exterior, si la vía directa es la de menor radio), y si el signo de curvatura es distinto se denominan divergentes.

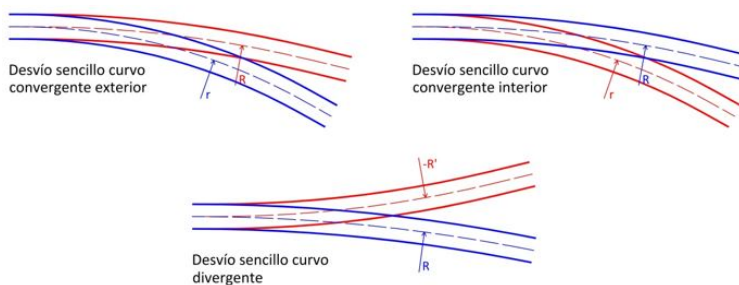


Figure 2.3: Esquema general de un desvío sencillo curvo

- Desvío sencillo simétrico. Se trata de desvíos curvos divergentes en los que tanto la vía directa como la vía desviada tienen el mismo radio de curvatura.

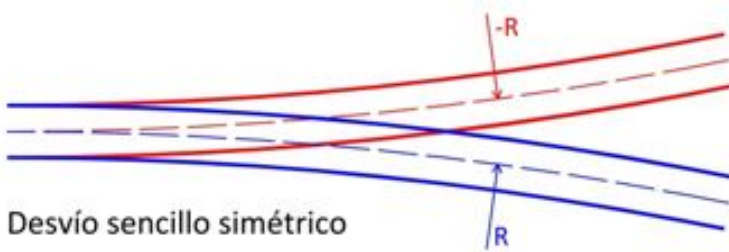


Figure 2.4: Esquema general de un desvío sencillo simétrico

- Desvío doble simétrico. Se trata de desvíos en los que tres vías confluyen en una vía directa común, generalmente recta. Las vías desviadas presentan el mismo radio de curvatura pero con diferente signo, de tal forma que su configuración es simétrica con respecto a la vía directa.

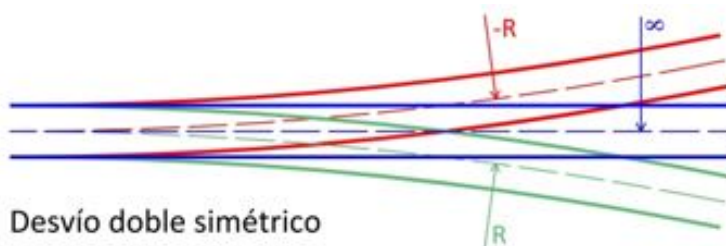


Figure 2.5: Esquema general de un desvío doble simétrico

- Desvío doble disimétrico. Al igual que en el caso anterior, se trata de desvíos en los que tres vías confluyen en una vía común, pero en los que no se guarda relación de simetría.

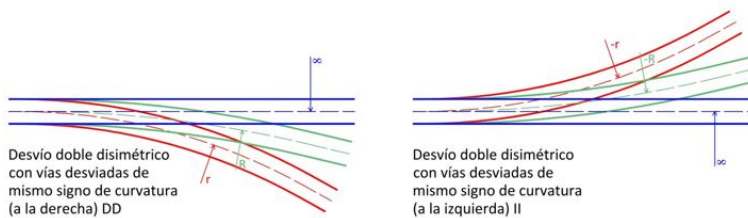


Figure 2.6: Esquema general de un desvío doble disimétrico con vías desviadas de mismo signo de curvatura

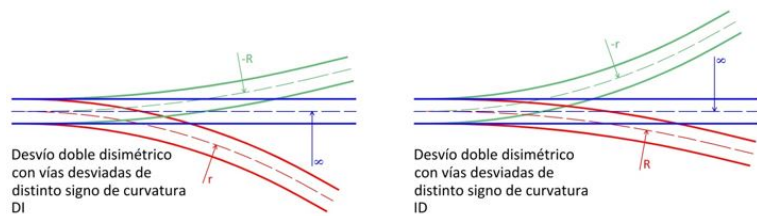


Figure 2.7: Esquema general de un desvío doble disimétrico con vías desviadas de distinto signo de curvatura

Esta clasificación aparece reflejada de forma resumida en la siguiente tabla:

SENCILLOS	Recto		
	Simétrico		
	Curvo	Convergente	Interior
			Exterior
		Divergente	
DOBLES	Simétricos		
	Disimétricos		

Tabla 2.1: Clasificación de los desvíos ferroviarios en base a su geometría

2.2 Parámetros de diseño

La geometría de un desvío se encuentra muy relacionada con el trazado de su vía desviada, y este a su vez por dos parámetros básico: su radio y su tangente.

2.2.1 Radio de la vía desviada. Velocidad

La velocidad máxima por vía desviada en un desvío es función de la máxima aceleración centrífuga sin compensar, la sobreaaceleración o variación de la aceleración transversal a lo largo del tiempo.

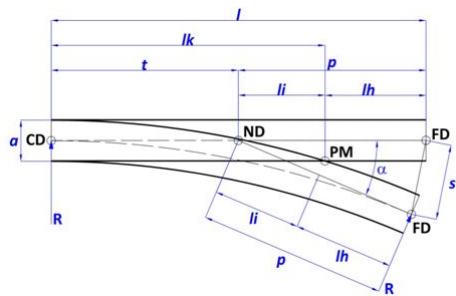


Figure 2.8: Parámetros geométricos de un desvío con cruzamiento curvo

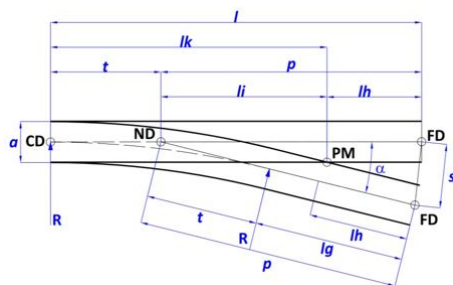


Figure 2.9: Parámetros geométricos de un desvío con cruzamiento recto

De acuerdo con la indicado en la ficha UIC 703 R Layout characteristics for lines used by fast passenger trains (2nd edition), se recomienda el empleo de un valor máximo para la aceleración lateral sin compensar de $0,53 \text{ m/s}^2$.

Track type	1			2			3				4	
Top speed [km/h]	80-120			120-200			≤ 250				250-300	
							Italy		Germany		France	
Size	Reg	Max	Spe	Reg	Max	Spe	Spe	Max	Reg	Max	Reg	Max
Δh [mm]	80	100	130	100	120	150	121		40	60	50	100
aq [m/s ²]	0,53	0,67	0,67	0,67	0,80	1,00	0,81		0,27	0,40	0,33	0,67
Regular line												
Δh [mm]	60	80	120	60	80	100					50	100 0,67
aq [m/s ²]	0,40	0,53	0,80	0,40	0,53	0,67					0,33	0,67
Continuation of line in lateral turnouts and intersections												
he [mm]	50	70	90	70	90	110	100		50	70		110
h [mm] Regular line	150	160		120	150	160	125		65	85	180	
dΔh/dt [mm/s]	25	70	90	25	70		36		13		30	75
daq/dt [m/s ³]	0,17	0,47	0,60	0,17	0,47		0,24		0,08		0,20	0,50
Transition curve with a constant change of curves												
dΔh/dt [mm/s]	50	90	50	90								
daq/dt [m/s ³]	0,33	0,60	0,33	0,60								
Transition curve with a variable change of curves												
dh/dt [mm/s]	28	46	55	28	35	50	38		20		50	60
Constant change of cant with ramp												
dh/dt [mm/s]	56	70		56	70							
Variable change of cant with ramp												
av [m/s ²]	0,20	0,30	0,40	0,20	0,30		0,16	0,24	0,20		0,45	0,6

Tabla 2.2: Parámetros de diseño para el trazado de líneas de alta velocidad de viajeros(FUENTE [UIC 703R Layout characteristics for lines used by fast passenger trains (2nd edition)])

La aceleración transversal sin compensar viene definida por la siguiente expresión:

$$a_{csc} = \frac{v^2}{12.96 * R} \quad (2.1)$$

Los valores habituales considerados en el diseño de desvío en las líneas de alta velocidad españolas son de $0,50 \text{ m/s}^2$.

2.2.2 Velocidades de paso

Los desvíos empleados por el Administrador de Infraestructuras Ferroviarias ADIF en las líneas de alta velocidad españolas son los que aparecen recogidos en el Catálogo de desvíos de la Gerencia de Suministros y Logística de ADIF. Estos desvíos, junto con sus principales características, aparecen reflejados de manera resumida en la siguiente tabla:

Denominación	Velocidad máxima Vía directa [km/h]	Velocidad máxima Vía desviada [km/h]
ANCHO DE VÍA 1.435 mm		
DSI-C-54-250-0,09-CR-D/I	200	45
DSI-C-54-250-0,125-CC-D/I	200	45
DSI-C-54-318-0,09-CR-D/I	200	50
DSI-C-54-318-0,11-CC-D/I	160	50
DSIH-G-60-250-0,11-CC-TC-D/I	200	45
DSIL-G-60-250-0,126-CC-TC-D/I	200	45
DSIH-G-60-318-0,09-CR-TC-D/I	200	50
DSIH-G-60-318-0,11-CC-TC-D/I	200	50
DSIH-GL-60-318-0,09-CR-TC-D/I	200	50
DSIH-GL-60-318-0,11-CC-TC-D/I	200	50
DSIH-G-60-500-0,071-CR-TC-D/I	200	60
DSIH-G-60-500-0,09-CC-TC-D/I	200	60
DSIH-G-60-760-0,071-CC-TC-D/I	200	80
DSIH-G-60-1500-0,042-CR-TC-D/I	200	100
DSIH-AV3-60-760-1:14-CCM-TC-D/I	350	80
DSIH-AV3-60-3000/1500-1:22-CCM-TC-D/I	350	100
DSIH-AV3-60-10000/4000-1:36-CCM-TC-D/I	350	160
DSIH-AV3-60-17000/7300-1:50-CCM-TC-D/I	350	220
ANCHO DE VÍA 1.668 mm (Afecciones a la Red Convencional)		
DS-C-54-250-0,11-CR-D/I	160	40
DS-C-54-318-0,09-CR-D/I	200	50
DS-C-54-318-1/8,5-CC-D/I	200	50
DS-C(+10)-54-318-1/8,5-CC-D/I	200	50
DS-C-54-500-0,075-CR-D/I	200	60
DS-C-54-500-0,09-CC-D/I	200	60
DS-C(+10)-54-500-0,09-CC-D/I	200	60
DSH-P1-60-250-0,11-CR-TC-D/I	200	45
DSH-P1-60-318-0,09-CR-TC-D/I	200	50
DSH-P1-60-318-0,11-CC-TC-D/I	200	50
DSH-P1-60-500-0,071-CR-TC-D/I	200	60
DSH-P1-60-500-0,09-CC-TC-D/I	200	60
DSH-P1-60-1500-0,042-CR-TC-D/I	200	100

Tabla 2.3: Desvíos empleados en las líneas de la red de alta velocidad española (FUENTE: Catálogo de desvíos de la Gerencia de Suministros y Logística de ADIF. [1])

El citado catálogo desaconseja el empleo de los desvíos marcados en color gris en el listado (DS-C-54-500-0,075-CR-D/I y DS-C-54-500-0,09-CC-D/I) en obra nueva. Por otra parte en dicho catálogo también se incluyen los escapes, travesías y breteles empleados en la construcción de la red de alta velocidad española. Esta información es la que aparece reproducida en la siguiente tabla:

CAPÍTULO 2. DESVÍOS Y CRUZAMIENTOS

Denominación	Velocidad máxima Vía directa [km/h]	Velocidad máxima Vía desviada [km/h]
ANCHO DE VÍA 1.435 mm		
DDIL-G(+3)-60-190-0,11-CR-4000	160	30
DDIL-G-60-318-0,09-CR-4000	160	30
DDIL-G-60-318-0,09-CR-4300	160	30

Tabla 2.4: Bretelles empleadas en las líneas de la red de alta velocidad española(FUENTE: Catálogo de desvíos de la Gerencia de Suministros y Logística de ADIF [1])

Denominación	Velocidad máxima Vía directa [km/h]	Velocidad máxima vía desviada [km/h]
ANCHO DE VÍA 1.435 mm		
ESIH-G-60-250-0,11-CC-TC-D/I-4000	200	45
ESIH-G-60-318-0,09-CR-TC-D/I-4000	200	50
ESIH-G-60-318-0,09-CR-TC-D/I-4700	200	50
ESIH-GL-60-318-0,09-CR-TC-D/I-4000	200	50
ESIH-GL-60-318-0,09-CR-TC-D/I-4700	200	50
ESIH-G-60-760-0,071-CC-TC-D/I-4300	200	80
ESIH-G-60-760-0,071-CC-TC-D/I-4700	200	80
ESIH-G-60-1500-0,042-CR-TC-D/I-4000	200	100
ESIH-G-60-1500-0,042-CR-TC-D/I-4500	200	100
ESIH-G-60-1500-0,042-CR-TC-D/I-4700	200	100
ESIH-AV3-60-760-1:14-CCM-TC-D/I-4700	350	80
ESIH-AV3-60-3000/1500-1:22-CCM-TC-D/I-4700	350	100
ESIH-AV3-60-10000/4000-1:36-CCM-TC-D/I-4700	350	160
ESIH-AV3-60-17000/7300-1:36-CCM-TC-D/I-4700	350	220
ESIH-AV3-60-17000/7300-1:50-CCM-TC-D/I-6250	350	220

Tabla 2.5: Escapes empleados en las líneas de la red de alta velocidad española (FUENTE: Catálogo de desvíos de la Gerencia de Suministros y Logística de ADIF [1])

Denominación	Velocidad máxima Vía directa [km/h]	Velocidad máxima Vía desviada [km/h]
ANCHO DE VÍA 1.435 mm		
TSUI-B-54-0,11	100	
TUSI-B-54-190-0,11	100	30
TUDI-B-54-190-0,11	100	30
TUDIH-G(+3)-60-190-0,11-CR-TC	100	30

Tabla 2.6: Travesías empleadas en las líneas de la red de alta velocidad española(FUENTE: Catálogo de desvíos de la Gerencia de Suministros y Logística de ADIF [1])

2.3 Tipología de desvíos

Clasificación de los tipos de desvíos

Los desvíos empleados por ADIF se clasifican en función del procedimiento de ejecución del aparato y de otros factores, como la tipología de la sujeción y las características de los elementos más representativos que componen el aparato (cambio y corazón), dentro de las siguientes seis tipologías:

A, B, C, P (P_1 , P_2 , P_3), G y AV. En los siguientes apartados se describen de forma detallada las principales características de cada una de estas tipologías de desvíos.

Desvío Tipo A

Se trata de desvíos antiguos (diseño de los años 50) que admiten velocidades máximas de paso por vía directa de hasta 140 km/h y por vía desviada de hasta 30 km/h. Emplean carriles RN45 vertical o UIC54 con una inclinación 1:20. Se disponen sobre traviesas de madera de roble o akoga, fijando el carril de manera directa a las mismas mediante tirafondos. Las traviesas se disponen de forma perpendicular a la vía en el caso de la vía directa y en forma de abanico en el resto del aparato. El empleo de este tipo de aparatos no es compatible con la barra larga soldada siendo necesaria la disposición de aparatos de dilatación en los extremos del mismo. Las juntas de carril se disponen embridadas no siendo posible la soldadura. El corazón del desvío es del tipo monobloc de acero austenítico al manganeso, y la sujeción del mismo es rígida mediante tirafondos de vía. El trazado de las agujas es secante, salvo en el caso de los desvíos de radio 500 metros. Estas agujas son elásticas, mecanizadas a partir de perfiles RN45 o UIC54 reforzados en el alma, o bien a partir de perfiles de aguja UIC54A, de calidad 900A según la ficha UIC860-O Technical specification for the supply of *rails*^[2]. En el caso de las contraagujas se emplea también este último tipo de perfil, con la misma calidad. Se emplean placas resbaladeras con sujeción rígida de la contraaguja. El dispositivo empleado para corregir el descuadre de las agujas consiste en almohadillas de empotramiento. Este tipo de desvíos se emplearon hasta finales de la década de los 80, usándose únicamente en la actualidad en vías de apartado de bajo tráfico de la red convencional.



Figure 2.10: Vista general de desvío tipo A FUENTE: Catálogo de Desvíos Ferroviarios de la empresa JEZ [3]

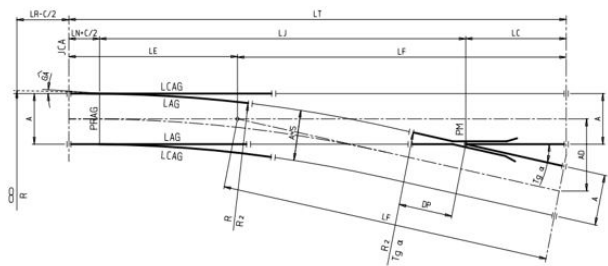


Figure 2.11: Esquema geométrico de desvíos tipo A FUENTE: Catálogo de Desvíos Ferroviarios de la empresa JEZ [3]

En la siguiente tabla aparecen indicadas las principales características de los desvíos tipo A incluidos dentro del Catálogo de desvíos de la gerencia de suministros de ADIF^[1]:

Denominación	R[m]	R[m]	LF[m]	LE[m]	LC[m]	LT[m]	AD[m]	Tga
ANCHO DE VÍA 1.435 mm								
DSI-A-54-189/143-0,130-CR-D/I	190	143	13,388	9,022	2,303	22,410	1,726	0,130
DSI-A-54-189-0,110-CR-D/I	190	190	15,284	8,104	2,200	23,388	1,671	0,110
DSI-A-54-319/202-0,110-CR-D/I	320	203	15,285	13,628	2,200	28,913	1,671	0,110
DSI-A-54-319-0,090-CR-D/I	320	320	18,733	13,382	2,2756	32,115	1,679	0,090
ANCHO DE VÍA 1.668 mm								
DS-A-54-190/180-0,130-CR-D/I	190	180	15,188	9,738	2,303	24,926	1,958	0,130
DS-A-54-320/241-0,110-CR-D/I	320	241	17,409	14,597	2,200	32,006	1,904	0,110
DS-A-54-320/400-0,090-CR-D/I	320	400	21,327	14,679	2,2756	36,006	1,912	0,090

Tabla 2.7: Características geométricas de los desvíos tipo A empleados por ADIF(FUENTE: Catálogo de Desvíos Ferroviarios de la empresa JEZ [3])

La norma que establece los procedimientos de montaje de este tipo de desvíos es la norma N.A.V.7-3-3.1 Calificación de la vía. Desvíos tipo A, instalados en vía^[4], de mayo de 1993. Dicha norma tiene por objeto fijar las tolerancias y los procedimientos a seguir en primera y segunda nivelación de vía, así como en las labores de conservación de los desvíos tipo A.

Desvío Tipo B

Este tipo de desvío presenta la principal ventaja con respecto al anterior de tipo A, de que es compatible con el empleo de la barra larga soldada, no siendo necesario disponer aparatos de dilatación en los extremos del mismo. Dependiendo del modo en que se encuentra diseñado el corazón del desvío para su unión a la barra larga soldada se pueden distinguir tres subtipos:

- 1. Tipo B₁. El corazón del desvío se encuentra soldado a cupones que se pueden soldar directamente a la barra larga soldada.
- 2. Tipo B₂. El corazón del desvío se encuentra embridado y encolado a cupones que se pueden soldar directamente a la barra larga soldada.

3. Tipo B₃. El corazón del desvío se puede embridar y encolar directamente a la barra larga soldada.

La velocidad máxima por vía directa en este tipo de desvío es de 160 km/h, estando comprendida la velocidad por vía desviada entre los 30 y los 60 km/h dependiendo del tipo de desvío. El tipo de carril que emplean es el UIC54, con una inclinación 1:20. Se dispone sobre traviesas de madera. El cruzamiento de este tipo de desvíos cuenta con contracarriles, fabricados a partir de perfiles UIC33, con soportes comunes al carril de la vía. La sujeción es elástica, del tipo SKL12.

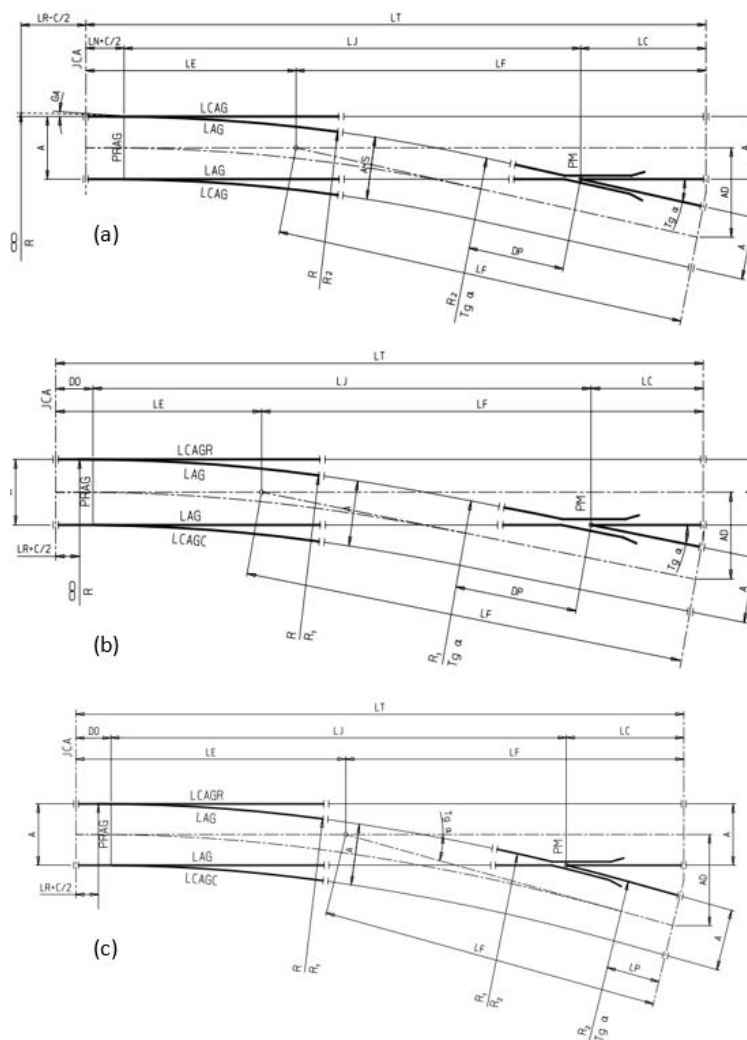


Figure 2.12: Esquema geométrico de desvíos tipo B FUENTE: Catálogo de Desvíos Ferroviarios de la empresa JEZ [3]

CAPÍTULO 2. DESVÍOS Y CRUZAMIENTOS

En la parte superior desvío con geometría secante y corazón de ramas rectas (a).
En la parte inferior desvíos con geometría tangente y rama desviada recta (b) y curva (c) respectivamente

En la siguiente tabla aparecen indicadas las principales características de los desvíos tipo B incluidos dentro del Catálogo de desvíos de la gerencia de suministros de ADIF^[1]:

Denominación	$R[m]$	$R_2[m]$	$LF[m]$	$LE[m]$	$LC[m]$	$LT[m]$	$AD[m]$	$\tan \alpha$
ANCHO DE VÍA 1.435 mm								
DSI-B1-54-190-1:8,5-CR-D/I	190	-	16,772	8,980	4,532	25,752	1,960	0,118
DSI-B1-54-320-0,09-CR-D/I	320	-	21,610	13,388	5,633	34,998	1,937	0,090
DSI-B1-54-500-1:14-CR-D/I	500	-	26,516	18,812	6,400	45,328	1,889	0,071
DSI-B1-54-319/197-0,110-CR-D/I	320	197	18,244	13,888	5,159	32,132	1,995	0,110
DSI-B1-54-319-0,09-CR-D/I	320	320	21,610	13,384	5,633	34,994	1,937	0,090
DSI-B1-54-499/440-0,075-CR-D/I	500	440	25,316	19,029	6,156	44,345	1,893	0,075
DSI-B1-54-100-1:5-CC-D/I	100	-	10,608	9,176	3,553	19,784	2,080	0,200
DSI-B1-54-190-1:7-CC-D/I	190	-	14,011	11,291	4,123	25,302	1,981	0,143
DSI-B1-54-320-1:9-CC-D/I	320	-	18,104	16,713	5,502	34,817	1,999	0,111
DSI-B1-54-499/404-0,09-CC-D/I	500	405	21,853	21,669	5,876	43,522	1,964	0,090
DSI-B1-54-380-1:7-CC-S	380	-	14,008	11,308	4,114	25,332	1,986	0,143
DSI-B1-54-640-1:9-CC-S	380	-	17,925	16,724	5,318	34,661	1,983	0,111
ANCHO DE VÍA 1.668 mm								
DS-B1-54-320/230-0,110-CR-D/I	320	230	20,368	14,597	5,159	34,965	2,227	0,110
DS-B1-54-320/417-0,090-CR-D/I	320	417	24,204	14,679	5,633	38,883	2,170	0,090
DS-B1-54-500-0,075-CR-D/I	500	-	28,427	19,695	6,156	48,122	2,126	0,075
DS-B1-54-320-1:8,5-CC-D/I	320	-	19,036	17,735	5,103	36,771	2,224	0,118
DS-B1-54-500-0,09-CC-D/I	500	-	25,542	23,144	5,876	47,686	2,173	0,090

Tabla 2.8: Características geométricas de los desvíos tipo B empleados por ADIF(FUENTE: Catálogo de Desvíos Ferroviarios de la empresa JEZ [3])

Desvío Tipo C

Las velocidades de paso por vía directa en este tipo de desvíos son de hasta 200 km/h , alcanzándose por vía desviada velocidades de hasta 60 km/h , dependiendo de la geometría de la misma.



Figure 2.13: Vista general de desvío tipo C FUENTE: Catálogo de Desvíos Ferroviarios de la empresa JEZ [3]

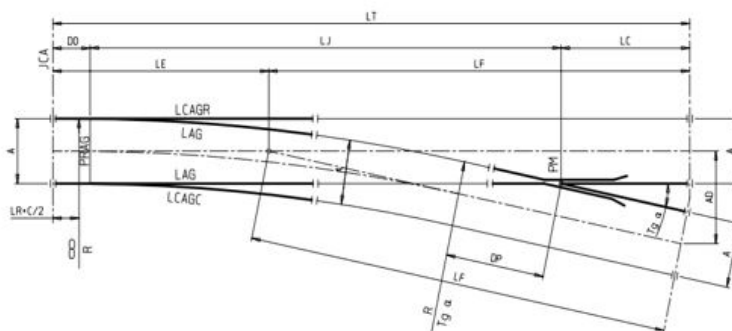
CAPÍTULO 2. DESVÍOS Y CRUZAMIENTOS

El cruzamiento de este tipo de desvío presenta en general corazones monobloc de acero austenítico al manganeso, unido a cuatro cupones de carril mediante soldadura por chisporroteo en taller. Existen algunas variantes con corazón móvil. Cuenta con contracarriles que se realizan a partir de perfiles del tipo UIC33 apoyados sobre soportes del tipo IFAV que permiten también el apoyo del carril exterior de la vía, fijándose a los mismos mediante estribos y clips elásticos del tipo SKL12. Este tipo de desvío se emplea en líneas de ferrocarril de medias y altas prestaciones. A continuación se incluye una tabla con los desvíos que se emplean en las líneas de alta velocidad gestionadas por ADIF dentro de la red ferroviaria española:

Denominación	Velocidad Vía directa [km/h]	Velocidad máxima Vía directa [km/h]
ANCHO DE VÍA 1.435 mm		
DSI-C-54-250-0,09-CR-D/I	200	45
DSI-C-54-250-0,125-CC-D/I	200	45
DSI-C-54-318-0,09-CR-D/I	200	50
DSI-C-54-318-0,11-CC-D/I	160	50
ANCHO DE VÍA 1.668 mm (Afecciones a la Red Convencional)		
DS-C-54-250-0,11-CR-D/I		40
DS-C-54-318-0,09-CR-D/I	200	50
DS-C-54-318-1/8,5-CC-D/I	200	50
DS-C(+10)-54-318-1/8,5-CC-D/I	200	50
DS-C-54-500-0,075-CR-D/I	200	60
DS-C-54-500-0,09-CC-D/I	200	60
DS-C(+10)-54-500-0,09-CC-D/I	200	60

Tabla 2.9: Desvíos tipo C empleados en las líneas de la red de alta velocidad española FUENTE: Catálogo de desvíos de la Gerencia de Suministros y Logística de ADIF. [1]

Las filas sombreadas en gris indican que este tipo de desvíos se encuentran instalados en la red de alta velocidad pero se desaconseja su empleo en líneas de nueva construcción. En las siguientes figuras aparece recogido el esquema geométrico de estos desvíos. Por otra parte dentro del Anejo 1 Catálogo de desvíos de la gerencia de suministros y logística de ADIF, se incluyen los planos generales correspondientes.



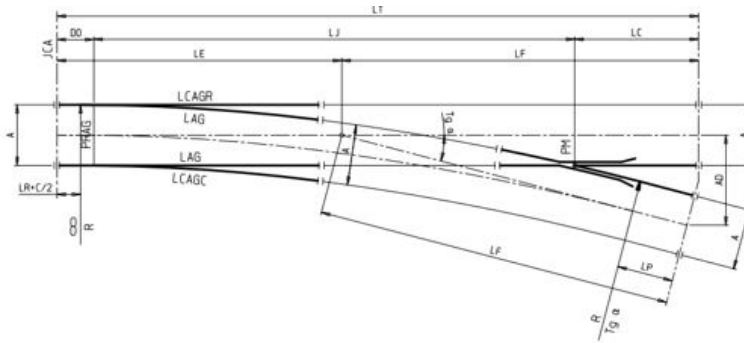


Figure 2.14: Esquema geométrico de desvíos tipo C, En la parte superior desvío con geometría tangente y corazón de ramas rectas. En la parte inferior desvío con geometría tangente y rama desviada curva. FUENTE: Catálogo de Desvíos Ferroviarios de la empresa JEZ [3]

En la siguiente tabla aparecen indicadas las principales características de los desvíos tipo C incluidos dentro del Catálogo de desvíos de la gerencia de suministros de ADIF [1]:

Denominación	$R[m]$	$R_2[m]$	$LF[m]$	$LE[m]$	$LC[m]$	$LT[m]$	$AD[m]$	$\tan \alpha$
ANCHO DE VÍA 1.435 mm								
DSI-C-54-250-0,09-CR-D/I	250	-	21,047	12,124	5,070	33,171	1,887	0,090
DSI-C-54-318-0,09-CR-D/I	318	-	21,047	14,679	5,070	35,726	1,887	0,090
DSIH-C-54-318-0,09-CR-D/I	318	-	21,047	12,124	5,070	35,726	1,887	0,090
DSI-C(+10)-54-318-0,09-CR-D/I	318	-	21,047	14,679	5,070	35,726	1,887	0,090
DSI-C-54-250-0,125-CC-D/I	250	-	16,032	16,447	4,803	32,479	1,989	0,125
DSI-C-54-318-0,110-CC-D/I	318	-	17,969	17,831	5,193	35,800	1,965	0,110
DSIH-C-54-318-0,110-CC-D/I	318	-	17,969	17,831	5,193	35,800	1,965	0,110
DSI-C(+10)-54-318-0,110-CC-D/I	318	-	17,969	17,831	5,193	35,800	1,965	0,110
ANCHO DE VÍA 1.668 mm0,125								
DS-C-54-250-0,110-CR-D/I		-	19,812	14,597	4,603	34,409	2,166	0,110
DS-C-54-318-0,09-CR-D/I	318	-	23,641	14,679	5,070	38,320	2,119	0,090
DS-C-54-500-0,075-CR-D/I	500	-	27,858	18,692	5,587	46,550	2,083	0,075
DS-C-54-318-1:8,5-CC-D/I	318	-	19,035	19,033	5,103	38,069	2,224	0,118
DS-C(+10)-54-318-1:8,5-CC-D/I	318	-	19,035	19,033	5,103	38,069	2,224	0,118
DS-C-54-500-0,09-CC-D/I	500		22,417	22,417	4,027	44,834	2,009	0,090
DS-C(+10)-54-500-0,09-CC-D/I	500		22,417	22,417	4,027	44,834	2,009	0,090

Tabla 2.10: Características geométricas de los desvíos tipo C empleados por ADIF FUENTE: Catálogo de Desvíos Ferroviarios de la empresa JEZ [3]

Las normas que establecen los procedimientos de montaje de este tipo de desvíos son la norma N.A.V.7-3-3.4 Calificación de la vía. Desvíos tipo C, ensamblados en explanación^[7], de noviembre de 1994, y la norma N.A.V.7-3-3.5 Calificación de la vía. Desvíos tipo C, instalados en vía^[8], de diciembre de 1994. Dichas normas tiene por determinar las operaciones, controles, sondeos y tolerancias que deben realizarse para calificar y recibir los desvíos tipo C, tanto para su ensamblado en explanación, en el primero de los casos, como para su montaje en vía, en el segundo.

Desvío Tipo P

Se trata de una tipología de desvío patentada por la empresa JEZ, concebidos para su instalación en líneas de ancho ibérico (1668 mm), pero con la posibilidad de su conversión a ancho internacional (1435 mm) de una forma relativamente sencilla (aprovechando hasta el 98% de sus componentes en el caso de desvío con corazón de rama recta).

Permiten la circulación por vía directa con una velocidad de hasta 220 km/h. La velocidad por vía desviada depende del modelo, pero el rango de velocidades se encuentra comprendido entre los 45 y los 100 km/h. El tipo de carril empleado en su diseño es del tipo UIC60 con una inclinación 1:20. Este tipo de desvío se dispone sobre traviesas de hormigón pretensado en el caso de vía sobre balasto, pero es posible su empleo en vía placa sin traviesas con fijaciones del tipo PAD. En el caso de las traviesas de hormigón pretensado estas se disponen en forma de abanico a lo largo de toda la geometría del desvío. La sujeción del carril es de tipo elástico indirecto en toda la geometría del desvío, mediante clips del tipo SKL12. Al igual que en las tipologías anteriores de desvío queda solventado el problema de tensiones generado por la barra larga soldada, siendo posible adoptar este procedimiento constructivo.



Figure 2.15: Vista general de desvío tipo P FUENTE: Catálogo de Desvíos Ferroviarios de la empresa JEZ [3]

El subtipo P1, empleado actualmente por ADIF, cuenta con resbaladeras de rodillos y traviesas cajón para el accionamiento de las agujas. La inclinación de las agujas es también 1:20. A continuación se incluye una tabla con los desvíos que se emplean en las líneas de alta velocidad gestionadas por ADIF dentro de la red ferroviaria española:

CAPÍTULO 2. DESVÍOS Y CRUZAMIENTOS

Denominación	Velocidad máxima Vía directa [km/h]	Velocidad máxima Vía directa [km/h]
ANCHO DE VÍA 1.668 mm (Afecciones a la Red Convencional)		
DSH-P1-60-250-0,11-CR-TC-D/I-TC	200	45
DSH-P1-60-318-0,09-CR-TC-D/I-TC	200	50
DSH-P1-60-318-0,11-CC-TC-D/I-TC	200	50
DSH-P1-60-500-0,071-CR-TC-D/I-TC	200	60
DSH-P1-60-500-0,09-CC-TC-D/I-TC	200	60
DSH-P1-60-1500-0,042-CR-TC-D/I-TC	200	100

Tabla 2.11: Desvíos tipo P empleados en las líneas de la red de alta velocidad española FUENTE: Catálogo de desvíos de la Gerencia de Suministros y Logística de ADIF. [1]

En las siguientes figuras aparece recogido el esquema geométrico de estos desvíos. Por otra parte dentro del Anejo 1 Catálogo de desvíos de la gerencia de suministros y logística de ADIF, se incluyen los planos generales correspondientes.

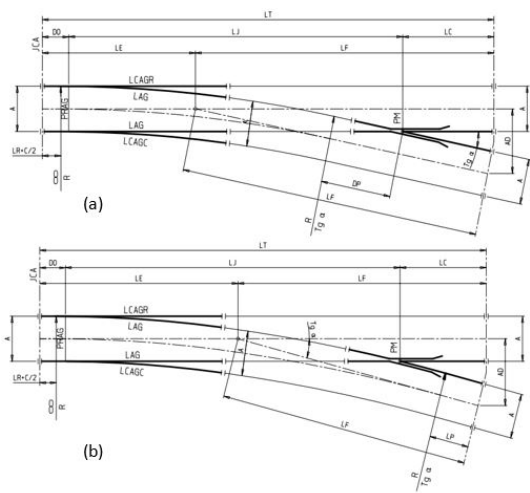


Figure 2.16: Esquema general de la geometría de los desvíos tipo G. En la parte superior desvío con geometría tangente y corazón de ramas rectas (a). En la parte inferior desvío con geometría tangente y rama desviada curva (b) FUENTE: Catálogo de Desvíos Ferroviarios de la empresa JEZ [3]

En la siguiente tabla aparecen indicadas las principales características de los desvíos tipo P incluidos dentro del Catálogo de desvíos de la gerencia de suministros de ADIF[1]:

Denominación	$R[m]$	$R_2[m]$	$LF[m]$	$LE[m]$	$LC[m]$	$LT[m]$	$AD[m]$	$\tan \alpha$
ANCHO DE VÍA 1.435 mm								
DSH-P1-60-318-0,09-CR-D/I-TC	318	-	23,733	14,679	7,756	38,412	2,127	0,090
DSH-P1-60-500-0,071-CR-D/I-TC	500	-	29,065	17,805	8,950	46,870	2,071	0,071
DSH-P1-60-250-0,110-CR-D/I-TC	250	-	19,513	14,597	6,434	34,110	2,134	0,110
DSH-P1-60-1500-0,042-CR-D/I-TC	1500	-	47,661	31,469	13,480	79,130	2,000	0,042
DSH-P1-60-318-0,110-CC-D/I-TC	318	-	19,369	17,831	4,165	37,200	2,118	0,110
DSH-P1-60-500-0,09-CC-D/I-TC	500	-	23,203	22,417	5,388	45,620	2,080	0,090

Tabla 2.12: Características geométricas de los desvíos tipo P empleados por ADIF FUENTE: Catálogo de Desvíos Ferroviarios de la empresa JEZ [3]

Desvío Tipo G

La geometría de este tipo de desvío se basa en la geometría de los desvíos tipo P de ancho internacional descritos en el apartado anterior. La velocidad máxima en vía directa es de 220 km/h, con una velocidad máxima por vía desviada comprendida entre los 40 km/h y los 100 km/h dependiendo de la geometría del apartado, y en particular de la geometría de su vía desviada. El tipo de carril empleado es del tipo UIC60 con una inclinación 1:20 en todo el desvío. Las agujas también presentan un camino de rodadura con esta inclinación, mecanizándose a partir de un tipo de carril UIC60B. La zona del cambio presenta algunas nuevas mejoras tecnológicas como los cojinetes de resbalamiento sin engrase o el accionamiento de las agujas mediante dispositivos de traviesa cajón. Al igual que en los anteriores tipos de desvíos este tipo es compatible con la ejecución de la vía soldada sin juntas. Este tipo de desvío se dispone sobre traviesas de hormigón pretensado, siendo posible su empleo en vía en placa con sistemas antivibratorio. La distribución de traviesas se realiza en forma de abanico a lo largo de toda la geometría del desvío. La sujeción del carril es indirecta, mediante clips elásticos del tipo SKL12. En el caso de la disposición de este desvío en vía en placa se suelen emplear sistemas de fijación del tipo PAD sin traviesas.



Figure 2.17: Vista general de desvío tipo G FUENTE: Catálogo de Desvíos Ferroviarios de la empresa JEZ [3]

A continuación se incluye una tabla con los desvíos que se emplean en las líneas de alta velocidad gestionadas por ADIF dentro de la red ferroviaria española:

CAPÍTULO 2. DESVÍOS Y CRUZAMIENTOS

Denominación	Velocidad máxima Vía directa	Velocidad máxima Vía desviada
ANCHO DE VÍA 1.668 mm (Afecciones a la Red Convencional)		
DSIH-G-60-250-0,110-CC-D/I-TC	200	45
DSIL-G-60-250-0,126-CC-D/I-TC	200	45
DSIH-G-60-318-0,090-CR-D/I-TC	200	50
DSIH-G-60-318-0,110-CC-D/I-TC	200	50
DSIH-GL-60-318-0,090-CR-D/I-TC	200	50
DSIH-GL-60-318-0,110-CC-D/I-TC	200	50
DSIH-G-60-500-0,071-CR-D/I-TC	200	60
DSIH-G-60-500-0,090-CC-D/I-TC	200	60
DSIH-G-60-760-0,071-CC-D/I-TC	200	80
DSIH-G-60-1500-0,042-CR-D/I-TC	200	100

Tabla 2.13: Desvíos tipo G empleados en las líneas de la red de alta velocidad española FUENTE: Catálogo de desvíos de la Gerencia de Suministros y Logística de ADIF. [1]

En este listado la diferencia entre los desvíos DSIH-G-60-318-0,090-CR-D/I-TC y DSIH-GL-60-318-0,090-CR-D/I-TC, y entre los desvíos DSIH-G-60-318-0,110-CC-D/I-TC y DSIH-GL-60-318-0,110-CC-D/I-TC, es que los del tipo GL van equipados con dos accionamientos en el cambio.

En las siguientes figuras aparece recogido el esquema geométrico de estos desvíos. Por otra parte dentro del Anejo 1 Catálogo de desvíos de la gerencia de suministros y logística de ADIF, se incluyen los planos generales correspondientes.

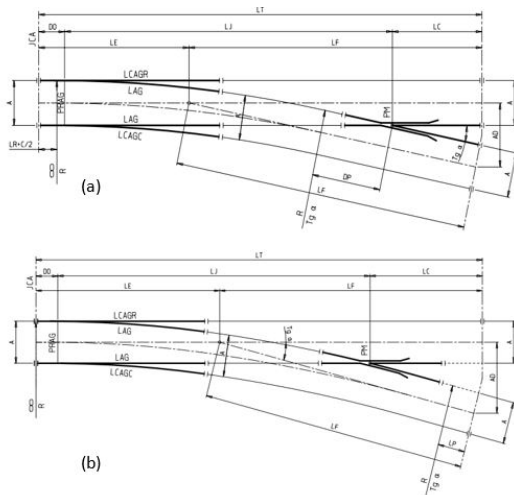


Figure 2.18: Esquema general de la geometría de los desvíos tipo G
En la parte superior desvío con geometría tangente y corazón de ramas rectas (a). En la parte inferior desvío con geometría tangente y rama desviada curva (b)
FUENTE: Catálogo de Desvíos Ferroviarios de la empresa JEZ [3]

En la siguiente tabla aparecen indicadas las principales características de los desvíos tipo G incluidos dentro del Catálogo de desvíos de la gerencia de suministros de ADIF [1]:

Denominación									
ANCHO DE VÍA 1.435 mm									
DSIH-G-60-250-0,110-CC-D/I-TC	250	-	17,719	14,597	4,641	32,316	1,937	0,110	
DSIH-G-60-318-0,090-CR-D/I-TC	318	-	21,333	14,679	5,356	36,012	1,912	0,090	
DSIH-GL-60-318-0,090-CR-D/I-TC	318	-	21,333	14,679	5,356	36,012	1,912	0,090	
DSIH-G-60-318-0,110-CC-D/I-TC	318	-	18,169	17,831	5,393	36,000	1,987	0,110	
DSIH-GL-60-318-0,110-CC-D/I-TC	318	-	18,169	17,831	5,393	36,000	1,987	0,110	
DSIH-G-60-500-0,071-CR-D/I-TC	500	-	26,070	17,805	5,955	43,875	1,857	0,071	
DSIH-G-60-500-0,090-CC-D/I-TC	500	-	23,203	22,417	7,770	45,620	2,080	0,090	
DSIH-G-60-760-0,071-CR-D/I-TC	760	-	27,108	27,108	7,512	54,216	1,931	0,071	
DSIH-G-60-1500-0,042-CR-D/I-TC	1500	-	42,845	31,469	8,664	74,314	1,798	0,042	

Tabla 2.14: Principales características geométricas de los desvíos tipo G empleados en las líneas de la red de alta velocidad española FUENTE: Catálogo de Desvíos Ferroviarios de la empresa JEZ [3]

Tal y como se ha comentado anteriormente, todos los desvíos descritos en la tabla anterior son susceptibles de ser empleados en vía en placa de hormigón sin traviesas con fijaciones elásticas del tipo PAD, siendo necesario en estos casos modificar la nomenclatura de los mismos, sustituyendo la letra H por una P.

Desvío Tipo AV



Figure 2.19: Desvío tipo AV FUENTE: Catálogo de Desvíos Ferroviarios de la empresa JEZ [3]

Este tipo de desvíos incorporan la mayor parte de las innovaciones tecnológicas desarrolladas hasta el momento:

- Corazón de punta móvil con elementos de acero al manganeso.
- Carril UIC60 endurecido en calidad R350HT según CEN. La inclinación del carril es 1:20.
- Accionamiento con traviesa cajón, tanto en el cambio como en el corazón, con cerrojos del tipo HRS.
- Diseño geométrico optimizado de la vía desviada con transición en meseta (clotoide-circular-clotoide), en la mayor parte de los modelos (salvo en el de radio 760 metros, donde la geometría de la vía desviada es una curva circular).

- Empleo de cojinetes de resbalamiento (tipo Brandeburgo) que permiten eliminar el engrase en el cambio de aguja.
- Agujas con camino de rodadura inclinado 1:20 con perfil UIC60B y geometría optimizada FAKOP.

Se suelen disponer sobre traviesas de hormigón pretensado, empleando como elementos de sujeción placas vulcanizadas de alta elasticidad vertical. A continuación se incluye una tabla con los desvíos que se emplean en las líneas de alta velocidad gestionadas por ADIF dentro de la red ferroviaria española:

Denominación	Velocidad máxima Vía directa	Velocidad máxima Vía desviada
ANCHO DE VÍA 1.668 mm (Afecciones a la Red Convencional)		
DSIH-AV3-60-760-1:14-CCM-TC-D/I	350	80
DSIH-AV3-60-3000/1500-1:22-CCM-TC-D/I 350 100	350	100
DSIH-AV3-60-10000/4000-1:36-CCM-TC-D/I	350	160
DSIH-AV3-60-17000/7300-1:50-CCM-TC-D/I	350	220

Tabla 2.15: Desvíos tipo AV empleados en las líneas de la red de alta velocidad española FUENTE: Catálogo de desvíos de la Gerencia de Suministros y Logística de ADIF [1]

En las siguientes figuras aparece recogido el esquema geométrico de estos desvíos. Por otra parte dentro del Anejo 1 Catálogo de desvíos de la gerencia de suministros y logística de ADIF, se incluyen los planos generales correspondientes.

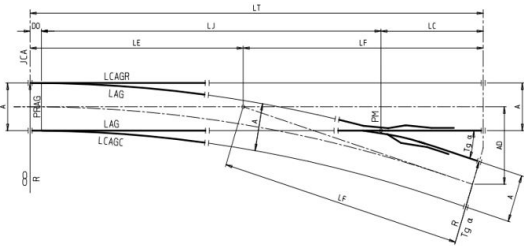


Figure 2.20: Esquema geométrico de desvíos tipo AV FUENTE: Catálogo de Desvíos Ferroviarios de la empresa JEZ [3]

En la siguiente tabla aparecen indicadas las principales características de los desvíos tipo AV incluidos dentro del Catálogo de desvíos de la gerencia de suministros de ADIF [1]:

Denominación	$R[m]$	$R_2[m]$	$LF[m]$	$LE[m]$	$LC[m]$	$LT[m]$	$AD[m]$	$\tan \alpha$
DSIH-AV3-60-760-1:14-CCM-D/I-TC	760	-	27,108	27,108	7,513	54,216	1,931	0,071
DSIH-AV3-60-3000/1500-1:22-CCM-D/I-TC	3.000	1.500	50,709	41,594	9,073	80,980	-	0,045
DSIH-AV3-60-10000/4000-1:36-CCM-D/I-TC	10.000	4.000	83,482	68,003	11,939	129,899	-	0,028
DSIH-AV3-60-17000/7300-1:50-CCM-D/I-TC	17.000	7.300	113,749	93,673	18,241	180,000	-	0,020

Tabla 2.16: Principales características geométricas de los desvíos tipo AV empleados en las líneas de la red de alta velocidad española FUENTE: Catálogo de Desvíos Ferroviarios de la empresa JEZ [3]

Resumen

Una vez descritas de forma detallada las características de las diferentes tipologías de desvíos empleados por ADIF, se recoge en la siguiente tabla un resumen de los aspectos más relevantes de cada una de ellas:

Características		Tipo de desvío					
		A	B	C	P	G	AV
Generales	Velocidad máxima por vía directa	140 km/h	160km/h	220km/h	220km/h	220km/h	350km/h
	Traviesas	Madera	Madera	Madera u Hormigón	Hormigón	Hormigón	Hormigón
	Disposición de traviesas	Perpendicular vía directa y bisectriz del cruzamiento	Semiabanico	Semiabanico	Semiabanico	Semiabanico	Semiabanico
	Tipo de sujeción	Rígida	Mixta rígida y elástica indirecta	Elástica indirecta	Elástica indirecta	Elástica indirecta	Elástica indirecta
	Relación con vías adyacentes	Juntas embridadas	Soldable	Soldable	Soldable	Soldable	Soldable
	Protección frente a dilataciones	Si	No	No	No	No	No
	Tipo de agujas	Elásticas	Elásticas	Elásticas	Elásticas	Elásticas	Elásticas
Especificaciones de cada zona	Cambio	Trazado de aguja	Secante	Tangente	Tangente	Tangente	Tangente
		Perfil de aguja	Carril especial de alma ancha	Carril especial de alma ancha	Bajo asimétrico	Bajo asimétrico	Bajo asimétrico
		Sujeción	Tirafondos	Tirafondos con arandelas	Elástica indirecta	Elástica indirecta	Elástica indirecta
		Dispositivo antidescuadre	Almohadillas	Almohadillas	Muñón y horquilla	Muñón y horquilla	Muñón y horquilla
		Relación con vías adyacentes	Juntas embridadas	Soldable	Soldable	Soldable	Soldable
		Tipo	Monobloque acero al mangneso	Monobloque acero al mangneso	Monobloque acero al mangneso	Monobloque acero al mangneso	Monobloque acero al mangneso
	Corazón	Relación con vías adyacentes	Juntas embridadas	Soldable	Soldable	Soldable	Soldable
		Sujeción	Tirafondos	Elástica indirecta	Elástica indirecta	Elástica indirecta	Elástica indirecta
		Perfil	UIC-33	UIC-33	UIC-33	UIC-33	UIC-33
	Contracarril	Relación con el corazón	Acodado al corazón	Palastro al corazón aislado eléctricamente	Palastro al corazón aislado eléctricamente	Ninguna	Ninguna
		Sujeción del contracarril	Directa a la traviesa	Con soporte único carril-contracarril	Con soporte único carril-contracarril	Con soporte único carril-contracarril	Con soporte único carril-contracarril
		Sujeción del carril	Tirafondos	Clip elástico	Clip elástico	Clip elástico	Clip elástico
Otras	Adaptación ancho vía	No	No	No	Si	No	No
	Traviesa cajón	No	No	No	Si	Si	Si
	Resbaladeras de rodillos	No	No	No	No	Si	Si

Tabla 2.17: Resumen de las principales características de los diferentes tipo de desvíos empleados por ADIF

2.4 Representación gráfica y nomenclatura

2.4.1 Representación gráfica

Generalmente los desvíos ferroviarios se suelen representar mediante su representación reducida. En esta representación aparecen identificados los principales parámetros que permiten su cálculo

y posterior replanteo e implantación en vía. El procedimiento para efectuar esta representación es el siguiente:

- Definición de la vía directa por su eje.
- Definición de la vía desviada por la tangente a su eje al final del desvío.
- Representación mediante un trazo corto de la proyección sobre el eje de la vía directa de la junta de contraaguja del hilo exterior (comienzo del desvío (CD))
- Representación mediante un trazo corto de la proyección de los finales del desvío sobre la vía directa y la vía desviada respectivamente.
- Unión de los dos finales de desvío mediante una línea recta.
- En el caso de que el desvío se accione in situ el triángulo se sombrea mediante un rayado que forma 45° con el eje de vía directa. En el caso más habitual de que el desvío se accione a distancia este triángulo se sombrea mediante un relleno sólido de color negro.

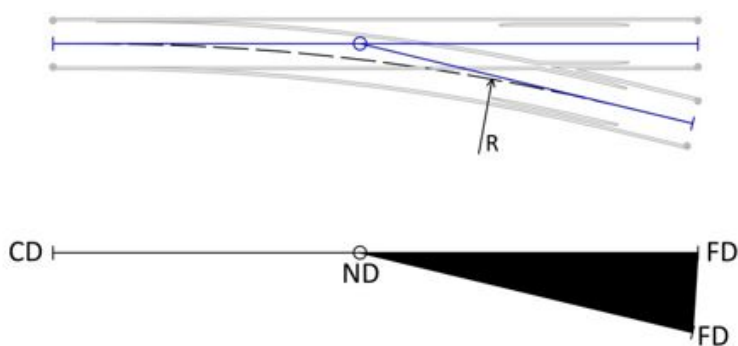


Figure 2.21: Esquema de representación reducida de un desvío ferroviario

En base a esta representación se puede determinar si un desvío presenta un corazón recto o un corazón curvo. Si la relación $CD-ND=ND-FD$, entonces el desvío es de corazón curvo. En caso contrario, esto es si $CD-ND \neq ND-FD$, entonces el desvío presenta un corazón recto.

Nomenclatura de los desvíos

El criterio adoptado por la administración ferroviaria española hasta la fecha para denominar las diferentes tipologías de desvíos es el que aparece recogido en la norma NRV 3-6-0.0 Desvíos. Descripción general, cuya primera edición data del 10 de julio de 1991. Estos criterios se han ido adaptando a la aparición de nuevas tipologías de desvíos, sin embargo, la base para la definición del nombre o matrícula del desvío sigue siendo la misma. Así, la matrícula con la que se denomina de manera unívoca a un desvío está compuesta por un total de siete campos que representan cada una de las siguientes características del desvío.



Figure 2.22: Nomenclatura de desvíos en la administración ferroviaria española

- (a) El primer campo indica que se trata de un desvío sencillo (DS). En el caso de escapes estos dos caracteres se sustituyen por ES (escape sencillo), E (escape mixto) o EC (escape combinado). En el caso de dobles diagonales los caracteres empleados son DD (doble diagonal). Por último, en el caso de travesías los caracteres empleados son TSU, TUS o TUD. Los caracteres adicionales que se pueden incluir son los relativos al ancho de vía (I, ancho internacional UIC (1.435 mm); M, para ancho métrico (1.000 mm); y omitiéndose en el caso de ancho ibérico (1.668 mm)), y al hecho de que el desvío se disponga sobre traviesas de hormigón (H) (en el caso de empleo de traviesas de madera este campo se omite). En aquellos casos en los que el desvío se dispone sobre vía en placa se añade un carácter adicional a este campo identificado por la letra P (vía en placa). Si se omiten los valores H (traviesas de hormigón) y P (vía en placa) se sobreentiende que el desvío se dispone sobre traviesas de madera. En el ejemplo indicado en la figura se trataría de un desvío sencillo (DS), para ancho internacional UIC (I), sobre traviesas de hormigón (H).
- (b) El segundo campo indica el tipo de desvío, en función del procedimiento de ejecución del aparato y otros factores (tipología de la sujeción y características de los elementos más representativos que componen el aparato (cambio y corazón)). Estas tipologías de desvíos son las que aparecen recogidas en el apartado 4 del presente documento, y pueden ser de los siguientes tipo: A, B, C, P (P_1 , P_2 , P_3), G y AV. En el ejemplo indicado en la figura se trataría de un desvío con carril UIC60 de 60 kg/m.
- (c) El tercer campo hace referencia a la clase de carril empleado en el desvío. El valor de este campo es de 45 para el carril de 45 kg/m, de 54 para el carril UIC 54 (54 kg/m) y de 60 en el caso del carril UIC 60 (60 kg/m). En el ejemplo indicado en la figura se trataría de un desvío de tipo AV.
- (d) El cuarto campo indica el radio de la vía desviada. El valor indicado representa el radio de la vía desviada, medido en su eje y expresado en metros. En el caso de que la vía desviada presente varios radios de curvatura, estos se disponen ordenados de punta a talón del aparato. En el ejemplo indicado en la figura la vía desviada contaría con un único radio de curvatura de valor 5.000 metros.
- (e) El quinto campo indica la tangente del ángulo de cruzamiento. Su valor se expresa en tanto por uno, ya sea en formato decimal (0,110 p.e.), o en formato fracción (1:8 p.e.) En el ejemplo indicado en la figura el valor de la tangente del ángulo de cruzamiento sería de 0,014 (expresado en formato decimal).
- (f) El sexto campo hace referencia al tipo de corazón del desvío. Así, dependiendo del tipo de corazón podemos encontrar:

- Desvíos de corazón de ramas rectas (CR)
- Desvío de corazón de rama desviada curva (CC)
- Desvíos de corazón simétrico (S)

En ocasiones se suele incluir entre el sexto y el séptimo campo un parámetro adicional que indica si el corazón es de punta móvil (PM), pero habitualmente se suele indicar que el corazón es de este tipo en el sexto campo mediante los caracteres CM (corazón de punta móvil) En el ejemplo indicado en la figura el corazón del desvío es de ramas rectas (CR).

- (g) Por último, el séptimo campo indica la mano o sentido de desviación del desvío. Este sentido se define situándose al comienzo del cambio y mirando hacia el cruzamiento, pudiendo tratarse de:

- Desvíos a la derecha (D)
- Desvíos a la izquierda (I)

Este campo no aplica en el caso de desvíos simétricos En el ejemplo indicado en la figura se trata de un desvío a derechas (D).

- (h) En el caso de que en el aparato se empleen traviesas cajón para alojar el o los accionamientos del mismo, se suele incluir un octavo campo, identificado por las siglas TC (traviesa cajón).
- (i) Por último, y solo en el caso de escapes, se incluye un último parámetro numérico que indica la distancia entre ejes de vías expresada en milímetros.

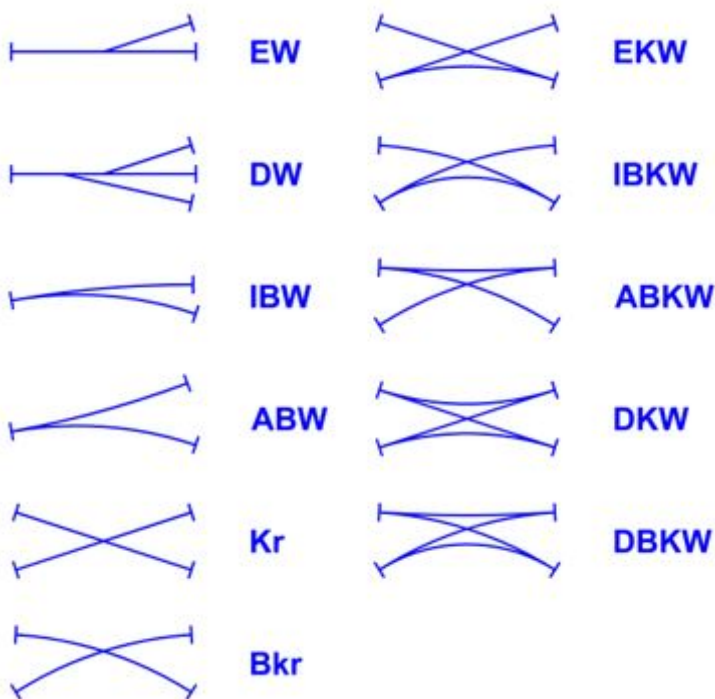
La nomenclatura empleada por otras administraciones ferroviarias es, en algunos aspectos, distinta a la española. Así por ejemplo, la administración ferroviaria alemana identifica los desvíos del siguiente modo:



Figure 2.23: Nomenclatura de desvíos en la administración ferroviaria alemana

- (a) El primer campo indica el tipo de aparato de vía de que se trata de acuerdo con la siguiente clasificación:
- EW (Einfache Weiche)
 - DW (Doppelweiche)
 - IBW (Innenbogenweiche)
 - ABW (Aussenbogenweiche)
 - Kr (Kreuzung)

- BKr (Bogenkreuzung)
- EKW (Einfache Kreuzungsweiche)
- IBKW (Innenbogen-Kreuzungsweiche)
- ABKW (Aussenbogen-Kreuzungsweiche)
- DKW (Doppelte Kreuzungsweiche)
- DBKW (Doppelte Bogenkreuzungsweiche)



- (b) El segundo campo hace referencia a la clase de carril empleado en el desvío. El valor de este campo es de 45 para el carril de 45 kg/m, de 54 para el carril UIC 54 y de 60 en el caso del carril UIC 60.
- (c) El tercer campo indica el radio de la vía desviada. El valor indicado representa el radio de la vía desviada, medido en su eje y expresado en metros.
- (d) El cuarto campo indica la tangente del ángulo de cruzamiento. Su valor se expresa indicando en tanto por uno, empleando el formato 1:n, donde n representa el módulo.
- (e) El quinto campo indica la mano o sentido de desviación del desvío. Este sentido se define situándose al comienzo del cambio y mirando hacia el cruzamiento, pudiendo tratarse de
- Desvíos a la derecha (rechts) (R)

- Desvíos a la izquierda (links) (L)

(g) El sexto campo hace referencia al tipo de aguja del cambio:

- Espadines articulados Gelenkzungen (Gz)
- Espadines elásticos Federzungen (Fz)
- Espadines elásticos de carril Federschienenzungen (Fschz)

(h) El séptimo campo indica el tipo de elemento soporte del desvío, pudiendo distinguirse entre:

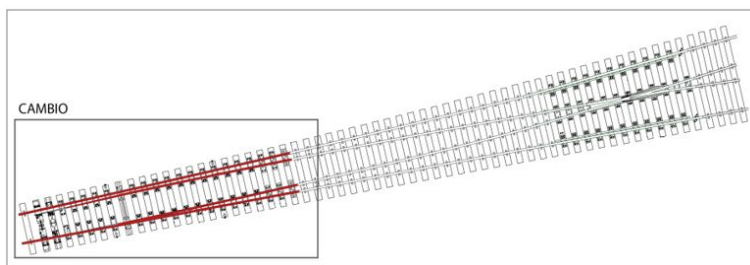
- Traviesas de acero (St)
- Traviesas de madera (H), niveles de dureza (madera dura (Hh), madera blanda (Wh))
- Traviesas de hormigón (B)

(i) Por último, el último campo hace referencia a que el corazón del desvío es de punta móvil, indicándolo con las letras fb.

2.5 Principales componentes del desvío

2.5.1 El cambio

El cambio es la parte del desvío que permite el desvío de las circulaciones separando dos a dos las filas de carriles. Los principales elementos que lo componen son: agujas, contraagujas, sistema horquilla-muñón, topes de aguja, cojinetes de resbalamiento y dispositivos de encerrojamiento. Aparte de estos elementos en el cambio también se integran los dispositivos de accionamiento y encerrojamiento. Estos dispositivos tienen la misión de desplazar solidariamente las agujas del desvío hasta disponerlas de forma acoplada a la contraaguja correspondiente en el caso de los dispositivos de accionamiento, y garantizar que la aguja se mantiene acoplada a la contraaguja correspondiente y se consigue la entrecalle mínima necesaria entre la aguja y la contraaguja opuestas para el paso de seguro de las circulaciones en el caso de los dispositivos de encerrojamiento.



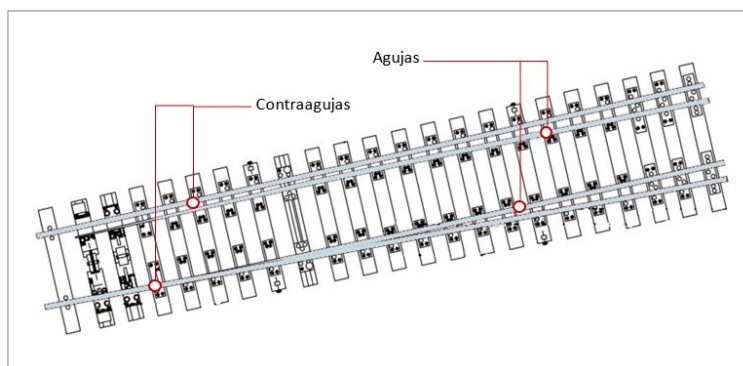


Figure 2.24: Esquema general y componentes del cambio

A continuación, en los siguientes apartados, se describen de forma detallada las características y funciones de cada uno de estos elementos.

Agujas

Las agujas son los elementos más característicos de un desvío ferroviario. Se trata de un par de piezas dispuestas en la parte interior de las contraagujas, estando unidas solidariamente entre sí mediante tirantes en uno o varios puntos. Cuando una aguja se encuentra acoplada a su contraaguja correspondiente la otra se encuentra separada, dejando un hueco libre que permite el paso de las pestañas de las ruedas. Cualquier otra combinación de posiciones provocaría el descarrilamiento de las ruedas. El movimiento de las mismas permite determinar la dirección de circulación de los vehículos en el desvío. La norma a nivel europeo que regula la fabricación de estos elementos del cambio es la norma EN 13232-5:2005+A1:2011 Aplicaciones ferroviarias. Vía. Aparatos de Vía. Parte 5: Agujas^[9]. Originalmente las agujas se fabricaban a partir de carriles estándar cepillando la cabeza y el patín tanto de la aguja como de la contraaguja para conseguir el acoplamiento perfecto de ambas. Este procedimiento planteaba el principal problema del debilitamiento del comportamiento resistente tanto de la aguja como de la contraaguja al reducirse sus dimensiones lo que provocaba una menor estabilidad frente a las acciones a las que estaban sometidas. Actualmente, y para resolver la problemática antes mencionada, las agujas se fabrican a partir de perfiles especiales de menor altura y mayor robustez. Los parámetros que se deben tener en cuenta para el diseño de las agujas son los que se relacionan a continuación:

- La sección de la aguja deberá de tener una rigidez transversal tal que no se produzcan deformaciones plásticas como consecuencia de las solicitaciones ejercidas por la pestaña de la rueda.
- El diseño de la aguja deberá de garantizar una entrecalle mínima entre aguja y contraaguja. En las dimensiones de esta entrecalle influyen tanto las dimensiones y flexibilidad de la aguja como el número de puntos de accionamiento con que cuenta el cambio.
- El diseño de la aguja deberá permitir una correcta transición con el perfil estándar que se

dispone a continuación de su talón.

- El perfil empleado para la aguja deberá de presentar una buena facilidad para su laminación
- El diseño de la aguja deberá de tratar de reducir en la medida de los posibles los esfuerzos de maniobra necesarios en los puntos de accionamiento.
- El diseño planteado para la aguja deberá facilitar las labores de montaje y acoplamiento con su correspondiente contraaguja.

A la vista de lo anterior, la solución más extendida es el empleo de agujas realizadas en perfil bajo asimétrico. Este tipo de perfil presenta una mejor distribución de su sección al tener las alas del patín de diferente dimensión, y una mayor rigidez transversal al reducirse la altura del alma, lo que permite además garantizar el mantenimiento de la entrecalle aguja-contraaguja. Se mejoran las condiciones de acoplamiento y montaje con la contraaguja, reduciendo la necesidad de mecanizado de su perfil. El empleo del perfil bajo de la aguja permite además realizar la fijación elástica de la contraaguja en su lado interior de la placa resbaladera tal y como se verá más adelante. El problema de la continuidad del perfil de la aguja con el de los carriles intermedios del desvío en el talón de la misma se resuelve mediante el forjado de la transición del carril de acuerdo con la geometría de diseño. Para evitar la merma de resistencia del material debido a la forja en esta zona, se suele aplicar sobre la misma un tratamiento térmico inductivo controlado por ordenador.

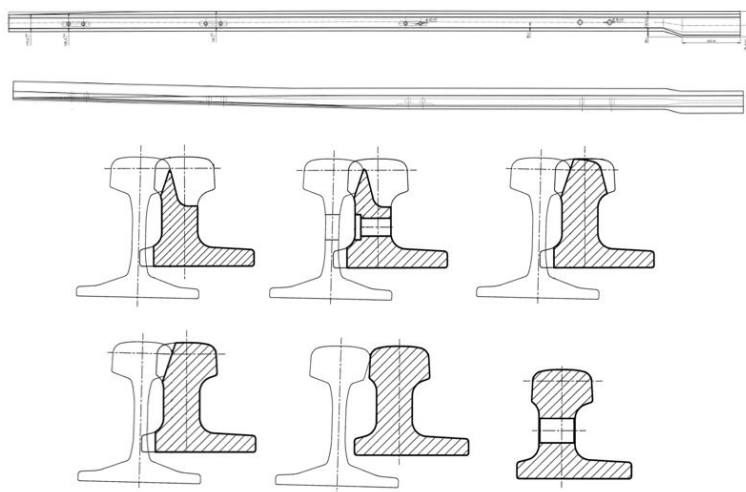


Figure 2.25: Perfiles de mecanizado de la aguja

Los materiales empleados para la fabricación de las agujas son carriles con una calidad 900A/R260 (resistencia mínima de 880 N/mm^2), aunque para solicitaciones más altas se suelen emplear carriles con una calidad 900A HSH/R350HT (resistencia comprendida entre los 1.175 y los 1.300 N/mm^2) de cabeza endurecida. Estos carriles necesitan un tratamiento térmico de endurecimiento (perlizado), en el que se obtiene una estructura de perlita fina que permite resistir el desgaste del contacto con la rueda.

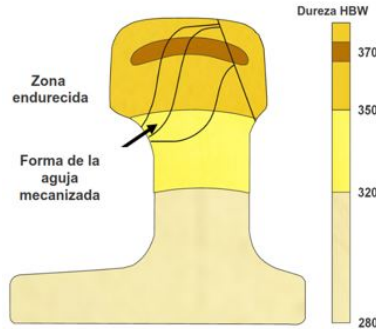


Figure 2.26: Dureza del carril de aguja FUENTE: Catálogo de desvío ferroviarios de la empresa JEZ Sistemas Ferroviarios, S.L. [3]

Las cada vez mayores velocidades que se exigen en las líneas de alta velocidad, obligan a disponer radios de curvatura en la vía desviada de los desvíos cada vez mayores. Estos aumentos de radio afectan al diseño del mecanizado del perfil de la aguja del cambio, haciendo que la punta de la aguja, el elemento que tiene que soportar los mayores impactos del desvío, sea más débil.

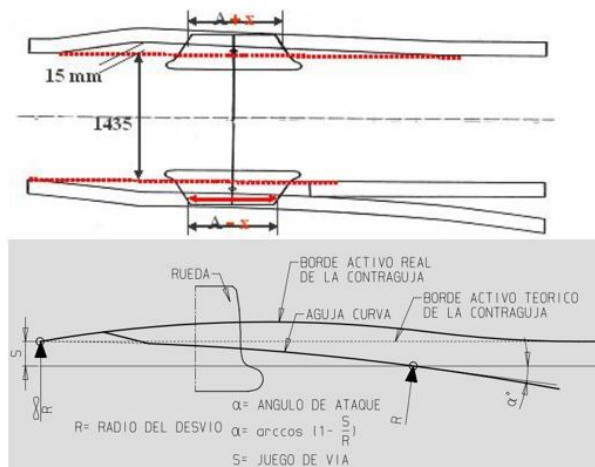


Figure 2.27: Geometría tangente optimizada FAKOP FUENTE: Catálogo de desvío ferroviarios de la empresa JEZ Sistemas Ferroviarios, S.L. [3]

Para resolver esto, las últimas tendencias en el diseño de desvíos tienden a introducir un sobrancho en la contraaguja que permite reforzar la punta de la aguja haciéndola más gruesa en la zona de transferencia de rodadura (tecnología tangente optimizada FAKOP). Con esto se consigue reducir la presión ejercida por la rueda y por lo tanto un menor desgaste del elemento. Por otra parte este sobrancho favorece la inscripción del eje en la curva, mejorando el comportamiento del sistema ante las perturbaciones ocasionadas por el movimiento natural de lazo.

Sistema antideslizante horquilla-muñón

Se trata de dispositivos que se colocan en el talón de las agujas del desvío y en la correspondiente contraaguja, con objeto de garantizar la ausencia de movimientos relativos longitudinales entre aguja y contraaguja que provocarían el descuadre de ambos elementos haciendo que no se acoplasen correctamente, lo que afectaría a la funcionalidad y seguridad del desvío. Mediante estos dispositivos se consigue transmitir los esfuerzos de dilatación de la aguja a la contraaguja, limitando los movimientos y garantizado el perfecto encaje entre ambas. Estos movimientos longitudinales de la aguja se originan fundamentalmente como consecuencia de los fenómenos de dilatación restringida que tienen lugar en la misma debido a las variaciones de temperatura. Los carriles que componen el desvío están sometidos a las siguientes situaciones tensionales y deformacionales:

- El corazón del cruzamiento se considera como un elemento fijo, debido principalmente a sus grandes dimensiones y a que suele estar sujeto a traviesas de una mayor longitud, que oponen una mayor resistencia al deslizamiento. Presenta por lo tanto una dilatación libre.
- Los espadines o partes móviles de las agujas se consideran también elementos con dilatación libre.
- Los talones de las agujas, esto es, la parte de las agujas que se encuentran sujetas a las traviesas, así como los carriles de unión de éstas con el cruzamiento, se consideran elementos con dilatación restringida.
- Por último, las contraagujas, los carriles de unión exteriores y los carriles exteriores del cruzamiento se consideran elementos con dilatación nula, ya que forman parte de una barra larga soldada de suficiente longitud.

En el siguiente esquema aparece representado lo anteriormente expuesto:

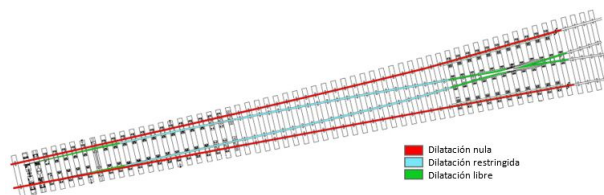


Figure 2.29: Esquema tenso-deformacional de un desvío

El sistema consta de dos piezas. Por un lado la horquilla, que se fija mediante dos tornillos al alma de la contraaguja, y por otra parte el muñón, que se fija del mismo modo a la aguja correspondiente, tal y como aparece reflejado en las siguientes figuras:

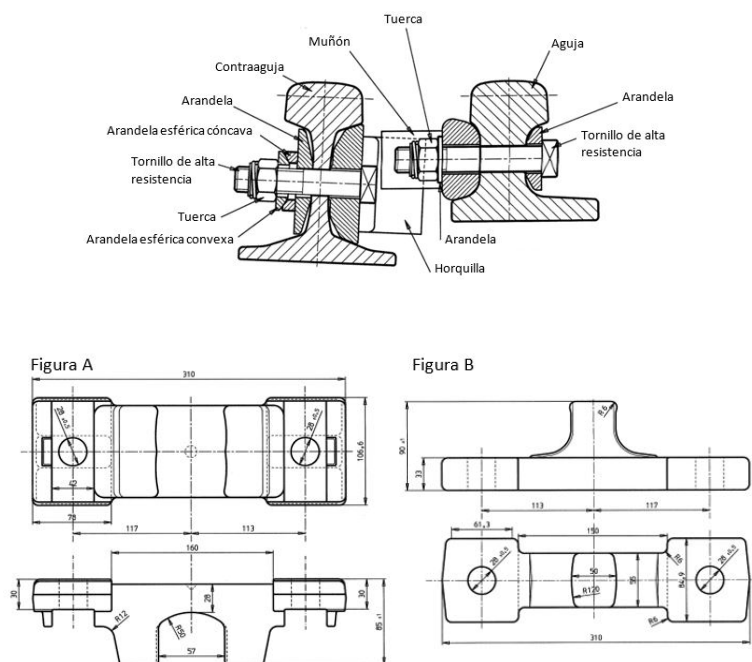


Figure 2.30: Esquema de geometría del dispositivo antideslizante horquilla-muñón de un desvío. La figura A muestra la geometría de la horquilla, y la figura B la geometría del muñón

Se suelen disponer un dispositivo de antideslizante térmico a cada lado del cambio, en las proximidades del talón de ambas agujas.

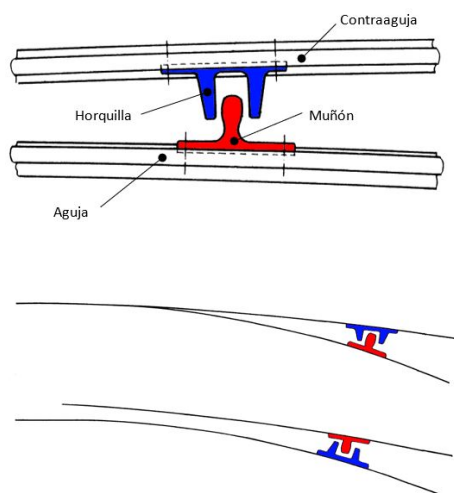


Figure 2.31: Esquema de disposición del sistema antideslizante horquilla-muñón

El hecho de que el dispositivo antideslizante conste de dos piezas presenta además la ventaja de un fácil montaje del cambio sin que aparezcan obstáculos que dificulten el mismo. Este dispositivo antideslizante junto con los cerrojos deslizantes hace innecesario cualquier ajuste posterior longitudinal del sistema de enclavamiento.



Figure 2.32: Vista general del dispositivo antideslizante horquilla-muñon FUENTE: Estudio de la evolución de los desvíos ferroviarios^[10]

Topes de aguja

Los topes de aguja son unas piezas metálicas que se acoplan al alma de la contraaguja mediante tornillos. En la siguiente figura aparece reflejado un esquema de la geometría de los mismos:

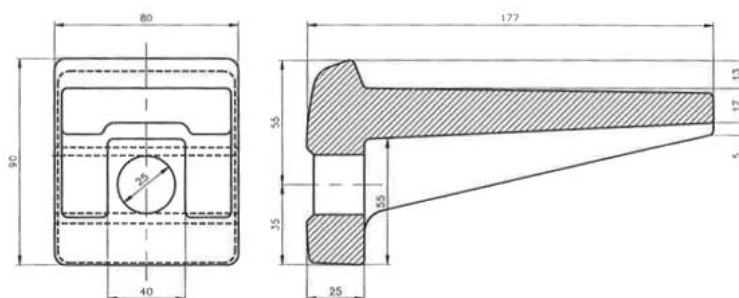


Figure 2.33: Esquema de geometría de los topes de agua de un desvío FUENTE: Desvíos ferroviarios (José Manuel García Díaz de Villegas y Miguel Rodríguez Bugarín)^[11]

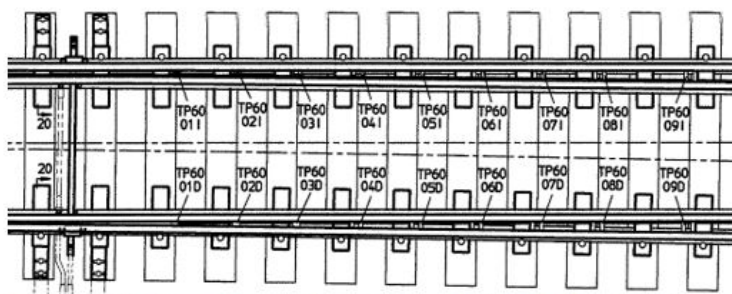




Figure 2.34: Vista general de la ubicación de los topes de aguja en un desvío

La misión de estos elementos es reducir los esfuerzos a los que se ve sometido el perfil de las agujas en el tramo comprendido entre el contacto aguja-contraaguja y el talón de la aguja con el paso de las circulaciones. En esta zona la aguja no cuenta con ningún tipo de elemento de fijación para permitir el movimiento transversal de la misma cuando el cambio es accionado. El problema antes señalado se origina debido a las acciones transversales transmitidas a las agujas en estas zonas por los vehículos como consecuencia del movimiento de lazo de los mismos o la inscripción del vehículo en la vía desviada cuando el cambio se dispone en esta posición. Estas acciones generan esfuerzos elevados en la zona intermedia de la aguja que pueden provocar deformaciones en la misma y, por lo tanto, sobreanchos que pueden afectar a la seguridad en la circulación. Con la colocación de los topes de agua se consigue reducir el vano que estaría sometido a las acciones antes señaladas, planteando apoyos intermedios que llevarían estas reacciones al perfil de la contraaguja que si se encuentra fijada a los elementos de soporte. Al reducir las longitudes de los vanos evidentemente se reducen los esfuerzos a los que se encuentra sometido el perfil de las agujas.

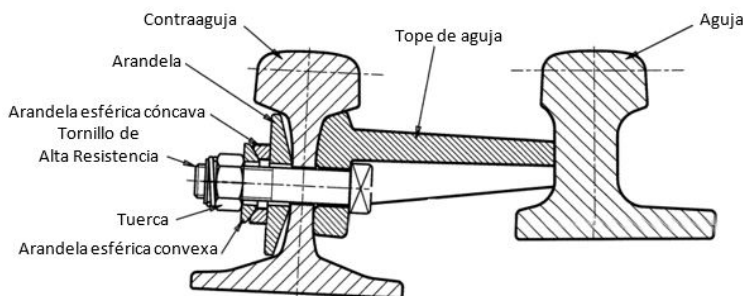


Figure 2.35: Esquema de fijación de los topes de aguja al perfil de la contraaguja

Los topes de aguja se fabrican en distintos tamaños, mecanizando los extremos de los mismos para conseguir una adaptación perfecta tanto al perfil de la aguja como al de la contraaguja, variando únicamente la longitud de los mismos en función de la distancia entre las almas más

próximas de aguja y contraaguja en el punto donde se van a disponer. Generalmente se suelen disponer de tal forma que su eje se encuentre situado a una distancia de 150 mm de la arista de la traviesa más próxima (en el caso de que el desvío se disponga en vía sobre balasto).

Placas resbaladeras

Originalmente el movimiento transversal de las agujas se realizaba sobre unas placas denominadas cojinetes de resbalamiento. Estos aparatos facilitaban un correcto apoyo de las agujas y permitían disminuir el rozamiento transversal mediante un adecuado engrase de la placa. Estas operaciones de engrasado suponían unos elevados costes de conservación. Por un lado resultaba una tarea difícilmente mecanizable, y por otro lado era muchas veces necesario el desplazamiento del personal y los equipos de conservación a zonas situadas lejos de estaciones, y modificar los procedimientos de seguridad adoptados en la realización de estas tareas en el caso de los desvíos situados en líneas de alta velocidad. Por otra parte las grasas minerales que se empleaban para realizar estas labores de engrasado debían de presentar unas buenas características resistentes frente a la alteración por agentes atmosféricos, lo que implicaba que no fuesen fácilmente biodegradables. Esto hacía que el empleo de las mismas supusiese un impacto negativo sobre el medioambiente. Los nuevos sistemas empleados en los aparatos de vía para alta velocidad permiten eliminar las operaciones de lubricación, reduciendo por lo tanto los costes de mantenimiento asociados a las mismas. El fundamento de estos sistemas se basa en la elevación de la aguja en su movimiento transversal mediante un sistema de rodillos, descendiendo nuevamente hasta apoyarse sobre el cojinete en su posición definitiva. Al no deslizar la aguja sobre la placa, no es necesario ningún tipo de lubricación. Uno de los sistemas de este tipo más empleados en la actualidad es el sistema BWG-S Tongue Rolling System, desarrollado por la empresa Voestalpine BWG GmbH & Co KG. Consiste en la integración del sistema IBaV System Brandenburg, de la propia empresa, y el sistema Switch Blade Rolling Device, de la empresa Schwihaag. En este sistema las placas resbaladeras están provistas de un sistema especial de fijación de la contraaguja en el lado interior del desvío (IBSR System Inner bracing of stock rail). Dependiendo del lugar donde se sitúe la placa resbaladera a lo largo del desvío, existen diferentes tipos de sujeciones interiores (SSb2, SSb3 o SSb4). Para la fijación de la parte exterior del patín de la contraaguja se pueden emplear cualquiera de los tipos de sujeciones existentes en el Mercado (SKL, Pandrol, Nabla, etc.).



Figure 2.36: Sistema de sujeción de contraagujas IBSR System Inner bracing of stock rail FUENTE: Catálogo Innovative track and switch technology de la empresa Schwihaag^[12]

El sistema Switch Blade Rolling Device consiste en una serie de rodillos integrados dentro de la placa que permiten elevar la aguja en su desplazamiento transversales evitando de este modo el rozamiento con las placas. La altura de estos rodillos puede regularse de forma individualizada

con rangos de $-0,5$ a $+6,0$ mm.

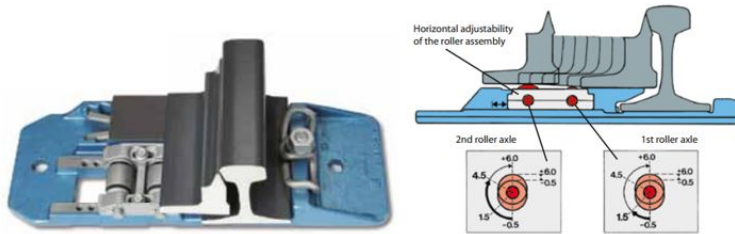


Figure 2.37: Vista general y esquema de funcionamiento del sistema Switch Blade Rolling Device de la empresa Schvihag FUENTE: Catálogo Innovative track and switch technology de la empresa Schvihag^[12]

En la siguiente figura aparecen representadas las principales características geométricas de estas placas resbaladeras:

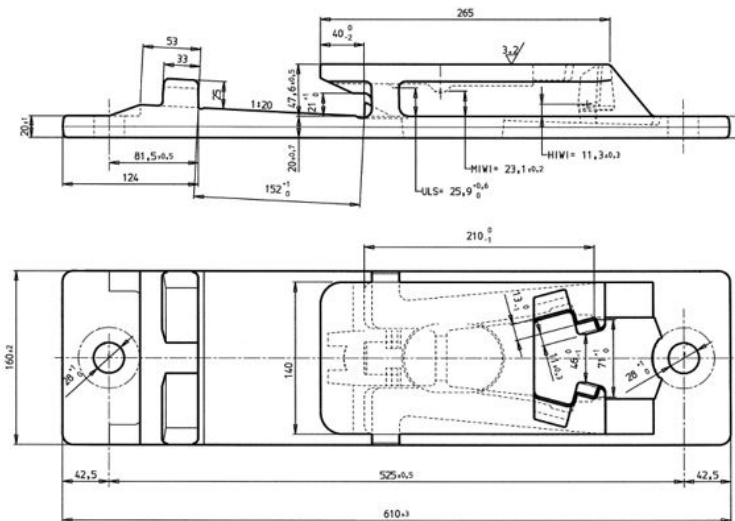


Figure 2.38: Esquema de geometría de las placas resbaladeras de un desvío (tipo PNC 60-2)

Este sistema permite su adaptación a diferentes tipologías de carril y a los requerimientos específicos de las diferentes ubicaciones donde puede emplearse en el desvío. Así, por ejemplo, se han desarrollado diferentes modelos de placas para los desvíos empleados por ADIF, tanto con carril UIC60 como UIC54:

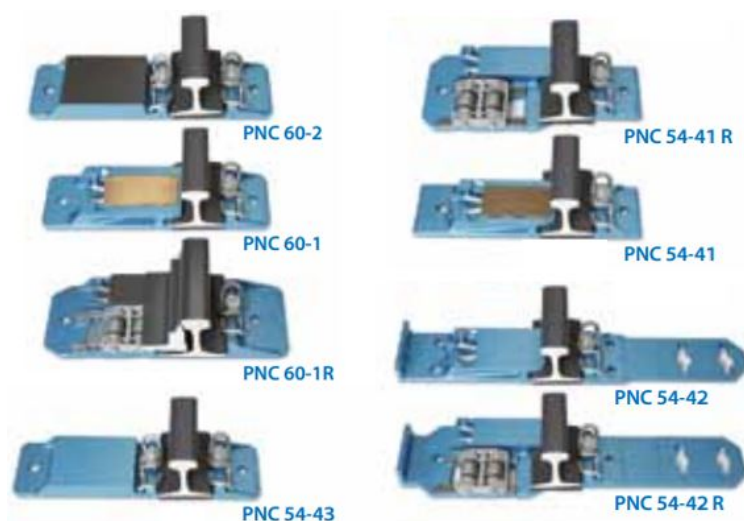


Figure 2.39: Adaptación del sistema de sujeción de contracarriles IBSR System Inner bracing of stock rail, a diferentes tipologías de carril y necesidades funcionales de los desvíos empleados por ADIF.

FUENTE: Catálogo Innovative track and switch technology de la empresa Schwihag^[12]



Figure 2.40: Sistema de sujeción de contracarriles IBRR System Inner bracing of running rail

FUENTE: Catálogo Innovative track and switch technology de la empresa Schwihag^[12]

Este tipo de sujeción también puede emplearse en la parte del cruzamiento (IBRR System Inner bracing of running rail), en aquellos casos en los que el desvío no cuente con un corazón con punta móvil y sea necesario disponer contracarriles, tal y como se verá más adelante.

El cruzamiento

El cruzamiento es la parte del desvío en la que se produce la intersección de la vía directa con la vía desviada. Los principales elementos que lo componen son: el corazón, los carriles exteriores y,

en los casos en que sean necesarios, sus correspondientes contracarriles.

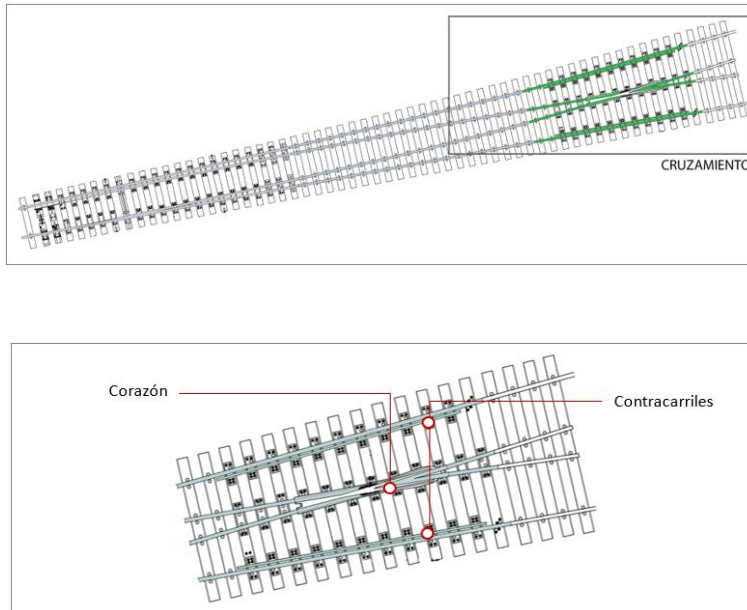


Figure 2.41: Esquema general y componentes del cruzamiento

Corazón

El corazón es la parte principal del cruzamiento, siendo el elemento donde se materializa la intersección de los carriles interiores del desvío. De acuerdo con la norma UNE-EN 13232-1 Aplicaciones ferroviarias. Vía. Aparatos de vía. Parte 1: Definiciones^[13], se define corazón del cruzamiento como: [...] Dispositivo que permite la intersección de dos hilos directores opuestos de desvíos o travesías, teniendo sólo una punta de corazón y dos patas de liebre [...] La normativa europea de aplicación al diseño y fabricación de corazones de desvíos, tanto de punta fija como de punta móvil, es la UNE-EN 13232-6:2007+A1 Aplicaciones ferroviarias. Vía. Aparatos de vía. Parte 6: Corazones de cruzamiento y de travesía fijos^[14] en el primero de los casos y la UNE-EN 13232-7:2007+A1 Aplicaciones ferroviarias. Vía. Aparatos de vía. Parte 7: Corazones con partes móvil^[15], en el segundo de los casos.

Principales elementos que lo componen

Los principales elementos que componen el corazón de un desvío son:

- **Punta.** Se trata de la parte del corazón con forma de V que sustenta las ruedas. Es el punto donde se intersectan los dos carriles interiores del desvío. Cabe realizar una distinción entre la punta matemática, que es el punto teórico donde se intersectan ambos hilos, y la punta real, que generalmente se encuentra retrasada con respecto a la anterior. Este desfase se realiza con objeto de disponer puntas con una anchura mínima que evite la rotura de un elemento que se encuentra expuesto a fuertes solicitaciones, y por razones constructivas.

- Laguna. En los corazones clásicos los dos carriles que se intersectan en el corazón presentan una discontinuidad en la zona del corazón denominada laguna, con objeto de permitir el paso de las pestañas de las ruedas.
- Patas de liebre. Se trata de la prolongación de los carriles interiores del desvío en la zona del corazón, con objeto de que las pestañas no dejen de contar con un elemento de apoyo continuo al atravesar la zona de la laguna. A la distancia existente entre las caras activas del corazón y la pata de liebre se la denomina entrecalle.
- Talón. Se trata del extremo del corazón situado en la parte final del desvío.



Tipología de corazones

En base a la geometría del corazón cabe clasificar los corazones del siguiente modo:

- Corazón recto. Cuando todos los bordes activos del corazón son rectos. Este tipo de corazones suele suministrarse prefabricado.
- Corazón curvo. Cuando al menos uno de los bordes activos del corazón presenta curvatura. Este tipo de corazones puede clasificarse a su vez como convergente, cuando los carriles de entrada son convergentes y la punta divergente, o de bifurcación, cuando los hilos de entrada son divergentes y su punta es convergente.

Los primeros diseños de corazones se plantearon manteniendo los bordes activos del corazón rectos. No obstante, las mayores prestaciones que se le han ido exigiendo a las líneas ferroviarias, sobre todo a las de alta velocidad, precisaban de unos nuevos diseños que permitiesen circular a una mayor velocidad por la vía desviada. Esto se consigue ampliando el radio de curvatura de la vía desviada, lo que hace que al menos uno de los bordes activos del corazón presente curvatura, característica fundamental de los desvíos con corazón curvo. Esta curvatura permite además, con una misma longitud de desvío, obtener unos mayores ángulos de desviación de la vía desviada. En base a la movilidad que presentan las piezas que conforman el corazón cabe clasificar los corazones del siguiente modo:

- Corazones de punta fija. Cuando todos los elementos que conforman el corazón del cruceamiento son fijos. Este tipo de corazones es el más empleado en líneas convencionales y en líneas de alta velocidad para velocidades reducidas.
- Corazones de punta móvil. Cuando presentan elementos móvil que permiten eliminar la laguna.

Este tipo de corazones se desarrollaron con objeto de poder incrementar las velocidades de circulación por vía desviada. Para conseguir este objetivo resulta necesario aumentar el radio de curvatura de esta vía. Esto se consigue disminuyendo el ángulo de cruzamiento, lo que provoca que aumente considerablemente la longitud de la laguna. Esto puede provocar que el paso de las circulaciones por esta zona no resulte seguro. Los cruzamientos con corazones de punta móvil resuelven este problema al eliminar la laguna. Para conseguir esto lo que se hace es hacer móvil la punta del corazón, acoplando uno de sus lados a la correspondiente pata de liebre.



Figure 2.42: Desvío con corazón de punta móvil

Esta punta móvil se encuentra constituida generalmente por una única pieza homogénea forjada fabricada a partir de una sección de acero normalizado sin defectos. La punta móvil del corazón se protege redondeándola y escondiéndola 3 mm bajo la pata de liebre, de manera que la rueda solo pueda tocarla tangencialmente.

Contracarriles

De acuerdo con la norma UNE-EN 13232-1 Aplicaciones ferroviarias. Vía. Aparatos de vía. Parte 1: Definiciones^[13], se define contracarril como: [...] Carril de sección especial, acodado o mecanizado, que permite (guiando la rueda) el paso seguro de la otra rueda del eje a través de la laguna del corazón del cruzamiento [...]

Efectivamente la principal misión de estos elementos es resolver los problemas de guiado existentes en esta zona del desvío. En condiciones normales de rodadura las dos ruedas del eje tienen un contacto de apoyo prácticamente vertical sobre los carriles, pudiendo existir además un contacto lateral de guiado a través de la pestaña de la llanta. Este contacto lateral permite evitar el descarrilamiento cuando la trayectoria del eje difiere del trazado de la vía. Estos elementos se disponen de forma paralela a los carriles exteriores del desvío en la zona del corazón, en su lado interior. La finalidad de estos elementos es doble. Por un lado permiten garantizar el correcto guiado del eje cuando la rueda opuesta atraviesa la zona de la laguna, mediante el contacto lateral del contracarril con la cara interior de la rueda, evitando de este modo posibles descarrilamientos. Por otra parte permiten encauzar suavemente los ejes en la zona del corazón, al abrirse en sus extremos, evitando choques frontales que producirían el desgaste tanto de los elementos que conforman el desvío como del propio material móvil, y afectarían a la comodidad y seguridad de la circulación. Dado que la principal función del contracarril es contribuir al guiado del eje cuando la rueda opuesta recorre la laguna, se disponen paralelamente a los carriles exteriores del cruzamiento y en el lado interior de los mismos, de tal forma que su punto central se encuentre alineado con el centro de la zona de laguna. La distancia entre las caras activas del carril exterior y su correspondiente contracarril recibe el nombre de entrecalle. Su valor debe de ser tal que, en el caso de que la cara interior de la pestaña haga contacto con el contracarril, la rueda opuesta no golpee la punta del corazón. Con esto se evita el desgaste de la punta del corazón, así como el riesgo de descarrilamiento. Esta condición viene expresada por la siguiente fórmula:

$$h < a - (A + D)$$

, donde:

- a [mm], es el ancho de vía
- A_R [mm], es la distancia entre las caras interiores de las pestañas, o cota de calado.
- D [mm], es el espesor de la pestaña de la rueda.

Con los valores habituales de los parámetros A_R y D que presenta el material móvil que circula en la actualidad por las líneas de ferrocarril españolas, y teniendo en cuenta un ancho de vía de 1.435 mm (UIC), los valores mínimos requeridos para la entrecalle suelen estar comprendidos entre los 40 y los 41 mm. Esta entrecalle suele mantenerse constante a lo largo de una longitud determinada (l_h) en la zona enfrentada a la laguna, generalmente comprendida entre los 700 y los 1.500 mm. Su longitud es variable, y es función de la tipología del desvío del que forman parte.

$$I_c = I_h + 2 * \frac{j-h}{tg\beta}$$

En los desvíos con corazón de punta móvil, al eliminarse la zona de laguna, no resulta necesaria la disposición de contracarriles, si bien es cierto que algunas administraciones ferroviarias como la francesa SNCF siguen manteniéndolos como medida de seguridad. En general se desaconseja

el empleo de este tipo de elementos para velocidades mayores de 200 km/h, debido fundamentalmente a que en estos casos la longitud de la laguna del corazón es muy elevada, siendo necesario recurrir al empleo de cruzamientos con corazón de punta móvil. Los elementos de apoyo y sujeción de los contracarriles suelen ser placas de apoyo. En la actualidad se fabrican con angulares especiales, los cuales se apoyan sobre placas carril-contracarril, o bien mediante soportes independientes. Originalmente el perfil del contracarril se fijaba al carril de rodadura mediante tacos y tornillos, recurriendo al empleo de pletinas auxiliares cuando el perfil empleado era del tipo angular. Esta solución se ha dejado de utilizar debido a que la flexibilidad del carril de rodadura no permite mantener la entrecalle entre este y su correspondiente contracarril. En la actualidad, tal y como se ha comentado, el perfil del contracarril se suele fijar a placas que dan apoyo conjunto tanto al contracarril como al carril de rodadura, o bien se fijan directamente a la traviesa mediante apoyos independientes. En ambos casos el tipo de perfil que se suele emplear es el UIC33.



Figure 2.43: Modelo de contracarril sobre placa de apoyo independiente de la empresa Schwiagh

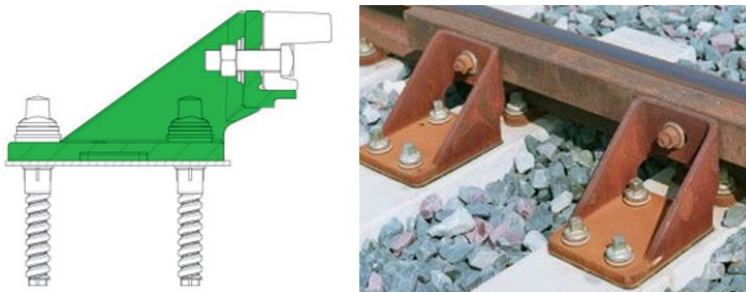


Figure 2.44: Modelo de contracarril sobre placa de apoyo independiente de la empresa Vossloh

Las placas desarrolladas por la empresa Schwiagh para la sujeción conjunta de carril y contracarril (IBRR) están provistas de un sistema especial de fijación de la contraaguja en el lado interior del desvío (IBSR System Inner bracing of stock rail). Dependiendo del lugar donde se sitúe la placa resbaladera a lo largo del desvío, existen diferentes tipos de sujeciones interiores (SSb2,

SSb3 o SSb4). Para la fijación de la parte exterior del patín de la contraaguja se pueden emplear cualquiera de los tipos de sujeciones existentes en el Mercado (SKL, Pandrol, Nabla, etc.). Una mejora de este sistema desarrollada por esta empresa, permite fijar el perfil del contracarril a la placa de apoyo carril-contracarril, sin la necesidad de perforar el mismo para introducir los tornillos de sujeción que se emplean en otras soluciones.



Figure 2.45: Modelo de contracarril y placa de apoyo de la casa Schvihag

FUENTE: Página web de la empresa Schvihag AG

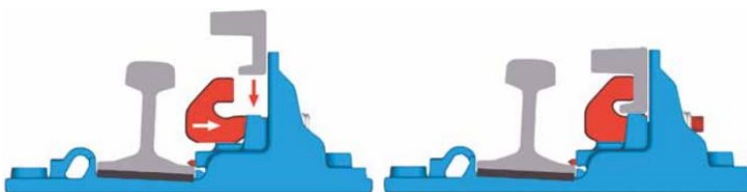


Figure 2.46: Esquema de montaje del modelo de contracarril y placa de apoyo de la casa Schvihag

FUENTE: Página web de la empresa Schvihag AG

- No es necesario perforar el perfil del contra carril
- Permite desviaciones longitudinales de la alineación entre el contracarril y la placa base.
- Se reducen considerablemente los tiempos empleados en su montaje y desmontaje.

- La reducción del material necesario para su instalación evita la pérdida del mismo durante las labores de montaje.
- Permite el desmontaje del carril de rodadura si necesidad de desmontar el contracarril.
- Es compatible con todos los sistemas de fijación existentes en el mercado, y con cualquier tipo de carril.

2.5.2 Carriles intermedios

Esta zona está formada por cuatro carriles, dos pertenecientes a la vía directa y dos a la vía desviada, que unen el cambio con el cruzamiento. Los carriles de la vía desviada incluyen sendas juntas aislantes encoladas para evitar el shuntado de la vía directa y establecer con precisión la posición de los trenes en relación con el desvío. La cala de estas juntas es oblicua en la cabeza del carril, formando 30° con el eje longitudinal del carril, con lo que se evita el impacto de la rueda al salvarla, y ortogonal en el alma y patín para mayor seguridad frente a los esfuerzos longitudinales de compresión. La sujeción en toda la zona es elástica indirecta, y en el caso de los desvío montados por ADIF en sus líneas de alta velocidad del tipo SKL-12, presentando claras ventajas respecto a su facilidad de apriete, premontaje y no posibilidad de giro del clip. El clip se ancla en los nervios de las placas de asiento por medio de un tornillo de gancho. Estas placas pueden ser laminadas de acero o de fundición nodular, llevando dos taladros para su anclaje a la traviesa. Debajo de estas placas van otras elásticas de 10 mm de espesor que cumplen las funciones de aislamiento eléctrico y amortiguación de las vibraciones de alta frecuencia para proteger al elemento soporte (traviesa o vía en placa).

2.5.3 Dispositivos de accionamiento y encerrojamiento

Los dispositivos de accionamiento y encerrojamiento del desvío son los encargados de efectuar el movimiento de las agujas en el cambio, o en el cruzamiento en el caso de corazones con punta móvil, y garantizar el mantenimiento de la posición de esta, acoplada o desacoplada, al paso de las circulaciones. El conjunto de barras de accionamiento y dispositivos de encerrojamiento se suele disponer dentro de traviesas huecas, lo que facilita las labores de bateo, en el caso de que el desvío se disponga en vía sobre balasto. Estas traviesas permiten además la instalación de todo tipo de cables y tubos bajo las vías. Estos dispositivos se suele cerrar con una tapa que protege los sistemas de accionamiento de los golpes, la suciedad (polvo, arena, etc.) y de las inclemencias meteorológicas (nieve, agua, etc.)

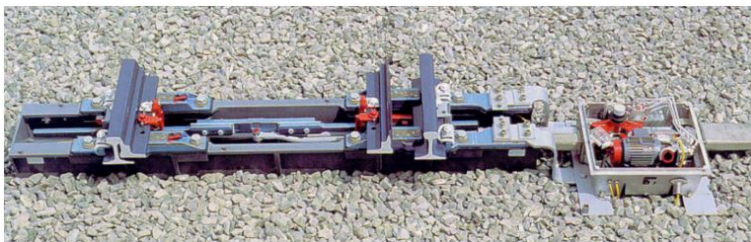


Figure 2.47: Vista general de dispositivo de accionamiento y encerrojamiento de un desvío

Dispositivos de accionamiento

El sistema de accionamiento más empleado en los desvíos de la red de alta velocidad española es el sistema HYDROSTAR, desarrollado por la empresa Voestalpine GmbH, comercializado en España a través de la empresa JEZ Sistemas Ferroviarios, S.L. perteneciente al mismo grupo empresarial. Este sistema de accionamiento presenta las siguientes características:

- El sistema de accionamiento del desvío se encuentra alojado en una traviesa de acero, lo que permite en los desvíos dispuestos en vía sobre balasto proceder a la realización de operaciones de bateo.
- El hecho de que el sistema se encuentre encapsulado dentro de esta traviesa metálica permite también dotarle de una mayor durabilidad, y a su vez aumentar el intervalo de tiempo en el que se realizan las operaciones de mantenimiento.
- Se trata de una estructura modular, lo que permite realizar las operaciones de mantenimiento en unos plazos más reducidos

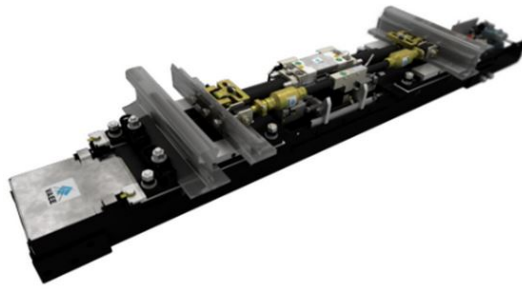


Figure 2.48: Sistema de accionamiento hidráulico Hydrostar® FUENTE: Hydraulic Switch Operating System HYDROSTAR® (Voestalpine GmbH)^[16]



Figure 2.49: Sistema de accionamiento hidráulico Hydrostar®, sin la carcasa metálica que lo cubre FUENTE: Hydraulic Switch Operating System HYDROSTAR® (Voestalpine GmbH)^[16]

Dentro de este tipo de accionamientos existen dos modelos. El modelo HYDROSTAR® ZV se emplea para el accionamiento de las agujas de los desvíos, mientras que el modelo HYDROSTAR® HB se emplea para el accionamiento de los corazones de los desvíos con punta móvil. Las especificaciones técnicas de estos aparatos son las que se relacionan a continuación:

Ancho de vía [mm]	Desde 1.430 mm	
Fuerza de accionamiento [N]	5.000-30.000	
Carrera de la aguja [mm]	Hasta 120 mm	
Temperatura ambiente de funcionamiento [°C]	-35°C- 80°C	

Figure 2.50: Especificaciones técnicas del sistema de accionamiento hidráulico HYDROSTAR® ZV
FUENTE: Hydraulic Switch Operating System HYDROSTAR® (Voestalpine GmbH)[16]

Ancho de vía [mm]	Libre	
Fuerza de accionamiento [N]	5.000-30.000	
Carrera de la aguja [mm]	29-120 mm	
Temperatura ambiente de funcionamiento [°C]	-35°C- 80°C	

Figure 2.51: Especificaciones técnicas del sistema de accionamiento hidráulico HYDROSTAR® HB
FUENTE: Hydraulic Switch Operating System HYDROSTAR® (Voestalpine GmbH)[16]

Aparte de los sistemas antes descritos, y con objeto de poder monitorizar la posición de las agujas del desvío en todo momento, se han desarrollado algunos sistemas, como el IE2010 de la empresa Voestalpine, que además permite garantizar la anchura necesaria entre aguja y contraaguja para el paso de la pestaña de la llanta del vehículo. Este sistema puede emplearse tanto en desvío en vía sobre balasto como en desvío en vía en placa

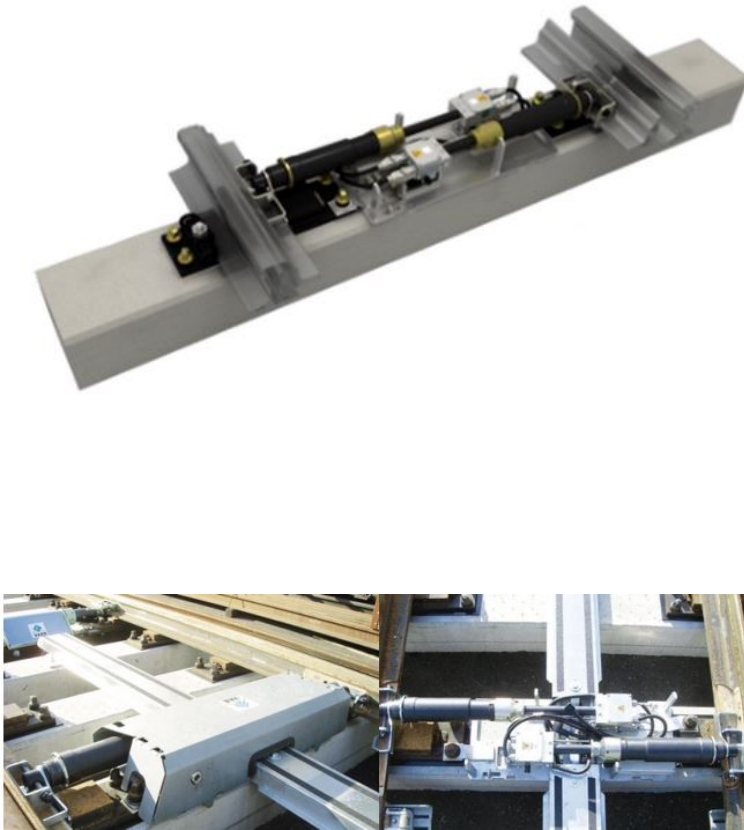


Figure 2.52: Sistema de monitorización de la posición de las agujas IE2010 FUENTE: Switching System Standard and High Performance IE2010 (Voestalpine GmbH)^[17]

El número de accionamientos necesarios para desplazar la aguja resulta mayor cuanto mayor es la velocidad que se pretende conseguir en la vía desviada, ya que el radio de curvatura aumenta, disminuye la tangente del desvío y por lo tanto se ve incrementada la longitud de la aguja. Este aumento de longitud de la aguja obliga, debido a la flexibilidad que presenta la misma, a disponer un mayor número de accionamientos para conseguir mantener la entrecalle mínima entre aguja y contraaguja que garantice el paso de la pestaña. En este sentido resulta muy importante que todos los accionamientos funcionen de forma coordinada aplicando la fuerza necesaria en cada punto de la aguja. Para solventar este problema, los desvíos actuales cuentan con sistemas electrohidráulicos de transmisión que garantizan el funcionamiento coordinado de todos los accionamientos. Un ejemplo de este tipo de sistema es el sistema HYDROLINK desarrollado por la empresa Voestalpine GmbH. El sistema está constituido por una bomba hidráulica, una serie de cilindros hidráulicos, un bloque hidráulico y una tubería de conexión.



Figure 2.53: Sistema de transmisión hidráulica Hydrolink® FUENTE: JEZ Sistemas Ferroviarios,S.L.

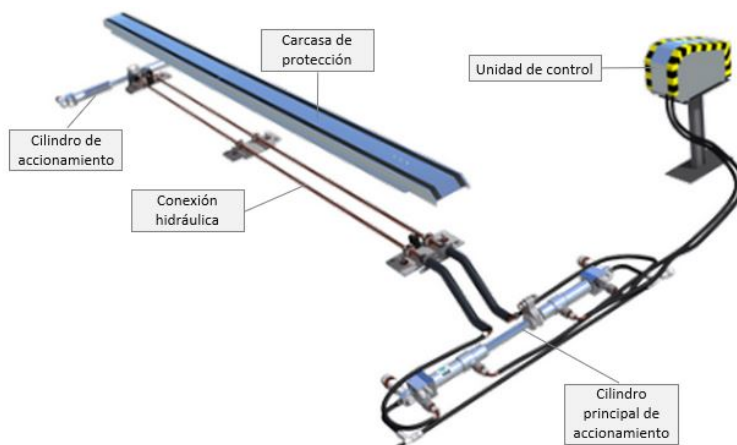


Figure 2.54: Sistema de transmisión hidráulica HYDROLINK® FUENTE: Switching System Standard HYDROLINK® (Voestalpine GmbH) ^[18]

Los esfuerzos de maniobra necesarios para el accionamiento de los sistemas antes descritos se consiguen mediante motores que se sitúan en el extremo de los mismos, fuera de la zona de vía.

Dispositivo de encerrojamiento

El dispositivo de encerrojamiento del cambio tiene como misión bloquear el movimiento de las agujas mientras se circula sobre ellas, impidiendo de este modo el descarrilamiento del vehículo. El contacto de la aguja con la contraaguja no deberá presentar holguras, y la huella necesaria para el paso de la pestaña entre la aguja separada y su correspondiente contraaguja deberá estar asegurada. El sistema de encerrojamiento más comúnmente empleado a nivel internacional en líneas de alta velocidad es el denominado cerrojo de uña. El sistema está formado por dos cajas soporte fijadas a cada contraaguja del cambio, dos bielas móviles articuladas una a cada aguja mediante las piezas de unión o apéndice, y una barra impulsora móvil, recta y de forma especial que realiza el movimiento de las agujas y cerrojos por la acción del tirante de maniobra conectado. Los últimos desarrollos llevados a cabo en esta materia integran el sistema de encerrojamiento junto con el sistema de accionamiento del cambio en un único dispositivo, trabajando ambos de forma coordinada. En este tipo de sistemas la aguja en su posición cerrada queda fijada en su posición y bloqueada mecánicamente con la contraaguja por medio de una uña vertical oscilante de unión de forma. Con ello se garantiza que la pestaña de la rueda no se meta entre la aguja y contraaguja. La holgura entre aguja y contraaguja se puede regular de forma continua a través de una excéntrica. Este sistema presenta la ventaja de que se puede instalar en el lugar previsto sin trabajos de adaptación. El alma de la contraaguja no tiene que taladrarse. La pieza cerrojo se aprieta sencillamente al pie de la contraaguja. Por otra parte los taladros necesarios en el pie de la aguja se realizan normalmente en el taller. Este tipo de sistema de encerrojamiento se puede instalar como cerrojo de punta o central así como cerrojo para corazón de punta móvil.



Figure 2.55: Vista general del sistema de encerrojamiento FUENTE: Traviesa de cajón para cerrojos SVS con cerrojo de uña integrado SKV de la empresa Schwihaag^[19]

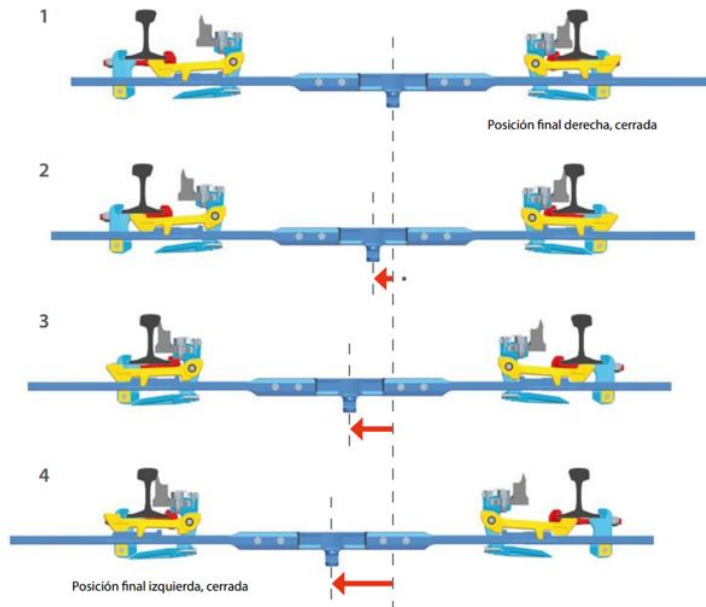


Figure 2.56: Esquema general de funcionamiento del cerrojo de uña FUENTE: Traviesa de cajón para cerrojos SVS con cerrojo de uña integrado SKV de la empresa Schwihaag^[19]

2.5.4 Traviesa de cajón para cables

En los nuevos diseños de desvíos se incorpora un nuevo elemento que permite el cruce de los cables bajo la vía y que se denomina traviesa cajón. En este dispositivo los tubos protectores para el cable están integrados en la propia traviesa de cajón, con lo que el cruce del cable en los desvíos queda permanentemente protegido, incluso durante la realización de los trabajos de mantenimiento de vía. Estos tubos se encuentran fijados elásticamente en la parte frontal abierta de la traviesa, con apoyos de goma que amortiguan las vibraciones. Con objeto de garantizar el aislamiento eléctrico de este dispositivo se disponen elementos aislantes entre la placa de apoyo del carril y el cuerpo de la traviesa. La cara superior de la traviesa se encuentra totalmente mecanizada, lo que permite fijar el carril en su posición correcta de manera sencilla mediante el empleo de plantillas. Estas traviesas cajón se encuentran abiertas en su parte superior, pero incorporan una tapa fácilmente desmontable que garantiza una protección eficaz frente a las inclemencias del tiempo y la entrada de suciedad. De igual modo esta traviesa es practicable desde sus extremos lo que permite una fácil y rápida inspección, y la instalación de nuevos cables en el caso de que fuese necesario. Las traviesas de cajón son apropiadas para el paso de cables en vías montadas sobre balasto. Se suele recurrir a su empleo también en algunas zonas específicas de la vía próximas a dispositivos de control para trenes, como por ejemplo instalaciones para localización de recalentamiento y agarrotamiento de frenos. Las principales ventajas que presenta este elemento son las que se relacionan a continuación

- Fundición nodular de una sola pieza

- Cara inferior con cantos vivos y cavidades para un apoyo estable sobre el balasto
- Posibilidad de abrir la cara superior
- Peso equivalente a la traviesa de hormigón
- Doble aislamiento
- Disponible para cada perfil de carril y ancho de vía

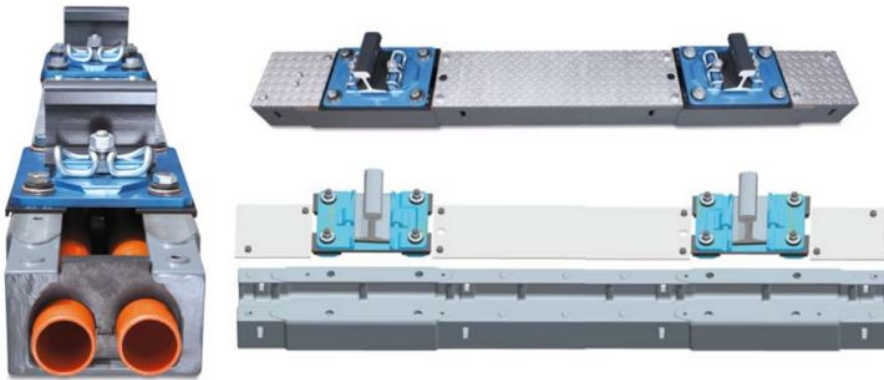


Figure 2.57: Diferentes vistas de la traviesa cajón para paso de cables FUENTE: Catálogo Innovative track and switch technology de la empresa Schwihag^[12]



Figure 2.58: Vista general de traviesa cajón instalada en vía

2.5.5 Aislamiento eléctrico de desvíos. Juntas aislantes

La misión de una junta aislante consiste en unir de forma rígida y aisladamente dos tramos de carril, permitiendo independizar los circuitos de vía. De este modo el paso de las ruedas del tren sobre la junta aislante permitirá el accionamiento de la señalización.

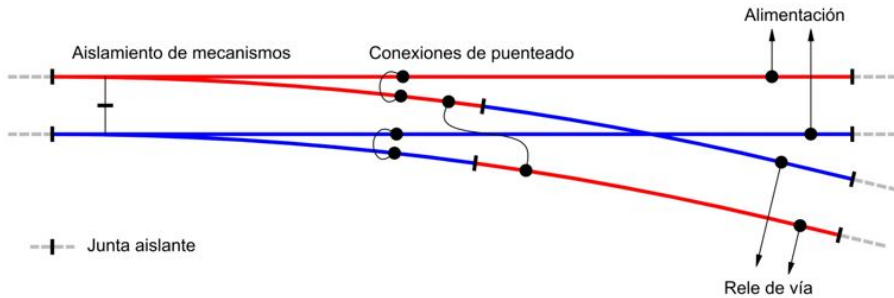


Figure 2.59: Esquema de disposición de las juntas aislantes encoladas en un desvío

Estos sistemas se basan en el empleo de tornillos de alta resistencia y de resinas sintéticas del tipo epoxy, con intercalación de materiales sintéticos (de aproximadamente 1,5 mm de espesor). Las principales características geométricas de este tipo de dispositivos son las que aparecen representadas en la siguiente figura.

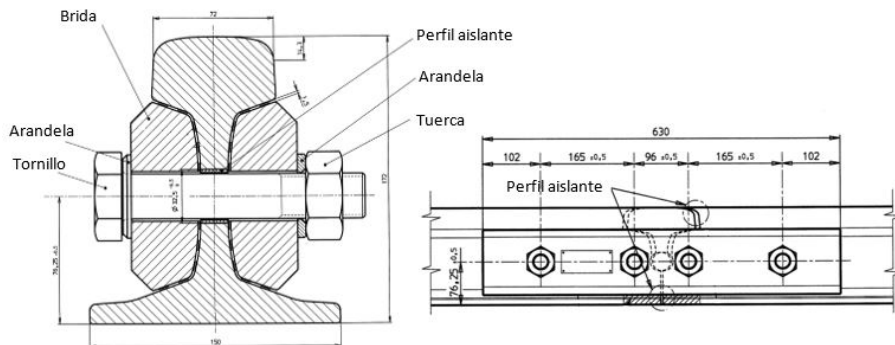


Figure 2.60: Detalle de las características geométricas de una junta aislante

Las juntas aislantes empleadas en la actualidad emplean tres tipos de materiales distintos: acero laminado, fibra de vidrio y madera baquelizada.



Figure 2.61: Vista general de junta aislante encolada FUENTE: Catálogo Juntas aislantes MT y ETW 1 (Elektro-Thermit GMBH & Co. KG)^[20]

Las principales características de estos sistemas son las que aparecen recogidas en las siguientes tablas:

BRIDAS	
Material	Bridas de madera baquelizada
Longitud	610 mm
Masa volumétrica	1,4 gr/cm ³
Absorción de agua de la brida	3%
Constante de ruptura a flexión	160 MPa
Módulo elástico a flexión	20.000 MPa
Resistencia al choque	105 KJ/m ²
Aislamiento V55 después de 48h dentro del agua a 20C	4.000Ω
Rigidez dieléctrica longitudinal	30Kv
SUJECIONES	
Tornillos hexagonales (Calidad 5.6)	4 ud
Dureza	310-335 HB
Resistencia	1.078-1.127 N/mm ²
Alargamiento	9%
Tuercas hexagonales (Calidad 5.6)	4 ud
Dureza	245-269 HB
Resistencia	833-902 N/mm ²
Arandelas (Calidad 5.6)	4 ud
Dureza	293-315 HB
Resistencia	980-1.078 N/mm ²
PERFIL SEPARADOR	
Resistencia a tracción	25 Kg/mm ²
Resistencia a flexión	36Kg/mm ²
Resistencia eléctrica transversal	10MΩ

Tabla 2.18: Características técnicas de la Junta Aislante Encolada IN de madera baquelizada

CAPÍTULO 2. DESVÍOS Y CRUZAMIENTOS

BRIDAS	
Material	Bridas de fibra de vidrio
Longitud	610 mm
Masa volumétrica	1,8 gr/cm ²
Absorción de agua de la brida	0,07%
Resistencia a la tracción	25kg/mm ²
Resistencia a la flexión	36kg/mm ²
Dureza Barcol	65
Resistencia eléctrica superficial	10 ¹² Ω
Resistencia eléctrica transversal	10 ¹³
SUJECIONES	
Tornillos hexagonales (Calidad 5.6)	4 ud
Dureza	310-335 HB
Resistencia	1.078-1.127 N/mm ²
Alargamiento	9 %
Tuercas hexagonales (Calidad 5.6)	4 ud
Dureza	245-269 HB
Resistencia	833-902 N/mm ²
Arandelas (Calidad 5.6)	4 ud
Dureza	293-315 HB
Resistencia	980-1.078N/mm ²
PERFIL SEPARADOR	
Material	Fibra de vidrio y resina epoxy
Resistencia a tracción	25kg/mm ²
Resistencia a flexión	36kg/mm ²
Resistencia eléctrica transversal	10MΩ

Tabla 2.19: Características técnicas de la Junta Aislante Encolada IN de fibra de vidrio

BRIDAS	
Material	Bridas de acero laminado
Longitud	650 mm
Resistencia mínima a tracción	530N/mm ²
Límite elástico	312N/mm ² (Re)
SUJECIONES	
Tornillos hexagonales (Calidad 10.9 según DIN 6914)	4 ud
Dureza	310-335HB
Resistencia	1.078-1.127 N/mm ²
Alargamiento	9%
Tuercas hexagonales (Calidad 10 según DIN 6915)	4ud
Dureza	245-269HB
Resistencia	833-902N/mm ²
Arandelas (Calidad C45 según DIN 6916)	4ud
Dureza	293-315 HB
Resistencia	980-1.078N/mm ²
PERFIL SEPARADOR	
Material	Material poliamida 6.6
Resistencia a tracción	50 MPa
Resistencia a flexión	22 kg/mm ²
Resistencia eléctrica transversal	10MΩ
AISLANTE DE BRIDAS	
Material	Estratificado de epoxy (1,6 mm)
ADHESIVO	
Materia	Resina epoxy

Tabla 2.20: Características técnicas de la Junta Aislante Encolada IN de acero laminado

CAPÍTULO 2. DESVÍOS Y CRUZAMIENTOS

BRIDAS	
Material	Bridas de acero laminado
Longitud	800mm
Resistencia mínima a tracción	530N/mm ²
Límite elástico	312N/mm ²
SUJECIONES	
Tornillos hexagonales (Calidad 10.9 según DIN 6914)	6ud
Dureza	310-335 HB
Resistencia	1.078-1.127 N/mm ²
Alargamiento	9%
Tuercas hexagonales (Calidad 10 según DIN 6915)	6 ud
Dureza	245-269 HB
Resistencia	833-902 N/mm ²
Arandelas (Calidad C45 según DIN 6916)	6 ud
Dureza	293-315 HB
Resistencia	980-1.078 N/mm ²
PERFIL SEPARADOR	
Material	Material poliamida 6.6
Resistencia a tracción	50 MPa
Resistencia a flexión	22 kg/mm ²
Resistencia eléctrica transversal	10 MΩ
AISLANTE DE BRIDAS	
Material	Estratificado de epoxy (1,6 mm)
ADHESIVO	
Materia	Dos componentes

Tabla 2.21: Características técnicas de la Junta Aislante Encolada INP de acero laminado

Por otra parte, y en cuanto a su procedimiento de montaje, cabe señalar que estas juntas pueden ser montadas previamente en taller, o bien ejecutarse in situ. En el primero de los casos el documento que establece los criterios de homologación y suministro de juntas aislantes encoladas fabricadas en taller es la E.T. 03.360.109.7 Especificación técnica para la homologación y suministro de juntas aislantes encoladas fabricadas en taller ^[21], de febrero de 1995, publicada por ADIF. En el segundo de los casos, en el que las juntas se montan in situ, el documento de referencia es la E.T. 03.360.119.6 Juntas aislantes encoladas fabricadas “in situ” ^[22], de enero de 1996. Este documento no es de aplicación a las juntas constituidas in situ con bridas madera baquelizada, donde sigue siendo de aplicación la E.T. 03.365.302.2 Especificación técnica para las juntas aislantes de carril con bridas de madera ^[23], de mayo de 1981. En cualquiera de los tres casos antes señalado resulta previamente necesaria una buena limpieza del carril, es decir desoxidar y desengrasar las superficies de unión así como esmerilar las posibles marcas del carril, que pueden existir en dichas superficies. También es conveniente contar con un sistema calefactor para precalentar las superficies de unión a fin de reducir el tiempo de endurecimiento de la resina y, a la vez, aumentar la resistencia a la tracción de la junta. Las juntas aislantes que se suelen emplear en los desvíos de alta velocidad son del tipo IVG 30. En este tipo de juntas la cala en la cabeza del carril se realiza a 30° con respecto al alma y en la base del carril es perpendicular a su eje. Con este sistema se reduce el nivel de ruidos y se minimiza el desgaste en la zona de tránsito de la rueda.

2.6 Sistemas de sujeción en aparatos de vía

2.6.1 Descripción general

Las características geométricas, mecánicas y resistentes de los aparatos de vía son independientes del elemento de soporte sobre el que se dispongan, ya sea vía sobre balasto o vía en placa, variando únicamente la tipología y características de los elementos de sujeción. Las características elásticas de estas sujeciones tienen por lo tanto un papel muy importante en el diseño del desvío. Por un lado, valores muy elevados de elasticidad permiten minimizar la necesidad de operaciones de bateo (en el caso de vía sobre balasto), al transferir menores vibraciones a las traviesas y, por lo tanto, un menor número de fallos de los sistemas de comprobación. Sin embargo, una elevada elasticidad aumenta la deflexión vertical del carril y obliga a limitar físicamente la posibilidad de movimientos diferenciales entre las partes móviles y las partes fijas de los desvíos, lo cual supone un encarecimiento del sistema. Además, es necesario limitar la amplitud de los movimientos transversales del carril. Visto lo anterior, resulta prácticamente imposible el establecer las características elásticas de las sujeciones a emplear para la fijación de los diferentes elementos que componen un desvío ferroviario, sin conocer de forma precisa toda la información relativa a las características mecánicas y geométricas del cambio y el cruzamiento, los sistemas de sujeción que se emplean, las placas de asiento y los dispositivos de accionamiento, encerrojamiento y comprobación. No obstante lo anterior, como norma general el rango de rigidez estática vertical del desvío suele estar comprendido entre los 105 y los 125 kN/mm, entendiéndose por tal concepto el cociente, para cada punto del desvío, entre la fuerza estática aplicada y el movimiento vertical absoluto del carril. Para su cálculo se debe tener en cuenta la variación en la longitud del desvío de la rigidez de los elementos que lo componen. En el cálculo de esta rigidez total, el mayor peso suele corresponder a las placas elásticas situadas entre las placas metálicas de asiento y el elemento soporte del desvío. Las características de estas placas varían en función de la posición que ocupan en el mismo. El valor de la rigidez estática vertical de estas placas elásticas suele estar comprendida entre 40 kN/mm y 50 kN/mm para desvíos dispuestos en vía sobre balasto y de 17,5 kN/mm para desvíos dispuestos en vía en placa, lo que determina una rigidez elástica total para el desvío de entre 105 y 125 kN/mm. Con objeto de realizar una transición gradual entre la rigidez del desvío y la de la vía general, en el caso de la red de alta velocidad española el Administrador de Infraestructuras Ferroviarias ADIF establece una serie de longitudes mínimas en las que se debe de llevar a cabo esta transición. En el caso de los desvíos elásticos esta transición deberá de realizarse, tanto en la punta como en el talón del desvío, en una longitud mínima de 48 metros sobre la vía directa, y a lo largo de un mínimo de 11 metros en la vía desviada. Si bien en vía directa el valor de esta transición se mantiene constante en 48,0 metros, en vía desviada la longitud de la transición elástica se va incrementando desde los 10,8 metros (DSIH-AV3-60-760-1:14-CCM-TC-D/I) hasta los 30,6 metros (DSIH-AV3-60-17000/7300-1:50-CCM-TC-D/I) conforme se incrementa el radio de curvatura de la vía desviada, y por lo tanto su velocidad. Estas longitudes pueden variar en función de la presencia de elementos singulares en las proximidades del aparato de vía con objeto de homogeneizar zonas próximas con similar elasticidad y deben de ser calculadas para cada situación concreta en base a los datos suministrados por el fabricante del desvío.

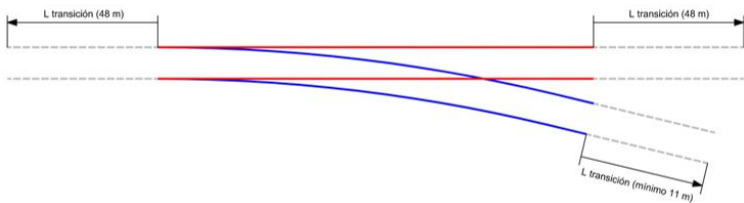


Figure 2.62: Esquema de transiciones elásticas en un desvío ferroviario

Las características de estas transiciones para las principales tipologías de aparatos de vía empleados por el Administrador de Infraestructuras Ferroviarias ADIF en sus líneas de alta velocidad son las que aparecen indicadas en las siguientes tablas:

Denominación	Elasticidad [kN/mm]	Número de placas	
		Vía Directa	Vía Desviada
FURp 620 000.0 (FURp. 0)	22,5	10x2=20 (6,0 m)	3x2=6 (1,8 m)
FURp 620 000.1 (FURp. 1)	26,4	10x2=20 (6,0 m)	3x2=6 (1,8 m)
FURp 620 000.2 (FURp. 2)	33,2	10x2=20 (6,0 m)	3x2=6 (1,8 m)
FURp 620 000.3 (FURp. 3)	38,2	10x2=20 (6,0 m)	3x2=6 (1,8 m)
FURp 620 000.4 (FURp. 4)	44,6	10x2=20 (6,0 m)	3x2=6 (1,8 m)
FURp 620 000.5 (FURp. 5)	52,5	10x2=20 (6,0 m)	3x2=6 (1,8 m)
FURp 620 000.6 (FURp. 6)	64,0	10x2=20 (6,0 m)	3x2=6 (1,8 m)
FURp 620 000.7 (FURp. 7)	78,0	10x2=20 (6,0 m)	3x2=6 (1,8 m)
		Longitud Total	
		48,0 m	48,0 m

Tabla 2.22: Transición de rigidez en desvío tipo DSIH-AV3-60-3000/1500-1:22-CCM-TC-D/I

Denominación	Elasticidad [kN/mm]	Número de placas	
		Vía Directa	Vía Desviada
FURp 620 000.0 (FURp. 0)	22,5	10x2=20 (6,0 m)	3x2=6 (1,8 m)
FURp 620 000.1 (FURp. 1)	26,4	10x2=20 (6,0 m)	3x2=6 (1,8 m)
FURp 620 000.2 (FURp. 2)	33,2	10x2=20 (6,0 m)	3x2=6 (1,8 m)
FURp 620 000.3 (FURp. 3)	38,2	10x2=20 (6,0 m)	3x2=6 (1,8 m)
FURp 620 000.4 (FURp. 4)	44,6	10x2=20 (6,0 m)	3x2=6 (1,8 m)
FURp 620 000.5 (FURp. 5)	52,5	10x2=20 (6,0 m)	3x2=6 (1,8 m)
FURp 620 000.6 (FURp. 6)	64,0	10x2=20 (6,0 m)	3x2=6 (1,8 m)
FURp 620 000.7 (FURp. 7)	78,0	10x2=20 (6,0 m)	3x2=6 (1,8 m)
		Longitud Total	
		48,0 m	14,4 m

Tabla 2.23: Transición de rigidez en desvío tipo DSIH-AV3-60-3000/1500-1:22-CCM-TC-D/I

CAPÍTULO 2. DESVÍOS Y CRUZAMIENTOS

Denominación	Elasticidad [kN/mm]	Número de placas	
		Vía Directa	Vía Desviada
FURp 620 000.0 (FURp. 0)	22,5	14x2=28 (8,4 m)	7x2=14 (4,2 m)
FURp 620 000.1 (FURp. 1)	26,4	14x2=28 (8,4 m)	6x2=12 (3,6 m)
FURp 620 000.2 (FURp. 2)	33,2	13x2=26 (7,8 m)	6x2=12 (3,6 m)
FURp 620 000.3 (FURp. 3)	38,2	13x2=26 (7,8 m)	6x2=12 (3,6 m)
FURp 620 000.4 (FURp. 4)	44,6	13x2=26 (7,8 m)	6x2=12 (3,6 m)
FURp 620 000.5 (FURp. 5)	52,5	13x2=26 (7,8 m)	6x2=12 (3,6 m)
		Longitud Total	
		48,0 m	22,2 m

Tabla 2.24: Transición de rigidez en desvío tipo DSIH-AV3-60-10000/4000-1:36,9-CCM-TC-D/I

Denominación	Elasticidad [kN/mm]	Número de placas	
		Vía Directa	Vía Desviada
FURp 620 000.0 (FURp. 0)	22,5	14x2=28 (8,4 m)	7x2=14 (4,2 m)
FURp 620 000.1 (FURp. 1)	26,4	14x2=28 (8,4 m)	6x2=12 (3,6 m)
FURp 620 000.2 (FURp. 2)	33,2	13x2=26 (7,8 m)	6x2=12 (3,6 m)
FURp 620 000.3 (FURp. 3)	38,2	13x2=26 (7,8 m)	6x2=12 (3,6 m)
FURp 620 000.4 (FURp. 4)	44,6	13x2=26 (7,8 m)	6x2=12 (3,6 m)
FURp 620 000.5 (FURp. 5)	52,5	13x2=26 (7,8 m)	6x2=12 (3,6 m)
		Longitud Total	
		48,0 m	22,2 m

Tabla 2.25: Transición de rigidez en desvío tipo DSIH-AV3-60-10000/4000-1:36,9-CCM-TC-D/I

Denominación	Elasticidad [kN/mm]	Número de placas	
		Vía Directa	Vía Desviada
FURp 620 000.0 (FURp. 0)	22,5	14x2=28 (8,4 m)	9x2=18 (5,4 m)
FURp 620 000.1 (FURp. 1)	26,4	14x2=28 (8,4 m)	9x2=18 (5,4 m)
FURp 620 000.2 (FURp. 2)	33,2	13x2=26 (7,8 m)	9x2=18 (5,4 m)
FURp 620 000.3 (FURp. 3)	38,2	13x2=26 (7,8 m)	8x2=16 (4,8 m)
FURp 620 000.4 (FURp. 4)	44,6	13x2=26 (7,8 m)	8x2=16 (4,8 m)
FURp 620 000.5 (FURp. 5)	52,5	13x2=26 (7,8 m)	8x2=16 (4,8 m)
		Longitud Total	
		48,0 m	30,6 m

Tabla 2.26: Transición de rigidez en desvío tipo DSIH-AV3-60-17000/7300-1:50-CCM-TC-D/I

La normativa de aplicación para este tipo de elementos es la UNE-EN 13481 Aplicaciones ferroviarias. Vía. Requisitos de funcionamiento para los conjuntos de sujeción^[24]. Esta serie normativa se estructura en un total de 8 partes:

- UNE-EN 13481-1 Aplicaciones ferroviarias. Vía. Requisitos de funcionamiento para los conjuntos de sujeción. Parte 1: Definiciones (Enero 2013)
- UNE-EN 13481-2 Aplicaciones ferroviarias. Vía. Requisitos de funcionamiento para los conjuntos de sujeción. Parte 2: Conjuntos de sujeción para las traviesas de hormigón (Diciembre 2012)

- UNE-EN 13481-3 Aplicaciones ferroviarias. Vía. Requisitos de funcionamiento para los conjuntos de sujeción. Parte 3: Conjuntos de sujeción para traviesas de madera (Diciembre 2012)
- UNE-EN 13481-4 Aplicaciones ferroviarias. Vía. Requisitos de funcionamiento para los conjuntos de sujeción. Parte 4: Conjuntos de sujeción para traviesas de acero (Diciembre 2012)
- UNE-EN 13481-5 Aplicaciones ferroviarias. Vía. Requisitos de funcionamiento para los conjuntos de sujeción. Parte 5: Conjuntos de sujeción para vía en placa sin balasto o vía con carril embutido en un canal (Diciembre 2012)
- UNE-ENV 13481-6 Aplicaciones ferroviarias. Vía. Requisitos de funcionamiento para los conjuntos de sujeción. Parte 6: Sistemas de sujeción especiales para atenuación de las vibraciones (Mayo 2003, con corrección de errores UNE-ENV 13481-6:2003 EX/AC de noviembre de 2006)
- UNE-EN 13481-7 Aplicaciones ferroviarias. Vía. Requisitos de funcionamiento para los conjuntos de sujeción. Parte 7: Sujeciones especiales para aparatos de vía y contracarriles (Diciembre 2012)
- UNE-EN 13481-8 Aplicaciones ferroviarias. Vía. Requisitos de funcionamiento para los conjuntos de sujeción. Parte 8: Sistemas de sujeción para vías con cargas axiales pesadas (Junio 2007)

En particular son de especial interés la Parte 5 Conjuntos de sujeción para vía en placa sin balasto o vía con carril embutido en un canal y la Parte 7 Sujeciones especiales para aparatos de vía y contracarriles

2.6.2 Sistemas de sujeción existentes para vía en placa

Sistemas de fijación directa

Este tipo de sistemas se caracterizan por el apoyo directo del carril y su sistema de sujeción sobre la placa, sin la disposición de traviesas ni dados de hormigón.

Componentes del sistema

Los componentes del sistema son los que se relacionan a continuación:

- Placa de asiento nervada de acero.
- Clips y tornillos de sujeción carril-placa.
- Láminas elásticas
 - Premontable bajo carril
 - Intermedia bajo placa (elastómero)
 - Aislante bajo elastómero
- Anclajes fijación placa-losa

- Anclajes
- Resina inyectable
- Vaina corrugada (sólo para montaje top-down

Descripción del sistema

Las características principales del sistema son las siguientes:

- El conjunto placa-carril se fija directamente a la losa mediante anclajes y resinas de alta resistencia siendo suficiente con un espesor de losa de 16 cm de hormigón de 25 MPa.
- El apoyo elástico de la vía se basa en las propiedades de la lámina elástica intermedia bajo placa, siendo posible adoptar la elasticidad vertical exigida en cada proyecto mediante el uso de diferentes tipos de elastómeros.
- Los anclajes suelen disponer de casquillos aislantes que proporcionan aislamiento eléctrico entre la placa y el propio anclaje. La propia resina funciona también como elemento aislante, evitando el cierre de circuito eléctrico por contacto con alguna barra de armado de la placa.
- Tal y como se verá más adelante este tipo de sistema se puede emplear para el montaje de vía en placa, tanto por el sistema top-down (embebido), como el bottom-up (taladrado).

Tipología de anclajes

La tipología de anclajes empleada para los sistemas de fijación directa es muy variada en función principalmente de las velocidades de circulación, la carga máxima por eje, el radio de curvatura, etc. A continuación se relacionan algunos de los sistemas de anclaje más empleados de la empresa Hilti:

Tuerca autoblocante	
Tipo M22 Sw-38 con Nylon	
Apriete: 68-130 N·m	
Muelle	
Longitud: 35 mm	
Constante elástica: 373 ± 36 N/mm	
Rango de compresión: 7,0 mm - 8,5 mm	
Fuerza de compresión: 3 kN	
Anillo de centrado aislante	
Material: POM (PolyOxiMetileno)	
Diámetro interior: 28 mm	
Diámetro exterior: 35,5 mm	
Resistividad volumétrica: 3,5·10 ¹² W·mm	
Cuerpo del anclaje	
Diámetro: 26 mm	
Acero alta resistencia: 12.9 según DIN 898	
Galvanizado Fe/Zn 10C según DIN 50961	
Recubrimiento POM: 3 mm	

Figure 2.63: Anclaje Hilti HRA M22x220 para cargas de hasta 25 ton/eje
FUENTE: Soluciones a medida para vía en placa (Hilti) ^[25]

Tuerca autoblocante	
Tipo M22 Sw-38 con Nylon	
Apriete: 68-130 N·m	
Muelle	
Longitud: 35 mm	
Constante elástica: 373 ± 36 N/mm	
Rango de compresión: 7,0 mm - 8,5 mm	
Fuerza de compresión: 3 kN	
Anillo de centrado aislante	
Material: HYTREL® (Poliéster elastomérico)	
Diámetro interior: 22 mm	
Diámetro exterior: 36 mm	
Resistividad volumétrica: 1,2·10 ¹² W·mm	
Cuerpo del anclaje	
Diámetro: 26 mm	
Acero alta resistencia: 12.9 según DIN 898	
Galvanizado Fe/Zn 10C según DIN 50961	
Moleteado	
Centrado inferior (polipropileno)	

Figure 2.64: Anclaje Hilti HRC M22x215 para cargas de hasta 25 ton/eje
FUENTE: Soluciones a medida para vía en placa (Hilti) ^[25]

Tuerca autoblocante	
Tipo M22 Sw-38 con Nylon	
Apriete: 68-130 N·m	
Muelle	
Longitud: 35 mm	
Constante elástica: 373 ± 36 N/mm	
Rango de compresión: 7,0 mm - 8,5 mm	
Fuerza de compresión: 3 kN	
Anillo de centrado aislante	
Material: HYTREL® (Poliéster elastomérico)	
Diámetro interior: 22 mm	
Diámetro exterior: 36 mm	
Resistividad volumétrica: 1,2·10 ¹² W·mm	
Cuerpo del anclaje	
Diámetro: 22 mm	
Acero alta resistencia: 12.9 según DIN 898	
Galvanizado Fe/Zn 10C según DIN 50961	
Moleteado	
Centrado inferior (polipropileno)	

Figure 2.65: Anclaje Hilti HRT M22x215 para cargas de hasta 17 ton/eje
FUENTE: Soluciones a medida para vía en placa (Hilti) ^[25]

Tuerca autoblocante	
Tipo M22 Sw-32 con Nylon	
Apriete: 68-130 N·m	
Muelle	
Longitud: 22 mm	
Fijación rígida	
Compresión: 4,0 mm	
Fuerza de compresión: 22 kN a 4 mm	
Anillo de centrado aislante	
Material: HYTREL® (Poliéster elastomérico)	
Diámetro interior: 22 mm	
Diámetro exterior: 36 mm	
Resistividad volumétrica: 1,2·10 ¹² W·mm	
Cuerpo del anclaje	
Diámetro: 22 mm	
Acero: resistencia 8.8 según DIN 898	
Galvanizado Fe/Zn 10C según DIN 50961	
Punta biselada para opción de empleo con cápsula Hilti HVU	
Vástago roscado en la zona inferior para mejorar adherencia	

Figure 2.66: Anclaje Hilti HRT-WH M22/200 para fijaciones rígidas
FUENTE: Soluciones a medida para vía en placa (Hilti) ^[25]

Tuerca autoblocante	
Tipo M22 Sw-38 con Nylon	
Apriete: 68-130 N·m	
Muelle	
Longitud: 35 mm	
Constante elástica: 373 ± 36 N/mm	
Rango de compresión: 7,0 mm - 8,5 mm	
Fuerza de compresión: 3 kN	
Anillo de centrado aislante	
Material: HYTREL® (Poliéster elastomérico)	
Diámetro interior: 22 mm	
Diámetro exterior: 40 mm	
Resistividad volumétrica: 1,2·10 ¹² W·mm	
Ajuste horizontal: ± 4 mm	
Cuerpo del anclaje	
Diámetro: 22 mm	
Acero alta resistencia: 12.9 según DIN 898	
Galvanizado Fe/Zn 10C según DIN 50961	
Moleteado	
Centrado inferior (polipropileno)	

Figure 2.67: Anclaje Hilti HRC-DB M22x225 con anillo excéntrico
FUENTE: Soluciones a medida para vía en placa (Hilti) ^[25]

Resinas de inyección de alta adherencia

Estas resinas tienen por objeto fijar el anclaje al hormigón del elemento de soporte. Las características de algunas de las resinas de inyección de alta resistencia que se emplean en la actualidad son las que se relacionan a continuación (información de la empresa Hilti):

Curado	
Lento: 12 h a 20°C	
Retracción	
Muy baja: 0,4 %	
Adherencia	
Muy alta: $f_{bk} > 15 \text{ N/mm}^2$ (en hormigón)	
Resistencia a compresión	
Muy alta: $f_{ck} > 100 \text{ N/mm}^2$	

Figure 2.68: Hilti HIT RE-500 (base epoxídica)

FUENTE: Soluciones a medida para vía en placa (Hilti) [25]

Curado	
Rápido: 50 min a 20°C	
Retracción	
Baja: 0,7 %	
Adherencia	
Alta: $f_{bk} > 8 \text{ N/mm}^2$ (en hormigón)	
Resistencia a compresión	
Alta: $f_{ck} > 50 \text{ N/mm}^2$	

Figure 2.69: Hilti HIT HY-150 (metacrilato de uretano)

FUENTE: Soluciones a medida para vía en placa (Hilti) [25]

Características de la lámina elástica intermedia

Tal y como se ha comentado anteriormente la elasticidad del sistema depende fundamentalmente de la lámina elástica intermedia, cuyo parámetro característico es su rigidez. Adicionalmente a los requerimientos específicos de rigidez, el elastómero debe cumplir diferentes requisitos técnicos: resistencia al desgarro; dureza; resistencia al agua, al envejecimiento, a la intemperie, al aceite y a las grasas; inflamabilidad; aislamiento eléctrico; comportamiento ante el frío; deformación por efecto de la presión y resistencia a la temperatura. La elección del elastómero necesario, depende de la velocidad y cargas por eje, así como de criterios de ruido y de vibraciones. Como valores orientativos podemos tomar:

- Espesor habitual: 10-25 mm
- Material: TPV, SYLOMER[®], SYLODYN[®]
- Límite de carga estática: $< 1,2 \text{ N/mm}^2$
- Rigidez transversal: $E_{ver} \approx E_{hor} \times 4,0$
- Influencia de la temperatura: $E_{40^\circ\text{C}} \approx E_{-20^\circ\text{C}} \times 1,6$
- Relación rigideces: $E_{din} \approx E_{sta} \times [1,4-4,0]$

Denominación	Carga por eje [kN]	Rigidez estática C_{est} [kN/mm]	Rigidez estática C_{dvs} [kN/mm]
Tranvía	100	5-10	7-14
Metro	135	10-15	14-21
Cercanías	160	15-18	21-25
Alta velocidad	250	20-25	28-35

Tabla 2.27: Características de la lámina elástica intermedia FUENTE: Soluciones a medida para vía en placa (Hilti)^[25]

Configuraciones posibles de la placa base

El sistema admite infinitud de configuraciones y tipologías de placa base, siendo posible adaptarse a diferentes tipologías de carril y cargas por eje. La sujeción elástica Skl-12 es la más habitual, siendo también posible el empleo de la sujeción elástica Pandrol, con la salvedad de que el diámetro de los orificios en las placas nervadas debe ser de 36 mm para alojar el casquillo aislante de los anclajes (o 40 mm en el caso de casquillos excéntricos). Cabe destacar que en los casos más habituales sólo se precisan 2 anclajes por placa base, siendo preferible en este caso su disposición en diagonal.

Anclaje	Elastómero (t en mm)**	Tranvía Q = 100 kN	Metro Q = 135 kN	FFCC Conven. Q = 160 kN	AVE Q = 250 kN
HRT M22x215	10				
	20				
	30				
HRC M22x225 HRC DB M22x225	10				
	20				
	30				
HRA M22x220	10				
	20				
	30				
HRT-WH M22x200	10				
Criterios	Vmax	60 km/h	80 km/h	120 km/h	≥ 250 km/h
	Rmin (Vmax)	70 m (25 km/h)	200 m (60 km/h)	350 m (80 km/h)	3000 m
	Separación	750 mm	750 mm	700 mm	650 mm

Figure 2.70: Criterios de disposición de los anclajes en la placa base FUENTE: Soluciones a medida para vía en placa (Hilti)^[25]

Aislamiento eléctrico

El aislamiento eléctrico de este sistema se consigue mediante un casquillo plástico en la parte superior, el centrador inferior del que van provistos los anclajes y la propia resina con la que se

inyecta el inserto. Esto permite evitar el contacto entre el anclaje y otros elementos metálicos que formen parte de la armadura de la losa que provocaría el cierre del circuito eléctrico del carril y problemas de interferencia con los sistemas de vía. La capacidad aislante de estos sistemas aparece reflejada en la figura adjunta:

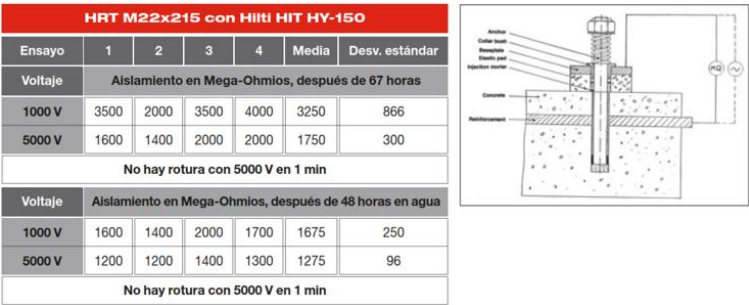
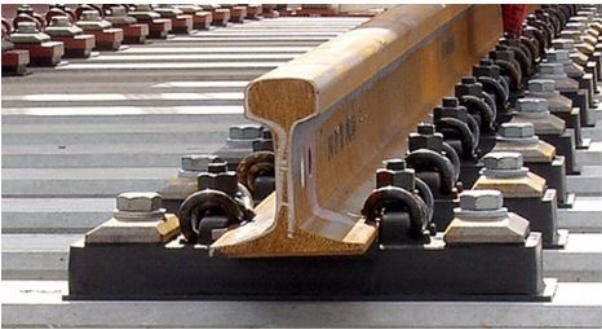


Figure 2.71: Aislamiento eléctrico de anclajes
FUENTE: Soluciones a medida para vía en placa (Hilti) ^[25]

Placas elásticas BWG con sistema PAD

Las placas elásticas con sistema PAD desarrolladas por la empresa Voestalpine BWG son una evolución de los puntos de fijación vulcanizados empleados en los desvíos de alta velocidad de muchas de las líneas de ADIF, que presenta como principal ventaja la posibilidad de ajustar la elasticidad vertical de las placas, con valores comprendidos entre los 4 kN/mm y los 25 kN/mm, permitiendo así su adaptación a diferentes puntos de la vía que necesitan distintos grados de flexibilidad. Así por ejemplo, se puede ajustar la rigidez de las placas en elementos muy rígidos del desvío, como puede ser el corazón del cruzamiento, dotando a las placas de fijación del mismo de una mayor flexibilidad. Esto resulta complicado en otro tipo de sistemas como por ejemplo en los que basan su funcionamiento en la disposición de suelas antivibratorias entre traviesas y la placa de hormigón, siendo difícil ajustar su rigidez. Es posible el empleo de este sistema en desvíos dispuestos sobre traviesas de hormigón, tanto en vía sobre balasto como en vía en placa, así como en soluciones de fijación directa de desvíos sobre la vía en placa.



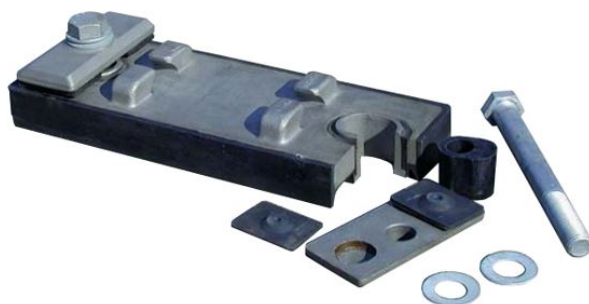


Figure 2.72: Vista general de las placas elásticas BWG con sistema PAD FUENTE: ERL Elastic Ribbed Plate Support (Voestalpine BWG) ^[26]

Al ser la parte metálica independiente de la parte elástica, existe la posibilidad de diseñar la parte metálica para adaptarse a cualquier perfil de carril, inclinación del mismo y tipo de clip (SKL, Fastclip, e-Clip, etc.) Este sistema modular se complementa con la inclusión de un elastómero texturizado en suspensión fabricado de goma denominado ERL (Elastic Ribbed Layer) que puede disponerse entre las placas nervadas de los sistemas de fijación indirecta y el elemento soporte (traviesas, losas de hormigón, etc.). El sistema ERL 17.5P de apoyo de alta elasticidad y el sistema ERL 30P de apoyo semielástico incorporan todas las características esenciales del extinto sistema de placas nervadas vulcanizadas y son una alternativa efectiva. Estos elastómeros están provistos de huecos en la parte inferior que previenen el efecto de las sobrecargas.



Figure 2.73: Placas de asiento ERL 30P y ERL 17.5P FUENTE: Catálogo ERL 30P ERL 17.5P Pad Version for Elastic Ribbed Base Plate Support (Voestalpine BWG) ^[27]

La placa ERL 30P con una rigidez por punto de apoyo de 30 kN/mm ($\pm 10\%$) es adecuada en aquellos casos en los que se precise una rigidez de la vía sobre balasto de hasta aproximadamente 85 kN/mm. En aquellos casos en que se precise una rigidez menor, este elemento se puede combinar con placas elásticas bajo carril (Zw 900/Zw 1000) en las proximidades de los aparatos de vía. La placa ERL 17.5P se emplea en aquellas zonas donde se precise unos niveles de rigidez por punto de apoyo comprendidos entre los 4,5 y los 25 kN/mm. Este tipo de placa es particularmente indicada para su empleo en secciones con vía en placa, en puentes y viaductos.

Sistema 300 con clip elástico SKL 15

Este sistema ha sido desarrollado por la empresa Vossloh. Presenta la ventaja de que permite su disposición en cualquier tipología de sistema de vía en placa y puede suministrarse premontado en las placas o traviesas, con lo que se evita el extravío de material o el deterioro del mismo en su traslado hasta la zona de montaje. Las placas de apoyo que se disponen bajo el carril en este sistema cuentan con una gran elasticidad, con valores desde los 17 kN/mm. Bajo estas placas se dispone una placa de acero con objeto de mejorar el reparto de cargas hacia las capas inferiores. La posición correcta del carril se asegura mediante la disposición de placas acodadas a ambos lados del mismo. Estas placas permiten además el correcto posicionado del clip elástico SKL 15 con el que se monta este sistema. El sistema puede regularse en altura mediante la disposición de placas de asiento bajo carril de distintos espesores (de 2 mm a 12 mm), lo que permite realizar variaciones de $+6/-4$ mm. Si se recurre al empleo de placas especiales de ajuste este margen puede incrementarse hasta los 76 mm. Por otra parte el ajuste horizontal del carril puede realizarse en un margen de ± 16 mm, con escalones de regulación de 1 mm.

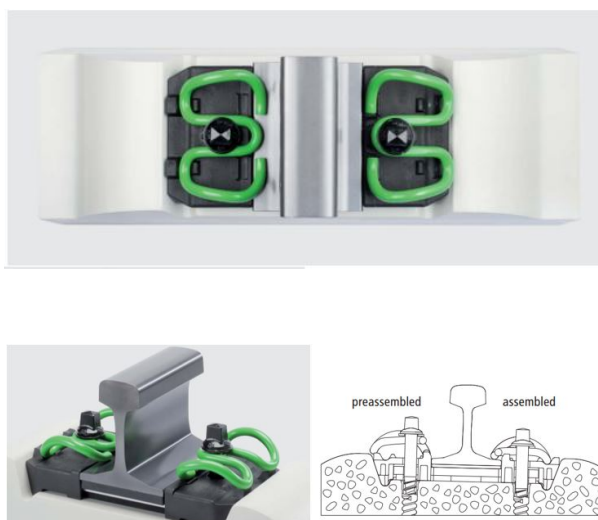


Figure 2.74: Sistema de fijación Vossloh 300 con clip elástico SKL 15 FUENTE: Rail fastening system for slab tracks. System 300 (Vossloh)^[28]

Sistema DFF 21 con clip elástico SKL 21

Se trata de un sistema desarrollado por la empresa Vossloh que permite la fijación de un único carril. El clip elástico que se utiliza en este sistema de fijación es el SKL 21, con una resistencia de 2,5 mm a fatiga. Es compatible con su empleo en desvíos ferroviarios. El sistema cuenta con placas acodadas en ambos laterales que permiten ajustar la posición del carril, facilitar el montaje y apretado de la sujeción y, junto con el clip elástico garantizar una mayor seguridad frente al vuelco. Presenta la ventaja de que permite el ajuste de su posición tanto en el plano horizontal como en altura, permitiendo movimientos de ± 10 mm en el primero de los casos y una variación

de su posición vertical de hasta 16 mm. Bajo el carril se disponen placas de asiento con un amplio rango de rigideces desde los 30 kN/mm.



Figure 2.75: Sistema de fijación Vossloh DFF21 con clip elástico SKL 21 FUENTE: Rail fastening system for slab tracks. System DFF21 (Vossloh)^[30]

Sistema Vossloh 336 SD con clip elástico SKL 24

Este sistema se emplea habitualmente en ferrocarriles metropolitanos con vía en placa, aunque su versatilidad permite que pueda ser empleado en otro tipo de líneas. Es compatible con su empleo en desvíos ferroviarios. Su principal ventaja es el efecto reductor que tiene sobre la emisión de ruidos y vibraciones, de hay que su principal campo de aplicación sea el de los ferrocarriles metropolitanos. El principio de funcionamiento del sistema se basa en un desarrollo del sistema de fijación KS. El clip elástico que se suele emplear es el SKL 24, con una resistencia a fatiga de 2,5 mm. Bajo la placa nervada se dispone un elastómero de muy alta elasticidad ($\geq 8 \text{ kN/mm}$), lo que le confiere al sistema unas muy buenas características de mitigación del ruido y las vibraciones. Estas propiedades se ven mejoradas con el empleo de tornillos con fijación elástica que permiten aplicar sobre el elastómero la tensión previamente calculada. Este sistema es compatible tanto con el sistema de montaje top-down como con el sistema bottom-up. El sistema permite efectuar correcciones de posicionamiento del carril en el plano horizontal (hasta $\pm 10 \text{ mm}$), así como en el plano vertical (hasta + 20 mm).





Figure 2.76: Sistema de fijación Vossloh 336 SD FUENTE: Rail fastening system for slab tracks. System 336/336 SD (Vossloh)^[31]

Placas adherizadas ADH Railtech Sufetra

Este modelo de placas ha sido desarrollado por la empresa Railtech, y presentan una rigidez comprendida entre los 17 kN/mm y los 25 kN/mm. Estas placas constan de una base metálica, una placa soporte metálica y una inyección de caucho que solidariza ambas placas y que a la vez las aísla. Se pueden adaptar a todas las configuraciones de aparatos de vía que se fabrican en la actualidad, aunque se emplean generalmente en los aparatos de vía tipo C empleados por ADIF para su red convencional.



Figure 2.77: Placa adherizada tipo ADH (Railtech-Sufetra)

2.7 Definición del procedimiento constructivo

En este apartado se procede a describir los principales procedimientos de montaje de desvíos que se emplean en la actualidad, tanto para desvíos dispuestos en vía sobre balasto, como para desvíos colocados sobre vía en placa. En el segundo de los casos, dentro de las soluciones planteadas para la disposición de desvíos sobre vía en placa, se pueden distinguir dos procedimientos distintos. Por un lado se encuentran las soluciones planteadas en aquellas zonas donde la vía se fija directamente a una losa de hormigón (solución fundamentalmente empleada en estaciones), y en aquellos casos donde el sistema de vía en placa empleado no resuelve mediante un diseño específico la adaptación del sistema a las singularidades que plantean las zonas de aparatos de vía. Como

se verá más adelante en estos casos el sistema se interrumpe al llegar a la zona donde se localizan los aparatos de vía, ejecutándose una losa de hormigón que dará apoyo a estos elementos. La ejecución de esta losa suele realizarse siguiendo los dos tipos de procedimientos constructivos, bottom-up y top&down, que se exponen en los siguientes apartados. Por otro lado se encuentran las soluciones específicas que han desarrollado algunos fabricantes de vía en placa para estas zonas singulares de la vía. El modo en que estos sistemas de vía en placa han conseguido adaptar su principio de funcionamiento y procedimiento constructivo a las zonas de aparatos de vía aparece descrito de forma detallada dentro del Apartado 9 Adaptación a la zona de desvíos de diferentes sistemas de vía en placa del presente documento.

2.7.1 Procedimientos habituales de montaje de desvíos en vía sobre balasto

La normativa que establece los procedimientos de montaje de aparatos de vía a nivel nacional es la norma N.A.V. 7-1-3.2. Montaje de vía. Instalación de aparatos de vía. Desvíos, escapes y travesías [32], de octubre de 2000. Tradicionalmente el montaje de desvíos se realizaba in situ, recibiendo los elementos que lo componen desensamblados, siendo necesario por lo tanto realizar el montaje definitivo en su punto de implantación. Estos elementos, en el caso de los desvíos de alta velocidad, son de gran longitud, superiores en algunos casos a los 60 metros, por lo que resulta necesario, al igual que sucede con el carril, el transporte de los mismos mediante vagones preparados a tal efecto desde las instalaciones del fabricante, en los que son cargados y arriostados siguiendo procedimientos estandarizados, hasta la traza. Para evitar estos inconvenientes se suele recurrir al apoyo de las bases de montaje de vía para realizar el acopio y premontaje de los desvíos, realizando una gestión anticipada del suministro de los elementos que lo componen. En la actualidad la metodología empleada por el Administrador de Infraestructuras Ferroviarias (ADIF) para el montaje de los desvíos en las líneas de alta velocidad que gestiona se basa en el empleo del sistema modular PEM/LEM.

Montaje de desvíos in situ. Método tradicional

Tal y como se ha señalado en el apartado anterior, la norma que rige los procedimientos tradicionales de montaje de aparatos de vía a nivel nacional en vía sobre balasto es la norma N.R.V. 7-1-3.2. Montaje de vía. Instalación de aparatos de vía. Desvíos, escapes y travesías^[32], de octubre de 2000. Las fases constructivas que se establecen en dicha norma para el montaje de un desvío son las que se relación a continuación:

- Recepción de material. Descarga y acopio
- Elección y preparación de la explanación
- Replanteo
- Ensamblado
- Traslado y ubicación en vía
- Soldadura y neutralización

Recepción de material. Descarga y acopio

Las labores de descarga deben de realizarse de tal modo que los materiales que se manipulen no sufran deformaciones o roturas. Las zonas de acopio, ya sea en la base de montaje o en la zona de puesta en obra, donde se descarguen los materiales deberá ser un terreno regular y sensiblemente horizontal. Para evitar deformaciones en los materiales durante las labores de descarga se suele disponer de maquinaria de elevación con la potencia y longitud necesaria para permitir la manipulación de los elementos más pesados. En cualquier caso deberá de garantizarse que los puntos de sujeción de las eslingas a los diferentes componentes del desvío se sitúen de tal forma que la máxima flecha que se genere durante el proceso de izado, tanto en el vano central como en el extremo de los voladizos, sea de 6 cm.



Figure 2.78: Descarga y acopio de los elementos que componen el desvío en la base de montaje

Las labores de izado no deben de prolongarse excesivamente en el tiempo para evitar la aparición de deformaciones permanentes en los materiales manipulados. Para evitar la aparición de deformaciones permanentes y flechas excesivas se suele dotar a las grúas de vigas rigidizadoras. De igual modo, y para evitar posibles deterioros en los materiales manipulados, las eslingas o cadenas utilizadas en la descarga suelen contar con fundas de protección en sus extremos.





Figure 2.79: Empleo de grúas con vigas rigidizadoras para la manipulación de los elementos del desvío con objeto de evitar deformaciones

En el caso de las traviesas de hormigón que forman parte del desvío es habitual que se envíen directamente de forma separada a la zona donde se va a proceder al montaje del desvío, ya sea en la propia traza, en una explanación preparada provisionalmente junto a la vía, o bien a la base de montaje de vía en el caso de que se prevea su empleo. Para facilitar las labores de montaje las traviesas suelen venir numeradas de acuerdo con la posición que ocuparán dentro del desvío. La carga de estas traviesas en fábrica se realiza en este orden, por lo que la descarga en obra o bien en la base de montaje debe de realizarse siguiendo el mismo procedimiento.

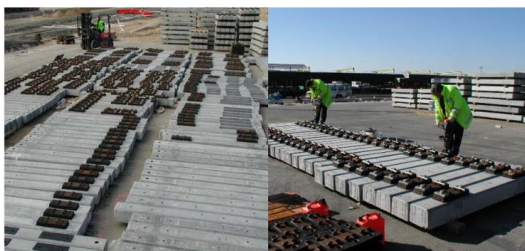


Figure 2.80: Acopio de traviesas de desvío en la base de montaje y montaje de las placas de asiento

Replanteo

Se debe de proceder en esta fase al replanteo de los ejes de la junta de contraaguja con la mayor precisión posible. Se colocan piquetes en los extremos de las traviesas que sustentarán el desvío con un margen de entre 3 y 5 cm hacia el exterior de la vía, procediendo a disponer a lo largo de estas líneas rastreles que posibilitarán el apoyo de las traviesas. Estos rastreles están formados por perfiles en U invertidos sobre los que se sueldan perfiles angulares de 10 metros de longitud. El lado abierto de estos perfiles se dispone hacia el interior de la vía, engrasándose su superficie para facilitar el desplazamiento de la traviesa y en los movimientos de ajuste hasta su posición definitiva. En la zona del cruzamiento, y debido a las limitaciones de espacio se sustituyen estos angulares por platabandas. Se procederá al replanteo y marcaje sobre estos rastreles y platabandas de la ubicación definitiva de las traviesas del desvío.

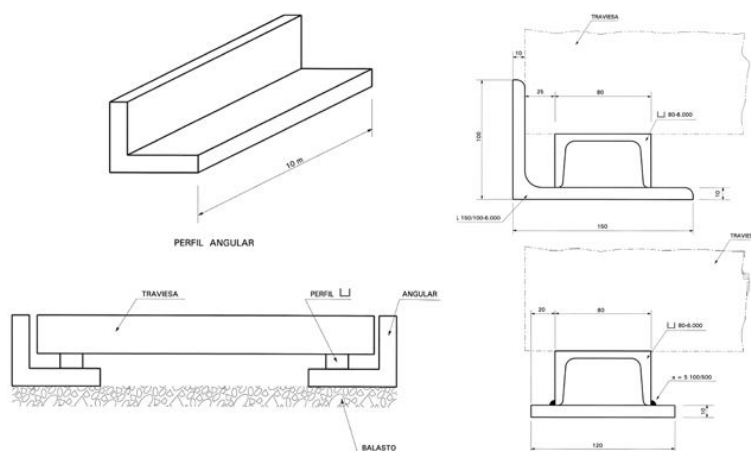


Figure 2.81: Esquema de disposición de los rastreles de apoyo de las traviesas

Ensamblado

Los diferentes elementos que componen el desvío cuentan en sus extremos con una serie de marcas de fábrica que, mediante la adecuada interpretación de los planos de montaje del desvío, permiten el correcto ensamblaje de estos elementos. Dado que la ubicación de las traviesas también es específica en el caso de los desvíos, éstas se encuentran también correctamente marcadas para garantizar que se colocan en la posición adecuada.

Posicionamiento y alineación del cambio

Con carácter previo al posicionamiento del cambio se procede a disponer tacos de madera sobre las traviesas que permitirán el apoyo del cambio sobre dichos tacos por encima de las placas de apoyo. Estos tacos suelen tener una altura de 3 cm y se disponen cada 5 traviesas, esto es, cada 3 metros aproximadamente. Se procede a continuación a la descarga y posicionado previo del cambio sobre estos tacos de madera, comprobándose la ubicación correcta del mismo y su posible descuadre, corrigiéndose en el caso de que fuese necesario. Una vez posicionado el cambio se procede a chequear que los orificios de las placas nervadas, que van fijadas a los carriles que componen el cambio, se encuentran alineadas con sus correspondientes taladros en las traviesas. Con carácter previo se debe de comprobar que las placas están fijadas al carril en su posición correcta, que debe de aparecer marcada en el patín del carril. En el caso de que la alineación de los orificios que permitirán el paso de los tornillos de la sujeción no sea correcta se procede a rectificar la posición de la traviesa. Para esta tarea se suelen emplear habitualmente barras de acero protegidas mediante forros de caucho con objeto de evitar cualquier posible daño a la traviesa. A continuación se introducen todos los tornillos de las sujeciones y placas nervadas del cambio, procediendo a retirar entonces los tacos de madera y hacer descender los dos semicambios hasta que apoyen sobre las placas de apoyo de las traviesas. Se fijan entonces los semicambios a las traviesas procediendo al apriete de los tornillos de las sujeciones.

Posicionamiento y alineación de los carriles intermedios

Esta fase comienza una vez que se han colocado y alineado todas las traviesas correspondientes al cambio del desvío. Una vez que se han posicionado correctamente estas traviesas se procede a la

colocación de los carriles intermedios del desvío Los carriles intermedios se van posicionando de forma ordenada, comenzando por el carril correspondiente al hilo número 1, respetando siempre las marcas antes señaladas.

Colocación del cruzamiento

Una vez que se han colocado los carriles intermedios se procederá a disponer sobre sus correspondientes traviesas los diferentes elementos que componen el cruzamiento (corazón, carriles exteriores y contracarriles, en el caso de que fuesen necesarios). Todos elementos se unen a los carriles intermedios mediante una serie de bridas provisionales. Se debe de comprobar que las cuatro juntas de conexión tanto de vía directa como de vía desviada con la vía general quedan perfectamente posicionadas con los carriles a los que se van a soldar.

Apretado de la sujeción

En esta fase se procede a aplicar la fuerza de apriete sobre los tornillos de gancho de los clips de la sujeción de entre 180 y 200 N·m. Esto permite contar con una holgura máxima entre bucle central del clip y el patín del carril de 2 mm. Este par de apriete debe de comprobarse mediante una llave dinamométrica homologada. Por último deberán de apretarse los tornillos de las bridas provisionales de forma que estas bridas queden perfectamente acopladas a los carriles.

Comprobaciones

Una vez que el desvío se encuentra completamente ensamblado, ya sea en la base de montaje o bien en la explanación, se procede a realizar la comprobación de una serie de medidas que permiten garantizar el correcto montaje del mismo. Algunas de estas medidas son las que se relacionan a continuación:

- Entrecalle mínima de agujas no acopladas.
- Descuadre de las juntas de contraaguja.
- Cota de protección del corazón.
- Entrecalle carril-contracarril.
- Defectos en los materiales de naturaleza grave.

Soldadura y neutralización

Soldadura de los diferentes elementos que componen el desvío

Antes de proceder a la soldadura de los diferentes componentes del desvío se debe de comprobar que las juntas de contraaguja se encuentran a escuadra. Una vez realizada esta comprobación se procederá a la realización en primer lugar de las soldaduras interiores del aparato para, posteriormente, realizar la soldadura de los puntos que conectan el desvío con la barra larga soldada. Esta secuencia aparece representada de forma esquemática en las siguientes figuras que forma parte de la norma N.R.V. 7-1-3.2:

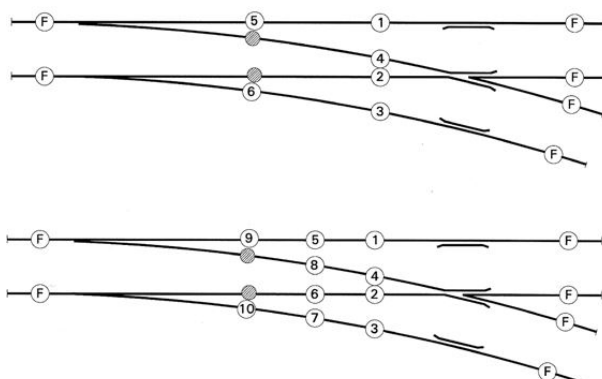


Figure 2.82: Esquemas de la secuencia en que deben de realizarse las soldaduras en un desvío

En estos esquemas aparecen representados con círculos en color gris los puntos de soldadura de los espadines de las agujas. Mediante números se indica la secuencia en que debe de realizarse la soldadura de los carriles intermedios que componen el desvío, indicando con una letra F los puntos en que deben de realizarse las soldaduras finales que conectará el desvío con la vía general y la vía desviada.

Liberación de tensiones

Una vez que se han soldado todos los elementos que componen el desvío, y se ha comprobado que sobre todas las sujeciones del desvío se ha aplicado la fuerza de apriete apropiada, se dará inicio al proceso de liberación de tensiones. Este proceso tiene por objeto evitar las sobretensiones derivadas de las variaciones de temperatura del carril que podrían provocar el deterioro o rotura del mismo. A efectos de liberación de tensiones, el desvío se considera como un punto fijo. Es por esto que la liberación de tensiones se realiza sobre los tramos adyacentes de vía siguiendo el siguiente proceso:

- En primer lugar se actuará en la parte posterior del aparato, a continuación del talón de la vía directa.
- En segundo lugar se actuará en la parte anterior a la junta de contraaguja.
- Por último, y siguiendo el mismo proceso que en los dos casos anteriores, se actuará sobre el talón de la vía desviada.

En la siguiente figura, extraída de la norma N.R.V. 7-1-3.2, aparece representada de forma gráfica esta secuencia de trabajos.

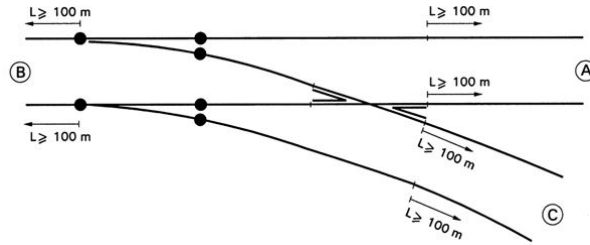


Figure 2.83: Esquemas de la secuencia de liberación de tensiones en un aparato de vía

Estas operaciones pueden realizarse en cualquier momento del montaje de vía. Existen dos métodos que se pueden emplear para alcanzar la temperatura adecuada para la neutralización por medios forzados:

- Calentamiento artificial. Consiste en el calentamiento del desvío completo y los cien metros de vía anteriores y posteriores al mismo, hasta alcanzar la temperatura deseada.
- Tensores hidráulicos. En este caso se aplica sobre la sección mediante tensores hidráulicos un alargamiento equivalente al incremento de longitud producido por una variación de temperatura igual a la diferencia entre la temperatura del carril y la temperatura de neutralización.

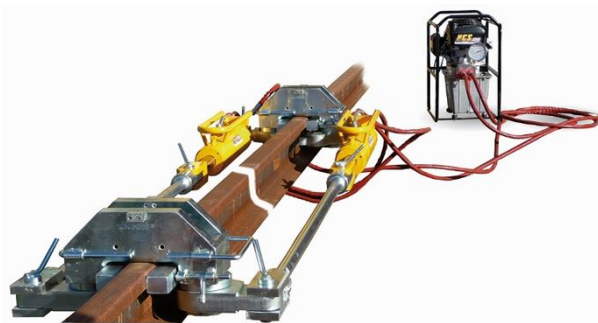


Figure 2.84: Herramientas utilizadas en el proceso de liberación de tensiones

En ambos casos es preciso que tanto las sujeciones del cambio como las del cruzamiento se encuentren apretadas. Para evitar la aparición de defectos en el carril no se realizarán estas operaciones cuando la temperatura sea 20°C inferior a la de neutralización. El hecho de no realizar la liberación de tensiones dentro del propio desvío se justifica por el hecho de que este proceso podría deformar el aparato volviéndolo inservible. No obstante lo anterior, lo que si suele hacerse, y resulta recomendable, es tratar de homogeneizar las tensiones a lo largo de la geometría del desvío aplicando golpes a los carriles con un mazo de madera o plástico (nunca de metal), de aproximadamente 5 kg de peso.

Montaje de desvíos mediante el sistema modular PEM/LEM

Este sistema permite realizar la carga, el transporte, la descarga y el posicionamiento de desvíos completos o elementos de desvíos y aparatos premontados previamente en la base de montaje de vía, en un tiempo mucho menor que el empleado por los sistemas tradicionales de puesta en obra. Se evita así también el problema derivado de la necesidad de disponer grúas de gran tonelaje en zonas de difícil acceso. El sistema se compone principalmente de los siguientes elementos:

- Un pórtico extensible motorizado (PEM) Se trata de un equipo que permite la carga mediante un sistema de enganche de pinzas hidráulicas y cadenas de seguridad. Sus movimientos son principalmente laterales, permitiendo un ripado transversal de ± 1.375 mm, y un ripado longitudinal de hasta 100 mm. Este sistema modular permite sincronizar hasta 8 equipos PEM que pueden ser telemandados por un operador mediante un radio mando. El peso de cada una de estas unidades es de 4.000 kg, con una capacidad de elevación de hasta 20 Tn.



Figure 2.85: Sistema modular PEM/LEM. Detalles y vista general del pórtico extensible motorizado (PEM)

- Un carro elevador motorizado (LEM). Este equipo permite el transporte del desvío o de sus partes, garantizado que su geometría no se ve alterada, siendo necesario para su empleo el montaje de una vía auxiliar para continuar el camino de rodadura. Dispone de una mesa elevadora que tiene por objeto evitar posibles obstáculos durante el transporte a lo largo de la vía con los movimientos de elevación y ripado combinados y sobre todo, mantener en posición horizontal el aparato durante la operación de colocación, al descender a la plataforma por las rampas de la vía auxiliar. Este equipo permite además absorber las torsiones laterales durante el transporte del aparato en curvas. Al igual que en el caso del PEM, un operador puede trabajar con hasta 8 equipos LEM de forma sincronizada mediante un radio mando. El peso de cada una de estas unidades es de 4.200 kg, con una capacidad de elevación de hasta 20 Tn.

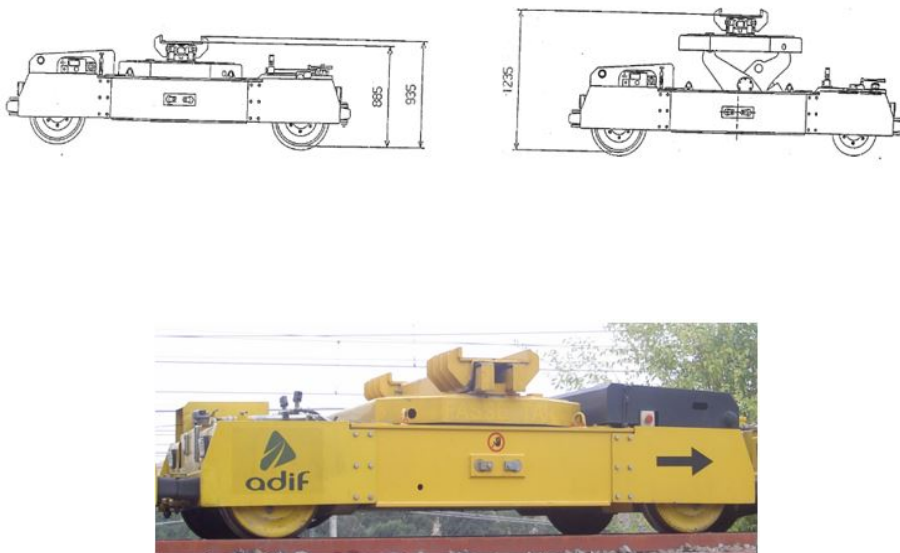


Figure 2.86: Sistema modular PEM/LEM. Detalles y vista general del carro elevador motorizado (LEM)

Este sistema es uno de los más empleados en Europa para la instalación de aparatos de vía de alta velocidad. Una de las principales ventajas que presenta es su modularidad, permitiendo el empleo del mismo para diferentes tipologías de desvíos variando únicamente el número de unidades PEM y LEM necesarias para el montaje. Así por ejemplo, el número de unidades necesarias para el montaje de los principales desvíos empleados en las líneas de alta velocidad son los siguientes:

CAPÍTULO 2. DESVÍOS Y CRUZAMIENTOS

Denominación	Cambio			Zona Intermedia			Cruzamiento			PEM/LEM [ud]
	Longitud [m]	Peso [Tn]	PEM/LEM [ud]	Longitud [m]	Peso [Tn]	PEM/LEM [ud]	Longitud [m]	Peso [Tn]	PEM/LEM [ud]	
DSIH-AV3-60-760-1:14 -CCM-D/I-TC	41,6	-	5	-	-	-	12,6	-	2	7
DSIH-AV3-60-3000/1500-1:22 -CCM-D/I-TC	32,9	34,0	4	-	-	-	47,9	61,0	6	10
DSIH-AV3-60-10000/4000-1:36 -CCM-D/I-TC	54,6	53,9	6	54,0	62,9	6	21,3	34,1	3	15
DSIH-AV3-60-17000/7300-1:50 -CCM-D/I-TC	63,0	63,8	7	62,4	78,0	7	49,2	70,4	6	20

Tabla 2.28: Número de unidades PEM/LEM necesarias para el montaje de los principales desvíos de alta velocidad

NOTA: En el caso de los desvíos DSIH-AV3-60-760-1:14-CCM-D/I-TC y DSIH-AV3-60-3000/1500-1:22-CCM-D/I-TC el premontaje de la zona intermedia del desvío se realiza de forma conjunta con el cambio o el cruzamiento.

En los siguientes apartados se describe de forma detallada el procedimiento de montaje de desvíos mediante el empleo de este sistema.

Premontaje de los desvíos en la base de montaje

Tal y como se ha comentado anteriormente una de las principales ventajas que presenta este sistema es la posibilidad de emplear las bases de montaje para realizar el premontaje del desvío a partir de los diferentes elementos que lo constituyen, lo que permite conseguir unos mayores rendimientos durante esta fase de montaje (al contar con maquinaria y medios mucho más adecuados que en el punto de colocación en obra, donde muchas veces por razones de espacio y orografía del terreno resulta muy complicado utilizar los mismos) y una mayor precisión en la realización de estas operaciones, evitando el deterioro de los materiales o la pérdida o extravío de muchos de los componentes. La recepción de material se realiza directamente en la base de montaje. Para garantizar el cumplimiento de los estándares de calidad y debido también a las grandes dimensiones que presentan muchos aparatos, resulta obligado realizar el transporte desde fábrica de los desvíos desmontados, transportando separadamente las traviesas de la parte metálica. Las traviesas se suministran directamente de fábrica y son transportadas mediante camiones. La parte metálica de los desvíos suelen transportarse desde las instalaciones del fabricante en trenes preparados a tal efecto, ya que sus grandes dimensiones impiden el transporte de los mismos por carretera. Únicamente los aparatos de dilatación y los desvíos convencionales se pueden transportar en camiones mediante transporte especial, ya que sus dimensiones son mucho menores.



Figure 2.87: Recepción de suministro de materiales en la base de montaje de vía



Figure 2.88: Premontaje del desvío en la base de montaje

Preparación de la plataforma para la instalación del desvío. Montaje de vía auxiliar

Mientras se realizan las labores de premontaje de los diferentes elementos del aparato de vía en la base de montaje, en el lugar donde está prevista la implantación del mismo se debe de proceder a realizar una serie de tareas previas antes de realizar el transporte de los mismos hasta esta zona. En primer lugar, y una vez replanteada la junta de contraaguja del desvío, se debe de proceder al rebaje y posterior compactación de la zona donde está prevista la instalación del aparato.



Figure 2.89: Rebaje y compactación de la zona donde se dispondrá el desvío

Una vez realizada esta operación se procederá a montar las bridas en los extremos de los carriles de la vía general, que permitirán la unión de los mismos con la rampa que dará acceso a la vía provisional que se montará en esta zona para dar acceso a los carros que transportarán los pórticos que sustentan los elementos que componen el desvío.

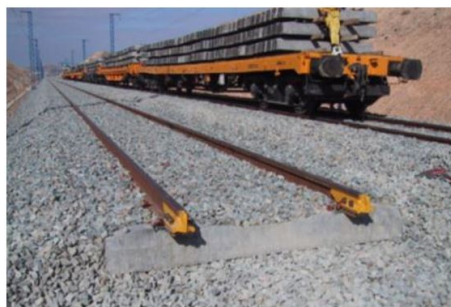


Figure 2.90: Colocación de bridas para la unión de la rampa con la vía general



Figure 2.91: Conexión de la rampa de acceso a la vía provisional en la zona del desvío

Paralelamente a la ejecución de estas operaciones se procederá al montaje de un tramo de vía provisional en la zona donde está prevista la implantación del desvío. Los carriles que conforman este tramo de vía se unirán entre sí empleando tirafondos, disponiendo a su vez tirantas metálicas entre ambos carriles con objeto de garantizar el mantenimiento del ancho de vía.



Figure 2.92: Extendido de vía provisional en la zona del desvío. Detalle de los elementos de unión que configuran la vía provisional

Transporte de los elementos premontados del desvío hasta su zona de implantación

El transporte de los desvíos completos o bien de alguno de sus módulos (cambio, carriles intermedios o cruzamiento) premontados en la base de montaje de vía se puede realizar empleando trenes plataforma, o bien los carros elevadores monitorizados (LEM) antes comentados. Las plataformas se emplean en los casos en que las distancias de transporte son superiores a los 4 km y los radios de curvatura del trayecto son superiores a 318 metros. Es necesario disponer sobre la superficie de la plataforma rastreles para permitir el deslizamiento de la carga a la llegada al lugar de puesta en obra.



Figure 2.93: Transporte del desvío premontado desde la base de montaje de vía hasta su lugar de puesta en obra mediante el empleo de plataformas.

En el caso de los carros elevadores monitorizados (LEM), se suelen emplear en trayectos más cortos, cuando la distancia al punto de puesta en obra del desvío es inferior a 4 km. Presentan como principal ventaja que absorben las torsiones laterales que se producen en el material transportado en curvas de radio reducido, por lo que no hay limitaciones en este sentido. La velocidad de transporte es inferior al de las plataformas, presentando velocidades inferiores a los 6 km/h.



Figure 2.94: Transporte del desvío premontado desde la base de montaje de vía hasta su lugar de puesta en obra mediante el empleo de carros LEM.

Una vez premontados los desvíos se posicionan los pórticos PEM en su posición correcta mediante el empleo de puentes grúa o bien mediante maquinaria auxiliar (vaiacar), procediendo a continuación a la fijación de los carriles del desvío a dichos pórticos mediante un doble sistema de seguridad constituido por un sistema hidráulico de mordazas y unas cadenas.



Figure 2.95: Posicionado de los pórticos PEM sobre los desvíos premontados y anclaje de los mismos

Una vez fijados el desvío a los pórticos PEM mediante el sistema antes descrito se procede a la extensión de las vigas correderas con que cuentan estos aparatos hasta alcanzar el gálibo horizontal necesario que permite desplegar los pies de elevación. Tras realizar esta operación se sacan los pies de elevación, apoyándolos sobre el terreno para permitir el izado de todos los cuerpos del desvío, dejando el gálibo libre vertical necesario para el acceso del medio de transporte finalmente adoptado. Tal y como se ha señalado en apartados anteriores este medio de transporte puede ser una plataforma ferroviaria (para distancias mayores de 4 km) o bien los propios carros de elevación LEM que se emplearán para la colocación del desvío en su ubicación definitiva.





Figure 2.96: Procedimiento de carga de los pórticos PEM y los desvíos premontados

En el caso de que el transporte se realice mediante plataforma ferroviaria, será necesario descargar los pórticos PEM que sujetan los desvíos premontados sobre los carros elevadores LEM. Esta operación consta de las siguientes fases:

- Extendido de las vigas correderas hasta alcanzar el gálibo horizontal necesario para el despliegue de los pies de elevación.
- Despliegue de los pies de elevación e izado del aparato mediante los pórticos PEM. Bajo los pies de elevación y en el contacto con la plataforma se dispondrán tacos de traviesas de madera para evitar que los pies se hundan en la plataforma y mejorar el reparto de cargas.
- Retirada de la plataforma ferroviaria.
- Entrada y posicionamiento de los carros de elevación LEM bajo los pórticos PEM y descenso parcial del desvío mediante la actuación de los pies de elevación.
- Izado de la mesa elevadora de que van provistos los carros de elevación LEM hasta hacer contacto con la cara inferior de las traviesas del desvío.
- Descenso de las mesas elevadoras y recogida de los pies de elevación y vigas correderas



Figure 2.97: Proceso de descarga de los pórticos PEM con el desvío premontado sobre los carros elevadores LEM

Una vez realizada esta operación los carros elevadores LEM ya estarían preparados para acceder a la vía auxiliar donde estaría previsto el montaje del desvío.

Posicionado del desvío

Una vez que la vía auxiliar está preparada en la zona donde está previsto instalar el desvío, y se ha conectado esta con la vía general mediante una rampa, se procede a dar acceso a través de la misma a los carros elevadores LEM que transportan los pórticos PEM que llevan sujetos los desvíos premontados. Al descender por la rampa, y mediante el accionamiento de las mesas elevadoras con las que van equipados los carros elevadores LEM, se corrige la posición de cada uno de ellos con objeto de conseguir que la totalidad del aparato se encuentre en un plano horizontal, evitando así la aparición de tensiones que podrían dañar alguno de los elementos que lo componen.



Figure 2.98: Acceso de los carros con el desvío a la vía auxiliar a través de la rampa

Una vez que todos los carros han descendido la rampa y se encuentran sobre la vía auxiliar comienzan a avanzar a lo largo de la misma hasta alcanzar la ubicación definitiva donde se va a implantar el desvío.



Figure 2.99: Avance del conjunto PEM/LEM a través de la vía auxiliar hasta la ubicación definitiva del desvío

Una vez que el aparato ha alcanzado esta posición se detienen los carros, se extienden las vigas correderas de los pórticos PEM, se despliegan los pies de elevación y se eleva el aparato por

completo, permitiendo así la retirada de los carros en el sentido inverso al que entraron en la vía auxiliar.



Figure 2.100: Izado del desvío mediante los pórticos en su ubicación aproximada y retirada de los carros

Una vez retirados los carros, se procede a desmontar las tirantas que unen los carriles y a desmontar de manera ordenada la totalidad de la vía auxiliar con la ayuda de una retroexcavadora.

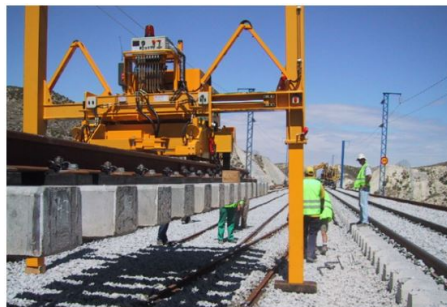


Figure 2.101: Desmantelamiento y retirada de la vía auxiliar

Ajustes de posicionado

Una vez que se ha terminado de desmantelar la vía auxiliar se procede a colocar el desvío a ras de suelo, haciendo descender los pies de elevación. Posteriormente se alinean los extremos del desvío con la vía general mediante movimientos longitudinales de los pórticos PEM. De igual modo, mediante movimientos transversales de los pórticos se consigue corregir la posición del aparato en el sentido transversal de la vía.



Figure 2.102: Ajuste de la posición definitiva del aparato mediante los movimientos transversales de los pórticos



Figure 2.103: Ajuste de la posición definitiva del aparato mediante los movimientos longitudinales de los pórticos y conexión con la vía general

Una vez colocado el aparato en su posición definitiva se procede al embridado del mismo para garantizar que no sufra ningún tipo de movimiento.

Retirada de equipos

Con el desvío correctamente embridado para evitar el movimiento del mismo, se procede a la retirada de los elementos que sujetaban el mismo a los pórticos PEM (cadenas y mordazas hidráulicas). Dado que estos equipos cuentan con un sistema de autopropulsión, es posible la retirada de los mismos haciéndolos circular sobre el desvío hasta la zona donde está prevista su retirada. La retirada de estos equipos se realiza mediante una viga de carga y el empleo de una retroexcavadora, que permite la colocación de los mismos sobre una plataforma ferroviaria que los transportará de vuelta hasta la base de montaje.



Figure 2.104: Retirada de los pórticos de la zona del desvío una vez embridado este.



Figure 2.105: Retirada de los PEM mediante una viga de carga y retroexcavadora

Riego de balasto

Con carácter previo a las labores de riego de balasto se procede a proteger aquellos componentes del desvío susceptibles de sufrir algún tipo de deterioro durante el desarrollo de esta operación. Así por ejemplo deberá de procederse a la cubrición de las traviesas huecas donde se alojan los dispositivos de accionamiento y encerrojamiento del desvío, así como el espacio existente entre agujas y contraagujas, donde la entrada de alguna de las piedras del balasto podría dificultar su retirada.



Figure 2.106: Protección de los componentes del desvío previa al riego de balasto.

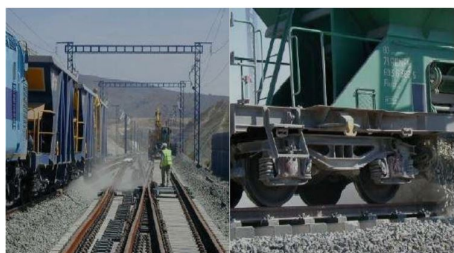


Figure 2.107: Riego de balasto en la zona del desvío

Bateo y estabilización

Una vez realizado el riego o extendido del balasto se procederá a realizar el bateo del mismo y la estabilización de la vía en la zona del desvío, con objeto de consolidar la banqueta de balasto hasta que alcance las capacidades resistentes previstas. Para ello se empleará maquinaria específica, en este caso máquinas bateadoras y estabilizadoras.

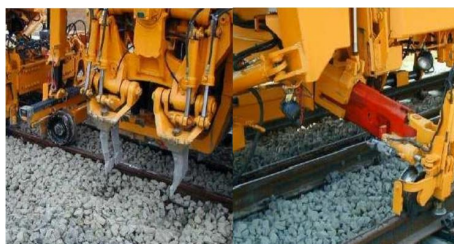


Figure 2.108: Labores de bateo y estabilización de vía en la zona del desvío. A la izquierda máquina bateadora, a la derecha máquina estabilizadora.

Perfilado

La siguiente operación a realizar consiste en el perfilado de la banqueta de balasto con objeto de que arrope la vía y se alcancen las condiciones geométricas previstas.



Figure 2.109: Operaciones de perfilado de la banqueta de balasto

Montaje de cerrojos y soldadura

Una vez perfilada y consolidada la banqueta de balasto y previamente a la soldadura de las juntas del desvío a la vía general se procederá al montaje y calibración de los dispositivos de encerrojamiento. Las labores de soldadura de las juntas de conexión del desvío con la vía general se realizarán siguiendo los mismos procedimientos adoptados para la soldadura en el resto de la vía, debiendo de tener en cuenta la necesidad de proceder a la liberación de tensiones.



Figure 2.110: Montaje de dispositivos de encerrojamiento



Figure 2.111: Soldadura de las juntas del desvío a la vía general. Liberación de tensiones.

Montaje de motores y comprobadores

Una vez efectuada la soldadura del desvío se procederá al montaje de los motores y comprobadores, realizando para garantizar el correcto funcionamiento de los mismos.



Figure 2.112: Soldadura de las juntas del desvío a la vía general. Liberación de tensiones.

Amolado y limpieza de los carriles

Para finalizar el proceso de montaje del desvío se procede al amolado y limpieza de los carriles que componen el mismo. Con estas operaciones se pretende dejar en perfectas condiciones el desvío.



Figure 2.113: Soldadura de las juntas del desvío a la vía general. Liberación de tensiones.

2.7.2 Procedimientos habituales de montaje de desvíos en vía en placa

Como norma general el montaje de los aparatos de vía sobre vía en placa suele realizarse siguiendo uno de los dos procedimientos que se indican a continuación:

- Sistema bottom-up. Este sistema consiste en el hormigonado previo de la losa sobre la que apoyará el aparato de vía. Una vez que el hormigón ha fraguado y adquirido la resistencia adecuada, se procede a posicionar el aparato y a fijar el mismo a la losa mediante taladrado y colocación de anclajes con resinas.
- Sistema top&down. Este sistema consiste en el posicionado previo del aparato en su ubicación definitiva con la ayuda de elementos auxiliares antes del hormigonado de la losa, quedando los elementos de fijación embebidos en ella.



Figure 2.114: Vista general de desvío montado sobre vía en placa

En ambos casos se parte de una presolera de hormigón sobre una superficie resistente (como la contrabóveda de un túnel o el tablero de un viaducto) que constituye la base rígida sobre la que se apoyarán el desvío, sus útiles de montaje y la propia losa. Generalmente los aparatos de vía se suministran a obra parcialmente premontados, formando conjuntos en los que las placas de asiento del carril se encuentran montadas sobre el mismo y las fijaciones apretadas. Esto facilita enormemente las labores de montaje.



Figure 2.115: A la izquierda descarga de cruzamiento premontado con placas ADH. A la derecha descarga de contraaguja premontada con junta aislante y placas ADH.

Sistema bottom-up

Este sistema consiste en realizar una solera lo más ajustada posible a las tolerancias definitivas, lo que permitirá disponer el aparato de vía con sus placas apoyadas sobre la solera, taladrar a través de las mismas dicha solera y fijar mediante pernos anclados con resinas el aparato. En este sistema se debe de ejecutar previamente una presolera de regularización, generalmente empleando hormigón del tipo HM-15/25/P/III, sobre la que se dispondrá una losa de hormigón hasta alcanzar la cota definitiva de solera. Antes de proceder al hormigonado de la solera, se procederá al armado de la misma, debiendo de disponerse todos los encofrados necesarios para dejar los huecos que permitirán la posterior instalación de los accionamientos del desvío, los motores, y todos los elementos de drenaje.



Figure 2.116: Huecos previstos en la solera de hormigón para la instalación del motor y la timonería del aparato

Esta solera debe de ejecutarse con gran precisión, tratando de conseguir unas tolerancias lo más ajustadas posibles. Las tolerancias mínimas que se deben de alcanzar son las que aparecen indicadas a continuación:

- Nivelación de la superficie: Entre 0 y 5 mm con respecto al nivel teórico
- Nivelación entre dos placas consecutivas: ± 2 mm
- Cavidades en la solera definitiva: 5% del área de trabajo como máximo
- Longitud de las cavidades: 5 mm como máximo

En el caso de que no se alcancen estas tolerancias deberá procederse al esmerilado mediante rozadora de la superficie de dicha solera hasta que se consiga alcanzar las mimas. El acabado final de esta superficie deberá de ser liso, por lo que se procederá al fratasado de la superficie del hormigón. Una vez ejecutada la losa, fraguada y endurecida convenientemente, se posiciona el aparato completo encima de la misma, dejándolo en su geometría definitiva con la ayuda de los útiles de montaje y regulación.



Figure 2.117: Aparato de vía preparado sobre la solera de hormigón, antes del taladrado de los orificios para las fijaciones.

FUENTE: Aparatos de vía con placas adherizadas tipo (R/A) ADH (Railtech)^[33]

Con el aparato perfectamente emplazado se procede a realizar los taladros en los puntos de anclaje de las placas nervadas, empleando herramientas que garantizan la verticalidad del orificio (la tolerancia máxima que puede presentar la inclinación de este orificio con respecto a la vertical deberá de ser inferior a $\pm 1^\circ$). El espacio existente a tal efecto en estas placas permite el paso de una broca de 30 mm, y la utilización de anclajes de $\phi 27$ mm.



Figure 2.118: Operación de taladrado de los orificios para las fijaciones

FUENTE: Aparatos de vía con placas adherizadas tipo (R/A) ADH (Railtech)^[33]

En general debe de emplearse un anclaje y una resina que garanticen un esfuerzo mínimo de tracción de 7 Tn por punto de fijación. Tras la realización del taladro se inyecta la resina de fijación y se coloca el perno de anclaje con el caballete de regulación, que es el que mantiene el perno en posición vertical, siguiendo en todo momento las instrucciones del fabricante.

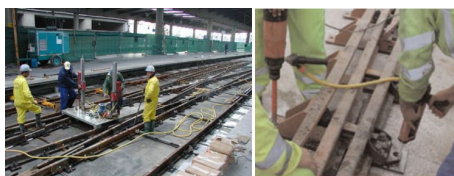


Figure 2.119: Operación de taladrado de los orificios para las fijaciones e inyección de la resina en los mismos

Después del fraguado de la resina puede aplicarse el apriete definitivo a la sujeción, verificando nuevamente la correcta geometría del aparato. El par empleado para el apriete de la sujeción suele ser de 350 N/m.



Figure 2.120: Apretado de la sujeción una vez endurecida la resina de fijación del inserto

FUENTE: Aparatos de vía con placas adherizadas tipo (R/A) ADH (Railtech)^[33]

Los pequeños defectos que puedan aparecer se pueden corregir mediante el empleo de suplementos o las alternativas de regulación postmontaje que ofrezca el sistema de asiento empleado. En el caso de la alineación es posible corregir los posibles defectos derivados del proceso de enco-lado de los anclajes mediante una arandela dentada que permite una carrera de hasta ± 12 mm.

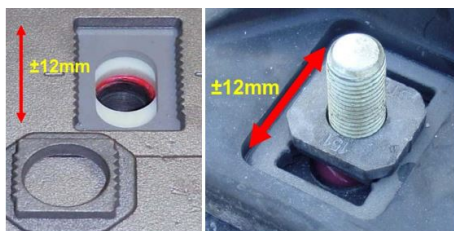


Figure 2.121: Corrección de los defectos de alineación mediante el ajuste de las arandelas dentadas de que va provista la placa de asiento del carril.

FUENTE: Aparatos de vía con placas adherizadas tipo (R/A) ADH (Railtech)^[33]

En el caso de que la comprobación topográfica detecte defectos de nivelación que superen las tolerancias máximas exigidas se podrá recurrir al empleo de calas de regulación, tal y como aparece indicado en la siguiente figura:



Figure 2.122: Corrección de defectos de nivelación mediante el empleo de calas de regulación.

Como última fase del proceso de montaje del desvío se procederá al montaje y regulación del accionamiento completo y la soldadura aluminotérmica de los extremos de los carriles.

Sistema top&down

Este sistema consiste en la nivelación y la alineación de los carriles del desvío, con sus correspondientes fijaciones, mediante elementos auxiliares, para proceder posteriormente al hormigonado del mismo. En este sistema se parte de la presolera o base rígida de hormigón, que ha de tener un espesor que permita un espacio libre adecuado a la altura de conjunto del aparato (desde la cota de cabeza de carril hasta la parte inferior de los insertos de anclaje) más un resguardo. La cota de esta presolera se situará a una cota mínima de 25 cm por debajo de la rasante final del hormigón de calado. En el caso de que por problemas constructivos no sea posible alcanzar esta cota se podrá justificar la reducción de la misma al existir cierto margen (la longitud de los insertos de los anclajes suelen tener una longitud de unos 116 mm y la distancia mínima del extremo de los mismos a la base de hormigón puede reducirse hasta prácticamente 1 cm). Para la ejecución de esta presolera se debe de emplear hormigón del tipo HM 15/P/25/III o bien el que especifique cada proyecto en concreto. El aparato se ensambla y posiciona en su ubicación en planta, apoyando en la presolera sobre tacos de madera. Se colocan las vigas de sustentación a intervalos aproximados de tres metros, anclándolas rigidamente a la presolera. Se levanta todo el aparato haciendo uso de las vigas y elementos de regulación, dejándolo en su geometría definitiva mediante un control topográfico exhaustivo. A continuación se realizan las operaciones previas al hormigonado, que resumidamente son: colocación todos los elementos de sujeción y anclaje, armado de la losa, realización de encofrados para las patas de las vigas y los accionamientos del desvío, colocación del drenaje y protección de elementos ante el vertido del hormigón fresco. Tras la realización de estas operaciones debe volver a comprobarse la geometría del aparato mediante herramientas topográficas. Será necesario comprobar también la inclinación del carril, que deberá de ser en todos los casos de 1:20, mediante las herramientas adecuadas (goniómetro, etc.). Se verificará también la estabilidad del conjunto ante el inminente vertido de hormigón, para evitar movimientos del mismo durante la fase de hormigonado. El hormigón de calado que se suele emplear es del tipo HM-30/F/15/III, o el que en su caso establezca el proyecto. Se vierte y vibra este hormigón, cuidando especialmente el acabado y cota de la superficie, que debe adecuarse al tipo de conjunto de asiento (placa nervada más elastómero más placa base o alternativas) del fabricante del aparato. Debe comprobarse que el hormigón no entra en contacto con el carril ni obstaculiza el funcionamiento de las partes móviles del desvío, limpiándolo antes de que fragüe si dicho contacto tiene lugar. Después de 48 horas pueden retirarse los útiles de montaje y dar el apriete definitivo a la sujeción, verificando nuevamente la correcta geometría del aparato. Para la aplicación de este sistema de construcción

es necesario el empleo de una serie de elementos específicos. Se pueden emplear dos tipos de falsas traviesas para la sujeción de los carriles del desvío durante su puesta en obra. El primero de ellos permite sujetar el carril por la parte superior, mientras que el segundo soporta el carril desde su cara inferior. La nivelación en ambos casos se realiza mediante los tornillos con los que va equipada la falsa traviesa y que permiten regular también la inclinación del carril y el ancho de vía hasta fijar los distintos elementos en su posición definitiva. Los tornillos verticales con los que van equipadas estas falsas traviesas y que atraviesan el hormigón de solera, se envolverán en un tubo corrugado de PVC que hará las veces de encofrado permitiendo la posterior retirada del tornillo tras la fase de hormigonado.

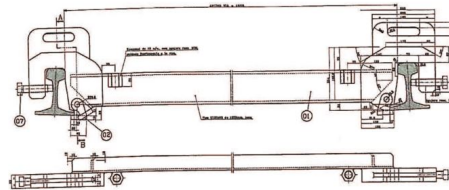


Figure 2.123: Modelo de falsa traviesa con sujeción superior del carril

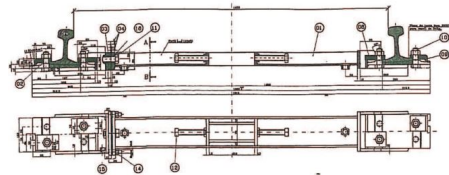


Figure 2.124: Modelo de falsa traviesa con sujeción inferior del carril

En ambos casos es recomendable disponer unas placas metálicas (60x60x2 mm) entre los tornillos de nivelación y la presolera para evitar que estos penetren en la misma.



Figure 2.125: Vista general de aparato de vía con placas adherizadas ADH una vez hormigonado
FUENTE: Aparatos de vía con placas adherizadas tipo (R/A) ADH (Railtech)^[33]

Posteriormente habrá que realizar el montaje y regulación del accionamiento completo y la soldadura aluminotérmica de los extremos de los carriles.



Figure 2.126: Vista general de puesta en obra de desvío mediante el sistema up&down
FUENTE: Aparatos de vía con placas adherizadas tipo (R/A) ADH (Railtech)^[33]

2.8 Adaptación a la zona de desvíos de diferentes sistemas de vía en placa

Todos los sistemas de vía en placa existentes en el mercado plantean en origen el diseño del sistema de vía en placa para un tramo de vía general. Algunos de ellos, con objeto de poder dar continuidad al sistema, han ido adaptando posteriormente de manera progresiva dicho sistema a

las zonas singulares de vía como viaductos, aparatos de vía, zonas de transición, etc. Tal es el caso por ejemplo de los sistemas Rheda 2000, LVT (Low Vibration Track) y FF Bögl, cuyas principales características y peculiaridades se describen en los siguientes apartados.

2.8.1 Sistema Rheda 2000

El sistema Rheda 2000 cuenta con casi 20 años de experiencia en la aplicación de su tecnología a las zonas de desvíos. La nueva generación de sistemas para desvíos en vía en placa, así como para sistemas con bases asfálticas han sido desarrollados por las compañías Butzbacher Weichenbau (BWG) y Railone GmbH. El objetivo fue el tratar de aplicar la misma tecnología de vía tanto a las secciones de vía general como a las zonas de desvíos, realizando las adaptaciones necesarias para compatibilizar el sistema con estos últimos. Hasta entonces la solución planteada para la zona de desvíos consistía en la disposición de los mismos sobre balasto, realizando una transición con el sistema de vía en placa en los extremos de los mismos.



Figure 2.127: Vista general del sistema Rheda 2000 para desvíos

El principal desarrollo tecnológico obtenido fue el diseño de una traviesa específica para la zona de desvíos denominada traviesa GWS 05, con unas características similares a las de las traviesas B355.3 U60M. En el diseño de esta traviesa se tuvieron en cuenta todos los esfuerzos a los que se ve sometida la misma tanto durante su funcionamiento una vez instalada en vía, como durante las fases de transporte, almacenamiento e instalación.

CAPÍTULO 2. DESVÍOS Y CRUZAMIENTOS

Máxima carga por eje [Tn]	25
Velocidad máxima [km/h]	350
Tipo de hormigón	C 50/60
Volumen de hormigón [l/m]	38
Peso (sin sujeciones) [kg/m]	105
Longitud [mm]	800-4700
Anchura [mm]	293
Altura [mm]	183
Altura en la base del carril [mm]	135

Tabla 2.29: Traviesa RHEDA 2000 GWS 05. Principales características

La altura de esta traviesa es inferior a la de la traviesa B355.3 U60M. Esto se debe a que la distancia entre la cota superior del carril y la cara superior de las traviesas es superior en el caso de las traviesas para desvíos ya que la fijación del carril se realiza mediante sistemas de placas de asiento que incrementan la misma, siendo necesario reducir la altura de la traviesa para tratar de homogeneizar los espesores de la vía en placa.



Figure 2.128: Vista general de la traviesa RHEDA 2000 GWS 05

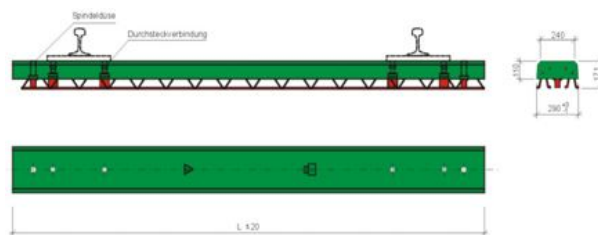


Figure 2.129: Principales características geométricas de la traviesa para desvíos RHEDA 2000 GWS 05 FUENTE: Vía monolítica sin balasto RHEDA 2000 Descripción del sistema (Rail.One GmbH)^[34]

Las longitudes de estas traviesas son variables a lo largo de la longitud del desvío, variando de igual modo la posición de los orificios donde se alojan los tornillos que fijan las placas de asiento a la traviesa. Un esquema de la sección de la vía en placa Rheda 2000 en desvíos es el que se recoge en la siguiente figura.

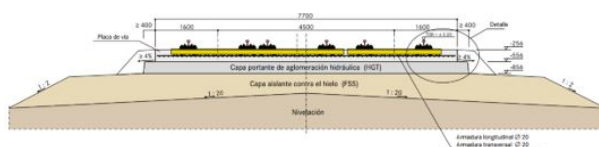


Figure 2.130: Sección tipo del sistema Rheda 2000 en la zona de desvíos

FUENTE: Vía monolítica sin balasto RHEDA 2000 Descripción del sistema (Rail.One GmbH)^[34]

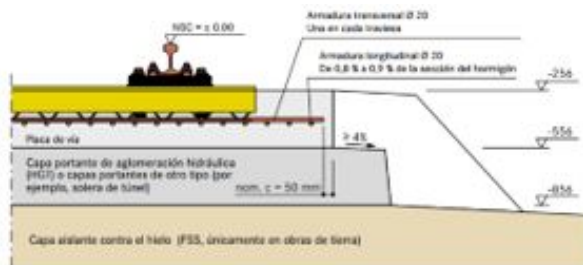


Figure 2.131: Detalle de la sección tipo del sistema Rheda 2000 en la zona de desvíos

FUENTE: Vía monolítica sin balasto RHEDA 2000 Descripción del sistema (Rail.One GmbH)^[34]

En la zona de transición entre el sistema de vía en placa estándar y el sistema de vía en placa para desvíos es necesario realizar una transición en el armado de la losa inferior y en el espesor del hormigón de la vía en placa. Esto se debe a la diferente geometría que presentan ambas secciones, fundamentalmente derivada del empleo de traviesas de distinto tipo (B355.3 U60M en vía estándar y GWS en vía de desvíos). En el caso de la vía en placa estándar la cara superior de la losa se sitúa a 25,3 cm por debajo de la cota de cabeza de carril, mientras que en el caso de la vía en placa para desvíos esta cota es de 25,6 cm. Por otra parte, el espesor de la placa en el primero de los casos es de 24 cm, mientras que en el segundo es de 30 cm. Un esquema del modo en que se resuelve esta transición aparece reflejado en la Figura 124. En la zona de transición se dispone un solape de los armados de ambas placas en una longitud de 1,20 metros, prolongándose el armado de la losa de vía general 10 cm dentro del hormigón de la placa del desvío. La transición en los espesores del hormigón de la losa se realiza a lo largo de 1,10 metros dentro de la zona de vía en placa estándar.

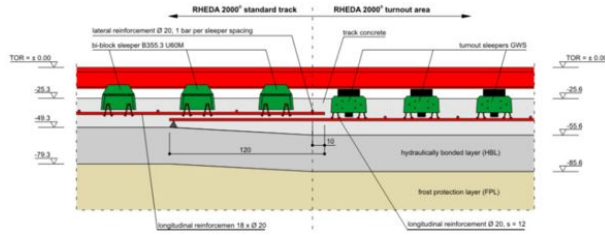


Figure 2.132: Detalle de la transición entre la vía en placa Rheda 2000 para vía general y la zona de desvíos

FUENTE: Vía monolítica sin balasto RHEDA 2000 Descripción del sistema (Rail.One GmbH)^[34]

El sistema de fijación que se suele emplear está constituido generalmente por fijaciones elásticas del tipo BWG, como las que se muestran en la Figura 125.

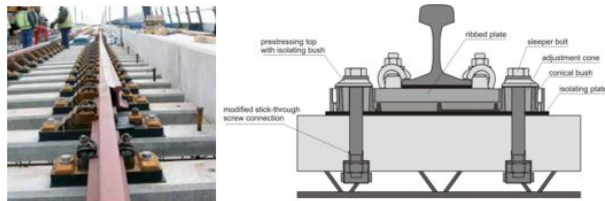


Figure 2.133: Sistema de fijación empleado en la vía en placa para desvíos Rheda 2000

Este tipo de fijación cuenta con una placa elástica que se dispone sobre la placa nervada y bajo el carril que permite ajustar la elasticidad de la vía en cada punto en función de la geometría y características del desvío. Según el fabricante, dado que la superficie de asiento es mayor, se emplean placas de asiento con un índice de elasticidad estática inferior (15 kN/mm aproximadamente), con objeto de armonizar la rigidez en los extremos con los tramos con vía en placa estándar. Estas sujeciones permiten un ajuste lateral de la vía de hasta ± 12 mm en intervalos de 1 mm mediante la actuación sobre unos conos excéntricos situados en los orificios de sujeción de la placa nervada. La base hidráulica de hormigón suele dividirse en diferentes zonas de acuerdo con el esquema que se representa en las siguientes figuras:

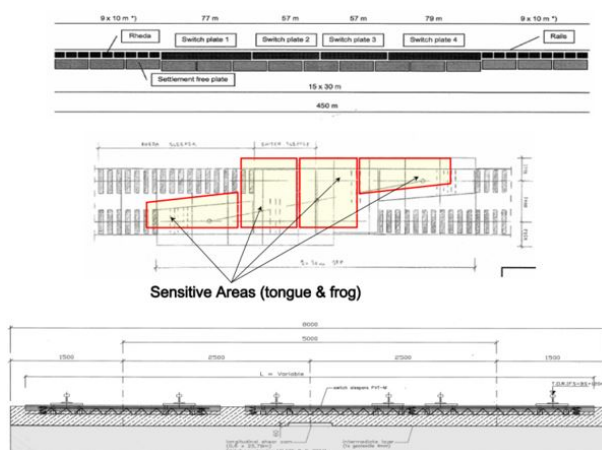


Figure 2.134: Esquema de división de la zona del desvío



Figure 2.135: Vista general del hormigonado de la base de hormigón en la zona de desvío

2.8.2 Sistema LVT. LVT S&C (Low Vibration Track System for Switches and Crossings)

Algunos sistemas de vía en placa, como es el caso del sistema LVT (Low Vibration Track) de la empresa Sonneville, han particularizado la aplicación de dicho sistema para el caso especial de los aparatos de vía. Fruto de la colaboración de esta empresa con las principales compañías fabricantes de aparatos de vía se desarrolló el sistema LVT S&C. Este sistema permite, mediante la adecuación de las dimensiones de los elementos de soporte (bloques) del sistema LVT, y la integración de las placas de apoyo en los mismos, la disposición de prácticamente cualquier geometría de aparato de vía que se encuentre actualmente en el mercado.



Figure 2.136: Vista general de la aplicación del sistema LVT S&C

Para conseguir esto se diseñaron cinco tipologías distintas de bloques que cubrían todo el abanico posible de necesidades, dando soporte a las diferentes placas de apoyo con que cuenta cada tipo de desvío. Esto obliga a, en base a la geometría y necesidades de cada desvío realizar un diseño particularizado de la distribución de estos bloques a lo largo del mismo.

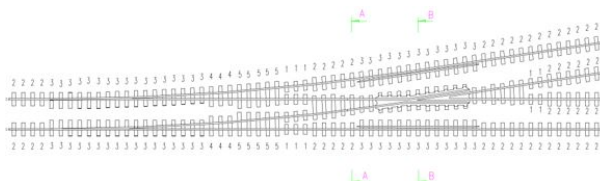


Figure 2.137: Esquema general de disposición de las diferentes tipologías de bloques del sistema LVT en un desvío

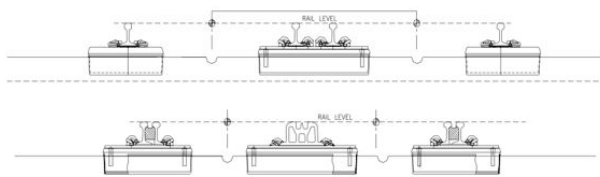


Figure 2.138: Secciones características del sistema LVT S&C en un desvío

El bloque del tipo 2, con una anchura de 765 mm y una altura de 200 mm es el bloque genérico que se emplea en los aparatos de vía. Aparte de este bloque, el sistema cuenta con otros tres tipos de bloques (tipos 3, 4 y 5), con una anchura de 765 mm, 965 mm y 1163 mm respectivamente. En todos los casos la altura del bloque se mantiene en los 200 mm. Estos tres tipos de bloques van equipados con placas nervadas. Adicionalmente el sistema cuenta con un bloque tipo 1, con

una anchura de 465 mm y una altura de 200 mm, que se emplea en aquellas zonas donde existen limitaciones de espacio que impiden la colocación del bloque tipo 2.

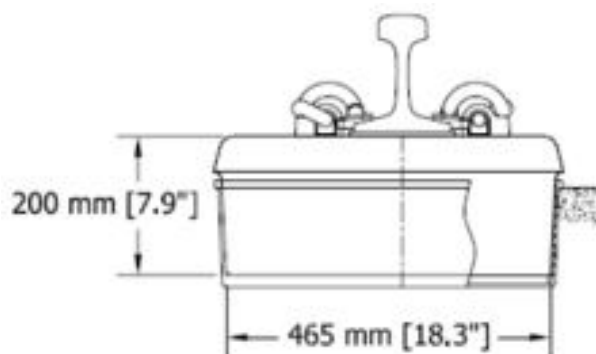


Figure 2.139: LVT S&C System. Bloque tipo 1

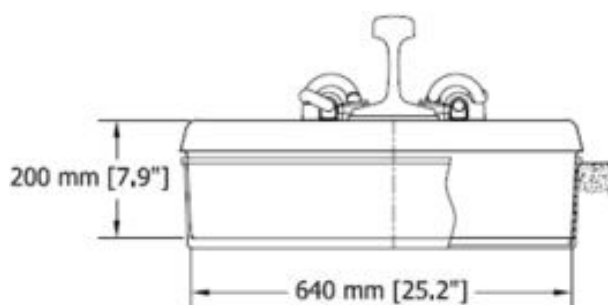


Figure 2.140: LVT S&C System. Bloque tipo 2

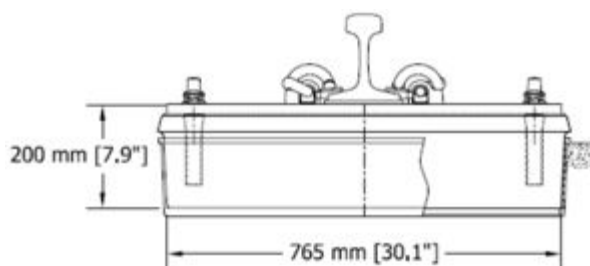


Figure 2.141: LVT S&C System. Bloque tipo 3

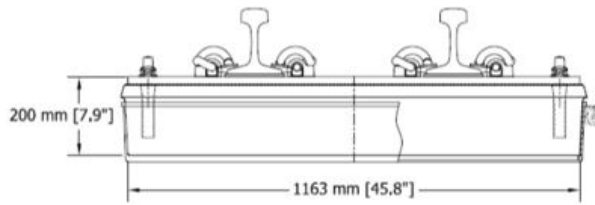


Figure 2.142: LVT S&C System. Bloque tipo 4

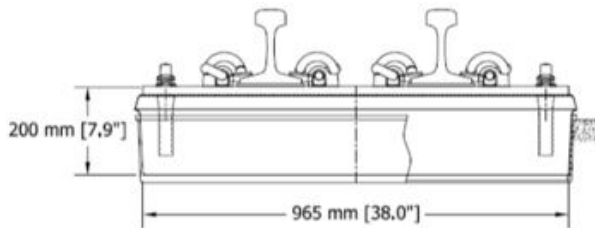


Figure 2.143: LVT S&C System. Bloque tipo 5

La principal ventaja que presenta este sistema es que al encontrarse agrupados los bloques en cinco tipologías distintas, variando únicamente su longitud, resulta posible estandarizar el proceso de fabricación mediante el empleo de moldes. Dado que en el caso de los bloques de los tipos 3, 4 y 5 la placa de asiento de los carriles se encuentra integrada dentro de la geometría del bloque, se mantiene la altura total de 200 mm de los tipos 1 y 2, permitiendo de este modo facilitar la ejecución de la capa de base. Este sistema permite el premontaje completo del desvío sobre la base hidráulica. Los bloques tipo 2 y 3 del sistema LVT S&C presentan las mismas características de rigidez y se fabrican siguiendo las mismas especificaciones técnicas que se emplean para los bloques del sistema LVT. En el caso del bloque tipo 1, dado que su anchura es menor, se emplea un material más rígido, mientras que en el caso de los bloques 4 y 5 el material empleado es más elástico, al contar con una anchura mayor.

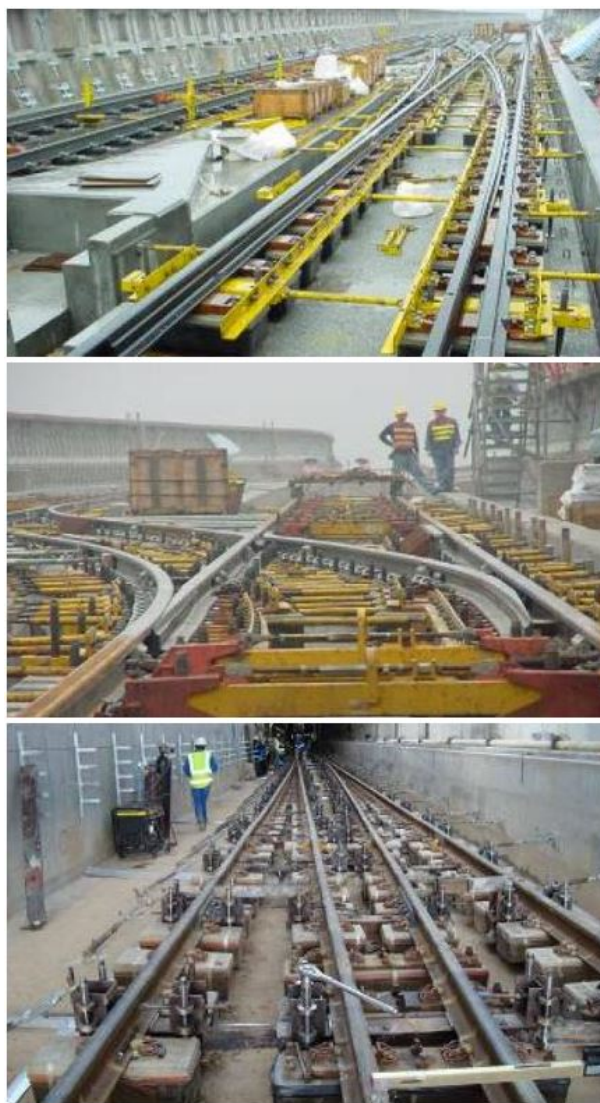


Figure 2.144: Vista general del procedimiento constructivo de desvíos en vía en placa con el sistema LVT

2.8.3 Sistema FF Bögl

La primera referencia técnica de aplicación del sistema FF Bögl de vía en placa prefabricada a nivel europeo es la línea de alta velocidad entre las ciudades alemanas de Nuremberg e Ingolstadt. Esta línea fue puesta en servicio en el año 2006, planteándose la aplicación del sistema únicamente a los tramos de vía generales.



Figure 2.145: Vista general de aparatos de vía en placa tipo FF Bögl, en la línea de alta velocidad Beijing-Tianjin (China)

Con objeto de dar continuidad al sistema también en la zona de aparatos de vía, la empresa Max Bögl ha adaptado esta solución a estos puntos singulares de la vía. Los objetivos son los mismos que se planteaban con el sistema para vía general, esto es, diseñar un sistema de vía de alta calidad, basado en la fabricación de elementos prefabricados modulares de hormigón con herramientas de alta precisión, para una posterior puesta en obra, sin la necesidad de recurrir al empleo del carril como elemento de soporte de los mismos. La prefabricación presenta numerosas ventajas con respecto a otras soluciones que se basan en el hormigonado in situ de la vía en placa. Una de las principales es que se eliminan los problemas derivados de las dilataciones del carril debidas a las variaciones de temperatura durante las fases de replanteo y posicionamiento, y también durante la fase de hormigonado. También presenta la ventaja de que la construcción de las placas se puede hacer de forma completamente independiente a la fabricación y suministro de los carriles del desvío. Las principales complicaciones que tiene la aplicación de este sistema de vía en placa a la zona de desvíos son las que se relacionan a continuación:

- La geometría variable del desvío no permite el diseño de módulos de vía en placa uniformes, sino que es preciso adaptar las dimensiones de cada uno de ellos a la zona del aparato de vía en la que está previsto que se dispongan.
- Se deben de tener en cuenta también las dimensiones de las placas y el peso de las mismas para evitar problemas relacionados con el medio de transporte empleado para su transporte hasta su lugar de puesta en obra.
- En el diseño de estos elementos prefabricados también se tiene en cuenta la necesidad de prever los huecos necesarios para alojar los equipos de maniobra y seguridad de los aparatos de vía, con una profundidad de hasta 25 cm por debajo de las agujas del cambio y los corazones en el caso de que sean de punta móvil.

Estos requisitos se consiguen cumplir dejando juntas que permitan garantizar el espaciado necesario entre las distintas placas. Por lo tanto cada uno de los elementos prefabricados no se

encuentran unidos entre sí de forma directa, al contrario de lo que sucede en el caso de los elementos prefabricados para vía general.

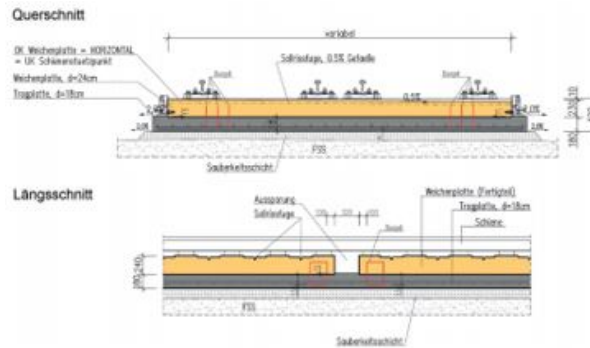


Figure 2.146: Esquema del tratamiento de las juntas entre los módulos prefabricados de hormigón

Otra diferencia con el sistema de vía en placa empleado para vía general es el sistema de fijación del carril. En el caso del sistema de vía en placa para vía general, el sistema de fijación empleado es el Vossloh System 300-1, mientras que para la adaptación del sistema a la zona de desvíos el sistema de fijación empleado es la placa nervada ERL (Elastic Ribbed Plate Support) comercializada por la empresa Voestalpine BWG. Estas placas son de diferentes dimensiones y se insertan en diferentes posiciones a lo largo de la geometría del desvío. Las placas nervadas que servirán de apoyo a los carriles se conectan a las placas prefabricadas por medio de dos tornillos pasantes. Los orificios donde van alojados estos tornillos se realizan mediante una taladradora durante la fase de prefabricación, la cual se controla mediante procedimientos informáticos, permitiendo obtener la máxima precisión a la hora de realizar estos orificios (CNC Drilling (Computer numerical control drilling)).



Figure 2.147: Perforación de los orificios donde irá alojada la sujeción del carril a la placa mediante un sistema de perforación computarizada de alta precisión en taller.

Una vez definida la geometría del desvío y todos los condicionantes relacionados con los re-

querimientos funcionales del mismo, se procede a diseñar los planos de segmentación de la vía en placa en módulos, que servirán tanto para la fabricación de los mismos como para su posterior puesta en obra.

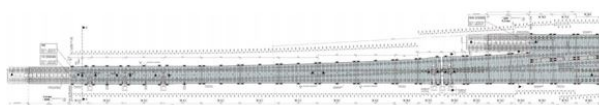


Figure 2.148: Plano de segmentación de la vía en placa en la zona de aparato de vía

De forma paralela a la fabricación de los elementos prefabricados de hormigón en taller se puede dar comienzo a las obras con la colocación del armado de refuerzo para la base hidráulica de hormigón y la disposición de los bloques de soporte sobre la subbase. Las losas de hormigón que soportarán el desvío con los orificios para las sujeciones incluidos se transportan hasta su futuro emplazamiento y se descargan sobre un dispositivo especial que permite su correcta disposición y alineación. Este dispositivo permite el ajuste de la posición de la placa en tres dimensiones diferentes, y permite garantizar una gran precisión sin tener que recurrir al empleo de elementos de soporte o los carriles del desvío.



Figure 2.149: Disposición de las placas prefabricadas en su ubicación definitiva mediante equipos auxiliares especiales



Figure 2.150: Vista general de las placas prefabricadas una vez finalizada su colocación y previamente al hormigonado de la base hidráulica.



Figure 2.151: Vista general de las placas prefabricadas colocadas en obra. Aparecen visibles los orificios para las sujeciones y los huecos y juntas para los accionamientos y demás elementos específicos del desvío

A continuación se procede al hormigonado de la base hidráulica de hormigón armado, mediante el vertido de hormigón bajo las placas prefabricadas. Esta operación se realiza sin que se vea modificada la disposición de las placas prefabricadas, que anteriormente se habían dispuesto con absoluta precisión. Antes de proceder al vertido del hormigón se procede a la colocación de elementos que servirán de encofrado en la parte exterior de los bloques de soporte de las placas. Las juntas de hormigonado de la base hidráulica de hormigón armado se materializan de tal forma que coinciden con las juntas entre las placas prefabricadas. El hormigonado de estas secciones se realiza de manera individualizada y de una sola vez. Se emplea hormigón autocompactante para garantizar, sobre todo en los extremos, que la totalidad de la superficie de la placa prefabricada apoya sobre la base hidráulica de hormigón armado. Con objeto de garantizar la continuidad de la base de hormigón armado en la zona de transición entre la vía general y la zona del aparato de vía, se prolonga la misma bajo las placas prefabricadas en los primeros metros de la subbase hidráulica, fijándola a las placas superiores mediante anclajes. Por último se procede a la colocación de los diferentes elementos que componen el desvío (carriles, sujeciones, accionamientos, etc.), fijándolos directamente a la vía en placa. El hecho de que los carriles y sujeciones se dispongan con posterioridad a la ejecución de la losa evita posibles pérdidas de material, o posibles roturas o desgaste de los mismos.



Figure 2.152: Fijación de los elementos de sujeción del carril sobre la vía en placa



Figure 2.153: Descarga y fijación de los carriles del desvío tras la colocación de las sujeciones



Figure 2.154: Vista general de aparato de vía, una vez colocados todos sus elementos y dispositivos de seguridad y accionamiento.

La primera línea de ferrocarril en la que se implantaron desvíos en vía en placa con este tipo de tecnología fue la línea de alta velocidad entre las ciudades chinas de Beijing y Tianjin. Se trata de una línea de tráfico exclusivo de viajeros con una velocidad máxima de 350 km/h, la cual fue puesta en servicio en agosto de 2008. Se diseñó un único escape con desvíos del tipo VRC 60-1100-1:18 con una longitud aproximada de 69 metros y una velocidad por vía desviada de 80 km/h. A raíz de este trabajo el gobierno chino encargó la sustitución de 100 de los 170 aparatos de vía previstos en la línea Wuhan-Guangzhou, que estaba previsto que se montasen in situ, por desvíos con placa prefabricada con el sistema FF Bögl. En esta nueva línea se emplearon, aparte de los diseños realizados en la línea anterior, aparatos de vía del tipo VRC 60-1700/7300-1:50. Estos nuevos desvíos presentaban una longitud total de más de 220 metros, y permitiendo una velocidad por vía desviada de 200 km/h. Esta tecnología se ha aplicado también en Alemania en la línea Nuremberg-Erfurt. En la misma fueron necesarios un total de 8 desvíos que daban acceso a una serie de vías de apartado. La geometría de los mismos era del tipo 60-1200-1:18,5 fb (permitiendo una velocidad por vía desviada de 100 km/h). También se realizaron los diseños para 12 desvíos que constituían los escapes en vía general. La geometría de estos desvíos era del tipo 2500-1:26,5 fb, permitiendo una velocidad de 130 km/h por vía desviada. Los carriles, sujeciones, y accionamientos fueron suministrados por Voestalpine BWG.



Figure 2.155: Vista general de aparatos de vía dispuestos en la línea Nuremberg-Erfurt (tramo Erfurt-Ilmenau)

2.9 Requerimientos impuestos por los sistemas de señalización y comunicaciones

En el presente apartado se analizan los condicionantes a tener en cuenta respecto a electrificación y señalización a la hora de plantear la disposición de aparatos de vía sobre vía en placa.

2.9.1 Catenaria

En principio, dada la distancia a la que suelen disponerse los postes de catenaria del eje de vía, no parece que estos elementos vayan a condicionar el diseño del nuevo sistema de vía en placa. No obstante lo anterior hay que realizar las siguientes puntualizaciones:

- Deberá de tenerse en cuenta la anchura de la plataforma para la disposición del poste de catenaria.
- En aquellos casos en que el hombro de la losa de los desvíos sea superior a 2 metros los postes se izarán con gewis y deberá de tenerse en cuenta el momento de vuelco de dicho poste en el diseño.
- En aquellos casos en los que el poste de catenaria pueda izarse en terreno normal,

2.9.2 Instalaciones de seguridad

Dentro de las instalaciones de seguridad asociadas a los aparatos de vía, los elementos que pueden condicionar el diseño del sistema de vía en placa son los que se relacionan a continuación:

- Motores. En el diseño del nuevo sistema de vía en placa será preciso reservar el espacio libre necesario para permitir el paso de la timonería del accionamiento y de las barras de comprobación. Por otra parte, la caja donde va alojado el propio motor se ubica en una posición

que queda por debajo del punto de apoyo. Dependiendo del fabricante puede precisarse habilitar el espacio necesario para disponer la misma.

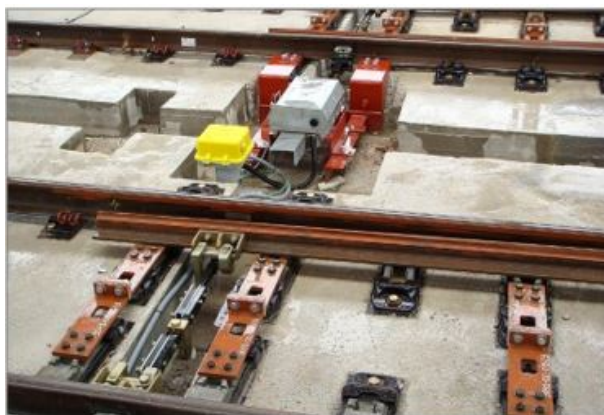


Figure 2.156: Reserva de espacio para el motor y la timonería de un desvío en vía en placa

En casos aislados, tales como los calces descarriladores, tendría que hacerse de forma artesanal. Sin embargo en el caso de los desvíos han de realizarse tantos ajustes en la geometría de la vía en placa como motores tenga el desvío.

- Balizas. Estos elementos pueden disponerse embebidos o anclados a la vía en placa dependiendo de cada caso concreto. En el caso de los aparatos de vía, las balizas se disponen generalmente antes o después del desvío, dependiendo su ubicación de las distancias de frenado. En general cuanto mayor sea la longitud del desvío, mayor será su velocidad de paso, y por lo tanto mayor la distancia a la que deberá de disponerse la baliza, por lo que no se prevé disponer estos elementos en zonas muy próximas a los aparatos de vía. Estas balizas deberán de poder fijarse al nuevo sistema de vía en placa mediante taladros.



Figure 2.157: Sistema habitual de anclaje de baliza ASFA a traviesa



Figure 2.158: Sistema de instalación de Eurobaliza en vía en placa

- Contadores de ejes. Al igual que en el caso de las balizas, la ubicación de las cabezas detectoras de los contadores de ejes se realizará de forma aislada y no seriada, más si cabe teniendo en cuenta que la instalación de contadores de ejes resulta menos habitual que la de balizas. La instalación del contador de ejes deberá de realizarse en un lateral del carril por lo que en la zona de instalación debería dejarse el alma del carril accesible.
- Circuitos de vía. Generalmente las cajas de sintonía de los contadores de ejes se ubican en zonas fuera de gálibo. No obstante lo anterior, y fundamentalmente en zonas donde existen restricciones de gálibo que condicionan la ubicación de estas cajas (por ejemplo en túneles), existen ciertas tecnologías que permiten la ubicación de las mismas dentro de la caja de vía. En estos casos lo ideal es que la caja de sintonía pueda quedar anclada a la placa y que la totalidad de la caja se disponga por debajo del carril. Cabe señalar que, dada la diversidad de modelos de unidades de sintonía existentes en el mercado, resulta complicado estandarizar los procedimientos de instalación de las mismas.



Figure 2.159: Unidades de sintonía TI-21 de Bombardier instaladas en vía estuchada

2.9.3 Calefactores de aguja

En cuanto a los condicionantes de implantación de los calefactores de aguja, al tratarse de elementos que se disponen dentro de la caja de vía, habrá que tener en cuenta lo siguiente:

- La posibilidad de acceso al carril
- La posibilidad de llevar el cableado necesario para poner en funcionamiento estos dispositivos.
- La posibilidad de realizar correctamente la sujeción del cableado a su paso por la sección de vía en placa.

2.9.4 Canalizaciones

Las canalizaciones de vía suelen disponerse como norma general entre la vía y los postes de catenaria, recurriendo al empleo de canaletas prefabricadas de plástico u hormigón. Dada la distancia a la que se encuentran con respecto al eje de vía, no es previsible que estos elementos puedan afectar al diseño del nuevo sistema de vía en placa, aunque deberán de tenerse en consideración.



Figure 2.160: Canaleta prefabricada de hormigón en sección de vía sobre balasto

2.9.5 Cableado

Dentro de la zona de vía en placa cabe distinguir los siguientes tipos de cableado:

- Instalaciones de cableado asociadas a elementos situados en la vía en placa, como por ejemplo los circuitos de vía de las balizas señalados anteriormente.
- Lazos de equipotencialidad en los límites de los circuitos de vía, y de cambio de polaridad en las agujas.
- Cables radiantes a lo largo de toda la vía, como por ejemplo el tipo LZB.

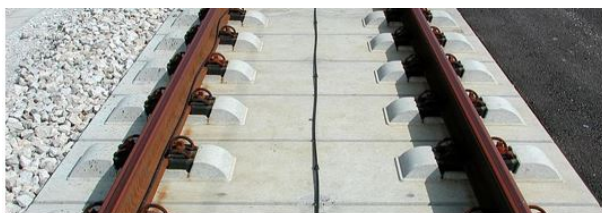


Figure 2.161: Cable radiante LZB longitudinal anclado a la vía en placa

Hay que realizar las siguientes consideraciones respecto a la disposición del cableado en sistemas de vía en placa:

- Deberá de existir espacio libre suficiente bajo el carril para permitir el paso del cableado.
- Deberá de anclarse el cableado a la vía en placa, con objeto de evitar posibles levantamientos o enganchones.
- La superficie del alma del carril deberá de encontrarse libre con objeto de que puedan conectarse elementos equipotenciales y de circuitos de vía.



Figure 2.162: Previsión de espacio para alojar el motor y la timonería del aparato de vía

Capítulo 3

Aparatos de dilatación

3.1 Modelización de la interacción vía-tablero en estructuras

El ferrocarril de alta velocidad impone condicionantes específicos en el diseño de puentes y estructuras. La normativa vigente, tanto a nivel europeo a través de la norma EN 1991-2:2004 Eurocódigo 1. Acciones en estructuras. Parte 2. Cargas de tráfico en puentes^[1], como a nivel nacional a través de la Instrucción de acciones a considerar en puentes de ferrocarril IAPF-2011^[2], recopila los formatos de verificación para soluciones de vía en balasto o vía en placa. Dichos documentos prestan especial interés a las soluciones de vía sobre balasto, dejando menos desarrollado y a criterio de la administración o la propiedad, los condicionantes exigibles a los sistemas de vía en placa. Este vacío normativo en los contenidos para vía en placa se evidencia en las recomendaciones redactadas por el Administrador de Infraestructuras Ferroviarias (ADIF) en el documento Estudio de criterios para el diseño y la construcción de viaductos con vía en placa^[3]. Con independencia de que la solución sea para vía en balasto o para vía en placa, dos son los fenómenos principales que son exclusivos en el análisis de puentes que van a ser destinados al ferrocarril de alta velocidad:

- Efectos dinámicos, producidos por el contenido en frecuencias de los trenes de cargas pasando a velocidades elevadas. La separación entre ejes de cargas y las velocidades de circulación provocan efectos resonantes, los cuales generan la superación de determinados estados límites que afectan al confort o a la seguridad de los usuarios. Dentro de estos, la normativa europea^[1] o la IAPF-2011^[2] plantea verificaciones del estado límite de servicio de aceleraciones verticales límites diferenciados, según se trate de vía sobre balasto o vía en placa. Así, se limita a 0,35g (aproximadamente $3,5 \text{ m/s}^2$) la aceleración vertical filtrada a 30 Hz, por motivos de desconsolidación del balasto (este límite tiene implícito un coeficiente de seguridad de 2 en ensayos de balasto). Para vía en placa, dicho límite se eleva a 0,5 g (aproximadamente 5 m/s^2). Asimismo, las limitaciones de desplazamientos, giros y alabeos en el tablero, que toman como referencia los resultados producidos por el tren UIC-71, pueden quedar amplificadas por efectos resonantes producidos por los trenes de alta velocidad. Se requiere por tanto una verificación dinámica de estos límites.
- Fenómenos de interacción vía-estructura. La transferencia de cargas horizontales en el sentido longitudinal entre vía y estructura, producida por acciones térmicas, reológicas, o de

frenado/arranque, es exclusivo de los sistemas de vía en balasto o en placa. Se requieren verificaciones independientes para estados límite de servicio o últimos:

- En Estado Límite de Servicio, es necesario verificar que las sobretensiones en los carriles (dispuestos continuos soldados) no exceden de los límites recomendables por fenómenos de inestabilidad en compresión o por tracciones máximas. Asimismo, es necesario verificar que los valores en servicio de desplazamientos (absolutos y relativos entre vía y estructura) y giros en los extremos de estructura, no superan los límites máximos recomendables.
- En Estado Límite Último, las verificaciones de los aparatos de apoyo, pilas y cimentaciones quedan condicionadas por el reparto de acciones horizontales, el cual depende de la rigidez no-lineal impuesta por el balasto o la vía en placa.
- Tanto en vía sobre balasto como en placa, ha de considerarse un modelo elasto-plástico para la rigidez horizontal relativa del sistema vía-estructura. La normativa [3, 6], elaborada a partir de las recomendaciones del comité D213 del ERRI, y plasmadas en la ficha UIC-774-3^[4] establece los valores de cálculo que ha de emplearse para la caracterización de dicha rigidez horizontal. Sin embargo, los valores límites de los parámetros a verificar vienen delimitados para vía en balasto bajo ciertas condiciones (carril UIC60, 30 cm de balasto consolidado, etc.), dejando a juicio de la administración o la propiedad los límites a establecer en los casos de vía en placa. En este sentido, el documento de ADIF^[3] recopila unas limitaciones específicas para vía en placa.

Ambos fenómenos son ampliamente tratados discutidos en las jornadas específicas sobre diseño de estructuras para ferrocarril de alta velocidad (Interacción vía-estructura en puentes ferroviarios: casos de aplicación de la IAPF. Jornada Técnica IAPF 2007: Normativa sobre Instrucción de Acciones en Puentes de Ferrocarril. Fundamentos, particularidades y aplicaciones técnicas (M. Cuadrado Sanguino y P. González Requejo)^[5] y El método semianalítico para el análisis dinámico de puentes. Ejemplos de aplicación. Jornada Técnica IAPF 2007: Normativa sobre Instrucción de Acciones en Puentes de Ferrocarril. Fundamentos, particularidades y aplicaciones técnicas (A. Martínez-Castro, P. Museros, A. Castillo-Linares)^[6]). El nuevo sistema de vía en placa debe resolver eficazmente los condicionantes impuestos. Cuando dichos condicionantes no pueden ser verificados con carril continuo soldado, han de disponerse sistemas de dilatación de vía. Los aparatos de dilatación de vía son dispositivos cuya función es la de evitar que las tensiones de los carriles superen unos límites máximos admisibles, permitiendo movimientos relativos importantes, y manteniendo la continuidad geométrica de la vía. Dentro de las distintas tipologías que pueden presentarse, la tipología de viaducto continuo es una de las soluciones más interesantes. Estos viaductos evitan las operaciones de mantenimiento en las zonas de pilas, ya que, en soluciones de vanos isostáticos, la discontinuidad en los giros plantea problemas de mantenimiento tanto en el balasto como en la placa. Las soluciones continuas, por el contrario, plantean problemas específicos de sobretensiones en el carril y de desplazamientos elevados en los puntos móviles. Estos problemas se pueden resolver en fase de diseño mediante una adecuada evaluación de los efectos y la implantación de sistemas de dilatación de vía.

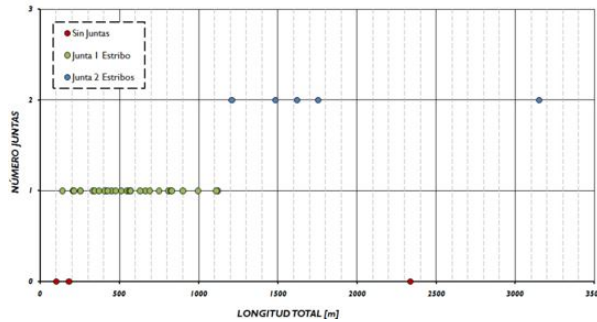


Figure 3.1: Aparatos de dilatación de vía en puentes ferroviarios de vía continua en balasto
FUENTE: Interacción vía-estructura en puentes de ferrocarril^[7]

La Figura 1, tomada del documento Interacción vía-estructura en puentes de ferrocarril [7], muestra el número de juntas de dilatación requeridas para soluciones en balasto en función de la longitud total del tramo continuo. La gráfica está elaborada a partir de un amplio número de proyectos reales en España. Puede verse que ya en balasto, a partir de una longitud de 200 metros, y hasta una longitud de 1.100 m, los viaductos han requerido la disposición de un aparato de dilatación de vía. Al considerar la solución para vía en placa, la mayor rigidez existente en la interacción vía-estructura suele generar mayores sobretensiones en los carriles, y por ende, se requieren aparatos de dilatación de vía para longitudes inferiores que sus correspondientes soluciones en balasto. La instalación del nuevo sistema de vía en placa requiere un nuevo análisis de estructuras de estas características resueltas con vía en balasto, y la elaboración de recomendaciones de diseño para estructuras nuevas. Es por esto que se ha focalizado el objeto de este documento en el análisis de las diferencias de comportamiento entre vía en placa frente a vía en balasto, con el objeto de identificar los parámetros más relevantes para adecuar el nuevo sistema de vía en placa.

3.1.1 Objetivos

Los principales objetivos que se pretenden conseguir en el desarrollo de esta tarea son todos los que se relacionan a continuación:

- Análisis de los cambios que se producen en las verificaciones de los distintos Estados Límite asociados a efectos de interacción vía-estructura, en estructuras continuas hiperestáticas de luces entre 150 y 600 metros, cuando se cambia el sistema de vía en placa a vía en balasto. Dichos efectos se evaluarán tanto en la vía (verificación de tensiones admisibles y carrera de desplazamientos en casos de requerir aparatos de dilatación de vía) como en apoyos fijos y deslizantes (cambio en las reacciones y esfuerzos sobre aparatos de apoyo y pilas como consecuencia de la modificación de la transferencia de fuerzas entre vía y estructura).
- Análisis de los cambios que se producen en condicionantes dinámicos, al cambiar de vía en balasto a vía en placa. Particularmente en las condiciones de giros en estribos.
- Planteamiento de los condicionantes de diseño de las zonas de transición en estribos. Dichas zonas requieren, para su correcto diseño mediante modelos locales, la aplicación de adecuadas condiciones de contorno. Así, conocer el valor de la carrera de desplazamientos que

tendrá la junta, los giros, las fuerzas de tracción en las fijaciones (especialmente críticas a fatiga) o las tensiones esperables en el carril, es necesario para establecer las adecuadas condiciones de contorno para un modelo local en el cual se dimensione en detalle la transición transversal tipo del nuevo sistema en placa a las zonas de transición. Es por tanto un objetivo fundamental en este estudio poder definir tales condiciones de contorno, sin las cuales no se podría diseñar la transición con aparatos de dilatación de vía.

3.1.2 Metodología

Para conseguir los objetivos indicados en el apartado anterior se ha desarrollado una metodología de trabajo que se resumen en los siguientes puntos:

- Selección de tres casos de estudio, de viaductos continuos de luces comprendidas entre 150 m y 600 m. En este rango de luces se pueden identificar los condicionantes de diseño que impone el cambio de vía en balasto a vía en placa. En cada caso, se analizará la solución en balasto, en placa, y con junta de dilatación, y se extraerán conclusiones comparativas. Los tres casos seleccionados proceden de proyectos realizados por la empresa AYESA, Ingeniería y Arquitectura, S.A.U. para el Administrador de Infraestructuras Ferroviarias ADIF. Los tres viaductos seleccionados han sido los siguientes:
 - Viaducto de Porto. Viaducto de vía única con una longitud total de 173,5 metros dividida en 5 vanos.
 - Viaducto de Tuela. Viaducto de vía simple con una longitud total de 289 metros dividida en 6 vanos.
 - Viaducto de Nerviñ. Viaducto de vía doble con una longitud total de 438 metros dividida en 6 vanos.
- Aplicación de un modelo numérico específico para análisis de interacción vía-estructura para las hipótesis de acciones horizontales, poco sensible a la malla y extensible a viaductos continuos de longitudes moderadas y elevadas. El modelo incorpora una ecuación constitutiva elastoplástica consistente. En la literatura existen modelos simplificados en los que la interacción se supone concentrada en una serie de muelles no lineales puntuales. Sin embargo, la interacción se produce de forma continua, y no concentrada en una serie de puntos. Los modelos de muelles concentrados no incluyen términos acoplados para la interacción entre dos nodos consecutivos (similar a las diferencias existentes entre masas concentradas y distribuidas). Esto introduce la necesidad de recurrir a discretizaciones elevadas, introduciendo además errores numéricos fuertemente dependientes de las mallas de cálculo. Se propone la calibración y adaptación del código numérico IVETAV, para Interacción Vía-Estructura. En el mismo se consideran elementos cuadráticos de 3 nodos para discretizar los campos de desplazamientos axiales; de esta forma, la búsqueda de los puntos donde se establece la condición de plastificación a través del incremento de desplazamiento es exacto, solución de una ecuación parabólica de segundo grado. El modelo ha sido aplicado a numerosos proyectos de puentes para el ferrocarril de alta velocidad en España.
- Desarrollo en SAP 2000 de modelos acoplados en los cuales se analice mediante muelles no lineales la interacción completa, para el análisis de los efectos provocados por las cargas verticales.

- Aplicación del modelo semianalítico desarrollado por A. Martínez Castro, P. Museros y A. Castillo Linares^{[6][8]}, para el análisis dinámico y cálculo de máximos desplazamientos y giros en secciones extremas, con el objeto de poder valorar el coeficiente de impacto en las zonas de juntas con los estribos. El código numérico se denomina ANADIN.
- Análisis de los resultados obtenidos y presentación de los cambios producidos en formato porcentual, con el objeto de obtener conclusiones que afecten al diseño de las transiciones del nuevo sistema de vía en placa.

3.1.3 Bases de cálculo

El desarrollo normativo internacional para viaductos con vía en placa en ferrocarril de alta velocidad es escaso. Este hecho es evidenciado por las recomendaciones de ADIF para viaductos con vía en placa [3]. En este apartado se plantearán las bases de cálculo en las que se van a identificar las acciones y procedimientos de verificación que deben cumplir los viaductos proyectados, tanto en vía en placa como en balasto. Esto permitirá obtener unos resultados comparativos que permitan acotar los efectos que el nuevo sistema de vía en placa debe tener en cuenta en el desarrollo de soluciones para estribos y zonas de transición. De entre todos los efectos a analizar, el análisis se limita al de aquellos que permiten dimensionar las juntas y zonas de transición. Por lo tanto, se han seleccionado los siguientes efectos:

- Efectos provocados por interacción vía-estructura, que generan ecuaciones de verificación específicas de cada sistema de vía en placa.
- Efectos dinámicos provocados por las composiciones de alta velocidad, centrados exclusivamente en la evaluación de giros en estribos.

Interacción vía-estructura

La ficha UIC-774-3-R^[4] es el documento base sobre el cual el Eurocódigo 1 [1] y la IAPF^[2] han desarrollado sus formatos de verificación. En esta sección se plantearán los contenidos de la IAPF, en su apartado 2.5, completando aspectos tomados del Eurocódigo 1 así como de otras recomendaciones internacionales en aspectos en los que exista un vacío de contenido en la IAPF. El apartado 2.5.1. de la IAPF se indica que las acciones longitudinales que se aplican sobre los carriles (por aceleración o frenado) y las diferencias de deformación entre carriles y tablero (por variación de temperatura, flexión del tablero, fluencia y retracción) producen transferencia de cargas (interacción) entre carriles y tablero a través de la estructura de soporte (balasto o placa). Estas transferencias afectan a las solicitaciones del carril y del tablero, y a las reacciones de los apoyos. La IAPF se diferencia del Eurocódigo en la incorporación de las acciones reológicas (el Eurocódigo no las incluye). En general, es posible controlar las acciones inducidas por efectos reológicos si se especifica un plazo para realizar la operación de soldadura del carril que sea superior a aquel en el cual se hayan desarrollado la mayoría de los efectos reológicos. Puesto que esta situación se da en la práctica, en este análisis se seguirá el criterio del Eurocódigo, y no se incluirán los efectos diferidos debidos a la reología del hormigón. El apartado 2.5.2 de la IAPF desarrolla las bases de cálculo para el análisis de la interacción vía-estructura. En este apartado se muestra el modelo básico a plantear para la interacción vía-estructura, adaptado parcialmente desde la ficha UIC-774-3-R.

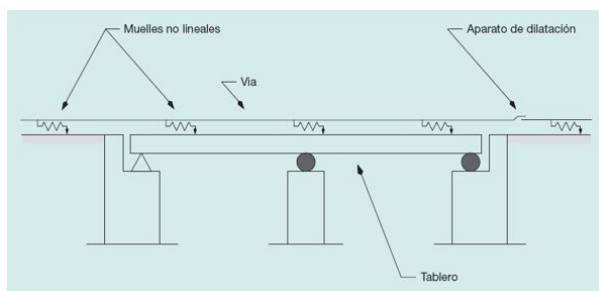


Figure 3.2: Modelo de interacción vía-estructura. FUENTE: Instrucción de acciones a considerar en puentes de ferrocarril IAPF-2011^[2]

El modelo de interacción incluye los siguientes elementos:

- Elementos de tipo viga superior, que modeliza al carril o grupo de carriles que forma la/las vías.
- Elementos viga que modelizan el tablero, con su rigidez axil.
- Vinculación axil no-lineal entre el elemento vía y la fibra superior del tablero.
- Muelles puntuales, de tipo lineal o no lineal, para representar los apoyos en estribo o sobre pilas.

La vinculación axil de tipo no lineal que se establece entre la vía y el tablero depende fuertemente de que se emplee balasto o placa. Dicha vinculación es de naturaleza continua. Se caracteriza por una ley bilineal, en la cual se asume que existe un valor máximo de la fuerza tangencial, a partir de la cual se produce el deslizamiento relativo entre la vía y el tablero, manteniéndose constante la fuerza máxima en la interacción (modelo elástico-perfectamente plástico). En relación a la Figura 3, el modelo queda caracterizado por una fuerza máxima de valor k y un desplazamiento máximo u_0 a partir del cual se produce el deslizamiento. Los valores de ambos parámetros dependen de la configuración de vía. Así:

- Para vía en placa con carril sujeto con fijaciones clásicas o balasto helado, se tomará
 - $U_0 = 0,5\text{mm}$
 - $k = 40\text{ kN/m}$, para vía descargada con mantenimiento bueno.
 - $k = 60\text{ kN/m}$, para vía cargada (sólo en la zona cargada)

Estos valores coinciden con los propuestos en el Eurocódigo. La ficha UIC-774-3-R añade una situación más para la vía en placa, que es la que se da con un sistema de fijación basado en resinas. En tal caso, la ficha indica los siguientes límites:

- $U_0 = 7\text{mm}$
- $k = 13\text{ kN/mm}$, para vía descargada con mantenimiento bueno.
- $k = 19\text{ kN/mm}$, para vía cargada (sólo en la zona cargada)

Nótese que los valores indicados para k representan fuerzas (no rigidez). La fuerza máxima en un sistema con resinas es mayor, ya que éste es capaz de mantenerse en rango elástico hasta un desplazamiento relativo de 7 mm, valor considerablemente mayor que los 2 mm de la vía en balasto o los 0,5 mm de vía en placa. La pendiente (rigidez) en el caso de vía en resina es considerablemente mayor que las soluciones con fijación elástica. La ficha UIC-774-3-R describe un modelo que puede implementarse en un programa de análisis estructural normal, compuesto de elementos-barra y muelles con comportamiento no-lineal. En el mismo, la interacción se concentra en los nodos, mediante muelles puntuales. La ficha indica que las mallas de cálculo deben ser lo suficientemente densas para no cometer errores apreciables en esta discretización. El modelo propuesto por la ficha es el que habitualmente se considera en los análisis de interacción. La ventaja del mismo es su fácil implementación en programas de cálculo existentes. Por el contrario, la caracterización del muelle se realiza entre dos nodos, de forma discreta, perdiéndose el carácter de fuerza de interacción continua. Nótese que al comprobar la condición de deslizamiento, el muelle completo, que representa a una zona espacial (diferencia de abscisas entre dos nodos), el muelle entero quedará caracterizado como plastificado o no, perdiéndose precisión en la identificación de los límites en los que existe comportamiento elástico. La Figura 4, tomada del documento Interacción vía-estructura en puentes ferroviarios: casos de aplicación de la IAPF. Jornada Técnica IAPF 2007: Normativa sobre Instrucción de Acciones en Puentes de Ferrocarril. Fundamentos, particularidades y aplicaciones técnicas (M. Cuadrado Sanguino y P. González Requejo)^[5] muestra los distintos elementos del modelo.

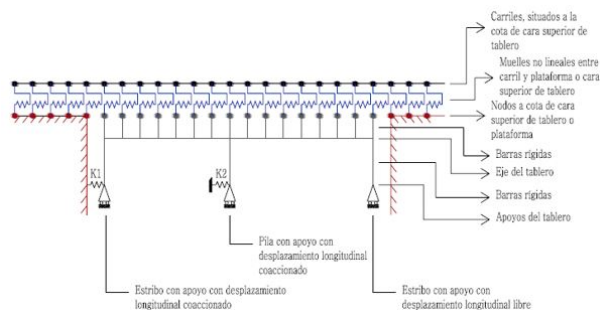


Figure 3.3: Modelo de interacción vía-estructura con muelles puntuales

FUENTE: Interacción vía-estructura en puentes ferroviarios: casos de aplicación de la IAPF (M. Cuadrado Sanguino y P. González Requejo)^[5]

Este modelo se ha implementado en SAP-2000 para el análisis de los efectos provocados por las acciones verticales, ya que es el único caso en el que se desarrollan de forma predominante esfuerzos de flexión. Para evaluar los efectos provocados por acciones horizontales (térmico y frenado/arranque) se ha aplicado un modelo numérico (IVETAV) que gana en precisión y velocidad de cálculo respecto a los códigos comerciales. Sus características son las siguientes:

- Elementos barra de 3 nodos (1 grado de libertad por nodo) en la dirección axil. Aproximación cuadrática del campo de desplazamientos. Tanto para la vía como para el carril.
- Matriz de rigidez acoplada (6x6) de la interacción entre vía y carril. Evaluada de forma con-

sistente (planteando el PTV y obteniendo los términos acoplados por integración en la formulación débil del problema).

- Asimismo, esto evita que en un determinado paso, por errores en la actualización de la matriz de rigidez, pueda entrarse en ciclos de no convergencia habituales en problemas con rigideces concentradas. Estos problemas son conocidos en soluciones de plasticidad para elementos finitos y existen técnicas numéricas para su corrección, especialmente en el contexto de elementos cuadráticos (integración reducida, integración reducida selectiva, etc.). Chequeo de la condición de plastificación de forma analítica. Aquí especialmente se justifica el empleo de elementos cuadráticos, ya que en cada elemento, la solución es una parábola de segundo grado, y la búsqueda de la abscisa local en la cual se supera el máximo desplazamiento relativo entre vía y carril, acorde con la curva bilineal considerada, es analítico. Esto permite que el tamaño del elemento pueda ser considerablemente mayor que el de las soluciones basadas en muelles puntuales.
- Actualización del vector de cargas en cada iteración de forma analítica.
- Solución elastoplástica basada en escalonamiento de carga y método de Newton-Raphson con actualización analítica en cada paso de la matriz de rigidez tangente. Este esquema no suele plantarse en códigos comerciales (SAP 2000). Sin embargo, al ser analítica tanto la integración como el chequeo de la condición de plastificación, en este caso se puede plantear en cada iteración una actualización tanto de la rigidez como del vector de fuerzas, consiguiéndose una convergencia muy rápida y estable. Se han empleado 10 escalones de carga y 10 iteraciones del algoritmo de Newton-Raphson en cada paso.

Tanto en los modelos de IVETAV como en SAP 2000 se han planteado las siguientes características comunes:

- Módulo elástico del acero $E=210$ GPa.
- Módulo elástico del hormigón $E=33$ GPa.
- Propiedades del carril UIC60: Área= 78,68 cm²; Momento de Inercia= 3.038,3 cm⁴; se han considerado 2 carriles en viaductos de vía simple, y 4 carriles en viaductos de vía doble.
- En IVETAV se han considerado elementos de 3 metros de longitud máxima (separación entre nodos de 1,5 metros).
- En SAP 2000 se han considerado elementos viga de 1 metro máximo de longitud.
- En ambos casos, se han considerado 300 metros de vía antes y después de la estructura, siguiendo la recomendación de la ficha UIC-74-3-R.

Acción térmica

En el análisis de la interacción entre vía y tablero se consideran las siguientes variaciones de temperatura, especificadas en la IAPF^[2]:

- Variación máxima de temperatura uniforme anual en el tablero: $\pm 35^{\circ}\text{C}$.
- Variación máxima de temperatura uniforme en el carril: $\pm 50^{\circ}\text{C}$

- Máxima diferencia térmica entre el carril y la estructura: $\pm 20^{\circ}\text{C}$

Para evaluar los efectos generados por la acción térmica, se ha considerado un coeficiente de dilatación térmica para el acero de valor $1,20 \cdot 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, y para el hormigón $1,00 \cdot 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, acorde con lo establecido en la tabla C.1 del Eurocódigo 1 parte 5, valores también incluidos en la vigente Instrucción de Acciones en Puentes de 2011. Se han definido una o varias hipótesis térmicas dependiendo de que exista o no junta de dilatación:

- Para el análisis en el que no existen juntas de dilatación, se considera únicamente la acción de $\pm 35^{\circ}\text{C}$.
- Cuando se considera junta de dilatación, se han definido tres hipótesis: en la primera, se consideran los máximos concomitantes para la variación uniforme. En las dos siguientes se considera máximo la diferencia de temperatura entre el carril y el tablero (20°C en valor absoluto).
 - Temperatura en el carril de 50°C y en la estructura de 35°C , con ambos signos a la vez.
 - Temperatura en el carril de 15°C y 35°C en la estructura, con ambos signos a la vez.
 - Temperatura en el carril de 50°C y 30°C en la estructura, con ambos signos a la vez.

Acción debida a frenado y arranque

El valor característico de la acción de frenado y arranque se ha evaluado según lo establecido en el artículo 2.3.2.1 de la IAPF. Dicho valor característico se ha multiplicado por 1,21 para tener en cuenta el denominado coeficiente de clasificación, definido en 2.3.1.1 de la IAPF. Los valores característicos han sido, por tanto:

- Frenado: $q_{l,k}=1,21 \cdot 20=24,2 \text{ kN/m}$, extendidos en una longitud máxima de 300 m.
- Arranque: $q'_{l,k}=1,21 \cdot 33=39,93 \text{ kN/m}$, extendidos en una longitud máxima de 30 m.

Siguiendo las reglas de aplicación definidas en el artículo 2.3.2.1.1 de la IAPF, en viaductos de vía única se han considerado de forma independiente la acción del frenado o del arranque; en viaductos de vía doble se ha considerado la acción simultánea del frenado en una vía y del arranque en la otra.

Acciones verticales

Se ha considerado una acción vertical concomitante con el frenado de valor 80 kN/m , afectado por el coeficiente de clasificación 1,21. Este valor es representativo del tren de cargas UIC-71 definido en el artículo 2.3.1.1 de la IAPF. Por tanto, $q_v=1,21 \cdot 80=96,8 \text{ kN/m}$.

Acciones de retracción y fluencia

Se ha considerado el criterio fijado en el artículo 6.5.4.3 del Eurocódigo EN 1991-2:2003; para el análisis de los efectos de interacción, puede no tenerse en cuenta en el análisis de tensiones en

el carril, pues se ha considerado que el carril se suelda cuando se ha desarrollado la mayoría del acortamiento por retracción y fluencia. Esta hipótesis necesariamente ha de verificarse en cada caso real: pero puesto que el objeto de este estudio es realizar un análisis comparativo de los efectos, se parte de la hipótesis de que estas acciones diferidas se han considerado en el proyecto de las estructuras y que se ha definido un plazo razonable desde el cierre de la estructura para iniciar la operación de soldadura del carril continuo.

Combinación de acciones

Para evaluar el efecto combinado de las distintas acciones, se ha aplicado el criterio establecido en el párrafo (6) del artículo 6.5.4.4 del Eurocódigo 1 (EN 1991-2:2003), en el que se indica que se puede aplicar superposición de efectos derivados de cada acción. En el mismo artículo, pero en el párrafo (5) se establece que el efecto de cada acción ha de evaluarse teniendo en cuenta la naturaleza no lineal del contacto vía-estructura.

Comprobaciones exigidas por la vía

Las comprobaciones exigidas por la vía constituyen un Estado Límite de Servicio, para mantener la funcionalidad y seguridad de la misma.

- Tensiones en el carril: Se han de considerar en esta verificación el efecto combinado de las acciones térmicas, frenado y arranque, y verticales. Su evaluación difiere si es vía en balasto o vía en placa, y se refiere a una sobretensión; es decir, tensión por encima del nivel tensional existente en una zona alejada de la estructura.
 - Para vía en balasto, se limita a una sobretensión de 92 MPa en tracción y a una sobrecompresión de 72 MPa. Esta limitación es específica de vía en balasto, con 30 cm mínimo de balasto consolidado, en una alineación de curvatura de radio mínimo 1.500 m, y carril UIC 60. El límite de compresión tiene especialmente en cuenta el fenómeno de inestabilidad por pandeo en el carril, el cual es impedido por el balasto y las uniones. Esta limitación viene recogida tanto en la ficha UIC-774-3-R, como en el Eurocódigo o en la IAFE
 - Para vía en placa, la normativa no especifica unos límites definidos, dejándose a criterio del proyectista o de la administración los límites establecidos. Las recomendaciones de ADIF^[3] sugieren, al igual que se recomienda en otras referencias internacionales, elevar el valor de la máxima sobrecompresión a 92 MPa. Por tanto, para vía en placa se considerará indistintamente para tracción o compresión una máxima sobretensión de 92 MPa.
- Desplazamiento relativo δ_1 : Este desplazamiento se fija entre carril/tablero o entre plataforma y estribo, y en su evaluación han de considerarse exclusivamente a las acciones de frenado o arranque. Se limita a 4 mm, indistintamente de si se trata vía en balasto o en placa, ya que en su origen tiene que ver con problemas de desconsolidación del balasto y requerimientos de operaciones de bateo. Procede revisar este criterio para el nuevo sistema de vía en placa, ya que en general para vía en placa el límite de 4mm puede superarse (depende de cada sistema).

- Desplazamiento relativo δ_2 : Este desplazamiento es el relativo existente en las juntas entre tableros o entre dos bordes de una junta, y se ha de evaluar considerando únicamente los efectos de las acciones de frenado y arranque. Su valor máximo se limita a 5 mm si el carril es continuo en las proximidades de la junta, o a 30 mm si existe aparato de dilatación de vía. La IAPF remarca que la verificación ha de llevarse a cabo considerando un problema de deformación axil, sin tener en cuenta los efectos de flexión concomitante. La comprobación ha de efectuarse por tanto a la altura del centro de gravedad de la sección.

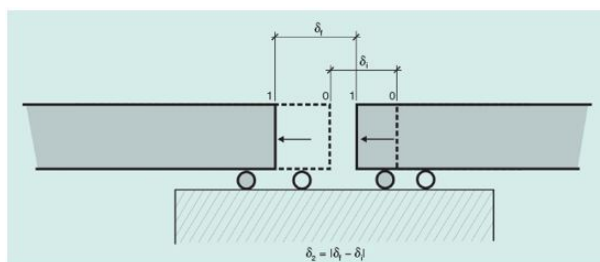


Figure 3.4: Desplazamiento máximo longitudinal δ_2 FUENTE: Instrucción de acciones a considerar en puentes de ferrocarril IAPF-2011^[2]

- Desplazamiento relativo δ_3 : En las juntas entre tableros, o entre tablero y estribo, con carril continuo, el desplazamiento máximo relativo entre los dos bordes de la junta se limita a 8 mm. Esta verificación se realizará considerando únicamente las cargas verticales, aspecto especialmente indicado en el apartado (2) del artículo 6.5.4.5.2 del Eurocódigo EN 1991-2:2003.
- Giro en estribos: El giro máximo en estribos está limitado tanto para vía en balasto como para vía en placa.
 - Para vía en balasto, la IAPF establece en el artículo 4.2.1.1.3 los límites. Para la junta entre tablero y estribo, se fija en $6,5 \cdot 10^{-3}$ rad. Sin embargo, en el cuadro 4.3 se indican valores inferiores para velocidades elevadas. Así, para velocidades superiores a 220 km/h, se limita a $1,5 \cdot 10^{-3}$ rad.
 - Para vía en placa, las recomendaciones de ADIF^[3] fijan un valor máximo de $3,5 \cdot 10^{-3}$ rad para tableros de vía única; si la vía es doble, el valor se eleva a $6,5 \cdot 10^{-3}$ rad. No obstante, las recomendaciones de ADIF hacen referencia a las recomendaciones recogidas en el Beton-Kalender del año 2000^[9], se establece un límite inferior de $2,0 \cdot 10^{-3}$ rad.
- En las recomendaciones de ADIF^[3], así como en el Eurocódigo, se plantea la verificación de las fuerzas de que se producen en las fijaciones del carril (Figura 7). El apartado (4) del artículo 6.5.4.5.1 establece la necesidad de realizar comprobaciones tanto en Estado Límite Último como en fatiga. La verificación rigurosa debe hacerse sobre la geometría propuesta para la transición, carril y sistema de fijación concreto, y mediante un método basado en daño acumulado (conteo de ciclos Rainflow, índice de daño de Palmgren-Miner), sobre la base de las recomendaciones vigentes sobre verificación de daño por fatiga (curvas SN o

propagación de grietas mediante mecánica de la fractura). En el presente estudio únicamente se detectará la problemática y se cuantificará su valor con teoría lineal.

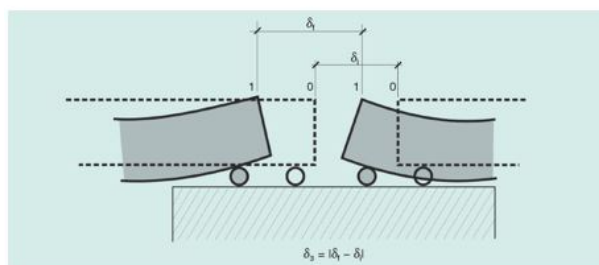


Figure 3.5: Desplazamiento máximo relativo δ_3 FUENTE: Instrucción de acciones a considerar en puentes de ferrocarril IAPF-2011^[2]

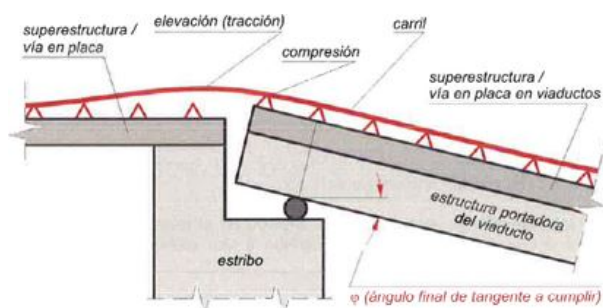


Figure 3.6: Rotación en estribo y consecuencias FUENTE: Estudio de criterios para el diseño y la construcción de viaductos con vía en placa (ADIF)^[3]

Análisis Dinámico

Los efectos dinámicos provocados por las composiciones de alta velocidad deben tenerse en cuenta en el establecimiento del coeficiente de impacto a aplicar a las verificaciones anteriores. De entre todas las variables a verificar en dinámica, únicamente se planteará la verificación de giros en estribos, ya que pudiese darse el caso de que fuesen los trenes de alta velocidad, más ligeros que el tren pesado UIC 71 sobre el que se ha evaluado el giro estático. La no superación de un giro máximo en servicio afecta fuertemente al proyecto de vía en placa, y en el contexto de este proyecto es muy relevante. Siguiendo las recomendaciones de la IAPF, se evalúan las curvas envolventes de giros máximos en cada estribo. La metodología de evaluación se resume en los siguientes puntos:

- Estructuras modelizadas mediante vigas de Bernoulli-Euler continuas de canto variable. Se consideran elementos hermíticos, con 2 grados de libertad (desplazamiento y giro) por nodo.

- Solución modal basada en el método semianalítico^{[8][6]}. Se trata de una solución basada en análisis modal con solución analítica exacta para el dominio del tiempo. Esto elimina el requerimiento de un paso de tiempo de integración, permitiendo soluciones exactas en la base modal, con mínimo tiempo de cálculo. Adicionalmente, esta reducción en tiempos de cálculo permite explorar pasos de velocidad bajos, necesarios especialmente para definir los valores máximos de las curvas envolventes en estructuras poco amortiguadas (soluciones metálicas o mixtas).
- Barrido de velocidades comprendido entre 20 km/h y 420 km/h (1,2 veces sobre la velocidad máxima de 350 km/h), muestreadas en pasos de 5 km/h. Este paso de velocidad puede considerarse adecuado en estructuras de hormigón.
- Módulo elástico de la estructura $E=33$ GPa.
- Masa añadida en vía en placa o vía en balasto para tablero de 1 vía: 8.000 kg/m. Este valor es representativo de la carga muerta tanto de vía en placa como en balasto, ya que como se indica en el Estudio de criterios para el diseño y la construcción de viaductos con vía en placa^[3], el balasto ha de considerarse un 30% superior, y el peso total puede considerarse equivalente al de la carga muerta de vía en placa. En vía doble, se tomará el valor 1.400 kg/m.
- Se consideran todos los modos de vibración comprendidos en el rango [0- 30] Hz.
- Se considera una tasa de amortiguamiento modal constante del 2%.
- Se considera un paso de tiempo de evaluación igual a 1/10 del menor periodo (aproximadamente 3 ms).
- Se considera un tiempo adicional en vibraciones libres de 10 veces el periodo más alto. Esto permite capturar posibles amplificaciones que se pueden dar una vez pasado el tren.
- Se consideran 12 trenes: Los 10 de la composición HSML, más el AVE y TALGO de alta velocidad. Las características de estos trenes están descritas tanto en la IAPF como en el Eurocódigo, y proporcionan interoperabilidad a las vías ferroviarias.

3.1.4 Modelización y análisis del viaducto de Porto, de Tuela y Nervi3n

Modelización y análisis del viaducto de Porto

El viaducto de Porto se encuentra ubicado en la línea de alta velocidad Madrid-Galicia. La estructura consta de un tablero de vía única, de 8,50 metros de ancho y longitud total 173,50 metros entre ejes de apoyos. El viaducto es continuo, distribuido en cinco vanos de longitudes 28,50-36,00-48,00-34,00-27,00 metros.

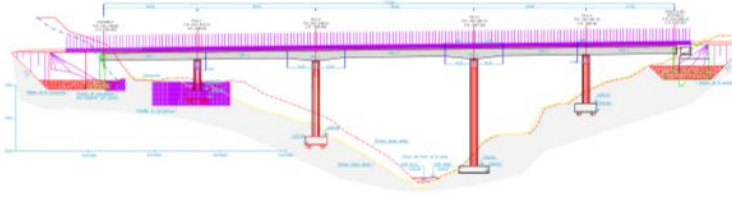


Figure 3.7: Viaducto de Porto. Alzado

FUENTE: Proyecto de Construcción de Plataforma de la Línea de Alta Velocidad Madrid-Galicia.
Tramo: Lubián-Túnel de La Canda^[10]

La sección transversal consta de vigas prefabricadas de 2,20 metros de canto unidas mediante pretensado para formar una solución continua. Sobre las pilas 2 y 3 se dispone una región de canto variable, en 8,50 metros a cada lado de la pila, aumentando el canto desde 2,20 metros hasta 3,00 m. La losa de compresión es de espesor variable, de 0,34 metros en la sección central hasta un canto de 0,24 metros en el extremo.

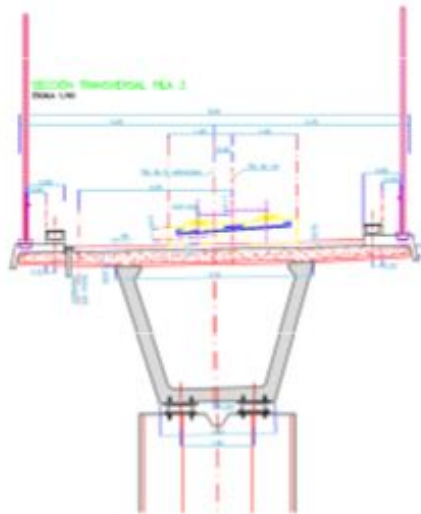


Figure 3.8: Viaducto de Porto. Sección transversal

FUENTE: Proyecto de Construcción de Plataforma de la Línea de Alta Velocidad Madrid-Galicia.
Tramo: Lubián-Túnel de La Canda^[10]

La estructura se fija en sentido horizontal en el estribo 2 (anclado mediante barras), disponiéndose tanto en el estribo E1 como en las pilas 1 a 4 aparatos POT deslizantes. La estructura se ha modelizado tanto en IVETAV como en SAP 2000 considerando la posición geométrica de todos los elementos, la posición de la fibra neutra, y 300 metros de vía antes y después de la estructura. Las pilas no se han incluido en la modelización, ya que se ha considerado una condición de deslizamiento perfecto en los aparatos POT. Si bien esta condición debe cuestionarse en otras ver-

ificaciones (especialmente si hubiese empuje en construcción), en las que es necesario contar con el coeficiente de rozamiento de los POT deslizantes, en análisis de interacción y dinámicos suele despreciarse la contribución de la fuerza de rozamiento, pues su valor es prácticamente nulo (ver referencias de M. Cuadrado y P. González [6-7]).

Las áreas e inercias se han medido a partir de planos; para valorar la diferencia de módulos elásticos entre la losa y la viga prefabricada, se ha aplicado en cada sección un coeficiente reductor que tiene en cuenta la diferencia entre la inercia total y la de la sección homogeneizada. No se han considerado reducciones de sección en la evaluación de la fuerza axil proporcional a la deformación impuesta por temperatura. La Tabla 3.1 muestra los datos de área e inercia, así como la distancias desde el centro de gravedad a la fibra inferior (h_1) y a la fibra superior (h_2).

Ubicación	Área[m ²]	Inercia[m ⁴]	h_1	h_2
Canto constante	4.097	3.605	1.675	0.865
Pila 2	4.786	7.137	2.147	1.193
Pila 3	4.786	7.137	2.147	1.193
Canto constante	4.097	3.605	1.675	0.865

Tabla 3.1: Viaducto de Porto. Características mecánicas de las secciones transversales

La modelización en IVETAV (acción térmica y frenado/arranque) o en ANADIN (análisis dinámico) es directa a partir de ficheros de entrada. La modelización en SAP 2000 requiere considerar elementos de longitud máxima 1 m para que no se produzcan errores apreciables al reemplazar el contacto acoplado y continuo que se produce entre la vía y la estructura, por un contacto desacoplado y puntual basado en muelles bilineales. Las figuras 13 a 24 muestran los resultados obtenidos para los casos térmico y de frenado/arranque. Se han analizado tres casos: i) vía en balasto sin juntas; ii) vía en placa sin juntas; iii) vía en placa con junta de dilatación en E2. Las figuras muestran para cada caso tres resultados: sobretensiones en el carril (o tensiones en el carril en el caso con junta de dilatación), desplazamiento diferencial entre vía y estructura, y fuerzas de interacción en el contacto vía-estructura. La Figura 3.25 muestra los resultados de sobretensiones en el carril inducida por acciones verticales. Las Figuras 3.26 y 3.27 muestran las curvas envolventes de máximos giros dinámicos. El Anejo 1 Listado de resultados para el viaducto de Porto, que se adjunta al presente documento, incluye los listados con resultados numéricos obtenidos de las aplicaciones IVETAV y ANADIN. En los mismos se incluyen: tensiones en el carril, desplazamiento relativo vía-estructura, fuerzas de interacción entre vía y estructura, reacciones en apoyos, desplazamiento relativo en juntas, así como los resultados dinámicos (modos y frecuencias) y curvas envolventes de giros al paso de los 12 trenes seleccionados, en el rango [20-420] km/h.



Figure 3.9: Viaducto de Porto. Modelo en SAP 2000. Vista en zona de estructura.



Figure 3.10: Viaducto de Porto. Modelo en SAP 2000. Detalle en pilas 3 y 4

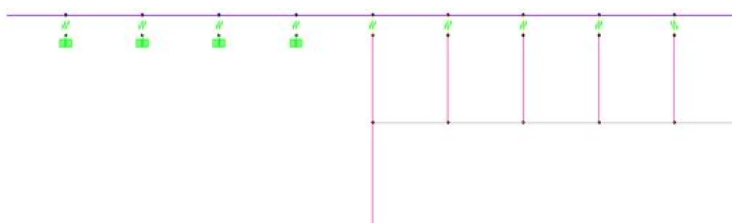


Figure 3.11: Viaducto de Porto. Modelo en SAP 2000. Detalle en estribo 1

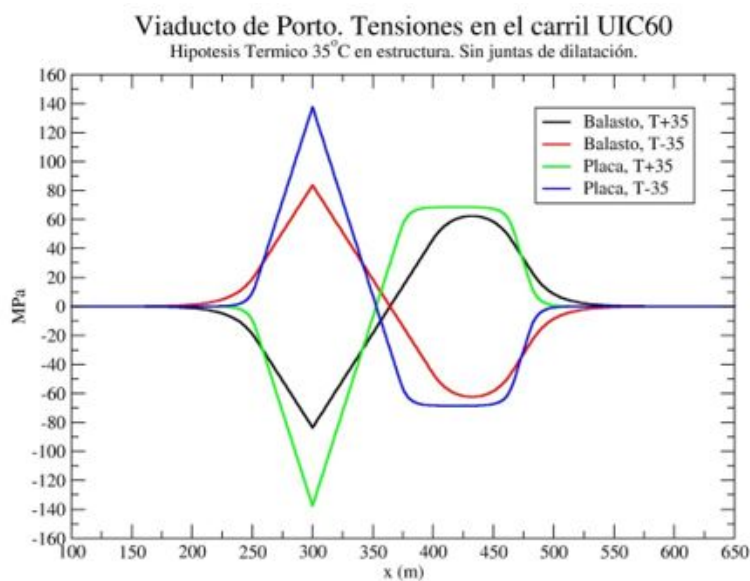


Figure 3.12: Viaducto de Porto. Sin junta. Acciones térmicas. Tensión en el carril

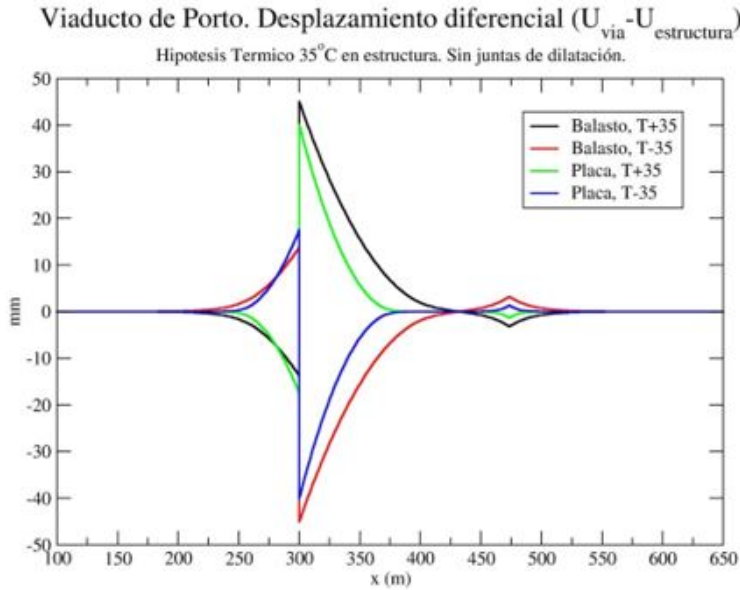


Figure 3.13: Viaducto de Porto. Sin junta. Acciones térmicas. Desplazamiento diferencial

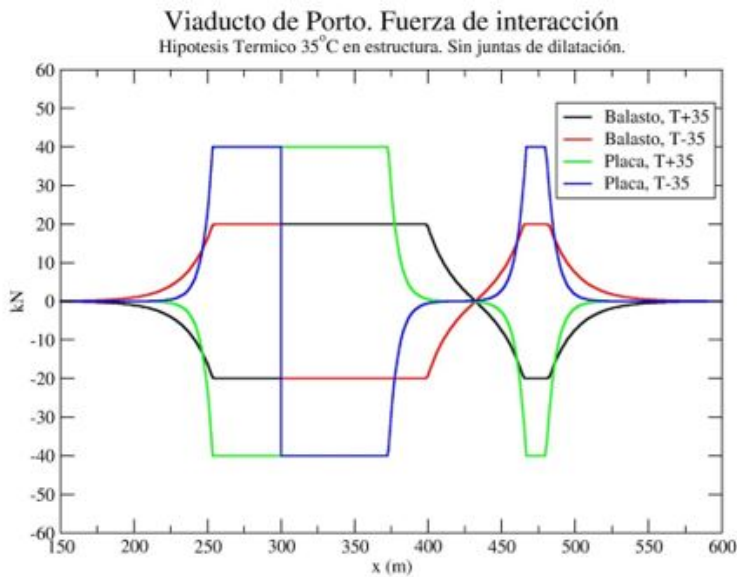


Figure 3.14: Viaducto de Porto. Sin junta. Acciones térmicas. Fuerza de interacción

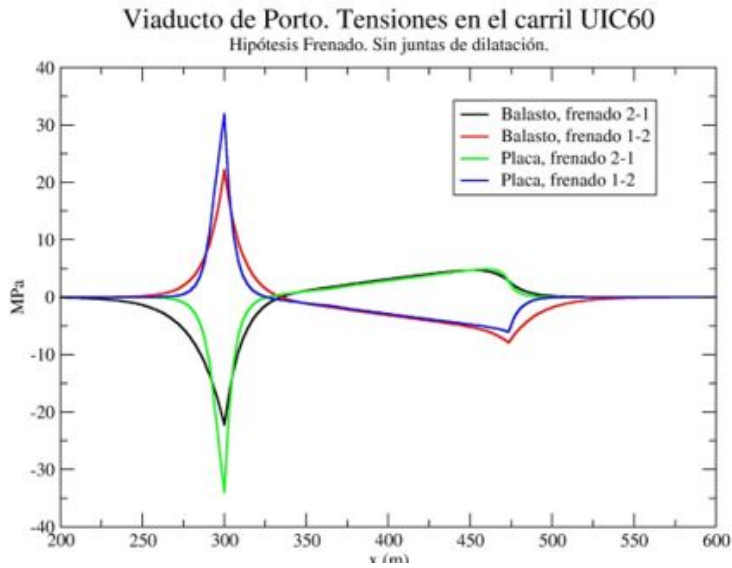


Figure 3.15: Viaducto de Porto. Sin junta. Acciones de frenado y arranque. Tensión en el carril

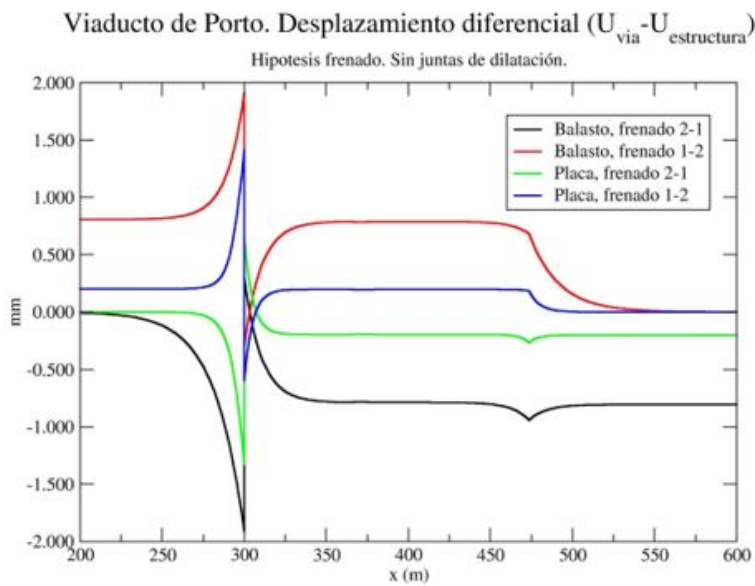


Figure 3.16: Viaducto de Porto. Sin junta. Acciones de frenado y arranque. Desplazamiento diferencial

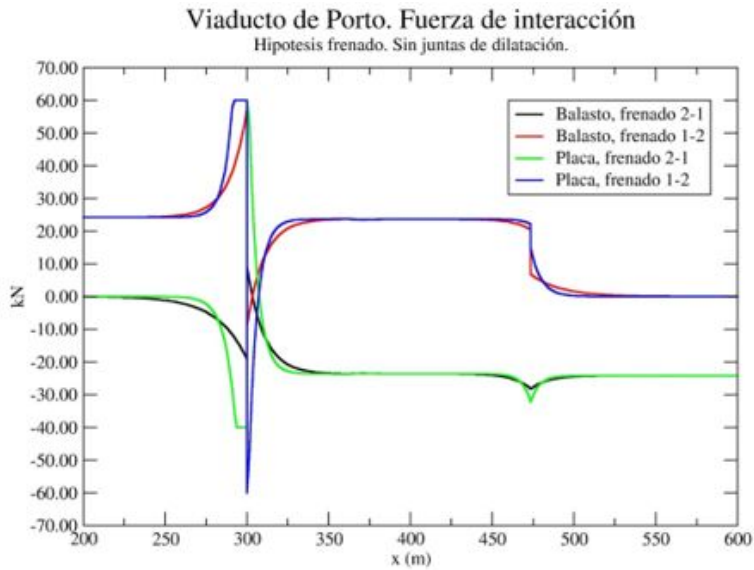


Figure 3.17: Viaducto de Porto. Sin juntas. Acciones de frenado y arranque. Fuerza de interacción

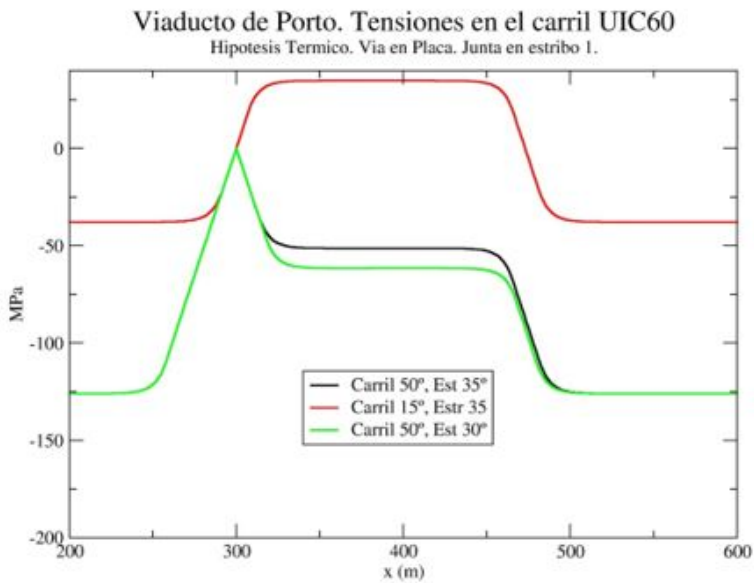


Figure 3.18: Viaducto de Porto. Con junta. Acciones térmicas. Tensión en el carril

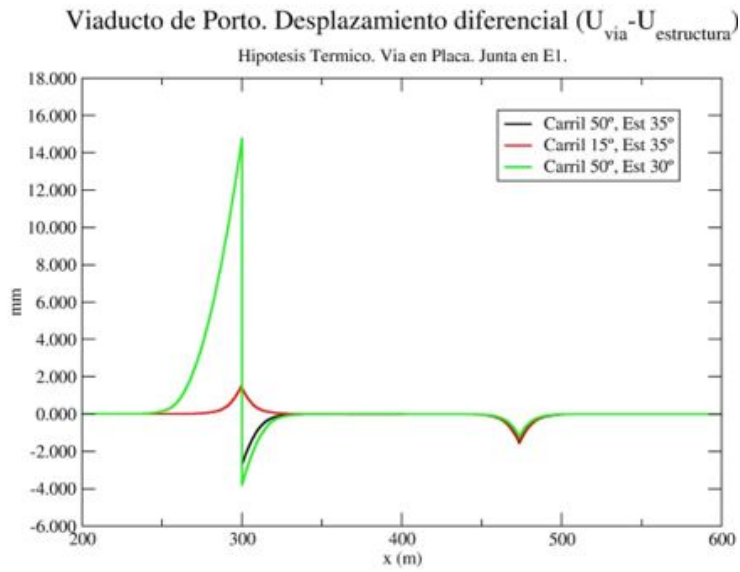


Figure 3.19: Viaducto de Porto. Con junta. Acciones térmicas. Desplazamiento diferencial

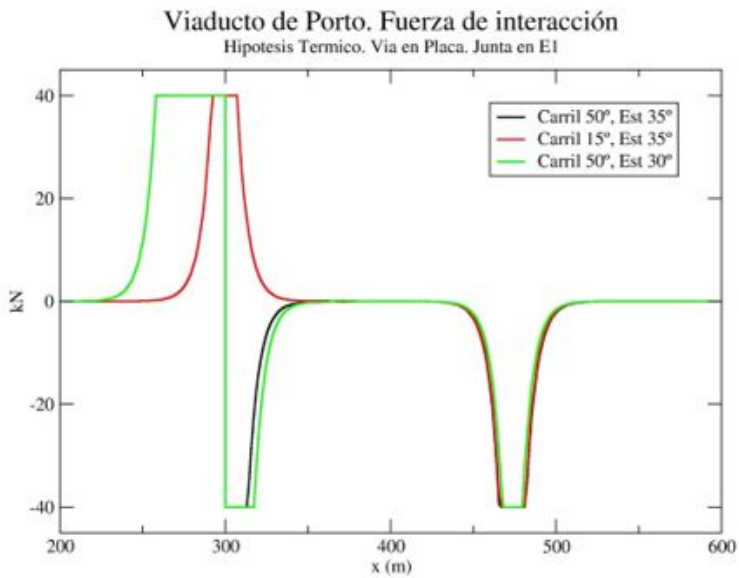


Figure 3.20: Viaducto de Porto. Con junta. Acciones térmicas. Fuerza de interacción

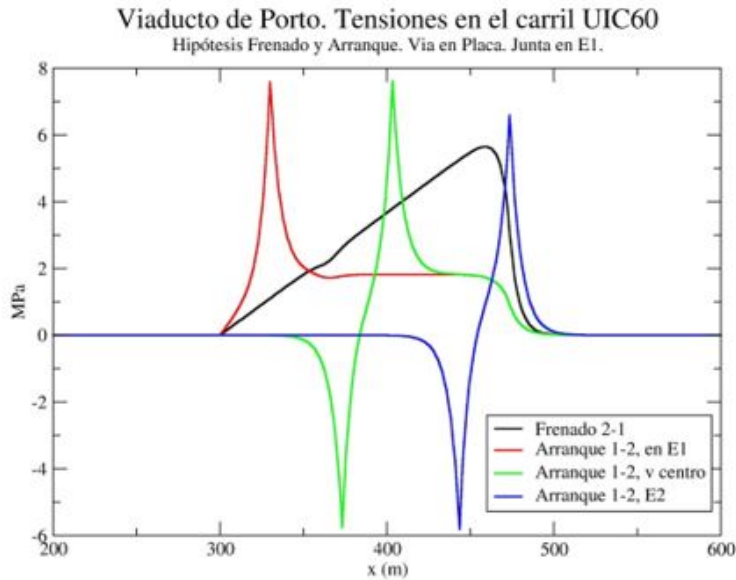


Figure 3.21: Viaducto de Porto. Con junta. Acciones de frenado y arranque. Tensión en el carril

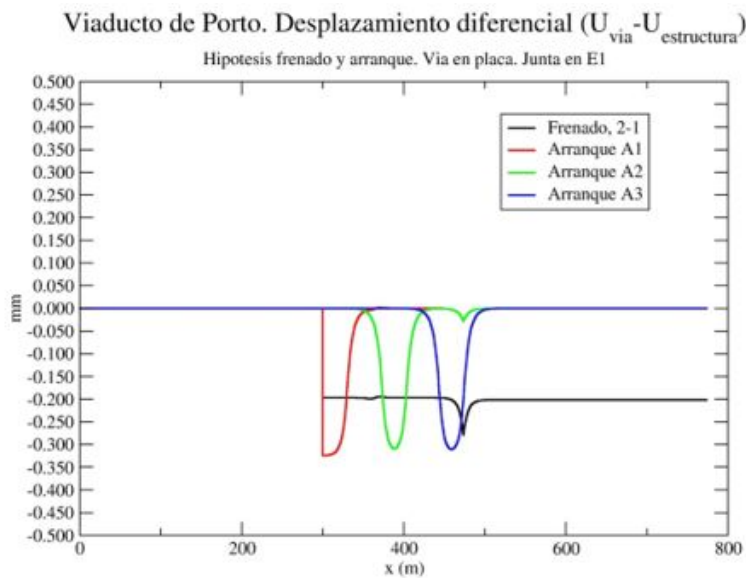


Figure 3.22: Viaducto de Porto. Con junta. Acciones de frenado y arranque. Desplazamiento diferencial

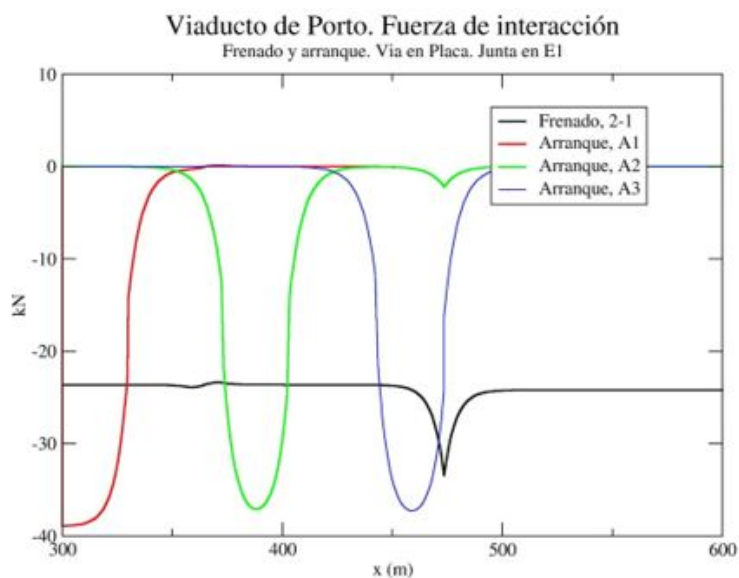


Figure 3.23: Viaducto de Porto. Con junta. Acciones de frenado y arranque. Fuerza de interacción

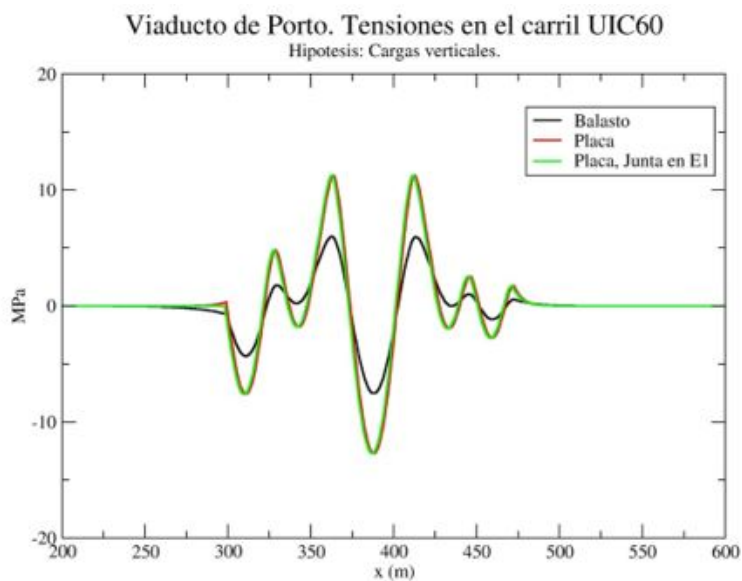


Figure 3.24: Viaducto de Porto. Con junta. Acciones verticales. Tensión en el carril

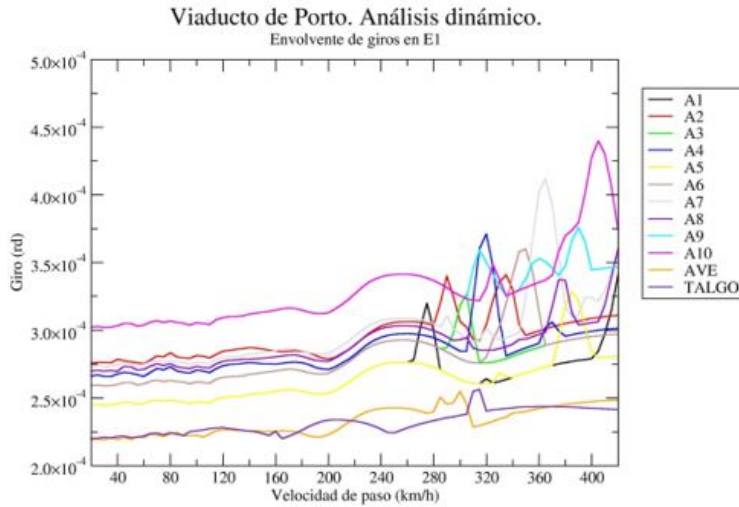


Figure 3.25: Viaducto de Porto. Envoltentes de giros dinámicos en estribo E1

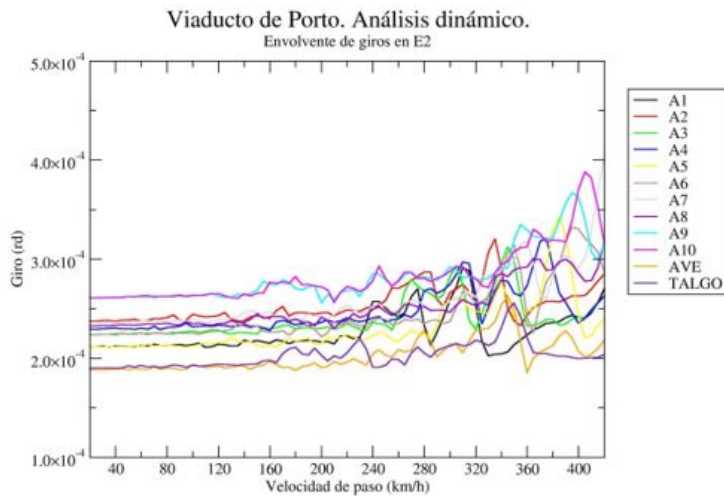


Figure 3.26: Viaducto de Porto. Envoltentes de giros dinámicos en estribo E2

Modelización y análisis del viaducto de Tuela

El viaducto de Tuela se encuentra ubicado en la línea de alta velocidad Madrid-Galicia. La estructura consta de un tablero de vía única, tiene una longitud total de 289 metros entre ejes de apoyos. El viaducto es continuo, distribuido en cinco vanos de longitudes 36.00-44-3x55.00-44.00 metros.

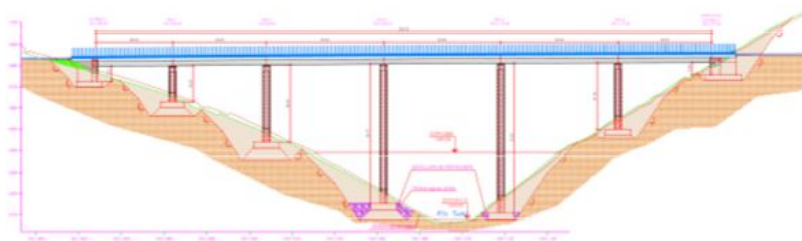


Figure 3.27: Viaducto de Tuela. Alzado

FUENTE: Proyecto de Construcción de Plataforma de la Línea de Alta Velocidad Madrid-Galicia.
Tramo: Lubián-Túnel de La Canda^[11]

El tablero es de vía única. La sección transversal tiene un ancho de 8.50 metros y un canto de 3.50 m.

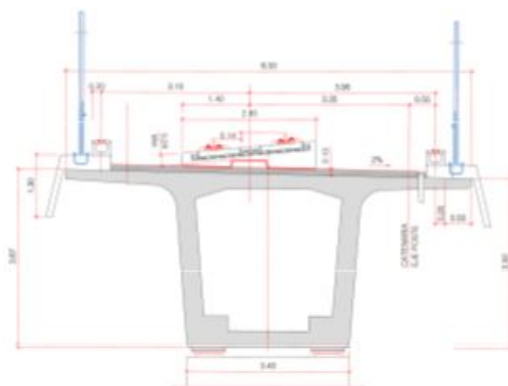


Figure 3.28: Viaducto de Tuela: Sección transversal

FUENTE: Proyecto de Construcción de Plataforma de la Línea de Alta Velocidad Madrid-Galicia.
Tramo: Lubián-Túnel de La Canda^[11]

La estructura se fija en sentido horizontal en el estribo 2 (anclado mediante barras). Todas las pilas salvo las dos pilas centrales disponen de aparatos de apoyo de tipo POT deslizante. Se han modelizado como apoyos ideales que sólo vinculan en dirección vertical, sin fricción. En las pilas 3 y 4 se disponen de aparatos de apoyo de tipo POT fijo; esto implica que las fuerzas horizontales se transmiten a los fustes de las pilas, y de éstas a las zapatas y al suelo. Ha sido necesario por tanto llevar a cabo una subestructuración de las pilas y zapatas, evaluándose las matrices de rigidez de las zapatas de forma independiente.

El Eurocódigo 1 EN-1991-2:2003 indica que en el análisis de interacción vía-estructura es necesario considerar las rigideces de pilas y cimentaciones que se movilizan. La figura 6.18 muestra las tres rigideces a considerar: flexión de pilas, giro del cimiento, y rigidez horizontal. Además, las rigideces horizontal y rotacional están acopladas.

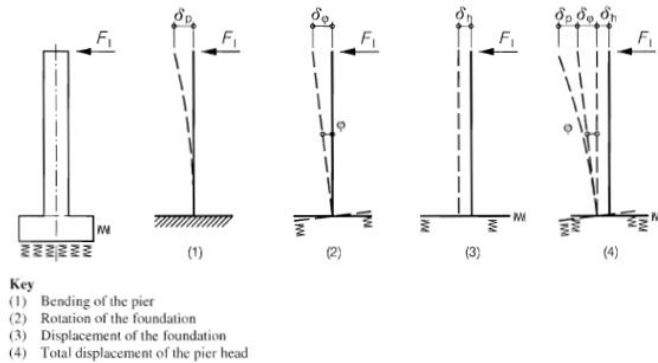


Figure 3.29: Determinación de rigidez equivalente en pilas

FUENTE: EN 1991-2:2004 Eurocódigo 1. Acciones en estructuras. Parte 2. Cargas de tráfico en puentes ^[1]

Para evaluar la matriz de rigidez de las zapatas, se han considerado las dimensiones de las mismas. Según planos, se ha dispuesto de una zapata de 12x14 cm de base, y 3 m de canto. Dicha zapata se supone embebida en un semiespacio elástico multicapa. Se ha considerado un semiespacio elástico de módulo elástico $E=1,5 \cdot 10^6$, coeficiente de Poisson 0,25 (1 capa). El cálculo de las matrices de rigidez se ha llevado a cabo mediante un código de elementos de contorno, cuyas bases de análisis se encuentran en los trabajos de B. Guzina, R.Y.S. Pak y A.M. Castro ^{[12][13]}. Se han empleado elementos de 8 nodos singulares en tracciones. Esto permite obtener las matrices de rigidez con menor número de grados de libertad y mayor precisión. Para el caso de una cimentación embebida, los coeficientes de singularidad son 0,310 y 0,410.

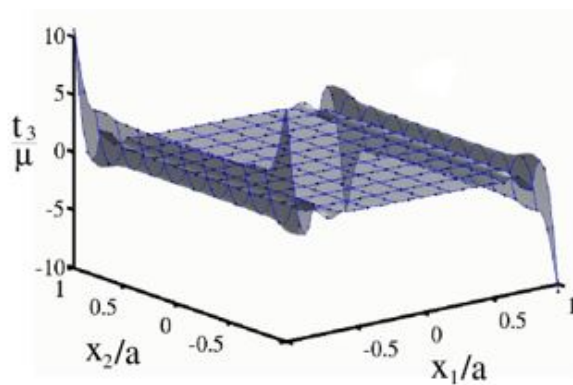


Figure 3.30: Elementos de 8 nodos singulares. Campo de tracciones debidas al giro de la zapata

FUENTE: Singular boundary elements for three-dimensional elasticity problems. Engineering Analysis with Boundary Elements (B.B.Guzina, R.Y.S. Pak, A. Martínez-Castro) ^[13]

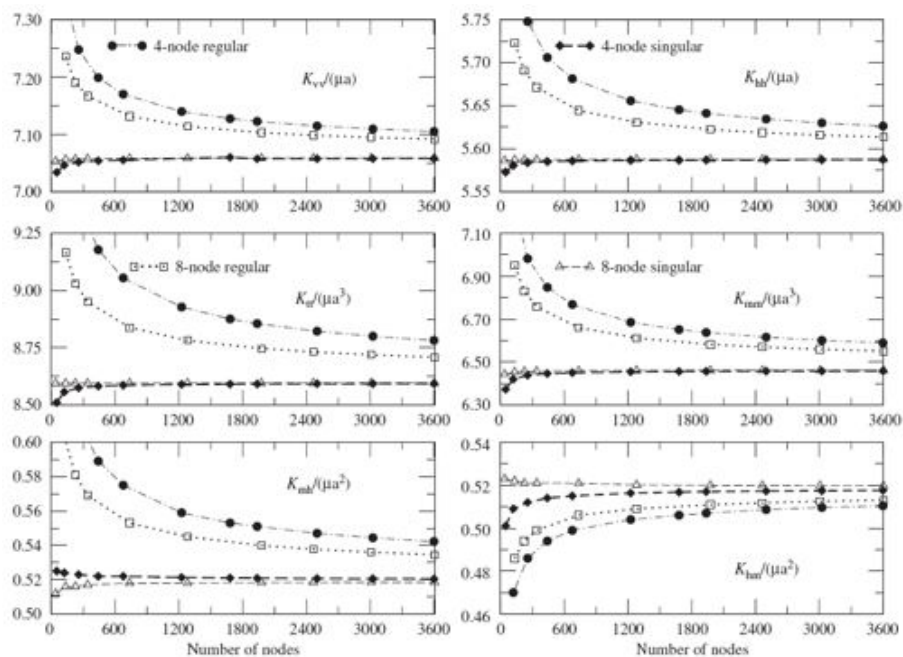


Figure 3.31: Convergencia de elementos singulares
FUENTE: Singular boundary elements for three-dimensional elasticity problems. Engineering Analysis with Boundary Elements (B.B.Guzina, R.Y.S. Pak, A. Martínez-Castro)^[13]

Componente	Rigidez de cimentación
K_{xx} (Rigidez horizontal)	3,230E+07 kN/m
K_{HM} (Rigidez acoplada)	8,492E+07 kN/rad
K_{MM} (Rigidez flexión de pila)	2,028E+09 kN·m/rad

Tabla 3.2: Términos de rigidez de cimentación. Viaducto de Tuela
FUENTE: Singular boundary elements for three-dimensional elasticity problems. Engineering Analysis with Boundary Elements (B.B.Guzina, R.Y.S. Pak, A. Martínez-Castro)^[13]

Tras obtener los valores de los términos de la matriz de rigidez, se ha planteado en SAP 2000 un modelo en el cual se ha incorporado una pila (considerando la variación de área e inercia) y se ha incluido mediante un link la matriz de rigidez acoplada anteriormente evaluada. Con esto, se ha evaluado la rigidez horizontal de la pila, obteniéndose un valor de $k=2333.4$ kN/m. Este valor ha sido el que se ha introducido en los modelos globales en forma de muelles horizontales para las pilas 3 y 4. La estructura se ha modelizado tanto en IVETAV como en SAP 2000 considerando la posición geométrica de todos los elementos, la posición de la fibra neutra. Además, se han incluido en los modelos 300 metros de vía antes y después de la estructura. Las áreas e inercias se han medido a partir de planos; para valorar la diferencia de módulos elásticos entre la losa y la

viga prefabricada, se ha aplicado en cada sección un coeficiente reductor que tiene en cuenta la diferencia entre la inercia total y la de la sección homogeneizada. No se han considerado reducciones de sección en la evaluación de la fuerza axil proporcional a la deformación impuesta por temperatura. La Tabla 3.2 muestra los datos de área e inercia, así como la distancia desde el centro de gravedad a la fibra inferior (h_1) y a la fibra superior (h_2).

La modelización en IVETAV (acción térmica y frenado/arranque) o en ANADIN (análisis dinámico) es directa a partir de ficheros de entrada. La modelización en SAP 2000 requiere considerar elementos de longitud máxima 1 m para que no se produzcan errores apreciables al reemplazar el contacto acoplado y continuo que se produce entre la vía y la estructura, por un contacto desacoplado y puntual basado en muelles bilineales. Las Figuras 35 a 46 muestran los resultados obtenidos para los casos: térmico, y de frenado/arranque. Se han analizado tres casos: i) vía en balasto sin juntas; ii) vía en placa sin juntas; iii) vía en placa con junta de dilatación en E2. Las figuras muestran para cada caso tres resultados: sobretensiones en el carril (o tensiones en el carril en el caso con junta de dilatación), desplazamiento diferencial entre vía y estructura, y fuerzas de interacción en el contacto vía-estructura. La Figura 47 muestra los resultados de sobretensiones en el carril para la hipótesis de acciones verticales. Las Figuras 48 y 49 muestran las curvas envolventes de máximos giros dinámicos.

El Anejo 2 Listado de resultados para el viaducto de Tuela, que se adjunta al presente documento, incluye los listados de los resultados numéricos obtenidos de las aplicaciones IVETAV y ANADIN. En los mismos se incluyen: tensiones en el carril, desplazamiento relativo vía-estructura, fuerzas de interacción entre vía y estructura, reacciones en apoyos y pilas, desplazamiento relativo en juntas, así como los resultados dinámicos (modos y frecuencias) y curvas envolventes de giros al paso de los 12 trenes seleccionados, en el rango [20-420] km/h.



Figure 3.32: Viaducto de Tuela. Modelo en SAP 2000. Alzado.

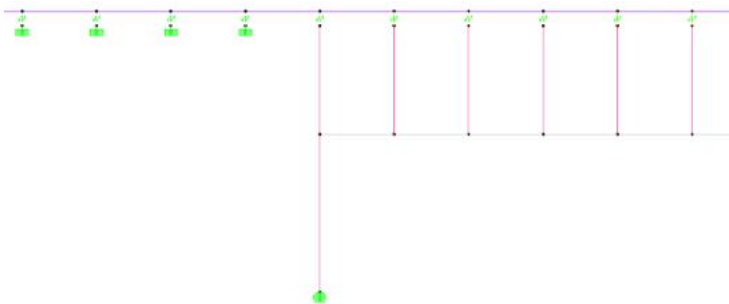


Figure 3.33: Viaducto de Tuela. Modelo en SAP 2000. Detalle en zona de estribo 1

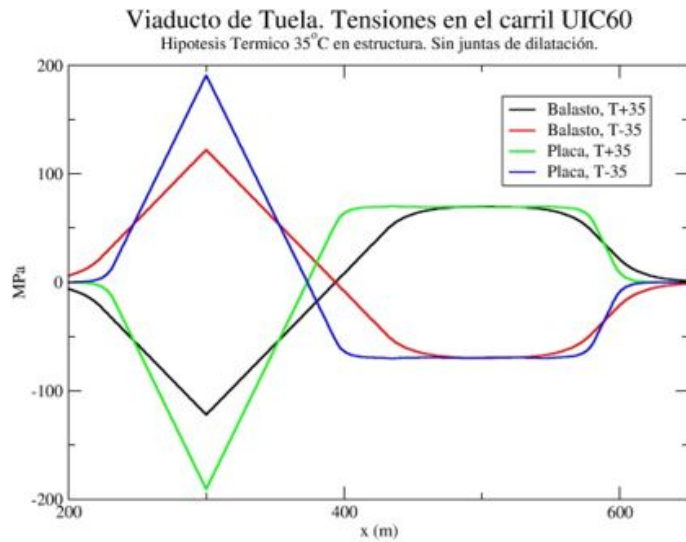


Figure 3.34: Viaducto de Tuela. Sin junta. Acciones térmicas. Tensión en el carril

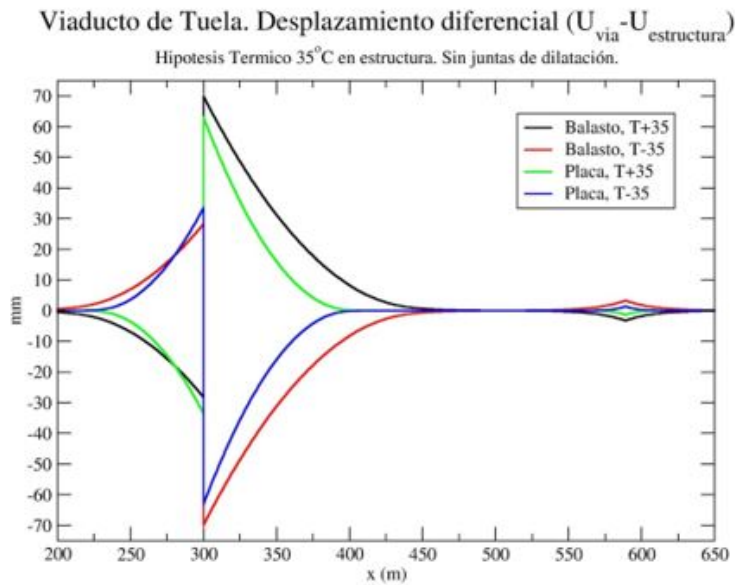


Figure 3.35: Viaducto de Tuela. Sin Junta. Acciones térmicas. Desplazamiento diferencial

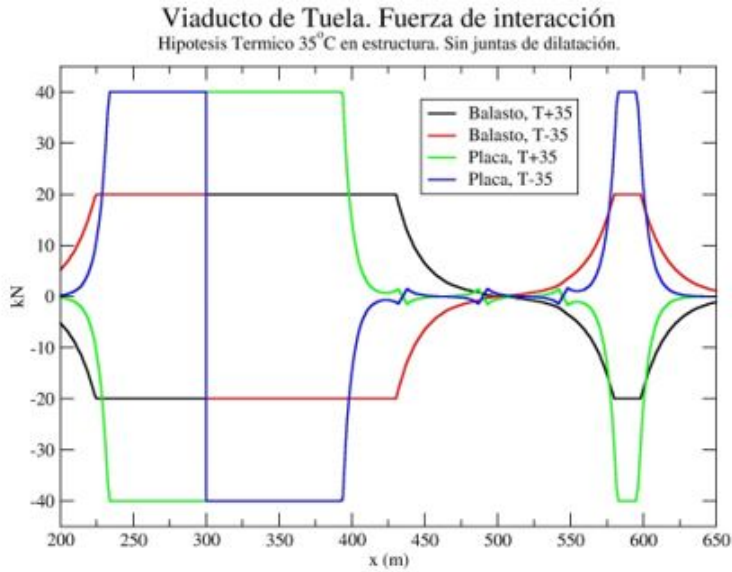


Figure 3.36: Viaducto de Tuela. Sin junta. Acciones térmicas. Fuerza de interacción

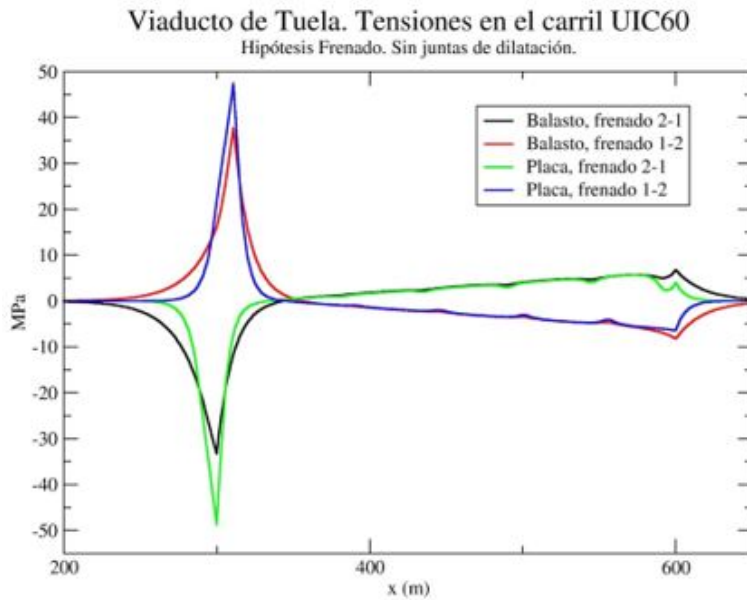


Figure 3.37: Viaducto de Tuela. Sin junta. Acciones de frenado y arranque. Tensión en el carril

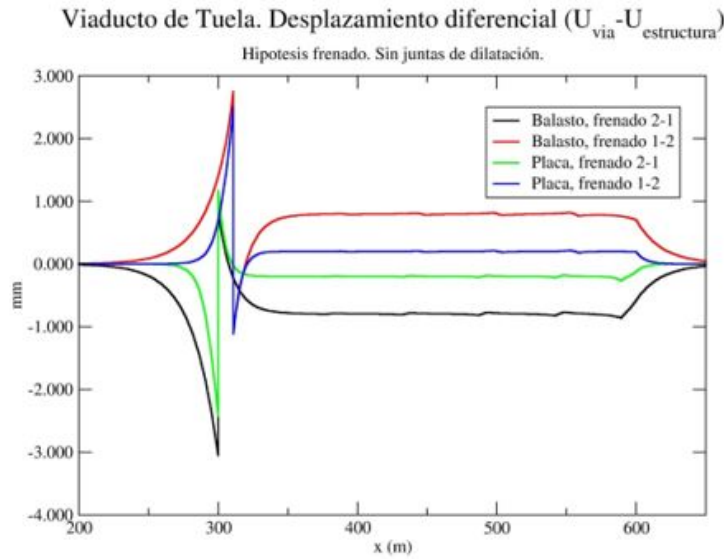


Figure 3.38: Viaducto de Tuela. Sin junta. Acciones de frenado y arranque. Desplazamiento diferencial

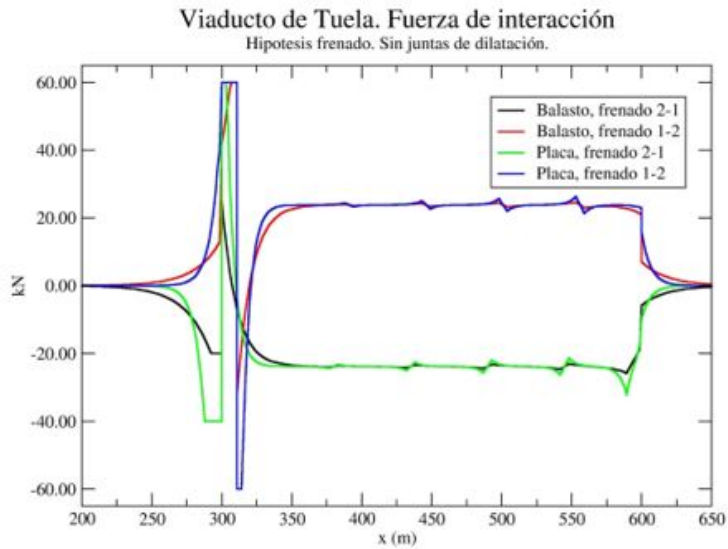


Figure 3.39: Viaducto de Tuela. Sin junta. Acciones de frenado y arranque. Fuerza de interacción

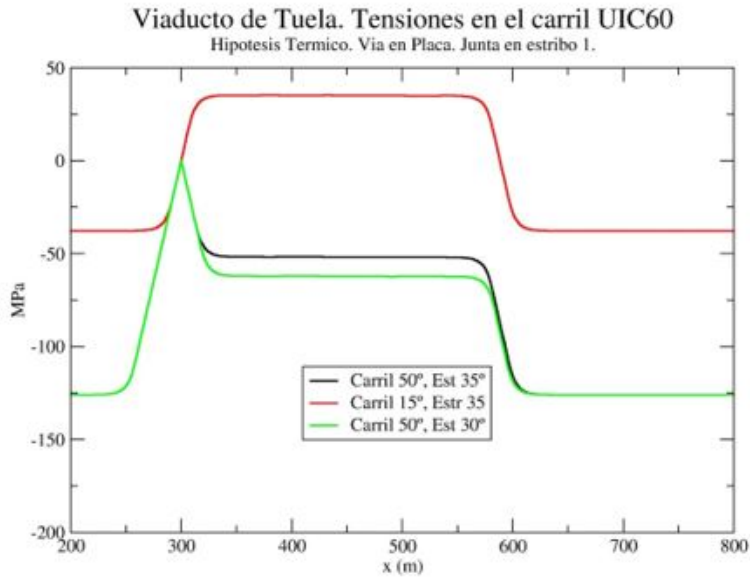


Figure 3.40: Viaducto de Tuela. Con junta. Acciones térmicas. Tensión en el carril

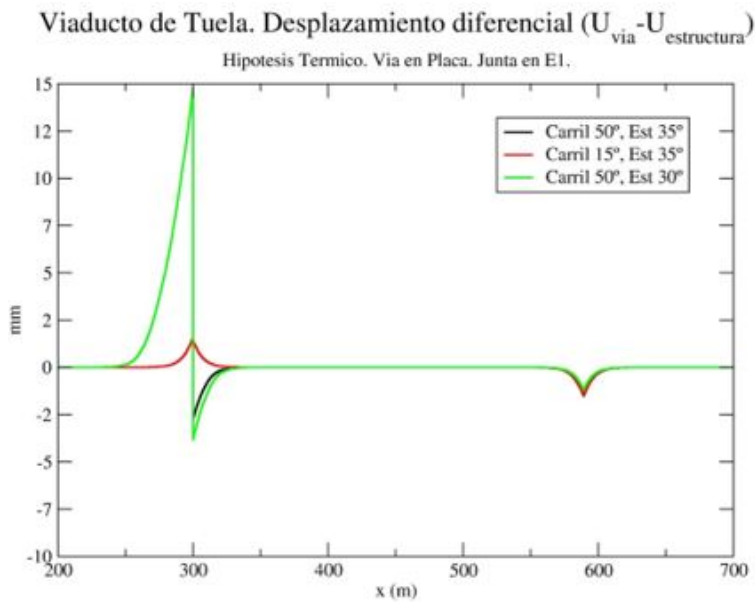


Figure 3.41: Viaducto de Tuela. Con junta. Acciones térmicas. Desplazamiento diferencial.

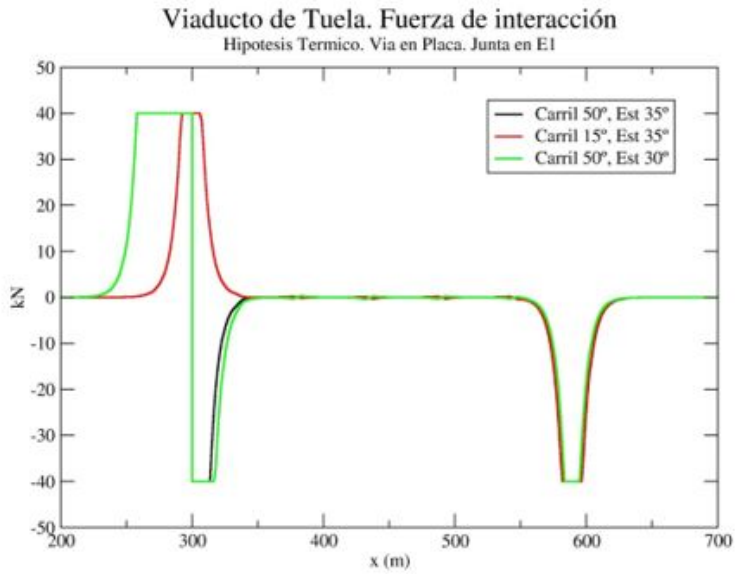


Figure 3.42: Viaducto de Tuela. Con junta. Acciones térmicas. Fuerza de interacción

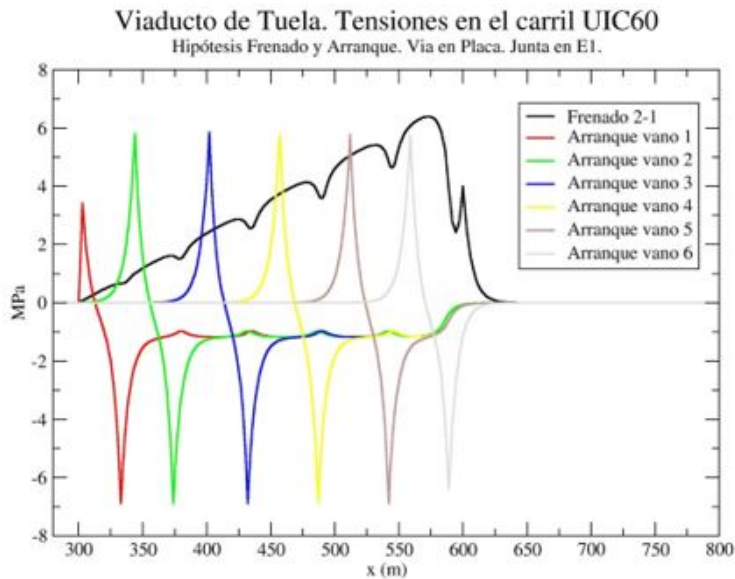


Figure 3.43: Viaducto de Tuela. Con junta. Acciones de frenado y arranque. Tensión en el carril

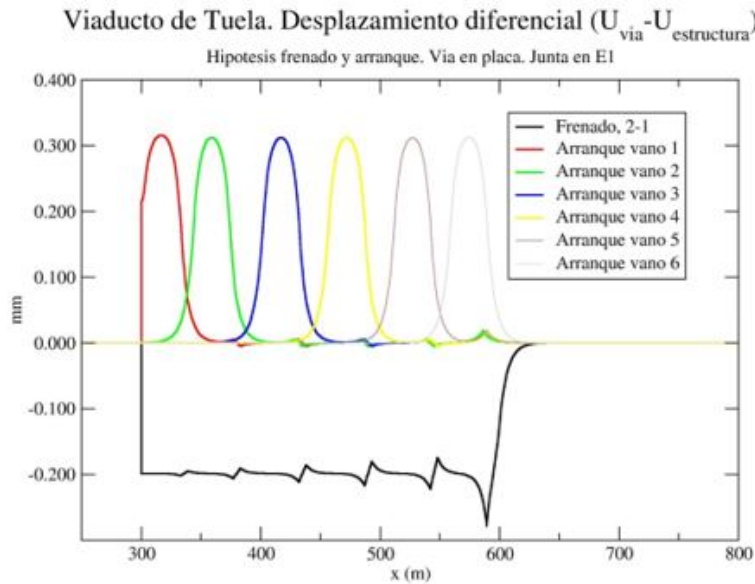


Figure 3.44: Viaducto de Tuela. Con junta. Acciones de frenado y arranque. Desplazamiento diferencial

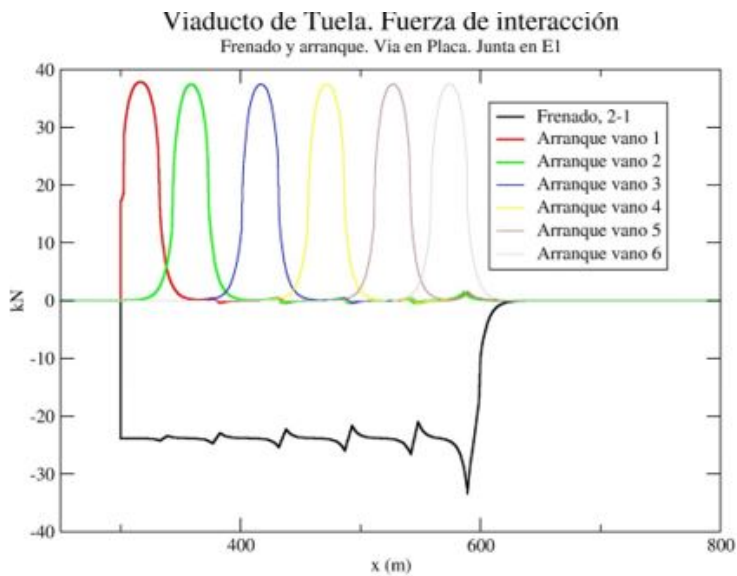


Figure 3.45: Viaducto de Tuela. Con junta. Acciones de frenado y arranque. Fuerza de interacción

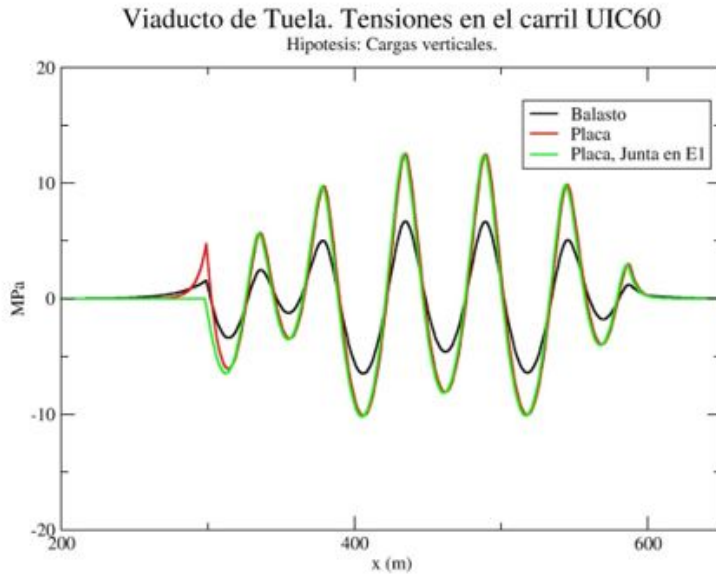


Figure 3.46: Viaducto de Tuela. Con junta. Acciones verticales. Tensiones en el carril

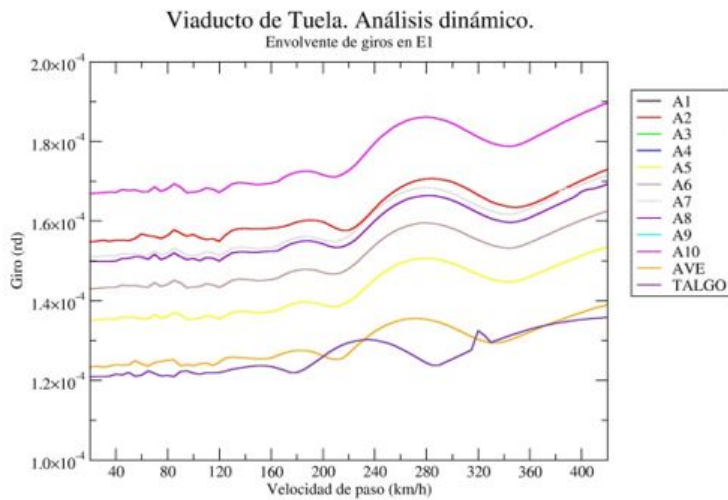


Figure 3.47: Viaducto de Tuela. Envolturas de giros dinámicos en estribo E1

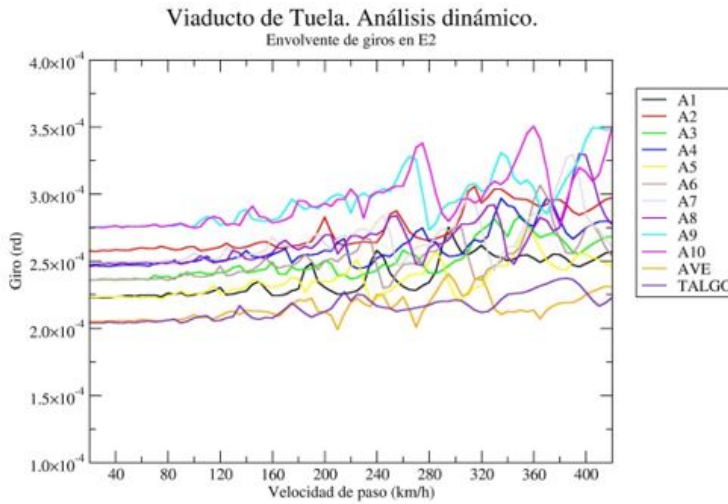


Figure 3.48: Viaducto de Tuela. Envoltentes de giros dinámicos en estribo E2

Modelización y análisis del viaducto del Nervión

El viaducto de Nervión se encuentra ubicado en la línea de alta velocidad Vitoria-Bilbao-San Sebastián. La estructura consta de un tablero de vía doble, de longitud total 438 metros entre ejes de apoyos. El viaducto es continuo, distribuido en seis vanos de longitudes 68-92-115-58-58-47 metros.

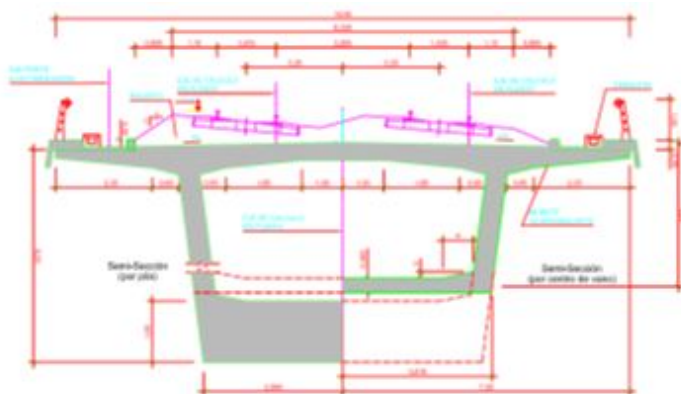


Figure 3.49: Viaducto de Nervión. Sección transversal

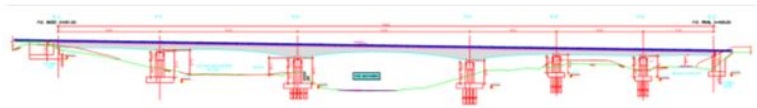


Figure 3.50: Viaducto de Porto. Alzado (tomado de planos del proyecto)

La sección transversal consiste en una sección cajón 14 metros de ancho (doble vía). El canto es variable, desde 8,20 metros sobre pilas a 3,50 metros en la sección de centro de vano. La estructura se fija en sentido horizontal en el estribo 1 (anclado mediante barras), disponiéndose tanto en el estribo E2 como en las pilas aparatos de apoyo de tipo POT delizante. La estructura se ha modelizado tanto en IVETAV como en SAP 2000 considerando la posición geométrica de todos los elementos, la posición de la fibra neutra, y 300 metros de vía antes y después de la estructura. Las áreas e inercias se han medido a partir de planos; para valorar la diferencia de módulos elásticos entre la losa y la viga prefabricada, se ha aplicado en cada sección un coeficiente reductor que tiene en cuenta la diferencia entre la inercia total y la de la sección homogeneizada. No se han considerado reducciones de sección en la evaluación de la fuerza axil proporcional a la deformación impuesta por temperatura. La Tabla 3.3 muestra los datos de área e inercia, así como las distancias desde el centro de gravedad a la fibra inferior (h_1) y a la fibra superior (h_2).

	Elemento	Longitud del elemento [m]	Canto [m]	Área[m ²]	Inercia[m ⁴]	h_1 [m]	h_2 [m]
E-1 a P1	1	2,010	3,680	31,355	39,832	2,050	1,770
	2	6,040	3,680	12,705	27,361	2,170	1,650
	3	27,330	3,680	11,688	24,147	2,320	1,500
	4	7,610	3,700	11,737	24,557	2,320	1,520
	5	5,670	3,800	11,822	26,086	2,390	1,550
	6	5,670	3,970	11,967	28,798	2,490	1,620
	7	5,670	4,250	12,206	33,582	2,660	1,730
	8	2,830	4,520	12,743	40,330	2,770	1,890
	9	2,830	4,750	14,216	51,656	2,700	2,190
	10	1,830	4,950	15,960	62,632	2,610	2,480
	11	1,000	4,960	40,342	91,250	2,730	2,370
P1 a P2	1	1,000	4,930	40,136	89,727	2,710	2,360
	2	5,670	4,880	14,989	57,650	2,680	2,340
	3	5,670	4,460	12,385	37,433	2,790	1,810
	4	8,500	4,050	12,035	30,125	2,540	1,650
	5	8,500	3,760	11,788	25,468	2,360	1,540
	6	9,520	3,660	11,703	23,960	2,300	1,500
	7	8,550	3,710	11,746	24,708	2,330	1,520
	8	8,550	3,930	11,933	28,147	2,470	1,600
	9	8,550	4,370	12,308	35,755	2,740	1,770
	10	8,550	4,440	14,158	45,011	2,500	2,080
	11	5,700	5,920	16,955	95,209	3,100	2,960
	12	5,700	6,770	18,873	136,062	3,390	3,520
	13	5,700	7,800	20,815	186,289	3,780	4,160
	14	1,850	8,360	21,713	190,288	4,000	4,500
	15	1,000	8,360	62,120	384,634	4,590	3,910

CAPÍTULO 3. APARATOS DE DILATACIÓN

	Elemento	Longitud del elemento [m]	Canto [m]	Área[m ²]	Inercia[m ⁴]	h ₁ [m]	h ₂ [m]
P2 a P3	1	1,000	8,360	62,120	384,634	4,590	3,910
	2	1,850	8,360	21,713	190,288	4,000	4,500
	3	5,700	7,750	20,785	186,033	3,750	4,140
	4	5,700	6,730	18,847	134,263	3,370	3,500
	5	8,550	5,710	16,450	86,230	3,030	2,820
	6	8,550	4,800	13,707	50,292	2,810	2,130
	7	8,550	4,190	12,155	32,524	2,630	1,700
	8	8,550	3,830	11,848	26,554	2,400	1,570
	9	18,100	3,660	12,786	27,263	2,140	1,660
	10	8,550	3,840	11,856	26,711	2,410	1,570
	11	8,550	4,210	12,172	32,875	2,640	1,710
	12	8,550	4,840	13,739	51,235	2,840	2,140
	13	8,550	5,770	16,493	88,248	3,060	2,850
	14	5,700	6,820	18,906	138,328	3,410	3,550
	15	5,700	7,850	20,845	186,544	3,800	4,190
	16	1,850	8,360	21,713	190,288	4,000	4,500
	17	1,000	8,360	62,120	384,634	4,590	3,910
P3 a P4	1	1,000	8,360	62,120	384,634	4,590	3,910
	2	1,850	8,360	21,393	229,182	4,040	4,460
	3	5,700	7,690	20,087	184,920	3,800	4,030
	4	5,700	6,680	18,814	132,031	3,340	3,480
	5	5,700	5,850	16,905	92,700	3,060	2,930
	6	5,700	5,170	15,029	64,830	2,870	2,440
	7	8,550	4,530	12,690	40,190	2,790	1,880
	8	8,550	4,020	12,010	29,624	2,520	1,640
	9	8,550	3,750	11,780	25,315	2,350	1,540
	10	2,850	3,670	12,348	26,209	2,210	1,600
	11	2,850	3,660	12,978	27,728	2,120	1,680
	12	1,000	3,660	31,211	39,541	2,040	1,760
P4 a P5	1	1,000	3,660	31,211	39,541	2,040	1,760
	2	2,050	3,660	12,978	27,728	2,120	1,680
	3	3,050	3,660	12,339	26,047	2,200	1,600
	4	45,790	3,660	11,703	23,960	2,300	1,500
	5	3,050	3,660	12,339	26,047	2,200	1,600
	6	2,040	3,660	12,978	27,728	2,120	1,680
	7	1,000	3,660	31,211	39,541	2,040	1,760
P5 a P6	1	1,000	3,660	31,211	39,541	2,040	1,760
	2	1,940	3,660	12,978	27,728	2,120	1,680
	3	2,930	3,550	12,185	24,124	1,920	1,770
	4	8,810	3,290	11,390	18,803	2,070	1,360
	5	8,810	2,990	11,137	15,105	1,880	1,250
	6	8,810	2,790	10,969	12,877	1,750	1,180
	7	8,810	2,680	10,876	11,732	1,690	1,130
	8	2,940	2,660	11,523	12,472	1,600	1,200
	9	1,930	2,660	12,188	13,175	1,540	1,260
	10	1,720	2,660	23,885	16,149	1,510	1,290

Tabla 3.3: Viaducto del Nervión. Características mecánicas de las secciones transversales

La modelización en IVETAV (acción térmica y frenado/arranque) o en ANADIN (análisis dinámico)

es directa a partir de ficheros de entrada. Se ha tenido en cuenta que el número de carriles es de 4, y que la resistencia movilizada debe incluir las 2 vías, tanto en situación cargada como descargada. La modelización en SAP 2000 requiere considerar elementos de longitud máxima 1 m para que no se produzcan errores apreciables al reemplazar el contacto acoplado y continuo que se produce entre la vía y la estructura, por un contacto desacoplado y puntual basado en muelles bilineales. Las Figuras 55 a 66 muestran los resultados obtenidos para los casos térmicos, y de frenado/arranque. Se han analizado tres casos:

- i) vía en balasto sin juntas
- ii) vía en placa sin juntas
- iii) vía en placa con junta de dilatación en E2.

Las figuras muestran para cada caso tres resultados: sobretensiones en el carril (o tensiones en el carril en el caso con junta de dilatación), desplazamiento diferencial entre vía y estructura, y fuerzas de interacción en el contacto vía-estructura. La Figura 67 muestra los resultados de tensiones en el carril para caso de cargas verticales. Finalmente, las Figuras 68 y 69 muestran las curvas envolventes de giros. El Anejo 3 Listado de resultados para el viaducto de Nervión, que se adjunta al presente documento, incluye los listados con los resultados numéricos obtenidos de las aplicaciones IVETAV y ANADIN. En los mismos se incluyen: tensiones en el carril, desplazamiento relativo vía-estructura, fuerzas de interacción entre vía y estructura, reacciones en apoyos, desplazamiento relativo en juntas, así como los resultados dinámicos (modos y frecuencias) y curvas envolventes de giros al paso de los 12 trenes seleccionados, en el rango [20-420] km/h.



Figure 3.51: Viaducto de Nervión. Modelo en SAP 2000



Figure 3.52: Viaducto de Nervión. Detalle en zona de vano central

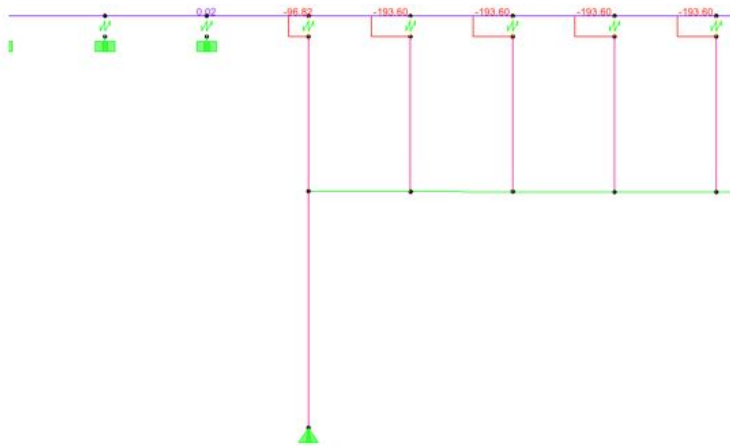


Figure 3.53: Viaducto de Nervión. Detalle en zona de estribo 1. Reacciones verticales en zona de estribo

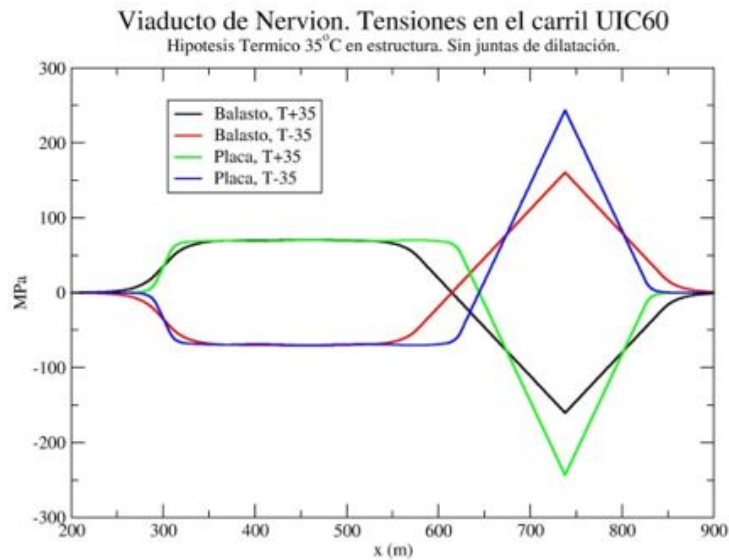


Figure 3.54: Viaducto de Nervión. Sin junta. Acciones térmicas. Tensión en el carril

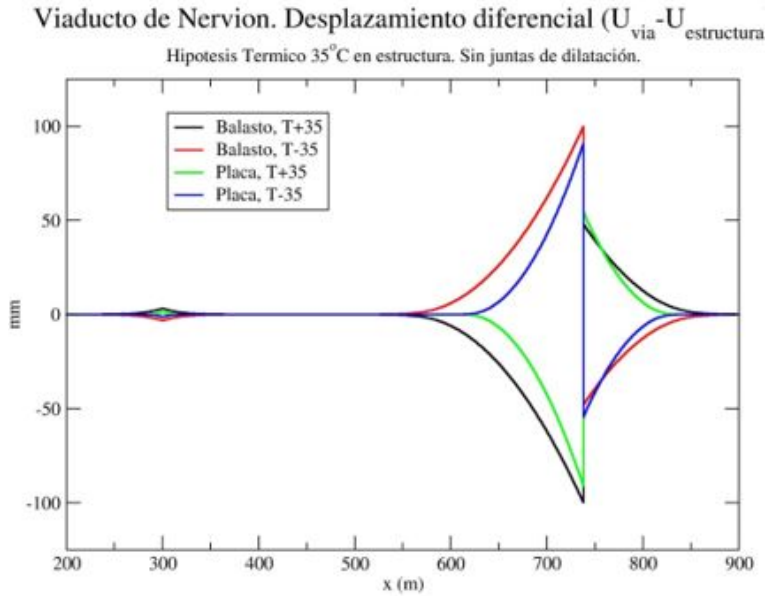


Figure 3.55: Viaducto de Nervión. Sin junta. Acciones térmicas. Desplazamiento diferencial

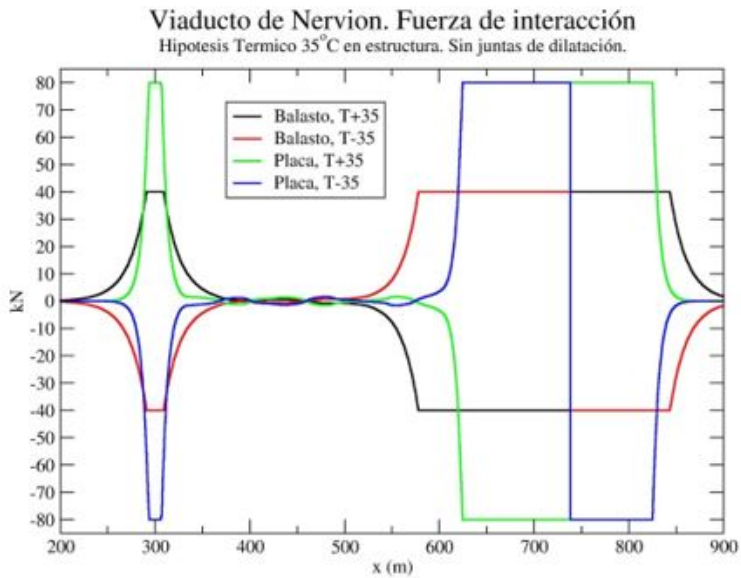


Figure 3.56: Viaducto de Nervión. Sin junta. Acciones térmicas. Fuerza de interacción

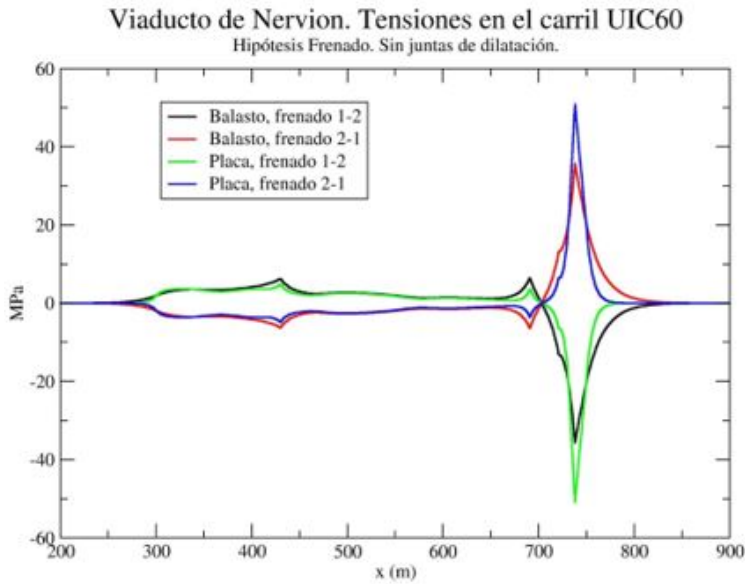


Figure 3.57: Viaducto de Nervión. Sin junta. Acciones de frenado y arranque. Tensiones en el carril

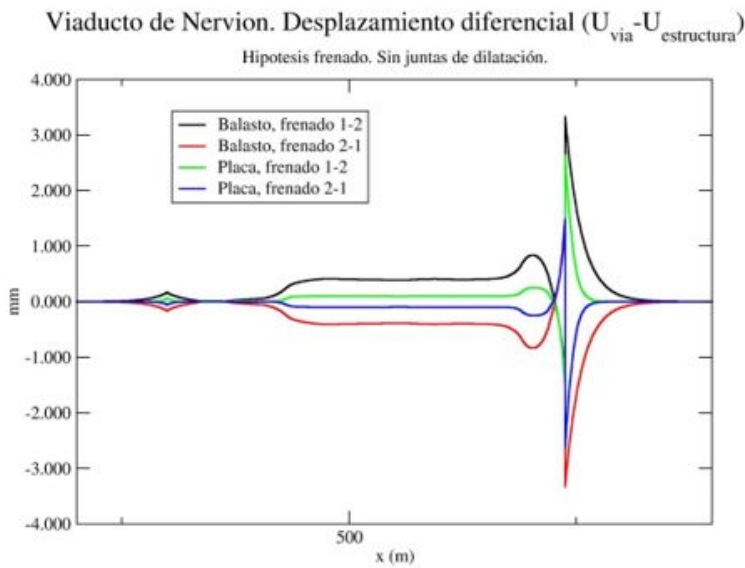


Figure 3.58: Viaducto de Nervión. Sin junta. Acciones de frenado y arranque. Desplazamiento diferencial

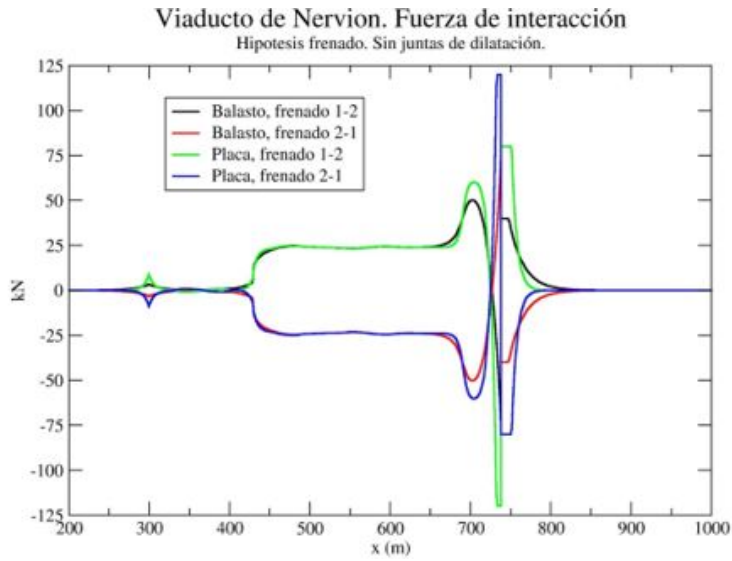


Figure 3.59: Viaducto de Nervión. Sin junta. Acciones de frenado y arranque. Fuerza de interacción

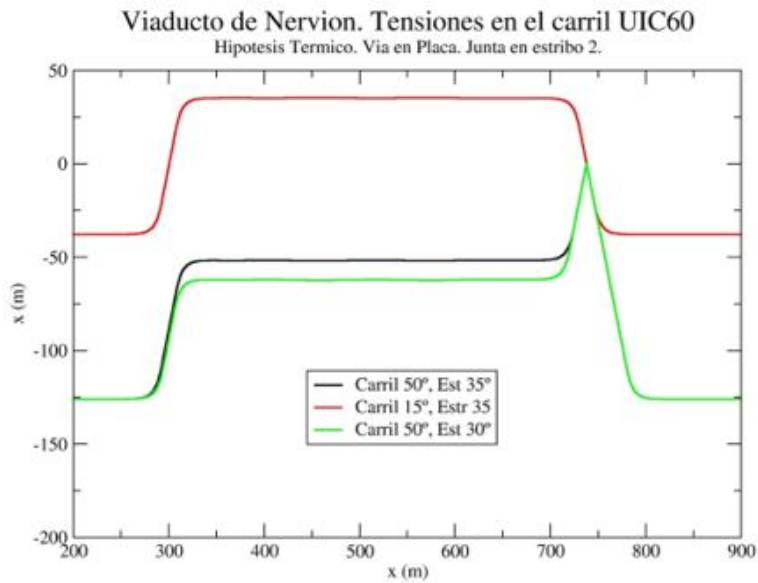


Figure 3.60: Viaducto de Nervión. Con junta. Acciones térmicas. Tensión en el carril

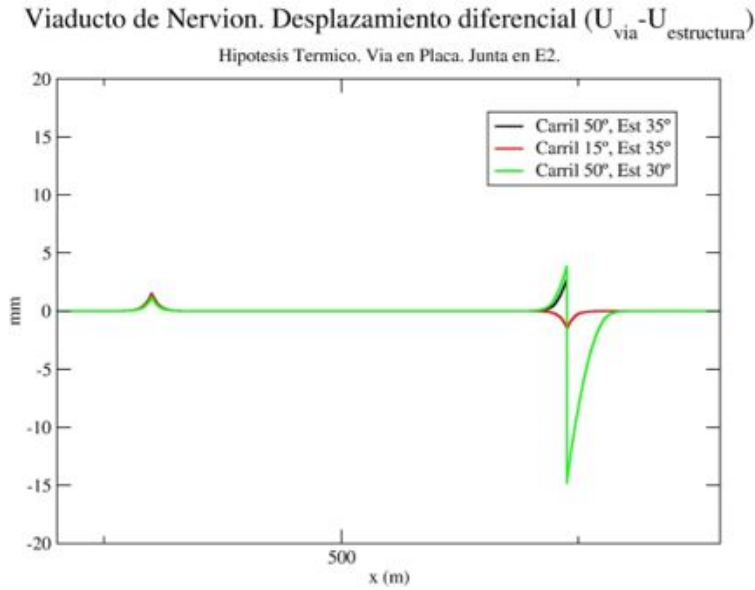


Figure 3.61: Viaducto de Nervión. Con junta. Acciones térmicas. Desplazamiento diferencial

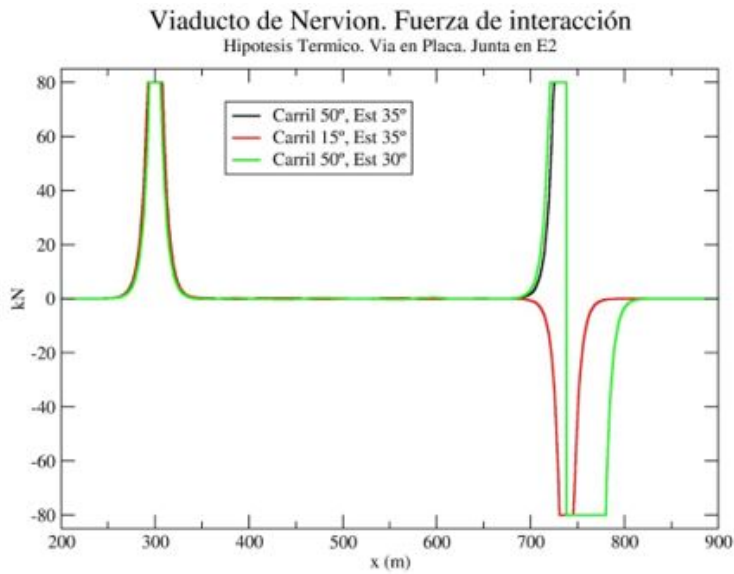


Figure 3.62: Viaducto de Nervión. Sin junta. Acciones térmicas. Fuerza de interacción

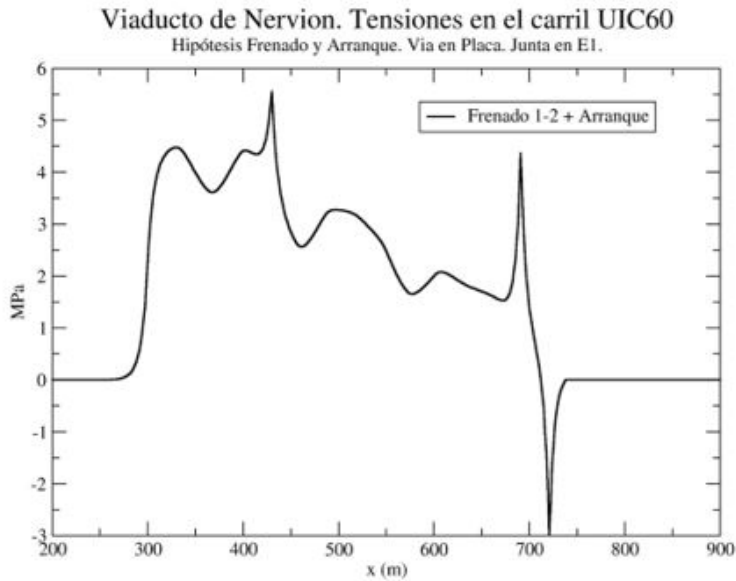


Figure 3.63: Viaducto de Nervión. Con junta. Acciones de frenado y arranque. Tensión en el carril

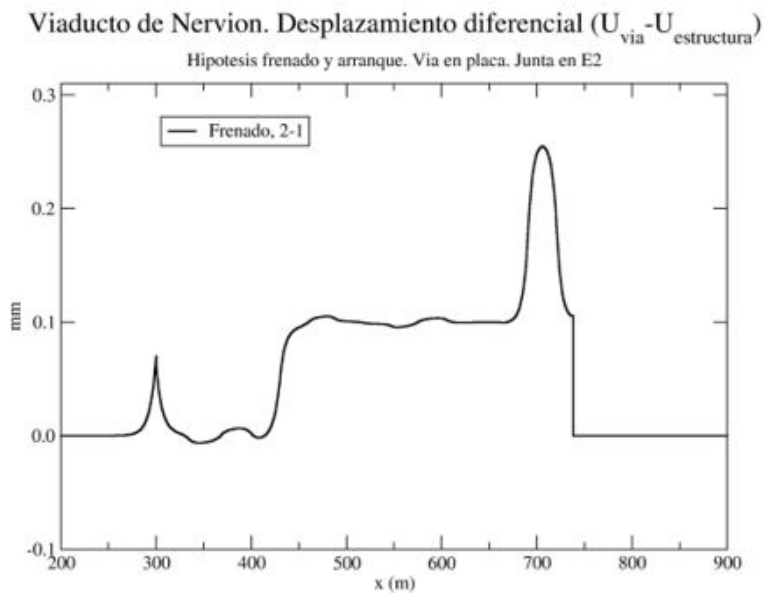


Figure 3.64: Viaducto de Nervión. Con junta. Acciones de frenado y arranque. Desplazamiento diferencial



Figure 3.65: Viaducto de Nervión. Sin junta. Acciones de frenado y arranque. Fuerza de interacción

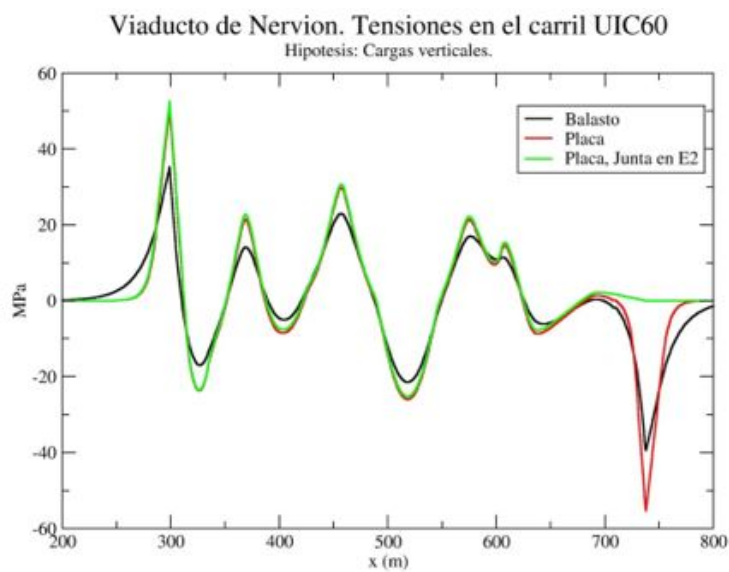


Figure 3.66: Viaducto de Nervión. Con junta. Acciones verticales. Tensión en el carril

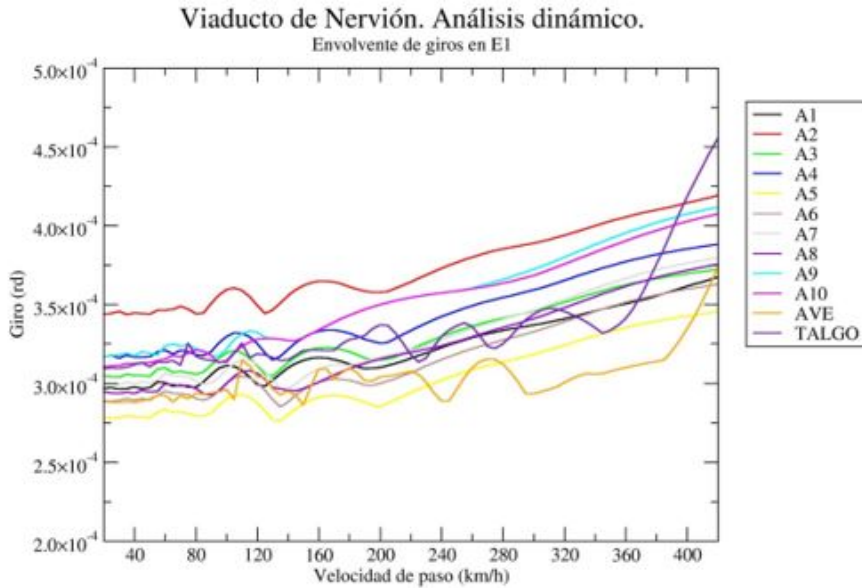


Figure 3.67: Viaducto de Nervión. Envoltentes de giros dinámicos en estribo E1

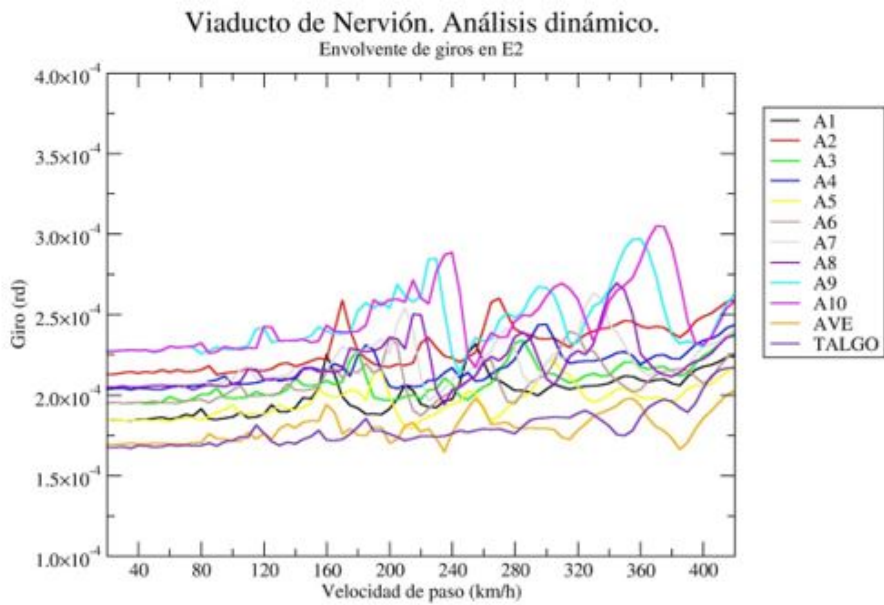


Figure 3.68: Viaducto de Nervión. Envoltentes de giros dinámicos en estribo E2

3.1.5 Análisis de los resultados obtenidos

A partir de los resultados obtenidos para cada efecto (tensiones, desplazamientos) en cada estructura, se han evaluado los valores máximos. Esto permite la comparación directa dentro de cada viaducto, entre los resultados que se obtienen para vía en balasto y para vía en placa. Posteriormente se plantearán conclusiones que afectan fuertemente al diseño de transiciones para el nuevo sistema de vía en placa.

Análisis de los resultados para el viaducto de Porto

Tensiones en el carril

La Tabla 3.4 muestra los resultados de cada hipótesis individual para la tensión obtenida en el carril, para las soluciones sin junta de dilatación, tanto en balasto como en placa. Nótese que los resultados mostrados, correspondientes con las gráficas y listados, representan una sobretensión, respecto al nivel base de 126 MPa que tendría la vía en zona alejada de la estructura por efecto térmico. Asimismo, se muestran los resultados tensionales para vía en placa con junta de dilatación en el estribo móvil E1. Los valores mostrados para la solución en placa son valores totales.

Hipótesis	Tensiones en el carril [MPa]			
	Estribo 1		Estribo 2	
	$\sigma_{m\acute{a}x}$	$\sigma_{m\acute{i}n}$	$\sigma_{m\acute{a}x}$	$\sigma_{m\acute{i}n}$
Térmico $\pm 35^{\circ}$ C. Balasto	83,0	-83,0	62,0	-62,0
Térmico $\pm 35^{\circ}$ C. Placa	137,0	-137,0	68,0	-68,0
Térmico. Placa y junta	126,0	-126,0	126,0	-126,0
Frenado. Balasto	22,0	-22,0	7,6	-7,6
Frenado. Placa	31,0	-33,0	4,8	-6,0
Frenado. Placa y junta	7,6	0,0	6,5	-5,8
Verticales. Balasto	0,0	-1,0	2,0	0,0
Verticales. Placa	0,6	0,0	3,5	0,0
Verticales. Junta	0,0	0,0	3,5	0,0

Tabla 3.4: Viaducto de Porto. Tensiones en el carril

Hipótesis	Combinación de tensiones [MPa]	
	Relativas	Totales
Máxima tracción. Balasto	105,0	231,0
Máxima compresión. Balasto	-106,0	-232,0
Máxima tracción. Placa	168,0	294,0
Máxima compresión. Placa	-170,0	-296,0
Máxima tracción. Junta	7,6	133,6
Máxima compresión. Junta	-5,8	-131,8

Tabla 3.5: Viaducto de Porto. Combinación de tensiones

La Tabla 3.5 muestra los valores máximos obtenidos aplicando el criterio de combinación del

Eurocódigo (combinación lineal). Se muestran tanto los valores relativos (sobretensiones respecto al nivel máximo en hipótesis térmica) como los totales (obtenidos sumando los 126 MPa que se obtienen para la tensión máxima en la barra larga soldada cuando ésta no está localizada en la estructura). La tabla muestra el cambio que se produce en la máxima tensión en el carril al pasar de vía en balasto a vía en placa:

- Para la máxima **tracción**, se pasa de una tensión relativa de 105 MPa a 168 MPa. En tensiones totales (sumando las tensiones en el carril de 126 MPa) corresponde con 231 MPa y 294 MPa. Este cambio representa un **27,3% de incremento**.
- Para la máxima **compresión**, se pasa de una compresión relativa de 106 MPa a 170 MPa. En tensiones totales (sumando las tensiones en el carril de 126 MPa) corresponde con 232 MPa y 296 MPa. Este cambio representa un **21,26% de incremento**.

Tanto la solución en balasto como en placa no son posibles sin junta de dilatación, puesto que se superan ampliamente los límites tensionales; para vía en balasto, se superan 92 MPa a tracción y 72 MPa a compresión; para vía en placa, se supera tanto en tracción como en compresión los 92 MPa. Al plantear la junta de dilatación (únicamente para vía en placa), se obtienen tensiones en el carril muy bajas, cumpliéndose los requisitos normativos.

Desplazamiento diferencial entre la vía y la estructura

El desplazamiento diferencial entre la vía y la estructura se debe verificar bajo la acción de frenado y arranque. El límite máximo es de 4 mm. La Tabla 7 muestra que los resultados obtenidos son inferiores a los límites máximos. La comparación entre los resultados muestra que al pasar de vía en balasto a vía en placa sin junta de dilatación, se produce una **disminución del 11% en hipótesis de carga térmica y una disminución de un 26,7% en hipótesis de frenado y arranque**. El valor obtenido para vía en placa con junta de dilatación es muy pequeño (0,3 mm)

Hipótesis	Desplazamiento diferencial máximo [mm]
Térmico ± 35 C. Balasto	45,0
Térmico ± 35 C. Placa	40,0
Térmico. Placa y junta	14,7
Frenado. Balasto	1,9
Frenado. Placa	1,4
Frenado. Placa y junta	0,3

Tabla 3.6: Viaducto de Porto. Desplazamiento diferencial máximo vía-estructura

Desplazamiento en el estribo móvil

El desplazamiento relativo entre el tablero y el estribo móvil queda limitado en la normativa a 5 mm si el carril es continuo, y a 30 mm si existe junta de dilatación. Para esta verificación ha de considerarse únicamente la hipótesis de frenado y arranque.

Hipótesis	Desplazamiento horizontal máximo en el estribo[mm]
Térmico ± 35 C. Balasto	58,80
Térmico ± 35 C. Placa	57,60
Térmico. Placa y junta	61,00
Frenado. Balasto	2,21
Frenado. Placa	1,98
Frenado. Placa y junta	2,61
Verticales. Balasto	0,30
Verticales. Placa	0,20
Verticales. Junta	0,30

Tabla 3.7: Viaducto de Porto. Desplazamiento horizontal del tablero en estribo

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla anterior. Se observa que, bajo las acciones de frenado y arranque, no se superan los límites marcados en la normativa. Cuando se considera junta de dilatación se produce un ligero aumento en los desplazamientos, sin superarse tampoco el límite normativo. Los cambios relativos entre vía en balasto y vía en placa son muy bajos, de un 2%.

Reacciones en estribo fijo

Uno de los cambios más importantes que se producen al pasar de vía en balasto a vía en placa se da en las reacciones en estribos fijos. La Tabla 3.8 muestra la reacción obtenida en el estribo fijo.

Hipótesis	Reacción en el estribo fijo [kN]
Térmico ± 35 C. Balasto	1.819
Térmico ± 35 C. Placa	2.644
Térmico. Placa y junta	1.359
Frenado. Balasto	3.812
Frenado. Placa	3.629
Frenado. Placa y junta	4.150
Verticales. Balasto	920
Verticales. Placa	910
Verticales. Junta	925

Tabla 3.8: Viaducto de Porto. Reacciones en el estribo fijo

Puede verse que dicha reacción:

- Debido a acciones térmicas, se produce un aumento del 45% al pasar de vía en balasto a vía en placa si no se consideran juntas de dilatación
- Debido a acciones de frenado y arranque, se produce una disminución del 4,8% en la reacción, al pasar de vía en balasto a vía en placa sin considerar juntas de dilatación.
- Para vía en placa, al introducir una junta de dilatación se produce una caída del 48% en la

reacción debida a acciones térmicas, y un incremento de un 14% en la reacción debida a la acción de frenado y arranque.

Giro máximo

Para obtener los valores de comparación para los giros máximos, se han considerado las hipótesis de carga vertical debida al tren UIC, así como los máximos giros producidos en hipótesis dinámica.

Hipótesis	Giro máximo en estribo [rad]
Balasto (sin juntas)	4,60E-04
Placa (sin juntas)	4,57E-04
Placa (con junta)	4,57E-04
Dinámico	4,46E-04

Tabla 3.9: Viaducto de Porto. Máximo giro en estribos

Los valores obtenidos tanto en estática con el tren UIC71 como en dinámica son similares, si bien cabe destacar que el peso de los trenes de alta velocidad es muy inferior al del tren UIC. El valor máximo en dinámica se ha obtenido para el tren A10 de la composición HSML viajando a 405 km/h. Los resultados máximos son muy inferiores a los límites máximos establecidos (el más restrictivo es de 2E-3 rad para vía en placa).

Desplazamiento relativo en la junta de dilatación

El valor del desplazamiento relativo máximo se muestra para cada hipótesis de vía en placa con junta en la siguiente tabla:

Hipótesis	Desplazamiento relativo en junta de dilatación [mm]
Térmico	79,00
Frenado y arranque	2,81
Verticales	0,02

Tabla 3.10: Viaducto de Porto. Desplazamiento relativo en junta de dilatación

El máximo valor esperado para el recorrido de la junta puede obtenerse sumando los tres valores. Esto produce un desplazamiento máximo de 81,83 mm. Este parámetro ha de considerarse una condición de diseño para la transición que se realice hacia el nuevo sistema de vía en placa.

Reacción vertical en el estribo

Se han obtenido unas fuerzas de levantamiento en la zona del estribo de 0,03 kN/m. Este valor ha de servir como orientación para el dimensionamiento a fatiga de la conexión del carril.

Análisis de los resultados para el viaducto de Tuela

La Tabla 3.11 muestra los resultados de cada hipótesis individual para la tensión obtenida en el carril, para las soluciones sin junta de dilatación, tanto en balasto como en placa. Los resultados mostrados, correspondientes con las gráficas y listados, representan una sobretensión, respecto al nivel base de 126 MPa que tendría la vía en zona alejada de la estructura por efecto térmico. Asimismo, se muestran los resultados tensionales para vía en placa con junta de dilatación en el estribo móvil E1. Los valores mostrados para la solución en placa son valores totales.

Hipótesis	Tensiones en el carril [MPa]			
	Estribo 1		Estribo 2	
	$\sigma_{m\acute{a}x}$	$\sigma_{m\acute{i}n}$	$\sigma_{m\acute{a}x}$	$\sigma_{m\acute{i}n}$
Térmico ± 35 C. Balasto	122,0	-122,0	69,0	-69,0
Térmico ± 35 C. Placa	190,0	-190,0	70,0	-70,0
Térmico. Placa y junta	126,0	-126,0	126,0	-126,0
Frenado. Balasto	37,0	-33,0	6,0	-8,0
Frenado. Placa	47,0	-48,0	5,6	-6,4
Frenado. Placa y junta	3,0	-6,0	4,0	-4,0
Verticales. Balasto	2,0	0,0	2,0	0,0
Verticales. Placa	5,0	0,0	5,0	0,0
Verticales. Junta	0,0	0,0	2,0	0,0

Tabla 3.11: Viaducto de Tuela. Tensiones en el carril

Hipótesis	Combinación de tensiones [MPa]	
	Relativas	Totales
Máxima tracción. Balasto	159	285
Máxima compresión. Balasto	-155	-281
Máxima tracción. Placa	237	363
Máxima compresión. Placa	-238	-364
Máxima tracción. Junta	3	129
Máxima compresión. Junta	-4	-130

Tabla 3.12: Viaducto de Tuela. Combinación de tensiones

La Tabla 3.12 muestra los valores máximos obtenidos aplicando el criterio de combinación del Eurocódigo (combinación lineal). Se muestran tanto los valores relativos (sobretensiones respecto al nivel máximo en hipótesis térmica) como los totales (obtenidos sumando los 126 MPa que se obtienen para la tensión máxima en la barra larga soldada cuando ésta no está localizada en la estructura). La tabla muestra el cambio que se produce en la máxima tensión en el carril al pasar de vía en balasto a vía en placa.

- Para la máxima **tracción**, se pasa de una tensión relativa de 159 MPa a 237 MPa. En tensiones totales (sumando las tensiones en el carril de 126 MPa) corresponde con 285 MPa y 363 MPa. Este cambio representa un **27,3% de incremento**.
- Para la máxima **compresión**, se pasa de una compresión relativa de 155 MPa a 238 MPa. En tensiones totales (sumando las tensiones en el carril de 126 MPa) corresponde con 281 MPa y 364 MPa. Este cambio representa un **22,8%**.

Tanto la solución en balasto como en placa no son posibles sin junta de dilatación, puesto que se superan ampliamente los límites tensionales; para vía en balasto, se superan 92 MPa a tracción y 72 MPa a compresión; para vía en placa, se supera tanto en tracción como en compresión los 92 MPa. Al plantear la junta de dilatación (únicamente para vía en placa), se obtienen tensiones diferenciales en el carril muy bajas, cumpliéndose los requisitos normativos.

Desplazamiento diferencial entre la vía y la estructura

El desplazamiento diferencial entre la vía y la estructura se debe verificar bajo la acción de frenado y arranque. El límite máximo es de 4 mm. La Tabla 3.14 muestra que los resultados obtenidos son inferiores a los límites máximos.

La comparación entre los resultados muestra que al pasar de vía en balasto a vía en placa sin junta de dilatación, se produce una **disminución del 11% en hipótesis de carga térmica** y una **disminución de un 26,7% en hipótesis de frenado y arranque**. El valor obtenido para vía en placa con junta de dilatación es muy pequeño (0,3 mm)

Hipótesis	Desplazamiento diferencial máximo [mm]
Térmico ± 35 C. Balasto	70,0
Térmico ± 35 C. Placa	63,0
Térmico. Placa y junta	14,7
Frenado. Balasto	3,05
Frenado. Placa	2,5
Frenado. Placa y junta	0,3

Tabla 3.13: Viaducto de Tuela. Desplazamiento diferencial máximo vía-estructura

Desplazamiento en el estribo móvil

El desplazamiento relativo entre el tablero y el estribo móvil queda limitado en la normativa a 5 mm si el carril es continuo, y a 30 mm si existe junta de dilatación. Para esta verificación ha de considerarse únicamente la hipótesis de frenado y arranque.

Hipótesis	Desplazamiento horizontal máximo [mm]
Térmico ± 35 C. Balasto	98
Térmico ± 35 C. Placa	96,7
Térmico. Placa y junta	102
Frenado. Balasto	4,06
Frenado. Placa	3,59
Frenado. Placa y junta	4,54
Verticales. Balasto	2,60E-05
Verticales. Placa	0,1
Verticales. Junta	0,4

Tabla 3.14: Viaducto de Tuela. Desplazamiento horizontal del tablero en estribo

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla anterior. Se observa que, bajo las acciones de frenado y arranque, no se superan los límites marcados en la normativa. Cuando se considera junta de dilatación se produce un ligero aumento en los desplazamientos, sin superarse tampoco el límite normativo. Los cambios relativos entre vía en balasto y vía en placa son muy bajos, de un 2%.

Reacciones en estribo fijo

Uno de los cambios más importantes que se producen al pasar de vía en balasto a vía en placa se da en las reacciones en estribos fijos. La Tabla 3.15 muestra la reacción obtenida en el estribo fijo.

Hipótesis	Reacción en el estribo fijo [kN]
Térmico ± 35 C. Balasto	2.617
Térmico ± 35 C. Placa	3.660
Térmico. Placa y junta	1.156
Frenado. Balasto	6.371
Frenado. Placa	6.176
Frenado. Placa y junta	6.918
Verticales. Balasto	2.192
Verticales. Placa	2.176
Verticales. Junta	2.197

Tabla 3.15: Viaducto de Tuela. Reacciones en el estribo fijo

Puede verse que dicha reacción:

- Debido a acciones térmicas, se produce un aumento del 39,6% al pasar de vía en balasto a vía en placa si no se consideran juntas de dilatación
- Debido a acciones de frenado y arranque, se produce una disminución del 3% en la reacción, al pasar de vía en balasto a vía en placa sin considerar juntas de dilatación.
- Para vía en placa, al introducir una junta de dilatación se produce una caída muy elevada, del 216% en la reacción debida a acciones térmicas, y un incremento de un 12% en la reacción debida a la acción de frenado y arranque.

Máximas reacciones y desplazamientos en pilas

Las pilas 3 y 4 experimentan cambios en reacciones y desplazamientos, al pasar de vía en balasto a vía en placa. Los cambios porcentuales son muy bajos, tanto para todos los casos. Así, en acciones térmicas se produce un cambio máximo de 4 kN en la pila 3 y de 2 kN en la pila 4; para acciones de frenado y arranque, el cambio es menor en valores, aunque mayor en términos porcentuales (se pasa de 3,04 kN a 3,56 kN en la pila 3 y de 2,26 kN a 2,59 kN en la pila 4). Estos valores bajos indican que el sistema pila-zapata-suelo es muy flexible. En el caso del viaducto de Tuela el cambio o la incorporación a vía en placa apenas supone cambios apreciables para estas pilas. Esta conclusión no es extrapolable a otros casos, y en general, para cada viaducto objeto de estudio es necesario valorar los cambios en estos parámetros.

CAPÍTULO 3. APARATOS DE DILATACIÓN

Hipótesis	Fuerza en cabeza [kN]	Desplazamiento [mm]
Térmico ± 35 C. Balasto	121,00	51,17
Térmico ± 35 C. Placa	119,00	50,00
Térmico. Placa y junta	127,00	54,30
Frenado. Balasto	7,81	3,34
Frenado. Placa	7,12	3,04
Frenado. Placa y junta	8,34	3,56
Verticales. Balasto	0,20	0,10
Verticales. Placa	0,14	0,06
Verticales. Junta	0,27	0,10

Tabla 3.16: Viaducto de Tuela. Reacciones y desplazamientos en pila 3

Hipótesis	Fuerza en cabeza [kN]	Desplazamiento [mm]
Térmico ± 35 C. Balasto	77,8	33,2
Térmico ± 35 C. Placa	76,6	32
Térmico. Placa y junta	81,7	34,9
Frenado. Balasto	5,75	2,46
Frenado. Placa	5,29	2,26
Frenado. Placa y junta	6,08	2,59
Verticales. Balasto	0,2	0,1
Verticales. Placa	0,3	0,1
Verticales. Junta	0,27	0,1

Tabla 3.17: Viaducto de Tuela. Reacciones y desplazamientos en pila 4

Giro máximo

Para obtener los valores de comparación para los giros máximos, se han considerado las hipótesis de carga vertical debida al tren UIC, así como los máximos giros producidos en hipótesis dinámica.

Hipótesis	Máximo giro en estribos [rad]
Balasto (sin juntas)	2,80E-04
Placa (sin juntas)	2,74E-04
Placa (con junta)	2,80E-04
Dinámico	3,60E-04

Tabla 3.18: Viaducto de Porto. Máximo giro en estribos

Los valores obtenidos tanto en estática con el tren UIC71 como en dinámica son similares, si bien cabe destacar que el peso de los trenes de alta velocidad es muy inferior al del tren UIC. Cabe destacar que el valor máximo se produce en situación dinámica. Se ha obtenido para el tren A10 de la composición HSML viajando a 425 km/h. Los resultados máximos son muy inferiores a los límites máximos establecidos (el más restrictivo es de 2E-3 rad para vía en placa).

Desplazamiento relativo en la junta de dilatación

El valor del desplazamiento relativo máximo se muestra para cada hipótesis de vía en placa con junta en la siguiente tabla:

Hipótesis	Desplazamiento relativo en junta de dilatación [mm]
Térmico	119,5
Frenado y arranque	4,74
Verticales	0,36

Tabla 3.19: Viaducto de Tuela. Desplazamiento relativo en junta de dilatación

El máximo valor esperado para el recorrido de la junta puede obtenerse sumando los tres valores. Esto produce un desplazamiento máximo de 124,6 mm. Este parámetro ha de considerarse una condición de diseño para la transición que se realice hacia el nuevo sistema de vía en placa. Nótese que este desplazamiento está en el rango de las carreras de dilatación de juntas habituales para vía en placa.

Reacción vertical en el estribo

Se han obtenido unas fuerzas de levantamiento en la zona del estribo de 0,015 kN/m. Este valor ha de servir como orientación para el dimensionamiento a fatiga de la conexión del carril.

Análisis de los resultados para el viaducto de Nervión

Tensiones en el carril

La Tabla 3.20 muestra los resultados de cada hipótesis individual para la tensión obtenida en el carril, para las soluciones sin junta de dilatación, tanto en balasto como en placa. Nótese que los resultados mostrados, correspondientes con las gráficas y listados, representan una sobretensión, respecto al nivel base de 126 MPa que tendría la vía en zona alejada de la estructura por efecto térmico.

Asimismo, se muestran los resultados tensionales para vía en placa con junta de dilatación en el estribo móvil E2. Los valores mostrados para la solución en placa son valores totales.

Hipótesis	Tensiones en el carril [MPa]			
	Estribo 1		Estribo 2	
	$\sigma_{m\acute{a}x}$	$\sigma_{m\acute{i}n}$	$\sigma_{m\acute{a}x}$	$\sigma_{m\acute{i}n}$
Térmico ± 35 C. Balasto	3	-3	155	-155
Térmico ± 35 C. Placa	3	-3	250	-250
Térmico. Placa y junta	126,0	-126,0	126,0	-126,0
Frenado. Balasto	6	-6	35	-35
Frenado. Placa	4,8	-4,8	51	-51
Frenado. Placa y junta	5	-5	4,0	-4,0
Verticales. Balasto	35	0,0	0,0	-39
Verticales. Placa	50	0,0	0,0	-55
Verticales. Junta	52	0,0	0,0	0,0

Tabla 3.20: Viaducto de Nervión. Tensiones en el carril

Hipótesis	Combinación de tensiones [MPa]	
	Relativas	Totales
Máxima tracción. Balasto	190	318
Máxima compresión. Balasto	-229	-355
Máxima tracción. Placa	301	427
Máxima compresión. Placa	-356	-482
Máxima tracción. Junta	57	183
Máxima compresión. Junta	-4	-130

Tabla 3.21: Viaducto de Nervión. Combinación de tensiones

La Tabla 3.21 muestra los valores máximos obtenidos aplicando el criterio de combinación del Eurocódigo (combinación lineal). Se muestran tanto los valores relativos (sobretensiones respecto al nivel máximo en hipótesis térmica) como los totales (obtenidos sumando los 126 MPa que se obtienen para la tensión máxima en la barra larga soldada cuando ésta no está localizada en la estructura). La tabla muestra el cambio que se produce en la máxima tensión en el carril al pasar de vía en balasto a vía en placa:

- Para la máxima tracción, se pasa de una tensión relativa de 190 MPa a 301 MPa. En tensiones totales (sumando las tensiones en el carril de 126 MPa) corresponde con 316 MPa y 427 MPa. Este cambio representa un 35% de incremento.
- Para la máxima compresión, se pasa de una compresión relativa de 229 MPa a 356 MPa. En tensiones totales (sumando las tensiones en el carril de 126 MPa) corresponde con 355 MPa y 482 MPa. Este cambio representa un 26,3% de incremento.

Tanto la solución en balasto como en placa no son posibles sin junta de dilatación, puesto que se superan ampliamente los límites tensionales; para vía en balasto, se superan 92 MPa a tracción y 72 MPa a compresión; para vía en placa, se supera tanto en tracción como en compresión los 92 MPa. Al plantear la junta de dilatación (únicamente para vía en placa), se obtienen tensiones en el carril muy bajas, cumpliéndose los requisitos normativos.

Desplazamiento diferencial entre la vía y la estructura

El desplazamiento diferencial entre la vía y la estructura se debe verificar bajo la acción de frenado y arranque. El límite máximo es de 4 mm. La Tabla 3.22 muestra que los resultados obtenidos son inferiores a los límites máximos.

La comparación entre los resultados muestra que al pasar de vía en balasto a vía en placa sin junta de dilatación, se produce una **disminución del 9% en hipótesis de carga térmica** y una **disminución de un 21% en hipótesis de frenado y arranque**. El valor obtenido para vía en placa con junta de dilatación es muy pequeño (0,25 mm)

Hipótesis	Desplazamiento diferencial máximo vía-estructura [mm]
Térmico ± 35 C. Balasto	99,80
Térmico ± 35 C. Placa	90,80
Térmico. Placa y junta	14,70
Frenado. Balasto	3,32
Frenado. Placa	2,62
Frenado. Placa y junta	0,25

Tabla 3.22: Viaducto de Nervión. Desplazamiento diferencial máximo vía-estructura

Desplazamiento en el estribo móvil

El desplazamiento relativo entre el tablero y el estribo móvil queda limitado en la normativa a 5 mm si el carril es continuo, y a 30 mm si existe junta de dilatación. Para esta verificación ha de considerarse únicamente la hipótesis de frenado y arranque.

Desplazamiento estribo móvil	Desplazamiento horizontal máximo [mm]
Térmico ± 35 C. Balasto	147,00
Térmico ± 35 C. Placa	145,00
Térmico. Placa y junta	133,00
Frenado. Balasto	4,55
Frenado. Placa	4,10
Frenado. Placa y junta	5,69
Verticales. Balasto	5,90
Verticales. Placa	5,20
Verticales. Junta	7,00

Tabla 3.23: Viaducto de Nervión. Desplazamiento horizontal del tablero en estribo

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla anterior. Se observa que, bajo las acciones de frenado y arranque, **se superan el límite de 4 mm marcado en la normativa**. Cuando se introduce junta de dilatación se produce un aumento, y tampoco se cumplen los límites de la normativa. A este respecto cabe destacar que el límite de 4 mm está planteado fundamentalmente para vía en balasto. Conviene por tanto verificar si el valor máximo obtenido, de casi 6mm en vía en placa, es compatible. Normalmente sí lo es, ya que el deslizamiento relativo en las fijaciones no supone problemas de desconsolidación. Pero este aspecto debe verificarse con cada sistema.

Reacciones en estribo fijo

Uno de los cambios más importantes que se producen al pasar de vía en balasto a vía en placa se da en las reacciones en estribos fijos. La Tabla 25 muestra la reacción obtenida en el estribo fijo.

Reacciones en estribo fijo	Reacción en el estribo fijo [kN]
Térmico ± 35 C. Balasto	6.012
Térmico ± 35 C. Placa	8.547
Térmico. Placa y junta	2.885
Frenado. Balasto	7.494
Frenado. Placa	7.026
Frenado. Placa y junta	8.580
Verticales. Balasto	2.301
Verticales. Placa	3.275
Verticales. Junta	1.622

Tabla 3.24: Viaducto de Nervi3n. Reacciones en el estribo fijo

Puede verse que dicha reacci3n:

- Debido a acciones térmicas, se produce un aumento del 42% al pasar de vía en balasto a vía en placa si no se consideran juntas de dilataci3n
- Debido a acciones de frenado y arranque, se produce una disminuci3n del 6,2% en la reacci3n, al pasar de vía en balasto a vía en placa sin considerar juntas de dilataci3n.
- Para vía en placa, al introducir una junta de dilataci3n se produce una disminuci3n del 196% en la reacci3n debida a acciones térmicas, y un incremento de un 22,1% en la reacci3n debida a la acci3n de frenado y arranque.

Giro máximo

Para obtener los valores de comparaci3n para los giros máximos, se han considerado las hipótesis de carga vertical debida al tren UIC, así como los máximos giros producidos en hipótesis dinámica.

Hipótesis	Máximo giro en estribos [rad]
Balasto (sin juntas)	1,40E-03
Placa (sin juntas)	1,34E-03
Placa (con junta)	1,43E-03
Dinámico	4,60E-04

Tabla 3.25: Viaducto de Nervi3n. Máximo giro en estribos

Los valores obtenidos con 2 trenes UIC71 (por ser de vía doble) presentan valores más elevados que los observados con los casos anteriores (Tuela o Porto). Los valores están por debajo del límite de 2×10^{-3} rad, si bien en vía doble se elevan los límites recomendables para tener en cuenta la baja probabilidad de producirse en situaci3n de servicio la situaci3n de encontrarse 2 trenes a la vez sobre el puente. La flecha dinámica es en este caso inferior, ya que se ha analizado el paso de trenes individuales sobre una de las dos vías. Este valor se incrementa al considerar los modos torsionales. La experiencia demuestra que en puentes de hormig3n el incremento debido a torsiones es más apreciable en aceleraciones (extremos de la cama de balasto) que en giros.

Desplazamiento relativo en la junta de dilatación

El valor del desplazamiento relativo máximo se muestra para cada hipótesis de vía en placa con junta en la siguiente tabla:

Hipótesis	Desplazamiento relativo en junta de dilatación [mm]
Térmico	172,00
Frenado y arranque	5,69
Verticales	7,10

Tabla 3.26: Viaducto de Nervi3n. Desplazamiento relativo en junta de dilataci3n

El máximo valor esperado para el recorrido de la junta puede obtenerse sumando los tres valores. Esto produce un desplazamiento máximo de 185 mm. Este parámetro ha de considerarse una condici3n de diseo para la transici3n que se realice hacia el nuevo sistema de vía en placa. Su valor está en el rango habitual de las carreras de dilataci3n.

Reacci3n vertical en el estribo

Se han obtenido unas fuerzas de levantamiento en la zona del estribo de 0,02 kN/m. Este valor ha de servir como orientaci3n para el dimensionamiento a fatiga de la conexi3n del carril. En este documento se han analizado tres viaductos de ferrocarril para alta velocidad (dos con vía simple y uno con vía doble), obteniéndose resultados sobre parámetros que afectan fuertemente al diseo de las transiciones para el nuevo sistema de vía en placa. El estudio proporciona además condiciones de contorno a tener en cuenta en el desarrollo de modelos específicos para estudiar los detalles particulares de las transiciones en el nuevo sistema de vía en placa.

Los análisis generales pueden resumirse en los siguientes puntos.

- Aunque ninguno de los viaductos planteados es viable con soluciones sin juntas, debido fundamentalmente al incumplimiento de los límites tensionales en el carril, resulta interesante conocer el efecto que sobre un viaducto existente, resuelto con vía en balasto, puede tener la instalaci3n del nuevo sistema de vía en placa. Si se comparan los porcentajes de aumento o disminuci3n de **tensiones en el carril** (Tabla 3.27) se observa que **al pasar de vía en balasto a vía en placa se producen siempre aumentos en las tensiones máximas**. Estos cambios tienen que ver con las longitudes, mayor rigidez de la interacci3n vía-carril proporcionada por el sistema de vía en placa, porcentaje de áreas plastificadas en la interfase, y configuraci3n de los viaductos. En general, de forma aproximada, puede estimarse que tanto a tracci3n como a compresi3n, se producen **aumentos de un 30%**. Este valor puede servir como número orientativo para saber qué cambio tensional se espera al pasar una soluci3n en balasto que no requiera junta de dilataci3n, a una eventual soluci3n en placa sin junta. Puede servir, por tanto, para estimar las necesidades de junta de dilataci3n en el nuevo sistema de vía en placa.

Viaducto	Longitud [m]	Tracción [%]	Compresión [%]
Viaducto de Porto	173,5	27,27	21,62
Viaducto del Tuela	289,0	27,37	22,80
Viaducto del Nervión	438,0	35,13	26,35

Tabla 3.27: Cambios tensionales. Comparativa entre los tres viaductos

- El **desplazamiento relativo entre vía y estructura** muestra también ciertas similitudes en los cambios porcentuales, mostrados en la Tabla 3.28. Se observa en el caso del viaducto de Tuela, para la acción de frenado, una disminución del porcentaje de cambio. Esto se debe fundamentalmente a que este viaducto presenta como peculiaridad la colaboración de dos de las pilas en la resistencia a la fuerza horizontal de frenado o arranque. Los valores máximos se presentan siempre en la zona de las transiciones. Por lo tanto, el nuevo sistema de vía en placa y su zona de transición ha de verificar si los desplazamientos relativos son admisibles, según la solución adoptada. Para el caso del viaducto del Nervión se observa que el límite de 4 mm bajo acciones de frenado o arranque planteado se supera. Es necesario por tanto **revisar para cada sistema concreto el valor máximo de los desplazamientos relativos**, ya que el límite adoptado corresponde realmente a vía en balasto, y es un criterio demasiado conservador al aplicarlo a vía en placa.

Viaducto	Longitud [m]	Tracción [%]	Compresión [%]
Viaducto de Porto	173,5	-11,11	-26,70
Viaducto del Tuela	289,0	-10,00	-18,03
Viaducto del Nervión	438,0	-9,02	-21,08

Tabla 3.28: Cambios en desplazamientos diferenciales totales

- Uno de los cambios más apreciables al pasar de sistemas de vía en balasto a vía en placa se da en **las reacciones horizontales en los puntos fijos**. Así, puede observarse en general que al cambiar un sistema de vía en balasto por uno de vía en placa, sin juntas de dilatación, se producen aumentos en la reacción en estribo de un 40% para las acciones térmicas, y una disminución de un 3% en las acciones de frenado y arranque. Si se considera como punto de partida la solución de vía en placa sin juntas, se observa que al introducir una junta de dilatación se produce un aumento en las reacciones en el estribo fijo de un 14% en las acciones de frenado, pero una disminución muy apreciable (más de un 45%) en las reacciones debidas a dilatación térmica del tablero. Globalmente, las acciones de frenado pueden llegar a ser más importantes que las de dilatación térmica, especialmente en longitudes superiores a 300 m (en los casos analizados con vía simple, la reacción por efectos térmicos es un 50% inferior a su valor producido por frenado y arranque; se mantienen muy parecidos en caso de vía doble). La implantación del nuevo sistema en placa requiere, por tanto, una **revisión sistemática de los aparatos de apoyo fijos y los sistemas de anclaje**, verificando dichos elementos frente a Estado Límite Último como a Estado Límite de Servicio. Asimismo, en

sistemas de anclajes por barras se requiere verificación de fatiga, tanto de bajo ciclo como de alto.

- Relacionado directamente con el punto anterior, la instalación de vía en placa y aparatos de dilatación ha de atender a **los cambios en las reacciones que van a aparecer sobre pilas y cimentaciones**. En los casos analizados el cambio no ha sido apreciable, pues el sistema pila-zapata-suelo ha resultado ser flexible. Pero esto no siempre es así: en viaductos largos, con puntos fijos intermedios en pilas ancladas al tablero, **es necesario comprobar el nuevo reparto de reacciones** cuando se instala el sistema de vía en placa, o si sobre él se instalan juntas. Pueden fallar tanto ELU como ELS en pilas, zapatas, así como fallo geotécnico en cimentaciones.
- Los **máximos giros** en estribos para las tres estructuras analizadas quedan por debajo de los límites máximos. No obstante, se observa el papel que juegan los **efectos dinámicos**. El nuevo sistema de vía en placa ha de considerar las **velocidades de circulación en las verificaciones en estribos**. Cualquier incremento en la velocidad máxima puede invalidar las condiciones de giros máximos admisibles en estribos. Por tanto, el condicionante dinámico aparece también para el nuevo sistema de vía en placa y sus transiciones. De hecho, los propios límites marcados son una simplificación para evitar tener que realizar estas comprobaciones en dinámica. Se recomienda por lo tanto la verificación directa en dinámica de las condiciones de giros en estribos.
- Uno de los principales datos que un análisis de este tipo aporta para el diseño de transiciones hacia el nuevo sistema de vía en placa es el dato concreto de las **longitudes de dilatación** que han de resolver los aparatos de dilatación de vía. En los tres casos se obtienen longitudes de dilatación inferiores a 200 mm, lo cual es compatible con los sistemas actuales.
- Es necesario atender a las **reacciones verticales y fatiga en las fijaciones y uniones con el carril**. El presente estudio no puede proporcionar el detalle requerido para la verificación de estas fuerzas de levantamiento, ya que depende fuertemente del sistema de fijación empleado, y de las rigideces verticales. Se requiere para cada caso particular la obtención de los efectos a considerar tanto en Estado Límite Último como en fatiga. Respecto a fatiga, se sugiere el planteamiento de un análisis basado en el criterio de daño acumulado (conteo Rainflow e índice de daño de Palmgren-Miner), aplicando curvas SN o simulando el crecimiento de grietas mediante la Ley de Paris (criterio de mecánica de la fractura).
- Las conclusiones obtenidas en este estudio necesariamente están limitadas a los casos que se han analizado. Conviene **completar el estudio** con una base más amplia. Asimismo, es necesario incorporar **modelos locales** para el estudio en detalle y subestructuración, permitiendo así la verificación más completa de las transiciones en el nuevo sistema de vía en placa. Los valores de reacciones y desplazamientos obtenidos pueden emplearse como condiciones de contorno en modelos locales para transiciones al nuevo sistema de vía en placa.

3.2 Aparatos de dilatación de vía

3.2.1 Principales funciones de los aparatos de dilatación de vía

Tal y como se ha expuesto en apartados anteriores en las estructuras de ferrocarril el carril se encuentra sometido a unas fuertes solicitaciones, principalmente derivadas de las variaciones de temperatura y las fuerzas de frenado y arranque de los trenes. Los aparatos de dilatación de vía son dispositivos cuya principal función es la de evitar que las tensiones de los carriles superen unos límites máximos admisibles, permitiendo movimientos relativos importantes, y manteniendo la continuidad geométrica de la vía. Los aparatos de dilatación de vía se disponen en aquellas zonas donde estos esfuerzos, originados como consecuencia de las variaciones de temperatura en la barra larga soldada, las maniobras de arranque y frenado de los trenes y/o los movimientos que tienen lugar en las estructuras, superen los límites máximos establecidos.

3.2.2 Normativa de referencia en el diseño y montaje de aparatos de dilatación

La normativa y recomendaciones de referencia, en base a la cual se realiza el diseño de los aparatos de dilatación es la que se relaciona a continuación:

- Ficha UIC-774-3-R. Track/bridge interaction. Recommendations for calculation^[4]
- Euronorma EN 1991-2:2004 Eurocódigo 1 Acciones en estructuras. Parte 2. Acciones de tráfico en puentes^[1]
- Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de ferrocarril IAPF-2011, del Ministerio de Fomento^[2]
- Norma N.A.V. 3-3-5.0. Aparatos de dilatación. Tipo y criterios generales de aplicación, (agosto de 1993), del Administrador de Infraestructuras Ferroviarias ADIF^[14]
- Norma N.A.V. 3-3-5.4. Aparatos de dilatación Tipo A en puentes de hormigón con balasto, con carril UIC-60 (abril de 1993), del Administrador de Infraestructuras Ferroviarias ADIF (Administrador de Infraestructuras Ferroviarias ADIF, 1993)
- Instrucción general para la redacción de los proyectos de vía IGV, del Administrador de Infraestructuras Ferroviarias ADIF^[16]
- Euronorma EN 13232-8:2008+A1 Aplicaciones ferroviarias. Vía. Aparatos de vía. Parte 8: Aparatos de dilatación.^[17]

La primera de las comprobaciones se realiza para garantizar la estabilidad estructural del carril, mientras que las tres restantes tienen por objeto el evitar una excesiva desconsolidación o degradación del balasto en aquellas estructuras que cuenten con superestructura de vía sobre balasto.

3.2.3 Descripción y componentes de un aparato de dilatación

En el presente apartado se procede a describir el principio de funcionamiento de los aparatos de dilatación y los principales componentes que forman parte del mismo.

Principio de funcionamiento

El diseño de los aparatos de dilatación es, en cierto modo, similar al de la parte del cambio de los desvíos ferroviarios. En ambos casos son los elementos básicos del sistema: las agujas (o switch rails en la terminología inglesa), y las contraagujas (o stock rails en la terminología inglesa). La principal salvedad es que, en el caso de los cambios de los desvíos ferroviarios, las contraagujas se mantenían fijas y las agujas, mediante un movimiento transversal se acoplaban o desacoplaban a las mismas, dependiendo del movimiento que se quisiese permitir en el desvío, mientras que en el caso de los aparatos de dilatación este movimiento relativo es un movimiento longitudinal. Este movimiento longitudinal es el que permite garantizar que, según lo expuesto en apartados anteriores, los carriles no sufren esfuerzos superiores a los máximos permitidos como consecuencia de las variaciones de temperatura, las fuerzas de arranque y frenado de los trenes, o los movimientos inherentes a la propia estructura. En los primeros diseños de aparatos de dilatación esta necesidad de movimiento relativo de los carriles se conseguía dejando un cierto espacio libre entre ambos, lo que generaba una discontinuidad en el carril de rodadura. Estas discontinuidades hacían necesario el empleo de contracarriles que ayudasen al guiado de la pestaña de la rueda al paso por las mismas. Las velocidades de paso por estos aparatos se encontraban muy condicionadas por motivos de seguridad, así como la carrera máxima de los mismos.

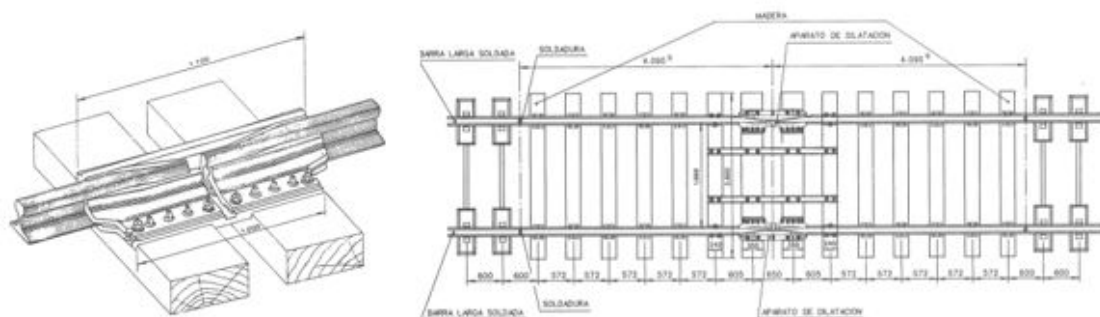


Figure 3.69: Primeros diseños de aparatos de dilatación tipo Martinet

FUENTE: N.A.V. 3-3-5.1 Aparatos de dilatación tipo Martinet (Administrador de Infraestructuras Ferroviarias ADIF, 1993)

Los desarrollos tecnológicos alcanzados en los últimos años en el diseño de aparatos de dilatación han permitido obtener soluciones en las que se garantiza la continuidad del carril de rodadura, premisa básica para su empleo en líneas de alta velocidad. Esta continuidad en el carril de rodadura permite prescindir del empleo de los contracarriles que eran necesarios en las soluciones anteriores para evitar que se produjesen descarrilamientos. Estas nuevas soluciones permiten carreras máximas de hasta 1.200 mm.

Dos han sido las tendencias seguidas para el diseño de estos aparatos:

- 1) Por un lado, inicialmente se planteó el diseño de los aparatos de dilatación manteniendo la contraaguja fija sobre el estribo de la estructura, permitiendo el movimiento longitudinal de la aguja situada sobre el tablero de la estructura acoplada a la misma. Esta solución pre-

senta el problema de que la aguja, en su movimiento longitudinal, no garantiza el mantenimiento del ancho de vía, produciéndose un sobreancho localizado en la zona de transición de contacto entre la aguja y la contraaguja al desplazarse la primera sobre la segunda. Este sobreancho provoca efectos negativos en la marcha de los vehículos al paso por el aparato, provocando una discontinuidad en la rodadura con efectos negativos en el confort de los pasajeros y un mayor desgaste de los materiales que componen la infraestructura de vía. Este efecto adverso se ve agravado con el incremento de la velocidad de circulación.

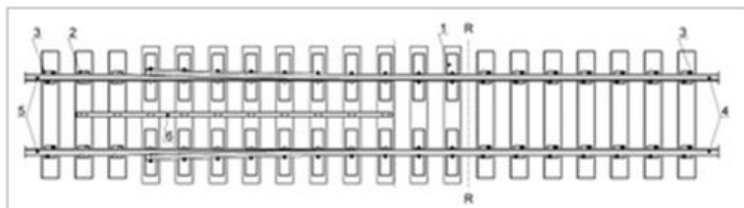


Figure 3.70: Diseño de aparato de dilatación con contraagujas fijas y agujas móviles
FUENTE: Track Bridge Interaction on High-Speed Railways (J.Hess)^[19]

- 2) El inconveniente antes señalado se subsana mediante un cambio en la configuración del diseño del aparato de dilatación, haciendo en este caso que la aguja se mantenga fija sobre el estribo de la estructura, y sea la contraaguja la que se desplace sobre la primera permitiendo los movimientos derivados de la variación de temperatura del carril, las fuerzas de arranque y frenado y los movimientos reológicos propios de la estructura.

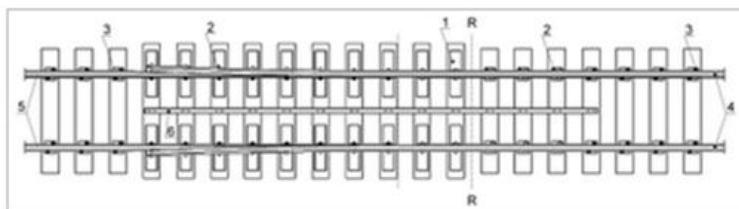


Figure 3.71: Diseño de aparato de dilatación con agujas fijas y contraagujas móviles
FUENTE: Track Bridge Interaction on High-Speed Railways (J.Hess)^[19]

Esta solución es la adoptada en la actualidad por la práctica totalidad de los aparatos de dilatación que se disponen en líneas de la red española de alta velocidad, ya que es la que aporta un mayor grado de seguridad y comodidad en la circulación al mantener constante el ancho de vía a lo largo de todo el aparato.

Así pues, el esquema general de funcionamiento de los aparatos de dilatación actualmente empleados en las líneas de alta velocidad españolas, se basa en el movimiento longitudinal relativo entre contraagujas y agujas, manteniéndose siempre la aguja en una posición fija (Figura 73).

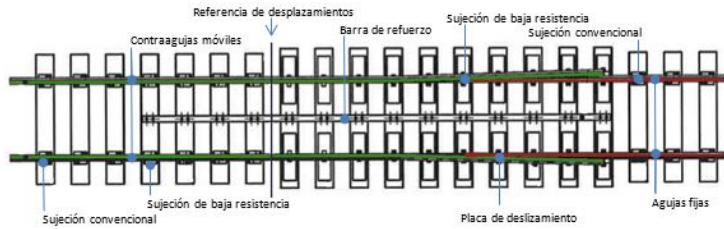


Figure 3.72: Principales elementos de que consta un aparato de dilatación

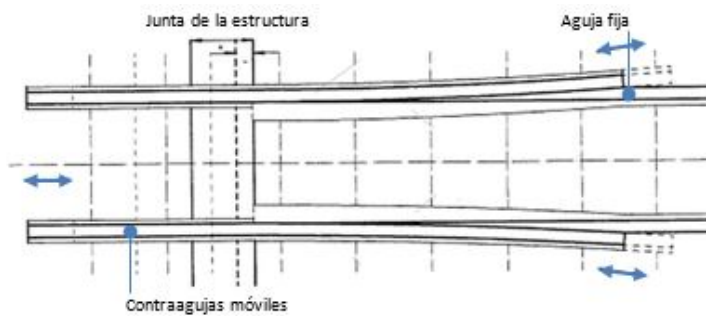


Figure 3.73: Esquema general de funcionamiento de un aparato de dilatación

El parámetro característico de un aparato de dilatación es su carrera o capacidad de dilatación del aparato. Los aparatos de dilatación que se emplean en las líneas de alta velocidad tienen valores de este parámetro comprendidos entre los 300 y los 1.200 mm.

El radio mínimo sobre el que se pueden disponer estos aparatos es de 350 metros.



Figure 3.74: Vista general de aparato de dilatación montado en vía sobre balasto



Figure 3.75: Vista general de aparato de dilatación montado sobre vía en placa

Parte fija del aparato. Aguja

Tal y como se ha señalado anteriormente, en los aparatos de vía empleados en la red de alta velocidad española, la parte fija del aparato es la aguja (o point/switch rail en terminología inglesa), que se sitúa sobre el relleno del trasdós del estribo. Los carriles que se emplean para este elemento son del tipo 60E1A1 (Zu1-60) endurecidos, con una inclinación de 1:20. Estos carriles se mecanizan a partir de un carril de sección 60E1A1 con una calidad de 900A, endureciendo la cabeza del carril hasta 350HB. La parte final de este carril se forja con una sección de carril 60E1 con objeto de garantizar la continuidad con el resto de la vía.



Figure 3.76: Mecanizado de las agujas móviles de los aparatos de dilatación
FUENTE: Catálogo Rail Movement Joints. Voestalpine GmbH (Voestalpine GmbH)

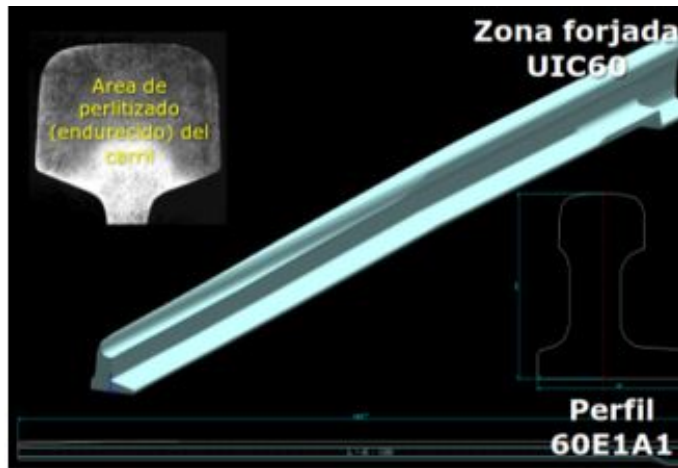


Figure 3.77: Representación del mecanizado de la aguja o parte fija del aparato de dilatación
 FUENTE: ADIF crossing switches and expansion devices for a high speed track. (J.M. Galindo)^[21]

Parte móvil del aparato. Contraaguja

De acuerdo con lo anteriormente expuesto, en la totalidad de los aparatos de vía empleados en la red española de alta velocidad, la parte móvil del aparato de dilatación la constituye la contraaguja (o stock rail en terminología inglesa), disponiéndose siempre sobre el tablero de la estructura. Este elemento está constituido con un carril de sección 60E1 (UIC60) con calidad 900A, con la cabeza reforzada hasta 350HB, manteniéndose la sección completa del carril a lo largo de toda su longitud, salvo la sección que se acopla a la aguja que es necesario mecanizar.



Figure 3.78: Vista general de la zona de contacto entre la aguja, que se mantiene fija, y la contraaguja, que desliza sobre ella.

Elementos de sujeción

Con objeto de fijar tanto aguja como contraaguja a la traviesa o a la vía en placa y permitir el movimiento adecuado de la contraaguja a lo largo de la aguja, se disponen en la zona de contacto de ambas placas de deslizamiento. Estas placas de deslizamiento se diseñan con una resistencia longitudinal siempre inferior a 5 kN, tal y como indica la norma EN 13232-8 Aplicaciones ferroviarias. Vía. Aparatos de vía. Parte 8: Aparatos de dilatación^[17]. Estas placas permitirán además el guiado de los carriles hacia la aguja.

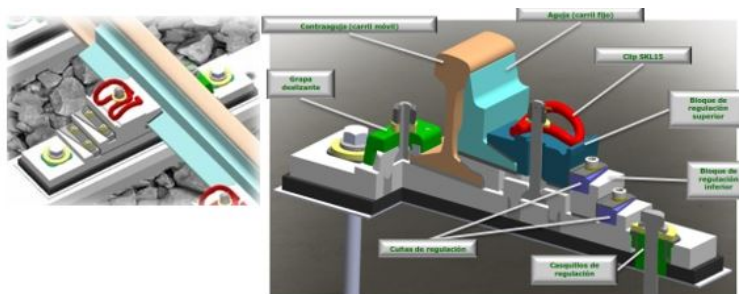


Figure 3.79: Detalle de placa de deslizamiento para aparato de dilatación
FUENTE: ADIF crossing switches and expansion devices for high speed track^[21]

En la parte móvil del aparato de dilatación se disponen sujeciones de baja resistencia, con objeto de permitir el movimiento longitudinal de los carriles (contraaguja). Esta resistencia longitudinal, al igual que en el caso de las placas de deslizamiento deberá ser menor de 5 kN por placa de apoyo.

La resistencia tanto de estas sujeciones como de las placas de deslizamiento se establecerá dependiendo de la configuración de la estructura y del tipo de aparato en base a lo establecido en la norma EN 13146-1 Aplicaciones ferroviarias. Vía. Métodos de ensayo de los sistemas de fijación. Parte 1: Determinación de la resistencia al deslizamiento longitudinal del carril.

Con carácter general deberán de disponerse sujeciones de resistencia longitudinal reducida en la totalidad de la longitud de la estructura así como en los estribos, entendiéndose como sujeciones con resistencia longitudinal reducida las que cuentan con una resistencia longitudinal por punto de sujeción inferior a 5 kN. No obstante lo anterior la resistencia longitudinal de las sujeciones empleadas deberá de establecerse teniendo en cuenta el diseño específico de la vía y lo establecido en la citada norma EN 13146-1.

En el caso particular de estructuras hiperestáticas con un apoyo fijo central y apoyos móviles en los estribos deberán de disponerse sujeciones convencionales, esto es, con una resistencia longitudinal superior a 5 kN en los 100 puntos de apoyo que comprenden la zona central.

Respecto a la rigidez de las placas de apoyo, en todos los aparatos de vía empleados en la red de alta velocidad española se contemplan unas longitudes de transición de la elasticidad de la vía de 26,1 metros a cada lado del aparato de dilatación, con objeto de evitar cambios bruscos de la rigidez vertical en los mismos al paso de las circulaciones. Estos cambios bruscos contribuirían a un deterioro prematuro del aparato y a una pérdida de confortabilidad en la circulación de los vehículos.

CAPÍTULO 3. APARATOS DE DILATACIÓN

Estas [1]transiciones elásticas se realizan disponiendo placas elásticas de asiento del carril de diferentes rigideces de acuerdo con lo indicado en la siguiente tabla:

Bibliografía

- [1] Ronald YS Pak and Bojan B Guzina. Three-dimensional green's functions for a multilayered half-space in displacement potentials. *Journal of Engineering Mechanics*, 128(4):449–461, 2002.