

Requisitos principales para sistema de vía en placa a altas velocidades

Ricardo Galán de Vega
José Manuel García Campos
Gloria Venegas del Valle
Juan Aguilar Guisado
Ignacio Hinojosa Sánchez-Barbudo
Juan Ignacio de Cea García
Salvatore Petrolo
José Antonio Vélez Godiño

Requisitos principales para sistema de vía en placa a altas velocidades

Ricardo Galán de Vega
José Manuel García Campos
Gloria Venegas del Valle
Juan Aguilar Guisado
Ignacio Hinojosa Sánchez-Barbudo
Juan Ignacio de Cea García
Salvatore Petrolo
José Antonio Vélez Godiño

Diciembre 2021

Índice

1	Introducción	1
2	Fundamentos básicos respecto a aparatos de vía de sistema de vía en placa	2
2.1	Desvíos y cruzamientos	2
2.1.1	Características generales	2
2.1.2	Normativa de aplicación	3
2.1.3	Clasificación de los desvíos	3
2.1.4	Elementos de un desvío. El cambio	4
2.1.5	Elementos de un desvío. El cruzamiento	8
2.1.6	Tipologías de desvíos existentes	12
2.1.7	Implicaciones de la disposición de desvíos en vía en placa	18
2.2	Aparatos de dilatación de vía	18
2.2.1	Descripción general	18
2.2.2	Criterios para la disposición de aparatos de dilatación	22
2.2.3	Tipologías de aparatos de dilatación existentes	23
2.3	Análisis de posibles interferencias con las instalaciones ferroviarias	30
2.3.1	Catenaria	30
2.3.2	Instalaciones de seguridad	30
2.3.3	Calefactores de aguja	32
2.3.4	Canalizaciones	32
2.3.5	Cableado	33
3	Fundamentos básicos respecto a zonas de transición de sistemas de vía en placa.	34
3.1	Análisis de la problemática existente	34
3.2	Zonas de transición en estructuras y túneles	35
3.2.1	Sistemas para resolver la transición en estructuras	35
3.2.2	Singularidades de las transiciones en tramos con vía en placa	42
3.2.3	Sistemas para resolver la transición en túneles	45
3.3	Zonas de transición placa-balasto	46
3.3.1	Generalidades. Descripción del problema	46
3.3.2	Técnicas empleadas para resolver el problema	46
3.3.3	Indicaciones generales para la ubicación de las zonas de transición	56
3.3.4	Soluciones existentes en el mercado	57

4	Requerimientos a superar en zonas de transición y aparatos de vía	74
4.1	Requisitos a superar en puntos singulares	74
4.1.1	Desvíos y cruzamientos	74
4.1.2	Aparatos de dilatación	75
4.2	Requisitos a superar en zonas de transición	79
4.2.1	Transición entre estructuras y terraplenes. Bloques técnicos	79
4.2.2	Transiciones de vía en placa a vía sobre balasto	85
5	Conclusiones	93
6	Bibliografía	94

Capítulo 1

Introducción

El ferrocarril está considerado como un sistema de transporte eficiente y el más apropiado para disminuir el impacto sobre el cambio climático, debido a su consumo energético reducido (<2500 BTU/pasajero/millas) y las bajas concentraciones de CO_2 emitidas en su funcionamiento. Debido a esto y con el fin de potenciar sus ventajas e incrementar su uso, durante las últimas décadas se ha producido una espectacular transformación del sector, pasando de unas velocidades relativamente pequeñas a velocidades que superan los 300 km/h. Este hecho conlleva cambios profundos, por ejemplo, en las solicitaciones que sufre la vía con el paso de vehículos a estas altas velocidades. Todos estos cambios se han materializado, dentro de la estructura de la vía, en un aumento de las exigencias de los materiales y elementos constituyentes de la infraestructura. Actualmente, existen dos formas de configurar una vía ferroviaria en función de qué materiales y elementos la constituyan: el sistema de vía convencional en balasto y el sistema de vía en placa. Nuestro objetivo es estudiar, recopilar y analizar los requisitos del sistema de vía en placa y desarrollar los fundamentos que debería cumplir el nuevo sistema de vía en placa. Para ellos, se estudiará en primer lugar los fundamentos básicos sobre las principales características de los desvíos ferroviarios empleados en las diferentes líneas de alta velocidad (elementos que los componen, características, tipología y funcionalidad de cada uno de ellos, etc.), incluyendo un listado de los principales desvíos ferroviarios utilizados a nivel nacional, donde aparece detallada la geometría de los mismos. Además, se analizarán en este mismo apartado los principales componentes de los aparatos de dilatación, describiendo el esquema de funcionamiento de estos y sus condiciones de uso, así como los criterios de implantación y los diferentes condicionantes de implantación de los aparatos de vía con respecto a sus necesidades de electrificación y señalización. En segundo lugar, las premisas básicas respecto a zonas de transición abarcando las zonas de transición en estructuras, en túneles, zonas de transición placa-balasto empezando para un análisis de la problemática existente. Por último, se establecerá los requisitos que deberían de cumplir el nuevo sistema de vía en placa en los puntos singulares y en zonas de transición.

Capítulo 2

Fundamentos básicos respecto a aparatos de vía de sistema de vía en placa

2.1 Desvíos y cruzamientos

2.1.1 Características generales

Los desvíos son aparatos de vía que permiten a los vehículos cambiar de una vía a otra sin interrumpir su marcha. La vía principal recibe el nombre de vía directa y a la otra vía desviada. Esta separación se consigue mediante tres elementos que se disponen de forma consecutiva:

- El cambio, que es el elemento en el que se separan dos a dos los carriles de ambas vías.
- Los carriles intermedios que permiten conectar el cambio con el cruzamiento.
- El cruzamiento, que es el elemento que permite resolver el cruce de los carriles interiores de vía directa y vía desviada.

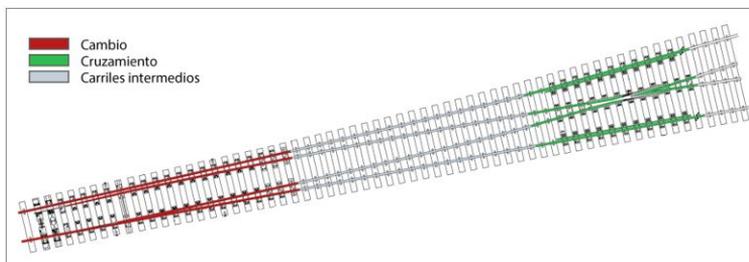


Figura 2.1: Elementos que conforman un desvío

2.1.2 Normativa de aplicación

A nivel europeo la normativa que regula el procedimiento de diseño y el aseguramiento de la calidad de los aparatos de vía es la serie normativa EN 13232 Aplicaciones ferroviarias. Vía. Aparatos de vía. Esta serie normativa se desarrolla en 9 partes, de las cuales, las que son de aplicación al diseño de desvíos son las siguientes:

- Parte 1: Definiciones (EN13232 – 1 : 2003)^[1]
- Parte 2: Requisitos para el diseño geométrico (EN13232 – 2 : 2003 + A1)^[2]
- Parte 3: Requisitos para la interacción rueda/carril (EN13232 – 3 : 2006 + A1)^[3]
- Parte 4: Maniobra, bloqueo y control (EN13232 – 4 : 2007 + A1)^[4]
- Parte 5: Agujas (EN13232 – 5 : 2007 + A1)^[5]
- Parte 6: Corazones de cruzamiento y de travesía fijos (EN13232 – 6 : 2007 + A1)^[6]
- Parte 7: Corazones con partes móviles (EN13232 – 7 : 2007 + A1)^[7]
- Parte 9: Configuración (EN13232 – 9 : 2009 + A1)^[8]

Esta última norma establece el proceso general de diseño de los desvíos. En cuanto a los procedimientos de certificación y homologación de las fijaciones a emplear, estas deberán de ceñirse a lo expuesto en la Norma EN-13146 Aplicaciones ferroviarias. Vía. Métodos de ensayo de los sistemas de fijación en sus diferentes apartados, así como a lo indicado en la serie normativa Norma EN-13481-6 Aplicaciones ferroviarias. Vía. Requisitos de funcionamiento para los conjuntos de sujeción, y más concretamente en su Parte 5: Conjuntos de sujeción para vía en placa sin balasto o vía con carril embutido en un canal^[9], su Parte 6: Sistemas de fijación especiales para atenuación de las vibraciones^[10], para las fijaciones altamente elásticas, y su Parte 7: Sujeciones especiales para aparatos de vía y contracarriles^[11].

2.1.3 Clasificación de los desvíos

Los desvíos se pueden clasificar atendiendo a los siguientes criterios:

- Atendiendo a su geometría en planta.
 - Sencillos. Cuando únicamente hay una vía desviada. Estos se pueden clasificar a su vez en:
 - Rectos. Cuando la vía directa presenta una alineación recta.
 - Simétricos. Cuando la vía directa y la vía desviada presentan simetría en su geometría.
 - Curvos. Cuando la vía directa presenta curvatura. Estos se pueden clasificar a su vez en:
 - * Convergentes. Cuando el radio de curvatura de vía directa y vía desviada tiene el mismo signo. Se clasifican a su vez en exterior e interior en función del lado en el que se encuentre la vía desviada con respecto a la directa.

CAPÍTULO 2. FUNDAMENTOS BÁSICOS RESPECTOS A APARATOS DE VÍA DE SISTEMA DE VÍA EN PLACA

- * Convergentes. Cuando el radio de curvatura de vía directa y vía desviada tiene el mismo signo. Se clasifican a su vez en exterior e interior en función del lado en el que se encuentre la vía desviada con respecto a la directa.

- Dobles. Cuando hay más de una vía desviada. Estos se pueden clasificar a su vez en:
 - . Simétricos. Si ambas vías desviadas presentan la misma geometría.
 - . Disimétricos. Cuando las vías desviadas presentan diferente geometría.

- Atendiendo a la geometría de su corazón.
 - Desvíos con corazón recto. Cuando los bordes activos del corazón son rectos.
 - Desvíos con corazón curvo. Cuando al menos uno de los bordes activos del corazón presenta curvatura.

- Atendiendo a las características de su corazón.
 - Desvíos con corazón con punta fija. Cuando no cuenta con elementos móviles en su corazón.
 - Desvíos con corazón con punta móvil. Cuando el corazón cuenta con elementos móviles.

2.1.4 Elementos de un desvío. 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.

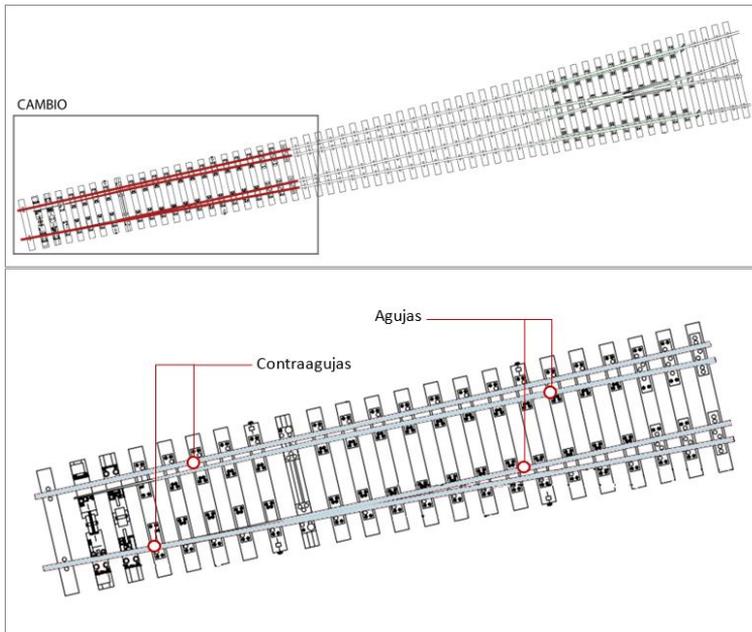


Figura 2.2: Esquema general y componentes del cambio

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^[5].

Contraagujas

Se trata de los carriles exteriores del cambio, sobre los que se acoplan las correspondientes agujas para dar continuidad a la circulación por vía directa o bien por vía desviada. Se pueden fabricar a partir de carriles de sección normal, aunque es habitual el empleo de secciones especiales obtenidas por laminación. La cabeza de estos carriles se mecaniza de tal forma que permita el correcto acoplamiento entre aguja y contraaguja. Para mejorar el funcionamiento de las placas resbaladeras que, como se verá más adelante, permiten el correcto movimiento y acoplamiento de aguja y contraaguja, se suele disponer la base del patín en posición horizontal, resolviendo el problema de la inclinación del carril de las dos siguientes formas:

- Modificando la inclinación del eje del alma del carril, dotándolo de una inclinación de 1:20 con respecto a la base del patín.

- Manteniendo el carril en posición vertical y realizando una transición hacia la inclinación de 1:20 en los extremos del desvío, generalmente en una longitud de 4 puntos de apoyo sobre los que se disponen placas rígidas de asiento especiales con inclinación variable.

Sistema horquilla-muñón

Se trata de dispositivos que se colocan en el talón de las agujas del desvío con objeto de garantizar la ausencia de movimientos relativos longitudinales entre aguja y contraaguja. Estos movimientos longitudinales se originan fundamentalmente como consecuencia de los fenómenos de dilatación restringida que tienen lugar en la aguja debido a las variaciones de temperatura. Mediante estos dispositivos se consigue transmitir los esfuerzos de dilatación de la aguja a la contraaguja, limitando los movimientos y garantizando el perfecto encaje entre ambas.



Figura 2.3: Sistema horquilla-muñón, (FUENTE: Desvíos ferroviarios (José Manuel García Díaz de Villegas y Miguel Rodríguez Bugarín) [12])

Dispositivos 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.



Figura 2.4: Dispositivo de encerrojamiento, (FUENTE: Página web de la empresa Schwihag AG [13])

Topes de aguja

Se trata de elementos que permiten reducir los esfuerzos a los que se ve sometida la aguja durante el tránsito de vehículos por la vía desviada. Estos esfuerzos se producen como consecuencia de las fuerzas transversales transmitidas por las ruedas debido a los movimientos de lazo y de inscripción del vehículo. En desvíos donde la distancia entre el punto de contacto entre aguja y contraaguja y el talón de la aguja es muy elevada estos esfuerzos pueden provocar deformaciones considerables en la aguja. Con objeto de evitar este problema se disponen entre el alma de la aguja y el alma de su correspondiente contraaguja unas piezas de longitud variable denominadas topes de aguja, que permiten mantener la aguja en su posición correcta. Estas piezas se atornillan al alma de la contraaguja, disponiéndose de tal modo que entre dos topes consecutivos existan al menos dos traviesas y que la distancia a la traviesa más próxima sea de 150 mm.

Cojinetes de resbalamiento

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. 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

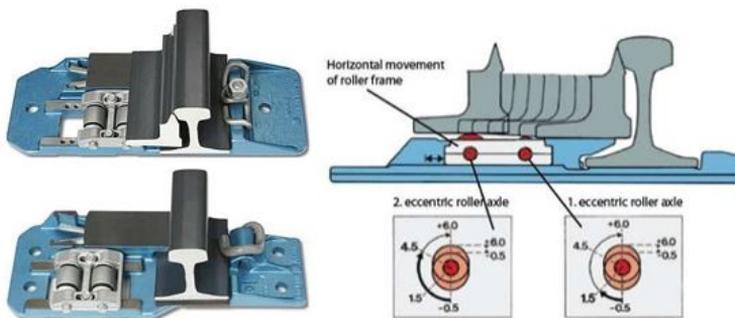


Figura 2.5: Cojinetes de resbalamiento. Sistema Schwiagh SRD, (FUENTE: Página web de la empresa Schwiagh AG [13])

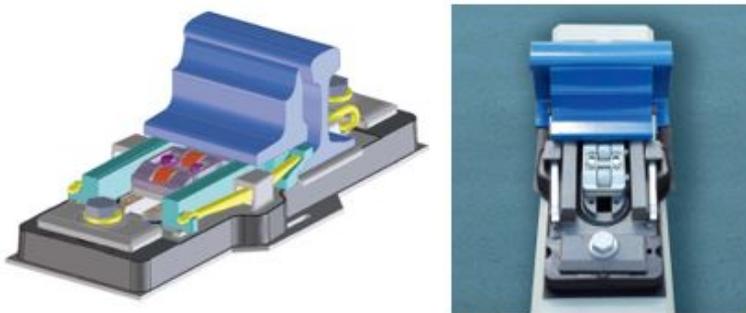


Figura 2.6: Cojinetes de resbalamiento. Sistema BWG-S, (FUENTE: Catálogo Tonque Rolling System BWG-S (Voestalpine) [14])

2.1.5 Elementos de un desvío. 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 sus correspondientes contracarriles.

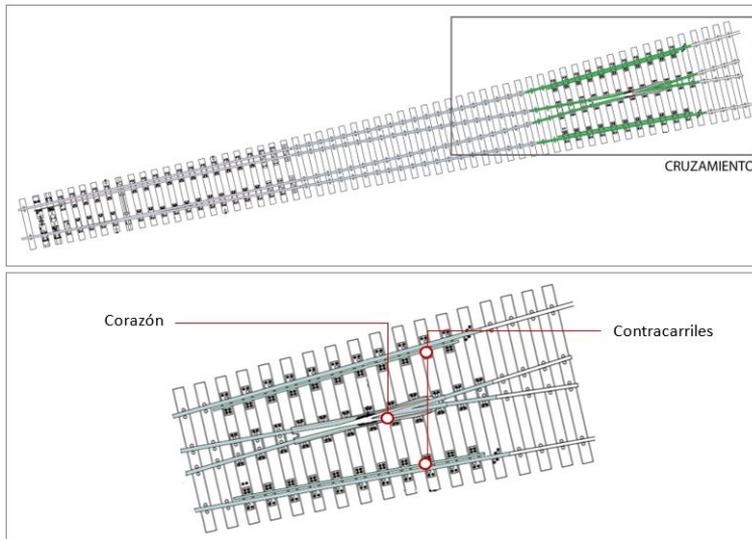


Figura 2.7: Esquema general y componentes del cruzamiento

Corazón

El corazón es la parte principal del cruzamiento, siendo el elemento donde se materializa la intersección de los carriles interiores del desvío.

Principales elementos que lo componen

La punta del corazón 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. 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. Con objeto de que las pestañas no dejen de contar con un elemento de apoyo continuo al atravesar la zona de la laguna se prolongan los carriles interiores del desvío en la zona del corazón. Esta prolongación recibe el nombre de patas de liebre. A la distancia existente entre las caras activas del corazón y la pata de liebre se la denomina entrecalle. El talón del corazón es el 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 los bordes activos del corazón son rectos
- Corazón curvo. Cuando al menos uno de los bordes activos del corazón presenta curvatura.

CAPÍTULO 2. FUNDAMIENTOS BÁSICOS RESPECTOS A APARATOS DE VÍA DE SISTEMA DE VÍA EN PLACA

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 cruzamiento 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.



Figura 2.8: Desvío con corazón de punta móvil

Esta punta móvil se encuentra constituida generalmente por una única pieza homogéneamente 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

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 una parte, 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

CAPÍTULO 2. FUNDAMIENTOS BÁSICOS RESPECTOS A APARATOS DE VÍA DE SISTEMA DE VÍA EN PLACA

de los elementos que conforman el desvío como del propio material móvil, y afectarían a la comodidad y seguridad de la circulación. La longitud de estos elementos es variable, función del tipo de desvío del que forman parte, y se disponen de tal forma que su centro este alineado con el de la laguna. La distancia entre las caras activas del carril exterior y su correspondiente contracarril recibe el nombre de entrecalle. En la actualidad se fabrican con angulares especiales, los cuales se apoyan sobre placas carril-contracarril, o bien mediante soportes independientes.

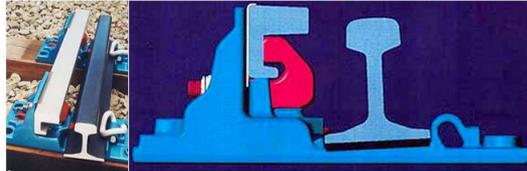


Figura 2.9: Modelo de contracarril y placa de apoyo de la casa Schwihag, (FUENTE: Página web de la empresa Schwihag AG [13])

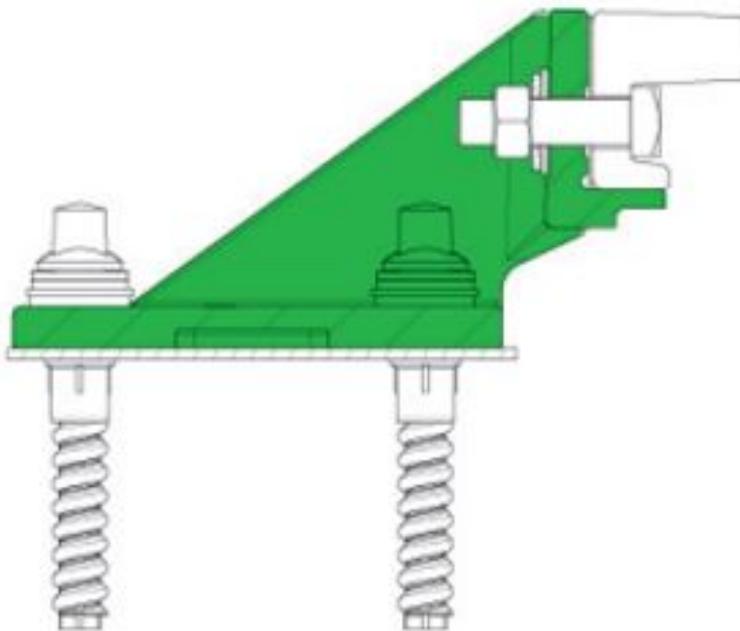


Figura 2.10: Modelo de contracarril sobre placa de apoyo independiente de la casa Vossloh

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.

2.1.6 Tipologías de desvíos existentes

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 aparatos de dilatación 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] Vía desviada [km/h]
DSI-54-250-0,09-CR-I/D	200	45
DSI-54-250-0,125-CC-I/D	200	45
DSI-54-318-0,09-CR-I/D	200	50
DSI-54-318-0,11-CC-I/D	160	50
DSIH-G-60-250-0,11-CC-TC-I/D	200	45
DSIL-G-60-250-0,126-CC-TC-I/D	200	45
DSIH-G-60-318-0,09-CR-TC-I/D	200	50
DSIH-G-60-318-0,11-CC-TC-I/D	200	50
DSIH-GL-60-318-0,09-CR-TC-I/D	200	50
DSIH-GL-60-318-0,11-CC-TC-I/D	200	50
DSIH-G-60-500-0,071-CR-TC-I/D	200	60
DSIH-G-60-500-0,09-CC-TC-I/D	200	60
DSIH-G-60-318-0,11-CC-TC-I/D	200	80
DSIH-G-60-1500-0,042-CR-TC-I/D	200	100
DSIH-AV3-60-760-1:14-CCM-TC-I/D	350	80
DSIH-AV3-60-3000/1500-1:22-CCM-TC-I/D	350	100
DSIH-AV3-60-10000/4000-1:36-CCM-TC-I/D	350	160
DSIH-AV3-60-17000/7300-1:50-CCM-TC-I/D	350	220

Tabla 2.1: Desvíos empleados en las líneas de alta velocidad española(FUENTE: Catálogo de desvíos de la Gerencia de Suministros y Logística de ADIF. [15] Ancho de vía 1.435 mm)

El presente documento se centrará únicamente en el análisis de los desvíos del citado catálogo que permiten su empleo en líneas con ancho internacional y velocidades superiores a los 200 km/h. Estos desvíos son los que se recogen en la siguiente tabla indicando las características especiales de los mismos:

Denominación	Radio [m]	Ángulo [1:n]	Longitud [m]	Velocidad máxima [km/h]	
				Vía Directa	Vía Desviada
DSIH-AV3-60-760-1:14-CCM-TC-I/D	760	1:14	54,216	350	80
DSIH-AV3-60-3000/1500-1:22-CCM-TC-I/D	1.500/3.000	1:22	133,067	350	100
DSIH-AV3-60-10000/4000-1:36-CCM-TC-I/D	4.000/10.000	1:36	187,446	350	160
DSIH-AV3-60-17000/7300-1:50-CCM-TC-I/D	7.300/17.000	1:50	239,136	350	220

Tabla 2.2: Desvíos en líneas de alta velocidad española. Ancho internacional y $v > 200$ km/h(FUENTE: Catálogo de desvíos de la Gerencia de Suministros y Logística de ADIF [15]. Ancho de vía 1.435 mm)

CAPÍTULO 2. FUNDAMIENTOS BÁSICOS RESPECTOS A APARATOS DE VÍA DE SISTEMA DE VÍA EN PLACA

Todos los desvíos incluidos en la tabla anterior disponen de corazón con punta móvil. A nivel europeo las características geométricas de los desvíos empleados por las diferentes administraciones ferroviarias son las que se indican en la siguiente tabla:

Denominación	Radio [m]	Ángulo [1:n]	Longitud [m]	Velocidad por vía desviada [km/h]
EW 190-1:7	190	1:7	27,01	40
EW 190-1:7,5	190	1:7,5	25,86	40
EW 190-1:9	190	1:9	27,14	40
EW 300-1:9	300	1:9	33,23	50
EW 300-1:14	300	1:14	35,23	50
EW 500-1:12	500	1:12	41,49	60
EW 500-1:14	500	1:14	42,37	60
EW 760-1:14	760	1:14	54,22	80
EW 760-1:18,5	760	1:18,5	52,93	80
EW 1.200-1:18,5	1.200	1: 18,5	64,82	100
EW 2.500-1:26,5	2.500	1:26,5	94,00	130
EW 4.000-1:33,5	4.000	1:33,5		160
EW 7.000/6.000-1:42	6.000/7.000	1:42		200

Tabla 2.3: Desvíos en líneas de alta velocidad a nivel europeo(FUENTE: Manual de vía. Infraestructura-Superestructura-Conservación-Rentabilidad (Bernhard Lichtberger) [16])

En general las diferentes administraciones ferroviarias tienden a reducir al mínimo la tipología de desvíos que emplean, principalmente por razones constructivas, económicas y de planificación. A continuación, se incluyen los esquemas de los diferentes desvíos empleados por parte de la administración ferroviaria española en sus líneas de alta velocidad. En estos esquemas aparecen indicados los siguientes parámetros: longitud total, tangente y ángulo, geometría de la vía desviada (longitud de vía desviada, radio, parámetro de la clotoide (en el caso de que se empleen curvas de transición), etc.). Como puede observarse al reducirse el valor de la tangente se puede incrementar el valor del radio curvatura de la vía desviada, lo que implica que también se incremente la longitud del desvío. Tal y como se comentó anteriormente la reducción de este ángulo implica también el incremento de la longitud de la zona de laguna, siendo necesario recurrir a soluciones de desvíos con corazón de punta móvil para garantizar un correcto guiado del vehículo en estas zonas. También aparece representado en estos esquemas la longitud de las transiciones necesarias tanto en la zona de la junta de contraaguja como en los talones de vía directa y vía desviada.

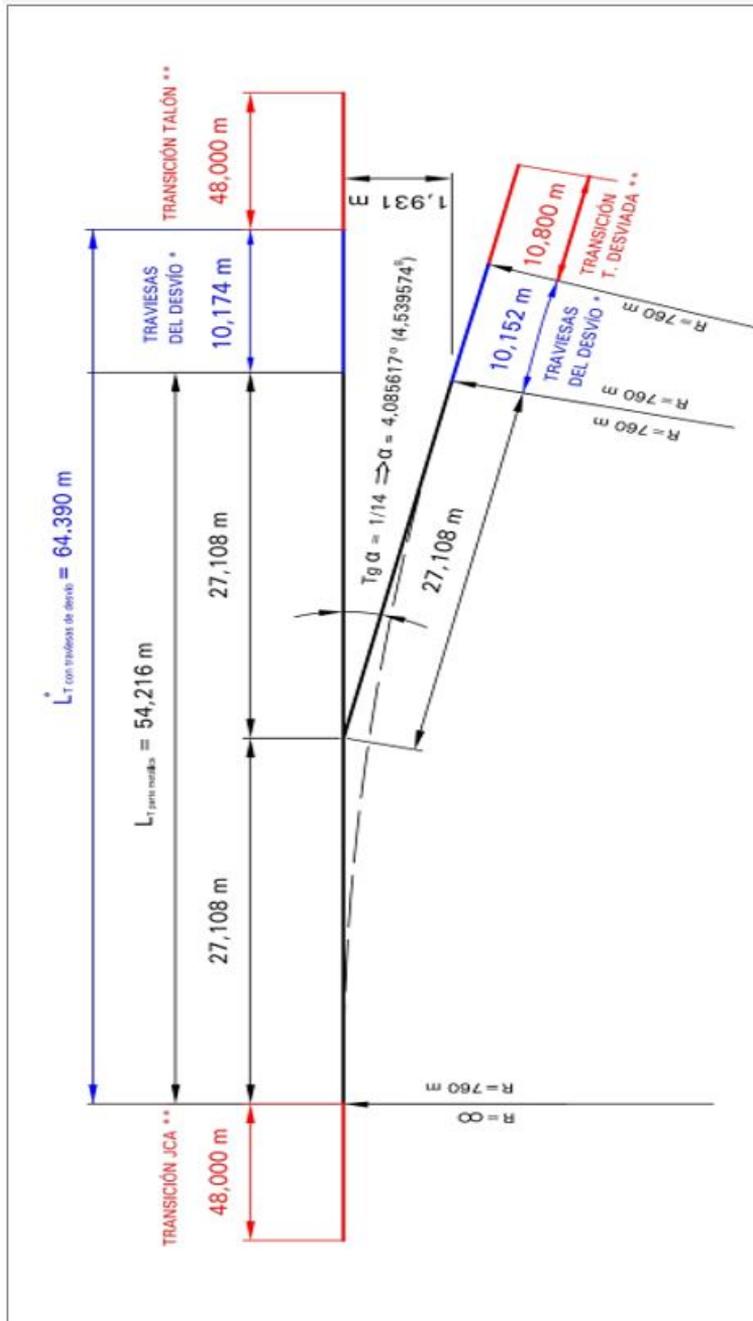


Figura 2.11: Desvío DSIH-AV3-60-760-1:14-CCM-TC-I/D,(FUENTE: Catálogo de desvíos de la Gerencia de Suministros y Logística de ADIF [15]. Ancho de vía 1.435 mm)

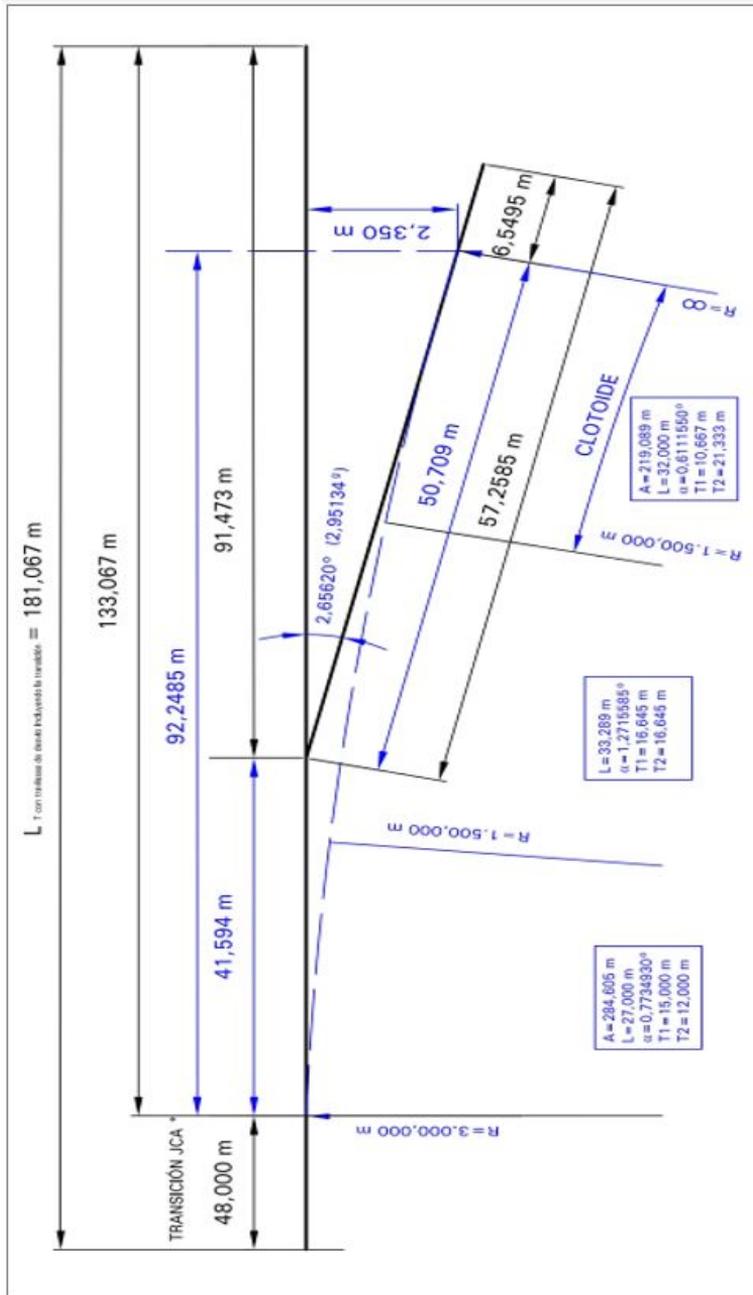


Figura 2.12: Desvío DSIH-AV3-60-3000/1500-1:22-CCM-TC-I/D, (FUENTE: Catálogo de desvíos de la Gerencia de Suministros y Logística de ADIF [15]. Ancho de vía 1.435 mm)

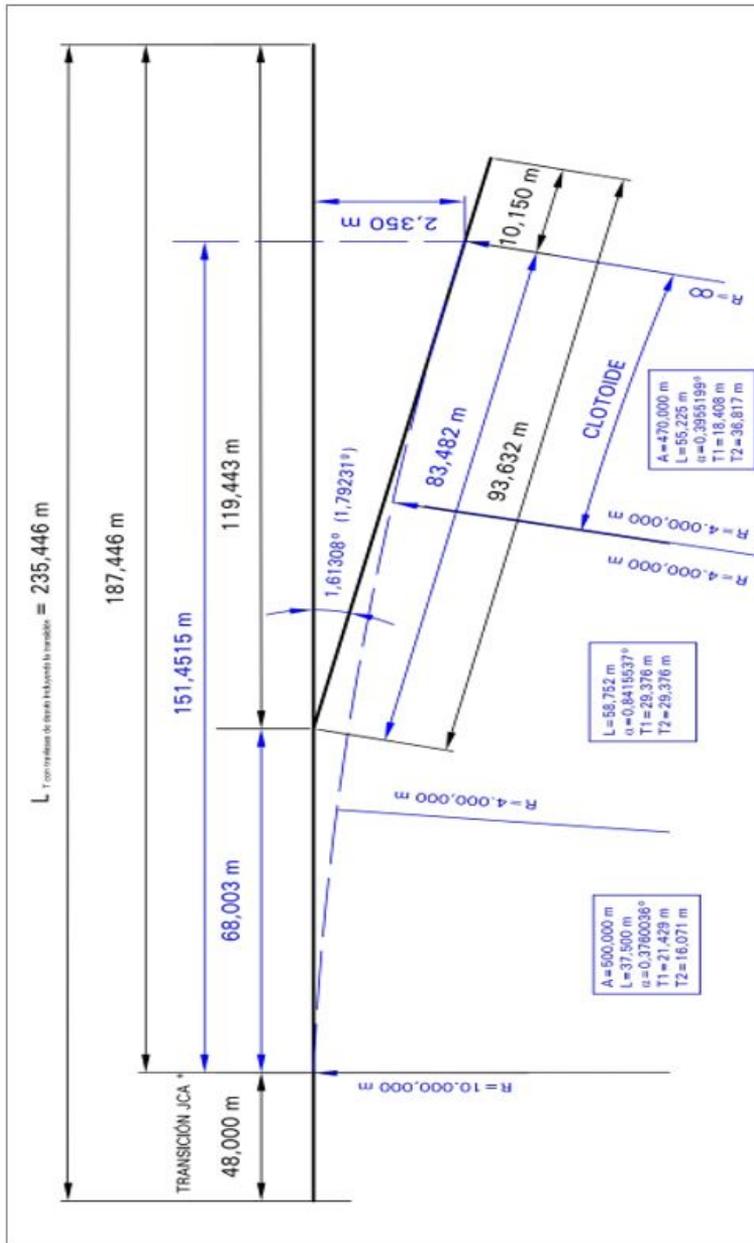


Figura 2.13: Desvío DSIH-AV3-60-10000/4000-1:36-CCM-TC-I/D,(FUENTE: Catálogo de desvíos de la Gerencia de Suministros y Logística de ADIF [15]. Ancho de vía 1.435 mm)

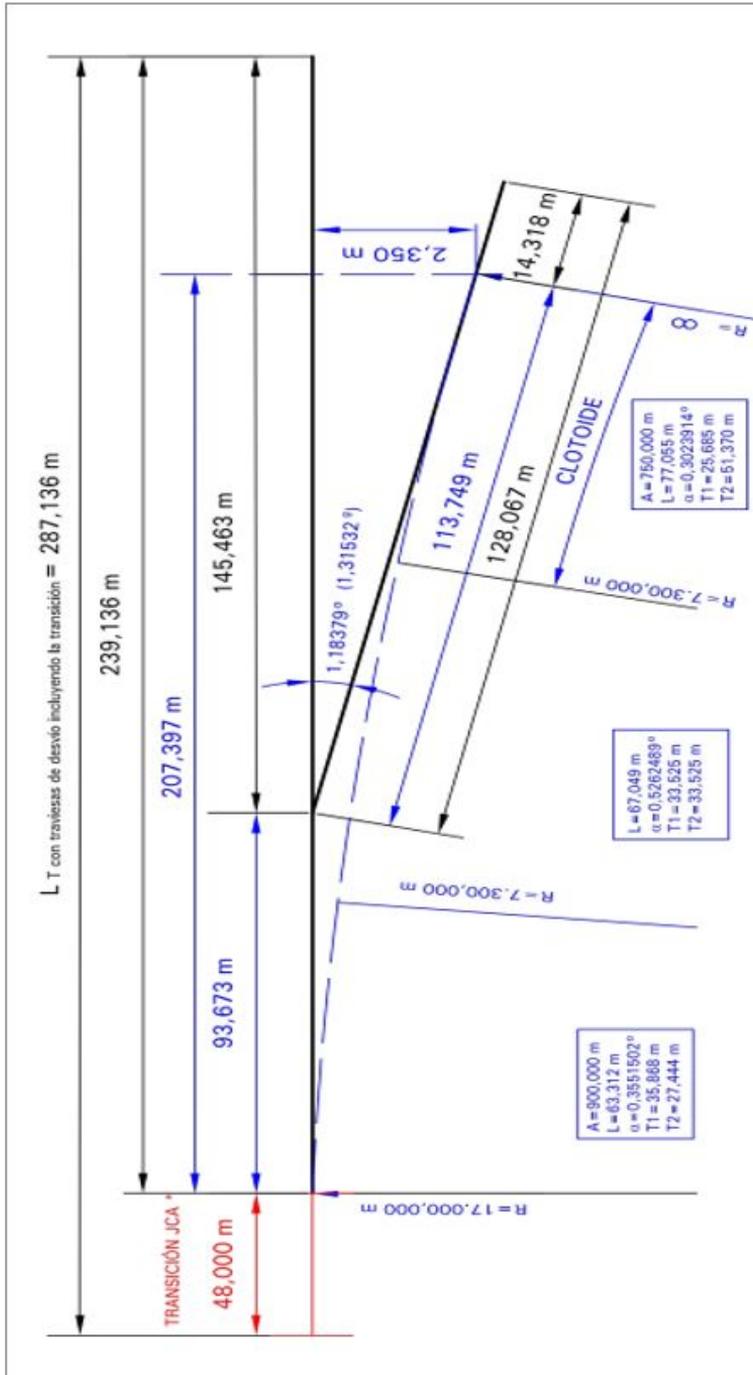


Figura 2.14: Catálogo de desvíos de la Gerencia de Suministros y Logística de ADIF [15]. Ancho de vía 1.435 mm

2.1.7 Implicaciones de la disposición de desvíos en vía en placa

La geometría de los desvíos empleados en líneas de alta velocidad con vía sobre balasto es la misma que se emplea para los desvíos montados sobre vía en placa, siendo necesario únicamente modificar el tipo de sujeción que permite fijar el aparato al sistema de vía en placa empleado. En este sentido será preciso disponer de información sobre la rigidez por punto de fijación y la distancia entre apoyos contiguos del nuevo sistema de vía en placa, para poder determinar la rigidez del aparato de vía a emplear, la tipología de sujeciones y la necesidad o no de transiciones elásticas cuando la rigidez del aparato de vía es distinta a la de la vía en placa. En general, para los aparatos de vía existentes en el mercado, los fabricantes suelen adoptar un valor de la rigidez del aparato de vía de 17,5 kN/mm para una distancia media entre apoyos de 600 mm. En cuanto a la tipología de sujeciones a emplear se deberán de seguir los procedimientos de certificación y homologación expuestos en la Norma EN-13146 Aplicaciones ferroviarias. Vía. Métodos de ensayo de los sistemas de fijación y la Norma EN-13481-6 Aplicaciones ferroviarias. Vía. Requisitos de funcionamiento para los conjuntos de sujeción.

2.2 Aparatos de dilatación de vía

2.2.1 Descripción general

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. 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. 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 calculations (2nd Edition, October 2001)[17]
- Eurocódigo I: Acciones en estructuras. Cargas de tráfico en puentes (AENOR, Octubre 2004)^[18]
- Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de ferrocarril IAPF-07 Orden FOM/3671/2.007 (Ministerio de Fomento)[19]
- EN 13232-8:2008+A1 Aplicaciones ferroviarias. Vía. Aparatos de vía. Parte 8: Aparatos de dilatación^[20]

Esta última es la norma de referencia a nivel europeo en la que se establecen los requisitos mínimos para la fabricación de los aparatos de dilatación y sus diversos componentes. De acuerdo con lo establecido en estos documentos, las comprobaciones que es necesario realizar para garantizar la seguridad y funcionalidad de la vía son las siguientes:

- Las tensiones en el carril debidas a la interacción entre la vía y el tablero debido al efecto de la temperatura y de las sobrecargas de uso deberán de ser inferiores a 72 MPa en el caso de

CAPÍTULO 2. FUNDAMIENTOS BÁSICOS RESPECTOS A APARATOS DE VÍA DE SISTEMA DE VÍA EN PLACA

esfuerzos de compresión (con objeto de evitar el pandeo del carril), e inferiores a 92 MPa en el caso de esfuerzos de tracción (con objeto de evitar su rotura). Estos valores máximos se corresponden con los esfuerzos aplicados sobre un carril tipo UIC60, de resistencia mínima 900 MPa, situado sobre una curva de radio mínimo de 1.500 metros y un espesor mínimo de balasto de 30 cm. Será necesario realizar la comprobación de estos valores límite si no se cumple con alguna de estas condiciones.

- El desplazamiento máximo relativo entre el carril y el tablero o la plataforma del estribo debido a las acciones de frenado y/o arranque será como máximo de 4 mm.
- El desplazamiento longitudinal relativo entre los bordes de junta (entre tableros, o entre tablero y estribo) debido a las acciones de frenado y/o arranque será como máximo de 30 mm en el caso de que se disponga aparato de dilatación.
- El resalto relativo entre bordes de junta (entre tableros, o entre tablero y estribo) en dirección perpendicular al plano medio de rodadura será como máximo de 3 mm para una velocidad de proyecto $v < 160 \text{ km/h}$ y de 2 mm para $v > 160 \text{ km/h}$.

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. Los elementos principales que conforman un aparato de dilatación son las agujas y contraagujas. El esquema general de funcionamiento de un aparato de dilatación (Figura 7), se basa en el movimiento longitudinal relativo entre contraagujas y agujas, manteniéndose siempre una de ellas en una posición fija. En el caso de los aparatos de dilatación en los que la aguja es el elemento móvil y la contraaguja se mantiene fija, se presenta un problema por incremento localizado del ancho de vía en la zona de transición de contacto entre aguja y contraaguja. Este incremento de ancho provoca problemas asociados al confort en la circulación, especialmente en líneas de alta velocidad. Este problema del mantenimiento del ancho de vía no se presenta en el caso de los aparatos de dilatación con aguja móvil y contraaguja fija, siendo estos los empleados por la mayor parte de las administraciones ferroviarias para sus líneas de alta velocidad. En este tipo de aparatos la parte fija es la contraaguja, la cual se dispone sobre el relleno del trasdós del estribo. 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.

La parte móvil del aparato es la aguja, la cual se dispone sobre el tablero de la estructura. 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.

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. Con objeto de fijar tanto aguja como contraaguja a la traviesa o a la vía en placa y permitir el movimiento adecuado de la aguja a lo largo de la contraaguja, se disponen en la zona de contacto de ambas placas de deslizamiento. Estas placas

CAPÍTULO 2. FUNDAMENTOS BÁSICOS RESPECTOS A APARATOS DE VÍA DE SISTEMA DE VÍA EN PLACA

de deslizamiento se diseñan con una resistencia longitudinal siempre inferior a 5 kN, tal y como indica la EN 13232-8.

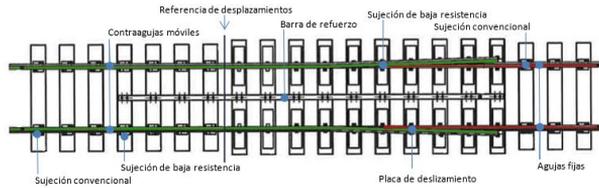


Figura 2.15: Principales elementos de que consta un aparato de dilatación

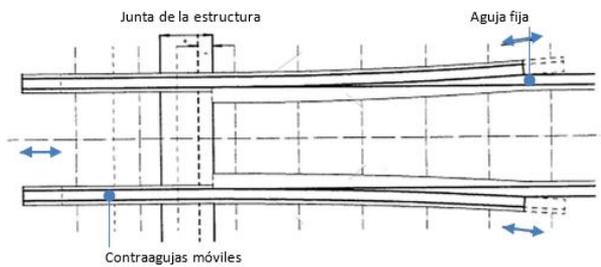


Figura 2.16: Esquema general de funcionamiento de un aparato de dilatación



Figura 2.17: Mecanizado de las agujas móviles de los aparatos de dilatación, (FUENTE: Catálogo Rail Movement Joints. Voestalpine GmbH [21])

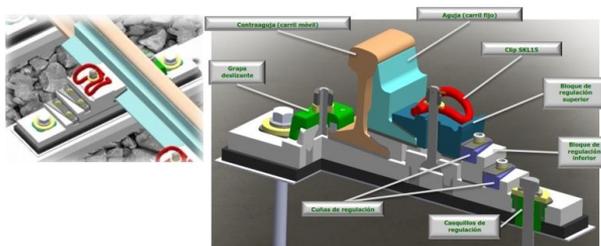


Figura 2.18: Detalle de placa de deslizamiento para aparato de dilatación, (FUENTE: ADIF crossing switches and expansion devices for high speed track [22])

CAPÍTULO 2. FUNDAMIENTOS BÁSICOS RESPECTOS A APARATOS DE VÍA DE SISTEMA DE VÍA EN PLACA

En la parte móvil del aparato de dilatación se disponen sujeciones de baja resistencia, con objeto de permitir el movimiento longitudinal de los carriles. Esta resistencia, al igual que en el caso de las placas de deslizamiento deberá ser menor de 5 kN por placa de apoyo. La resistencia de ambos elementos se fijará de conformidad con la norma EN 13146-1. 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 7 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 7 kN en los 100 puntos de apoyo que comprenden la zona central. Tal y como se ha indicado, la carrera de estos aparatos suele estar comprendida entre los 300 y los 1.200 mm. En todos los casos en la zona de la junta de la estructura aparece siempre un hueco que, sobre todo en el caso de los aparatos con mayores carreras, puede generar problemas por sobretensiones en el carril debido a esfuerzos de cortante y flexión en esta zona al incrementarse notablemente el espaciado entre traviesas. La distancia entre apoyos del carril debe de limitarse a 0,65 m. Para resolver este problema los aparatos de dilatación con mayores carreras (superiores a los 600 mm) disponen de unos elementos sobre los que apoya el carril para salvar el hueco que permite la dilatación de la estructura. En el caso particular de los últimos aparatos de dilatación implantados por ADIF se trata de perfiles metálicos sobre los que se fija el carril (Figura 14).



Figura 2.19: Elementos de soporte del carril en el hueco de la junta de estructura en aparatos de dilatación,(FUENTE: ADIF crossing switches and expansion devices for high speed track [22])



Figura 2.20: Vista general de aparato de dilatación montado en vía sobre balasto



Figura 2.21: Vista general de aparato de dilatación montado sobre vía en placa

2.2.2 Criterios para la disposición de aparatos de dilatación

De acuerdo con lo que establece ADIF en la Instrucción General para la Redacción de los Proyectos de Vía IGV^[23], será necesaria la disposición de aparatos de dilatación en aquellas estructuras hiperestáticas que cuenten con una longitud total dilatable superior a 90 metros. En el resto de los casos será necesario efectuar la comprobación de la necesidad del aparato. El criterio para la disposición del aparato de dilatación depende fundamentalmente de la ubicación del punto fijo de la estructura:

- Si se trata de una estructura hiperestática con un estribo fijo y el resto de apoyos móviles, el aparato de dilatación se dispondrá sobre el estribo opuesto al fijo, al ser el punto donde se generarían las mayores tensiones sobre el carril.

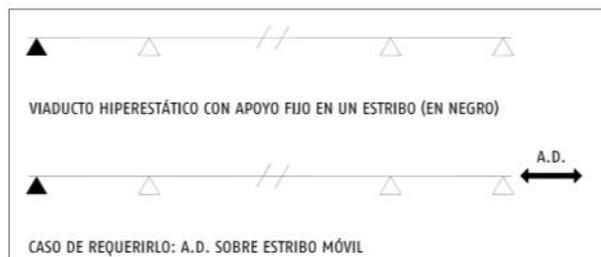


Figura 2.22: Disposición de aparatos de dilatación en estructuras hiperestáticas con estribo fijo

- Si se trata de una estructura hiperestática con un apoyo central fijo, se dispondrán aparatos de dilatación sobre los apoyos móviles de los estribos, ya que sería en estos puntos donde se producirían las mayores tensiones sobre el carril.

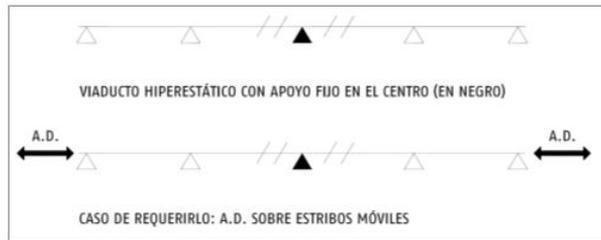


Figura 2.23: Disposición de aparatos de dilatación en estructuras hiperestáticas con apoyo central fijo

En el caso de los tableros de puentes isostáticos no es necesario disponer aparatos de dilatación, ya que el movimiento relativo del tablero entre pilas queda repartido. La disposición de los aparatos de vía se realizará de acuerdo con el esquema indicado en la siguiente figura (extraída de la Instrucción General para la Redacción de los Proyectos de Vía IGV^[23] en su Apartado 1.15 Interacción estructuras-vía), con la parte móvil del aparato del lado del tablero del puente (parte móvil de la estructura) y con la parte fija del aparato del lado del estribo (parte fija de la estructura).

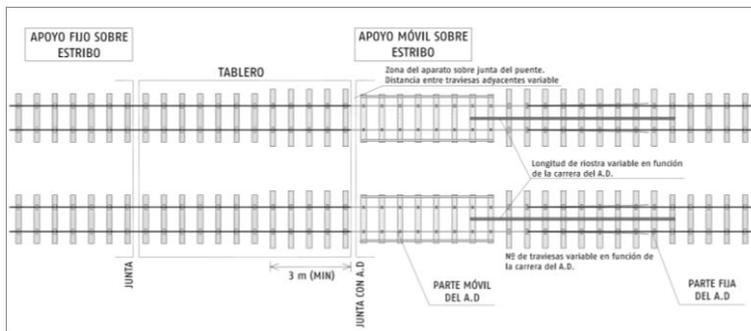


Figura 2.24: Esquema de disposición de aparatos de dilatación en estructuras

2.2.3 Tipologías de aparatos de dilatación existentes

Los aparatos de dilatación empleados por el Administrador de Infraestructuras Ferroviarias ADIF en las líneas de alta velocidad españolas son los que aparecen recogidos en el Catálogo de aparatos de dilatación de la Gerencia de Suministros y Logística de ADIF^[24]. Estos aparatos, junto con sus principales características, aparecen reflejados de manera resumida en la siguiente tabla:

CAPÍTULO 2. FUNDAMIENTOS BÁSICOS RESPECTOS A APARATOS DE VÍA DE SISTEMA DE VÍA EN PLACA

Denominación	Velocidad máxima [km/h]	Carrera máxima [mm]
ANCHO DE VÍA 1435 mm		
ADIH-G-60-300	350	300
ADIH-G-60-600	350	600
ADIH-G-60-1200	350	1.200
ANCHO DE VÍA 1668 mm (Afecciones a la Red Convencional)		
ADH-F-60-500	200	500
ADH-SA-60-300	200	300
ADH-SA-60-600	200	600
ADH-SA-60-1200	200	1.200
ANCHO DE VÍA MIXTO (Afecciones a la Red Convencional)		
ADMDH-A-60-500	200	500
ADMIH-A-60-500	200	500

Tabla 2.4: Aparatos de dilatación empleados en las líneas de alta velocidad española(FUENTE: Catálogo de aparatos de dilatación de la Gerencia de Suministros y Logística de ADIF [24])

Respecto a la nomenclatura empleada para denominar a este tipo de aparatos cabe señalar lo siguiente:

- En el primer grupo de caracteres, las dos primeras letras hacen referencia al tipo de aparato (AD aparato de dilatación). El siguiente carácter indica el ancho de vía (M métrico, I internacional, E ancho especial o ibérico si se omite este campo). En el caso de que el aparato solamente se pueda emplear sobre traviesas de hormigón se añade el campo H. En el caso de que únicamente se pueda emplear en vía en placa se añadirá el campo P.
- Los siguientes dos caracteres numéricos indican el tipo de perfil del carril empleado en el aparato.
- Para finalizar, las últimas cifras indican la carrera del aparato, expresada en milímetros (mm).

El presente documento se centrará únicamente en el análisis de los aparatos de dilatación del citado catálogo que permiten su empleo en líneas con ancho internacional y velocidades superiores a los 200 km/h. Estos aparatos son los que se recogen en la siguiente tabla indicando las características especiales de los mismos:

A ambos lados del aparato de dilatación es preciso realizar una transición gradual de la rigidez. Esta transición se resuelve disponiendo placas de asiento bajo los carriles con la rigidez adecuada

Denominación	Velocidad máxima [km/h]	Longitud [m]		Carrera máxima [mm]
		Aparato de dilatación	Transiciones elásticas elásticas	
ADIH-G-60-300	350	16,88	26,10 (44 traviesas)	300 (±150)
ADIH-G-60-600	350	17,20	26,10 (44 traviesas)	600 (±300)
ADIH-G-60-1200	350	17,55	26,10 (44 traviesas)	1.200 (±600)

Tabla 2.5: Aparatos de dilatación en líneas de alta velocidad española. Ancho internacional y $v > 200$ km/h(FUENTE: Catálogo de aparatos de dilatación de la Gerencia de Suministros y Logística de ADIF [24])

CAPÍTULO 2. FUNDAMIENTOS BÁSICOS RESPECTOS A APARATOS DE VÍA DE SISTEMA DE VÍA EN PLACA

en una longitud de 30 metros. La longitud del aparato de dilatación, sin incluir las transiciones elásticas antes mencionadas, suele ser del orden de los 17 metros. La máxima velocidad a la que permiten circular los aparatos de dilatación que actualmente emplea ADIF en sus líneas de alta velocidad es de 350 km/h. Se incluyen en las siguientes figuras los esquemas de los diferentes aparatos de dilatación antes señalados. En estos esquemas aparece indicada la longitud total del aparato (con dilatación nula), la distancia entre puntos de apoyo, el tipo de sujeción a emplear, y la geometría de la zona de dilatación. Como puede observarse en estos esquemas en viaductos donde la zona de dilatación tiene una anchura mayor que la distancia entre puntos de apoyo (600 mm) se disponen correderas o elementos de soporte para las traviesas que se encuentran en esta zona. Los últimos aparatos de dilatación implantados por ADIF en sus líneas de alta velocidad permiten resolver los problemas de apoyo del carril en el hueco de la junta de la estructura, siguiendo la filosofía indicada en el anterior apartado del empleo de vigas auxiliares sobre las que se apoyan estos carriles. Las carreras contempladas para estos nuevos aparatos son de 500 y 1.000 mm

CAPÍTULO 2. FUNDAMENTOS BÁSICOS RESPECTOS A APARATOS DE VÍA DE SISTEMA DE VÍA EN PLACA

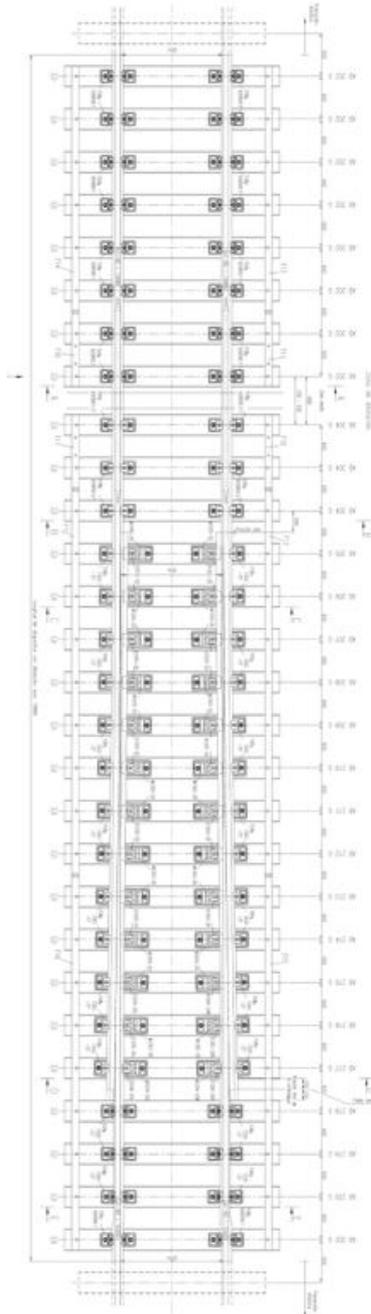


Figura 2.25: Aparato de dilatación ADIH-G-60-300, (FUENTE: Catálogo de aparatos de dilatación de la Gerencia de Suministros y Logística de ADIF [24])

CAPÍTULO 2. FUNDAMENTOS BÁSICOS RESPECTOS A APARATOS DE VÍA DE SISTEMA DE VÍA EN PLACA

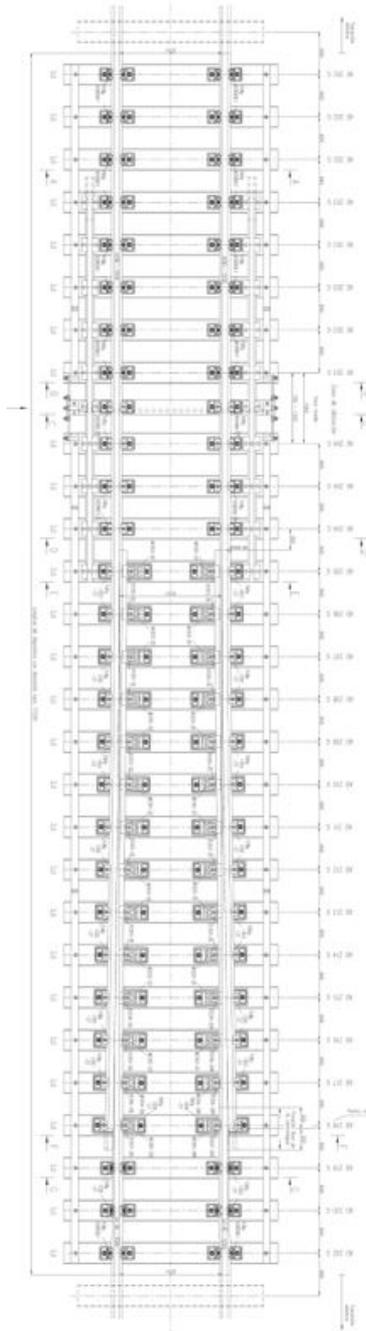


Figura 2.26: Aparato de dilatación ADIH-G-60-600, (FUENTE: Catálogo de aparatos de dilatación de la Gerencia de Suministros y Logística de ADIF [24])

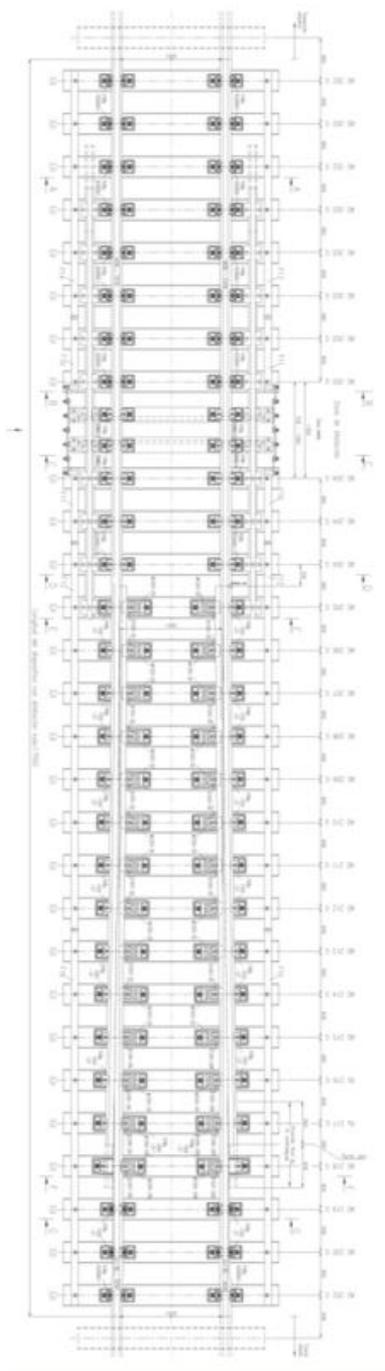


Figura 2.27: Aparato de dilatación ADIH-G-60-1200,(FUENTE: Catálogo de aparatos de dilatación de la Gerencia de Suministros y Logística de ADIF [24])

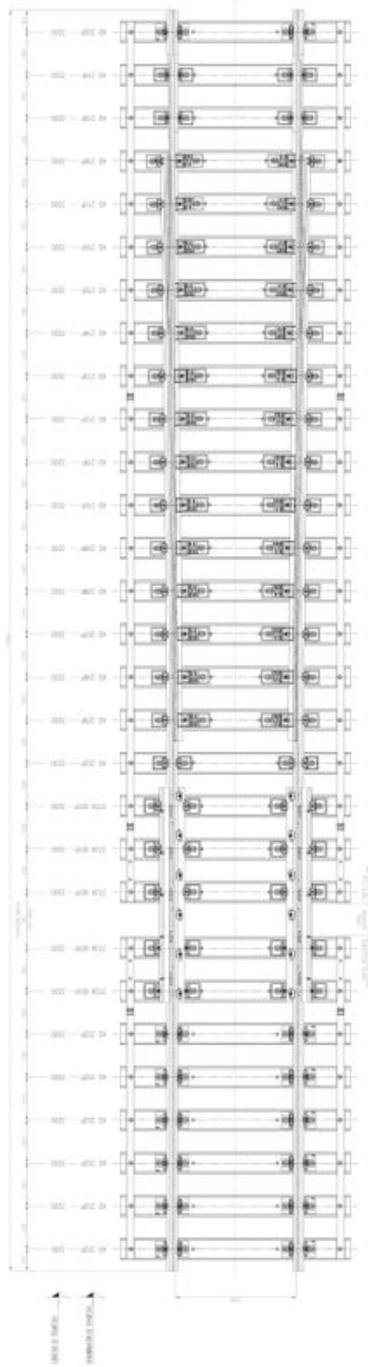


Figura 2.28: Nuevo aparato de dilatación ADH-P-60-500,(FUENTE: Catálogo de aparatos de dilatación de la Gerencia de Suministros y Logística de ADIF [24])

2.3 Análisis de posibles interferencias con las instalaciones ferroviarias

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.

2.3.1 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.

2.3.2 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.



Figura 2.29: Reserva de espacio para el motor y la timonería de un desvío en vía en placa

CAPÍTULO 2. FUNDAMIENTOS BÁSICOS RESPECTOS A APARATOS DE VÍA DE SISTEMA DE 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.



Figura 2.30: Sistema habitual de anclaje de baliza ASFA a traviesa



Figura 2.31: 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.

CAPÍTULO 2. FUNDAMIENTOS BÁSICOS RESPECTOS A APARATOS DE VÍA DE SISTEMA DE VÍA EN PLACA

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.



Figura 2.32: Figura 32. Unidades de sintonía TI-21 de Bombardier instaladas en vía estuchada

2.3.3 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.

2.3.4 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.



Figura 2.33: Canaleta prefabricada de hormigón en sección de vía sobre balasto

2.3.5 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.



Figura 2.34: 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:

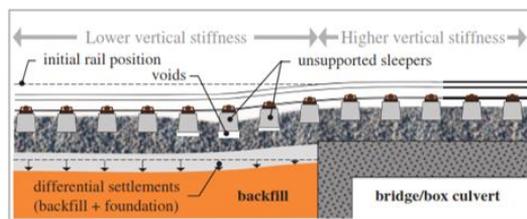
- Deberá de existir espacio libre suficiente bajo el carril para permitir el paso del cableado.
- Deberá de anclarse el cableado a la vía en placa, con objeto de evitar posibles levantamientos o enganchones.
- La superficie del alma del carril deberá de encontrarse libre con objeto de que puedan conectarse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

Capítulo 3

Fundamentos básicos respecto a zonas de transición de sistemas de vía en placa.

3.1 Análisis de la problemática existente

Uno de los puntos más sensibles de la plataforma ferroviaria son las zonas de transición entre estructuras (viaductos o túneles) y la plataforma sobre tierras, debido principalmente al cambio brusco de la rigidez vertical del conjunto que se produce en las mismas. Este problema también se manifiesta en las zonas de transición entre diferentes sistemas de vía, al verse modificada la rigidez vertical de los elementos que componen la superestructura. Esta falta de homogeneidad en la rigidez vertical de la vía provoca la aparición de aceleraciones bruscas en el material móvil, lo que se traduce por un lado en una pérdida de confort en la circulación y por otro, y más grave, en el golpeo del carril por parte de la masa no suspendida. Este golpeo provoca efectos muy dañinos sobre la vía, deteriorando el balasto bajo las traviesas y produciendo deformaciones en el carril. Este deterioro de la vía provoca una acentuación progresiva del problema, siendo necesario incrementar la periodicidad de las labores de mantenimiento en las que se realiza el bateo de la vía. Estos problemas se acentúan en el caso de la disposición de vía en placa, donde no es asumible la aparición de asientos diferenciales entre estructura y plataforma. En este caso no resulta posible la restitución de las características de la vía mediante el empleo de bateadoras, siendo necesarias labores de reparación que pueden suponer graves afecciones a la explotación de la línea.



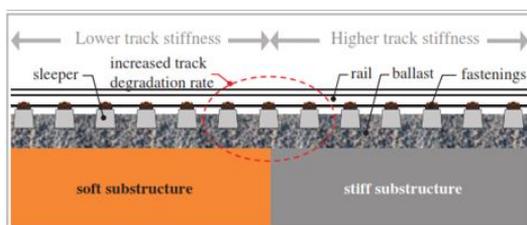


Figura 3.1: Problemática asociada a las transiciones estructura-terraplén y vía en placa-vía sobre balasto,(FUENTE: Design and construction of backfills for railway track transition zones [1])

3.2 Zonas de transición en estructuras y túneles

3.2.1 Sistemas para resolver la transición en estructuras

La solución más comúnmente utilizada para la resolución de los problemas de asentamientos diferenciales en las zonas de transición situadas en las proximidades de estructuras ha sido la ejecución de cuñas de transición, también denominados bloques técnicos. Todos estos diseños se basan fundamentalmente en las medidas generales que se relacionan a continuación:

- Relleno del trasdós del estribo de la estructura con materiales con un mayor módulo de deformación, o materiales tratados con cemento.
- Empleo de losas de transición de hormigón armado u otro tipo de material.
- Inclusión de capas horizontales en la plataforma con diferentes materiales.
- Empleo de geosintéticos para conseguir reforzar el relleno del trasdós del estribo.
- Tratamiento de la capa de forma y el subbalasto con cemento.

Del análisis de las diferentes soluciones planteadas por las distintas administraciones ferroviarias se desprende que existe una clara falta de homogeneidad en los criterios de diseño adoptados, si bien todas ellas emplean en sus diseños las mismas medidas básicas antes señaladas. Es necesario no obstante realizar las siguientes observaciones que deberán de tenerse en cuenta para el diseño:

- Resulta necesario sustituir el material de suelo QS^1 por otro tipo de material o tratar el existente de tal forma que al menos presente un módulo de elasticidad correspondiente a un material del tipo $QS2^1$.
- No se recomienda efectuar una transición directa entre material del tipo $QS2^1$ a material $QS3^1$.
- Para cada tipo de transición efectuada en las cuñas existe un valor óptimo del talud. Este valor no siempre es el más tendido como cabría esperar (3:1), sino que depende del cimiento del relleno, del tipo de transición y de los materiales empleados para efectuarla.

CAPÍTULO 3. FUNDAMIENTOS BÁSICOS RESPECTO A ZONAS DE TRANSICIÓN DE SISTEMAS DE VÍA EN PLACA.

- En las proximidades del estribo, la rigidez aumenta bruscamente cuando se emplea un material tratado con cemento como relleno. Este problema sigue sin resolverse, aunque las futuras soluciones deberán de basarse en la mejora del módulo de elasticidad del material sin que se produzcan incrementos de rigidez excesivos en el límite de la transición entre el material del tipo QS3¹ y el material tratado con cemento.

TIPO DE SUELO	CLASE
0.1. Suelos con alto contenido de materia orgánica	QS0
0.2 Suelos blandos, con contenidos de más del 15% de finos(a), con alto contenido de humedad, inapropiados para compactar	
0.3 Suelos tixotrópicos(b), como por ejemplo arcillas de gran susceptibilidad	
0.4 Suelos con materiales solubles, como por ejemplo rocas salinas o yesos.	
0.5 Terrenos contaminados, como por ejemplo por residuos industriales.	
0.6 Suelos con un contenido medio de materia orgánica	
0.7 Suelos con una elevada plasticidad, con un contenido en finos superior al 15%, suelos colapsables(e) o suelos expansivos(f)	QS1
1.1 Suelos con un contenido de finos(a) superior al 40% (excepto suelos clasificados dentro de los subgrupos 0.2 y 0.7)	
1.2 Rocas muy susceptibles a la meteorización (como por ejemplo yesos con $\rho_d < 1,7 t/m^3$ y alta friabilidad, margas, o esquistos alterados)	QS1(c)
1.3 Suelos con un contenido de finos(a) entre el 15 y el 40% (excepto suelo clasificados dentro de los grupos 0.2 y 0.7)	
1.4 Rocas moderadamente susceptibles a la meteorización (como por ejemplo yesos con $\rho_d < 1,7 t/m^2$ y baja friabilidad, o esquistos no alterados)	
1.5 Rocas blandas (Microdeval húmedo MDE > 40 y Los Ángeles LA > 40)	QS2(d)
2.1 Suelos con un contenido de finos(a) comprendido entre el 5 y el 15%, excepto suelos colapsables(e).	
2.2 Suelos uniformes (CU ≤ 6), con un contenido de finos(a) inferior al 5%, excepto suelos colapsables(e).	
2.3 Rocas de dureza media (Microdeval húmedo MDE 25 < MDE ≤ 40 y Los Ángeles LA 30 < LA ≤ 40)	QS3
3.1 Suelos bien graduados, con un contenido en finos(a) inferior al 5%.	
3.2 Rocas duras (Microdeval húmedo MDE ≤ 25 y Los Ángeles LA ≤ 30)	

Tabla 3.1: Clasificación de los tipos de suelo (UIC Code 719 R Earthworks and track bed construction for railway lines [2])

(a) Estos porcentajes se calcularán a partir del análisis granulométrico realizado sobre la fracción de material que pasa el tamiz de 60 mm. Estos porcentajes se pueden incrementar hasta en un 5% cuando el número de muestras tomadas sea suficientemente representativo.

(b) Algunas administraciones ferroviarias incluyen este tipo de suelos dentro de la clase QS1.

(c) Estos suelos se pueden clasificar como clase QS2 si las condiciones hidrogeológicas e hidrológicas son buenas.

(d) Estos suelos se pueden clasificar como clase QS3 si las condiciones hidrogeológicas e hidrológicas son buenas.

(e) El asiento en el ensayo de colapso es superior al 1% para muestras inalteradas o muestras remoldadas con la densidad del ensayo Proctor Normal y una presión normal de 0,2 MPa.

CAPÍTULO 3. FUNDAMIENTOS BÁSICOS RESPECTO A ZONAS DE TRANSICIÓN DE SISTEMAS DE VÍA EN PLACA.

(f) El hinchamiento libre es superior al 3% para muestras inalteradas o remoldadas con la densidad del ensayo Proctor Normal.

la guía de referencia para el diseño de estas transiciones es la UIC 719 Earthworks and track bed construction for railway lines^[2]. De este documento se extraen las dos soluciones que se describen en los siguientes apartados.

Sistema empleado por la administración ferroviaria española

En el caso español, el Administrador de Infraestructuras Ferroviarias (ADIF) establece en la Instrucción General para Proyectos de Plataforma [3] IGP-1.2 Recomendaciones sobre las cuñas de transición de junio de 2011, los criterios en base a los cuales debe de realizarse el diseño de las cuñas de transición, tanto en las proximidades de estructuras como de obras de paso enterradas. Esta instrucción establece la necesidad de realizar un estudio particularizado para cada cuña de transición de los asientos diferidos previsibles en los dos años siguientes a la puesta en servicio de la línea, con objeto de obtener una curva de asientos a lo largo del tiempo en la zona de transición. La cuña de transición deberá de diseñarse de tal modo que, en el caso de cuñas asociadas a estribos móviles, los asientos diferidos obtenidos del estudio sean prácticamente nulos en los primeros 15 metros, para evitar problemas en el aparato de dilatación. En el caso de estribos fijos esta limitación se establece en un máximo de 5 cm en los primeros 25 metros, al no existir este condicionante. El esquema planteado por ADIF para la resolución de las transiciones entre estructuras y terraplenes es el que aparece reflejado en la siguiente figura extraída de la citada Instrucción:

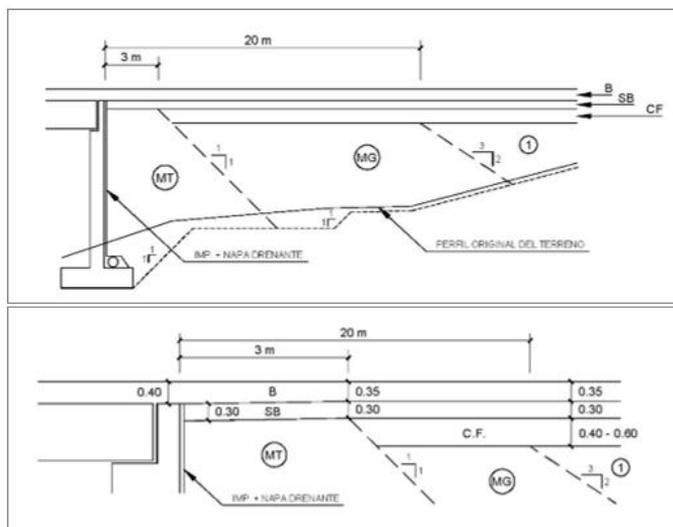


Figura 3.2: Esquema de cuña de transición ADIF,(FUENTE: Instrucción general para proyectos de plataforma IGP-2011 [3])

CAPÍTULO 3. FUNDAMIENTOS BÁSICOS RESPECTO A ZONAS DE TRANSICIÓN DE SISTEMAS DE VÍA EN PLACA.

Con carácter previo a la ejecución de los rellenos correspondientes a las cuñas de transición se procederá a realizar los tratamientos del terreno necesarios para garantizar las adecuadas condiciones de cimentación. Según el esquema anterior deberá procederse al relleno y compactación del trasdós del estribo de la estructura mediante un material tratado con cemento en una distancia de 3 metros desde el extremo de dicho estribo. El talud aparente de este relleno en su contacto con los rellenos posteriores será 1H:1V. El material empleado para la ejecución de este relleno deberá tener un contenido de finos de baja plasticidad (por debajo del tamiz 0,080 UNE) inferior al 5% (este porcentaje podría aumentarse hasta el 15% siempre y cuando se tratase de finos no plásticos (LL<25 y IP<7), pudiendo llegar a admitirse cierta plasticidad (LL<30) que se neutralizaría con la compactación realizada al ejecutar la cuña). El contenido de cemento mínimo será del 3% de la masa seca del material tratado. Sobre este relleno, en esos primeros 3 metros, no se dispondrá capa de forma, sino que se extenderá directamente el subbalasto con un espesor de 30 cm. La cuña se completará mediante el relleno y compactación de un material granular, que deberá cumplir con los requisitos establecidos por esta administración para su empleo como capa de forma, hasta una distancia de 20 metros desde el paramento interior del estribo. En este caso el talud aparente que presentará este relleno en su contacto con el relleno posterior será 3H:2V. Los requisitos planteados por esta administración para el empleo de un material como capa de forma son los siguientes:

Parámetro	Número mínimo	Valor de referencia	Valor extremo	% ensayos comprendidos entre valor de referencia y extremo
Tamaño máximo	8	$T_{max} \leq 10 \text{ cm}$	$T_{max} \leq 12 \text{ cm}$	< 10 %
Pasante por el tamiz 2 (2mm)	8	$30 \leq \# 2 \text{ mm} \leq 65\%$	$25 \leq \# 2 \text{ mm} \leq 70\%$	< 15 %
Contenido en finos	8	Finos $\leq 5 \%$	Finos $\leq 7 \%$	< 15 %
Límites de plasticidad	8			
Contenido en materia orgánica	8	$MO \leq 0,2\%$	$MO \leq 0,3\%$	< 15 %
Índice CBR	8	$CBR \geq 15$	$CBR \geq 8$	< 15 %
Hinchamiento en CBR	8	$HincCBR \leq 0,2\%$	$HincCBR \leq 0,3\%$	< 15 %
Desgaste de Los Angeles	8	$LA \leq 30\%$	$LA \leq 35\%$	< 15 %
Ensayo Micro Deval húmedo	8	$MD \leq 25\%$	$MD \leq 30\%$	< 15 %

Tabla 3.2: Requisitos exigidos para considerar un material como apto para capa de forma

Aparte del cumplimiento de los parámetros anteriores, este material deberá estar exento de material vegetal constituida, y el contenido de finos deberá de ser tal que el pasante por el tamiz 0,080 UNE no supere el 15%, con un límite líquido inferior a 30 y un índice de plasticidad inferior a 10. En el caso de las obras de fábrica enterradas el diseño y los materiales empleados en la ejecución de la cuña de transición es similar al planteado anteriormente dependiendo de la altura del relleno existente desde la losa superior de la obra de fábrica hasta la cara inferior del subbalasto (H), pudiendo presentarse los siguientes casos:

- $H > 2$. La cuña se ejecutará con material granular (MG) con características similares al empleado en la capa de forma, a ambos lados de la estructura (a una distancia de 3 m del paramento exterior de los hastiales, con taludes aparentes 3H/2V), y un espesor de 80 cm sobre su losa superior.
- $0,60 < H < 2,00$. La cuña se ejecutará con material granular (MG) con características similares al empleado en la capa de forma, a ambos lados de la estructura (a una distancia de

CAPÍTULO 3. FUNDAMIENTOS BÁSICOS RESPECTO A ZONAS DE TRANSICIÓN DE SISTEMAS DE VÍA EN PLACA.

20 m del paramento exterior de los hastiales, con taludes aparentes 3H/2V), y llevando este relleno hasta la cota de apoyo de la capa de forma.

- $CF < H < 0,60$. En este caso la cuña se ejecutará con material tratado con cemento (MT), a una distancia de 3 metros del paramento exterior de los hastiales, con taludes aparentes de 1H/1V). A continuación de este relleno se ejecutará otro con material granular (MG) con características similares al empleado en la capa de forma, hasta una distancia de 20 metros de los hastiales y con un talud aparente 3H:2V.

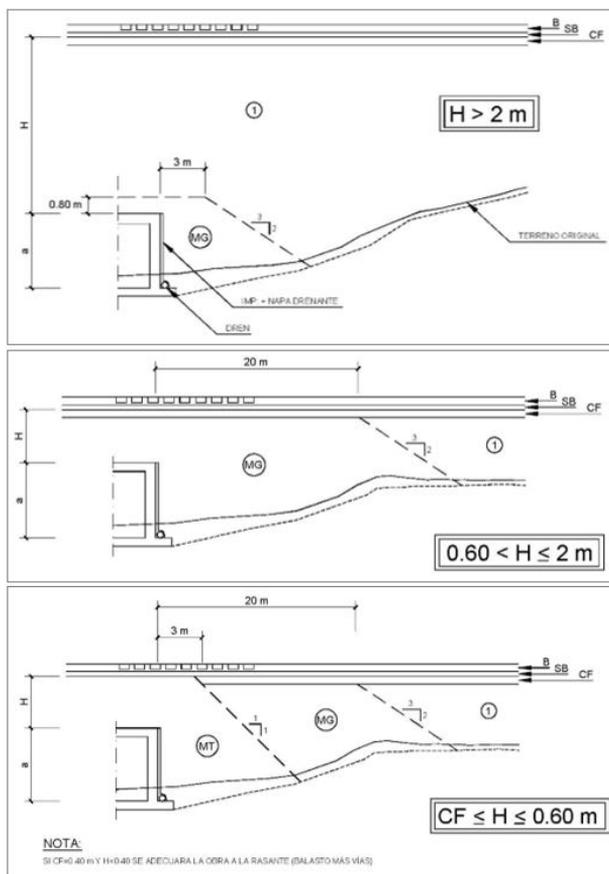


Figura 3.3: Transición de la plataforma en el caso de obras de fábrica enterradas,(FUENTE: Instrucción general para proyectos de plataforma IGP-2011 [3])

En aquellos casos en los que la estructura se encuentra desviada, la cuña de transición se resuelve de acuerdo con el esquema representado en la figura adjunta. Cuando el desfase entre las cuñas es inferior a 5 metros se procede a unificar el límite de la cuña a todo el ancho de la plataforma. Cabe señalar que el esquema descrito se ha planteado para vía sobre balasto, y no vía en placa, no existiendo indicaciones para este segundo supuesto.

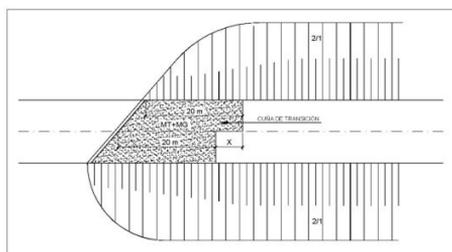


Figura 3.4: Detalle de cuña de transición en estructuras esviadas,(FUENTE: Instrucción general para proyectos de plataforma IGP-2011 [3])

Sistema empleado por los ferrocarriles alemanes

La ficha UIC 719 recoge también un esquema de la transición empleada por la administración ferroviaria alemana. En este caso la solución también se basa en el relleno del trasdós del estribo mediante un material tratado con cemento (de acuerdo con la norma alemana ZTVE-StB), con un contenido entre el 2,5 y el 3,0% y una densidad $DP_r \geq 0,98$. El talud de este relleno deberá de ser como máximo del 1H:1V, situándose la cabeza del mismo a una distancia aproximada de 1 metro por debajo de la explanada y a una distancia mínima de 1,50 metros con respecto al paramento exterior del estribo. En el esquema se plantean también soluciones para el correcto drenaje del trasdós del estribo. Adosado a este relleno se plantea un nuevo relleno con un material del tipo GW,GI,SW o SI de acuerdo con la norma alemana DIN 18196, al que se le exige una densidad $DP_r \geq 1,00$. El talud de este relleno será como mínimo máximo del 1H:2V, situándose la cabeza del mismo a la misma cota que la capa de protección frente a heladas y a una distancia que es función de la velocidad de circulación de los trenes l_H , que para velocidades superiores a los 250 km/h debe de ser igual o mayor que 20 metros.

Como medida adicional se plantea la disposición de una capa estabilizada con conglomerantes hidráulicos en la parte superior del relleno con un espesor d_v , y una longitud l_v , que son función de la velocidad de circulación de los trenes. Así para velocidades superiores a los 250 km/h este espesor deberá ser superior a 0,50 metros y la longitud de la capa desde el parámetro exterior del estribo de 10 metros como mínimo.

Esta administración sí que establece unos valores mínimos del módulo de deformación en la parte superior de cada una de las capas que constituyen el relleno. Así para el cimiento del relleno se exige un valor mínimo de $E_{V2} \geq 45MN/m^2$, para la capa de forma un valor mínimo de $E_{V2} \geq 80MN/m^2$ y para para el subbalasto o parte superior de la explanada un valor mínimo de $E_{V2} \geq 120MN/m^2$.

Sistema empleado por los ferrocarriles italianos

La solución empleada por la administración italiana para efectuar las transiciones entre estructura y terraplén, y recogida en el Ficha UIC 719, vuelve a ser muy similar a las anteriores. Al igual que en los casos anteriores se plantea el relleno del trasdós del estribo mediante un material tratado con cemento (compactado en capas de 20 cm), definiéndose la coronación del mismo a 1 metro del paramento del estribo y con un talud aparente de 1H:1V. A continuación de este relleno se dispone un relleno con material granular con una densidad $d_s \geq 98\%$, un módulo de deformación $M_d > 800kg/cm$ y un $CBR > 50$. El relleno se deberá extender y compactar en capas con un

CAPÍTULO 3. FUNDAMIENTOS BÁSICOS RESPECTO A ZONAS DE TRANSICIÓN DE SISTEMAS DE VÍA EN PLACA.

Type	Main group	Particle size fraction in % by mass Particle size		Definition	Distinguishing characteristics characteristics	Examples
GW	Coarse-grained soils	< 5%	≤ 60%	Wide-graded gravel-gravel mixtures	Continuous grading curve extending over	River gravel and beach gravel Volcanic slag
GI				Gap-graded gravel-gravel mixtures	Mostly staggered lack of one or grading curve due to lack of one or several particlesize ranges	
SW		< 5%	> 60%	Wide-graded sand-gravel mixtures	Step grading curve due to prevalence of one particle size range	Moraine sand, terrace sand, granitic sand
SI				Gap-graded sand-gravel mixtures	Step grading curve due to prevalence of one particle size range	

Tabla 3.3: Requisitos exigidos para considerar un material como apto para capa de forma

espesor de 20 cm. El talud del relleno será 2H:1V y su coronación se situará a una distancia del es- tribo igual a la altura del mismo, con un mínimo de 8 metros. En la parte superior de la explanada, en los primeros 20 metros se dispone una capa de 60 cm de espesor, en la que se disponen de man- era alterna capas de material tratado con cemento y material granular fuertemente compactado con un espesor mínimo de 20 cm cada una.

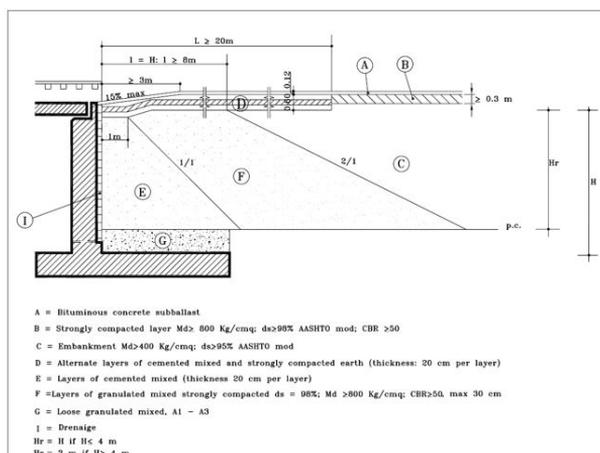


Figura 3.5: Bloques técnicos planteados por la administración ferroviaria italiana, (FUENTE: UIC CODE 719 [2])

Sistema empleado por los ferrocarriles franceses

En el caso francés el esquema de funcionamiento de las cuñas de transición vuelve a ser similar. La longitud mínima de la cuña de transición es de 20 metros, tratándose con cemento tanto la capa de forma como el subbalasto.

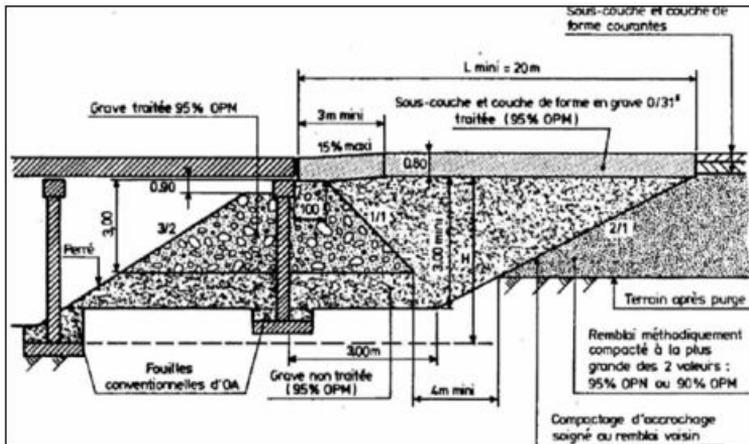


Figura 3.6: Bloques técnicos planteados por la administración ferroviaria francesa, (FUENTE: Reducción de las variaciones de rigidez vertical de la vía: Establecimiento de criterios de diseño, recepción y mantenimiento de las infraestructuras ferroviarias (CENIT-TRANSyT) [4])

3.2.2 Singularidades de las transiciones en tramos con vía en placa

Uno de los principales inconvenientes de los sistemas de vía en placa es que, una vez ejecutada la obra y puesta en servicio la línea, resulta muy complicado el rectificar la geometría inicial de la vía en el caso de que se produzcan asentamientos diferenciales, sin que se vea afectada la explotación de la misma. Las soluciones descritas en el apartado anterior no hacen referencia a esta limitación, por lo que en el caso de transiciones entre estructura y terraplén que se planteen en tramos diseñados con vía en placa, deberán de tenerse muy en cuenta esta limitación de asentamientos, planteando medidas adicionales para evitar los mismos. Cabe señalar no obstante que los valores contemplados por la empresa SSF Ingenieure (consultora alemana con amplia experiencia en la redacción de proyectos de líneas de ferrocarril con vía en placa) para el módulo de deformación tanto del cimiento de la cuña de transición ($E_{V2} \geq 45 MN/m^2$), como de la explanada ($E_{V2} \geq 120 MN/m^2$) son los mismos que aparecen recogidos en la ficha UIC 719 comentados anteriormente, por lo que la transición descrita en dicho documento podría ser válida para su empleo en sistemas de vía en placa.

CAPÍTULO 3. FUNDAMENTOS BÁSICOS RESPECTO A ZONAS DE TRANSICIÓN DE SISTEMAS DE VÍA EN PLACA.

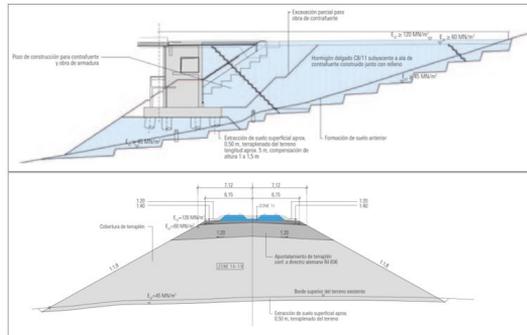


Figura 3.7: Transición viaducto-terraplén. Diseño y especificaciones para los materiales a emplear, (FUENTE: Vías sin balasto en tramos de alta velocidad (SSF Ingenieure))

Según el Estudio de criterios para el diseño y construcción de viaductos con vía en placa [5] de ADIF, en aquellos casos en los que la vía en placa se dispone no solo en la estructura, sino que tiene continuidad a lo largo del terraplén, deberá de estudiarse con detalle los asientos diferenciales previstos entre el estribo de la estructura y el relleno del trasdós. Según este documento si este asiento se prevé que sea superior a 5 mm deberán de disponerse medidas adicionales que limiten estas deformaciones y garanticen la estabilidad estructural del sistema. La principal medida a adoptar será la ejecución de una losa de transición de hormigón armado, apoyada firmemente sobre el estribo de la estructura y de forma elástica sobre el relleno del trasdós previsto en el bloque técnico. Bajo esta losa se dispondrá una capa granular de protección.

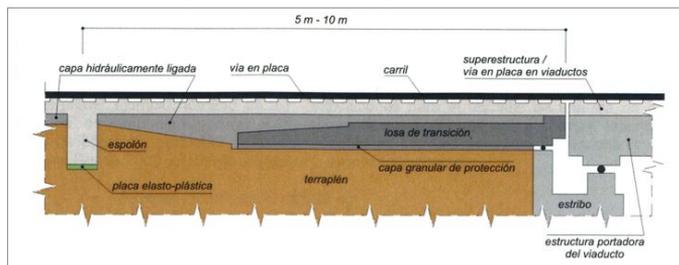


Figura 3.8: Medidas adicionales en transiciones estructura-terraplén con vía en placa. Losa de transición, (FUENTE: Estudio de criterios para el diseño y construcción de viaductos con vía en placa. ADIF [5])

En aquellos casos en los que la estructura permita la disposición de más de una vía, las losas de transición se diseñarán y ejecutarán de forma independiente para cada una de ellas. El grosor y la longitud de estas losas deberán de establecerse de tal modo que en el eje de apoyo de las losas de transición no se supere un valor del ángulo final de tangente de 1,45 milésimas. Adicionalmente a la losa de transición, y con objeto de estabilizar la posición de la vía en placa, deberá de ejecutarse un espaldón o tación armado unido firmemente a la estructura de la vía en placa en la zona de relleno del trasdós del estribo. Este tación se dispondrá a una distancia comprendida entre los 5 y

CAPÍTULO 3. FUNDAMIENTOS BÁSICOS RESPECTO A ZONAS DE TRANSICIÓN DE SISTEMAS DE VÍA EN PLACA.
DE VÍA EN PLACA.

los 10 metros respecto al estribo de la estructura. Es necesario colocar también bajo el mismo una placa elasto-plástica con un espesor mínimo de 20 mm con objeto de amortiguar el asentamiento de la vía en placa en este punto. La disposición de este tacón permite además contar con un punto fijo para asegurar la correcta dilatación de la vía en placa por efecto de la temperatura (entre este tacón y la junta de separación con la estructura), al limitar el movimiento longitudinal de la misma. Todas estas medidas deberán de garantizar asientos inferiores a 1 mm, permitiendo la corrección de la posición de la vía sin tener que recurrir a intervenciones bajo la losa portante. Soluciones similares se plantean en otros sistemas de vía en placa, como por ejemplo en el caso del sistema ÖBB-PORR (Figura 10). La longitud a la que se sitúa el tacón entra dentro del rango establecido por la solución indicada por ADIF. La principal diferencia aparece en la inclusión de anclajes entre la losa de transición y la estructura de vía en placa (2 filas de anclajes situados a 0,80 y 2,00 metros de 25 mm de diámetro).

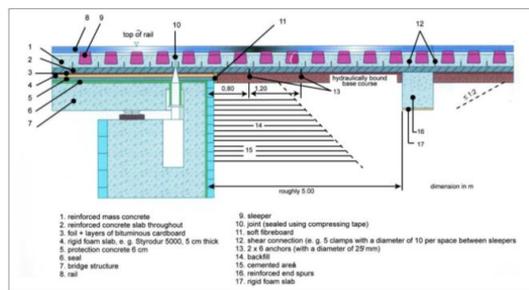


Figura 3.9: Medidas adicionales para las transiciones estructura-terraplén en sistemas de vía en placa (ÖBB-PORR), (FUENTE: Efficient Low Cost Renewal and Refurbishment Methods for Tracks in Tunnels and on Bridges and Viaducts (Urbantrack) [6])

En la siguiente figura se incluye un esquema de otra tipología de transición en el estribo de viaductos, de características muy similares a la planteada por ADIF. En este caso la fuente es el documento: Efficient Low Cost Renewal and Refurbishment Methods for Tracks in Tunnels and on Bridges and Viaducts [6].

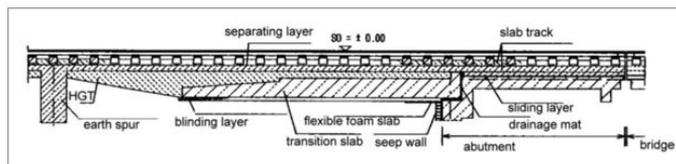


Figura 3.10: Medidas adicionales para las transiciones estructura-terraplén en sistemas de vía en placa, (FUENTE: Efficient Low Cost Renewal and Refurbishment Methods for Tracks in Tunnels and on Bridges and Viaducts (Urbantrack) [6])

3.2.3 Sistemas para resolver la transición en túneles

En el caso de las transiciones entre túneles y plataformas a cielo abierto, el problema de los asientos diferenciales resulta más sencillo de resolver dado que en general los materiales que sirven de apoyo para el sistema de vía en placa presentan unas mejores características resistentes. No obstante, lo anterior y con objeto de permitir realizar una transición gradual de rigideces se suele disponer una losa de transición de hormigón armado y sección variable en conexión con la solera del túnel. Sobre esta losa se disponen el resto de capas correspondientes al sistema de vía en placa adoptado, generalmente constituido por una capa de protección frente a heladas y una base hidráulica.

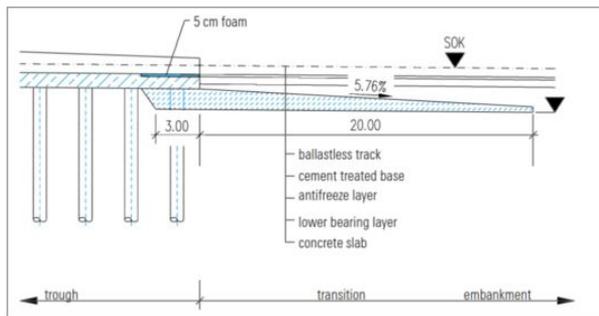


Figura 3.11: Esquema de transición entre túnel y plataforma a cielo abierto en sistemas de vía en placa, (FUENTE: Slab track systems on different substructures (SSF Ingenieure) [7])

Otro de los problemas que se plantean en estas transiciones son los posibles movimientos longitudinales relativos entre el túnel y la vía en placa en el exterior como consecuencia de las fuerzas de frenado y arranque. Este problema se resuelve mediante la disposición de anclajes en la zona entre traviesas que permiten conectar la vía en placa con la losa de transición y la solera del túnel respectivamente. Adicionalmente se disponen rebajes en la losa que también permiten limitar estos movimientos longitudinales.

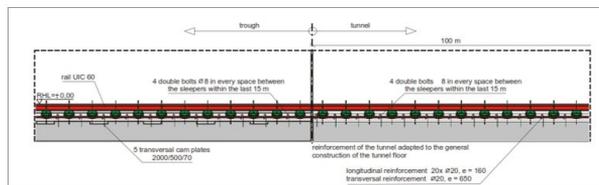


Figura 3.12: Esquema de transición entre túnel y plataforma a cielo abierto en sistemas de vía en placa, (FUENTE: Slab Track System RHEDA 2000. Description of the system (Pfleiderer Aktiengesellschaft) [8])

3.3 Zonas de transición placa-balasto

3.3.1 Generalidades. Descripción del problema

Otro de los problemas que plantea el diseño del nuevo sistema de vía en placa es la resolución de la problemática existente en las zonas de transición con la vía sobre balasto. En estas zonas la variación súbita de la rigidez vertical de la vía provoca el incremento brusco de las aceleraciones verticales en el material móvil. Estas variaciones bruscas de la aceleración vertical producen a su vez incrementos en los esfuerzos dinámicos verticales que sufre la vía. Estos esfuerzos localizados son muy dañinos para la vía ya que, aparte de suponer una merma notable en el confort de los viajeros, son transmitidos a la capa de balasto situada bajo las traviesas, provocando el paulatino deterioro de la misma y la aparición de deformaciones en el carril. Estas deformaciones no hacen sino aumentar la gravedad del problema ya que contribuyen a aumentar las aceleraciones verticales y por lo tanto los esfuerzos a los que se ve sometida la vía. Una vez que aparece el problema y es detectado, la única solución consiste en el empleo de máquinas bateadoras que restituyan la vía a su posición original. No obstante lo anterior, el empleo sistemático de este procedimiento conduce al rápido deterioro del material que conforma la capa de balasto, perdiendo sus características resistentes y siendo necesaria su sustitución.

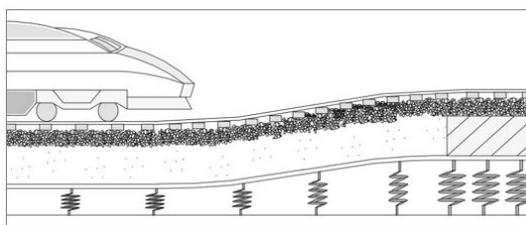


Figura 3.13: Esquema de respuesta de la infraestructura frente a las cargas del tráfico en zonas de transición,(FUENTE: Innovations in railway track (Coenraad Esveld) [9])

En el presente apartado se lleva a cabo un análisis de las diferentes soluciones de las soluciones planteadas hasta la fecha para intentar resolver este problema por parte de las diferentes administraciones ferroviarias.

3.3.2 Técnicas empleadas para resolver el problema

Del análisis de las distintas soluciones planteadas por las diferentes administraciones ferroviarias para resolver este problema se deduce que no existe una solución única. Todas ellas se basan en el empleo de diferentes medidas que, conjugadas entre sí, permiten alcanzar el objetivo previsto con mayor o menor éxito. Estas medidas pueden clasificarse, en función del objetivo que persiguen y de la zona en la que se aplican en medidas tendentes a reducir los asientos diferenciales y medidas tendentes a homogeneizar la rigidez de la vía. Las primeras se aplican como norma general en la subestructura, mientras que las segundas son de aplicación en la superestructura de vía.

Medidas adoptas para limitar los asientos diferenciales

CAPÍTULO 3. FUNDAMIENTOS BÁSICOS RESPECTO A ZONAS DE TRANSICIÓN DE SISTEMAS DE VÍA EN PLACA. DE VÍA EN PLACA.

Empleo de losas de hormigón y materiales tratados con cemento

Una de las medidas más habituales en la definición de las zonas de transición entre vía en placa y vía sobre balasto es la mejora de la parte superior de la explanada mediante la inclusión de capas de materiales tratados con cemento o la prolongación de la base hidráulica del propio sistema de vía en placa. Otra de las medidas que se suele adoptar es el diseño de una losa de hormigón armado como elemento de soporte de la vía sobre balasto en los primeros metros de la transición.

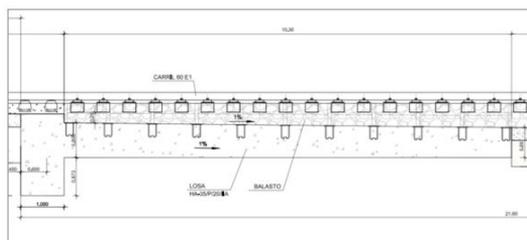


Figura 3.14: Losa de hormigón en zona de transición placa-balasto,(FUENTE: Instrucción general para la redacción de proyectos de vía IGV-2011 [10]. IGV-1.15 Interacción vía-estructura)

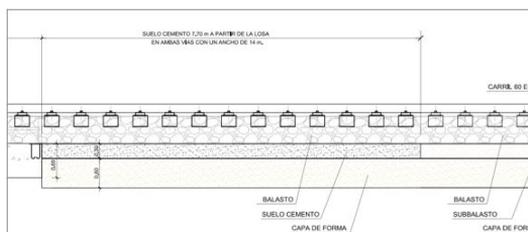


Figura 3.15: Capas tratadas con cemento en la parte superior de la explanada,(FUENTE: Instrucción general para la redacción de proyectos de vía IGV-2011 [10]. IGV-1.15 Interacción vía-estructura)



Figura 3.16: Losa de hormigón en zona de transición placa-balasto a la salida de los túneles de Guadarrama,(FUENTE: Montaje de vía de alta velocidad en placa (iIR España) [11])

Empleo de geomallas

Estos elementos dispuestos bajo la capa de balasto permiten reducir los asentamientos de esta capa, aumentando además la durabilidad del balasto y reducir las operaciones de mantenimiento. La normativa de referencia en este sentido es la UNE EN-13250 Geotextiles y productos relacionados. Requisitos para su uso en construcciones ferroviarias.

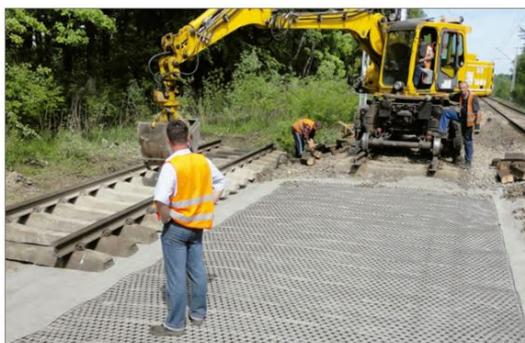


Figura 3.17: Empleo de geomallas para incrementar la capacidad portante

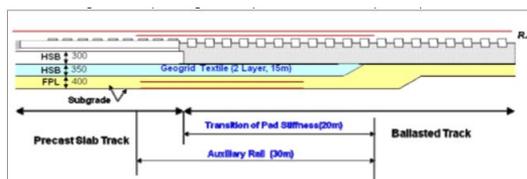


Figura 3.18: Esquema del empleo de geomallas en las transiciones de vía en placa a vía en balasto, (FUENTE: A study of track and train dynamic behavior of transition zone between concrete slab track and ballasted track [12])

Medidas adoptadas para homogeneizar la rigidez de la vía

Placas de asiento bajo carriles con elasticidad variable

Una de las técnicas empleadas para tratar de homogeneizar la rigidez vertical de la vía en la zona de transición, es el empleo de placas de asiento bajo los patines de los carriles con una elasticidad variable, realizándose esta transición de elasticidad gradualmente en varias fases (de 3 a 5 según la bibliografía consultada). Las placas de asiento tienen por objeto:

- Asegurar un contacto permanente y sin holguras entre el carril y la traviesa
- Mantener el ancho de vía dentro de las tolerancias establecidas
- Proporcionar aislamiento eléctrico adecuado entre los carriles
- Disminuir el nivel de presiones que llega a las traviesas
- Reducir las vibraciones

CAPÍTULO 3. FUNDAMIENTOS BÁSICOS RESPECTO A ZONAS DE TRANSICIÓN DE SISTEMAS DE VÍA EN PLACA.

- Disminuir los niveles de ruido generado por el tránsito de vehículos

El valor máximo de la rigidez de la placa de asiento suele ser del orden de 50kN/mm en el caso de vía en placa. La rigidez de la placa de asiento tiene un límite inferior de 25kN/mm , con objeto de evitar problemas de giro o levante del carril, mantener el ancho de vía y evitar la aparición de problemas de fatiga en la sujeción.

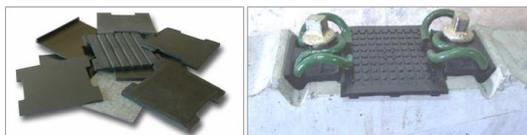


Figura 3.19: Placas de asiento bajo carril

En el documento *A Study of Track and Train Dynamic Behavior of Transition Zone Between Concrete Slab Track and Ballasted Track* [12], en el que se analizan los diferentes factores que influyen en este tipo de transiciones se plantea la disposición de placas de asiento con una rigidez gradualmente decreciente entre los valores de 50kN/mm de la sección de vía en placa y los $22,5\text{kN/mm}$ que se disponen en la vía sobre balasto. Esta transición se realiza a lo largo de una longitud de 20 metros, contados desde el extremo de la vía en placa, empleando para ello placas con hasta 5 valores distintos de rigidez. Esta solución también es empleada en algunos casos para variar la rigidez vertical de la vía, pero en la zona de vía sobre balasto, modificando estas rigideces a lo largo de la zona de transición entre los $22,5\text{kN/mm}$ en la finalización de la vía en placa y los 100kN/mm en la sección de vía sobre balasto. Un ejemplo de cómo se realiza esta transición es el empleado por ADIF en transición de vía en placa Rheda 2000 a vía sobre balasto (ver tabla 4).

Suelas elásticas bajo traviesa

Otra de las técnicas empleadas con objeto de homogeneizar la rigidez de la vía es el empleo de suelas elásticas bajo las traviesas en la sección de vía sobre balasto. El balasto es la capa más débil de la estructura debido fundamentalmente a las fuertes cargas a las que está sometido y a los fenómenos de rotura y desgaste del material que lo compone. El empleo de estos elementos permite reducir las cargas a las que se ve sometido este material, evitando así el desgaste y la desconsolidación del mismo. El rango de rigideces que presentan está comprendido entre 100 y 240kN/mm .



Figura 3.20: Suelas elásticas bajo traviesa, (FUENTE: Experimental investigation of railway track with under sleeper pad (Stjepan Lakusic) [13])

CAPÍTULO 3. FUNDAMIENTOS BÁSICOS RESPECTO A ZONAS DE TRANSICIÓN DE SISTEMAS DE VÍA EN PLACA.

Estas suelas elásticas tienen un espesor generalmente comprendido entre los 10 y los 20 mm. Suelen estar constituidas por materiales elastoméricos del tipo poliuretano, caucho o goma EVA, aunque en ocasiones suelen emplearse dos materiales, encargándose el dispuesto en el lado exterior de proteger al interior de los fenómenos abrasivos. Estos elementos se fijan a la superficie inferior de las traviesas siguiendo alguno de los siguientes métodos:

- Revestimiento mediante spray o pintura sobre el hormigón endurecido de la traviesa.
- Pegado al hormigón endurecido.
- Colocación directa sobre el hormigón fresco durante el proceso de fabricación de la traviesa.
- Colocación directa sobre el hormigón fresco mediante una capa de unión, generalmente constituida por una geomembrana o bien arido fino.

El empleo de estos elementos presenta las siguientes ventajas:

- Se consigue aumentar la superficie de contacto entre traviesas y balasto del orden de un 30%, lo que permite mejorar de forma considerable la transmisión de esfuerzos entre ambos elementos de la sección. En este sentido las cargas transmitidas al balasto se reducen del orden de entre un 20 y un 30%.
- Reduce los fenómenos de ruido (del orden de 8 a 15 dB), y de vibración (del orden de un 30% menos), con frecuencias superiores a los 40 H_z .
- Según algunos estudios se podría reducir incluso el espesor de la capa de balasto bajo traviesa mediante el empleo de estos elementos del orden de unos 10 cm.
- Aumenta la resistencia lateral de la vía del orden de un 9%.
- Reduce la frecuencia con la que deben de realizarse las labores de bateo del balasto, y por lo tanto los costes de operación y mantenimiento, especialmente en líneas con tráfico pesado.
- Mejora en la calidad geométrica de la vía, lo que redonda en una mejora de los niveles de confort en la circulación.

Aparte de en estas zonas las suelas bajo traviesa suelen emplearse también en las traviesas de aparatos de vía o en zonas donde resulta complicado el realizar las labores de bateo, en puentes con vía sobre balasto (tanto sobre el tablero como a ambos lados de la estructura), en zonas donde es necesario reducir los niveles de ruido y vibración.

Empleo de carriles auxiliares

Se trata de una de las medidas más extendidas. Consiste en la disposición de dos carriles auxiliares en la zona de transición, interiormente a los carriles de rodadura, fijándolos tanto a la sección de vía en placa como a las traviesas en la zona de vía sobre balasto.

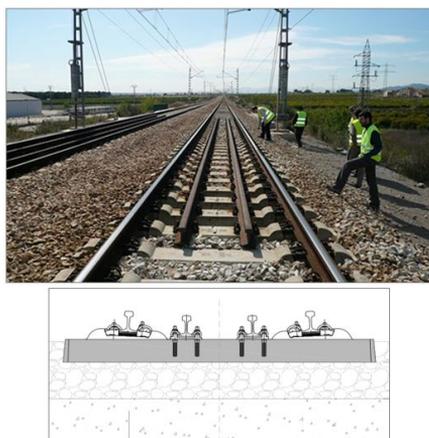


Figura 3.21: Disposición de carriles adicionales sobre traviesa en zonas de transición placa-balasto

El objeto de la disposición de estos carriles es que trabajen de forma solidaria con los carriles de rodadura, arriostrando el conjunto y dotando a la estructura de una mayor rigidez. Estos carriles suelen tener una longitud de unos 30 metros, disponiéndose 5 metros de su longitud sobre la vía en placa y fijándose los 25 metros restantes a las traviesas en la zona de balasto, aunque en algunas soluciones se plantean carriles de 20 metros, con un 25% de su longitud sobre la vía en placa. Algunos sistemas de vía en placa como el Rheda 2000 dispone de traviesas especiales (en este caso la B355.3) que permiten la sujeción de los carriles adicionales a las mismas. Esta medida suele adoptarse por parte de algunas administraciones no solo en el caso de transiciones entre sistemas de vía en placa y vía sobre balasto, sino también en la zona de transición asociada a los estribos de estructuras.

Encolado del balasto

El encolado del balasto se trata de una técnica mediante la cual se inyecta poliuretano líquido a través de la superficie del balasto. Este material fluye a través de los huecos del balasto sin llegar a rellenar los mismos. El encolado del balasto puede realizarse utilizando diferentes procedimientos en función principalmente de la superficie de balasto que sea preciso tratar. Así pues, pueden emplearse desde trenes equipados con dispositivos de inyección (cuando las superficies a tratar son grandes), a equipos de inyección móviles o, para zonas localizadas, el vertido manual.



Figura 3.22: Procedimientos de encolado del balasto (A la izquierda, mediante trenes equipados con equipos de inyección, en el centro, mediante equipos de inyección móviles, a la derecha, vertido manual),(FUENTE: Track stability using ballast bonding method (Stjepan Lakusic) [14])

CAPÍTULO 3. FUNDAMIENTOS BÁSICOS RESPECTO A ZONAS DE TRANSICIÓN DE SISTEMAS DE VÍA EN PLACA.

Está técnica ha sido empleada por diferentes administraciones ferroviarias, entre ellas la alemana y la belga. El primer lugar donde se empleó fue en la línea de alta velocidad entre Bruselas y Colonia, cerca de la ciudad de Lieja. El procedimiento para realizar la transición de rigideces en las zonas de transición entre vía en placa y vía en balasto es el que se describe a continuación:

- En primer lugar, se procede al encolado de la sección completa de la zona de balasto correspondiente a las 4 traviesas más próximas a la sección de vía en placa, en una anchura igual a la longitud de las traviesas más 40 cm a cada lado.
- Seguidamente se realizará el encolado de la zona de balasto correspondiente a las siguientes 4 traviesas, pero únicamente profundizando con el encolado hasta la cota de la base de las mismas. La anchura de la sección sobre la que se realizará este encolado será igual a la longitud de las traviesas más 20 cm a cada lado.
- A continuación, y siguiendo el mismo criterio que en el tramo anterior se encolará la zona de balasto comprendida entre las siguientes 4 traviesas, pero en este caso en una anchura igual a la longitud de las traviesas.
- En el último tramo se procederá al encolado de la zona de balasto correspondiente a las siguientes 4 traviesas, hasta una profundidad igual a la mitad del canto de la traviesa, y solo en las dos franjas de balasto situadas a 40 cm de los carriles.



Figura 3.23: Encolado de balasto en zonas de transición. (A la izquierda a la salida de un túnel, a la derecha en el estribo de un viaducto),(FUENTE: Track stability using ballast bonding method (Stjepan Lakusic) [14])

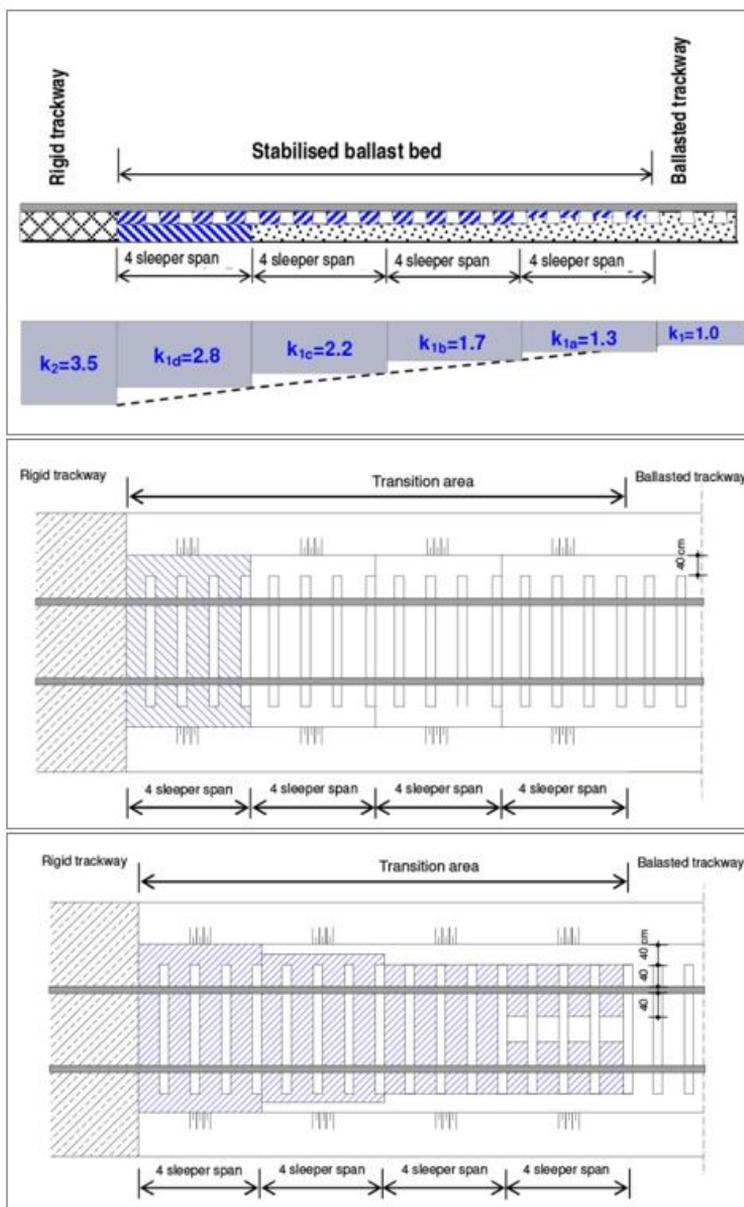


Figura 3.24: Esquema de aplicación del encolado de balasto en zonas de transición,(FUENTE: Track stability using ballast bonding method (Stjepan Lakusic) [14])

La aplicación de esta tecnología en zonas de transición permite realizar una transición gradual de las rigideces, tal y como demuestran diferentes estudios realizados. En la Figura 1 se recogen los resultados de los estudios realizados por la BME (Universidad Técnica de Budapest) en los que

CAPÍTULO 3. FUNDAMIENTOS BÁSICOS RESPECTO A ZONAS DE TRANSICIÓN DE SISTEMAS DE VÍA EN PLACA.

se puede observar cómo cuanto mayor es el grado de estabilización del balasto menores son los asentamientos que se producen en la sección como consecuencia de un aumento en las cargas del tráfico.

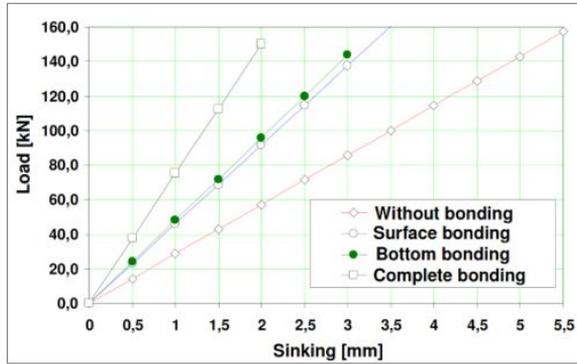


Figura 3.25: Asientos de la vía en función del grado de estabilización del balasto y de las cargas aplicadas, (FUENTE: Track stability using ballast bonding method (Stjepan Lakusic) [14])

La principal desventaja que presenta esta tecnología es la imposibilidad de realizar las labores de bateo del balasto en el caso de que se produjesen variaciones en la geometría de la vía.

Disposición de traviesas especiales más largas

Se trata de una de las primeras medidas que se comenzaron a implantar. Mediante la misma se consigue un mejor reparto de las cargas transmitidas al balasto, reduciendo la tensión sobre el mismo. No obstante, según la bibliografía consultada esta medida apenas contribuye a incrementar la rigidez de la vía.

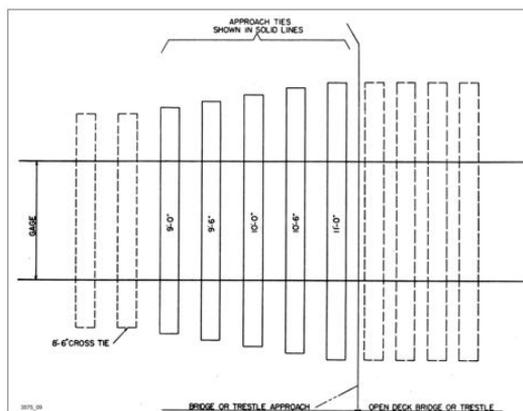


Figura 3.26: Incremento gradual de la longitud de las traviesas, (FUENTE: Transit Cooperative Research Program. Research Results Digest 79 [15])

Reducción del espaciado entre traviesas

Esta medida, al igual que la anterior, tiene por objeto el reducir las tensiones transmitidas al balasto. Al reducirse el espaciado entre traviesas se reducen también las cargas que soporta cada traviesa. En general la separación entre puntos de apoyo en la vía en placa es de 65 cm. En la zona en balasto esta separación se reduce a 60 cm. La medida contempla la reducción de esta separación en la zona más próxima a la vía en placa hasta los 55 cm, aumentando gradualmente esta separación hasta los 60 cm. Al igual que en el caso anterior, esta medida, aunque reduce las cargas transmitidas al balasto, apenas contribuye a incrementar la rigidez de la vía.

Medidas para evitar la desconsolidación del balasto

Tal y como se ha señalado al comienzo del apartado, las cargas transmitidas al balasto en la zona de transición van provocando el deterioro del mismo por desgaste y desconsolidación, pudiendo provocar que este se desplace hacia los laterales. Esto hace que una de las funciones del balasto, como es la de impedir los movimientos transversales, longitudinales y verticales de la vía, se vea perjudicada. Es por esto que en la zona de transición, en los primeros metros de la sección sobre balasto, se implanten medidas tendentes a evitar que se produzca la desconsolidación del balasto.

En algunos casos se procede a estabilizar los laterales de la banqueta de balasto mediante compuestos de poliuretano líquido.

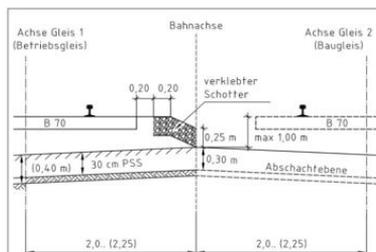


Figura 3.27: Estabilización del balasto mediante encolado en los laterales de la vía para evitar su desconsolidación, (FUENTE: Schotterverklebungstechnologie im Gleisbau (Georg-Simon-Ohm Hochschule Nürnberg) [16])

CAPÍTULO 3. FUNDAMIENTOS BÁSICOS RESPECTO A ZONAS DE TRANSICIÓN DE SISTEMAS DE VÍA EN PLACA.

En otros casos, como en las soluciones adoptadas por la administración ferroviaria española, se diseñan muretes guardabalasto a ambos lados de la sección, que evitan la desconsolidación del mismo manteniendo la vía arropada. Estos muretes suelen ser desmontables, con objeto de poder ser retirados, facilitando así las labores de mantenimiento



Figura 3.28: Vista general de muretes guardabalasto desmontables en zonas de transición,(FUENTE: Montaje de vía de alta velocidad en placa (iiR España) [11])

3.3.3 Indicaciones generales para la ubicación de las zonas de transición

A lo hora de definir la ubicación donde debe de realizarse la transición entre la sección de vía en placa y la sección de vía sobre balasto, deberá de tenerse en cuenta como criterio fundamental la necesidad de contar con una plataforma lo más homogénea posible, evitando de este modo la introducción de nuevas variables en una zona que ya de por si resulta compleja. En este sentido deberá de evitarse, tal y como se indica en el Estudio de criterios para el diseño y la construcción de viaductos con vía en placa de ADIF, realizar estas transiciones en zonas donde se produce también la transición de plataforma en tierras a estructura o túnel, lo que introduciría un nuevo cambio en la distribución de rigideces del terreno sobre el que dispone la vía. Este documento establece como criterio la separación de estos dos tipos de transiciones, de infraestructura y de superestructura, en una distancia de al menos 50 metros. En el caso de que la transición de vía se encuentre muy próxima al extremo de una estructura o túnel, podrá optarse por extender la vía en placa más allá de la zona de transición de plataforma o bien extender la vía sobre balasto sobre la estructura, tal y como aparece indicado en la siguiente figura:

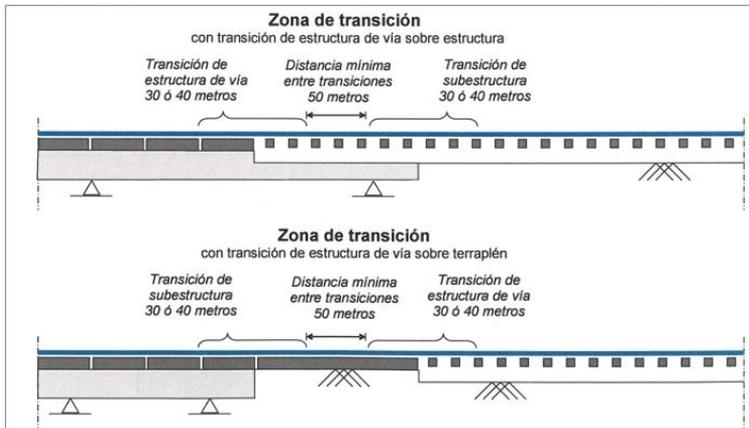


Figura 3.29: Recomendaciones para la localización de las zonas de transición entre vía en placa y vía sobre balasto,(FUENTE: Estudio de criterios para el diseño y la construcción de viaductos con vía en placa [5])

3.3.4 Soluciones existentes en el mercado

Una vez analizadas las diferentes técnicas empleadas para resolver el problema del cambio brusco de rigidez en la transición entre una sección de vía en placa y una sección de vía sobre balasto, se procede a continuación a describir el modo en que, mediante el empleo de uno o varios de estos procedimientos, se implanta la solución en cada uno de los distintos sistemas de vía en placa existentes en el mercado. Los sistemas en los que se ha encontrado documentación respecto al modo en que se resuelve esta transición son el sistema ÖBB-PORR, el sistema NBU de la empresa ThyssenKrupp, el sistema FFB de la empresa Max Bögl, el sistema LVT (Low Vibration Track), y el sistema Rheda 2000. En el caso de este último se describe la aplicación del mismo en las líneas de alta velocidad españolas. Igualmente se describe el modo en que plantea esta transición la empresa SSF Ingeniure y se presentan de forma detallada las ventajas del sistema de transición prefabricado V-TRAS, desarrollado por la empresa Rhomberg Rail.

Transición en el sistema de vía en placa Rheda 2000

Descripción de la transición

Dependiendo de las referencias y la bibliografía consultada, el modo en que se realiza la transición del sistema de vía en placa Rheda 2000 a la sección de vía sobre balasto varía ligeramente, sin embargo las medidas adoptadas siguen siendo básicamente las mismas. En este apartado se incluyen las figuras correspondientes a dos de estas transiciones. En ambas se plantea la disposición de dos carriles adicionales de 20 metros de longitud. Los primeros 5 metros se fijan sobre el sistema de vía en placa, mientras que los 15 restantes se fijan a las primeras traviesas de la sección sobre balasto, permitiendo arriostrar el conjunto en la zona de transición. En el punto de finalización de la sección de vía en placa se dispone un tacón de hormigón armado que se empotra 1 metro por debajo de la capa de protección frente a heladas. En la parte final de la sección de vía

CAPÍTULO 3. FUNDAMIENTOS BÁSICOS RESPECTO A ZONAS DE TRANSICIÓN DE SISTEMAS DE VÍA EN PLACA.

en placa, y dependiendo de cada caso concreto puede resultar necesario contemplar un refuerzo entre la placa y la base hidráulica (en los esquemas consultados se plantea por ejemplo disponer 5 barras dobles de acero $\varnothing 10$ en cada espacio entre traviesas a lo largo de los últimos 15 metros de la vía en placa). En este último tramo también se contempla al aumento del espesor de la base hidráulica de 30 a 50 cm. En la sección en balasto se plantea el encolado del mismo en los primeros 40 metros, realizando esta estabilización de forma gradual (En la sección completa en los primeros 15 metros, parcialmente solo bajo traviesas y hombros de balasto hasta una profundidad de 10 cm bajo traviesa en los siguientes 12 metros, y un encolado mínimo, solo bajo traviesas hasta una profundidad de 10 cm, en el resto). En general suele prolongarse la base hidráulica de la vía en placa más allá del tacón al menos en una longitud de 10 metros, manteniendo un espesor de 30 cm. Deberá garantizarse en esta zona una resistencia mínima de la explanada de $E_{v2} \geq 45 \text{ kN/mm}$.

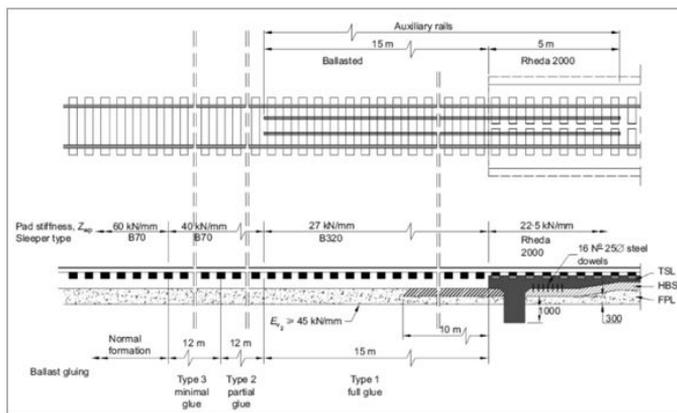


Figura 3.30: Esquema de la transición de vía en placa (Sistema Rheda 2000) a vía sobre balasto, (FUENTE: Kehäradan kiintoraideselvitys (Ratahallintokeskus Banförvaltningscentralen) [17])

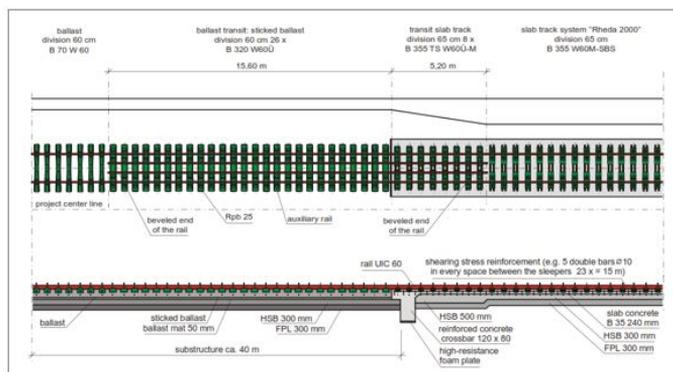


Figura 3.31: Esquema de la transición de vía en placa (Sistema Rheda 2000) a vía sobre balasto, (FUENTE: Slab Track System RHEDA 2000. Description of the system (Pfleiderer Aktiengesellschaft) [8])

CAPÍTULO 3. FUNDAMIENTOS BÁSICOS RESPECTO A ZONAS DE TRANSICIÓN DE SISTEMAS DE VÍA EN PLACA.

En la solución se contempla también una variación gradual de las rigideces de las placas de asiento ($22,5kN/mm$ en la vía en placa, $27kN/mm$ en los primeros 15 metros de la zona sobre balasto, $40kN/mm$ en los siguientes 24 metros, para finalizar con $60kN/mm$ en la vía convencional). Se disponen traviesas del tipo B355 TS W60Ü-M en los últimos 5 metros de la vía en placa, con objeto de poder fijar los carriles adicionales, y traviesas del tipo B320 W60Ü en la sección sobre balasto con el mismo objetivo. En el primero de los casos la separación entre traviesas es de 65 cm, mientras que en la sección sobre balasto se reduce a 60 cm.

Particularización del sistema en la red de alta velocidad española

El sistema Rheda 2000 es uno de los sistemas de vía en placa más utilizados por la administración ferroviaria española ADIF en sus líneas de alta velocidad. La primera referencia técnica del empleo de este tipo de transición es la ejecutada en los túneles de Guadarrama. El buen comportamiento de esta tipología de transición ha hecho que se haya incorporado la misma a la Instrucción General para la Redacción de los Proyectos de Vía IGV-2011 [10], dentro del apartado IGV-1.15 Interacción Estructura-Vía.



Figura 3.32: Vista general de la transición placa-balasto ejecutada en los túneles de Guadarrama (Boca Norte)

De acuerdo con lo indicado en esta instrucción las zonas de transición de placa a balasto deben de ser tratadas de forma específica para cada caso concreto. Los criterios generales que se deberán de adoptar para el proyecto de estas transiciones son:

- Homogeneidad de la plataforma bajo la sección y en placa y la sección en balasto.
- Ausencia de asientos diferenciales en la zona de transición.
- Variación gradual de la rigidez de la vía.
- Minimización de la acumulación de factores de perturbación.
- Posibilidad de corrección de los defectos durante la explotación.

En base a estos criterios la citada instrucción establece una transición tipo, siendo necesario no obstante que todas las soluciones proyectadas se justifiquen en base a la consulta previa de soluciones planteadas en la actualidad, ejecutadas con éxito en obras de relevante interés, y/o estudios específicos de investigación. La transición recogida en esta Instrucción se materializa en tres fases:

CAPÍTULO 3. FUNDAMIENTOS BÁSICOS RESPECTO A ZONAS DE TRANSICIÓN DE SISTEMAS DE VÍA EN PLACA.

- En el primero de los tramos se proyecta una losa de hormigón armado $HA-35/P/20/IIA$ con una longitud de 10,20 m. El canto de esta losa es variable con una altura de 0,80 metros en su parte inicial (la más próxima a la sección de vía en placa), y de 0,70 metros en su parte final. Sobre esta losa se dispondrá el balasto con un espesor de 25 cm bajo traviesa en la parte inicial y de 35 cm en su parte final, espesor que se mantendrá en la sección sobre balasto. La losa presenta en su parte superior una pendiente longitudinal del 1% permitiendo de este modo el adecuado drenaje del balasto en este tramo. El balasto sobre la losa queda confinado lateralmente mediante la disposición de muretes guardabalasto desmontables, garantizando así que la vía queda arropada y permitiendo además realizar adecuadamente las labores de mantenimiento.



Figura 3.33: Vista general de zona de transición a la salida de túnel. Perfiles para murete guardabalasto y sujeciones para carriles adicionales

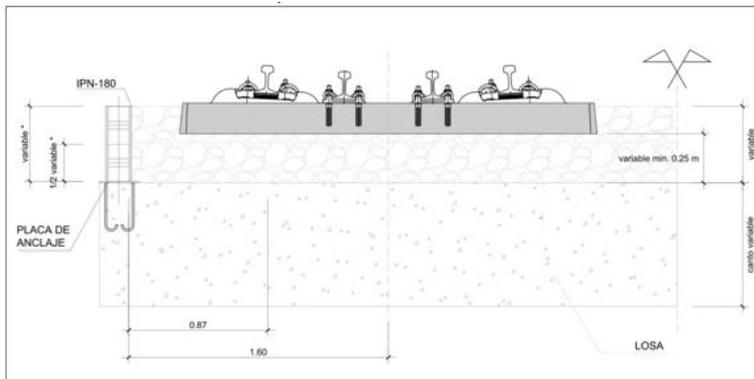


Figura 3.34: Detalle del murete guardabalasto que confina el balasto situado sobre la losa de transición, (FUENTE: Instrucción general para la redacción de proyectos de vía IGV-2011 [10]. IGV-1.15 Interacción vía-estructura)

La losa cuenta en su parte inicial, en la finalización de la vía en placa, con un tacón de hormigón armado de 1 metro de anchura y empotrado 1,5 metros por debajo de la rasante

CAPÍTULO 3. FUNDAMIENTOS BÁSICOS RESPECTO A ZONAS DE TRANSICIÓN DE SISTEMAS DE VÍA EN PLACA.

en el terreno. Este tacón se conectará a la losa de la vía en placa mediante armaduras de espera o conectores anclados a la misma si no se ha previsto dicha armadura. La misión de este tacón es doble. Por un lado, permite delimitar el final de la losa inferior de la vía en placa, y por otro evita la aparición de posibles desplazamientos longitudinales y asientos entre la vía en placa y la losa sobre la que en este primer tramo se dispone la vía sobre balasto. Las primeras traviesas situadas sobre la losa quedan arriostradas entre sí, y a su vez con las primeras de la sección de vía en placa, mediante la disposición de dos carriles adicionales que se fijan a estas en su sección central. El número de traviesas arriostradas en la vía en placa es de 10 (6,5 metros) mientras que en la vía sobre balasto es de 15 (9 metros). En de la vía en placa arriostrada por los carriles adicionales se dispondrán traviesas con riostra del tipo B355.3 U60-20M, mientras que las traviesas arriostradas sobre la losa serán del tipo B320.3 U60-20M, con placa de asiento de rigidez $22,5kN/mm$. El resto de traviesas situadas sobre la losa y no arriostradas por los carriles adicionales (en el caso de losa de 10,20 metros de longitud, dos unidades) serán del tipo desvío con la misma rigidez de placa de asiento que las anteriores.

- En el segundo de los tramos se dispondrá una capa de forma de 60 cm de espesor, sobre la que se colocará una capa de suelocemento de 30 cm. La anchura de estas capas abarcará la totalidad de la sección hasta el inicio de los taludes. Sobre el suelocemento se dispondrá el balasto que, tal y como se ha comentado antes en este tramo y hasta el final de la transición tendrá un espesor mínimo de 35 cm bajo traviesa. Este tramo presenta una longitud de 7,7 metros, esto es 13 traviesas, al encontrarse separadas las mismas 60 cm entre sí. Las traviesas empleadas en este tramo serán del tipo desvío, con una placa de asiento de rigidez $27,5kN/mm$.
- El tercer y último tramo de la transición tiene su origen en el punto donde finaliza la capa de suelocemento prevista en el tramo anterior, y cuenta con una longitud total de 46,8 metros. En este tramo se dispone la sección característica de capa de forma, subbalasto y balasto, con las dimensiones previstas en la normativa correspondiente. La transición se realiza a nivel de vía, modificando la tipología de las traviesas, la rigidez de las capas de asiento y la tipología de las sujeciones empleadas cada 13 traviesas (7,80 metros), de acuerdo con lo indicado en la Tabla 1.



Figura 3.35: Vista general de zona de transición a la salida de túnel. Armado de la vía en el último tramo de vía en placa

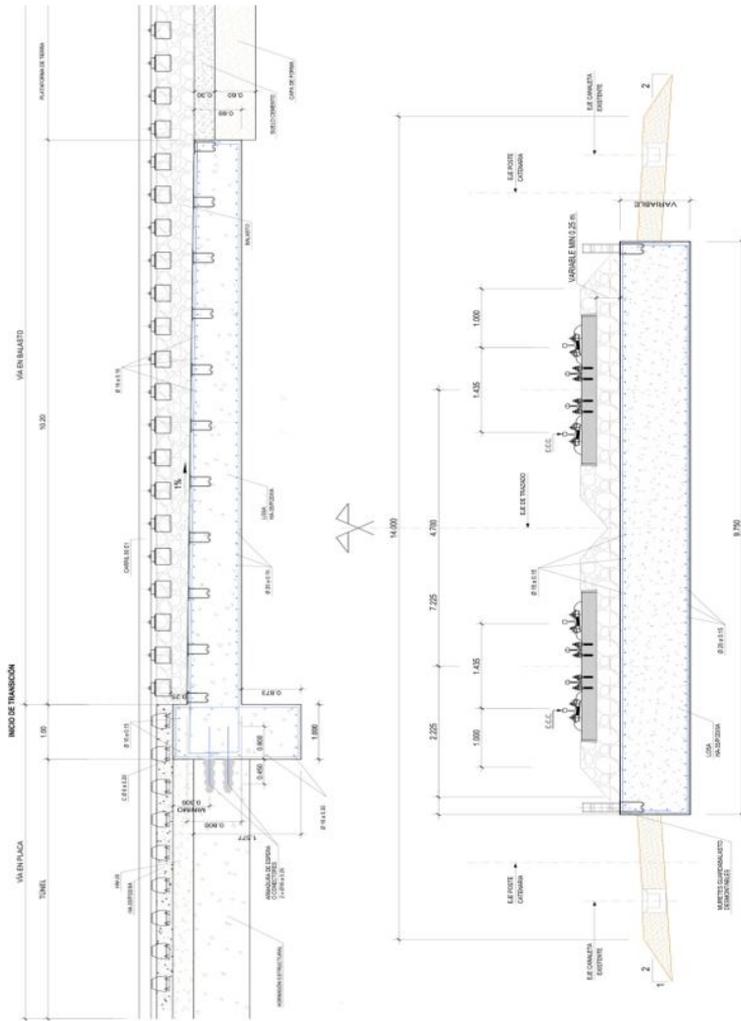


Figura 3.36: Detalle de la zona de transición prevista por ADIF. Secciones longitudinal y transversal de la losa, (FUENTE: Instrucción general para la redacción de proyectos de vía IGV-2011 [10]. IGV-1.15 Interacción vía-estructura)

Transición en el sistema de vía en placa ÖBB-PÖRR

La transición de este sistema de vía en placa a la sección de vía sobre balasto sigue las indicaciones de la norma austriaca ÖBB RZ n°. 17220. Las medidas que se contemplan para llevar a cabo esta transición son las siguientes:

- En el último tramo de vía en placa, y antes de ejecutar la sección de vía sobre balasto, se dispone un pequeño tramo de vía en placa, con travесas prefabricadas de hormigón con una longitud de 2,4 metros. La anchura de la sección en este tramo conserva la del tramo de

CAPÍTULO 3. FUNDAMIENTOS BÁSICOS RESPECTO A ZONAS DE TRANSICIÓN DE SISTEMAS DE VÍA EN PLACA.

Tramo	Tipología de traviesa	Longitud [m]	Número de traviesas [ud]
	Traviesas tipo Rheda 2000		
1	Traviesas con riostra vía en placa (B355.3 U60-20M)	6,50	10
	Traviesas con riostra (B320.3 U60-20M) placa 22,5 KN/mm	9,00	15
	Traviesas tipo desvío. Placa 22,5 KN/mm	1,20	2
2	Traviesas tipo desvío. Placa 27,5 KN/mm	7,80	13
	Traviesas tipo desvío. Placa 33,2 KN/mm	7,80	13
3	Traviesas tipo desvío. Placa 38,2 KN/mm	7,80	13
	Traviesas tipo desvío. Placa 44,6 KN/mm	7,80	13
	Traviesas tipo desvío. Placa 52,2 KN/mm	7,80	13
	Traviesas tipo AI-04. Placa 60,0 KN/mm. Sujeción W-21	7,80	13
	Traviesas tipo AI-04. Placa 80,0 KN/mm. Sujeción SKL	7,80	13
	Traviesas tipo AI-04. Placa 100,0 KN/mm. Sujeción SKL	7,80	13

Tabla 3.4: Distribución de traviesas en la transición de vía en placa Rheda 2000 a vía sobre balasto en las líneas de alta velocidad españolas(FUENTE: Instrucción general para la redacción de proyectos de vía IGV-2011. [10] IGV-1.15 Interacción vía-estructura)

vía en placa con el sistema ÖBB-PORR, esto es 2,8 metros de anchura. La longitud de este tramo depende de si se encuentra sobre una alineación recta o sobre una alineación curva. En el primero de los casos se dispondrán un total de 8 traviesas. Si se trata de un tramo en curva, el número total de traviesas será de 16.

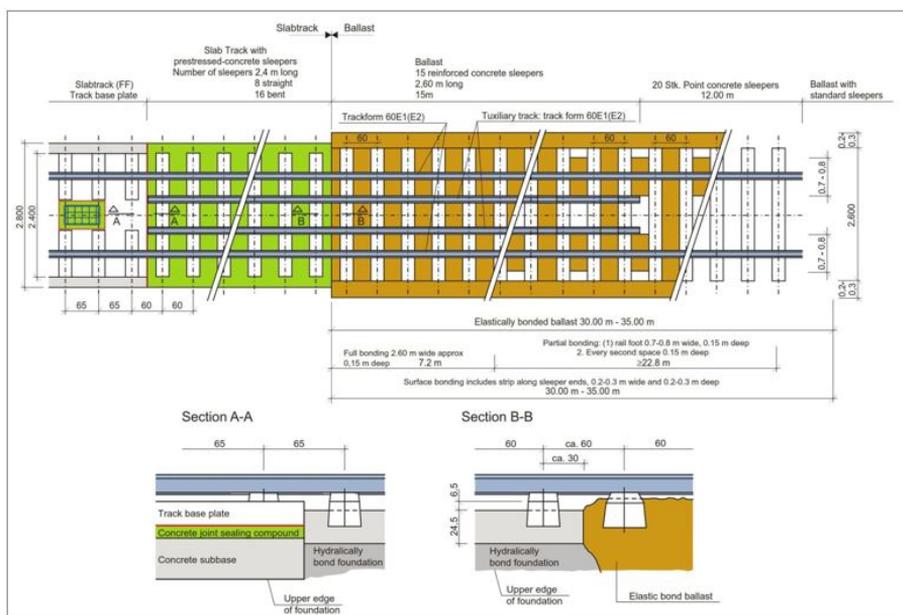


Figura 3.37: Esquema de la transición de vía en placa (Sistema ÖBB-PORR) a vía sobre balasto,(FUENTE: Catálogo comercial ÖBB-PORR Slab Track System ÖBB-PORR Elastically Supported Track Base Plate [18])

CAPÍTULO 3. FUNDAMIENTOS BÁSICOS RESPECTO A ZONAS DE TRANSICIÓN DE SISTEMAS DE VÍA EN PLACA.

- En el primer tramo de la sección de vía sobre balasto se procederá a la estabilización del balasto mediante encolado. Este tratamiento se aplicará sobre los primeros 30-35 metros de la sección, del siguiente modo:
 - Se procederá al encolado del balasto situado en la sección central, en toda la anchura de las traviesas (2,60 metros), y hasta una profundidad de 15 cm bajo las mismas, en los primeros 7,2 metros.
 - A partir de este punto, y hasta completar la longitud del tratamiento (30-35 metros), se procederá a aplicar el mismo alternativamente, de tal modo que bajo una traviesa se establezca la sección completa de balasto, y bajo la siguiente únicamente unas franjas con una anchura de entre 35 y 40 cm a cada lado de los carriles. La profundidad del tratamiento siempre será de 15 cm bajo el apoyo de las traviesas.
 - Adicionalmente se estabilizará lateralmente el balasto mediante encolado en esos primeros 30-35 metros, aplicando este tratamiento sobre unas franjas laterales exteriores a las traviesas con una anchura de entre 20 y 30 cm. El tratamiento se aplicará hasta una profundidad de entre 20 y 30 cm. Con esto se consigue “arropar” la vía, y evitar que el balasto se desconsolide por la acción de las sobrecargas verticales.
- La separación entre traviesas se reducirá de los 65 cm con que se disponen en la sección de vía en placa del sistema ÖBB-PORR a 60 cm, tanto en la zona de vía en placa de transición, como en la zona de vía sobre balasto.
- Se proyectan dos carriles auxiliares UIC60 E1 (E2), que se disponen interiormente a los carriles de rodadura. Estos carriles se fijan tanto a las traviesas de la zona de transición en placa, como a las primeras traviesas de las sección de vía sobre balasto, en sus primeros 15 metros.
- En los primeros 27 metros se dispondrán traviesas especiales para desvíos que permitirán la fijación de los carriles adicionales en su sección central en los primeros 15 metros.



CAPÍTULO 3. FUNDAMENTOS BÁSICOS RESPECTO A ZONAS DE TRANSICIÓN DE SISTEMAS DE VÍA EN PLACA.



Figura 3.38: Vista general de la zona de transición con el sistema ÖBB-PÖRR en la línea Viena-St.Pölten (Austria),(FUENTE: Página Web <http://www.reisinger-partner.at> [19])

Transición en el sistema de vía en placa Edilon

Las referencias consultadas respecto a las transiciones placa-balasto en secciones de vía en placa que emplean el sistema Edilon, han sido las correspondientes al tramo de ensayos del corredor Mediterráneo entre Las Palmas de Castellón y Oropesa de Mar. Este tramo sirvió de base para ADIF para el análisis del comportamiento de los diferentes sistemas de vía en placa. Uno de los ensayos fue el sistema Edilon con la peculiaridad de encontrarse su sección anexa a la de vía sobre balasto, por lo que fue necesario definir una transición entre las mismas. Esta transición se materializó mediante el encolado gradual de la sección sobre balasto, de acuerdo con los criterios indicados en la siguiente figura:

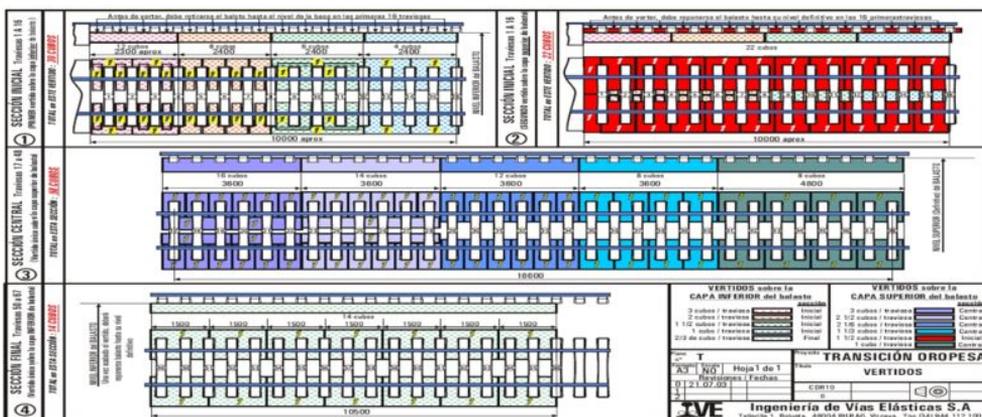


Figura 3.39: Detalle de la transición vía en placa (sistema Edilon) a vía sobre balasto ejecutada en el tramo de ensayos de Oropesa



Figura 3.40: Vista general de la transición vía en placa (Edilon) a vía sobre balasto ejecutada en el tramo de ensayos de Oropesa

Transición en el sistema de vía en placa FFB Bögl

La solución planteada por el sistema de vía en placa FFB de la empresa alemana Max Bögl para llevar a cabo la transición con la vía sobre balasto, establece las siguientes medidas:

- Se prolonga la capa portante de aglomeración hidráulica a lo largo de los primeros 10 metros de la sección en balasto, manteniendo su espesor de 30 cm. También se da continuidad a la capa de protección frente a heladas.
- En los primeros 15 metros de la sección sobre balasto se procede al encolado de la sección completa de balasto y se disponen carriles adicionales fijados a las traviesas en su sección central. Estos carriles adicionales se prolongan 5 metros sobre la sección de vía en placa, fijándolos a la misma y permitiendo así arriostrar el conjunto.
- La transición se prolonga hasta los 45 metros de la vía en placa, procediendo al encolado parcial de la sección sobre balasto en los últimos 30 metros.

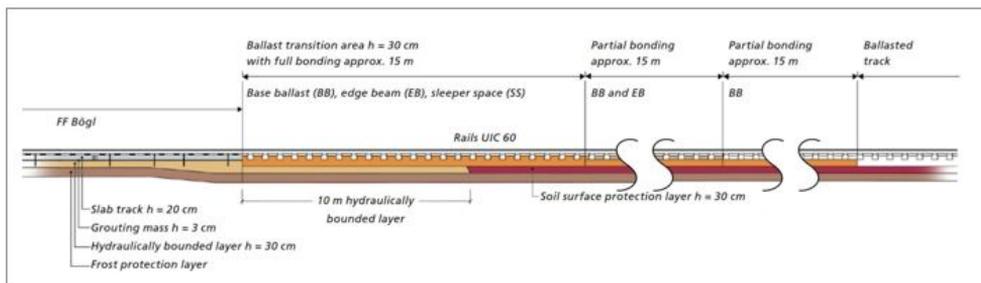


Figura 3.41: Esquema de la transición de vía en placa (Sistema FFB Bögl) a vía sobre balasto, (FUENTE: Catálogo comercial FFB Feste Fahrbahn Bögl [21])

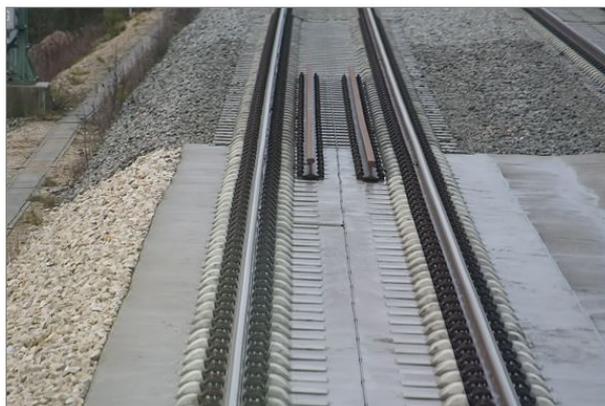


Figura 3.42: Vista general de la zona de transición con el sistema FFB Bögl en la línea Nuremberg Ingolstadt

Transición en el sistema de vía en placa NBU

La solución para la transición a la sección de vía sobre balasto del sistema de vía en placa NBU de la empresa ThyssenKrupp tiene su origen en el tramo de ensayos Cologne-Aachen-Federal border ejecutado con objeto obtener la homologación del sistema por parte de la administración alemana. Este tramo cuenta con una longitud total de 200 metros. En los 100 metros centrales se dispone el sistema de vía en placa NBU, ejecutándose transiciones a vía sobre balasto en sus dos extremos, con una longitud total de 50 metros. Estas transiciones cuentan con un primer tramo de 5 metros de longitud en los que se dispone el sistema Rheda 2000 de vía en placa. A continuación, se inicia la sección sobre balasto. Con objeto de garantizar una transición gradual de rigideces se procede a estabilizar el balasto mediante una mezcla de dos componentes de poliuretano en una longitud de 45 metros, y a colocar dos carriles adicionales fijados a la sección central de las traviesas, tanto de la sección en balasto como de la de vía en placa con sistema Rheda 2000 que la precede.



Figura 3.43: Vista general de la zona de transición ejecutada en el tramo Cologne-Aachen-Federal border con el sistema de vía en placa NBU,(FUENTE: NBU System Concept, Execution and Construction Site Report [22])

Transición en el sistema de vía en placa LVT

Las referencias encontradas en los catálogos comerciales de este sistema de vía en placa, en lo que al diseño de las zonas de transición con la vía sobre balasto se refiere, recogen gran parte de las medidas generales adoptadas por el resto de sistemas y descritas en apartados anteriores. Según la información consultada la transición debe de diseñarse para cada caso concreto, recurriéndose al empleo de medidas tales como la variación de la distancia entre apoyos, el ajuste de la rigidez de las placas de apoyo, el encolado del balasto o la disposición de carriles adicionales.



Figura 3.44: Vista general de la transición de vía en placa (sistema LVT) a vía sobre balasto

Soluciones propuestas por la empresa SSF Ingenieure

La empresa SSF Ingenieure plantea en su documento Slab track systems on different substructures [7] los requisitos funcionales que deben de cumplirse para el correcto funcionamiento de las zonas de transición placa-balasto. Estos son los siguientes:

- La transición debe de localizarse en un terreno homogéneo, con un comportamiento adecuado frente a posibles asientos diferenciales.
- La conexión entre las diferentes capas de soporte de la vía en placa en su tramo final debe de conectarse mediante anclajes y conectores.
- Es necesaria una prolongación de la base hidráulica del sistema de vía en placa en los primeros metros de la sección sobre balasto con objeto de garantizar una adecuada variación de rigideces.
- Se puede recurrir al empleo de la técnica de encolado del balasto en la zona de transición.
- La distancia entre traviesas en la zona de transición debe de limitarse a 60 cm.
- Debe de plantearse también la posibilidad de disponer carriles adicionales con objeto de rigidizar y arriostar los carriles de rodadura en la zona de transición.
- Debe de adaptarse la rigidez de las placas de apoyo y la tipología de sujeciones en la zona de vía en placa.
- Una capa de suelocemento con un contenido en cemento del orden del 3 al 5% permite efectuar una transición gradual de rigideces.

CAPÍTULO 3. FUNDAMIENTOS BÁSICOS RESPECTO A ZONAS DE TRANSICIÓN DE SISTEMAS DE VÍA EN PLACA.

Todas estas medidas aparecen representadas de manera resumida en el siguiente esquema:

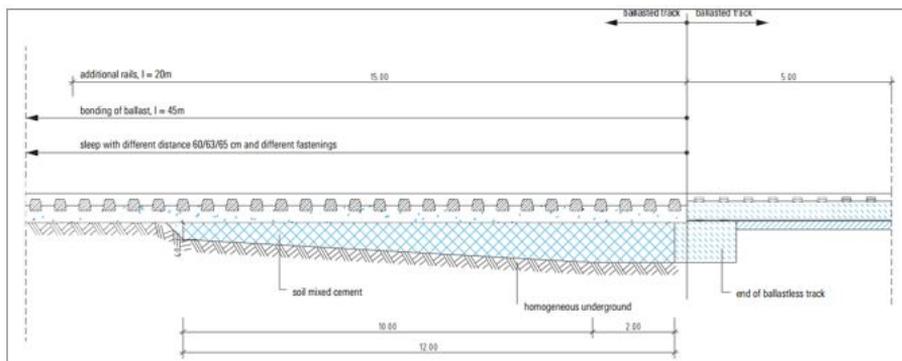


Figura 3.45: Esquema de transición placa-balasto planteado por la empresa SSF Ingenieure, (FUENTE: Slab track systems on different substructures. SSF Ingenieure [7])

El sistema V-TRAS Universal Transition Module

Este sistema, desarrollado por la empresa austriaca Rhomberg Rail, consiste en un módulo prefabricado constituido por elementos de acero de sección y longitud variable. Se ha empleado con éxito en la localidad austriaca de Dornbirn, en vía de ensayos con circulaciones de trenes de mercancías. En la actualidad se encuentra en fase de homologación por parte de la administración alemana, lo que permitiría la implantación del sistema en sus líneas de ferrocarril. El módulo consiste en dos perfiles metálicos de sección variable dispuestos longitudinalmente, sobre los que se sueldan placas metálicas con la longitud y anchura necesarias para servir de apoyo a las traviesas. Sobre estas placas se fijan a su vez unas placas de material elastomérico que contribuirán al correcto apoyo de las traviesas. Este módulo se dispone sobre un apoyo de hormigón que se materializa en el extremo de la sección de vía en placa, quedando el mismo solidariamente unido al sistema de vía en placa evitando de este modo la aparición de movimientos diferenciales. Una vez colocado el módulo queda totalmente integrado dentro de la sección en balasto. El principio de funcionamiento del sistema es similar al de una ménsula en la que los esfuerzos transmitidos por las cargas del tráfico se reparten de forma gradual a lo largo de toda la longitud del mismo, al tener este una sección variable. Esto evita la aparición de esfuerzos puntuales en las primeras traviesas de la sección en balasto, lo que a la larga originaría deformaciones en la vía y desconsolidación del balasto en esta zona. El parámetro característico a partir del cual se define la geometría de este módulo es su longitud. En este sentido según la administración alemana de ferrocarriles DB Deutsche Bahn, la longitud mínima del módulo debe de ser del orden de entre los 40 y los 45 metros, aunque la longitud mínima que se suele requerir siempre es de 45 metros. En la práctica podría emplearse una longitud menor, sin embargo esta administración establece como requisito que la longitud de la transición debe de ser como mínimo la distancia recorrida por un tren en medio segundo. Las longitudes anteriores se refieren por lo tanto a unas velocidades de circulación de los trenes del orden de los 300 km/h .

CAPÍTULO 3. FUNDAMIENTOS BÁSICOS RESPECTO A ZONAS DE TRANSICIÓN DE SISTEMAS DE VÍA EN PLACA.

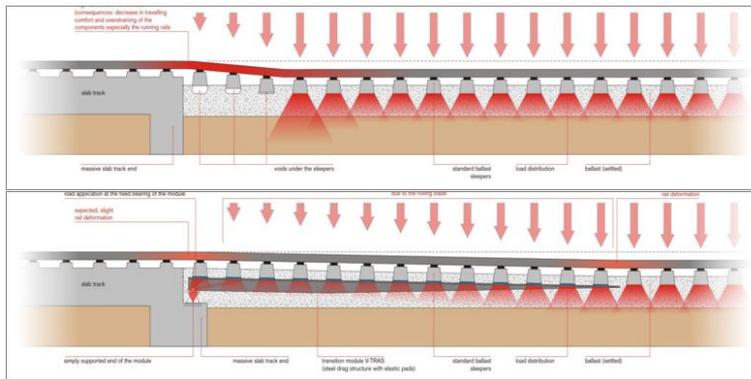


Figura 3.46: Principio de funcionamiento del módulo V-TRAS,(FUENTE: Información facilitada por la empresa Rhomberg Rail)

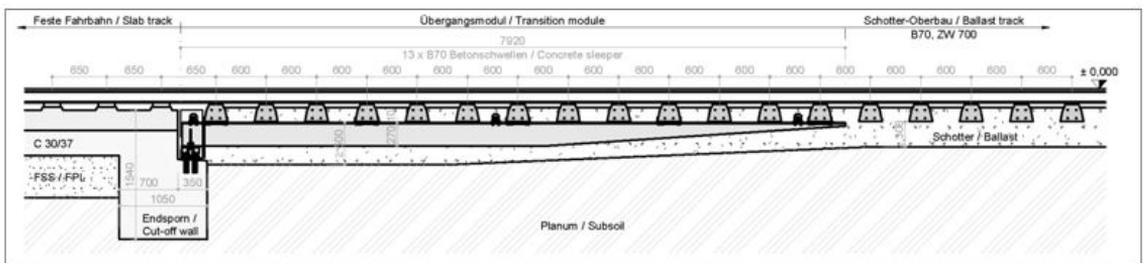


Figura 3.47: Detalle del módulo prefabricado V-TRAS (Módulo básico),(FUENTE: Información facilitada por la empresa Rhomberg Rail)



Figura 3.48: Vista general del módulo V-TRAS,(FUENTE: Información facilitada por la empresa Rhomberg Rail)

CAPÍTULO 3. FUNDAMIENTOS BÁSICOS RESPECTO A ZONAS DE TRANSICIÓN DE SISTEMAS DE VÍA EN PLACA.

En el caso de la administración austriaca de ferrocarriles, ÖBB Austrian Railways, no se establece este requisito, ya que experiencias realizadas por esta administración demuestran que la zona crítica donde se presentan los mayores problemas en el balasto, es en los primeros 3-5 metros a partir de la sección de vía en placa. El módulo básico del sistema V-TRAS cuenta con una longitud total de 8 metros siendo válido, según el fabricante, para líneas de alta velocidad. No obstante lo anterior y con objeto de poder dar cumplimiento a los requisitos planteados por las diferentes administraciones ferroviarias en cuanto a la longitud de la transición, este sistema puede adaptarse a estos requerimientos mediante la conexión de diferentes módulos.



Figura 3.49: Ejecución de murete de apoyo para el módulo en el extremo de la sección de vía en placa,(FUENTE: Información facilitada por la empresa Rhomberg Rail)



Figura 3.50: Vista en detalle de la zona de apoyo del módulo,(FUENTE: Información facilitada por la empresa Rhomberg Rail)

CAPÍTULO 3. FUNDAMIENTOS BÁSICOS RESPECTO A ZONAS DE TRANSICIÓN DE SISTEMAS DE VÍA EN PLACA.



Figura 3.51: Posicionamiento del módulo V-TRAS,(FUENTE: Información facilitada por la empresa Rhomberg Rail)

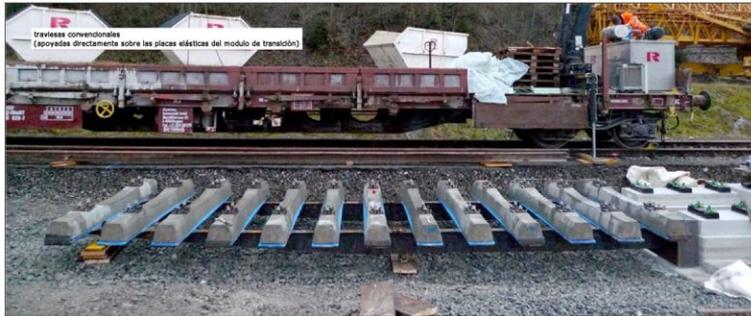


Figura 3.52: Colocación de las traviesas sobre el módulo V-TRAS,(FUENTE: Información facilitada por la empresa Rhomberg Rail)



Figura 3.53: Colocación y fijación de los carriles a las traviesas,(FUENTE: Información facilitada por la empresa Rhomberg Rail)



Figura 3.54: Disposición del balasto a en la sección,(FUENTE: Información facilitada por la empresa Rhomberg Rail)

Las principales ventajas que presenta este sistema son las que se relacionan a continuación:

- Se trata de un sistema fiable y duradero en el tiempo gracias a las características de los materiales que lo componen (estructura de acero y placas elásticas).
- Se trata de un sistema versátil, siendo posible su empleo con cualquiera de los sistemas de vía en placa existentes en el mercado.
- Las dimensiones del módulo pueden adaptarse fácilmente en función de las peculiaridades de cada proyecto.
- Se alcanzan unos mayores niveles de calidad, al tratarse de elementos prefabricados.
- Permite recurrir al empleo de sistemas de montaje de vía convencionales.
- Resulta sencillo el reparar posibles defectos, tanto durante la fase de construcción como durante la fase de explotación.
- No es necesario realizar ningún tratamiento especial ni sobre el balasto, ni sobre los materiales que conforman la explandada.
- Es independiente del tipo de traviesa que se emplee en la sección sobre balasto.

Capítulo 4

Requerimientos a superar en zonas de transición y aparatos de vía

4.1 Requisitos a superar en puntos singulares

4.1.1 Desvíos y cruzamientos

A nivel europeo la normativa que regula el procedimiento de diseño y el aseguramiento de la calidad de los aparatos de vía es la serie normativa EN 13232 Aplicaciones ferroviarias. Vía. Aparatos de vía. Esta serie normativa se desarrolla en 9 partes:

- Parte 1: Definiciones (EN 13232-1:2003)
- Parte 2: Requisitos para el diseño geométrico (EN 13232-2:2003+A1)
- Parte 3: Requisitos para la interacción rueda/carril (EN 13232-3:2006+A1)
- Parte 4: Maniobra, bloqueo y control (EN 13232-4:2007+A1)
- Parte 5: Agujas (EN 13232-5:2007+A1)
- Parte 6: Corazones de cruzamiento y de travesía fijos (EN 13232-6:2007+A1)
- Parte 7: Corazones con partes móviles (EN 13232-7:2007+A1)
- Parte 8: Aparatos de dilatación (EN 13232-8:2008+A1)
- Parte 9: Configuración (EN 13232-9:2009+A1)

Esta última norma establece el proceso general de diseño de los aparatos de vía. La geometría de los desvíos empleados en líneas de alta velocidad con vía sobre balasto es la misma que se emplea para los desvíos montados sobre vía en placa, siendo necesario únicamente modificar el tipo de sujeción que permite fijar el aparato al sistema de vía en placa empleado. En este sentido será preciso disponer de información sobre la rigidez por punto de fijación y la distancia entre

CAPÍTULO 4. REQUERIMIENTOS A SUPERAR EN ZONAS DE TRANSICIÓN Y APARATOS DE VÍA

apoyos contiguos del nuevo sistema de vía en placa, para poder determinar la rigidez del aparato de vía a emplear, la tipología de sujeciones y la necesidad o no de transiciones elásticas cuando la rigidez del aparato de vía es distinta a la de la vía en placa. En general, para los aparatos de vía existentes en el mercado, los fabricantes suelen adoptar un valor de la rigidez del aparato de vía de 17,5 kN/mm para una distancia media entre apoyos de 600 mm. En cuanto a los procedimientos de certificación y homologación de las fijaciones a emplear, estas deberán ceñirse a lo expuesto en la Norma EN-13146 Aplicaciones ferroviarias. Vía. Métodos de ensayo de los sistemas de fijación en sus diferentes apartados, así como a lo indicado en la serie normativa Norma EN-13481-6 Aplicaciones ferroviarias. Vía. Requisitos de funcionamiento para los conjuntos de sujeción, y más concretamente en su Parte 5: Conjuntos de sujeción para vía en placa sin balasto o vía con carril embutido en un canal, su Parte 6: Sistemas de fijación especiales para atenuación de las vibraciones, para las fijaciones altamente elásticas, y su Parte 7: Sujeciones especiales para aparatos de vía y contracarriles.

4.1.2 Aparatos de dilatación

Necesidad de disposición de aparatos de dilatación

El empleo extendido de la barra larga soldada en la construcción de líneas de alta velocidad provoca una serie de problemas en la vía cuando esta se dispone sobre estructuras. La interacción entre la vía y la estructura puede ocasionar un incremento de las tensiones sobre el carril, así como desplazamientos relativos entre la vía y el elemento que la soporta. En este sentido resulta necesario limitar tanto las tensiones soportadas por el carril como los desplazamientos relativos, con objeto de evitar la posible rotura del carril o la desconsolidación del balasto. Los aparatos de dilatación son elementos que se disponen en los extremos de las estructuras con objeto de resolver este problema, manteniendo la continuidad de la vía y permitiendo movimientos relativos importantes. Su función es la de absorber, de forma total o parcial los efectos de las variaciones de temperatura y del frenado y del arranque de los trenes en el carril, manteniendo la continuidad del camino de rodadura. La disposición de aparatos de dilatación presenta principalmente dos inconvenientes:

- Un aumento de los costes de mantenimiento de la infraestructura
- La introducción de un elemento de discontinuidad en la rodadura que puede afectar a la comodidad de la marcha.

Es por esto que como norma general deberá tratar de evitarse la disposición de este tipo de aparatos.

Parámetros característicos de los aparatos de dilatación

La norma europea en la que se especifican los requisitos mínimos para la fabricación de los aparatos de dilatación es la norma EN 13232-8:2008+A1 Aparatos de dilatación. El parámetro característico que define un aparato de dilatación es su carrera. En general los aparatos de dilatación empleados en la actualidad por las diferentes administraciones ferroviarias para sus líneas de alta velocidad presentan carreras de 300, 600 y hasta 1.200 mm. En el caso particular de la administración ferroviaria española, los aparatos de dilatación empleados para las líneas de alta velocidad son los que se indican en la siguiente tabla:

CAPÍTULO 4. REQUERIMIENTOS A SUPERAR EN ZONAS DE TRANSICIÓN Y APARATOS DE VÍA

Denominación	Velocidad máxima [km/h]	Carrera máxima [mm]
ADIH-G-60-300	350	300
ADIH-G-60-600	350	600
ADIH-G-60-1200	350	1.200

Tabla 4.1: Aparatos de dilatación empleados en las líneas de alta velocidad española(FUENTE: Catálogo de aparatos de dilatación de la Gerencia de Suministros y Logística de ADIF)

El radio mínimo de curvatura sobre el que pueden disponerse estos aparatos es de 350 metros.

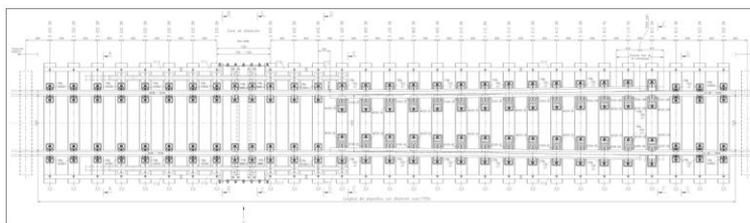


Figura 4.1: Esquema de aparato de dilatación para alta velocidad (ADIH-G-60-1200)



Figura 4.2: Vista general de aparato de dilatación

La carrera de un aparato de dilatación se calculará a partir de la suma de los siguientes factores:

- El movimiento longitudinal de toda la estructura debido a la temperatura, los fenómenos de retracción y fluencia, y los esfuerzos de arranque y frenado. Estas últimas acciones se considerarán siempre aplicadas sobre el carril, tomándose siempre para el cálculo la combinación de acciones más desfavorable.
- La dilatación de los finales de carril en el aparato de dilatación
- Un resguardo de seguridad de 40 mm.

La normativa de referencia, en base a la cual se realiza el diseño de los aparatos de dilatación es la ficha UIC 774-3 R. Interaction voie/ouvrages d'art. Recommandations pour les calculs. 2e édition. Décembre 2.000, el Eurocódigo I: Acciones en estructuras. Cargas de tráfico en

CAPÍTULO 4. REQUERIMIENTOS A SUPERAR EN ZONAS DE TRANSICIÓN Y APARATOS DE VÍA

puentes AENOR Octubre 2004, y, a nivel nacional, la Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de ferrocarril IAPF-07 Orden FOM/3671/2.007 del Ministerio de Fomento. En base a esta normativa, deberán de realizarse las siguientes comprobaciones con objeto de mantener la seguridad y la funcionalidad de la vía:

- Tensiones máximas en los carriles debido a la interacción vía-tablero por las acciones de temperatura, frenado y arranque. Estas tensiones deberán de ser inferiores a 72 MPa en compresión con objeto de evitar el pandeo del carril y a 92 MPa en tracción con objeto de evitar su rotura (correspondiendo estos valores a un carril del tipo UIC60).
- El desplazamiento máximo relativo entre el carril y el tablero o la plataforma del estribo debido a las acciones de frenado y/o arranque. Este desplazamiento será como máximo de 4 mm.
- El desplazamiento longitudinal relativo entre los bordes de junta (entre tableros, o entre tablero y estribo) debido a las acciones de frenado y/o arranque. Este desplazamiento será como máximo de 30 mm en el caso de que se disponga aparato de dilatación.
- El resalto relativo entre bordes de junta (entre tableros, o entre tablero y estribo) en dirección perpendicular al plano medio de rodadura. Este resalto será como máximo de 3 mm para una velocidad de proyecto $v < 160 \text{ km/h}$ y de 2 mm para $v > 160 \text{ km/h}$.

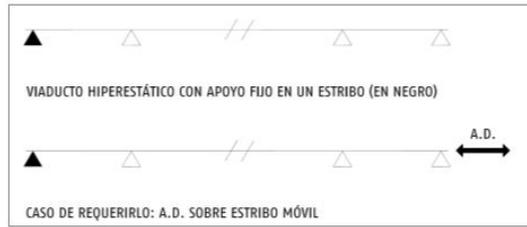
En el caso particular de la vía en placa será necesario un estudio específico en función del tipo de carril y de las características de las sujeciones empleadas. En estos casos, y debido a la gran resistencia longitudinal de la vía en placa, cabe señalar que la influencia del calentamiento adicional producido por los frenos de inducción magnética es muy pequeña y puede despreciarse. Como norma general cuando se disponga un tablero de vía en placa deberán de emplearse sujeciones con resistencia longitudinal reducida en toda la longitud del tablero. A este efecto se consideran sujeciones de resistencia longitudinal reducida aquellas que cuentan con una resistencia longitudinal por punto de sujeción inferior a 7kN. En cualquier caso, la resistencia longitudinal de las sujeciones empleadas deberá de establecerse en base al diseño específico de la vía. Con objeto de garantizar un correcto comportamiento mecánico de estas sujeciones se deberán de llevar a cabo ensayos de acuerdo con lo establecido en la norma UNE EN 13146. En el caso particular de estructuras con dos aparatos de dilatación, uno a cada lado de la misma, y un punto fijo central, se emplearán sujeciones convencionales en los 100 puntos de apoyo que constituyen su parte central, empleándose sujeciones con resistencia longitudinal reducida en el resto de su longitud.

Disposición de los aparatos de dilatación

Los aparatos de dilatación se dispondrán en aquellas estructuras hiperestáticas en las que resulte necesario, siguiendo el siguiente criterio:

- Si se trata de una estructura hiperestática con un estribo fijo y el resto de apoyos móviles, el aparato de dilatación se dispondrá sobre el estribo opuesto al fijo, al ser el punto donde se generarían las mayores tensiones sobre el carril.

CAPÍTULO 4. REQUERIMIENTOS A SUPERAR EN ZONAS DE TRANSICIÓN Y APARATOS DE VÍA



- Si se trata de una estructura hiperestática con un apoyo central fijo, se dispondrán aparatos de dilatación sobre los apoyos móviles de los estribos, ya que sería en estos puntos donde se producirían las mayores tensiones sobre el carril.



En el caso de los tableros de puentes isostáticos no es necesario disponer aparatos de dilatación, ya que el movimiento relativo del tablero entre pilas queda repartido. La disposición de los aparatos de vía se realizará de acuerdo con el esquema indicado en la siguiente figura (extraída de la Instrucción General para la Redacción de los Proyectos de Vía IGV en su Apartado 1.15 Interacción estructuras-vía), con la aguja o contraaguja móvil del lado del tablero del puente (parte móvil de la estructura) y con la aguja o contraaguja fija del lado del estribo (parte fija de la estructura).

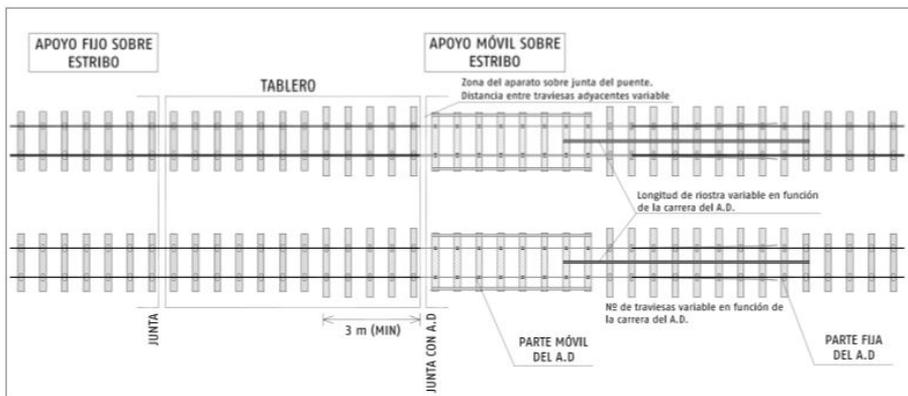


Figura 4.3: Esquema de disposición de aparatos de dilatación en estructuras

4.2 Requisitos a superar en zonas de transición

4.2.1 Transición entre estructuras y terraplenes. Bloques técnicos

Descripción de la problemática existente

Las zonas de transición entre estructuras y plataforma sobre tierras son uno de los puntos más sensibles de la plataforma ferroviaria, debido al cambio en la rigidez vertical del conjunto que se produce en las mismas. La falta de homogeneidad en la rigidez vertical de la vía provoca la aparición de aceleraciones bruscas en el material móvil, lo que se traduce por un lado en una pérdida de confort en la circulación y por otro, y más grave, en el golpeo del carril por parte de la masa no suspendida. Este golpeo provoca efectos muy dañinos sobre la vía, deteriorando el balasto bajo las traviesas y produciendo deformaciones en el carril. Este deterioro de la vía provoca una acentuación progresiva del problema, siendo necesario incrementar la periodicidad de las labores de mantenimiento en las que se realiza el bateo de la vía. Estos problemas se acentúan en el caso de la disposición de vía en placa, donde no es asumible la aparición de asientos diferenciales entre estructura y plataforma. En este caso no resulta posible la restitución de las características de la vía mediante el empleo de bateadoras, siendo necesarias labores de reparación.

Soluciones propuestas por las diferentes administraciones

Con objeto de resolver el problema antes señalado, las diferentes administraciones ferroviarias han venido empleando hasta la fecha las denominadas cuñas de transición, o bloques técnicos, que se disponen a ambos lados de la estructura, entre esta y la plataforma en tierras. Todos estos diseños se basan fundamentalmente en las medidas generales que se relacionan a continuación:

- Relleno del trasdós del estribo de la estructura con materiales con un mayor módulo de deformación, o materiales tratados con cemento.
- Empleo de losas de transición de hormigón armado u otro tipo de material
- Inclusión de capas horizontales en la plataforma con diferentes materiales
- Empleo de geosintéticos para conseguir reforzar el relleno del trasdós del estribo.
- Tratamiento de la capa de forma y el subbalasto con cemento.

Del análisis de las diferentes soluciones planteadas por las distintas administraciones ferroviarias se desprende que existe una clara falta de homogeneidad en los criterios de diseño adoptados, si bien todas ellas emplean en sus diseños las mismas medidas básicas antes señaladas. Es necesario no obstante realizar las siguientes observaciones que deberán de tenerse en cuenta para el diseño:

- Resulta necesario sustituir el material de suelo QS1 por otro tipo de material o tratar el existente de tal forma que al menos presente un módulo de elasticidad correspondiente a un material del tipo QS2¹.
- No se recomienda efectuar una transición directa entre material del tipo QS2¹ a material QS3¹

CAPÍTULO 4. REQUERIMIENTOS A SUPERAR EN ZONAS DE TRANSICIÓN Y APARATOS DE VÍA

- Para cada tipo de transición efectuada en las cuñas existe un valor óptimo del talud. Este valor no siempre es el más tendido como cabría esperar (3:1), sino que depende del cimientado del relleno, del tipo de transición y de los materiales empleados para efectuarla.
- En las proximidades del estribo, la rigidez aumenta bruscamente cuando se emplea un material tratado con cemento como relleno. Este problema sigue sin resolverse, aunque las futuras soluciones deberán de basarse en la mejora del módulo de elasticidad del material sin que se produzcan incrementos de rigidez excesivos en el límite de la transición entre el material del tipo QS3¹ y el material tratado con cemento

La guía de referencia para el diseño de estas transiciones es la UIC 719 Earthworks and track bed construction for railway lines. De este documento se extraen las dos soluciones que se describen en los siguientes apartados.

TIPO DE SUELO	CLASE
0.1. Suelos con alto contenido de materia orgánica	QS0
0.2 Suelos blandos, con contenidos de más del 15% de finos(a), con alto contenido de humedad, inapropiados para compactar	
0.3 Suelos tixotrópicos(b), como por ejemplo arcillas de gran susceptibilidad	
0.4 Suelos con materiales solubles, como por ejemplo rocas salinas o yesos.	
0.5 Terrenos contaminados, como por ejemplo por residuos industriales.	
0.6 Suelos con un contenido medio de materia orgánica	
0.7 Suelos con una elevada plasticidad, con un contenido en finos superior al 15%, suelos colapsables(e) o suelos expansivos(f)	QS1
1.1 Suelos con un contenido de finos(a) superior al 40% (excepto suelos clasificados dentro de los subgrupos 0.2 y 0.7)	
1.2 Rocas muy susceptibles a la meteorización (como por ejemplo yesos con $\rho_d < 1,7t/m^3$ y alta friabilidad, margas, o esquistos alterados)	QS1(c)
1.3 Suelos con un contenido de finos(a) entre el 15 y el 40% (excepto suelo clasificados dentro de los grupos 0.2 y 0.7)	
1.4 Rocas moderadamente susceptibles a la meteorización (como por ejemplo yesos con $\rho_d < 1,7t/m^2$ y baja friabilidad, o esquistos no alterados)	
1.5 Rocas blandas (Microdeval húmedo MDE>40 y Los Angeles LA>40)	QS2(d)
2.1 Suelos con un contenido de finos(a) comprendido entre el 5 y el 15%, excepto suelos colapsables(e).	
2.2 Suelos uniformes (CU≤6), con un contenido de finos(a) inferior al 5%, excepto suelos colapsables(e).	
2.3 Rocas de dureza media (Microdeval húmedo MDE 25<MDE≤40 y Los Angeles LA 30<LA≤40)	QS3
3.1 Suelos bien graduados, con un contenido en finos(a) inferior al 5%.	
3.2 Rocas duras (Microdeval húmedo MDE≤25 y Los Angeles LA≤30)	

Tabla 4.2: Clasificación de los tipos de suelo (UIC Code 719 R Earthworks and track bed construction for railway lines [2])

(a) Estos porcentajes se calcularán a partir del análisis granulométrico realizado sobre la fracción de material que pasa el tamiz de 60 mm. Estos porcentajes se pueden incrementar hasta en un 5% cuando el número de muestras tomadas sea suficientemente representativo.

(b) Algunas administraciones ferroviarias incluyen este tipo de suelos dentro de la clase QS1.

(c) Estos suelos se pueden clasificar como clase QS2 si las condiciones hidrogeológicas e hidrológicas son buenas.

(d) Estos suelos se pueden clasificar como clase QS3 si las condiciones hidrogeológicas e hidrológicas son buenas.

(e) El asiento en el ensayo de colapso es superior al 1% para muestras inalteradas o muestras remoldadas con la densidad del ensayo Proctor Normal y una presión normal de 0,2 MPa.

(f) El hinchamiento libre es superior al 3% para muestras inalteradas o remoldadas con la densidad del ensayo Proctor Normal.

Soluciones planteadas por administración ferroviaria española

La solución planteada por la administración ferroviaria española ADIF en sus líneas de alta velocidad es la que aparece recogida en la Instrucción General para Proyectos de Plataforma IGP-1.2. Recomendaciones sobre las cuñas de transición. Según esta instrucción con carácter previo a la ejecución de los rellenos correspondientes a las cuñas de transición se procederá a realizar los tratamientos del terreno necesarios para garantizar las condiciones de cimentación. Esta instrucción define una serie de esquemas de diseño para estas cuñas de transición, los cuales aparecen reproducidos en las siguientes figuras:

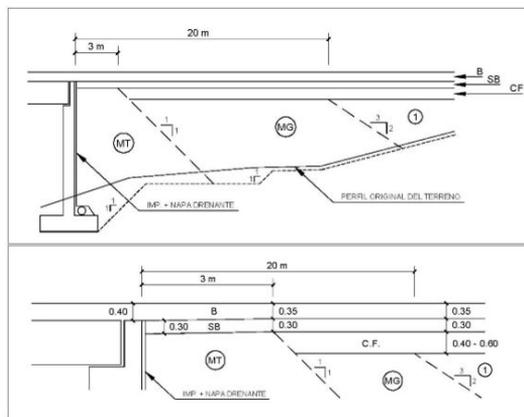


Figura 4.4: Cuñas de transición en las líneas de alta velocidad españolas,(FUENTE: IGP-1.2. Recomendaciones sobre las cuñas de transición. ADIF)

Según el esquema anterior se procederá al relleno y compactación del trasdós del estribo de la estructura mediante un material tratado con cemento en una distancia de 3 metros desde el extremo de dicho estribo. El talud aparente de este relleno en su contacto con los rellenos posteriores será 1H:1V. El material empleado para la ejecución de este relleno deberá tener un contenido de finos de baja plasticidad (por debajo del tamiz 0,080 UNE) inferior al 5% (este porcentaje podría aumentarse hasta el 15% siempre y cuando se tratase de finos no plásticos (LL<25 y IP<7), pudiendo llegar a admitirse cierta plasticidad (LL<30) que se neutralizaría con la compactación realizada al ejecutar la cuña). El contenido de cemento mínimo será del 3% de la masa seca del material tratado. La cuña se completará mediante el relleno y compactación de un material granular, que deberá cumplir con los requisitos establecidos por esta administración para su empleo como capa de forma, hasta una distancia de 20 metros desde el paramento interior del estribo. En este caso el talud aparente que presentará este relleno en su contacto con el relleno posterior será 3H:2V. Aparte del cumplimiento de los parámetros anteriores, este material deberá estar exento de material vegetal constituida, y el contenido de finos deberá de ser tal que el pasante por el tamiz 0,080 UNE no supere el 15%, con un límite líquido inferior a 30 y un índice de plasticidad inferior a 10. Cabe señalar que el esquema descrito se ha planteado para vía sobre balasto, y no vía en placa, no existiendo indicaciones para este segundo supuesto en la citada Instrucción.

Soluciones planteadas por administración ferroviaria española

La segunda de ellas es la utilizada por la administración alemana de ferrocarril Deutsche Bahn. Esta solución es muy similar a la empleada en el caso español. En el trasdós del estribo se diseña una cuña de material tratado con cemento (con un contenido de cemento entre el 2,5% y el 3%), de acuerdo con la norma ZTVE-StB. La longitud de esta cuña dependerá de las características del cimiento del terraplén. La longitud mínima de esta cuña deberá de ser de al menos cuatro veces la altura del estribo, y superior a 20 metros cuando el estribo y el relleno del trasdós se ejecuten al mismo tiempo.

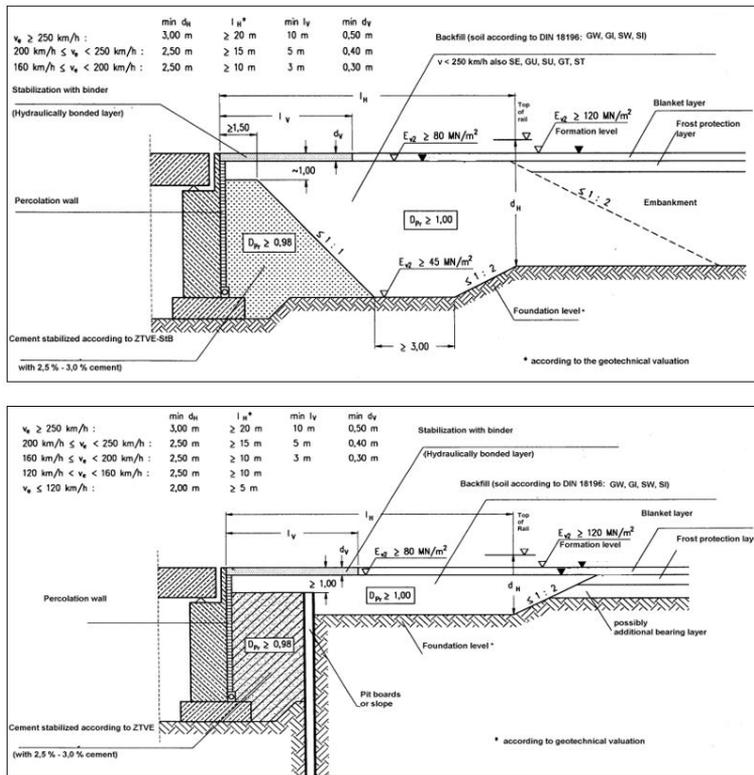


Figura 4.5: Bloques técnicos en las líneas de alta velocidad alemanas,(FUENTE: UIC CODE 719 R)

Medidas adicionales para transiciones a terraplenes con vía en placa

De acuerdo con el Estudio de criterios para el diseño y construcción de viaductos con vía en placa de ADIF, en aquellos casos en los que la vía en placa se dispone no solo en la estructura, sino que tiene continuidad a lo largo del terraplén, deberá de estudiarse con detalle los asientos diferenciales previstos entre el estribo de la estructura y el relleno del trasdós. Si este asiento se prevé que sea superior a 5 mm deberán de disponerse medidas adicionales que limiten estas deformaciones y garanticen la estabilidad estructural del sistema. La principal medida a adoptar será la ejecución de una losa de transición de hormigón armado, apoyada firmemente sobre el estribo de

CAPÍTULO 4. REQUERIMIENTOS A SUPERAR EN ZONAS DE TRANSICIÓN Y APARATOS DE VÍA

la estructura y de forma elástica sobre el relleno del trasdós previsto en el bloque técnico. Bajo esta losa se dispondrá una capa granular de protección.

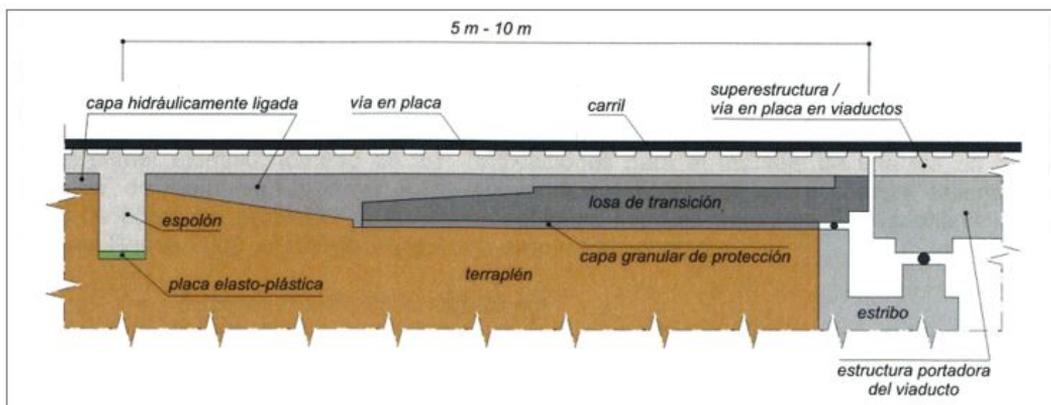
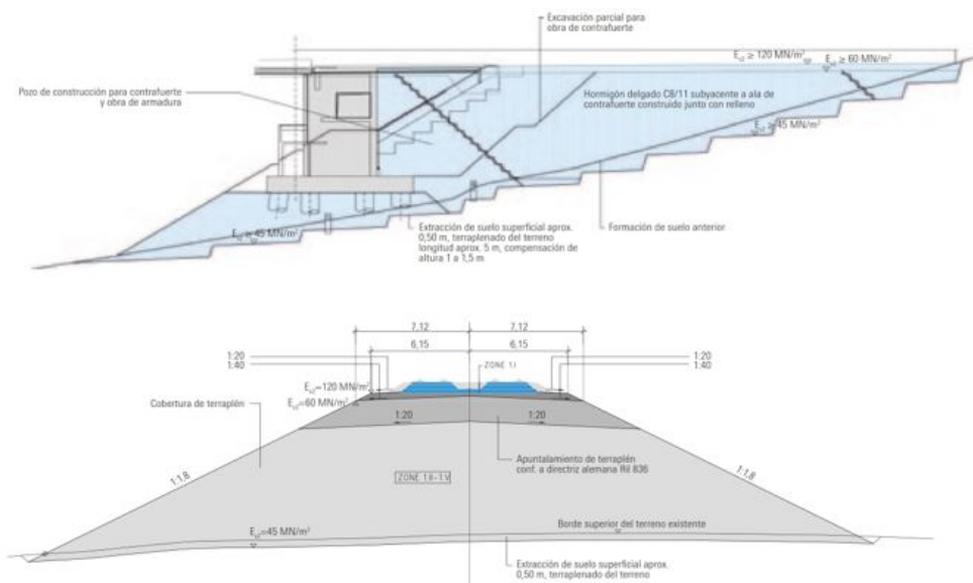


Figura 4.6: Medidas adicionales en transiciones estructura-terraplén con vía en placa. Losa de transición,(FUENTE: Estudio de criterios para el diseño y construcción de viaductos con vía en placa. ADIF)

En aquellos casos en los que la estructura permita la disposición de más de una vía, las losas de transición se diseñarán y ejecutarán de forma independiente para cada una de ellas. El grosor y la longitud de estas losas deberán de establecerse de tal modo que en el eje de apoyo de las losas de transición no se supere un valor del ángulo final de tangente de 1,45 milésimas. Adicionalmente a la losa de transición, y con objeto de estabilizar la posición de la vía en placa, deberá de ejecutarse un espolón o tacón armado unido firmemente a la estructura de la vía en placa en la zona de relleno del trasdós del estribo. Este tacón se dispondrá a una distancia comprendida entre los 5 y los 10 metros respecto al estribo de la estructura. Es necesario colocar también bajo el mismo una placa elasto-plástica con un espesor mínimo de 20 mm con objeto de amortiguar el asentamiento de la vía en placa en este punto. La disposición de este tacón permite además contar con un punto fijo para asegurar la correcta dilatación de la vía en placa por efecto de la temperatura (entre este tacón y la junta de separación con la estructura), al limitar el movimiento longitudinal de la misma. Todas estas medidas deberán de garantizar asientos inferiores a 1 mm, permitiendo la corrección de la posición de la vía sin tener que recurrir a intervenciones bajo la losa portante. Otras publicaciones, como la elaborada por la empresa alemana SSF Ingenieure (Vías sin balasto en tramos de alta velocidad), señalan que estas zonas requieren de un sustrato resistente ante posibles alteraciones o asientos. Como norma general se establece que deberá de disponerse un material de terraplén adecuado hasta una profundidad de al menos 2,5 metros bajo la placa portante. En el caso de que el cimientto de este sustrato no presente las características adecuadas de resistencia, deberán adoptarse las medidas necesarias para evitar posibles asientos en el mismo. La resistencia mínima requerida para este sustrato según la documentación consultada es de $45 \text{ MN}/\text{m}^2$. La disposición de materiales en el trasdós del estribo, así como características exigidas para cada uno de los materiales que conformarán el relleno del mismo son las que aparecen indicadas en las siguientes figuras:

CAPÍTULO 4. REQUERIMIENTOS A SUPERAR EN ZONAS DE TRANSICIÓN Y APARATOS DE VÍA



Requerimientos de relleno y terraplén

Zona	Tamaño de grano aceptable	Clasificación de suelos conf. DIN 18196	Compactación	Capacidad portante	Requisitos especiales
1.I	superestructura: capa anticongelante	KG 2 conf. a DBS 918 062 (normas ferroviarias alemanas)	Dpr \geq 1,0	$E_{s,0} \geq 120 \text{ MN/m}^2$ en borde superior formación de tierra	kt $\geq 1 \times 10^{-5} \text{ m/s}$
1.II	Subestructura capa de + relleno de contrafuerte	GU, GT, SU, ST	Dpr \geq 1,0	$E_{s,0} \geq 60 \text{ MN/m}^2$ en borde superior formación de tierra	Mezcla aglomerante: aglomerantes ≥ 5 peso % *) capa superior anticongelante espesor $\geq 0,3 \text{ m}$, qu,M $\geq 0,8 \text{ MN/m}^2$ qu,M $\geq 1,0 \text{ MN/m}^2$
1.III	subestructura: relleno	GU*, GT*, ST*, SU*, UL, UM, TL (TM, TA) uso conf. a UIG	Dpr $\geq 1,0$ y nA $\leq 0,12$	$E_{s,0} \geq 60 \text{ MN/m}^2$ en borde superior formación de tierra	Mezcla de aglomerante: aglomerantes ≥ 5 peso % *) capa superior anticongelante espesor $\geq 0,3 \text{ m}$, qu,M $\geq 0,8 \text{ MN/m}^2$ qu,M $\geq 1,0 \text{ MN/m}^2$
1.IV	subestructura: relleno	GU*, GT*, ST*, SU*, UL, UM, TL (TM, TA) uso conf. a UIG	Dpr $\geq 1,0$ y nA $\leq 0,12$	$E_{s,0} \geq 60 \text{ MN/m}^2$ en borde superior formación de tierra	Mezcla aglomerante: Aglomerantes ≥ 6 peso % *) capa superior anticongelante espesor $\geq 0,3 \text{ m}$, qu,M $\geq 1,6 \text{ MN/m}^2$ qu,M $\geq 2,0 \text{ MN/m}^2$
1.V	Relleno subyacente al contrafuerte	GU*, GT*, ST*, SU*, UL, UM, TL (TM, TA) uso conf. a UIG	Dpr $\geq 1,0$ y nA $\leq 0,12$	$E_{s,0} \geq 60 \text{ MN/m}^2$ en borde superior formación de tierra	Mezcla aglomerante: Aglomerantes ≥ 5 peso % *) capa superior anticongelante espesor $\geq 0,3 \text{ m}$, qu,M $\geq 0,3 \text{ MN/m}^2$ qu,M $\geq 1,0 \text{ MN/m}^2$

Figura 4.7: Transición viaducto-terraplén. Diseño y especificaciones para los materiales a emplear, (FUENTE: Vías sin balasto en tramos de alta velocidad (SSF Ingenieure))

4.2.2 Transiciones de vía en placa a vía sobre balasto

Medidas empleadas para llevar a cabo la transición

Las zonas de transición entre la sección de vía en placa y vía sobre balasto son otro punto en el que se produce un cambio brusco en la rigidez vertical de la vía. Del análisis de las soluciones empleadas por las distintas administraciones ferroviarias para llevar a cabo la transición entre vía en placa y vía sobre balasto en sus líneas de alta velocidad, se observa que no hay una normativa específica que defina las características de los materiales empleados ni los parámetros de diseño y geométricos que deben de adoptarse. Las medidas empleadas más frecuentemente con objeto de obtener una transición gradual de la rigidez en estas zonas son las que se relacionan a continuación en función del objetivo que se persigue con ellas.

Medidas para reducir los asentamientos diferenciales

De todas las soluciones estudiadas, las medidas empleadas que tienen por objeto la reducción de los asentamientos diferenciales en las zonas de transición, son principalmente las dos siguientes:

- Prolongación de la base de hormigón y de la capa de protección frente a heladas de la sección de vía en placa. Esta medida suele adoptarse con objeto de prevenir posibles asentamientos en las capas inferiores de la plataforma en la zona de transición.
- Incremento de la capacidad portante del terreno mediante el empleo de geomallas. Estos elementos dispuestos bajo la capa de balasto permiten reducir los asentamientos de esta capa, aumentando además la durabilidad del balasto y reduciendo las operaciones de mantenimiento. La normativa de referencia en este sentido es la UNE EN-13250 Geotextiles y productos relacionados. Requisitos para su uso en construcciones ferroviarias.

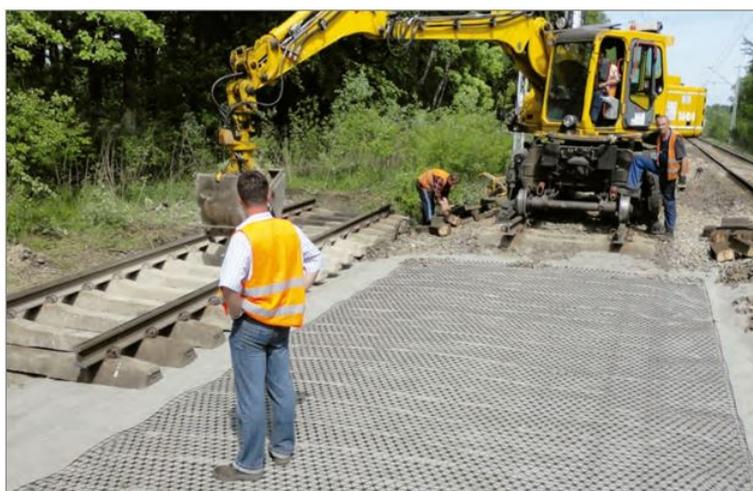


Figura 4.8: Empleo de geomallas para incrementar la capacidad portante

CAPÍTULO 4. REQUERIMIENTOS A SUPERAR EN ZONAS DE TRANSICIÓN Y APARATOS DE VÍA

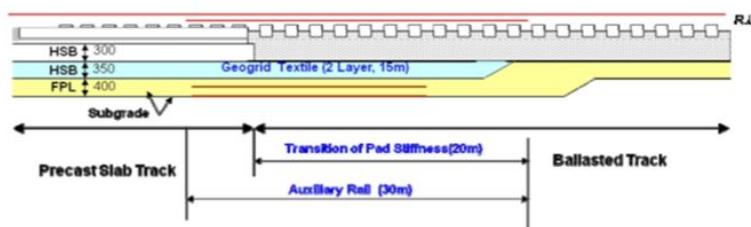


Figura 4.9: Esquema del empleo de geomallas en las transiciones de vía en placa a vía en balasto

Medidas para homogeneizar la rigidez

Todas las medidas que se relacionan a continuación tienen por objeto homogeneizar la rigidez de la vía, actuando sobre los elementos que forman parte de la superestructura de la misma:

- Transición de la rigidez de la vía. Esta transición se consigue mediante el empleo de placas de asiento bajo los patines de los carriles con una elasticidad variable (entre 22,5 kN/mm y 50 kN/mm), realizándose esta transición de elasticidad gradualmente en varias fases (de 3 a 5 según la bibliografía consultada). Del mismo modo, con el empleo de suelas elásticas bajo traviesa con rigidez variable (entre 100 y 240 kN/mm) se puede conseguir el mismo efecto. Las suelas elásticas bajo traviesa tienen un espesor comprendido entre los 10 y los 20 mm. Suelen estar formada por un material elastomérico de poliuretano, aunque a menudo se suelen emplear dos materiales, encargándose el dispuesto en el lado exterior de proteger al interior de los fenómenos abrasivos. Generalmente estas suelas suelen encolarse a la parte inferior de las traviesas.



Figura 4.10: Suelas elásticas bajo traviesas

Con el empleo de estas suelas se consigue aumentar la superficie de contacto de las traviesas con el balasto (del orden de un 30%), mejorando por lo tanto el reparto de cargas. Mediante este sistema se consigue reducir también el fenómeno de vibraciones. Según algunos estudios sería posible incluso reducir el espesor de la capa de balasto bajo traviesa empleando estos elementos

CAPÍTULO 4. REQUERIMIENTOS A SUPERAR EN ZONAS DE TRANSICIÓN Y APARATOS DE VÍA

- Empleo de carriles auxiliares. Es una práctica habitual el disponer dos carriles auxiliares en la zona de transición en la parte interior de los carriles de rodadura, fijándolos tanto a la sección de vía en placa como a las traviesas en la zona de vía sobre balasto, con objeto de que trabajen de forma solidaria con los carriles de rodadura, arriostando el conjunto y dotando a la estructura de una mayor rigidez. Estos carriles suelen tener una longitud de unos 30 metros, disponiéndose 5 metros sobre la vía en placa y fijándose los 25 metros restantes a las traviesas en la zona de balasto. Algunos sistemas de vía en placa como el Rheda 2000 dispone de traviesas especiales (en este caso la B355.3) que permiten la sujeción de los carriles adicionales a las mismas.



Figura 4.11: Carriles adicionales en zonas de transición

- Estabilización del balasto en los laterales de la vía en las proximidades de la vía en placa con resinas sintéticas o ligantes. En algunos sistemas, como es el caso del empleado por el ADIF, esto se consigue diseñando muretes guardabalasto. Estos elementos tienen la misión de “arropar” la vía confinando el balasto evitando así que la desconsolidación del mismo afecte a la rigidez del conjunto. Estos muretes suelen ejecutarse de tal modo que sean fácilmente desmontables, posibilitando así las labores de mantenimiento



Figura 4.12: Ejecución de muretes guardabalasto

CAPÍTULO 4. REQUERIMIENTOS A SUPERAR EN ZONAS DE TRANSICIÓN Y APARATOS DE VÍA

- Disposición de traviesas especiales más largas, reduciendo la separación entre las mismas en las proximidades de la vía en placa (hasta 0,55 m), y variando gradualmente esta separación hasta alcanzar los 0,60 metros a lo largo de la zona de transición. Con esta medida se consigue reducir las tensiones transmitidas al balasto.
- Encolado del balasto en la zona de transición. Mediante este procedimiento se pretende conseguir una variación gradual de la rigidez vertical de la vía. Esto se consigue estabilizando la sección completa de balasto bajo las 4 primeras traviesas situadas tras la sección de vía en placa y variando gradualmente la anchura y el espesor de balasto estabilizado a lo largo de las siguientes 12 traviesas, tal y como aparece indicado en las figuras adjuntas, hasta estabilizar únicamente el ancho correspondiente a la longitud de la traviesa y una profundidad igual a su canto. Este tipo de solución no ha sido aplicada hasta la fecha en líneas de alta velocidad, y puede presentar problemas desde el punto de view del mantenimiento, dado que no resulta posible el efectuar las labores de mantenimiento (bateo del balasto) en la zona tratada.

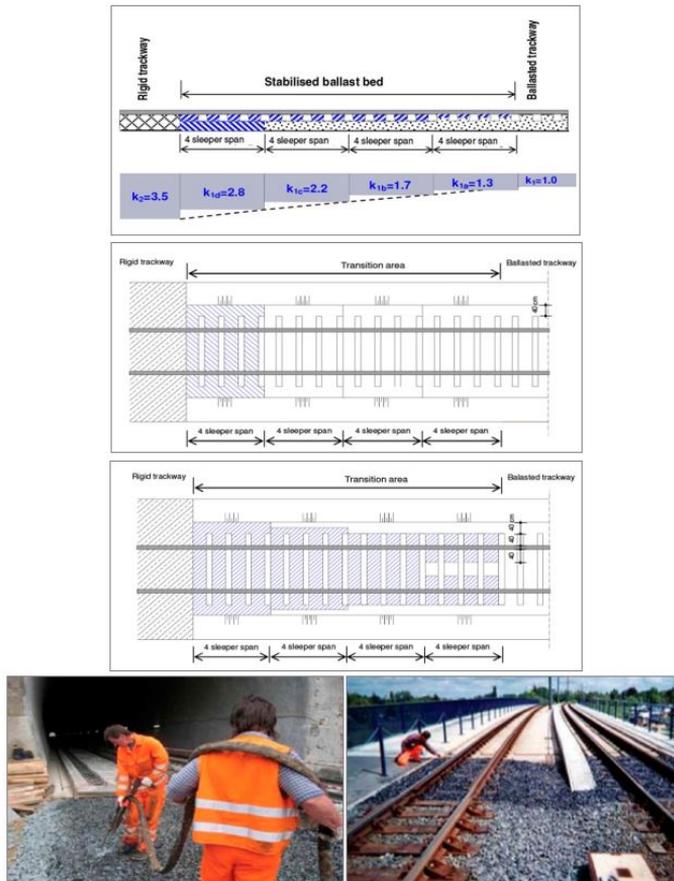


Figura 4.13: Empleo de la técnica de encolado de balasto en zonas de transición

Indicaciones para la ubicación de las zonas de transición

Resulta recomendable el diseñar estas transiciones en tramos donde la plataforma sea lo más homogénea posible, con objeto de evitar la aparición de nuevos factores que afecten a un tramo que ya de por sí resulta complejo. Deberá de tenderse también a que la plataforma en esta zona sea de la mejor calidad con objeto de evitar posibles asientos diferenciales. En este sentido la distancia que debe de mantenerse entre una transición de estructura de vía (vía en placa a vía sobre balasto) y una transición de subestructura debe de ser de al menos 50 metros. La transición de superestructura puede realizarse, o extendiendo la vía en placa más allá de la zona de transición de plataforma o bien extendiendo la vía sobre balasto sobre la estructura.

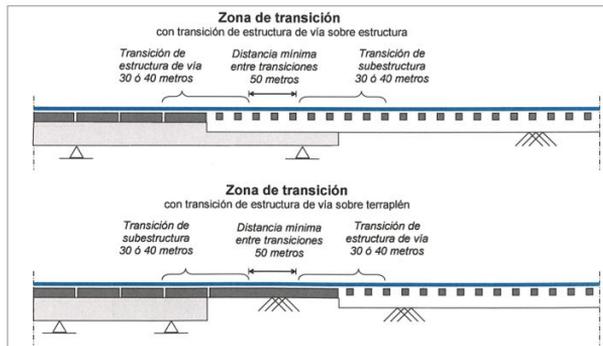


Figura 4.14: Recomendaciones para la localización de las zonas de transición entre vía en placa y vía sobre balasto

Por otro lado, deberá de evitarse la ejecución de cruces transversales para conducciones en el tramo de transición, ya que se pueden generar puntos de discontinuidad en la transición. Otra de las recomendaciones de diseño es que la cara lateral de la última traviesa hormigonada (en el caso de que se emplee este tipo de vía en placa) deberá de situarse a 0,15 metros del final de la vía en placa, mientras que la cara lateral de la primera traviesa que se disponga en la vía sobre balasto deberá de situarse a 0,20 metros de este punto.

Sistemas existentes en el mercado

En este apartado, y a modo de ejemplo, se describen de forma somera, algunas de las soluciones planteadas para la transición entre vía en placa y vía sobre balasto por los distintos sistemas de vía en placa existentes en el mercado, centrando este análisis fundamentalmente en los sistemas de vía en placa constituida por elemento prefabricados. Todos ellos emplean alguna de las medias relacionadas en los apartados anteriores.

- Sistema FFB. La solución adoptada por el sistema FFB para la transición con la vía sobre balasto, y descrita en su catálogo comercial, consiste en el extendido de la capa de suelocemento que se dispone bajo la vía en placa a lo largo de los 10 primeros metros de la vía balastada, manteniendo el espesor de 30 cm. Adicionalmente se procede al encolado del balasto de forma gradual en la zona de transición a lo largo de una longitud de aproximadamente 45 metros.

CAPÍTULO 4. REQUERIMIENTOS A SUPERAR EN ZONAS DE TRANSICIÓN Y APARATOS DE VÍA

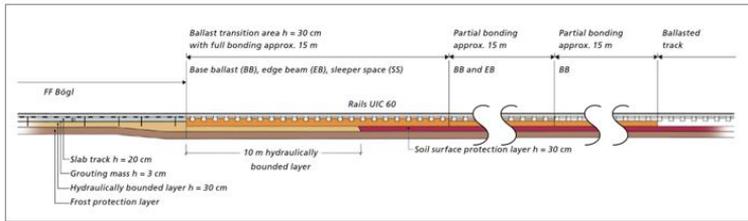


Figura 4.15: Transición placa-balasto en el sistema FFB, (FUENTE: Catálogo comercial FFB Feste Fahrbahn Bögl)

- Sistema LVT. De acuerdo con la información incluida dentro del catálogo de este sistema, el diseño de la transición entre el sistema de vía en placa y la vía sobre balasto se estudia de forma específica para cada caso concreto. Dicho catálogo no incluye esquemas de la transición tipo, pero sin embargo sí que hace referencia a las medidas a emplear (espaciado entre traviesas, ajuste de la rigidez de las placas de asiento, encolado del balasto, carriles adicionales, etc.). Todas estas medidas coinciden con las medidas señaladas en apartados anteriores
- Sistema ÖBB-PORR. La transición que se lleva a cabo en este sistema se basa en la regulación austriaca ÖBB RZ no. 17220. Se basa fundamentalmente en el empleo de carriles adicionales en una longitud de 20 metros, y el encolado del balasto en los primeros metros de la zona de transición (entre 30 y 35 metros), disminuyendo progresivamente el mismo. Presenta la peculiaridad de recurrir al empleo de una losa hormigonada con traviesas pretensadas de hormigón en la zona de transición con la sección de vía sobre balasto.

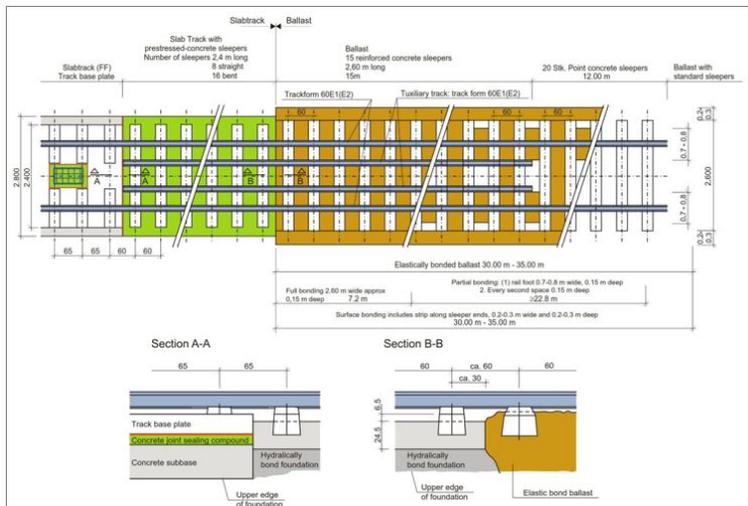


Figura 4.16: Transición placa-balasto en el sistema FFB, (FUENTE: Catálogo comercial ÖBB-PORR Slab Track System ÖBB-PORR Elastically Supported Track Base Plate)

CAPÍTULO 4. REQUERIMIENTOS A SUPERAR EN ZONAS DE TRANSICIÓN Y APARATOS DE VÍA

- Sistema Rheda2000. La transición de este sistema de vía en placa es la que habitualmente se utiliza en las líneas de alta velocidad españolas, siendo el que aparece reflejado en la Instrucción General para Proyectos de Vía IGV-11 de ADIF. Las medidas adoptadas en este sistema para garantizar la transición gradual de rigideces son: la disposición de carriles adicionales, el empleo de diferentes tipos de travесas y sujeciones de rigidez variable, la mejora de las capas superiores de la explanada mediante la disposición de capas tratadas con cemento. Adicionalmente se dispone una losa armada en los metros iniciales de la transición con objeto de evitar los posibles asientos diferenciales. Esta losa está unida solidariamente mediante un tacón al sistema de vía en placa. El tacón previsto en el contacto de los dos sistemas de vía evita los posibles movimientos longitudinales. En la sección sobre la losa se disponen muretes guardabalasto desmontables que permiten “arropar” la vía en estas zonas evitando la desconsolidación del balasto.

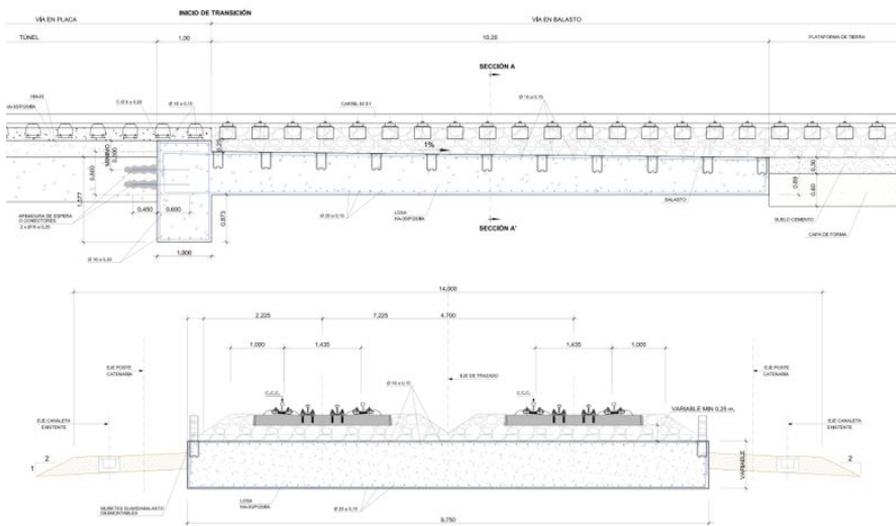


Figura 4.17: Transición placa-balasto en el sistema Rheda2000, (FUENTE: Instrucción General para la Redacción de Proyectos de Vía (ADIF))

Aparte de las soluciones antes descritas existen soluciones prefabricadas, como la desarrollada por la empresa austriaca Rhomberg Rail, consistente en el empleo de un módulo prefabricado formado por elementos de acero de sección y longitud variable, que se apoya sobre un elemento fijo en el extremo de la vía en placa y que permite que la transición de rigideces se efectúe de forma gradual. Este sistema presenta el inconveniente de que todavía se encuentra en fase de homologación por parte de la administración alemana para poder permitir su empleo en líneas de alta velocidad, aunque las pruebas realizadas en tramos de ensayo han sido realmente satisfactorias.

CAPÍTULO 4. REQUERIMIENTOS A SUPERAR EN ZONAS DE TRANSICIÓN Y APARATOS DE VÍA

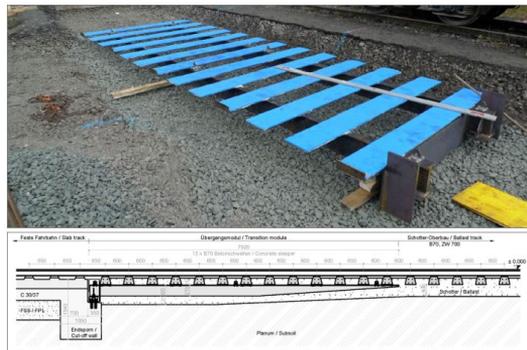


Figura 4.18: Transición placa-balasto. Sistema prefabricado V-TRAS,(FUENTE: Información facilitada por la empresa Rhomberg Rail)

Capítulo 5

Conclusiones

En el presente documento, se ha hecho un estudio de los fundamentos básicos del sistema de vía en placa y un análisis de diferentes sistemas existe con la finalidad de desarrollar un nuevo sistema de vía en placa. Existen numerosas técnicas de mejora de cimientado y núcleo de terraplenes descritas en la literatura: sustitución, compactación con rodillo, precarga, mechas drenantes, vibración profunda, compactación dinámica, inyecciones, jet-grouting, columnas de grava, columnas de suelo-cemento, bulones (claveteado), geosintéticos, explosivos, tratamientos térmicos, congelación, electroósmosis, etc. Las técnicas de estabilización con cal o con cemento se postulan como las más viables económicamente por ser los aditivos y las técnicas de puesta en obra bien conocidos en la obra pública. En obras de tierra sobre suelos blandos normalmente se aplican técnicas de aceleración de la consolidación del cimientado mediante precarga y drenes, no obstante también existen experiencias de la mejora de estos suelos mediante la incorporación de aditivos cementantes en profundidad. En casos extremos, se han llegado a emplear inclusiones rígidas o pilotes para sostener la vía en placa, independizando de este modo el comportamiento del terraplén del de la propia vía. Las capas portantes utilizadas en la actualidad se constituyen generalmente mediante materiales convencionales de construcción, estableciendo una diferencia entre una capa base, que suele ser de conglomerante hidráulico (suelocementos o gravacimientos) con aproximadamente un espesor de 30 cm., sobre la que apoya una capa más resistente realizada con mezclas asfálticas u hormigones (armado o sin armar). Existen estudios donde se ha analizado la posibilidad de realizar dichas capas portantes mediante subbalasto bituminoso, incluso modificado mediante la inserción de Neumático Fuera de Uso en polvo para mejorar sus prestaciones.

Capítulo 6

Bibliografía

[1] UNE-EN 13232-1 Aplicaciones ferroviarias. Vía. Aparatos de Vía. Parte 1: Definiciones., 2005.

[2] UNE-EN 13232-2:2005+A1 Aplicaciones ferroviarias. Vía. Aparatos de Vía. Parte 2: Requisitos para el diseño geométrico., 2012.

[3] UNE-EN 13232-3:2006+A1 Aplicaciones ferroviarias. Vía. Aparatos de Vía. Parte 3: Requisitos para la interacción rueda/carril., 2012.

[4] UNE-EN 13232-4:2007+A1 Aplicaciones ferroviarias. Vía. Aparatos de Vía. Parte 4: Maniobra, bloqueo y control., 2012.

[5] UNE-EN 13232-5:2007+A1 Aplicaciones ferroviarias. Vía. Aparatos de Vía. Parte 5: Agujas., 2012.

[6] UNE-ENV 13481-6:2003 EX/AC Aplicaciones ferroviarias. Vía. Requisitos de funcionamiento para los conjuntos de sujeción. Parte 6: Sistemas de fijación especiales para atenuación de las vibraciones., 2006.

[7] UNE-EN 13232-7:2007+A1 Aplicaciones ferroviarias. Vía. Aparatos de Vía. Parte 7: Corazones con partes móviles., 2012.

[8] UNE-EN 13232-9:2007+A1 Aplicaciones ferroviarias. Vía. Aparatos de Vía. Parte 9: Configuración., 2012.

[9] 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., 2012.

[10] 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., 2003.

[11] 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., 2012.

- [12] José Manuel García Díaz de Villegas and Miguel Rodríguez Bugarín, Desvíos Ferroviarios.
- [13] Página web Schwihag AG. [Online]. <http://schwihag.com/>
- [14] Voestalpine BWG GmbH & Co KG. <http://www.voestalpine.com/>.
- [15] ADIF, Catálogo de desvíos de la Gerencia de Suministros y Logística de ADIF
- [16] Bernhard Lichtberguer, Manual de vía. Infraestructura-Superestructura-Conservación-Rentabilidad.: Eurailpress, 2011.
- [17] UIC 774-3 R. Interaction voie/ouvrages d'art. Recommandations pour les calculs. 2e édition., 2000.
- [18] Eurocódigo I: Acciones en estructuras. Cargas de tráfico en puentes.
- [19] Ministerio de Fomento, Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de ferrocarril IAPF-07., 2007.
- [20] UNE-EN 13232-8:2007+A1 Aplicaciones ferroviarias. Vía. Aparatos de Vía. Parte 8: Aparatos de dilatación., 2012.
- [21] Voestalpine, Catálogo Rail Movement Joints.
- [22] José Manuel Galindo (ADIF), ADIF crossing switches and expansion devices for high speed track (8th World Congress on High Speed Rail), Philadelphia 2012.
- [23] Administrador de Infraestructuras Ferroviarias ADIF, Instrucción General para la Redacción de los Proyectos de Vía IGV., 2011.
- [24] ADIF, Catálogo de aparatos de dilatación de la Gerencia de Suministros y Logística de ADIF.
- [25] Robert Chillón García, Criterios de disposición de aparatos de dilatación de vía en puentes de ferrocarril de alta velocidad, 2005, Tesina.
- [26] Administrador de Infraestructuras Ferroviarias ADIF, Estudio de criterios para el diseño y la construcción de viaductos con vía en placa., 2009.
- [27] Pedro González, Manuel Cuadrado, Jorge Nasarre, and Eduardo Romo, Alta Velocidad: El fenómeno de interacción vía-tablero en puentes.: Revista de Obras Públicas, 2002.
- [28] UNE-EN 13232-6:2007+A1 Aplicaciones ferroviarias. Vía. Aparatos de Vía. Parte 6: Corazonas de cruzamiento y de travesía fijos., 2012.
- [29] UNE-EN 13481-1 Aplicaciones ferroviarias. Vía. Requisitos de funcionamiento para los conjuntos de sujeción. Parte 1: Definiciones., 2013.
- [30] Dipl.-Ing. (FH) Hubert Greubel, Max Bögl concrete slabs for switches and crossing.
- [31] Eduardo Fortunato y Rui Calçada Andre Paixao, "Design and construction of backfills for railway track transition zones," Journal of rail and rapid transit, 2013.
- [32] UIC 719 Earthworks and track bed construction for railway lines.

- [33] Administrador de Infraestructuras Ferroviarias, Instrucciones y Recomendaciones para Redacción de Proyectos de Plataforma IGP, 2011.
- [34] CENIT-TRANSyT, "Reducción de las variaciones de rigidez vertical de la vía: Establecimiento de criterios de diseño, recepción y mantenimiento de las infraestructuras ferroviarias ," 2008.
- [35] Administrador de Infraestructuras Ferroviarias ADIF, Estudio de criterios para el diseño y la construcción de viaductos con vía en placa., 2009.
- [36] Urbantrack, "Efficient Low Cost Renewal and Refurbishment Methods for Tracks in Tunnels and on Bridges and Viaducts ," 2009.
- [37] SSF Ingenieure, Slab track systems on different substructures.
- [38] Pfleiderer Aktiengesellschaft, "Slab Track System RHEDA 2000. Description of the system,".
- [39] Coenraad Esveld, "Innovations in railway track,".
- [40] Administrador de Infraestructuras Ferroviarias ADIF, Instrucción General para la Redacción de los Proyectos de Vía IGV., 2011.
- [41] Mario Ferreiro Casal, "Montaje de vía de alta velocidad en placa," iiR España,.
- [42] S.C. Yang, H.S. Lee, Y.B. Kim, S.Y. Jang, E. Kim Y.S.Kang, "A study of track and train dynamic behavior of transition zone between concrete slab track and ballasted track,".
- [43] Stjepan Lakusic, "Experimental investigation of railway track with under sleeper pad,".
- [44] Stjepan Lakusic, "Track stability using ballast bonding method,".
- [45] "Transit Cooperative Research Program. Research Results Digest 79,".
- [46] Georg-Simon-Ohm, "Schotterverklebungstechnologie im Gleisbau ," Hochschule Nürnberg,.
- [47] Ratahallintokeskus Banförvaltningscentralen, Kehäradan kiintoraideselvitys, 2008.
- [48] ÖBB-PORR, "Catálogo comercial ÖBB-PORR Slab Track System ÖBB-PORR Elastically Supported Track Base Plate,".
- [49] (2013, Diciembre) Página Web <http://www.reisinger-partner.at>. [Online]. <http://www.reisinger-partner.at>
- [50] iiR España, "Proyecto, ejecución y construcción de vía en placa,".
- [51] Catálogo comercial FFB Feste Fahrbahn Bögl.
- [52] ThyssenKrupp, NBU System Concept. Execution and Construction Site Report.
- [53] Jorge Nasarre, Transiciones obras de paso-terraplén. Los bloques técnicos en las vías ferroviarias. Proyecto y Conservación.: Fundación Caminos de Hierro, 2007.

- [54] Georgios Michas, Slab Track Systems for High-Speed Railways.
- [55] Manuel Melis Maynar, Apuntes de introducción a la dinámica vertical de la vía y a las señales digitales en ferrocarriles., 2008.
- [56] Bernhard Lichtberguer, Manual de vía. Infraestructura-Superestructura-Conservación-Rentabilidad.: Eurailpress, 2011.
- [57] Pedro González, Manuel Cuadrado, Jorge Nasarre, and Eduardo Romo, Alta Velocidad: El fenómeno de interacción vía-tablero en puentes.: Revista de Obras Públicas, 2002.
- [58] Inmaculada Gallego, Ana Rivas, and Santos Sánchez-Cambroner, Criteria for Improving the Embankment-Structure Transition Design in Railway Lines.: Intech, 2012.
- [59] Administrador de Infraestructuras Ferroviarias ADIF, Estudio de criterios para el diseño y la construcción de viaductos con vía en placa, 2009.
- [60] Administrador de Infraestructuras Ferroviarias, Instrucciones y Recomendaciones para Redacción de Proyectos de Plataforma IGP, 2011.
- [61] I. Gallego, A. Rivas y S. Sánchez-Cambroner, Criteria for Improving the Embankment-Structure Transition Design in Railway Lines, Intech, 2012.
- [62] J. Nasarre, Transiciones obras de paso-terraplén. Los bloques técnicos en las vías ferroviarias. Proyecto y Conservación, Fundación Caminos de Hierro, 2007.
- [63] P. González, M. Cuadrado, J. Nasarre y E. Romo, Alta Velocidad: El fenómeno de interacción vía-tablero en puentes, Revista de Obras Públicas, 2002.
- [64] J. M. García Díaz de Villegas y M. Rodríguez Bugarín, Desvíos Ferroviarios.
- [65] G. Michas, Slab Track Systems for High-Speed Railways.
- [66] M. Melis Maynar, Apuntes de introducción a la dinámica vertical de la vía y a las señales digitales en ferrocarriles, 2008.
- [67] UNE-EN 13232-1 Aplicaciones ferroviarias. Vía. Aparatos de Vía. Parte 1: Definiciones, 2005.
- [68] UNE-EN 13232-2:2005+A1 Aplicaciones ferroviarias. Vía. Aparatos de Vía. Parte 2: Requisitos para el diseño geométrico, 2012.
- [69] UNE-EN 13232-3:2006+A1 Aplicaciones ferroviarias. Vía. Aparatos de Vía. Parte 3: Requisitos para la interacción rueda/carril, 2012.
- [70] UNE-EN 13232-4:2007+A1 Aplicaciones ferroviarias. Vía. Aparatos de Vía. Parte 4: Maniobra, bloqueo y control, 2012.
- [71] UNE-EN 13232-5:2007+A1 Aplicaciones ferroviarias. Vía. Aparatos de Vía. Parte 5: Agujas, 2012.
- [72] UNE-EN 13232-7:2007+A1 Aplicaciones ferroviarias. Vía. Aparatos de Vía. Parte 7: Cora-

zones con partes móviles, 2012.

[73] UNE-EN 13232-6:2007+A1 Aplicaciones ferroviarias. Vía. Aparatos de Vía. Parte 6: Corazones de cruzamiento y de travesía fijos, 2012.

[74] UNE-EN 13232-8:2007+A1 Aplicaciones ferroviarias. Vía. Aparatos de Vía. Parte 8: Aparatos de dilatación, 2012.

[75] UNE-EN 13232-9:2007+A1 Aplicaciones ferroviarias. Vía. Aparatos de Vía. Parte 9: Configuración, 2012.

[76] UNE-EN 13481-1 Aplicaciones ferroviarias. Vía. Requisitos de funcionamiento para los conjuntos de sujeción. Parte 1: Definiciones, 2013.

[77] 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, 2012.

[78] 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, 2003.

[79] UNE-ENV 13481-6:2003 EX/AC Aplicaciones ferroviarias. Vía. Requisitos de funcionamiento para los conjuntos de sujeción. Parte 6: Sistemas de fijación especiales para atenuación de las vibraciones, 2006.

[80] 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, 2012.

[81] ADIF, Catálogo de aparatos de dilatación de la Gerencia de Suministros y Logística de ADIF.

[82] Ministerio de Fomento, Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de ferrocarril IAPF-07, 2007.

[83] Eurocódigo I: Acciones en estructuras. Cargas de tráfico en puentes.

[84] Administrador de Infraestructuras Ferroviarias ADIF, Instrucción General para la Redacción de los Proyectos de Vía IGV, 2011.

[85] UIC 719 Earthworks and track bed construction for railway lines.

[86] UIC 774-3 R. Interaction voie/ouvrages d'art. Recommandations pour les calculs. 2e édition, 2000.

[87] Catálogo FFB Slab Track Bögl.

[88] D.-I. (. H. Greubel, Max Bögl concrete slabs for switches and crossing.

[89] D.-I. H. Greubel, Auf 32 kilometern Feste Fahrbahn für 300 km/h.

[90] B. Lichtberguer, Manual de vía. Infraestructura-Superestructura-Conservación-Rentabilidad, Eurailpress, 2011.

CAPÍTULO 6. BIBLIOGRAFÍA

[91] SSF Ingenieure, Vías sin balasto en tramos de alta velocidad.

[92] Voestalpine, Catálogo Rail Movement Joints.