



Co-financed by the Connecting Europe
Facility of the European Union



Consultoría y Asistencia Técnica para la redacción del Estudio de Viabilidad, Anteproyecto, Proyecto Constructivo de Referencia, Documentación Ambiental, Plan de Explotación y Programa Económico de una

Línea de Tranvía Este – Oeste en Zaragoza

ANTEPROYECTO

Anejo nº7. Superestructura

Zaragoza, marzo de 2019





Co-financed by the Connecting Europe
Facility of the European Union

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN, OBJETO Y ALCANCE.....	6		
2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS VÍAS DEL TRANVÍA.....	7		
2.1. CONDICIONANTES DERIVADOS DEL USO COMPARTIDO CON TREN-TRAM.....	7		
2.2. ANCHO DE VÍA.....	7		
2.3. CARGA POR EJE DEL MATERIAL RODANTE.....	7		
2.4. VELOCIDAD DE DISEÑO.....	7		
2.5. PARÁMETROS DE TRAZADO.....	8		
2.6. CONCEPCIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA.....	8		
2.7. TIPOLOGÍA DE PLATAFORMA.....	8		
2.8. REQUISITOS DE RUIDO Y VIBRACIONES. ATENUACIÓN.....	8		
2.9. REFERENTES AL AISLAMIENTO ELÉCTRICO.....	9		
2.10. INTERFACES CON EL MATERIAL MÓVIL Y LOS SISTEMAS.....	9		
2.11. MANTENIMIENTO Y DURABILIDAD.....	9		
3. CARRIL.....	10		
3.1. TIPOS DE CARRIL.....	10		
3.1.1. Carril UIC 54.....	10		
3.1.2. Carril RI 60 N.....	11		
3.1.3. Carril Ri 59 N.....	11		
3.1.4. Tipo de carril propuesto.....	11		
4. SISTEMA DE TENDIDO DE VÍA Y REVESTIMIENTOS.....	12		
4.1. TIPOS DE TENDIDO DE VÍA.....	12		
4.1.1. Sistema de vía clásico embebido en losa de hormigón (tendido francés y tendido sobre tacos). 13			
4.1.2. Sistema de vía clásico con apoyo continuo..... 17			
4.1.3. Sistema de vía estuchada o tendido tipo Sedra o Thyssenkrupp..... 21			
4.1.4. Sistema de vía embebido en material elástico, resina Corkelast..... 24			
4.1.5. Sistema de vía embebido, con carril prerrevestido..... 27			
4.2. ANÁLISIS DE ATENUACIONES NECESARIAS..... 31			
4.3. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS SISTEMAS DE TENDIDO DE VÍA..... 32			
4.4. SISTEMA DE TENDIDO DE VÍA PROPUESTO..... 34			
4.5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL SISTEMA PROPUESTO..... 34			
4.5.1. Explanada..... 34			
4.5.2. Losa soporte de vía..... 34			
4.5.3. Sistema de vía..... 35			
4.5.4. Aparatos de vía..... 36			
4.5.5. Atenuación de ruido y vibraciones..... 37			
4.5.6. Acabados de superestructura..... 37			
APÉNDICE Nº1. CÁLCULO ESTRUCTURAL DE LA LOSA..... 39			
AP1.1. CARACTERÍSTICAS DEL DISEÑO..... 41			
AP1.2. MODELO DE CÁLCULO..... 43			
AP1.3. RESULTADOS DE CÁLCULO..... 44			



ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Sección Carril UIC 54.....	10	Ilustración 18. Sistema de vía clásico con apoyo continuo. Instalación de vía.....	19
Ilustración 2. Sección Carril RI 60.....	11	Ilustración 19. Sistema de vía clásico con apoyo continuo. Hormigonado.....	19
Ilustración 3. Sección Carril RI 59 N.....	11	Ilustración 20. Sistema de vía clásico con apoyo continuo. Acabado en césped artificial.....	19
Ilustración 4. Imagen general de una vía en placa.....	13	Ilustración 21. Sistema de vía clásico con apoyo continuo. Acabado en aglomerado asfáltico.....	20
Ilustración 5. Sistema vía clásico embebido.....	13	Ilustración 22. Sistema de vía clásico con apoyo continuo. Acabado en hormigón impreso.....	20
Ilustración 6. Sistema de tendido de vía clásico embebido en losa de hormigón.....	14	Ilustración 23. Sistema de vía clásico con apoyo continuo. Izquierda: Dresden (Alemania). Derecha: Berlín (Alemania).....	20
Ilustración 7. Sistema de tendido de vía clásico ASP.....	14	Ilustración 24. Sistema de vía estuchada.....	22
Ilustración 8. Sistema de tendido de vía clásico con losa flotante.....	14	Ilustración 25. Sistema de vía estuchada. Metrocentro de Sevilla. Detalle de pavimentación de plataforma. Detalle riostra....	22
Ilustración 9. Tendido de vía en placa con bloques tipo Edilon o similar.....	14	Ilustración 26. Sistema de vía estuchada. Detalle del proceso de hormigonado y juntas transversales tipo JRI.....	22
Ilustración 10. Tendido de vía en placa con bloques tipo Edilon o similar. Detalles.....	14	Ilustración 27. Sistema de vía embebido, Corkelast.....	24
Ilustración 11. Montaje superestructura Tranvía de Burdeos.....	15	Ilustración 28. Sistema de vía embebida Corkelast y losa flotante.....	24
Ilustración 12. Montaje superestructura Tranvía de Oporto.....	15	Ilustración 29. Sistema de vía embebida Corkelast. Ejecución losa Metro Ligero de Granada.....	25
Ilustración 13. Montaje superestructura Tranvía de Oporto. Detalle de husillos para nivelación.....	16	Ilustración 30. Detalle vertido de Corkelast.....	25
Ilustración 14. Tranvía de Oporto. Detalle de pavimentación de plataforma.....	16	Ilustración 31. Sistema de vía embebida Corkelast. Revestimiento en césped.....	26
Ilustración 15. Tranvía de Bilbao. Detalle de revestimiento en césped.....	16	Ilustración 32. Sistema de vía embebida Corkelast. Revestimiento en hormigón.....	26
Ilustración 16. Sistema de vía clásico con apoyo continuo.....	18	Ilustración 33. Sección vía embebida con carril pre-revestido.....	27
Ilustración 17. Sistema de vía clásico con apoyo continuo. Colocación de traviesas.....	19	Ilustración 34. Detalle de sección vía embebida con carril pre-revestido.....	28



Co-financed by the Connecting Europe Facility of the European Union



Ilustración 35. Sección vía embebida con carril pre-revestido. Metro Ligero de Madrid. Montaje de superestructura.....	29	Ilustración 54. Resultado de cálculo Y	45
Ilustración 36. Sección vía embebida con carril pre-revestido. Tranvía de Parla. Montaje de superestructura.....	29	Ilustración 55. Resultado de cálculo X+	45
Ilustración 37. Sección vía embebida con carril pre-revestido. Tranvía de Atenas. Montaje de superestructura	29	Ilustración 56. Resultado de cálculo Y+	45
Ilustración 38. Sección vía embebida con carril pre-revestido. Tranvía de Murcia. Montaje de superestructura	29	Ilustración 57. Detalles numéricos y geométricos del Carril Ri59N.....	46
Ilustración 39. Sección vía embebida con carril pre-revestido. Tranvía de Murcia. Montaje de superestructura (2)	30	Ilustración 58. Resultados en losa frente a fallo de apoyo	47
Ilustración 40. Sección vía embebida con carril pre-revestido. Sellado de enchaquetado	30		
Ilustración 41. Sección vía embebida con carril pre-revestido. Vista general.....	35		
Ilustración 42. Sección vía embebida con carril pre-revestido. Detalle de sistema de sujeción de carril.....	35		
Ilustración 43. Desvío DTI-RI60-50-1/6-CR-D.....	36		
Ilustración 44. Distribución de ejes Urbos3	44		
Ilustración 45. Resultado de cálculo M1	44		
Ilustración 46. Resultado de cálculo M2.....	44		
Ilustración 47. Resultado de cálculo	44		
Ilustración 48. Resultado de cálculo Y	44		
Ilustración 49. Resultado de cálculo X+	45		
Ilustración 50. Resultado de cálculo Y+	45		
Ilustración 51. Resultado de cálculo M1	45		
Ilustración 52. Resultado de cálculo M2.....	45		
Ilustración 53. Resultado de cálculo	45		



Co-financed by the Connecting Europe
Facility of the European Union

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ventajas e inconvenientes Carril UIC 54.....	10
Tabla 2. Ventajas e inconvenientes Carril RI 60.....	11
Tabla 3. Ventajas e inconvenientes Carril RI 59 N.....	11
Tabla 4. Análisis comparativo de los sistemas de tendido de vía.....	33
Tabla 5. Coeficientes de seguridad de las acciones (situación persistente o transitoria).....	41
Tabla 6. Coeficientes de seguridad de las acciones (situación accidental).....	41
Tabla 7. Coeficientes de seguridad de las acciones (estados límites de servicio).....	42
Tabla 8. Coeficientes de combinación de acciones.....	42
Tabla 9. Tabla resumen de resultados.....	46



1. INTRODUCCIÓN, OBJETO Y ALCANCE

La superestructura de vía representa una interfaz entre la Infraestructura y el material móvil y condiciona, en gran parte, la calidad de rodamiento y el mantenimiento del sistema.

La elección de un sistema de vía u otro, así como su ejecución son claves para la vida del tranvía y los costos de mantenimiento y explotación.

El objeto del presente anejo es la definición del sistema de plataforma tranviaria. Cualquiera de las secciones evaluadas deberá cumplir los siguientes objetivos:

- Llevar a cabo actuaciones que permitan la integración del nuevo sistema de transporte, mejorando la accesibilidad e integración de la infraestructura dentro de la trama urbana y al mismo tiempo renovar la imagen de las calles afectadas.
- No constituir ninguna barrera física.
- Implantar un sistema de transporte sostenible y amable tanto con los usuarios como con el entorno en el que se ubica.
- Ser un sistema con durabilidad y bajos costes de mantenimiento.

A grandes rasgos, un tranvía convencional es un medio de transporte de pasajeros que circula sobre carriles y por la superficie en áreas urbanas, en las propias calles, sin que sea necesaria la separación física del resto de elementos de la trama urbana. En función de los materiales elegidos para la capa de acabado puede potenciarse aún más, si cabe, la integración del sistema de transporte en la trama urbana consolidada. La tracción es eléctrica con alimentación habitual por línea aérea, si bien pueden establecerse tramos (o línea completa) con sistema de alimentación sin catenaria.

2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS VÍAS DEL TRANVÍA

Para la definición de la superestructura de la vía es necesario fijar una serie de parámetros básicos que permitan concretar las características de los diferentes elementos que la componen:

- Ancho de vía
- Carga por eje de material rodante
- Velocidad de diseño
- Parámetros de trazado
- Concepción de la infraestructura
- Tipología de plataforma
- Requisitos de ruido y vibraciones
- Referentes al aislamiento eléctrico
- Interfaces con el material móvil y los sistemas
- Mantenimiento y durabilidad

2.1. CONDICIONANTES DERIVADOS DEL USO COMPARTIDO CON TREN-TRAM

Con respecto a estos parámetros, debe indicarse que, con fecha 3 de diciembre de 2018 finaliza el proceso de Consulta Pública de la “Revisión del Plan de Movilidad Urbana Sostenible del Municipio de Zaragoza”, desarrollado por el Ayuntamiento de Zaragoza. Entre las medidas propuestas en el PMUSZ, y aprobadas en dicho proceso, en el apartado de “Estudio y mejora de la conectividad de la red tranviaria y ferroviaria (IM.04)”, se indica que la “línea 2 del tranvía se debería proyectar como una línea con plataforma compatible con la circulación de unidades de tren-tram, para optimizar por tanto la intermodalidad entre ambos sistemas”.

En paralelo a la elaboración del Anteproyecto de la línea este-oeste de Zaragoza, y con fecha 21 de diciembre de 2018, el Consorcio de Transportes de Área de Zaragoza adjudica la elaboración del “Estudio de Viabilidad para el establecimiento de un servicio tren-tram entre Zaragoza y Villanueva de Gállego”, integrado en un corredor ferroviario Zaragoza-Huesca”, dando comienzo estos trabajos el 8 de enero de 2019.

De acuerdo con estas premisas, la infraestructura diseñada debe ser compatible con un posible uso futuro compartido tranvía y tren-tram, por lo que algunos de los parámetros de diseño están condicionados por este aspecto.

Asimismo, es posible que, tras la redacción del “Estudio de Viabilidad para el establecimiento de un servicio tren-tram entre Zaragoza y Villanueva de Gállego”, integrado en un corredor ferroviario Zaragoza-Huesca”, alguno de los parámetros contemplados en el presente Anteproyecto, deba ser revisado en fase de redacción del Proyecto Constructivo de Referencia.

2.2. ANCHO DE VÍA

El ancho de vía internacional fijado por la Conferencia de Berna de 1.887 es de 1.435 mm, cifra que se entiende como mínima en alineación recta. Esta dimensión es uno de los parámetros más importantes a fijar dentro del diseño de una nueva infraestructura férrea ya que influye en el trazado (menor ancho permite radios menores), y el dimensionado de la superestructura e infraestructura.

Buena parte de las redes de transporte tranviario urbano de pasajeros han adoptado este valor para sus líneas. En este caso, y dada la necesidad de compatibilidad con línea 1, se establece dicho ancho de vía.

2.3. CARGA POR EJE DEL MATERIAL RODANTE

Permitirá dimensionar la estructura resistente de las diferentes partes de la superestructura. Este dato será facilitado por el fabricante del material móvil una vez aprobado, pero no supondrá más de 12 toneladas por eje.

2.4. VELOCIDAD DE DISEÑO

Junto con la carga por eje, ayuda a determinar los esfuerzos a los que van a estar sometidos los carriles y, por tanto, determinar qué elementos disponer para transmitir éstos adecuadamente a las capas inferiores.



Se elige como velocidad de diseño 50 km/h, si bien se ha considerado una velocidad de operación de 40 km/h.

2.5. PARÁMETROS DE TRAZADO

El radio mínimo a emplear junto con la velocidad y la carga por eje influyen en el desgaste del carril y en los esfuerzos que se transmiten a éste. Además, también tienen una incidencia importante en la generación de ruidos y vibraciones.

En la línea este-oeste del tranvía de Zaragoza, se ha establecido un radio mínimo de 25 m. Dicho radio mínimo se ha ampliado a 30 m en los tramos de potencial uso compartido con el tren-tram.

2.6. CONCEPCIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA

Dependiendo del nivel respecto al terreno al que discurra el nuevo sistema de transporte a implantar, la definición de la superestructura puede variar sustancialmente.

En este caso, dado que el tranvía discurre al mismo nivel de la calzada, deberá emplearse un carril embebido con la superestructura al mismo nivel que el de la calzada por la que discurre el resto del tráfico.

2.7. TIPOLOGÍA DE PLATAFORMA

Al igual que sucede en la línea 1, se diseña la línea este-oeste del tranvía de Zaragoza con plataforma reservada, a excepción de los cruces viarios/tranviarios. En este caso no existe zona de tráfico compartido peatón-tranvía.

El paso de una plataforma reservada en un entorno urbano es vivido a menudo como una dificultad en términos de inserción. Los condicionantes están ligados a las características físicas de los viales y a los otros usuarios a tener en cuenta. La lectura histórica y geográfica de las formas urbanas y el análisis de las funciones y usos aportan los elementos indispensables a la elaboración de un proyecto que integre calidad de servicio con el confort de los usuarios y la seguridad del espacio público.

El estudio de permeabilidad se realiza buscando la integración óptima del sistema de transporte en compromiso con un nivel de servicio competitivo.

El objetivo del estudio es el de relacionar desde el diseño inicial, las futuras condiciones de circulación del tranvía (velocidad, niveles de atención, avisos, señalización, etc.) con la urbanización, las actividades colindantes, la circulación viaria, los niveles de prioridad y la seguridad.

Es decir, asegurar que las funcionalidades necesarias para la circulación del tranvía con un máximo nivel de convivencia con el resto de los usuarios se traducen en el urbanismo propuesto, con coherencia, y de manera que sea bien reconocido e interpretado por todos los usuarios.

En relación con este aspecto, indicar que, como se describe a continuación, se han respetado criterios de inserción y accesibilidad similares a los implantados en línea 1, a fin de garantizar una correcta interpretación de todos los espacios por parte de los usuarios (tanto peatones, como conductores).

2.8. REQUISITOS DE RUIDO Y VIBRACIONES. ATENUACIÓN

La legislación medioambiental aplicable en la gran mayoría de los casos condiciona las emisiones de ruido y vibraciones en entorno urbano por el impacto que tiene sobre el ser humano. Este parámetro puede condicionar la adopción de medidas que los atenúen o mitiguen en mayor o menor escala en función del entorno por el que discurre la línea (colegios, hospitales,...).

Como referencia se ha adoptado lo estipulado por la "Direction 8regionales de l'Equipement d'Ile-de-France", donde se distinguen 3 tipos de atenuaciones:

– Nivel 0:	Atenuación <10 dB	Distancia a fachadas > 12 m
– Nivel 1:	Atenuación 10-20 dB	Distancia a fachadas 7-12 m
– Nivel 2:	Atenuación > 20 dB	Distancia a fachadas < 7m

Para estimar los niveles de ruidos y vibraciones permisibles se considerarán las disposiciones y regulaciones concernientes a este tema dentro de la Ordenanza para la protección contra ruidos y vibraciones en el término municipal de Zaragoza (aprobado por el Ayuntamiento en el Pleno del 31.10.2001) y la Ley 7/2010, de 18 de noviembre, de protección contra la contaminación acústica de Aragón.



2.9. REFERENTES AL AISLAMIENTO ELÉCTRICO

La distribución de la energía de tracción del material móvil se realizará mediante hilo de contacto para la alimentación positiva y a través de los carriles para la polaridad negativa. Se adoptarán disposiciones para garantizar el aislamiento correcto de los carriles con la tierra, con el fin de limitar la propagación de las corrientes vagabundas. A su vez será un factor importante la independencia o aislamiento de los dos carriles para garantizar el correcto funcionamiento de los sistemas de detección de la señalización ferroviaria.

2.10. INTERFACES CON EL MATERIAL MÓVIL Y LOS SISTEMAS

Dentro de los objetivos de la puesta de vía está la buena resolución de las interfaces entre los sistemas de vía y el material móvil.

Para los Sistemas, las principales interfaces a considerar son:

- Paso de tubos desde las arquetas (o canaletas) de multitubular hasta los elementos de señalización presentes entre los carriles (balizas, circuitos de vía, motores de accionamientos, etc.).
- Interferencias entre los elementos metálicos de la vía y los eventuales circuitos de vías destinados a la detección del tren. Por ejemplo, losas armadas con fibra de vidrio para evitarlas.

En el caso del Material Móvil, se cuidarán especialmente las interfaces siguientes:

- Dureza de la rueda y dureza del carril. Conviene que se utilicen aceros de durezas similares para evitar el desgaste prematuro del carril o de las ruedas del material rodante.
- Velocidad de paso del tranvía. Se adaptará el diseño de la superestructura de vía a los elementos de sujeción del carril y a los sistemas amortiguadores.
- Tolerancias de vía en función de las características de las alineaciones (recta o curva) y de las características del material rodante.

2.11. MANTENIMIENTO Y DURABILIDAD

La renovación de carriles o sustitución de agujas deberá efectuarse sin entorpecer la explotación de la línea. Otro aspecto considerable es que en la vía embebida no es posible su inspección, por lo que será imprescindible garantizar la geometría de los carriles, el ancho de la vía y la estabilidad de la plataforma.

3. CARRIL

Como carril embebido pueden emplearse dos tipologías: el “Vignole” (UIC) tradicional (manzana, alma y patín) UIC-54, adoptándose en la zona de cruces o de circulación permitida con un contracarril para hacer la plataforma rebasable; y en zona compartida un modelo de carril tipo “Phoenix” (RI) (con elemento de rodadura en garganta Ri-60 ó Ri-59).

Estos carriles son los comúnmente utilizados para los sistemas tranviarios, ya que las dimensiones de las ruedas de los tranvías, así como sus elementos, no permiten la utilización de cualquier tipo de carril.

Estos carriles son convencionales y laminados por muchas acerías en todo el mundo, lo que los hace habituales en instalaciones tranviarias y competitivos en precios. Los carriles serán resistentes al desgaste, dada la geometría que impone el trazado, con radios reducidos y pendientes pronunciadas.

El suministro se hará en barra de 18 m, y se unirán mediante soldadura aluminotérmica in situ.

El revestimiento del carril garantizará su protección respecto a los tipos de tratamiento superficial de la vía (césped, adoquinado, hormigón...) y contribuye, por sus capacidades aislantes, a limitar las corrientes vagabundas.

Entre los tipos de carriles existentes, se destacan por su importancia dos como los más usados en sistemas tranviarios:

3.1. TIPOS DE CARRIL

3.1.1. Carril UIC 54

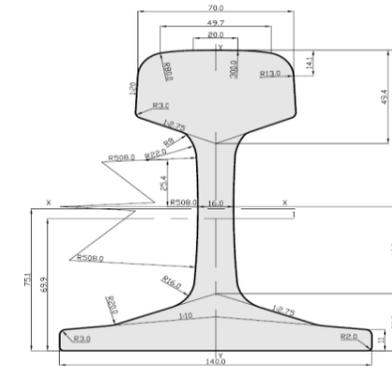


Ilustración 1. Sección Carril UIC 54

Tabla 1. Ventajas e inconvenientes Carril UIC 54

Ventajas	Inconvenientes
Bajo coste (1,040 €/t)	Plataforma con acceso único a tranvías (salvo adaptación)
	No puede ser compartida por otro tipo de vehículos (salvo adaptación)

3.1.2. Carril RI 60 N

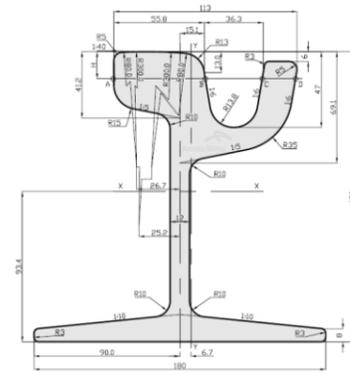


Ilustración 2. Sección Carril RI 60

Tabla 2. Ventajas e inconvenientes Carril RI 60

Ventajas	Inconvenientes
Permite compartir la plataforma con el resto de vehículos	Coste más elevado (1,300 €/t)
Facilidad de evacuación del agua mediante garganta del carril	Recargas de carril más complicadas
	No es compatible con la circulación de tren-tram

3.1.3. Carril Ri 59 N

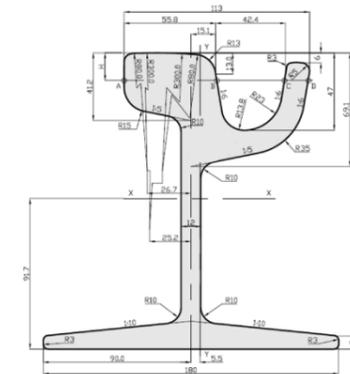


Ilustración 3. Sección Carril RI 59 N

Tabla 3. Ventajas e inconvenientes Carril RI 59 N

Ventajas	Inconvenientes
Permite compartir la plataforma con el resto de vehículos	Coste ligeramente más elevado que Ri60 N (1,330 €/t), pero similar por m de carril que Ri60
Facilidad de evacuación del agua mediante garganta del carril	Recargas de carril más complicadas
Garganta de mayor tamaño que carril Ri60, lo que puede suponer mayores incidencias con bicicletas o peatones	Compatible con la circulación de tren-tram

3.1.4. Tipo de carril propuesto

Dada la necesidad de posibilidad de circulación de otros vehículos por la plataforma tranviaria a lo largo de gran parte del trazado, se propone el empleo del carril tipo "Phoenix" a lo largo de toda la línea.

En los tramos en los que no circulará el tren-tram, el carril a utilizar será Ri-60N, empleándose el carril Ri-59N en los tramos con posible circulación compartida con tren-tram.



Debe indicarse que, como resultado del “Estudio de Viabilidad para el establecimiento de un servicio tren-tram entre Zaragoza y Villanueva de Gállego, integrado en un corredor ferroviario Zaragoza-Huesca”, el carril empleado en el tramo con posible circulación de tren-tram podrá ser objeto de revisión.

4. SISTEMA DE TENDIDO DE VÍA Y REVESTIMIENTOS

El sistema de tendido permite garantizar el posicionamiento, el peralte, la nivelación y el ancho de vía.

Se denomina tendido de vía al sistema compuesto por las traviesas o sistemas de asiento sobre losa de hormigón y los sistemas de fijación que mantienen el carril en posición y garantizan el ancho de vía, así como a las sujeciones que absorben las vibraciones.

Los revestimientos de la vía (pavimento de hormigón, piedra natural, adoquín, aglomerados asfálticos, césped,...) se pueden ajustar con facilidad a cada tipo de tendido, ya que se trata de una plataforma acabada en hormigón para todos los casos que se presentan en este estudio (incluso las traviesas se recogen finalmente con el mismo).

La repercusión económica respecto a la misma es muy variable en función del mismo. Su elección estará condicionada por el carácter arquitectónico de los lugares comunicados en el entorno.

A su vez el revestimiento de la vía permite la identificación de la misma por parte del peatón y de los vehículos rodados, lo que garantiza la seguridad y la segregación de la línea.

Por motivos de integración del tranvía en el entorno, la vía debe ser lo más discreta posible. Puede permitir la circulación de vehículos ocasionalmente en determinados tramos, así como el paso de peatones.

La recogida de las aguas de lluvia se realizará a través de la garganta del carril complementado en caso necesario con rejillas transversales para el carril tipo Phoenix, y mediante rejillas o drenes transversales en el caso del Vignole. La evacuación posterior de la misma irá unida al colector principal del municipio.

4.1. TIPOS DE TENDIDO DE VÍA

Se analizan a continuación los tendidos de vía utilizados recientemente en líneas tranviarias, con objeto de determinar el mejor sistema a adoptar.

Se propone, a priori, una puesta de vía en placa entendiéndose por ésta aquel sistema en el que el balasto es sustituido por una losa de hormigón armado, ya que se trata de una línea urbana en la que la integración con el entorno es primordial y además se elimina el mantenimiento posterior de la línea.

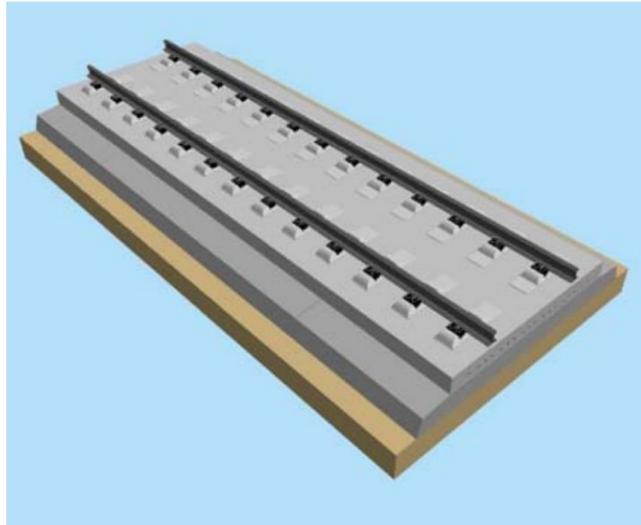


Ilustración 4. Imagen general de una vía en placa

4.1.1. Sistema de vía clásico embebido en losa de hormigón (tendido francés y tendido sobre tacos)

4.1.1.1. Características generales del sistema

Se trata de un apoyo de carril discontinuo y rígido respecto a los esfuerzos verticales, a la vez que flexible respecto a los esfuerzos horizontales.

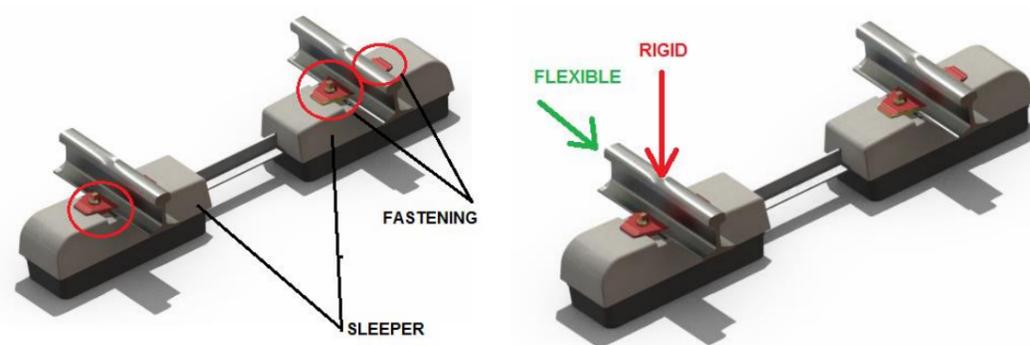


Ilustración 5. Sistema vía clásico embebido

La plataforma se constituye, partiendo de la explanada, de:

- Una capa de hormigón de regularización, de entre 10 y 20 cm de espesor (dependiendo de la explanada subyacente).
- Una traviesa bloque prefabricada embutida en hormigón, de 22 cm de espesor. Por encima del mismo se consideran 10 cm de hormigón y el resto libres para elegir el tipo de acabado que se desee.
- Existe una variante de este tendido donde se sustituye la traviesa bloque por bloques Tipo Edilon o similar, del mismo espesor que la traviesa 22 cm (sistema alemán).
- Dos carriles apoyados en la traviesa mediante una placa normalmente de caucho de 9 mm de espesor y unidos a la traviesa mediante sujeciones tipo Nabla, Pandrol u otra clásica.
- Enchaquetado de carriles.
- Junta de espuma termoplástica.
- El revestimiento puede ser variable (pavimento de hormigón, pórfido, aglomerados asfálticos, adoquines, baldosas, gravillas, césped natural o artificial, etc.)

La altura de colocación del carril desde la explanada varía entre 32 y 42 cm.

La separación entre traviesas es de 60 cm a 100 cm en función de la geometría del trazado:

- R=250 m a recta Separación = 1m
- R=100 m a R < 250m Separación = 0,75m
- R=25 m a R < 100m Separación = 0,60m

En función del tipo de instalación se distinguen los siguientes tipos, con el consiguiente nivel de atenuación:

- Sistema francés (traviesa bloque)
 - Con fijaciones tipo Nabla alcanza niveles de atenuación de entre 5 y10 dB (sistema clásico).

- Si este tipo de fijación la sustituimos por otra tipo ASP (algo más elástica que las anteriores) estos valores se incrementan hasta los 10-15 dB.
- Si el sistema clásico de fijación se combina con una losa envuelta en manta elastomérica, se obtiene una atenuación superior a 20 dB

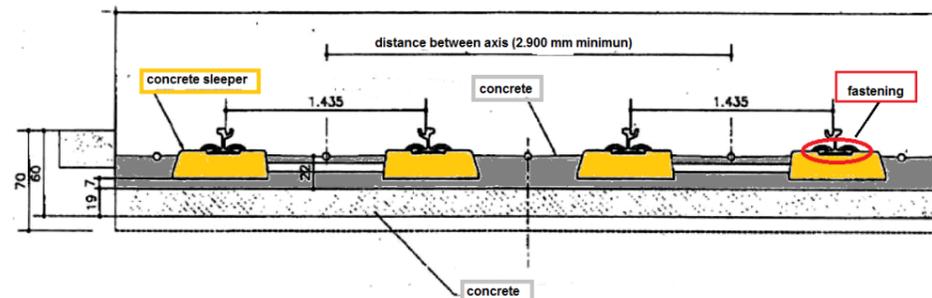


Ilustración 6. Sistema de tendido de vía clásico embebido en losa de hormigón

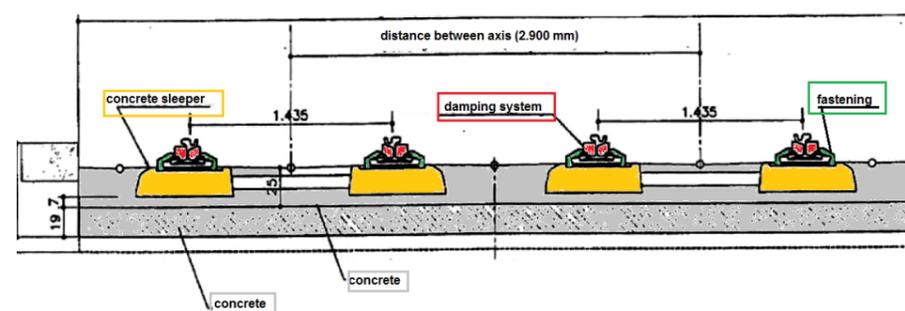


Ilustración 7. Sistema de tendido de vía clásico ASP

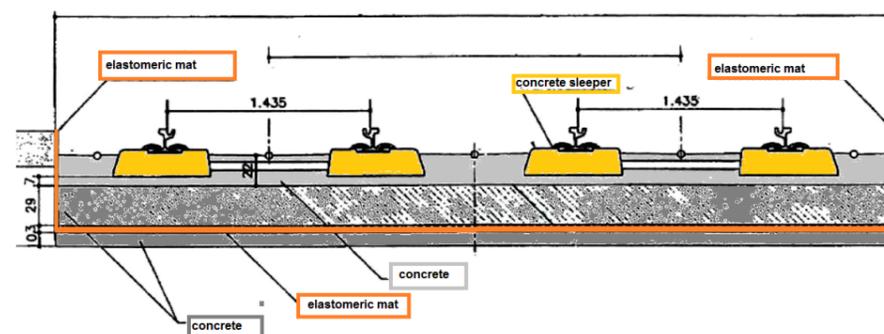


Ilustración 8. Sistema de tendido de vía clásico con losa flotante

- Sistema alemán
 - Los valores de atenuación se enmarcan entre los 3-5 dB.
 - Si el sistema constructivo para los mismos pasase a ser en forma de losa flotante con manta elastomérica, se alcanzarían los 15-20 dB.
- Sistema sobre bloques tipo Edilon: Sistema embebido donde la traviesa se sustituye por dos dados de hormigón embebidos en material resiliente
 - La atenuación se enmarca entre los 12-15 dB

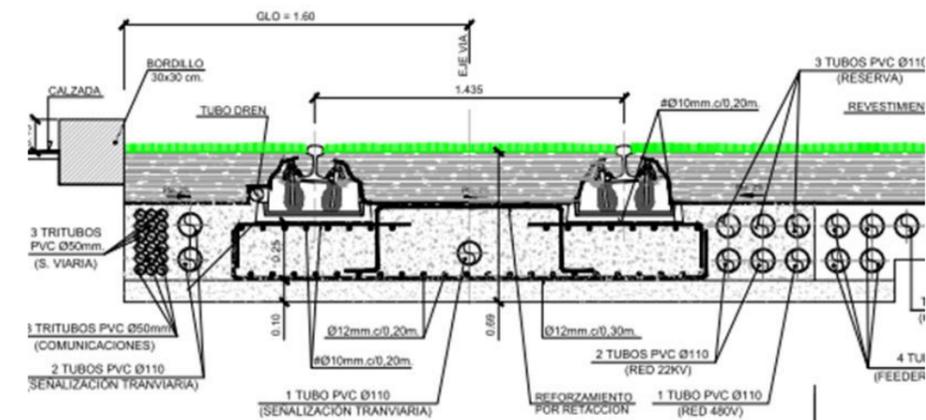


Ilustración 9. Tendido de vía en placa con bloques tipo Edilon o similar

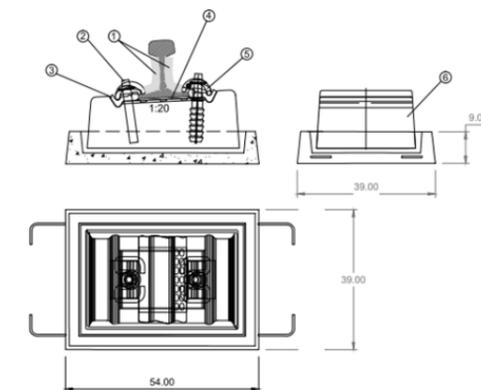


Ilustración 10. Tendido de vía en placa con bloques tipo Edilon o similar. Detalles

4.1.1.2. Proceso de instalación

Sobre la explanada de diseño, se hormigona una altura de entre 10 y 20 cm con un hormigón HM-20. El montaje de la vía se realiza siguiendo las normas de tendido de una vía ferroviaria clásica.

El proceso constructivo consiste en un ciclo de alineación y nivelación-hormigonado-desclavado. Cuando el hormigón ha adquirido la consistencia suficiente para sostener la parrilla de vía, normalmente a las cinco horas después del hormigonado, el tramo se desclava para evitar que el carril induzca esfuerzos sobre las traviesas que provoquen grietas en la losa.

El carril se fija a la traviesa bloque de hormigón mediante sujeciones tipo Nabra o similar, controlando el par de apriete de las mismas.

El ancho de vía está garantizado por la precisión de fabricación de las traviesas.

El posicionado vertical se realiza mediante husillos y el transversal, mediante los tornillos situados en los extremos de las traviesas que apoyan contra los rebordes laterales de la artesa.

Para mantener estable la parrilla de vía desde el momento en que se terminan las operaciones topográficas hasta que el hormigón comienza a fraguar se colocan unas piezas metálicas soldadas a pernos salientes de la losa inferior de hormigón sobre justo después de haber hecho las comprobaciones topográficas de los carriles.

Se colocan tornillos verticales de regulación y a través de orificios horizontales especiales, vástagos longitudinales que se monolitizan junto con las traviesas. En este modelo se deposita la parrilla de vía sobre la placa soporte, se nivelan y alinean al milímetro las traviesas y a continuación se hormigona el conjunto.

Las soldaduras se realizan antes del hormigonado para evitar los esfuerzos residuales debidos a la contracción.

La vía se calza con un hormigón de HA-25 de 22 cm de espesor, de los cuales 7 cm quedan debajo de las traviesas.

La parte superior del hormigón se termina con una pendiente del 1,5% a dos aguas. Un dren longitudinal recoge las aguas de infiltración debajo de la capa de los recubrimientos permeables.

La protección contra las corrientes vagabundas se realiza mediante sujeciones aislantes Nabra y el llenado de las superficies de apoyo de las bridas con un material aislante (espuma de polietileno o madera exótica). Longitudinalmente el carril queda aislado gracias al enchaquetado del mismo.

La superficie de contacto entre el carril y el recubrimiento se realiza mediante una junta a base de poliuretano, para los aglomerados asfálticos y pavimentos de hormigón, granito y pórfido.



Ilustración 11. Montaje superestructura Tranvía de Burdeos



Ilustración 12. Montaje superestructura Tranvía de Oporto



Ilustración 13. Montaje superestructura Tranvía de Oporto. Detalle de husillos para nivelación



Ilustración 14. Tranvía de Oporto. Detalle de pavimentación de plataforma



Ilustración 15. Tranvía de Bilbao. Detalle de revestimiento en césped

4.1.1.3. Características del tendido

Vibraciones

La vía está embebida en el hormigón, lo que genera vibraciones al paso del tranvía que se propagan a las edificaciones y cimentaciones colindantes.

Para evitar esto deberá ser necesario incluir un sistema antivibratorio que variará en función del nivel de atenuación que se requiera. Este tendido consiste en intercalar un material elastómero que amortigüe los golpes entre la traviesa de hormigón y la placa de asiento que sujeta el carril.

Se consiguen atenuaciones medias de < 10 dB con las fijaciones tipo Nabla. Para atenuaciones mayores se iría a fijaciones ASP o a un tendido de vía tipo losa flotante donde se intercala una manta elástica resiliente que amortigua las vibraciones consiguiendo atenuaciones del orden de los 15-20 dB.

En resumen, se pueden diferenciar tres sistemas (dos de los cuales se encuentran dentro del sistema francés):

- El francés con fijaciones tipo Nabla alcanza niveles de atenuación entre 5-10 dB
- El francés con fijaciones tipo ASP alcanza niveles de atenuación hasta los 10-15 dB.
- El alemán, en el que los valores de atenuación se enmarcan entre los 3-5 dB con suela elástica.



- Para vía sobre tacos Edilon o similar, la atenuación se enmarca entre los 12-15 dB
- Para mayores atenuaciones se deberá recurrir a losa flotante con manta antivibratoria con la que se pueden alcanzar valores próximos a los 20 dB.

Aislamiento eléctrico

Es necesaria la conexión eléctrica entre los hilos de carril cada 100 m aproximadamente y entre vías cada 300 m para facilitar el retorno y evitar la propagación de corrientes vagabundas.

Un buen drenaje de las aguas de la plataforma facilita también el aislamiento. Para la señalización, el aislamiento entre los dos carriles de la vía debe estar perfectamente garantizado.

Mantenimiento

Los sistemas con fijaciones mecánicas se mantienen con más facilidad, pero la rapidez de desmontaje de la vía dependerá del tipo de revestimiento que posea ésta. La modificación del carril por desgaste, para sistemas con pavimento rígido (hormigón, adoquinado, etc.), implica mantenimiento complicado y exige el picado y demolición del mismo hasta descubrir la zona de sujeción y traviesa. Para la sustitución de la traviesa el picado de la losa es completo en la zona afectada.

Revestimiento

Este tendido admite cualquier tipo de revestimiento: hormigón con distintos acabados, adoquín, piedra natural, césped natural o artificial, aglomerado...

4.1.1.4. Ejemplos de utilización

- Sistema francés: mayor parte de los tranvías franceses, portugueses y del norte de África
- Sistema alemán: tranvía de Edimburgo, tranvía de Tenerife, conexión de la Línea 1 del Metro de Sevilla con Alcalá de Guadaira.
- Sistema sobre tacos Edilon: tranvía de Vitoria, tranvía de Bilbao.

4.1.1.5. Ventajas e inconvenientes

Ventajas

Este tendido de vía presenta la ventaja de permitir una mecanización casi total en su proceso de montaje alcanzando rendimientos muy altos de construcción, así como la posibilidad de corregir el posicionamiento de la vía en alzado, no sólo a través del sistema de sujeción del carril, sino también durante el proceso de construcción.

Otras ventajas son el asiento de vía perfecto y la precisión del ancho y de la geometría de vía gracias a la traviesa transversal.

Además, existe una amplia experiencia de vía en funcionamiento.

En caso de necesitar una mayor atenuación, con solo cambiar el tipo de fijación obtendríamos la misma, menos costoso que en el caso de otros sistemas que, para alcanzarla requieren de losa flotante y manta.

Inconvenientes

Baja atenuación de vibraciones para el caso del sistema alemán.

Costes elevados y reposiciones de servicios mayores por la mayor profundidad del mismo respecto a otros.

4.1.2. Sistema de vía clásico con apoyo continuo

4.1.2.1. Características generales del sistema

Se trata de un apoyo de carril continuo en el que las traviesas se suministran con fijación de carril completamente premontada.

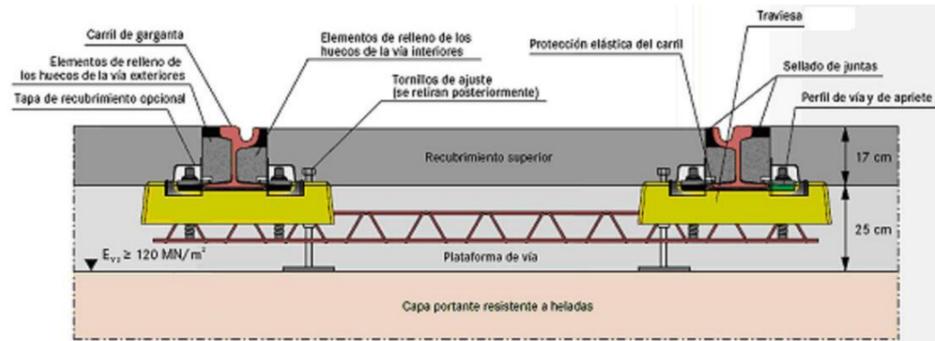


Ilustración 16. Sistema de vía clásico con apoyo continuo

La vía apenas necesita mantenimiento, posee una alta resistencia y brinda un confort de conducción perfecto, acompañado de un alto grado de seguridad y una larga vida útil.

Existen soluciones especiales para pasos de peatones y otras zonas sensibles.

La altura del tendido es de 35-45 cm hasta base de patín sin contar la explanada.

4.1.2.2. Proceso de instalación

1. Conformación de la explanada
2. Colocación de las traviesas sobre la explanada
3. Instalación del revestimiento elástico (ESU) en el patín del carril
4. Colocación de los carriles sobre las traviesas
 - Ajuste del ancho de vía
 - Elevación del conjunto de vía
5. Soldadura de los carriles
 - Preparación del material elástico de relleno para las soldaduras
6. Instalación del material elástico de relleno

- Instalación (con cortes alrededor de las soldaduras o con cortes alrededor de los accesorios de la vía)

7. Comprobación final / alineación definitiva acompañado por el alineamiento de la vía (alineación transversal, nivelación, inclinación) y posterior fijación de la vía (fijación de la vía en su posición final)

8. Preparación de los trabajos de hormigonado

- Sellar las juntas del material elástico (ESU) (p. ej. con cinta)
- Sellar todos los huecos de los accesorios de vía
- Instalación de los accesorios de vía
- Riego / Humedecimiento

9. Hormigonado

- Verter el hormigón en el centro de la vía utilizando 2 vibradores
- Protección de carriles y sujeciones durante el proceso de hormigonado
- Nivelación y alisamiento de la superficie del hormigón y limpieza de las sujeciones
- Sujeción tras la limpieza (el nivel del hormigón llega hasta la parte superior del revestimiento elástico (ESU))
- Tras el tratamiento del hormigón fresco (p. ej. aplicando spray de endurecimiento)

Por encima del mismo se consideran 10 cm de hormigón y el resto libres para elegir el tipo de acabado que se desee.

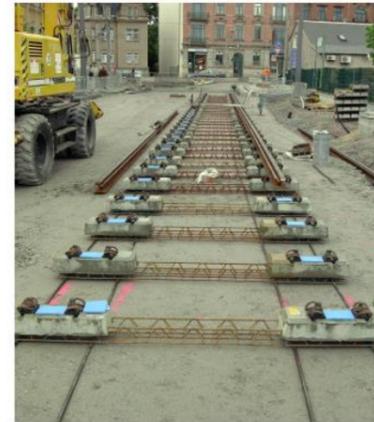


Ilustración 17. Sistema de vía clásico con apoyo continuo. Colocación de traviesas

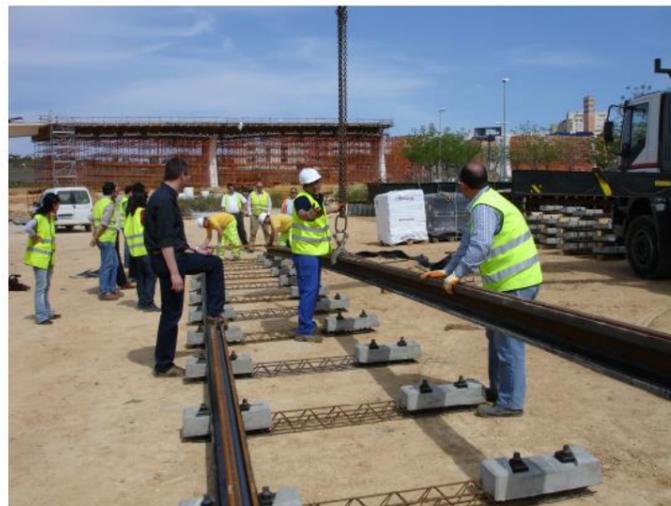


Ilustración 18. Sistema de vía clásico con apoyo continuo. Instalación de vía



Ilustración 19. Sistema de vía clásico con apoyo continuo. Hormigonado



Ilustración 20. Sistema de vía clásico con apoyo continuo. Acabado en césped artificial

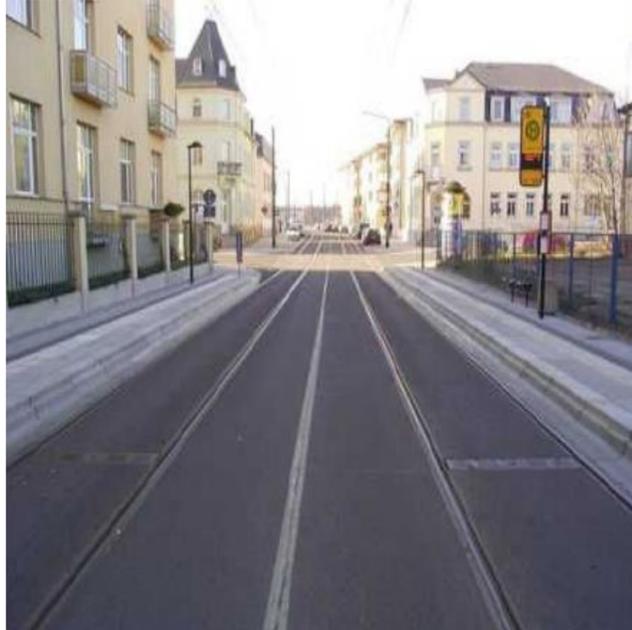


Ilustración 21. Sistema de vía clásico con apoyo continuo. Acabado en aglomerado asfáltico



Ilustración 22. Sistema de vía clásico con apoyo continuo. Acabado en hormigón impreso



Ilustración 23. Sistema de vía clásico con apoyo continuo. Izquierda: Dresden (Alemania). Derecha: Berlín (Alemania)

4.1.2.3. Características del tendido

Vibraciones

La vía está embebida en el hormigón, pero separada del mismo mediante una lámina continua elástica bajo patín que disminuye en gran medida las vibraciones producidas al paso del tranvía y que se propagan a las edificaciones y cimentaciones colindantes.

Se consiguen atenuaciones medias de entre 3-5 dB. Para atenuaciones mayores se iría a un tendido de vía tipo losa flotante donde se intercala una manta elástica resiliente que amortigua las vibraciones consiguiendo atenuaciones del orden de 20 dB.

Aislamiento eléctrico

Es necesaria la conexión eléctrica entre los hilos de carril cada 100 m aproximadamente y entre vías cada 300 m para facilitar el retorno y evitar la propagación de corrientes vagabundas.

Un buen drenaje de las aguas de la plataforma facilita también el aislamiento. Para la señalización, el aislamiento entre los dos carriles de la vía debe estar garantizado.

Mantenimiento

Los sistemas con fijaciones mecánicas se mantienen con más facilidad pero la rapidez de desmontaje de la vía dependerá del tipo de revestimiento que posea ésta. La modificación del carril por desgaste, para sistemas con pavimento rígido (hormigón, adoquinado, etc.), implica mantenimiento complicado y exige el picado y demolición del mismo hasta descubrir la zona de sujeción y traviesa. Para la sustitución de la traviesa el picado de la losa es completo en la zona afectada.

Revestimiento

Este tendido admite cualquier tipo de revestimiento: hormigón, piedra natural, césped natural o artificial, aglomerado...

4.1.2.4. Ejemplos de utilización

La línea de Chur-Arosa en Suiza, los Tranvías de Colonia, Mannheim o Nuremberg en Alemania, el Tranvía “Aaltje Noorderwierstraa” en La Haya (Holanda), el Tranvía de Varsovia (Polonia), el “Edimburg tram Link” de Edimburgo (Escocia) y en España el tramo de metro en Sevilla que une Alcalá de Guadaíra con la capital.

4.1.2.5. Ventajas e inconvenientes

Ventajas

- Asiento de vía muy preciso.
- Precisión del ancho de vía y de la geometría de vía gracias a la traviesa.
- Sujeción de carril anclado en hormigón de elevada resistencia (reduce el riesgo de fisuras y que el anclaje se suelte).
- Forma de construcción monolítica.
- Soporte sobre puntos de apoyo elásticos o soporte elástico continuo de los carriles.
- Estructura del sistema sencilla.
- Fácil montaje y posibilidad de ajuste.
- Gran seguridad y larga vida útil.
- Cumplimiento de los requisitos del aislamiento eléctrico.

Inconvenientes

- Baja atenuación de vibraciones (3-5 dB)
- Para conseguir una mayor atenuación en el futuro (losa flotante + manta), hay que efectuar demoliciones muy costosas ya que hay que ejecutar una nueva superestructura.
- Costes elevados por reposición de servicios afectados mayores (debido a su espesor).

4.1.3. Sistema de vía estuchada o tendido tipo Sedra o Thyssenkrupp

4.1.3.1. Características generales del sistema

Se trata de un apoyo continuo semirrígido, embebido en una losa de hormigón con altura de tendido 32 cm + 25 cm de explanada (para el caso de Losa Flotante se añaden 30 cm de hormigón pobre) dispuesto de la siguiente manera:

- Explanada
- Capa de hormigón de apoyo de 20 cm de espesor
- Hormigón entre carriles de 12 cm de espesor (podría variar dependiendo del tipo de acabado)
- Carril con riostra metálica aislada para mantenimiento de ancho cada 3 m en recta y 1,5 m en curva
- Perfil de caucho bajo patín
- Perfiles de caucho envolviendo el carril y las riostras
- Espesor libre de 80 mm para revestimiento que se separa del caucho mediante cintas elásticas

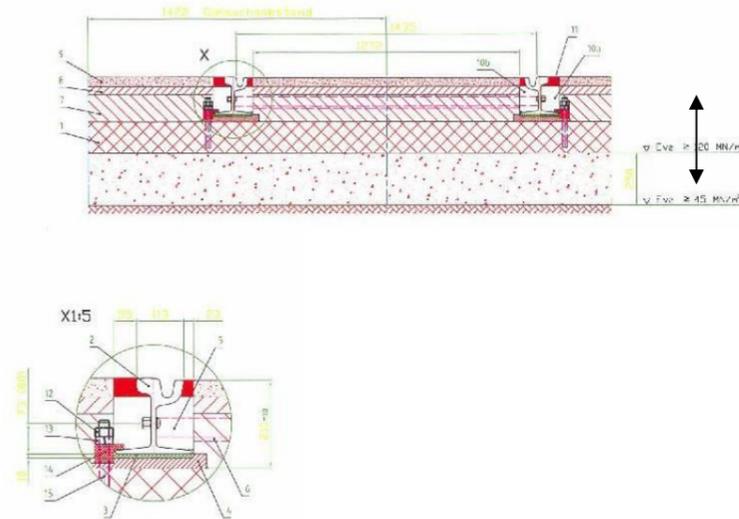


Ilustración 24. Sistema de vía estuchada

4.1.3.2. Proceso de instalación

Tras la ejecución de la explanada de aprox. 25 cm se vierte un hormigón estructural de 20 cm de espesor sobre el mismo.

Se pre-montan los carriles (previamente soldados aluminotérmicamente) y las riostras cada 3 metros en recta o cada 1,5 m en curva utilizando unos suplementos en las curvas para dar los sobreeanchos adecuados.

Se coloca el elastómero de la riostra con los obturadores de los extremos. (Si se vierte hasta la mitad de la altura del carril, no serán necesarias fijaciones en curva). De igual manera se aíslan las riostras.

Se esmerila todo el contorno de la cabeza y de la garganta para el caso del carril Ri. Se sella el perfil del patín en todos los extremos, a fin de evitar filtraciones de agua.



Ilustración 25. Sistema de vía estuchada. Metrocentro de Sevilla. Detalle de pavimentación de plataforma. Detalle riostra



Ilustración 26. Sistema de vía estuchada. Detalle del proceso de hormigonado y juntas transversales tipo JRI

Se efectúa el posicionamiento de los carriles, nivelación y alineación. Se colocan juntas tipo JRI o similar cada 2,20 aprox., de forma que las losas tengan una forma aproximadamente cuadrada. Se colocan las piezas guía de agua para los drenajes centrales.

Se efectúa un relleno con hormigón pobre en los laterales del carril que se utiliza como encofrado perdido para poder canalizar el mortero de nivelación.

Se coloca la última capa de hormigón de 12 cm para el terminado de la obra, bien sean prefabricados de hormigón, aglomerado asfáltico, hormigón hidrolavado o impreso, césped artificial o natural...

4.1.3.3. Características del tendido

Vibraciones

Este tipo de tendido de vía garantiza, según los suministradores, una amortiguación de hasta 18 dB. Permite la introducción de un modelo losa flotante, con una manta resiliente entre la losa de hormigón y el hormigón pobre de regularización para conseguir amortiguaciones del orden de los 20 dB (dicha losa se consigue con una capa adicional de 30 cm de hormigón pobre).

Aislamiento eléctrico

La protección contra las corrientes vagabundas se asegura por la goma de recubrimiento de las riostras y del carril, así como por la pintura de sellado del patín. Sin embargo, es necesaria la conexión de los carriles cada 100 m.

Otro aspecto respecto al aislamiento eléctrico es el tema de la señalización, ya que el contacto eléctrico entre los carriles mediante la riostra impide un aislamiento de los mismos que facilite el funcionamiento de los circuitos de vía.

Será necesario colocar en las zonas con circuito de vía riostras especiales aislantes para conseguir la no conexión eléctrica de los carriles. Esto provoca un interfaz importante entre la señalización ferroviaria y la obra civil que deberá ser definido previamente al inicio de las obras de colocación de vía.

Mantenimiento

Deben realizarse varias consideraciones con respecto al mantenimiento:

- El acondicionamiento de la vía o la sustitución de carriles dependerá del tipo de revestimiento, siendo sencillo con un revestimiento removible (césped, tierra, grava) mediante desenroscado de la riostra al carril y extracción de los cauchos y el carril, y será complejo (llevando a demolición de parte del revestimiento) para un revestimiento rígido tipo hormigón, losa de piedra, adoquinado...
- Este tipo de tendido permite el recargue del carril en curvas sin degradación de los cauchos.

Revestimiento

Permite todo tipo de revestimiento.

4.1.3.4. Ejemplos de utilización

La mayoría de los tranvías en Alemania, en España: Tram Barcelona (Trambaix y Trambesós), Tranvía de Bilbao, Tranvía de Vitoria, Metrocentro de Sevilla, Tranvía de Vélez Málaga, etc.

ETS cuenta con más de 10 años de experiencia del mismo con muy bajos costes de mantenimiento (normales al uso del carril, no del sistema) y buenos resultados en explotación además de nulas incidencias en vibraciones.

4.1.3.5. Ventajas e inconvenientes

Ventajas

El uso de riostras y de anclajes optimiza la geometría de vía en el montaje y garantiza la estabilidad del sistema en su funcionamiento, compensando las fuerzas de componente horizontal ejercidas por las ruedas del vehículo contra la cabeza del carril.

Los railes, como pieza de desgaste de la vía, son fácilmente intercambiables y desmontables de la construcción, pudiéndose reutilizar los restantes elementos.

Los railes y los demás elementos sintéticos pueden desmontarse fácilmente debido a la ausencia de sustancias adhesivas. Esto además propicia poco tiempo para su colocación.

La construcción sustentadora puede recuperar su nivelación con pocos requisitos de precisión. Esto ahorra el uso de elementos de construcción de alto coste.

Gracias al posterior lechado de la vía, una vez completamente montada y ajustada en altura y dirección, se consigue el exacto emplazamiento de las vías según lo proyectado.

El constante espesor del revestimiento del patín del raíl garantiza una continua elasticidad de las vías, lo cual tiene un efecto positivo para la estabilidad del vehículo.

Los elementos de cámara laterales tienen la suficiente masa y elasticidad para absorber las vibraciones del carril y no transmitirlos al pavimento.

El revestimiento elástico de toda la vía causa la disminución de los sonidos corporales de baja frecuencia y de las vibraciones que salen de la vía.

El sellado del sistema con un bitumen especial, garantiza que las juntas superficiales no se desprendan del carril y posibilitan el mantenimiento de las mismas.

Reducidos costes y tendido mínimo de altura (40 cm) por lo que la reposición de servicios necesaria se reduce.

Inconvenientes

Como inconveniente, está la interfaz entre la señalización ferroviaria y la obra civil que deberá ser definida previamente al inicio de las obras de colocación de vía, ya que es necesario colocar en las zonas con circuito de vía riostras especiales aislantes para evitar la conexión eléctrica de los carriles y problema con los revestimientos de losas, adoquines, etc.

4.1.4. Sistema de vía embebido en material elástico, resina Corkelast

4.1.4.1. Características generales del sistema

El tendido de vía embebida en material elástico corresponde a un tendido de apoyo continuo sobre losa de hormigón donde el carril apoya directamente en éste y se sujeta mediante una solución polimérica bituminosa y no hay ningún tipo de sujeción transversal entre los carriles.

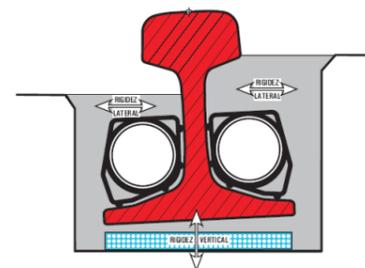


Ilustración 27. Sistema de vía embebido, Corkelast

El apoyo del carril se obtiene preparando en la placa de hormigón dos acanaladuras longitudinales donde se colocarán los carriles. Estos están aislados de la placa, pero pegados a ella por medio del citado material elástico, que proporciona la elasticidad y el amortiguamiento necesarios. Esta solución es aplicable a todo tipo de ferrocarriles, desde los metros ligeros y tranvías hasta los de alta velocidad.

El sistema se compone de:

- Explanada
- Hormigón de limpieza de 10 cm de espesor
- Losa de 25 cm de hormigón + canaletas superficiales de altura y anchura variables en función del tipo de carril y donde se acomoda el mismo. En dicho carril se pegan los bloques prefabricados de hormigón o tubos de PVC para ahorrar Corkelast
- Corkelast recubriendo el carril de espesor variable, en función de la atenuación de ruidos requerida y con un mínimo de 15 mm en la base y los hastiales

La altura del tendido es de 35 cm hasta base de patín sin contar la explanada.

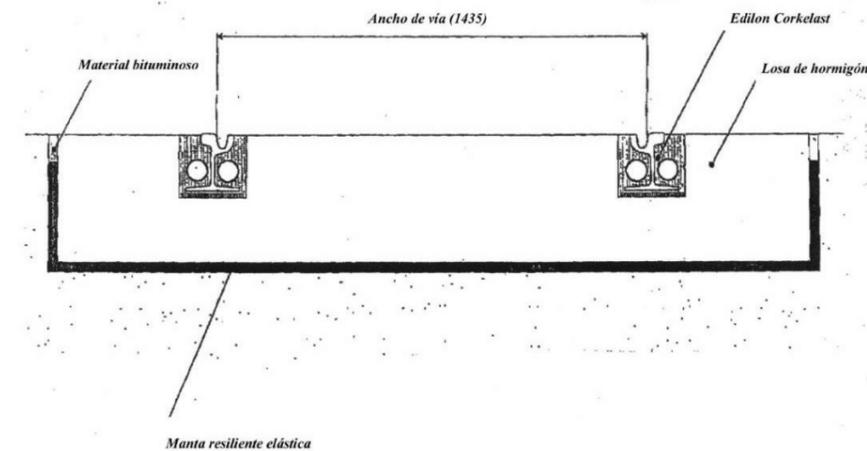


Ilustración 28. Sistema de vía embebida Corkelast y losa flotante



Ilustración 29. Sistema de vía embebida Corkelast. Ejecución losa Metro Ligero de Granada



Ilustración 30. Detalle vertido de Corkelast

4.1.4.2. Proceso de instalación

1. Hormigón de limpieza
2. Hormigón de la losa
3. Adosado de bloques al alma del carril, dejando espacio entre ellos antes de depositar el carril en el fondo

4. Para la alineación vertical, se pegan unas tiras de soporte del carril cada 1,5 m y se procede a su nivelación, añadiendo galgas de distintos mm de espesor con un mínimo de 1 mm
5. Para la alineación horizontal se colocan cuñas de madera o plástico apoyadas en las paredes de las canaletas cada 1,5 m
6. Aplicar "PRIMER" en las superficies de vertido
7. Vertido de Corkelast por un lado del patín. Por el principio de los vasos comunicantes queda garantizado el apoyo y la sujeción tanto de las base como de los laterales del carril, ya que su densidad inicial así lo permite
8. Vertido de aglomerado y una vez esté curado, verter el Corkelast a tope
9. En zonas de tráfico rodado, en cruces, se refuerza los cantos de la canaleta con perfiles de acero tipo bulbo o similar y la losa de hormigón alcanza la parte superior de la garganta

El vertido del Corkelast no debe hacerse en condiciones climáticas de lluvia, ni por encima o por debajo de las temperaturas indicadas por el fabricante. En caso de realizarse incumpliendo estas indicaciones pueden dar problemas de estanqueidad y fijación de carril.

4.1.4.3. Características del tendido

Vibraciones

La amortiguación del tendido se obtiene gracias al Corkelast, la cual según datos del suministrador se consigue las siguientes con las siguientes dotaciones aproximadas:

- | | |
|---|-----------------------------------|
| – Atenuación mínima (4-5 dB) | 28 kg/m (Corkelast T0) |
| – Atenuación media (10-15 dB) | 27 kg/m + suela (Corkelast VA-60) |
| – Atenuación máxima (losa flotante + manta) (20 dB) | 28 kg/m (Corkelast T0) |

Aislamiento

El tendido de carril embebido garantiza una total protección a las corrientes vagabundas mediante un aislamiento eléctrico perfecto gracias al material polímero.

Sin embargo, no queda protegido de la derivación de corrientes vagabundas debidas a la existencia de humedad sobre la plataforma, suciedad de hojas o agua circulando por la garganta del carril, siendo necesario conectar los carriles cada 100 m. El aislamiento de carriles para la señalización está garantizado.

Como aislamiento eléctrico se consigue una resistencia mayor a 1×10^8 Ohms

Mantenimiento

Muy bajo coste de mantenimiento. Debido a las siguientes características:

- Ausencia de fijaciones mecánicas
- No exige realineaciones de la vía
- Mayor duración del carril debido al soporte continuo del mismo. En caso de sustitución del carril requiere las siguientes operaciones:
 - Para realizar el mantenimiento del carril en operaciones como soldadura de aporte para recargar el carril, la temperatura del alma no puede superar los 200°C temperatura límite del Corkelast. No es necesario quitar el Corkelast siempre que la superficie superior quede a 40 mm por debajo de la parte superior del carril.
 - Por esta razón (no poder sobrepasar los 200°C) no se puede realizar la soldadura con el carril embebido en Corkelast en una longitud de 350 mm a ambos lados.
 - Para realizar la sustitución del carril será necesario cortar el carril con una cortadora de pavimento de disco y luego extraer el carril elevándolo mediante unas mordazas. Es necesario, sin embargo, para introducir la cortadora picar el revestimiento o bien dejar previstos huecos sin revestimiento de hormigón en zonas de curvas reducidas que permitan el acceso al carril directo. Para realizar la soldadura del carril también es necesario picar la losa de la canaleta para poder introducir el molde. Otro inconveniente es el contacto entre el nuevo Corkelast y el antiguo, ya que podría ensuciarse o entrar humedad perdiendo aislamiento eléctrico.

El material Corkelast no se puede reciclar y se queda adherido al carril con lo que es necesario la gestión de residuo a vertedero.

Revestimiento

Admite todo tipo de revestimiento (hormigón, césped, tierra, grava, piedra natural,...)



Ilustración 31. Sistema de vía embebida Corkelast. Revestimiento en césped



Ilustración 32. Sistema de vía embebida Corkelast. Revestimiento en hormigón

4.1.4.4. Ejemplos de utilización

La mayoría de los tranvías en UK, y en España, Tram de Valencia, Metro Ligeró de Granada, etc.

4.1.4.5. Ventajas e inconvenientes

Ventajas

La ventaja principal de esta solución es la eliminación de las flexiones del carril entre apoyos de traviesas o bloques.

Asimismo, presenta un bajo coste de mantenimiento debido tanto a la ausencia de fijaciones mecánicas que constituyen la principal causa por fatiga del carril.

Es innecesaria realización de alineaciones de vía.

Otras ventajas a destacar son la amortiguación de ruidos y vibraciones del carril por la mezcla elastomérica que lo soporta y la estanqueidad del Corkelast impidiendo la penetración de agua, aceites, detergentes u otras sustancias químicas. Además un carril embebido en apoyo continuo, tiene intrínsecamente un nivel de seguridad adicional contra descarrilamiento, que un carril apoyado en discreto no tiene; cuando se rompe un carril, el apoyo continuo hace que el carril se mantenga cerrado (es decir no se abre), mientras que un carril roto en apoyo continuo puede abrirse y de esta manera llegar a ser fuente de descarrilamiento. Por otro lado, en estos sistemas no hay fijación y por lo tanto no hay que mantenerla

Inconvenientes

Sus inconvenientes principales son los siguientes:

Son necesarias varias nivelaciones.

El elevado precio del Corkelast. Se reduce su utilización (kg/ml de vía) por medio de bloques prefabricados de hormigón o tubos de PVC. En la actualidad, el sistema INSERTO p. ej. garantiza una geometría continua de las canaletas y de ello se deriva un consumo controlado de corkelast.

El intento de ahorro de material bituminoso (Corkelast) por parte del contratista, puede dar lugar al picado de la placa de vía, al no respetar las distancias mínimas exigidas entre el patín y el concreto en la acanaladura para el vertido de Corkelast.

El sistema tipo CORKELAST es el utilizado en Valencia con una experiencia contrastada de más de diez años y con buenos resultados.

Exige una construcción de obra civil muy experimentada ya que las tolerancias fijadas en las canaletas de hormigonado son muy exigentes.

4.1.5. Sistema de vía embebido, con carril prerrevestido

4.1.5.1. Características generales del sistema

El sistema de vía embebido, con carril prerrevestido, se basa en el concepto de una vía en placa con carril con apoyo continuo sin fijaciones, embebido en una “chaqueta” de material elástico, caucho granular y resina que envuelve el carril completamente y asegura de esta manera una posición estable en todas direcciones.

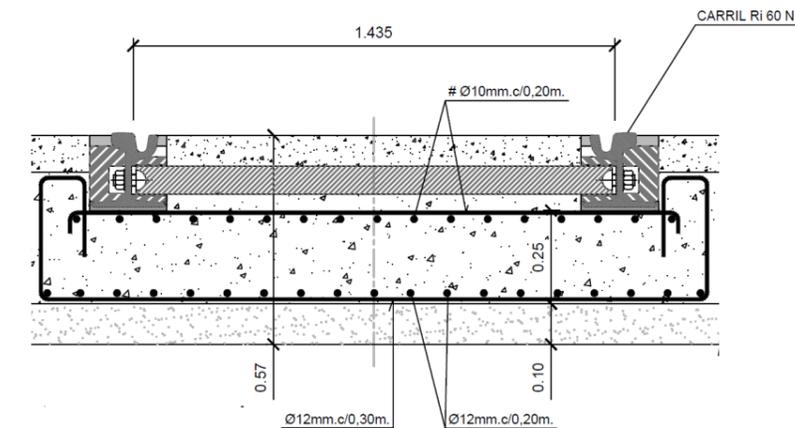


Ilustración 33. Sección vía embebida con carril pre-revestido

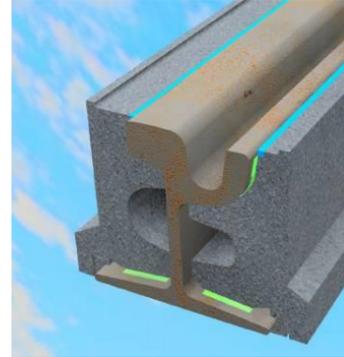


Ilustración 34. Detalle de sección vía embebida con carril pre-revestido

A la sencillez y rapidez de instalación el sistema añade la baja altura de la sección constructiva lo que lo hace adecuado para puentes o túneles de gálibo reducido, dado que el hormigón activo puede llegar hasta la cota superior del carril.

El sistema es apto para su montaje en recta y curva, si bien en curvas de radio reducido, puede ser conveniente cubrir una mayor superficie, utilizar un elastómero menos elástico o arristrar el carril, para evitar sobrecargas de vía, por vuelco del carril al paso de circulaciones.

4.1.5.2. Proceso de instalación

La instalación del Sistema Modular de Carril Embebido se divide en 4 fases cada una de las cuales contiene varios procesos o pasos:

- FASE 1.- Preparación para la instalación del carril
 - Limpiar la superficie de la losa base de hormigón.
 - Suministrar y distribuir los carriles y colocación de los mismos sobre bloques de madera.
 - Alinear y nivelar los extremos de los carriles y unirlos mediante soldadura a tope o aluminotérmica.
 - Suministrar y distribuir los elementos del Sistema Modular de Carril Embebido.
 - Aplicar las Suelas Elásticas al patín del carril, reduciendo al máximo posible la separación entre el patín y la suela. Para ello encajar la pestaña de una suela (macho) con el alojamiento de la siguiente (hembra).

- Colocar contra el alma del carril los Bloques Resilientes de Relleno.
- FASE 2.- Alineación y nivelado del carril
 - Fijar los carriles a los Pórticos de suspensión y alineación de vía.
 - Llevar a cabo una nivelación y alineación aproximada de ambos carriles.
 - Conectar al carril los cables aislados y las cajas de drenaje.
 - colocar los bloques resilientes de relleno contra el alma del carril donde aún no se haya hecho.
 - Comprobar la continuidad de todos los bloques resilientes de relleno y de las suelas elásticas y reparar inmediatamente los huecos aplicando Sellador de Bloques de Relleno.
 - Limpiar la superficie de la losa base de hormigón, retirar los bloques de madera, colocar la armadura –si esto es aplicable- y los encofrados. En ocasiones dicha armadura se coloca en la fase inicial para que no se estorbe con los pórticos d montaje.
 - Llevar a cabo la alineación y nivelado de precisión de ambos carriles.
- FASE 3.- Fijación del carril a la placa de hormigón
 - Seleccionar la sección de vía a hormigonar.
 - Comprobar la alineación, separación y nivelado correctos de ambos carriles.
 - Verter, compactar, vibrar y nivelar el hormigón en la sección de vía seleccionada y dejarlo fraguar.
 - Tras un fraguado suficiente del hormigón retirar los Pórticos de suspensión y alineación de vía y los encofrados. Limpiar la superficie del hormigón.
- FASE 4.- Acabado de la superficie de la losa y la vía
 - Una vez elegido el mismo, adaptarlo a la solución constructiva adoptada.



Ilustración 35. Sección vía embebida con carril pre-revestido. Metro Ligero de Madrid. Montaje de superestructura



Ilustración 37. Sección vía embebida con carril pre-revestido. Tranvía de Atenas. Montaje de superestructura



Ilustración 36. Sección vía embebida con carril pre-revestido. Tranvía de Parla. Montaje de superestructura



Ilustración 38. Sección vía embebida con carril pre-revestido. Tranvía de Murcia. Montaje de superestructura



Ilustración 39. Sección vía embebida con carril pre-revestido. Tranvía de Murcia. Montaje de superestructura (2)



Ilustración 40. Sección vía embebida con carril pre-revestido. Sellado de enchaquetado

4.1.5.3. Características del tendido

Vibraciones y aislamiento eléctrico

El carril está completamente aislado (vibraciones y corrientes eléctricas) de su medio ambiente.

La forma de la “chaqueta” es versátil, puede adaptarse a distintos tipos de carril, exigencias de vía en incluso pueden hacerse con materiales que modifiquen el comportamiento acústico y antivibratorios del conjunto.

Presenta una serie de problemas referentes a este tema:

- El caucho utilizado como enchaquetado del carril no asegura estanqueidad y aunque lleva sellado es muy difícil que sea homogéneo y continuo en su contacto con el hormigón, por lo que entra agua en el conjunto chaqueta carril reduciendo así el aislamiento eléctrico.
- La necesidad de que el caucho sea rígido para evitar movimientos laterales del carril provoca que la amortiguación de ruidos y vibraciones sea, para la solución tipo Classic de 4-5 dB, y para la Comfort de 10-12 dB.

Aislamiento

Es necesaria la conexión eléctrica entre los hilos de carril cada 100 m aproximadamente y entre vías cada 300 m para facilitar el retorno y evitar la propagación de corrientes vagabundas.

Un buen drenaje de las aguas de la plataforma facilita también el aislamiento. Para la señalización, el aislamiento entre los dos carriles de la vía debe estar perfectamente garantizado, por lo que en caso de disposición de traviesas/riostroas, éstas deben ser aislantes.

Mantenimiento

Al no existir sujeciones el mantenimiento necesario es mínimo. Sólo cabe la posibilidad de operaciones de “recargue de carriles por soldadura eléctrica con electrodo o hilo continuo”, para reparar huellas de patinaje. En la mayoría de las ocasiones, sólo la vía en curva requiere de mantenimiento.

Además, la vida útil del carril con este sistema es alta, dado que los esfuerzos verticales y transversales se reparten en un amplio tramo de vía, con una deformación elástica continua, y una reducción de los posibles desgastes en ambas direcciones.

Si el carril necesita cambio, en caso de fractura o fin de vida del carril, se puede usar la técnica de la chaqueta de segunda generación (más pequeñas) y elastómero líquido.

Se pueden producir fisuras y/o fracturas en la placa de hormigón por los siguientes motivos:

- El elemento de enchaquetado es poroso y se llena de agua, este no sería mayor problema más que por el aislamiento eléctrico, salvo que al comprimirse por el paso del tranvía expulsa el agua existente en el caucho contra las paredes del cajero de hormigón desgastándolas.
- El enchaquetado no es solidario con el hormigón, no está adherido de ninguna forma al hormigón, el hormigón está simplemente vertido, y puede dar problemas en carriles previamente deformados, en curvas, que tengan tensiones residuales y tiendan a volver a su posición inicial deformando la vía. Es por ello que en curvas de radio reducido deberá disponerse de traviesas-riestra

Revestimiento

Puede adaptarse a distintos diseños de vía puesto que la parte central de la losa puede rellenarse con distintos materiales, desde hormigón poroso hasta césped, pasando por elementos prefabricados o de piedra natural tipo adoquín.

4.1.5.4. Ejemplos de utilización

El tranvía de Bruselas, el tranvía de Atenas, partes de la RATP (Autoridad Autónoma de los Transportes Parisinos como la Extensión T1: Bobigny-Noisy Le Sec), en España: Tranvía de Zaragoza, Tranvía de Murcia, Metro Ligero de Madrid: Colonia Jardín –Bobadilla, Colonia Jardín-Pozuelo de Alarcón, Tranvía de Parla.

Debe apuntarse que todas las actuaciones se han dado en los últimos 5 años, por lo que no se cuenta con experiencia acumulada.

4.1.5.5. Ventajas e inconvenientes

Ventajas

Como principal ventaja de este sistema de tendido de vía se pueden destacar: simplicidad y rapidez de colocación (un grupo de 12 operarios pueden hacer hasta 144 ml de vía/día según el fabricante), vida útil del carril alta, y economía (baja altura de la sección constructiva) en hormigón.

Menores reposiciones de servicios afectados debido al ancho reducido del paquete necesario para albergar la infraestructura.

Inconvenientes

Como desventajas se podrían citar la necesidad de soportes “especiales” del fabricante para la alineación de la vía en cuanto al proceso de montaje, y que el sistema es relativamente novedoso por lo que no se cuenta con la experiencia suficiente para evaluar su comportamiento en el tiempo.

También como desventajas, las comentadas en cuanto al aislamiento y a la fisuración de placa, incluida la posibilidad de colocación de riostras aisladas eléctricamente para mantener la geometría de la vía en curvas de radio reducido.

Al no existir arriostamientos entre carriles y del conjunto (vía completa), pueden darse movimientos de conjunto de algunos milímetros (contrastados en el caso de Parla).

De acuerdo con las recomendaciones del fabricante, el hormigón de la losa debe elevarse hasta al menos -8 cm bajo la cota superior del revestimiento. Es por ello que en caso de diseñar pavimentos o acabados de mayor espesor, deberán ejecutarse hombros de contención del carril.

Los cruces con tráfico rodado deberán disponer de sistemas de protección del enchaquetado (bien hombros de hormigón, bien perfiles metálicos)

4.2. ANÁLISIS DE ATENUACIONES NECESARIAS

Para la elección del tipo de atenuación se deberá tener en cuenta el siguiente criterio (medido desde el carril más exterior) y a la frecuencia de 63 Hz, que es la que comienza a notar el cuerpo humano:

- Atenuación Alta (Nivel 2)

Para distancias a edificios < 7 m (> 20 dB)

- Atenuación Media (Nivel 1)

Para distancias a edificios entre 7-12 m (10-20 dB)

- Atenuación Baja (Nivel 0)

Para distancias a edificios > 12 m (< 10 dB)



Para estimar los niveles de ruidos y vibraciones permisibles se considerarán las disposiciones y regulaciones concernientes a este tema dentro de la Ordenanza para la protección contra ruidos y vibraciones en el término municipal de Zaragoza (aprobado por el Ayuntamiento en el Pleno del 31.10.2001) y la Ley 7/2010, de 18 de noviembre, de protección contra la contaminación acústica de Aragón.

4.3. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS SISTEMAS DE TENDIDO DE VÍA

Los tipos de tendido de vía que se han descrito en el apartado anterior son múltiples y variados.

Se resumen en la siguiente tabla los tendidos analizados, sus ventajas e inconvenientes:

Tabla 4. Análisis comparativo de los sistemas de tendido de vía

Sistema	Montaje	Atenuación	Espesor de sección (hasta base de patín)	Acabado	Renovación y mantenimiento	Sujeción	Velocidad avance típica (m vía/día)	Aislamiento	Lugares de implantación	Coste estimado (€/m de plataforma)
Vía clásica apoyo discontinuo	Según Normas ferroviarias clásicas Materiales prefabricados	Francés con fijación Nabla 5-10 dB Francés con fijación ASP 10-15 dB Francés manta y losa flotante > 20 dB Tacos Edilon 12-15dB Alemán 3-5 dB Alemán con manta y losa flotante 10-15 dB	42 cm hormigón + explanada	Todos Especialmente bueno en césped vía sobre tacos	Según revestimiento	Sujeción (Nabla o ASP, o SKL12)	< 300	Bueno	Grenoble, Ginebra, Lyo, Estraburgo, Montpellier, Nantes (L2), Tenerife, Oporto Tacos Edilon : Bilbao, Vitoria	Sist. francés Nabla 637 €/ml Sist. francés French ASP o con manta elastomérica 764 €/m Sistema alemán 596 €/ml Sist. alemán con manta elastomérica 708 €/ml
Vía clásica apoyo continuo (sistema alemán)	Según Normas ferroviarias clásicas Materiales prefabricados	Alemán 3-5 dB Atenuación con losa flotante + manta 15-20 dB.	45 cm hormigón + explanada	Todos	Según revestimiento	Sujeción ferroviaria (tipo Nabla)	< 300	Bueno	Dresden y Berlín (Alemania), Alcalá de Guadaíra (Sevilla – España)	Sin manta 561 €/m Con manta elastomérica 673 €/m
Estuchada	Nivelación mecánica Materiales prefabricados Suministro de vía completo	En el entorno de los 18 dB. Con manta y losa flotante > 20 dB	30 cm hormigón + explanada	Todos	Según revestimiento, no es necesario destruir plataforma (tierra, prefabricados) Posibilidad de recarga de carril y asfaltado	Placa de caucho En curva y pasos transversales Sujeción con tornillo sin contacto con carril	< 130	Bueno	Dortmund, Nantes (Línea 1), Bilbao, Vitoria, Barcelona, Sevilla (Metro centro), Vélez Málaga	Sin manta 554 €/m Con manta elastomérica 698 €/m
Embebida	Nivelación manual, cuñas, galgas. Imp. Tolerancia en canaleta de hormigón; una vez vertido Corkelast, no es posible rectificar	Con TO Entre 4-5 dB Con TO + manta (descartado el VA-60 + suela) en el entorno de los 20 dB	35 cm hormigón + explanada	Todos	Corte de Corkelast y extracción de cupón	Corkelast. En zonas de pasos de vehículos, refuerzo con perfiles metálicos de los cantos	< 110	Muy Bueno	Barcelona, Manchester, Sheffield, Valencia, Orleans, Granada	TO 682 €/m TO + manta 794 €/m
Embebida concarril pre-revestido	Carril pre-revestido con pórtico de montaje	Con sistema classic entre 4-5 dB Con sistema comfort entre 10 y 12 dB Con manta y losa flotante > 20 dB	35 cm hormigón + explanada	Todos	Sencillo Permite recargue de carril	Por forma de la chaqueta en hormigón	< 144	Bueno	Zaragoza, Bruselas, Atenas, partes de la RATP, Madrid, Parla	Cásico 513 €/m Comfort 539 €/m Con manta 625 €/m

4.4. SISTEMA DE TENDIDO DE VÍA PROPUESTO

La orientación sobre la elección del tendido de vía pasa por la experiencia obtenida de cada uno de los sistemas en otras redes y fundamentada en el sistema actual del tranvía de Zaragoza.

Los aspectos considerados como determinantes para la elección del tipo de tendido de vía a utilizar son los siguientes:

- Coste
- Menor afección a servicios afectados debido a la menor altura necesaria para el tendido de vía
- Facilidad y rapidez de ejecución y resultado
- Mantenimiento y durabilidad
- Aislamientos eléctricos, acústicos y vibraciones

Finalmente se concluye que se recomienda el tendido de vía estuchado, arriostrado con traviesas en zonas de curva.

4.5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL SISTEMA PROPUESTO

4.5.1. Explanada

De forma general a lo largo de toda la traza, para las cargas de tráfico consideradas a efectos del cálculo de las secciones tipo de la plataforma de apoyo de la vía, se considera que una explanada tipo E1 según la clasificación del PG-3 proporciona una capacidad portante suficiente (módulo de deformación en segundo ciclo superior a 60 MPa).

La norma de secciones de firme 6.1 I.C propone tres opciones para obtener una explanada E1 sobre suelo tolerable:

- 100 cm de suelo adecuado
- 60 cm de suelo seleccionado tipo 1 sobre suelo tolerable
- 45 cm de suelo seleccionado tipo 2 sobre suelo tolerable

- 25 cm de suelo estabilizado tipo SEST-1 sobre suelo tolerable

La opción elegida es la de disponer 60 cm de suelo seleccionado tipo 1 sobre un suelo tolerable compactado al 95% del ensayo Proctor Modificado, ya que, aunque esta opción supone una mayor excavación es más fácil de obtener, garantizando sus características mínimas, que el suelo seleccionado tipo 2 y con una puesta en obra más sencilla que el suelo estabilizado.

El suelo estabilizado podría ser una opción interesante en campo abierto, ya que reduce la necesidad de movimiento de tierras, pero tiene el gran inconveniente de que es una obra compleja para realizar en medio urbano, puesto que no se puede disponer de tajos grandes con la consecuente reducción de rendimiento y además genera grandes cantidades de polvo.

No obstante, la disposición de esta capa podría ser prescindible ya que el trazado se desarrolla en su mayor parte sobre el viario existente, disponiendo éste de una categoría de explanada superior. Es por ello que se realizarán ensayos de análisis de capacidad portante de explanada a fin de determinar qué tramos disponen de categoría E1 sin necesidad de actuación y qué tramos requieren de la composición de la misma.

4.5.2. Losa soporte de vía

Sobre la explanada se dispondrá una capa de 0,10 m de hormigón de limpieza y sobre ésta, la losa soporte de vías. Dicha losa estará constituida, en general, por una losa de hormigón armado HA-25 de 2,10 metros de ancho y canto total de 0,34 metros, quedando parte del carril embebido de forma que el espesor bajo patín sea siempre de 0,20 m. En esta losa se dispondrá armadura longitudinalmente y transversalmente tanto en la cara superior como inferior de la losa según se define en el documento nº2 Planos. En el apéndice nº1 de este anejo se justifica el armado de esta losa.

En estos tramos, la losa será considerada a todos los efectos como una sección armada de 0,34 m de espesor puesto que el hormigonado se realiza en una única fase. En consecuencia, y según el articulado correspondiente de Instrucción EHE, el hormigonado se realizará con HA-25 y se realizarán las oportunas juntas de construcción y de dilatación, cada 5 y 20 metros como máximo respectivamente, que serán rellenadas de material inerte y selladas convenientemente con un material bituminoso.

Todos estos elementos, así como la sujeción de la vía son comunes tanto en vía doble como simple, lo único que varía son los anchos ocupados por la propia circulación de los tranvías, lo que da lugar a el acabado final de la traza para que se distingan las zonas ocupadas por la circulación del tranvía.

En las zonas en las que el espesor del acabado de la plataforma supere los 8 cm, será necesaria la disposición de hombros de hormigón armado que contengan lateralmente en enchaquetado.

Asimismo, los cruces con tráfico rodado deberán disponer de sistemas de protección del enchaquetado (bien hombros de hormigón, bien perfiles metálicos).

4.5.3. Sistema de vía

4.5.3.1. Solución general

Como solución general se ha adoptado un sistema que consiste en una solución de vía en placa basada en carril Ri60N ó Ri59N con soporte continuo sin fijaciones, denominado “enchaquetado”. El concepto se basa en un diseño de una “chaqueta” de carril de material elástico a base de caucho granular y resina PUR, de baja toxicidad, que lo envuelve y fija en una posición estable en todas las direcciones, quedando completamente aislado de vibraciones y corrientes.

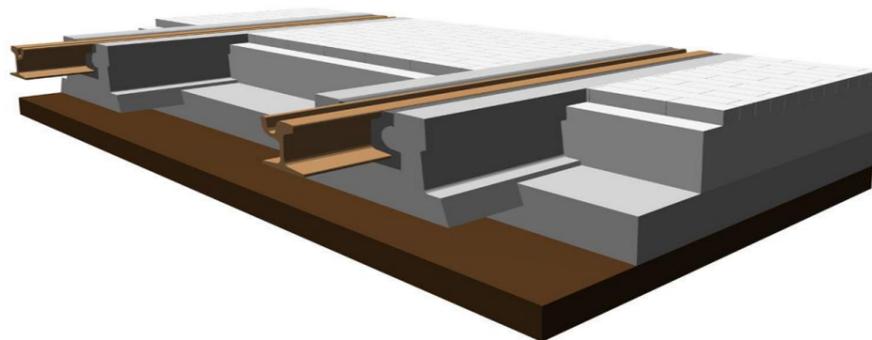


Ilustración 41. Sección vía embebida con carril pre-revestido. Vista general

La forma de la “chaqueta” es versátil, de forma que se puede adaptar para modificar localmente las rigideces e introducir otros materiales elásticos que afinen el comportamiento acústico/antivibratorio.

El resultado es una vía sin resalto respecto al pavimento, con buen comportamiento mecánico, que admite tráfico compartido con otros modos de transporte, y con buena respuesta a vibraciones y ruidos. Es excelente el grado de aislamiento eléctrico frente a corrientes vagabundas.

El apoyo continuo del carril presenta un nivel de seguridad adicional contra descarrilamiento frente al tradicional apoyo discreto de los carriles. Cuando se rompe un carril, el apoyo continuo hace que el carril roto se mantenga cerrado mientras que un carril apoyado discretamente puede abrirse, provocando entonces el descarrilamiento.

Debido a la inexistencia de fijaciones mecánicas del carril, la instalación del mismo será fácil y rápida, adaptándose fácilmente a cualquier ancho de vía. El carril “chaquetado” previamente en la zona de acopio se transporta a la obra y se coloca mediante un sistema de soportes que permiten el fácil alineado de la vía en las tres direcciones. Se suelda el carril y se fijan las “chaquetas”. Se realiza el hormigonado en una única fase y finalmente se dispone el acabado de la plataforma.

Debido a la ausencia de adhesivos esta clase de sistema permite además una fácil sustitución del carril en el caso de que realmente exista la necesidad de cambio. Se realizan incisiones a ambos lados del carril, permitiendo así la retirada del carril dañado y se dispone un nuevo carril “chaquetado” cuya “chaqueta” de segunda generación es más pequeña. Se fija este nuevo carril mediante un elastómero líquido que sella los huecos entre el hormigón y la nueva “chaqueta”.

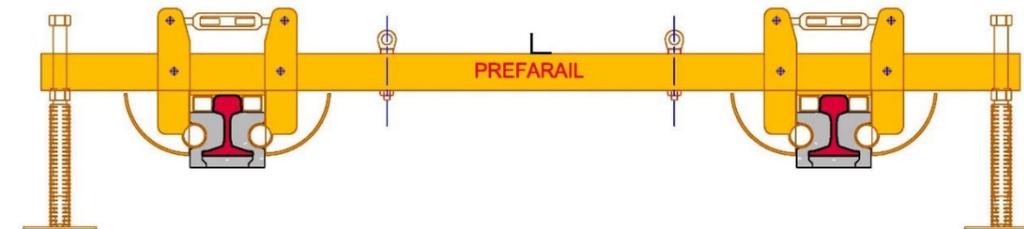


Ilustración 42. Sección vía embebida con carril pre-revestido. Detalle de sistema de sujeción de carril

Para garantizar una geometría con holguras reducidas, y a fin de reducir los niveles de emisiones acústicas, en curvas de radio inferior a 80 m se dispondrá de traviesas/riostras (metálicas aisladas o de resina) cada 1 m. Se ha seleccionado el sistema de riostras ya que es el que permite abatir mayor cantidad de dB, a un coste razonable, siendo el único inconveniente el plazo de ejecución. Este aspecto puede ser crítico en zonas de afección a vecinos, al comercio u otros usuarios, por lo que este aspecto debe compatibilizarse en el momento de ejecución de las obras.

Este sistema de vía es comercializado en España por las casas CDM y Edilon-Setra.

4.5.4. Aparatos de vía

4.5.4.1. Aparatos a lo largo de la línea

A lo largo de la línea existen se han planteado una serie de aparatos de vía basados en la geometría de desvíos de radio 50 m y tangente 1/6, siendo éstos los siguientes:

- Sendos desvíos DTI-RI59-50-1/6-CR-I para la bifurcación Las Fuentes/San José, a continuación de la parada P-14. Debido a la particular geometría del trazado en ese punto, estos desvíos deberán ser curvados en fábrica. Es este punto es producirá también el cruzamiento de una de las vías desviadas por la vía directa opuesta.

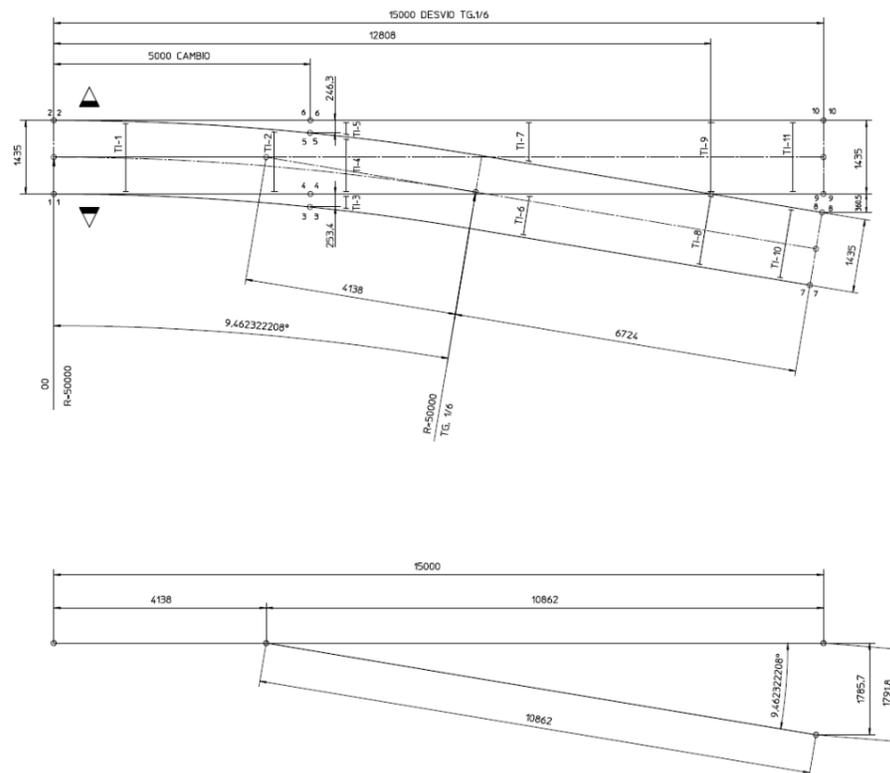


Ilustración 43. Desvío DTI-RI60-50-1/6-CR-D

- Escapes a lo largo de la línea para facilitar la explotación en modo degradado:
 - ETI-RI60-50-1/6-CR-D-4000 después de las paradas P-7 y P-19.

- ETI-RI59-50-1/6-CR-D-4000 después de la paradas P-10 y antes de la parada P-14, por donde cabe la posibilidad de que circule el tranvía.

- Bretelles DD-Ri60N-50-1/6-CR-4000 a la salida de las paradas término P-1 (Valdefierro) y P-21 (San José) para realizar la inversión de marcha y al este de la parada P-4 en la Avda. de Madrid. En el caso de la parada término P-17 (Las Fuentes), debido a su particular entreje (6,6 m) y a la compatibilidad con un posible tren-tram, se ha optado por una bretelle DD-Ri59N-50-1/6-CR-6600.

4.5.4.2. Bypass de Línea 1

Se ha previsto la posibilidad de que la Línea 1 pudiera hacer uso de la infraestructura de la Línea Este-Oeste en el Paseo Pamplona, con objeto de alcanzar el futuro bypass de Independencia por la Avenida de César Augusto. Debido a las particularidades geométricas de los puntos de conexión entre la Línea 1 y la Línea Este-Oeste en la Plaza de Basilio Paraíso y de la última con el bypass de la Línea 1 en las proximidades de la Puerta del Carmen, será necesario recurrir a desvíos específicamente diseñados para dichas ubicaciones.

4.5.4.3. Acceso a cocheras

En previsión a la incorporación de un tren-tram proveniente de las líneas ferroviarias al este de cocheras, previamente al acceso a las mismas se ha previsto la instalación de un desvío DTI-RI59-50-1/6-CR-I.

Previamente al acceso a cocheras y al desvío mencionado se ha incorporado una nueva bretelle DD-Ri59N-50-1/6-CR-4000 habilitando una vía de espera y regulación entre la zona de cocheras y la primera parada de Las Fuentes (P-17) que podrá ser usada tanto por el tranvía como por el tren-tram.

4.5.4.4. Topera de vía

Dado que los tranvías son vehículos ferroviarios deben tener un tope en el final de línea para evitar su descarrilamiento. Pero por el contrario y en aras de una mejor integración con el paisaje urbano no disponen de los topes tan típicamente ferroviarios. Se hace necesario, por tanto, un elemento singular dentro de la vía que asegure la detención, a baja velocidad, de los tranvías y que no puede ser la topera convencional ferroviaria.

El elemento propuesto en esta fase de Anteproyecto es un calce que se sitúa en el final del carril y que en el momento en el que la rueda pasa por encima de él, de forma mecánica se levanta una zapata que impide el movimiento de la unidad, si bien este diseño podrá ser objeto de revisión en posteriores fases del estudio.

4.5.5. Atenuación de ruido y vibraciones

4.5.5.1. Sistema de enchaquetado

Tal y como se justifica en el anejo de Impacto Ambiental para este proyecto se contemplan los siguientes sistemas de atenuación de Ruido y Vibraciones:

- CDM-PREFARAIL-CLASSIC
- CDM-PREFARAIL-COMFORT
- CDM-PREFARAIL-CLASSIC + MANTA ELASTOMÉRICA

Los valores que se han obtenido en mediciones *in situ* en obras en Gante, Bruselas, París y Atenas. Demuestran que el sistema CDM-PREFARAILS garantiza un aislamiento de vibraciones de 4-5dBv, 10-12dBv y 20dBv para cada uno de los sistemas expuestos anteriormente.

Conjugando estos valores con los criterios comúnmente aceptados por las administraciones europeas tenemos los siguientes niveles de atenuación recomendados en función de la distancia de la vía a los edificios colindantes:

- Para una distancia $L > 12$ metros: Sistema CDM-PREFARAIL-CLASSIC
- Para una distancia $7 < L < 12$ metros: Sistema CDM-PREFARAIL-COMFORT
- Para una distancia $L < 7$ metros: Sistema CDM-PREFARAIL-CLASSIC + MANTA ELASTOMÉRICA

(Siendo L la distancia a las edificaciones desde el carril más cercano de la vía).

4.5.5.2. Sistema de engrasado automático en curvas

Además del sistema de engrasado automático de pestaña que incorporarán los vehículos, en curvas de radio reducido (inferior a 80 m), se instalarán en la plataforma sistemas automáticos fijos de lubricación que disminuyan la fricción y el desgaste en

la cara de contacto del carril y la brida de la rueda, situados en el costado de la vía. Estos sistemas aplican de manera eficaz un volumen constante y controlado de lubricante en el riel y mantienen la grasa o modificador de fricción en su posición, lo que permite que las ruedas lo recojan y lo lleven a lo largo de toda la curva.

4.5.6. Acabados de superestructura

La definición de los distintos revestimientos de la plataforma a lo largo de la Línea se ha realizado teniendo en cuenta la imagen final de la plataforma en el entorno en que se emplazará, a la vez que se ofrezcan características técnicas óptimas de cara a las distintas particularidades de uso que se dan en la plataforma a lo largo de todo su recorrido. Es en el anejo de Integración Urbanística donde se detalla para cada uno de los tramos de ambas fases cual es el acabado adoptado de la plataforma de la Línea, en función de la zona de la ciudad que atraviesa.



Co-financed by the Connecting Europe
Facility of the European Union



Zaragoza
AYUNTAMIENTO

APÉNDICE Nº1. CÁLCULO ESTRUCTURAL DE LA LOSA

AP1.1. CARACTERÍSTICAS DEL DISEÑO

Características geométricas

Para el análisis de la estructura se ha considerado una losa de 20 metros de largo por 2,1 metros de ancho, con un espesor de 20 cm. Realmente la losa será de 32 cm, pero solo se arma un espesor de 20 cm, por lo que el resto de espesor se considerará como una sobrecarga sobre la losa a diseñar.

Características mecánicas de los materiales

El hormigón empleado tendrá las siguientes características:

- Ambiente II_a
- Relación agua cemento de 0.60 con un contenido de cemento de 275 kg/cm²
- Resistencia característica 25 MPa
- Recubrimiento mínimo de 50 mm (Losa de cimentación).
- Abertura fisura máxima <0.3 mm

El acero a emplear será un B500S

La losa descansará sobre una capa de hormigón de limpieza HM-15.

Coefficientes de seguridad

Los coeficientes parciales de seguridad para las acciones serán los indicados en las tablas siguientes:

Estado Límite Últimos (ELU)

Los estados límites últimos se comprueban con los siguientes coeficientes de seguridad:

Coefficientes de seguridad de los materiales (situación persistente o transitoria)

- Hormigón $\gamma_s=1.50$
- Acero en armaduras pasivas $\gamma_s=1.15$

Coefficientes de seguridad de los materiales (situación accidental)

- Hormigón $\gamma_s=1.30$
- Acero en armaduras pasivas $\gamma_s=1.00$

Tabla 5. Coeficientes de seguridad de las acciones (situación persistente o transitoria)

		Efecto favorable	Efecto desfavorable
Permanente		$\gamma_G = 1,00$	$\gamma_G = 1,35$
Permanente durante la construcción ¹		$\gamma_G = 0,95$	$\gamma_G = 1,05$
Permanente de valor no constante	Pretensado	$\gamma_{G^*} = 1,00$	$\gamma_{G^*} = 1,00$
	Reológicas	$\gamma_{G^*} = 1,00$	$\gamma_{G^*} = 1,50$
	Acción del terreno	$\gamma_{G^*} = 1,00$	$\gamma_{G^*} = 1,50$
Variable		$\gamma_Q = 0,00$	$\gamma_Q = 1,50$

[¹] Para cargas compensadas en ELU de equilibrio, considerando las partes favorable y desfavorable como acciones independientes.

Tabla 6. Coeficientes de seguridad de las acciones (situación accidental)

		Efecto favorable	Efecto desfavorable
Permanente		$\gamma_G = 1,00$	$\gamma_G = 1,00$
Permanente de valor no constante	Pretensado	$\gamma_{G^*} = 1,00$	$\gamma_{G^*} = 1,00$
	Reológicas	$\gamma_{G^*} = 1,00$	$\gamma_{G^*} = 1,00$
	Acción del terreno	$\gamma_{G^*} = 1,00$	$\gamma_{G^*} = 1,00$
Variable		$\gamma_Q = 0,00$	$\gamma_Q = 1,00$
Accidental		$\gamma_A = 0,00$	$\gamma_A = 1,00$

Situaciones persistentes o transitorias:

Las combinaciones de las distintas acciones consideradas en estas situaciones, excepto en Estado Límite de fatiga, se realizarán de acuerdo con el siguiente criterio:

$$\sum_{i \geq 1} \gamma_{G,i} G_{k,i} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G^*,j} G^*_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$$

donde:

- $G_{k,i}$ Valor representativo de cada acción permanente.
- $G^*_{k,j}$ Valor representativo de cada acción permanente de valor no constante.
- $Q_{k,1}$ Valor característico de la acción variable dominante.
- $\Psi_{0,i} Q_{k,i}$ Valores de combinación de las acciones variables concomitantes con la acción variable dominante.

Situaciones accidentales de sismo:

Las combinaciones de las distintas acciones consideradas en estas situaciones, excepto en Estado Límite de fatiga, se realizarán de acuerdo con el siguiente criterio:

$$\sum_{i \geq 1} \gamma_{G,i} G_{k,i} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G^*,j} G^*_{k,j} + \gamma_A A_{E,k} + \gamma_{Q,1} \Psi_{2,1} Q_{k,1}$$

donde:

- $G_{k,i}$ Valor representativo de cada acción permanente.
- $G^*_{k,j}$ Valor representativo de cada acción permanente de valor no constante.
- $A_{E,k}$ Valor característico de la acción sísmica.
- $\gamma_{Q,1} \Psi_{2,1} Q_{k,1}$ Valores cuasipermanentes de la sobrecarga de uso.

Estado Límite de Servicio (ELS)

Los estados límites de servicio se comprueban con los siguientes coeficientes de seguridad:

Tabla 7. Coeficientes de seguridad de las acciones (estados límites de servicio)

	<i>Efecto favorable</i>	<i>Efecto desfavorable</i>
Permanente	$\gamma_G = 1,00$	$\gamma_G = 1,00$
Permanente durante la construcción ¹	$\gamma_G = 1,00$	$\gamma_G = 1,00$
Permanente de valor no constante	Pretensado	$\gamma_{G^*} = 0,90$
	Reológicas	$\gamma_{G^*} = 1,00$
	Acción del terreno	$\gamma_{G^*} = 1,00$
Variable	$\gamma_Q = 0,00$	$\gamma_Q = 1,00$

Coefficientes de combinación (ψ)

Para la determinación de los valores de combinación de las acciones se adoptan los siguientes coeficientes:

Tabla 8. Coeficientes de combinación de acciones

Valor de combinación ψ_0	Valor frecuente ψ_1	Valor cuasi – permanente ψ_2
0,60	0,50	0,20

Para estos estados se considerarán únicamente las situaciones persistentes y transitorias, excluyéndose las accidentales.

Las combinaciones de las distintas acciones consideradas en estas situaciones se realizarán de acuerdo con el siguiente criterio:

Combinación característica (poco probable o rara):

$$\sum_{i \geq 1} \gamma_{G,i} G_{k,i} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G^*,j} G^*_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Combinación frecuente:

$$\sum_{i \geq 1} \gamma_{G,i} G_{k,i} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G^*,j} G^*_{k,j} + \gamma_{Q,1} \Psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Combinación cuasi permanente:

$$\sum_{i \geq 1} \gamma_{G,i} G_{k,i} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G^*,j} G^*_{k,j} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

AP1.2. MODELO DE CÁLCULO

El cálculo y dimensionamiento de la losa se ha realizado con el programa informático Robot Structural Analysis 2018. Se ha modelizado una losa de 20 m por 2,10 m y 0,20 m de canto. La losa ha sido discretizada empleando elementos hexagonales de 0,25 m de tamaño.

Las cargas consideradas en la estructura son:

Cargas Permanentes

- Peso propio hormigón (hip. 1) 2.400 kg/m³
- Peso muerto sobre losa (SDL) (hip. 2) 3 kN/m²

Cargas Variables

- Sobrecarga de uso (SCU) (hip. 3) 4 kN/m²
- Carga dinámica URBE 3 (hip. 4) 120T/eje¹
- Carga Dinámica Vehículo clase I (autobús urbano) a lo largo de la vía (hip. 5) 130T/eje
- Carga Dinámica Vehículo clase I (autobús urbano) cruzando la vía (hip. 6) 130T7eje

La carga del Vehículo clase I (autobús urbano) a lo largo de la vía del tranvía corresponde a una carga ACCIDENTAL, por lo que su acción será de menor impacto sobre la vía que la carga que transmite el tranvía tipo URBE 3. Lo que si que se tendrá en cuenta para el diseño es la carga del mismo autobús cuando cruza perpendicularmente la vía del tranvía, generando unas cargas perpendiculares a las transmitidas por el mismo tranvía.

¹ En el caso del tren-tram la carga por eje también es de 120T/eje

La carga correspondiente a la acción del tranvía será la correspondiente al tranvía tipo URBE 3, con una carga máxima por eje de 120 T y una distribución:

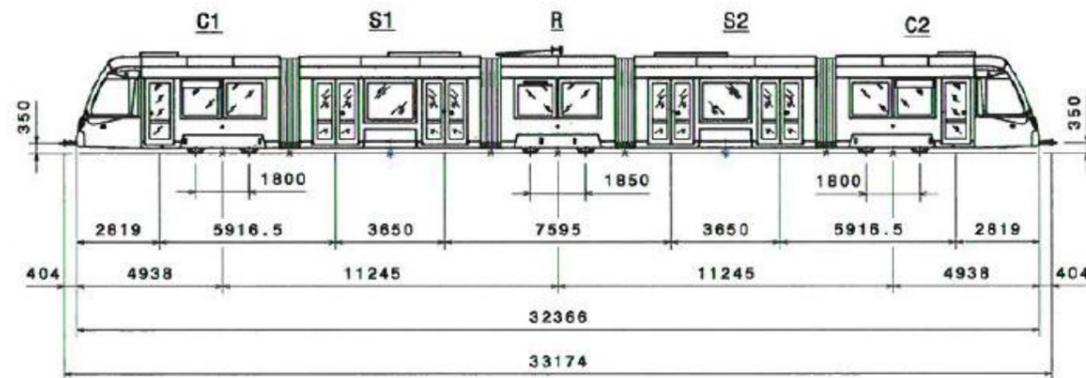


Ilustración 44. Distribución de ejes Urbos3

En cuanto a las condiciones de contorno, se ha considerado un coeficiente de balasto del terreno, tanto horizontal como vertical de 2 kg/cm³, el cual se estima suficientemente restrictivo para la zona de actuación. A su vez, se considerará una carga máxima admisible del terreno de 1 kg/m³, basada en previas actuaciones en la zona de actuación.

AP1.3. RESULTADOS DE CÁLCULO

– URBOS 3

M1

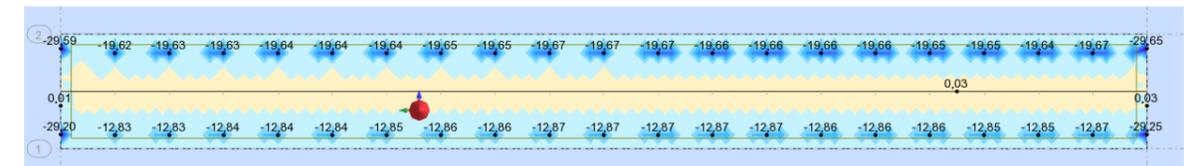


Ilustración 45. Resultado de cálculo M1

M2

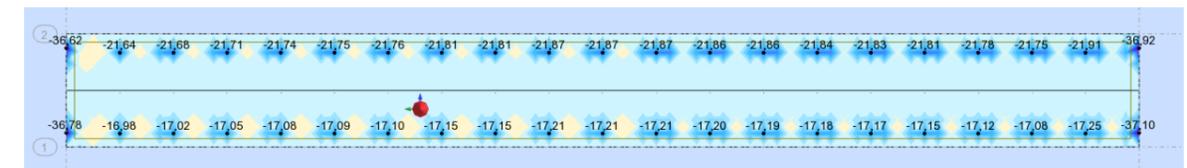


Ilustración 46. Resultado de cálculo M2

X

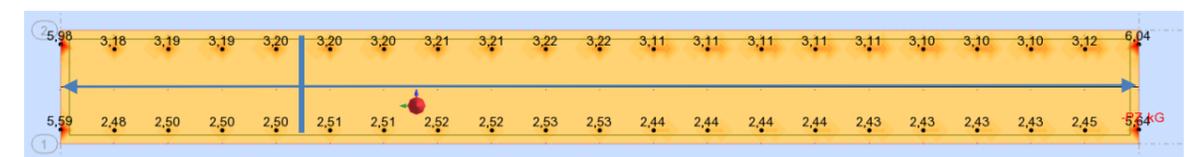
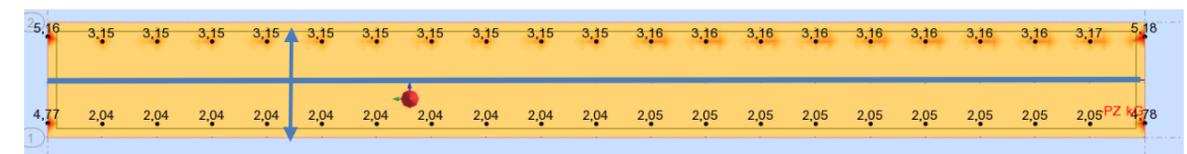


Ilustración 47. Resultado de cálculo

Y



X+

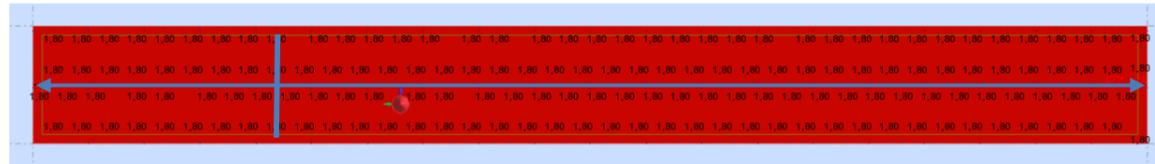


Ilustración 49. Resultado de cálculo X+

Y+

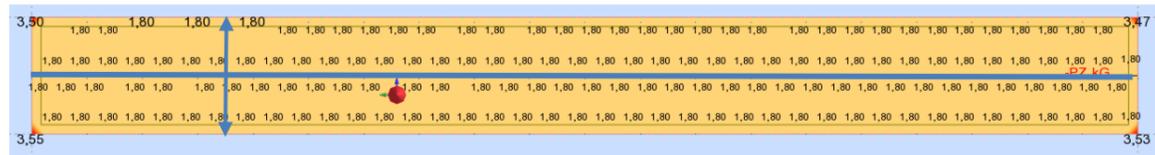


Ilustración 50. Resultado de cálculo Y+

– Vehículo clase I (autobús urbano)

M1

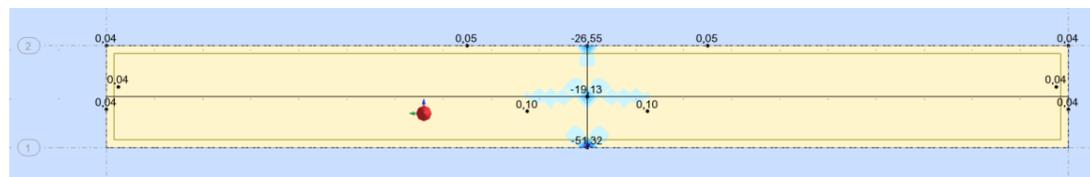


Ilustración 51. Resultado de cálculo M1

M2

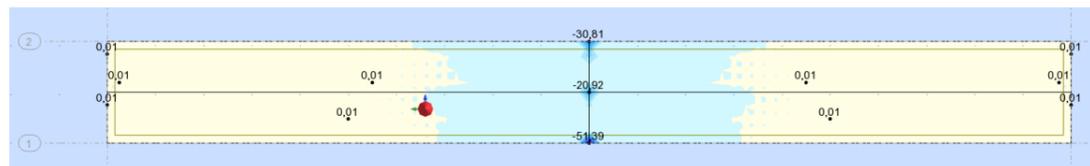


Ilustración 52. Resultado de cálculo M2

X

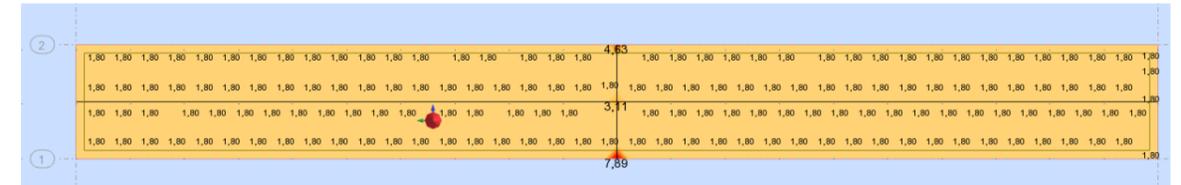


Ilustración 53. Resultado de cálculo

Y

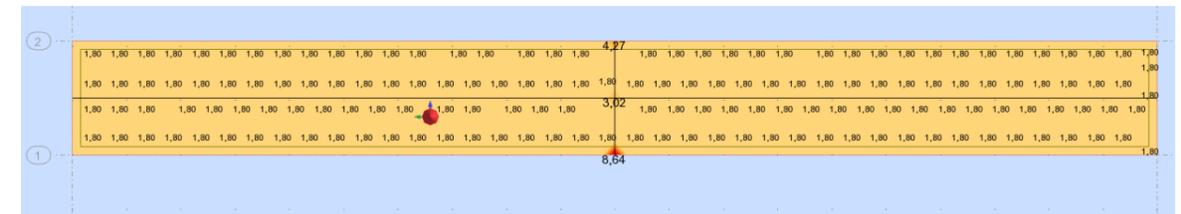


Ilustración 54. Resultado de cálculo Y

X+

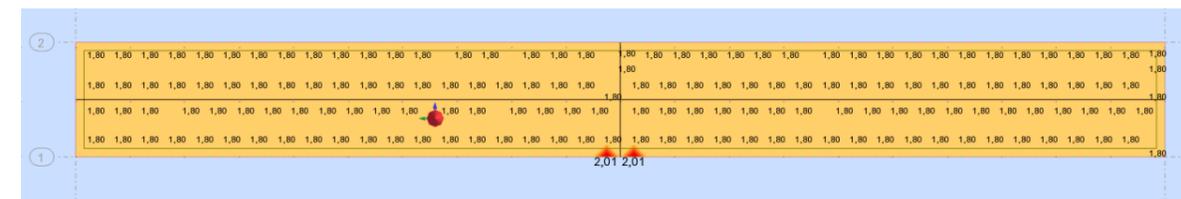


Ilustración 55. Resultado de cálculo X+

Y+

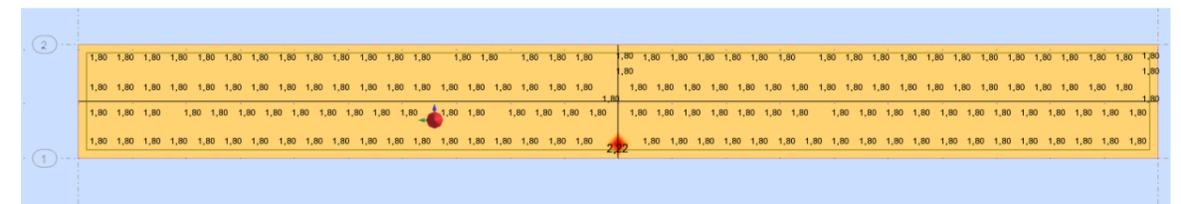


Ilustración 56. Resultado de cálculo Y+

Tabla 9. Tabla resumen de resultados

Carga	Dirección armadura	Posición	Flector (kNm/m)	Armado Requerido (cm ² /m)	Armado propuesto	Armado Dispuesto (cm ² /m)	rendimiento (%)
Urbos 3	X	+	20,5	1,8	Ø8/200	2,51	0,72
		-	29,65	3,22	Ø10/200	3,93	0,81
	Y	+	7,72	1,8	Ø8/200	2,51	0,72
		-	37,1	3,16	Ø10/200	3,93	0,8
Autobús Urbano	X	+	0,35	2,01	Ø8/200	2,51	0,8
		-	20,92	4,63	Ø12/200	9,05 ¹	0,87
	Y	+	14,31	2,22	Ø8/200	2,51	0,88
		-	19,13	4,27	Ø12/200	9,05 ¹	0,95

Los armados correspondientes al caso de carga del Vehículo clase I (autobús urbano) cruzando perpendicularmente la línea del tranvía, serán armados totales. Por lo tanto, en la dirección X⁺ y Y⁺, no hará falta modificar el armado mientras que en las direcciones X⁻ y Y⁻ hará falta incrementar el armado hasta Ø12/200, únicamente en las zonas de cruces.

De los mapas de armado se descarta los valores indicados en los bordes debido a que realmente las losas estarán conectadas unas con otras, con lo que el factor de borde desaparecerá.

Como comprobación adicional, se comprobará que, ante un posible colapso del terreno bajo de la vía, el carril es capaz de soportar la carga producida por el paso del tranvía. Para este escenario, se considerará únicamente el peso del tranvía, pues se analizará la resistencia de la propia vía.

Los detalles mecánicos y geométricos del carril Ri59N² son los siguientes:

Grooved Standard / Norma de Garganta

59R2
(Ri59-R13)
(Ri59N)

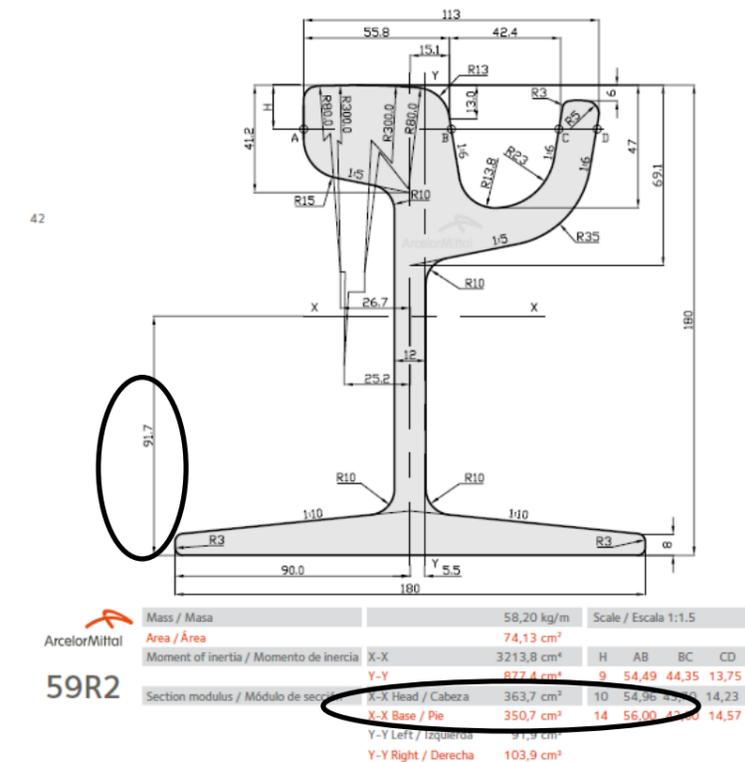


Ilustración 57. Detalles numéricos y geométricos del Carril Ri59N

El peor escenario se producirá cuando el terreno bajo el vial ceda con una luz de 1,5 metros, obteniendo:

² Se ha considerado el carril Ri59N por sus menores prestaciones estructurales frente al Ri60N

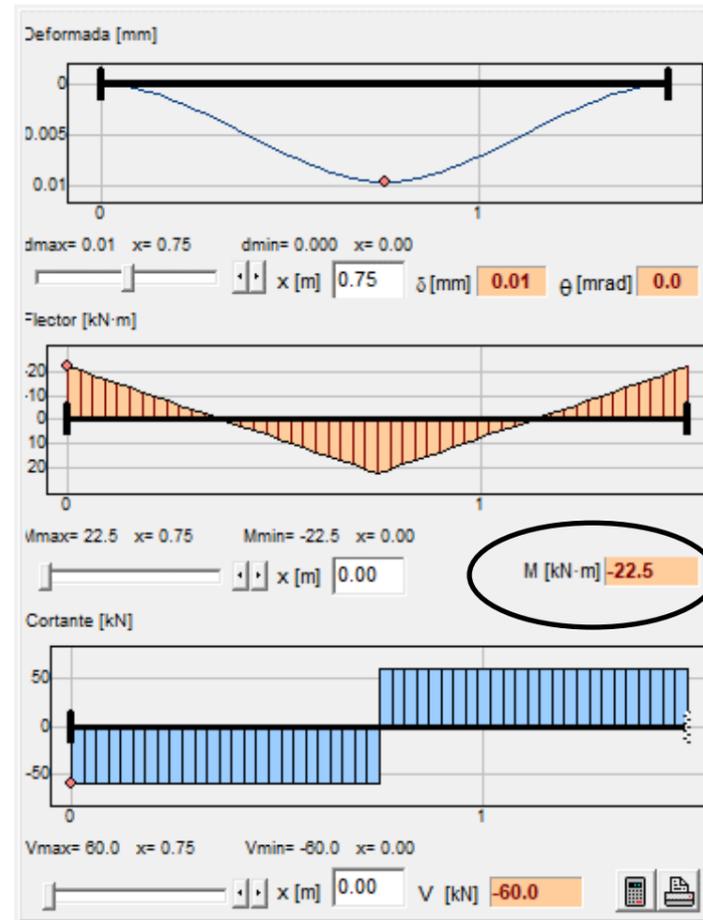


Ilustración 58. Resultados en losa frente a fallo de apoyo

$$M_d = 22.5 \text{ kNm}$$

La tensión máxima en el acero será:

$$\sigma_y = \frac{M_d \cdot y \cdot \gamma_{m0}}{I} = \frac{(22.5 \cdot 10^6) \cdot 91.7 \cdot 1.05}{32.138 \cdot 10^6} = 67.41 \text{ MPa} < f_{y,min} = 235 \text{ MPa}$$

Por lo tanto, la tensión máxima nunca superará el valor mínimo de resistencia característica del acero, con lo que podemos afirmar que, en caso de colapso del terreno, el carril será capaz de soportar la carga producida por el tranvía. Cabe destacar que la carga dinámica ha sido transformada a estática para esta comprobación con un factor de seguridad de 2.