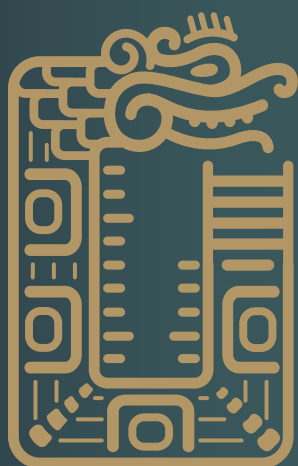


KAANBAL

PROGRAMA DE TRANSFERENCIA DE CONOCIMIENTO

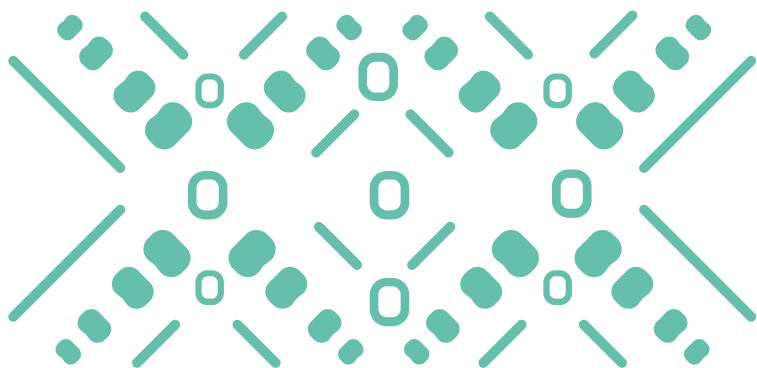


**TREN
MAYA**
TSÍIMIN K'ÁAK

LECCIÓN 5

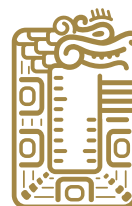


LECCIÓN 5



CURSO 3 Pt. 2 **SISTEMAS DE VÍAS**

con J. Francisco Martínez



**TREN
MAYA**
TSÍIMIN K'ÁAK

ÍNDICE DE IMÁGENES

<i>Imagen 1: Diagrama de las partes de las vías en Balasto</i>	4
<i>Imagen 2: Estación San Francisco Campeche, Tren Maya</i>	4
<i>Imagen 3: Perfil de la ferrovía</i>	5
<i>Imagen 4: Representación de la rigidez vertical</i>	6
<i>Imagen 5: Rigidez vertical</i>	6
<i>Imagen 6: Sección de riel</i>	6
<i>Imagen 7: Sección y longitud del durmiente</i>	7
<i>Imagen 8: Distancia entre durmientes</i>	8
<i>Imagen 9: Máquina compactadora de balasto</i>	9
<i>Imagen 10: Ejemplo de Balasto colocada correctamente</i>	9
<i>Imagen 11: Ejemplo de Durmiente de concreto</i>	11
<i>Imagen 12: Ejemplo de Creosota en durmientes de madera</i>	12
<i>Imagen 13: Ejemplo de durmiente monobloque de concreto</i>	12
<i>Imagen 14: Ejemplo de durmiente bibloque de concreto</i>	13
<i>Imagen 15: Ejemplo de semi durmiente de concreto</i>	13
<i>Imagen 16: Tipos de durmientes</i>	14
<i>Imagen 17: Elementos del perfil</i>	15
<i>Imagen 18: Rotura de riel</i>	16
<i>Imagen 19: Proceso de pintado de riel</i>	17
<i>Imagen 21: Vibración de un tren</i>	17
<i>Imagen 22: Torsión de una sujeción ferroviaria</i>	18
<i>Imagen 23: Tipos de sujeción de diferente resistencia</i>	18
	19

LECCIÓN 5

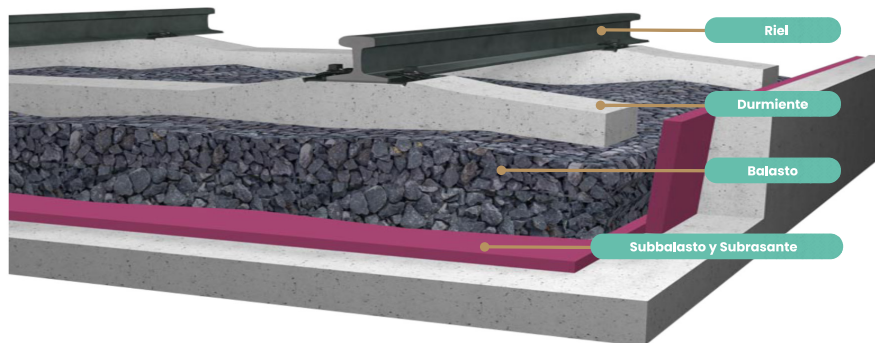
VÍA SOBRE BALASTO

Las vías superficiales o vías sobre balasto, considerada como el principal elemento de la infraestructura civil ferroviaria que convive directamente con el material rodante, soportando los diferentes esfuerzos transmitidos.

De esta manera, es preciso explicar cuáles son las características de la vía en balasto, desde sus características técnicas principales y los diferentes elementos que la componen.

Precisamente la vía debe poder soportar, en condiciones seguras, las distintas circulaciones, por lo que se requiere una vía de calidad, sólidamente constituida y con un mantenimiento constante.

Imagen 1: Diagrama de las partes de las vías en Balasto



Fuente: Altraix International, Under ballast mats <https://altraix.com/products/under-ballast-mats/>

Imagen 2: Estación San Francisco Campeche, Tren Maya



Fuente: El siglo de Coahuila, <https://www.elsiglocoahuila.mx/noticia/2023/quieres-viajar-en-el-tren-maya-estas-son-las-fechas-y-rutas.html>

Es importante destacar que, aparte de la vía en placa, no existe en el mercado una alternativa a la vía en balasto. La tipología de vía sobre balasto existe desde los inicios del mundo del transporte ferroviario, sin embargo, su nivel de evolución ha sido muy reducido.

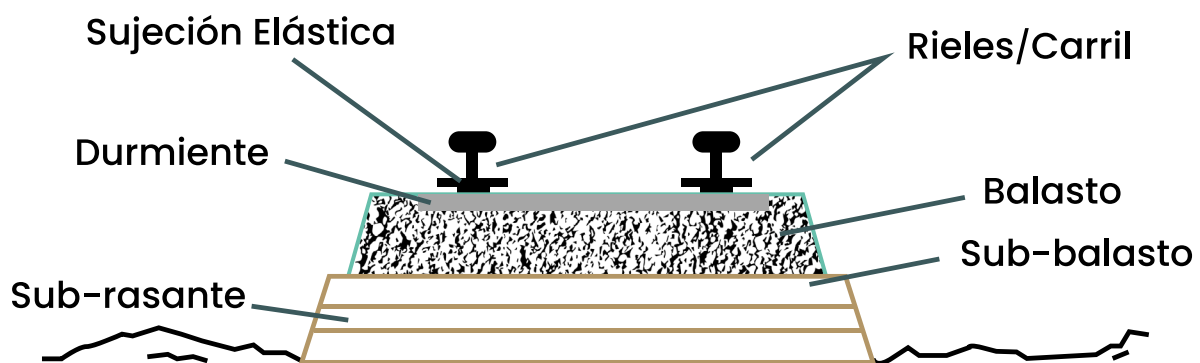
Los criterios de diseño de vías sobre balasto han ido evolucionando a medida que las velocidades de circulación han ido aumentando, por lo que el principal objetivo de las empresas ferroviarias es el mantenimiento para garantizar la seguridad durante la explotación de las operaciones.

A medida que aumenta la velocidad de circulación de los trenes, las cargas dinámicas verticales que actúan sobre la vía se hacen mayores. En este sentido, si la vía mantuviera los mismos criterios dinámicos, las operaciones de mantenimiento serían más abundantes y costosas, por lo que a medida que se incrementa la velocidad de circulación sobre una vía en balasto, se debe diseñar con un valor de rigidez mayor y así contrarrestar ese impacto negativo sobre la geometría.

En la imagen podemos observar los componentes principales de la vía en balasto, considerando que se colocan sobre la plataforma de vía, los elementos son:

- Balasto
- Durmiente
- Sujeción elástica
- Carril

Imagen 3: Perfil de la ferrovía



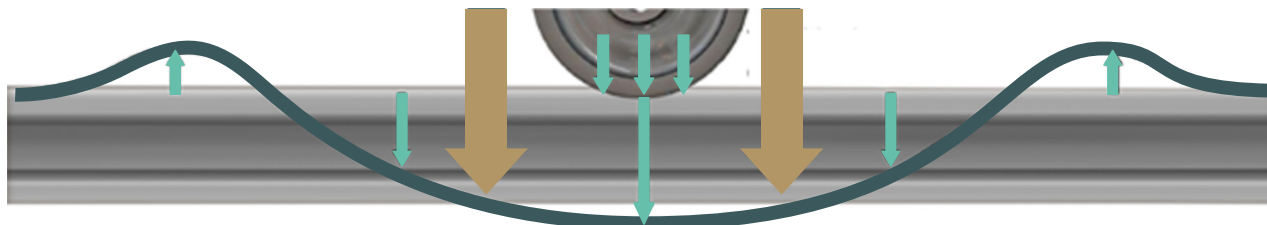
Fuente: Elaboración propia

Rigidez vertical

Una parte importante que se debe considerar al momento de colocar la vía en

balasto es la rigidez vertical, este parámetro se debe tener muy en cuenta en el análisis global ya que se encuentra ligada con la elasticidad de la vía, de manera que, a mayor rigidez vertical, menor elasticidad y viceversa.

Imagen 4: Representación de la rigidez vertical



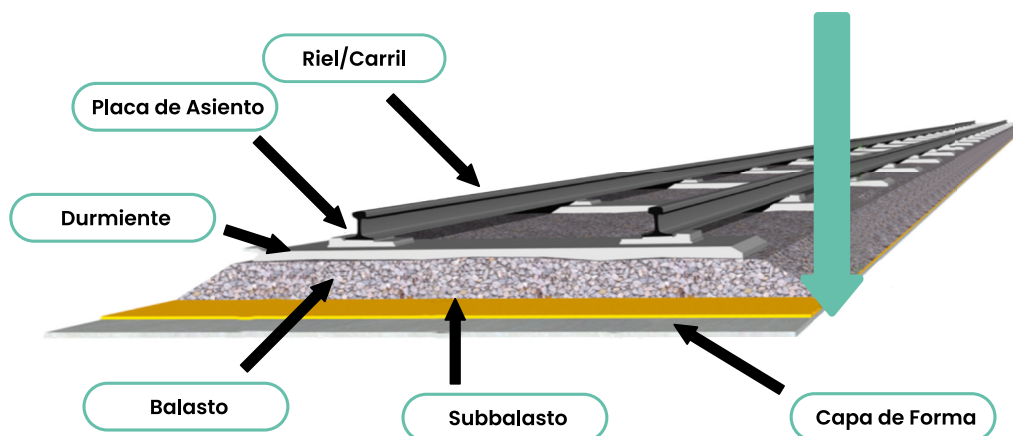
Esta se encuentra ligada con la elasticidad de la vía, de manera que, a mayor rigidez vertical, menor elasticidad y viceversa.

Fuente: Elaboración propia

La rigidez vertical de la vía viene definida de arriba para abajo por los siguientes elementos:

- Riel.
- Placa de asiento.
- Durmiente.
- Balasto.
- Sub-balasto.
- Capa de forma

Imagen 5: Rigidez vertical

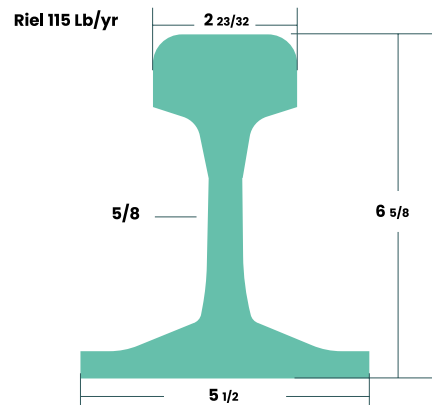


Fuente: GERB, <https://es.gerb.com/via-sobre-balasto-en-las-zonas-de-transicion-de-rigidez/>

La rigidez vertical, se encuentra condicionalmente estructurada y la rigidez del carril y del durmiente vienen impuestas por las propias condiciones del material, por lo que es necesario considerar lo siguiente:

Sección del carril: A medida que aumenta su momento de inercia, se aumenta la rigidez vertical de la vía.

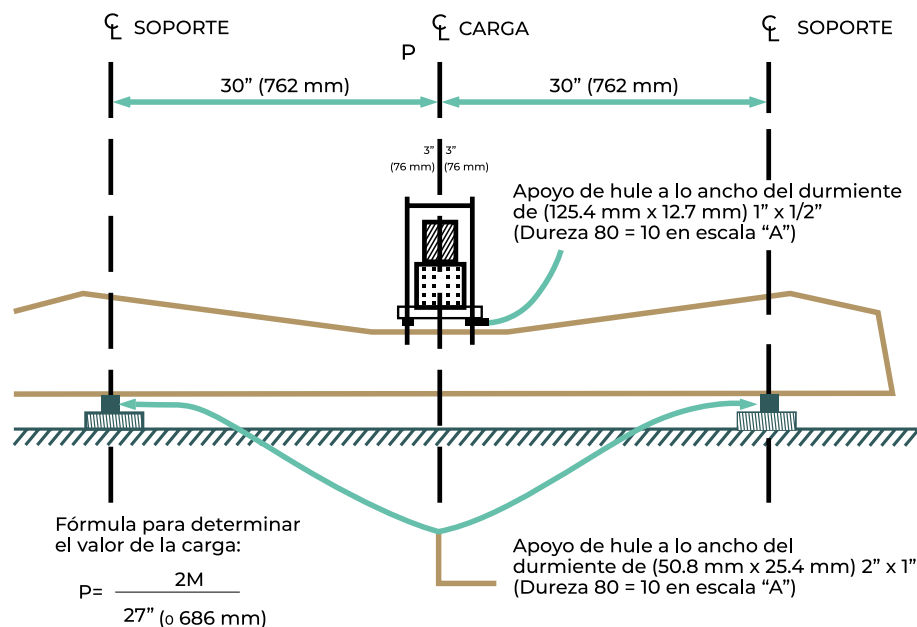
Imagen 6: Sección de riel



Fuente: Elaboración propia

Sección y longitud del durmiente: A medida que se aumenta su peso, se aumenta también la rigidez vertical de la vía.

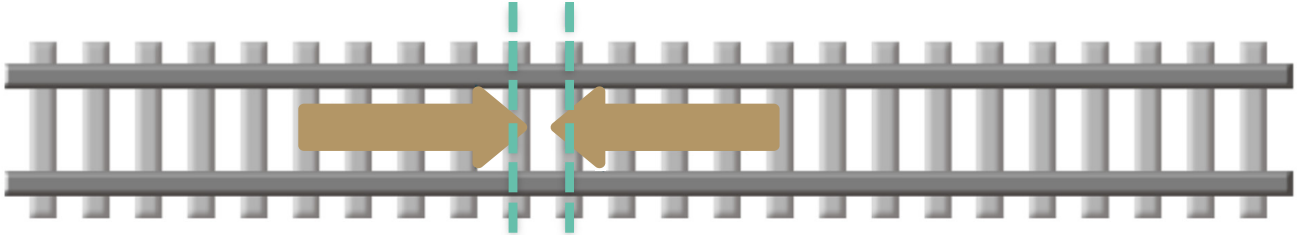
Imagen 7: Sección y longitud del durmiente



Fuente: Elaboración propia

Distancia entre durmientes: A medida que se disminuye esta distancia, es fácil intuir que aumenta la rigidez vertical del conjunto.

Imagen 8: Distancia entre durmientes



A medida que se disminuye esta distancia, es fácil intuir que aumenta la rigidez vertical del conjunto.

Fuente: Elaboración propia

Rigidez vertical de la placa de asiento: A medida que se aumenta, se aumenta igualmente la rigidez vertical de todo el conjunto.

Capacidad portante de las capas de asiento: Características propias de los materiales de las distintas capas (balasto, sub balasto, arena, entre otras). Espesores asociados a cada una de ellas. Características generales de la plataforma (principalmente teniendo en cuenta la existencia de estructuras como puentes y túneles).

La resistencia transversal

Otro factor importante que se debe considerar al momento de montar una vía en balasto es la resistencia transversal, siendo esta un parámetro fundamental en la seguridad de la circulación del vehículo. Los factores que influyen en el comportamiento transversal de la vía son los siguientes:

- Influencia de la carga vertical sobre la vía: Al aumentar las toneladas que circulan sobre la vía, la resistencia lateral aumenta.
- Compactación o estabilización mecánica del balasto: Considerando una vía con traviesa de hormigón, estos procedimientos, de naturaleza mecánica y que se aplican mediante maquinaria especial de vía, mejoran el comportamiento transversal de la vía, hasta en un 50 %, respecto a procedimientos basados en compactación química.

Imagen 9: Máquina compactadora de balasto



Fuente: Plasser & Theurer. (s.f.). Estabilización y compactación: Vista general. Plasser & Theurer. <https://www.plassertheurer.com/es/machine/estabilizacion-y-compactacion/vista-general>

Tipo de Durmiente: Aunque se analizará en próximos apartados, cabe destacar aquí que la traviesa de hormigón bloque tiene mayor resistencia transversal ya que dispone de doubles caras a empuje pasivo contra el balasto. La traviesa de madera tiene el peor comportamiento respecto a este parámetro.

Banqueta de balasto: La resistencia lateral de la vía aumenta con las dimensiones de la banqueta de balasto.

Imagen 10: Ejemplo de Balasto colocada correctamente



Plasser & Theurer Ibérica. (2023). Regulación y perfilado del balasto. Plasser & Theurer Ibérica. <https://www.plasser.es/es/maquinas-sistemas/regulacion-perfilado-balasto.html>

En términos generales, con la vía en carga, la resistencia lateral depende de:

- La velocidad del vehículo
- La carga por eje
- La temperatura
- Del grado de consolidación de la vía
- Tipo o estructura

El balasto

El balasto es roca machacada principalmente de material silíceo y tiene las siguientes funciones principales:

- Amortiguar y repartir los esfuerzos.
- Constituir un lecho elástico suavizador de la rodadura.
- Reducir los ruidos producidos por el tráfico ferroviario.
- Posibilitar el drenaje.
- Proteger a la plataforma contra las heladas.
- Permitir el establecimiento de la nivelación y peralte y sus ajustes, y facilitar las correcciones de alineación.
- Estabilizador horizontal, longitudinal y transversalmente la vía.

El balasto debe cumplir una serie de características relacionadas con su tamaño, forma, naturaleza, estado y resistencia, a saber:

Tamaño: Se encuentra entre 2 y 6 centímetros.

Forma: de forma cúbica, con aristas vivas.

Material: Sílice de origen ígneo o metamórfico.

Estado: Limpio y compacto.

Resistencia: Al desgaste, a compresión simple y a la meteorización.

Según se ha indicado, el balasto, que conforma una capa más de asiento, influye en cierta medida sobre la rigidez vertical del conjunto y cuanto mayor es su espesor mayor es la rigidez. En las líneas con mayores velocidades de circulación este espesor suele estar comprendido entre los 30 y 35 centímetros mientras que en líneas más convencionales se reduce al entorno de los 25

centímetros, como referencia estas alturas se miden desde la parte superficial del durmiente, hacia abajo.

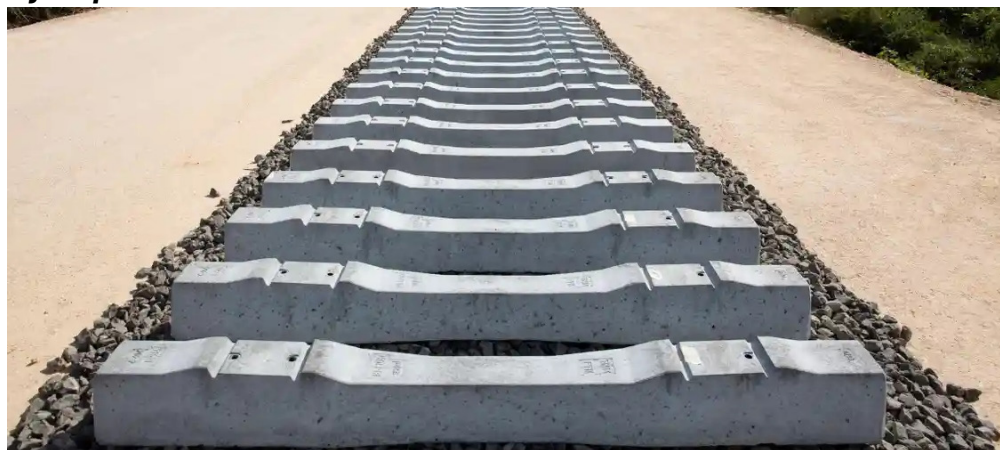
Con relación a la resistencia transversal, debe destacarse que el tamaño de las partículas y el alargamiento y la elevación de la banqueta del balasto tiene afec- ción directa sobre este parámetro. De esta manera una anchura comprendida entre 0,9 y 1 metro puede considerarse adecuada para asegurar una buena resis- tencia transversal.

Cabe destacar, llegado a este punto, que actualmente se están desarrollando diferentes experiencias con nuevos tipos de balasto, intentando dotarlo de mayo- res prestaciones, alargando su vida útil y confiriéndole nuevas propiedades como puede ser su comportamiento antivibración.

El durmiente

El durmiente es el elemento que permite mantener el ancho de vía (recordemos que es de 1435 mm), absorbe y transmite los esfuerzos emitidos por el material ro- dante, da estabilidad a la vía y permite el asiento del carril dándole su inclinación correspondiente, además de genera un aislamiento eléctrico a todo el conjunto.

Imagen 11: Ejemplo de Durmiente de concreto



Fuente: Les Echos, Une section du Train Maya en construction. <https://www.lesechos.fr/monde/ameriques/au-mexique-un-interventionnisme-detat-qui-porte-ses-fruits-2098490>

En la actualidad el material más empleado para construir durmientes es el concreto (hormigón como se conoce en otros países). En todo caso continúan aplicándose en servicio durmientes de madera, si bien ya no son instalados debido a su contenido en creosota.

La creosota se ha utilizado durante muchos años para la protección de la madera expuesta al exterior, como es el caso evidente de los durmientes ferroviarios, pero en estos últimos años se ha limitado su uso debido a las posibles consecuencias negativas que puede tener en la salud, ya que el durmiente de madera sí introduce algunas ventajas operativas en determinados puntos de la red: como por ejemplo en el caso de los puentes metálicos. Desde hace unos años se ha comenzado a introducir durmientes de material sintético, son fabricadas con fibras de vidrio continuas y el poliuretano, dando lugar a un tipo de durmiente de alta calidad y larga duración.

Realmente es un material con las mismas características de la madera, pero sin los inconvenientes de ésta, principalmente al eliminar dicha creosota y que sí dispone de una mayor vida útil.

Imagen 12: Ejemplo de Creosota en durmientes de madera



Fuente: EcoHabitat. (s.f.). Madera con creosota. EcoHabitat. <https://ecohabitat.org/madera-con-creosota/>

Con respecto a su geometría general, puede considerarse tres tipos principales

- Durmiente monobloque de concreto (hormigón), madera o material sintético según se ha indicado.

Imagen 13: Ejemplo de durmiente monobloque de concreto



Fuente: Instituto del Cemento Portland Argentina, ICAPA

- Durmiente bibloque de concreto con una riostra metálica de unión de ambos bloques

Imagen 14: Ejemplo de durmiente bibloque de concreto



Fuente: Ingeniería Ferroviaria, <https://ingenieriaferroviaria.com.ar/durmientes-de-hormigon-para-ferrocarril/>

- Semi Durmiente de concreto. Está última no es empleada con vía en balasto sino en la configuración de vía en placa.

Imagen 15: Ejemplo de semi durmiente de concreto



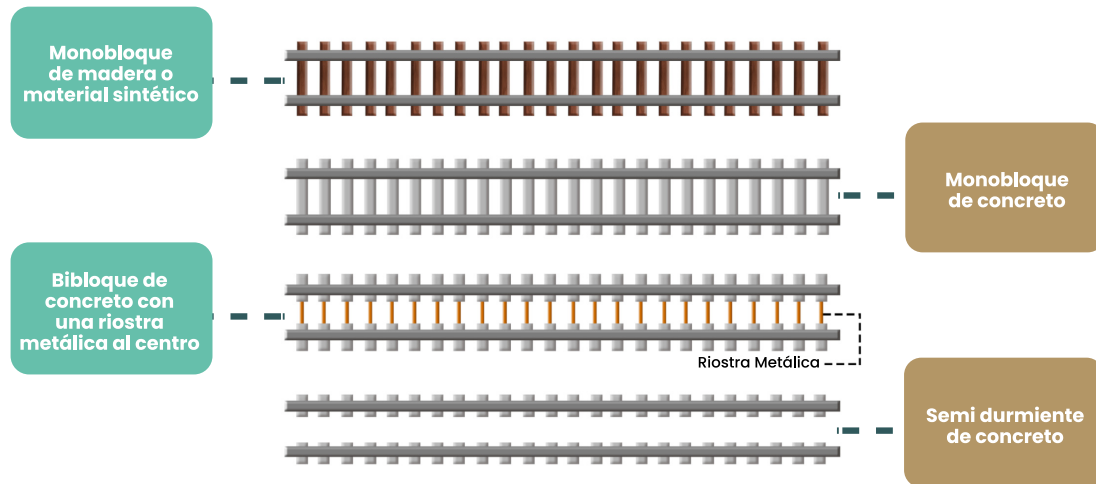
Fuente: Soluciones Ferroviarias, <https://www.t5ferroviario.com/superestructura-de-via-ferrea/>

En la siguiente imagen podemos observar los diferentes tipos de durmientes que se utilizan, de modo que los enlistamos de la siguiente manera:

1. Durmiente monobloque de madera o material sintético.
2. Durmiente monobloque de concreto (hormigón).

3. Durmiente bibloque de concreto (con una riostra metálica al centro).
4. Semi durmiente de concreto.

Imagen 16: Tipos de durmientes



Fuente: Elaboración propia

El Riel

Este elemento se identifica como el más importante de la vía. Al fin y al cabo, es la interfaz directa con las ruedas del material rodante, produciendo su guiado de manera unidireccional y continua. Otras funciones adicionales del carril serían las siguientes:

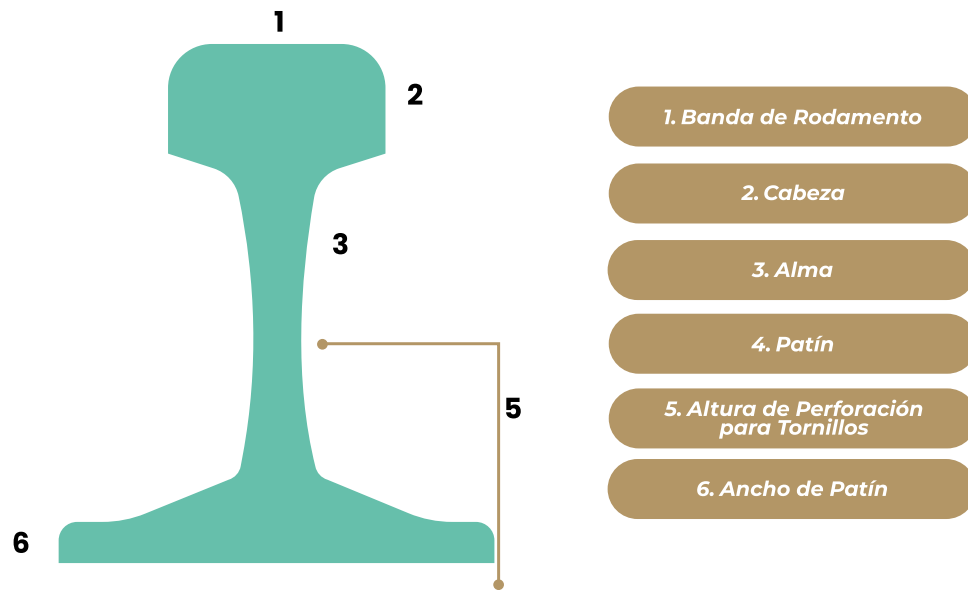
- Absorbe, resiste y transmite las cargas durante la circulación ferroviaria, en relación con los esfuerzos verticales, transversales y longitudinales ya referenciados.
- Conduce la corriente eléctrica de tracción como parte activa de dicho circuito.
- Conduce la corriente asociada a los circuitos de vía del sistema de control, mando y señalización.

Cabe destacar aquí que el riel apenas influye en la resistencia lateral de la vía.

En el caso de la rigidez vertical un carril de mayor momento de inercia (carril de mayor peso) genera una mayor rigidez.

En la siguiente imagen se ha representado un perfil con un tipo de carril actualmente empleado en vías con balasto. Si bien existen diferentes tipologías de perfiles en función de la geometría a emplear, aquí se considerarán los tipos 54 E1 y 60 E1. Se trata de un acero al Carbono- Manganeso (C-Mn) con o sin tratamiento térmico (lo que le conferirá una mayor o menor resistencia)

Imagen 17: Elementos del perfil



Fuente: Elaboración propia

En efecto, el riel es obtenido directamente por laminación en barras elementales sin ningún tipo de unión y corte.

Las longitudes de fabricación son las siguientes:

- 18 metros
- 36 metros
- 72 metros
- 90 metros
- 108 metros

Estas barras serán posteriormente combinadas para formar el riel continuo y es aquí cuando la técnica de unión o soldado del riel adopta una importancia fundamental en su montaje.

La soldadura de riel es la técnica que permite unir los extremos de dos rieles por su calentamiento hasta fusión con o sin un material de aportación.

Esta soldadura puede ser de distintos tipos, destacando aquí la soldadura eléctrica y la soldadura aluminotérmica. El soldeo de rieles mediante soldadura eléctrica es realizado en taller o más recientemente en vía mediante una máquina de soldeo a tope por chispa, usando una secuencia de soldadura automática y programada.

La soldadura aluminotérmica se basa en la fusión de sus extremos por la ac-

ción de un metal de aportación en estado líquido y a alta temperatura que origina una masa homogénea también fundida.

El metal de aportación proviene de un proceso, fuertemente exotérmico, consistente en la reducción de un óxido de hierro por aluminio. La carga aluminotérmica se hace reaccionar por ignición dentro de un crisol, donde el acero fundido alcanza una temperatura de más de 2 000 °C aproximadamente. El acero fundido es vertido al molde, que envuelve los extremos de los rieles y provoca la fusión de dichos extremos, ocasionando la mezcla que, una vez solidificada y fría, asegura la unión de los carriles.

Por último, cabe destacar aquí dos ámbitos de trabajo que actualmente tienen gran relevancia en el campo del riel ferroviario:

1. Detección de la rotura de riel: Las técnicas para la detección temprana (o predictiva) de posibles roturas en el carril es un ámbito de trabajo potenciado actualmente. Aunque estas técnicas sí se suelen aplicar mediante vehículos ferroviarios especiales (que inspeccionan el carril haciendo uso de técnicas de ultrasonidos entre otras), en este momento se plantea emplear sistemas estáticos en vía que permitan realizar el control continuo del carril.

Imagen 18: Rotura de riel



Fuente: Centro de Noticias El Tequeño. (s.f.). Denuncian rotura de riel en vía del Metro recién rehabilitada. <https://xn--eltequeo-j3a.com/denuncian-rotura-de-riel-en-via-del-metro-recien-rehabilitada/>

2. Pintado térmico: El pintado de los rieles con materiales especiales que permitan reducir la temperatura interna del carril en zonas con alta radiación solar, logrando un mejor comportamiento a los distintos esfuerzos longitudinales, es una técnica que, si bien lleva aplicándose varios años en algunos países, está siendo del interés de gran número de gestores ferroviarios.

Imagen 19: Proceso de pintado de riel



Fuente: Agencia EFE (2020). Ferrocarriles de Austria pintan rieles de trenes de blanco contra el calor. [Video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=AfHDG9_sibl

La sujeción

Las principales funciones de una sujeción es mantener el ancho de vía y la inclinación del riel, así mismo mantener la unión del riel y el durmiente, disipa y/o transmite los esfuerzos del material rodante y proporciona el mejor aislamiento eléctrico entre el riel y la tierra.

Imagen 20: Sujeción

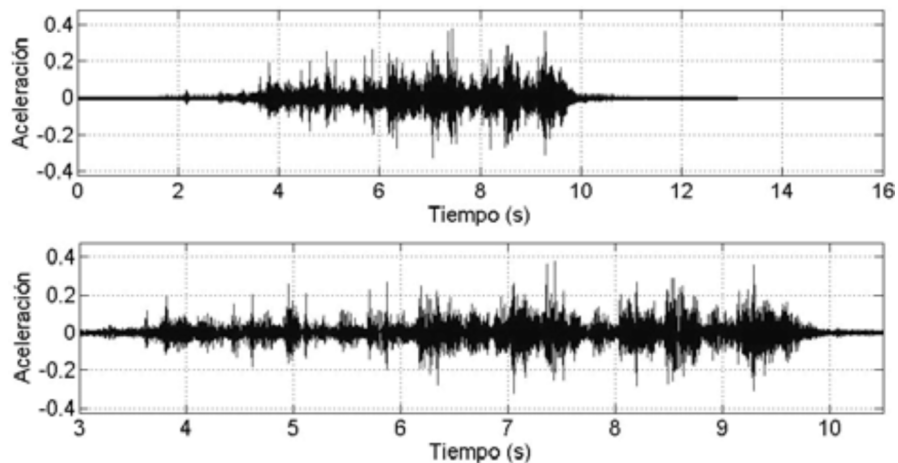


Fuente: Elaboración propia

A la sujeción se le deben requerir diferentes características técnicas, destacando las siguientes:

- Frecuencia propia de vibración superior a la del riel.

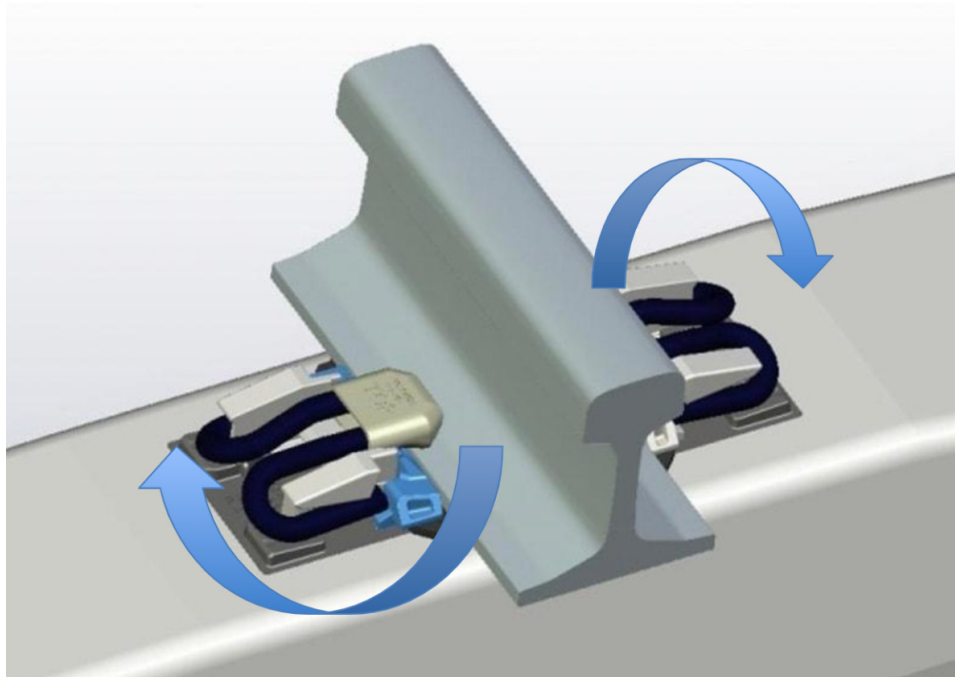
Imagen 21: Vibración de un tren



Fuente: ResearchGate. (n.d.). Figura 2: Señal de vibración tomada al paso de un tren de Ferrocarriles Metropolitanos de [Imagen]. ResearchGate. https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Senal-de-vibracion-tomada-al-paso-de-un-tren-de-Ferrocarriles-Metropolitanos-de_fig3_26544185

- Resistencia a la torsión y a las condiciones ambientales

Imagen 22: Torsión de una sujeción ferroviaria

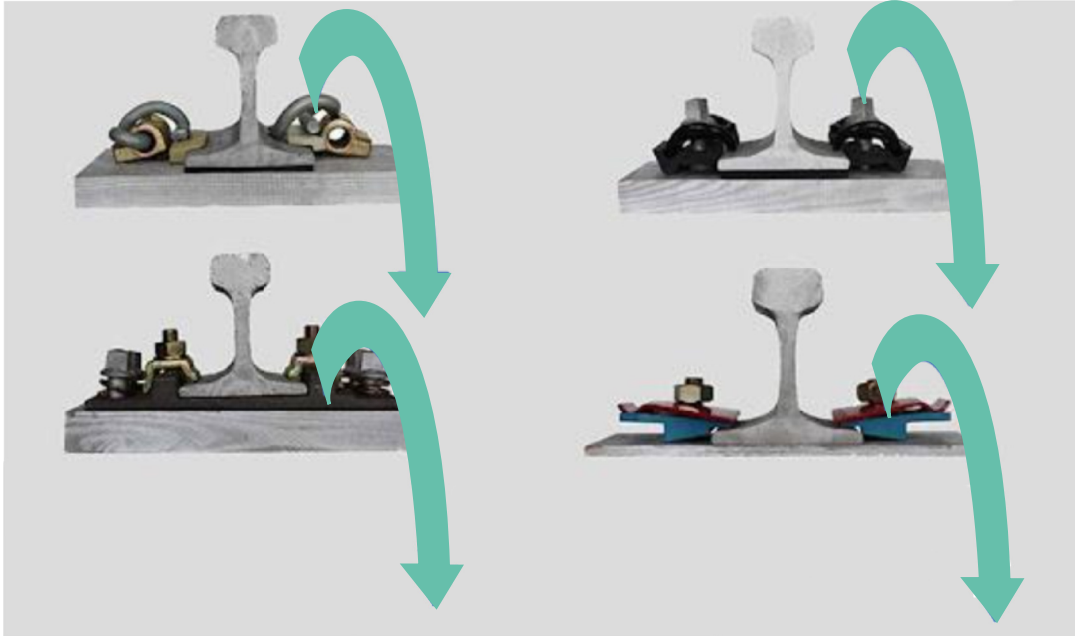


Fuente: Elaboración propia

Torsión de una sujeción ferroviaria, elaboración propia.

- Alta resistencia al deslizamiento longitudinal.

Imagen 23: Tipos de sujeción de diferente resistencia



Fuente: Elaboración propia

Tipos de sujeción diferente resistencia, elaboración propia.

- Respuesta elástica adecuada.

Respecto a esta última, se debe volver a reseñar que la rigidez vertical de la placa de asiento tiene una relevancia especial en la definición de la rigidez vertical global de la vía, pues es el elemento con el que se podrá buscar la combinación óptima teniendo en cuenta que las rigideces del resto de elementos son normalmente menos seleccionables.