

---

## **ANEJO Nº 6. SUPERESTRUCTURA Y SECCIONES TIPO**

**ÍNDICE**

<b>1. VÍA CON CARRIL EMBEBIDO</b> .....	<b>1</b>
1.1. CONCEPTO BÁSICO .....	1
1.2. VENTAJAS DEL SISTEMA.....	2
1.2.1. Muy bajo coste de mantenimiento.....	3
1.2.2. Resistencia eléctrica muy alta.....	3
1.2.3. Absorbe vibraciones y disminuye la emisión de ruido.....	3
1.2.4. El sistema es totalmente estanco.....	4
1.2.5. El sistema permite la circulación de vehículos no ferroviarios sobre la placa.....	4
1.2.6. La placa para carril embebido no requiere espesor para alojar el sistema.....	5
1.2.7. El sistema permite ajustar a cualquier requerimiento la flexibilidad de la vía .....	7
<b>2. VÍA CON BALASTO</b> .....	<b>8</b>
2.1. PROPIEDADES FUNCIONALES DE UNA LÍNEA DE FERROCARRIL .....	8
2.1.1. Características mecánicas. ....	8
2.1.2. Inserción de la vía como superestructura de transporte.....	8
2.1.3. Requisitos medioambientales.....	8
2.1.4. Construcción .....	9
2.1.5. Mantenimiento.....	9
2.1.6. Costes y tiempo de construcción.....	9
2.2. CUMPLIMIENTO DE LA VÍA SOBRE BASALTO DE LAS PROPIEDADES FUNCIONALES .....	9
2.2.1. Características mecánicas .....	9
2.2.2. Otras propiedades funcionales.....	11

**APÉNDICE 1. PLANOS**

## 1. VÍA CON CARRIL EMBEBIDO

Esta tipología de superestructura se plantea para ambas alternativas. En el caso de la “Alternativa 1 Bajo la calle Sansón”, se situará en la zona soterrada y en el tramo entre pantallas por ambos lados en sus accesos, concretamente desde el pk 88+090 a 90+090. Para la “Alternativa 2 Sobre la calle Sansón”, se empleará en la zona soterrada y en el tramo entre pantallas por ambos lados en sus accesos, en particular desde el pk 88+420 al 90+100.

Se describe a continuación las características de sus elementos que la hacen como la mejor para esta obra que se pretende ejecutar.

### 1.1. CONCEPTO BÁSICO

El origen del Sistema de Carril Embebido se debe a las investigaciones que sobre sistemas de vía con bajo mantenimiento emprendieron los Ferrocarriles Holandeses hace más de 25 años.

Entre los factores que incidían significativamente en el mantenimiento de la vía se encuentran la fijación y las alineaciones y realineaciones originadas por los sistemas de soporte que se utilizaban.

El carril embebido es, básicamente, la consecuencia de la eliminación de los dos factores anteriores. La diferencia de concepto respecto a la vía tradicional ha hecho que a lo largo de las investigaciones se hayan encontrado ventajas que en origen no se habían buscado y ventajas de diseño en las que no se pensó con anterioridad. Un buen ejemplo de esto último es la posibilidad de hacer el nivel superior de la placa de hormigón en la que el carril se embebe a niveles cercanos o iguales que la cabeza del carril lo que permite que por la placa puedan circular vehículos que tradicionalmente sólo lo podían hacer por calles o carreteras.

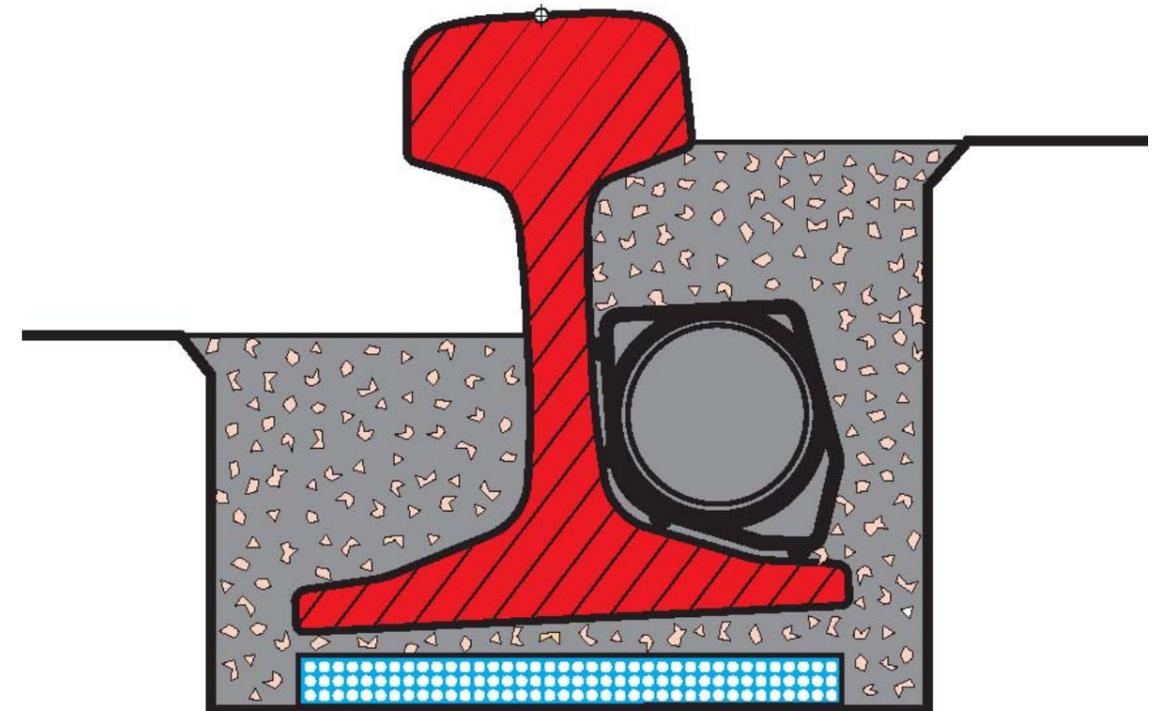
Esta posibilidad ha hecho que el concepto de carril embebido se haya convertido en standard obligatorio para pasos a nivel en los Ferrocarriles Holandeses (Circulación

transversal a la vía) y se esté aplicando cada vez más en túneles por la facilidad que dan para la circulación de vehículos de seguridad ciudadana (Ambulancias, Bomberos) así como para trabajos de mantenimiento (Circulación rodada en el mismo sentido que la vía).

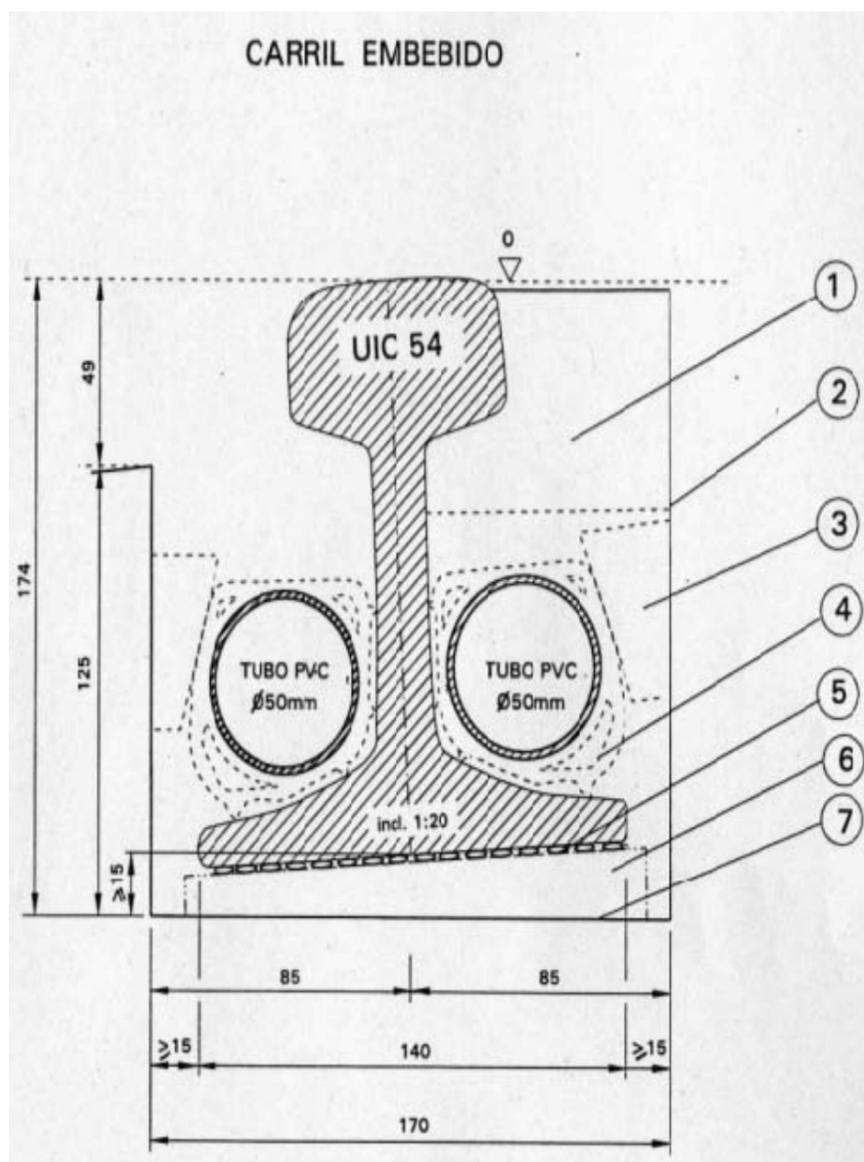
La idea básica del sistema es la de sujetar el carril adhiriéndolo a una canaleta por medio de un elastómero que, además de fijar el carril, tiene propiedades elásticas que amortiguan las vibraciones producidas por el paso de los trenes. Esta canaleta puede estar hecha en una losa de hormigón, o ser metálica y estar soldada o sujeta a la losa o al tablero metálico de un puente.

Con este sistema se hace necesario el corte y levante del elastómero para proceder a levantar el carril en caso e que fuese necesaria la sustitución del mismo, a pesar de su mayor durabilidad, como se expone más adelante.

La Figura 1 ilustra el concepto básico del diseño



La figura 2 ilustra los componentes del carril embebido:



- 1 CORKELAST. Soporte elástico y sujeción del carril.
- 2 IMPRIMACIÓN. Aplicada en superficie de carril y canal.
- 3 UÑA PREFABRICADA. Alineación horizontal carril (cada 1.5-2m).
- 4 ENVOLTURA DE NYLON DEL TUBO. Fijación tubo PVC (cada 1.5-2m)
- 5 LÁMINA ALINEACIÓN VERTICAL. (Cada 1.5-2m).
- 6 PLACA DE POSICIONAMIENTO. (Cada 1.5-2m).
- 7 ADHESIVO. Aplicado entre las superficies placa/canal.

El carril queda adherido a las paredes y fondo de la canaleta por medio de la mezcla elastomérica representada en gris. Esta mezcla lleva además incluidas partículas de corcho finamente molido que le proporcionan elasticidad aún en la situación confinada en la que el elastómero se encuentra en la canaleta.

Esta mezcla se vierte en estado líquido una vez alineado el carril y se solidifica lo suficiente para permitir el paso de tráfico con restricción de velocidad a las dos horas de su vertido y sin ninguna restricción a las cinco o seis horas dependiendo de la temperatura ambiente.

La adherencia de la mezcla elastomérica a la canaleta y al carril varía según la altura de carril “mojada” y la anchura de la canaleta, pero en las pruebas de extracción del carril se han obtenido siempre fuerzas de retención verticales de entre 3 y 9 veces las que proporcionan las fijaciones de carril tradicionales.

En sentido longitudinal el carril queda adherido sin solución de continuidad. En pruebas de extracción sobre 1m de carril embebido se obtienen valores de entre 1500 y 2500 kgf.

La adherencia continua que el sistema proporciona da lugar a ventajas muy apreciables respecto a los sistemas tradicionales de fijación.

A continuación se comentan las ventajas y características principales del sistema.

## 1.2. VENTAJAS DEL SISTEMA

El sistema de carril embebido tiene todas las ventajas inherentes al de vía en placa respecto a los sistemas sobre balasto, pero además su concepto básico añade grandes ventajas sobre otros sistemas de vía en placa.

### **1.2.1. Muy bajo coste de mantenimiento**

Existen instalaciones de carril embebido hechas a partir de 1973 y en todas ellas la experiencia ha sido de haber requerido un mantenimiento mínimo o ninguno. Una vía de prueba que se instaló en Deurne, Holanda, en 1976 no ha precisado de intervención hasta ahora. En 1996 habían pasado ya sobre ella 260 millones de toneladas a 140 km/h con cargas por eje de hasta 22,5 toneladas. Esta misma vía se ha utilizado en pruebas con velocidades de hasta 190 km/h con resultados satisfactorios.

### **Ausencia de fijaciones mecánicas**

Esta característica elimina totalmente el tiempo empleado en este tipo de mantenimiento

### **Mayor duración del carril**

El carril está continuamente soportado:

Esta característica elimina las tensiones y esfuerzos de fatiga que sobre el carril aparecen como consecuencia de los vanos entre los soportes discontinuos tradicionales.

El soporte está uniformemente adherido al carril:

La adherencia continua reparte las tensiones y esfuerzos que pueden aparecer de una manera mucho más uniforme a lo largo del carril.

Las dos características anteriores han prolongado sustancialmente la vida del carril en instalaciones ya existentes. El sistema de soporte es capaz de absorber las tensiones de impacto instantáneo repartiéndolas sobre una porción de carril mucho más amplia que cualquier otro sistema de fijación.

### **Posibilidad de elegir el momento adecuado para mantenimiento correctivo**

La característica de disminución de tensiones en el carril es tan marcada que se puede retrasar la reparación de eventuales grietas o fracturas del carril hasta el momento en que esto sea conveniente, pues el soporte y retención del carril que proporciona el sistema de embebido hace que la discontinuidad de la grieta o fractura implican se reduzca a valores que no impiden el tráfico bien a la velocidad habitual o, en algún caso con velocidad reducida.

### **No exige realineación de la vía**

El propio concepto básico hace evidente que la vía no puede moverse o deslizarse una vez fijada en posición. El Corkelast ha conservado sus propiedades físico-químicas en todas las instalaciones hechas desde que se comenzó a emplear para fijación de bloques en 1966 y nunca ha habido necesidad de reemplazarlo.

### **1.2.2. Resistencia eléctrica muy alta**

La resistencia eléctrica del Corkelast es mayor que 1x10 Ohms (Método UIC 865-5) tanto disruptiva como de superficie. Esto significa que el sistema de carril embebido es muy adecuado para cualquier sección de vía que transmita señales eléctricas por el carril.

### **1.2.3. Absorbe vibraciones y disminuye la emisión de ruido**

Las propiedades del Corkelast y el diseño de carril embebido tienen en conjunto excelentes propiedades de amortiguación de ruido y vibraciones, hasta el punto que se ha diseñado con carril embebido y está ya adoptado en Holanda como standard un puente metálico llamado "Puente Silencioso".

### **Absorción del ruido del carril**

La fuente principal de emisión de ruidos del carril es la vibración del alma. Según el diseño el alma queda más o menos cubierta por el Corkelast que amortigua sustancialmente o elimina su vibración y, por tanto, la emisión de ruido.

### Absorción de otros ruidos

Como se discute en la sección sobre el diseño de la placa, la ausencia de tirantes transversales y la extraordinaria libertad de diseño inherente al sistema, permite la construcción de una amplia sección central en la entrevía que-en pruebas de eliminación de ruido reflejado- se ha rellenado con asfalto poroso o con otros tipos de materiales absorbentes -incluso tierra con hierba-. Este diseño de placa permite absorber una parte sustancial del ruido emitido por los vehículos y eliminar su reflejo sobre la placa y su dispersión subsiguiente. El diseño con carril embebido, además de ofrecer para este tratamiento una superficie hasta un 40% mayor que otros sistemas de vía en placa, permite que la superficie absorbente quede mucho más cerca (a la altura de la cabeza de carril) de la parte inferior del tren con lo que su eficacia aumenta notablemente.

### Absorción de vibraciones de la vía embebida en Corkelast

La vía embebida en Corkelast tiene excelentes propiedades de absorción de vibraciones y así lo muestran todas las medidas efectuadas hasta el presente. Estas propiedades se mantienen en el tiempo (Se han hecho medidas muy satisfactorias en sistemas que llevaban 16 años instalados).

#### 1.2.4. El sistema es totalmente estanco

Como el Corkelast queda adherido al carril y a la canaleta de hormigón o metálica que lo recibe, el sistema es totalmente estanco y es imposible la penetración de agua, aceite, detergentes o sustancias químicas.

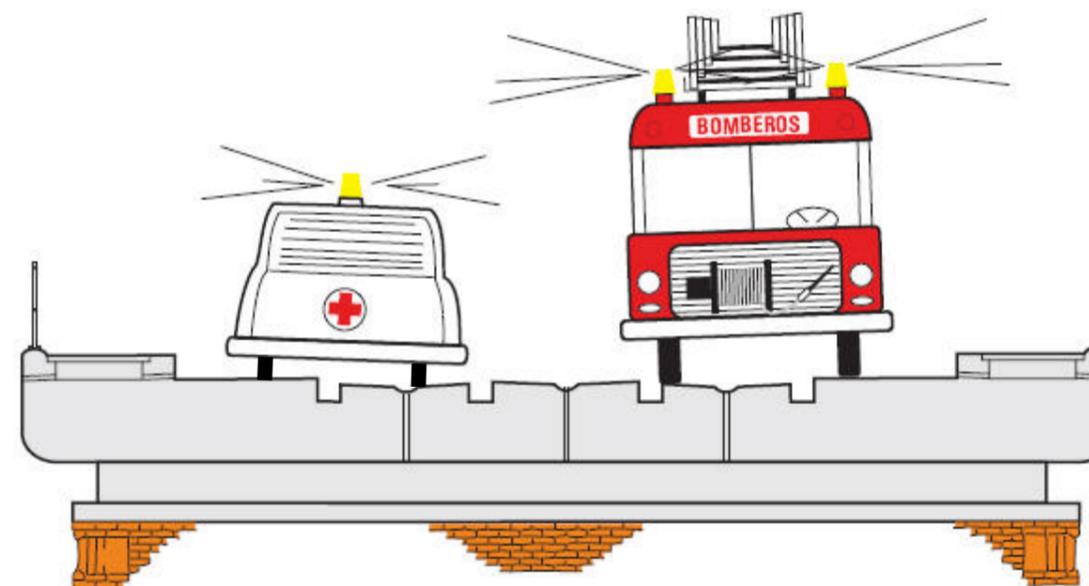
El sistema de Carril Embebido está instalado con éxito en talleres de mantenimiento y trenes de lavado ferroviarios.

#### 1.2.5. El sistema permite la circulación de vehículos no ferroviarios sobre la placa

La superficie superior de la placa es independiente de la del sistema de fijación (Corkelast) y puede hacerse incluso enrasar con el nivel de la cabeza de carril. Esta característica única permite la circulación de vehículos sobre neumáticos para mantenimiento, en emergencias (Ambulancias, Bomberos) a lo largo de toda la vía de Carril Embebido.

Asimismo, esta falta de obstáculos simplifica y acelera significativamente la evacuación a pie de los pasajeros de unidades que, por cualquier causa, queden detenidas en la vía.

Figura 3: Esta facilidad de circulación es especialmente apreciable en túneles y puentes.



Aunque la superficie superior de la placa no se haga enrasar con la cabeza de carril, ésta queda, en el caso de placas de hormigón, como máximo a 10 cm bajo la parte superior del carril, lo que no representa un obstáculo serio para casi ningún tipo de vehículo.

Con canaletas sobre tablero metálico la máxima diferencia de altura entre superficie de rodadura y cabeza de carril es del orden de 20 cm, menor aún que con cualquier otro sistema de fijación de vía. Incluso en esta caso y si se desea una menor diferencia de alturas, puede recrecerse el nivel de la superficie de rodadura de vehículos sin provocar ningún inconveniente en el sistema de fijación de vía.

**Posibilidad de circulación transversal a la vía**

Con la placa enrasada a nivel de la cabeza de carril o próxima a ella, la posibilidad de circulación transversal es evidente. Esta propiedad, junto con la fuerza de sujeción del carril que el Corkelast proporciona y su resistencia a aceites, grasas, detergentes y otros contaminantes, ha hecho que el sistema se aplique en talleres de mantenimiento ferroviarios, trenes de lavado y muelles de carga y descarga, es decir, en zonas donde es interesante tener una fácil circulación transversal de carretillas elevadoras y, en general, maquinaria de reparación y elevación.

Por su capacidad de permitir la circulación transversal el sistema se ha aplicado también en pasos a nivel, ya normalizados con Carril Embebido por los Ferrocarriles Holandeses (NS), donde hay pasos instalados hace 20 años sin haber precisado de mantenimiento.

**1.2.6. La placa para carril embebido no requiere espesor para alojar el sistema**

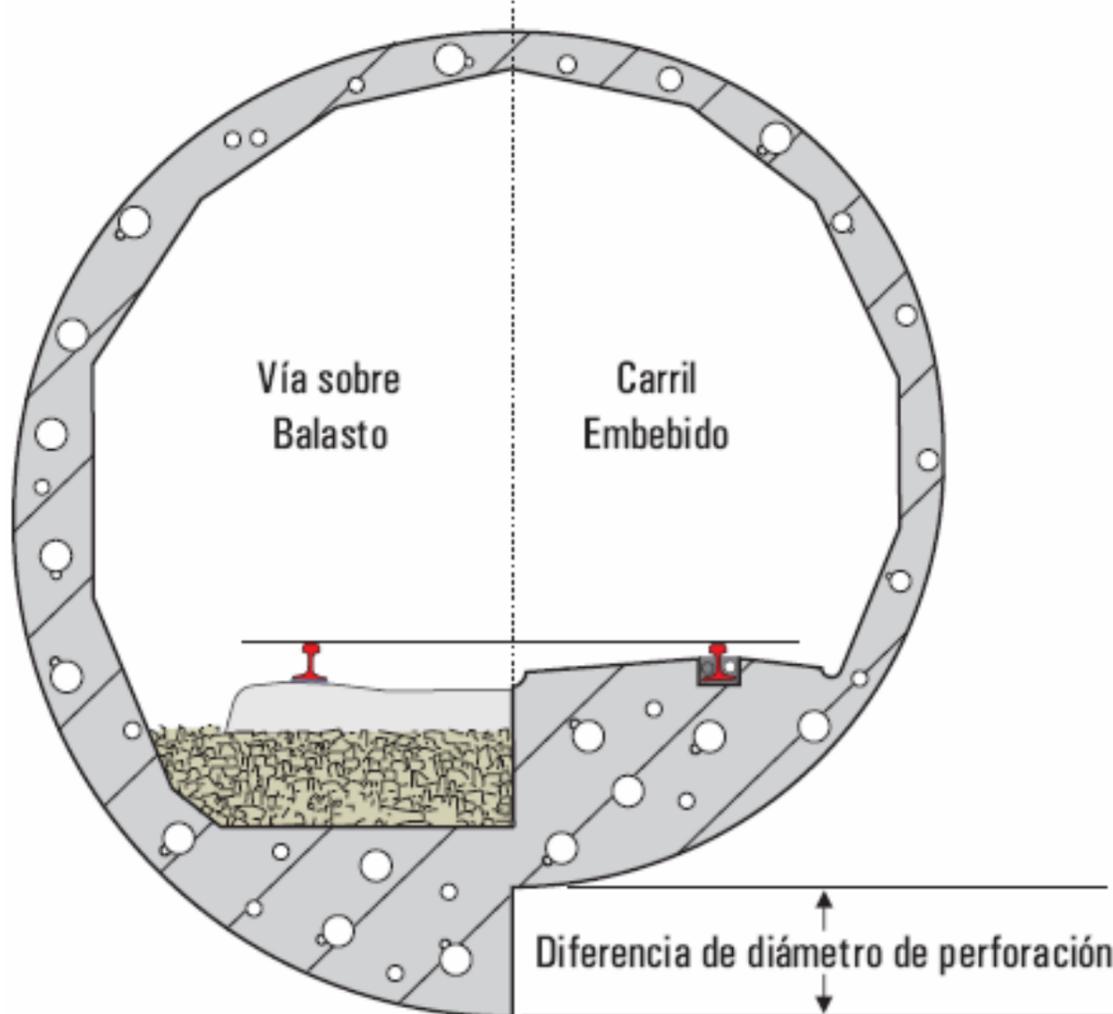
Al contrario de cualquier otro sistema de vía en placa, el Carril Embebido no precisa de un espesor de placa donde recibir o alojar las fijaciones o bloques de soporte del carril. La altura total entre la base de la placa y la cabeza de carril es prácticamente el espesor dictado por el cálculo de resistencia de la placa más la altura del carril.

La diferencia entre la altura mencionada y las de otros sistemas no sólo es muy significativa respecto a la vía sobre balasto, sino también apreciable respecto a la que exigen otros sistemas de vía en placa.

Esta circunstancia permite ahorros notables o ventajas muy apreciables en relación con los gálibos que la vía exige o permite. A continuación se presentan algunos ejemplos:

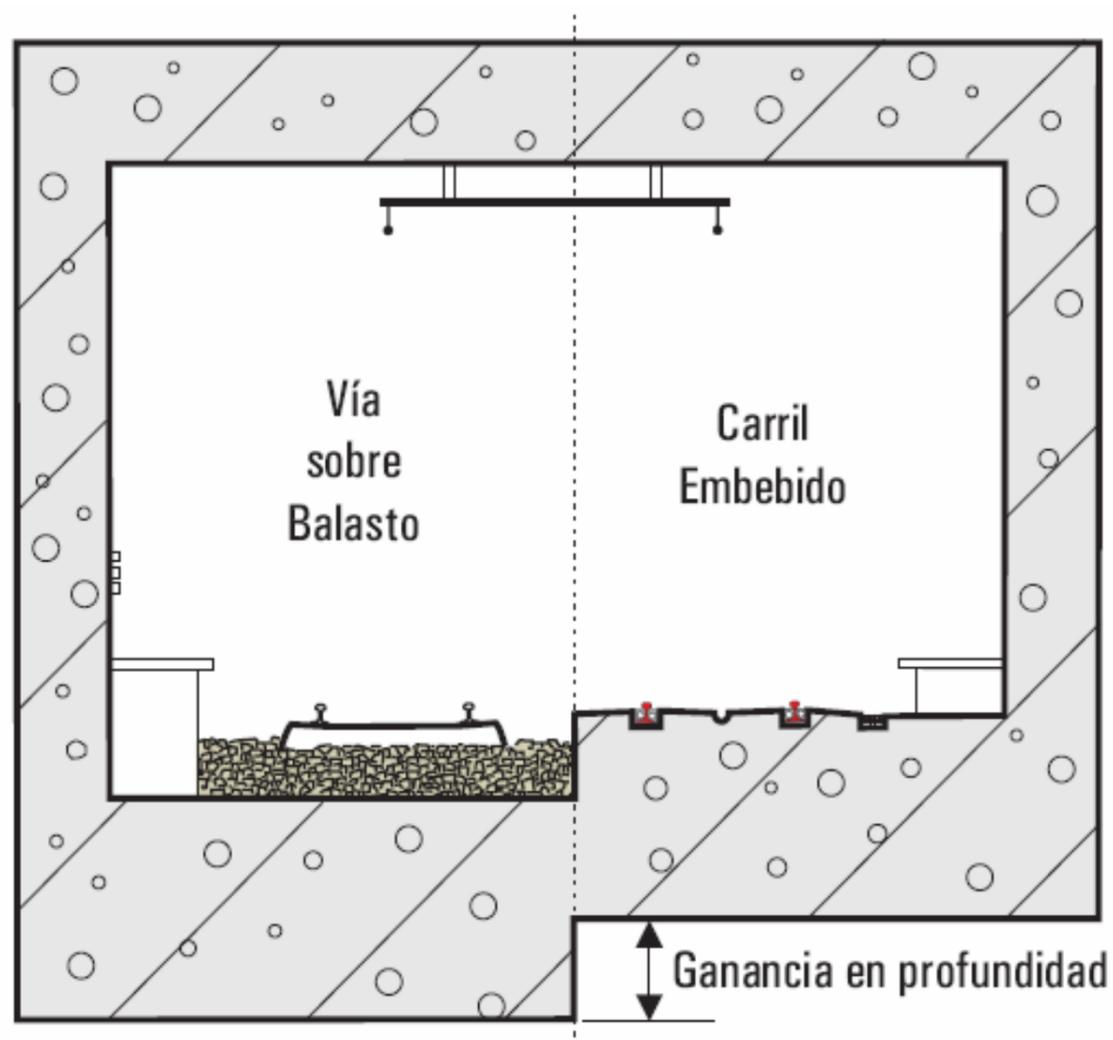
**Disminución del diámetro de perforación en túneles**

El espesor necesario bajo el carril embebido permite un ahorro de diámetro del orden del espesor del balasto como muestra la figura.



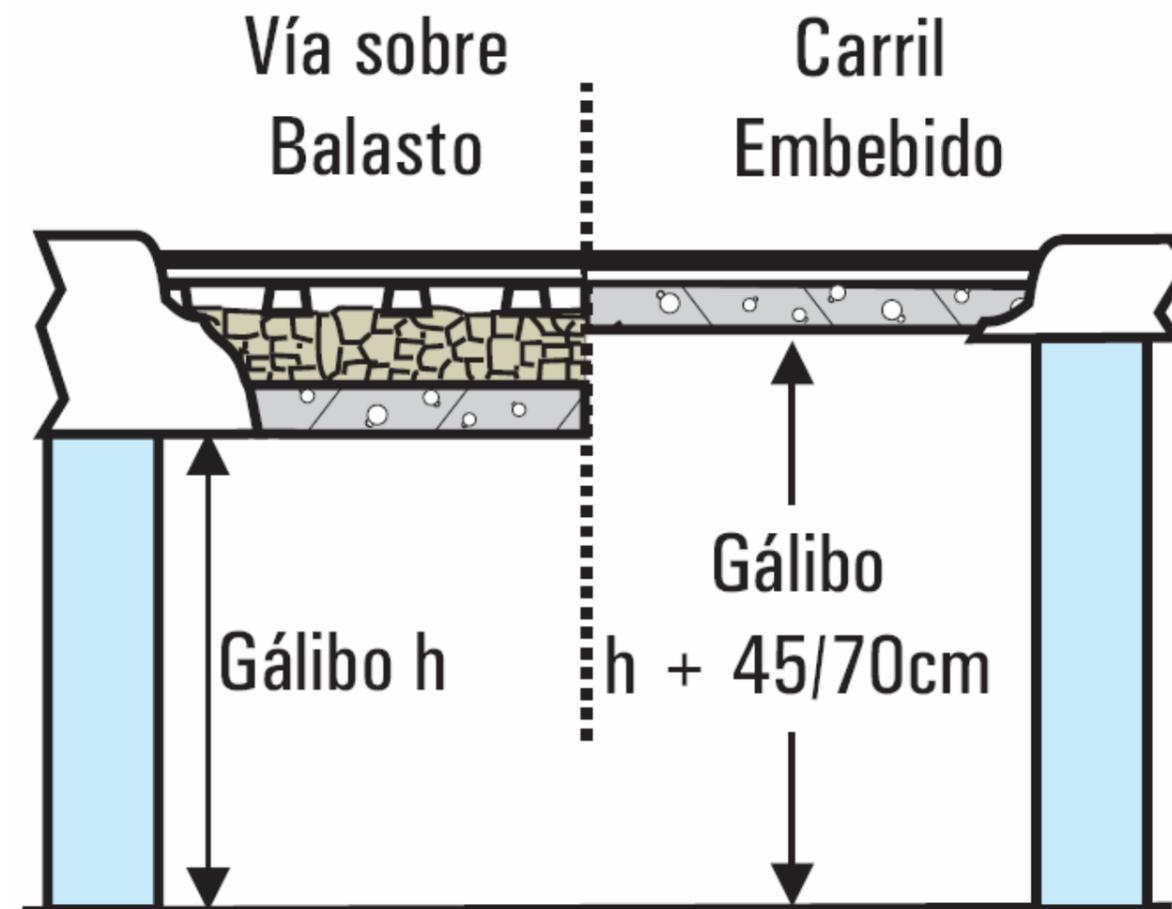
### Menor profundidad de excavación en soterramientos

En soterramientos o, en general, en pasos de sección rectangular, la menor altura entre el fondo de la losa y el nivel de la vía que el carril embebido requiere permite reducir la profundidad de la excavación en una longitud que aproximadamente equivale al espesor de la capa de balasto mas la altura de la traviesa bajo el patín del carril.

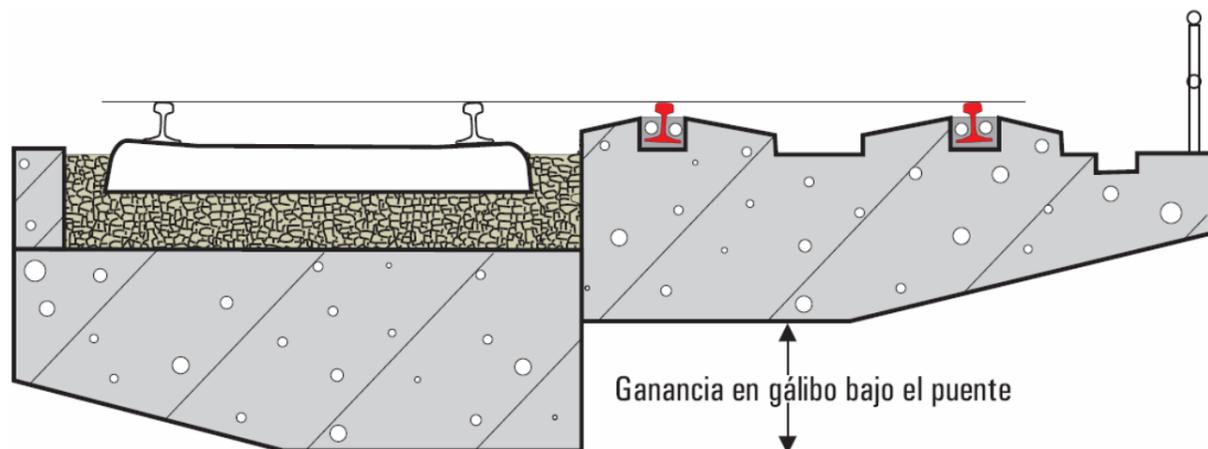


### Aumento de gálibo en pasos bajo vía

En el caso de puentes, el sistema de Carril Embebido permite un incremento sustancial (entre 40 y 75 cm) del gálibo de paso inferior, y, en general, una disminución del ruido producido por el paso de los trenes.



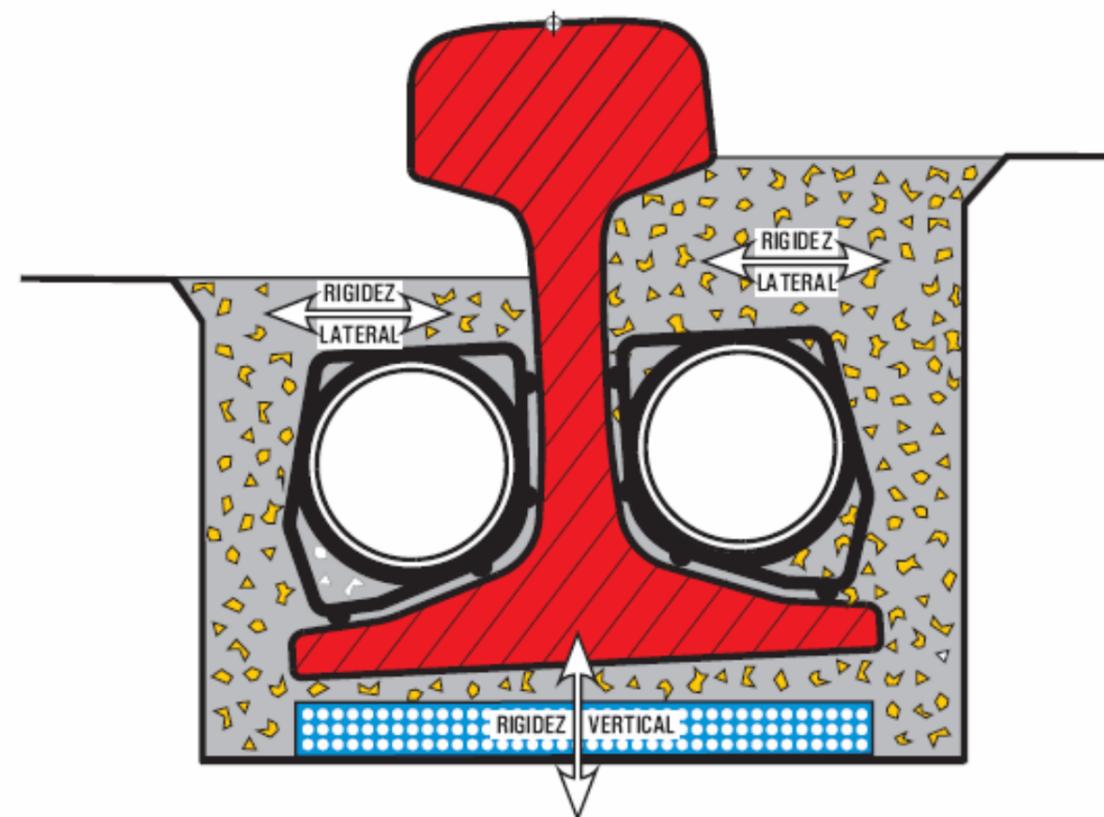
El sistema, aunque los croquis muestren hormigón, es muy apropiado para puentes metálicos y con éstos, la sustitución puede hacerse en tiempos muy cortos.



### 1.2.7. El sistema permite ajustar a cualquier requerimiento la flexibilidad de la vía

El Corkelast se puede fabricar en distintos tipos con diferentes módulos de elasticidad y esta característica determina, en principio, la elasticidad y deflexión de la vía.

Como, en general, interesa más conseguir una vía flexible en sentido vertical y más rígida en el transversal, se han llevado a cabo varias instalaciones en las que (Ver croquis de más abajo), se ha utilizado un material blando bajo el patín del carril para proporcionar mayor elasticidad vertical a la vía mientras que lateralmente se utilizaba una formulación de Corkelast más rígida y adecuada para mantener el incremento de ancho de vía bajo cargas dentro de unos límites establecidos.



La banda inferior "B", tiene una flexibilidad calculada para que el carril tenga la deflexión requerida y/o la vía una amortiguación determinada de vibraciones, y va adherida al fondo de la canaleta.

El Corkelast rodea al carril y penetra entre la banda y el patín, de forma que aquella queda envuelta por el Corkelast y protegida.

Los tubos colocados contra el alma y la parte superior del patín se colocan o no dependiendo de circunstancias de la instalación y sirven tanto como conducción de cables eléctricos como para ahorrar volumen de Corkelast.

## 2. VÍA CON BALASTO

Esta superestructura está prevista tanto para “Alternativa 1 Bajo la calle Sansón” (de P.K. 87+365 a 88+090 por el lado Molins y del P.K. 89+090 a 90+320 por el lado Barcelona) como para la “Alternativa 2 sobre la calle Sansón” (de P.K. 89+330 a 89+420 por el lado Molins y del P.K. 90+100 a 90+340 por el lado Barcelona), describiendo a continuación las características de sus elementos que la hacen como la mejor para esta obra que se pretende ejecutar.

### 2.1. PROPIEDADES FUNCIONALES DE UNA LÍNEA DE FERROCARRIL

La vía con balasto ha de tener una serie de propiedades funcionales para cumplir con los requisitos de un sistema ferroviario.

#### 2.1.1. Características mecánicas.

Las funciones básicas que ha de tener esta superestructura se pueden clasificar en:

- Resistencia a los esfuerzos verticales (capacidad portante).
- Resistencia a los esfuerzos laterales (esfuerzos de guiado).
- Resistencia a los esfuerzos longitudinales (frenado), derivados, bien de los vehículos o bien, de elementos exteriores en ausencia de cargas, como por ejemplo los esfuerzos térmicos.

Esto significa que lo que se espera de la vía de ferrocarril es por un lado la ausencia de disfunciones repentinas (de tipo frágil), las cuales generalmente son catastróficas, y por otro lado, la necesidad de un mantenimiento periódico de una calidad mínima y particularmente en términos de geometría de vía, teniendo en cuenta los efectos de los esfuerzos.

Es deseable que el sistema mantenga su elasticidad, o que las deformaciones plásticas sean muy bajas.

Las tensiones ejercidas en la vía deben considerarse como un conjunto de esfuerzos estáticos y dinámicos: de estos esfuerzos, especialmente en la dirección vertical, dependen las características de rigidez y amortiguamiento.

#### 2.1.2. Inserción de la vía como superestructura de transporte.

Las propiedades funcionales que son el objetivo a la hora de determinar las interfaces entre la estructura de la vía y otros subsistemas se concretan en:

- Adaptación al trazado (radio mínimo), al ancho del vehículo, al peralte, etc.
- Compatibilidad con las limitaciones del material móvil: propiedades aerodinámicas, propiedades para absorber ondas de presión en túneles, gálibos, etc.
- Compatibilidad con los requisitos operacionales:
- Compatibilidad de conexión con las instalaciones de la vía y las estructuras permanentes.
- Requisitos para los sistemas de explotación: aislamiento del carril, posibilidad de colocar varios detectores, etc.
- Compatibilidad entre las terminales de carga y de pasajeros, incluyendo todas las instalaciones requeridas.
- Compatibilidad con los sistemas de suministro de energía a los vehículos.
- Adaptación a los agentes medioambientales: protección en relación con los agentes atmosféricos (cambios de temperatura, drenaje de agua, nieve y lluvias, etc.).

#### 2.1.3. Requisitos medioambientales.

Los requisitos medioambientales constituyen las limitaciones normales relacionadas con el ruido (emisión, capacidad de absorción), vibraciones transmitidas a los habitantes de zonas cercanas a las líneas y utilización de materiales no contaminantes.

#### 2.1.4. Construcción

Se tendrá como objetivo los siguientes aspectos constructivos:

- Calidad esperada del producto construido (calidad geométrica de la línea).
- Reducción de riesgos que impliquen una construcción inaceptable (posibilidad de correcciones durante el proceso de construcción).
- Reducción de perturbaciones creadas por otras actividades, incluyendo las propias del transporte (ausencia de interrupciones de tráfico en vías adyacentes).

#### 2.1.5. Mantenimiento

La vía sobre balasto debe de tener en cuenta los principales riesgos relacionados con la degradación que puede ocurrir durante la operación del sistema de vía, aplicando la definición de los procedimientos de mantenimiento que han de aplicarse, tanto a la superestructura como a los equipamientos complementarios, identificados en términos de:

- Mantenimiento estándar y vigilancia, y tratamiento de disfunciones limitadas y de pequeña entidad (reparación de carriles, sujeciones, etc.).
- Reparaciones importantes (tratamiento de disfunciones graves).

Hay que incluir en estos requisitos aquellos relacionados con aspectos socioeconómicos de los trabajos de mantenimiento, que pueden tener una considerable influencia en los costes.

#### 2.1.6. Costes y tiempo de construcción

El resultado general del estudio de las propiedades funcionales de la vía sobre balasto conduce invariablemente a un análisis cruzado de costes-tiempo de construcción, ya que la construcción de un sistema de superestructura de vía habitualmente implica una reducción del potencial de transporte en parte de la red existente o un decalaje de los costes de inversión durante considerables periodos de tiempo.

## 2.2. CUMPLIMIENTO DE LA VÍA SOBRE BASALTO DE LAS PROPIEDADES FUNCIONALES

Respecto a las propiedades funcionales, la vía sobre balasto, en general, se diferencia de las vías sin balasto, en cuanto a su objetivo. La vía sobre balasto es un sistema en el que el criterio de mantenimiento es prioritario, ya que se intenta conseguir un sistema en el que sea fácil reparar o sustituir, a veces por secciones, mediante procedimientos mecanizados de gran productividad (bateadoras, por ejemplo).

Esta filosofía (criterio de mantenimiento), sobre la que se apoya la mayoría de los sistemas mecánicos, es contraria a la de las estructuras permanentes (vía sin balasto), en las que el problema de la construcción, y por ello el de la reparación y sustitución, requiere largos periodos y por tanto unos considerables márgenes en relación con los riesgos anticipados.

Con el fin de permanecer sin degradaciones considerables en la geometría a lo largo del tiempo, las estructuras permanentes cuentan con cimientos (generalmente hormigón) que se adaptan bien al subsuelo, ya que el propósito del transporte por la vía es transmitir cargas pesadas y concentradas sin un consumo excesivo de energía.

Así, el criterio mecánico de la capacidad portante y la forma en que una vía es construida es de gran importancia a la hora de elegir las alternativas de superestructura.

#### 2.2.1. Características mecánicas

##### Capacidad portante

En la vía sobre balasto, las deformaciones debidas a las tensiones se originan bien por las deformaciones internas propias de la estructura (incluyendo la deformación del balasto), o por las del suelo subyacente, donde la resistencia al impacto generalmente es limitada (esto se controla mediante ensayos de placa de carga,

siendo el objetivo de la capa de forma y del sub-balasto mejorar esta capacidad portante del suelo natural presente para aumentar su resistencia a la deformación).

Para restringir los efectos de los esfuerzos transmitidos al terreno, contando con la aportación de las placas elásticas de asiento bajo el carril, la estructura de la vía debería lograr una considerable reducción en las limitaciones aplicadas al suelo in situ, por un efecto de transmisión espacial, sin olvidar que este proceso de transmisión de carga todavía no se conocen bien, debido a la ausencia de disponibilidad en el pasado de teorías matemáticas óptimas para representar este material granulado, y de métodos de medida para observar sus propiedades.

El balasto en sí mismo realmente está constituido de elementos muy rígidos, transmitiéndose entre ellos los esfuerzos desde la traviesa hasta las capas inferiores. Por tanto, las características elásticas del balasto dependen esencialmente de las propiedades mecánicas de sus interfaces, por una parte con las traviesas, y por otra con las capas subyacentes. Por ello sus características no están bien representadas en términos de un medio elástico, incluso cuando se introducen las características de viscosidad o plasticidad.

La función del balasto como material puede compararse análogamente con la de un neumático. En un neumático, la presión externa de la cubierta se transmite al suelo portante sin demasiada variación en las cargas; la deformación del neumático aumenta la superficie portante bajo incrementos de carga, de tal manera que un sistema así es un transmisor real de esfuerzos bajo presión constante, una propiedad que realmente hace posible garantizar que el nivel de presión en el suelo portante no alcanza valores muy altos en relación con sus propias características, con cargas variables. Esta igualdad en los valores de presión indica que el substrato portante tiene una presión relativamente constante a lo largo de las variaciones de la carga y sus variaciones dinámicas, y esto limita los asientos diferenciales que son la causa mayor de la degradación geométrica, incluso con deformaciones plásticas.

El balasto posee las propiedades mecánicas de un medio granular, esto es, la cadena de transmisión de esfuerzos entre los granos depende de la densidad de compactación, y de los esfuerzos aplicados. Un incremento en la carga vertical

aplicada, con la condición de que permanezca un cierto nivel de libertad de movimiento para estabilizar sus interfaces, producirá por tanto un incremento en el número de “descensos de carga” al suelo portante, y por tanto reducirá la presión en el mismo, de la misma manera que en un neumático.

Este tipo de comportamiento, relacionado estrechamente con la descripción del comportamiento del medio granular, ha sido hasta ahora poco estudiado teóricamente, y hoy en día no es posible cuantificarlo. Sobre esta base, sólo es posible definir una serie de propiedades del balasto de una forma cualitativa:

- La red de puntos de contacto entre granos, y por ello la cadena de transmisión de esfuerzos internos depende ampliamente de sus interfaces.
- una cierta elasticidad de la superficie inferior de las traviesas hace posible movilizar gradualmente nuevos puntos de contacto durante los incrementos de carga (se puede decir que esto es debido a la aproximación de la carga de la traviesa en cuestión).
- Las traviesas de madera, un material relativamente elástico, son más favorables en este aspecto que las traviesas de hormigón.
- La introducción de materiales elásticos de unos pocos milímetros bajo la superficie será suficiente para modificar considerablemente esta interfaz.
- El contacto del balasto con las subcapas, si se lleva a cabo con algo de elasticidad, hace posible movilizar nuevos puntos de contacto debido a rotaciones infinitesimales de los granos.
- Se debe reseñar que la deformación de las subcapas, bajo las cargas transmitidas por la vía, se extiende sobre una superficie considerable de varios metros cuadrados; la curvatura de esta área va a tener una gran influencia en el comportamiento del balasto, porque depende de las propiedades mecánicas del medio subyacente en una profundidad considerable.
- Un suelo excesivamente elástico puede producir excesivas deformaciones en la compactación de los granos, provocando su colapso y alterando los niveles, lo que ocurre en los lechos pobres.

Finalmente, y sabiendo que estas propiedades del balasto no están adecuadamente descritas, con modernas bateadoras y máquinas de capacidad suficiente la experiencia ha hecho posible controlar las propiedades del balasto:

1. Debido a que durante los ciclos de carga se establecen nuevos contactos en el balasto, es necesario no alcanzar la densidad de compactación máxima posible, mientras se asegura un mínimo de contactos iniciales.
2. Las vibraciones que se producen en el bateo, así como el efecto de encogimiento del balasto bajo la traviesa, tienen este efecto; se debe decir también que este efecto de bateo se acompaña por un efecto de consolidación o estabilización de las primeras series de granos bajo las primeras cargas introducidas, durante las cuales los granos ocupan su posición final, implicando unos asientos iniciales considerables, aunque regulares.
3. Durante el bateo, el encogimiento del balasto bajo la traviesa, que se coloca en su posición final durante la operación, optimiza el número de puntos de contacto entre la parte inferior de la traviesa y la superficie de la capa de balasto, incrementando su número, dando a esta capa mejores condiciones para crear cadenas de transmisión de esfuerzos.

Para incrementar este último efecto (incremento del número de puntos de contacto) se recurre a la colocación en la superficie inferior de las traviesas de hormigón de varias capas de poliuretano de unos milímetros de espesor, bien proyectando la base de las traviesas acabadas o incluyendo una suela en los moldes fabricados para las traviesas. Los resultados obtenidos con estas traviesas colocadas a modo de prueba son prometedores en el sentido de que la reducción de los asientos y de la degradación de la geometría de la vía es notable.

#### Resistencia transversal

Mientras la vía sobre balasto no haya sido estabilizada mediante un proceso de estabilización interna, tiene una limitación en su resistencia lateral, para una vía sin carga (tomada en relación con los esfuerzos térmicos), al igual que cuando está cargada.

En relación con su esencial condición de estabilidad, tras una operación de nivelación por bateo la vía pierde la mitad de la resistencia transversal al esfuerzo, mientras una estabilización inicial de 60.000 toneladas de tráfico o una estabilización dinámica artificial es capaz de recuperar un 50% de la pérdida inicial; esta resistencia transversal es debida en mayor parte (casi exclusivamente para vías cargadas) a la fricción de la base de la traviesa con el balasto, con un coeficiente de fricción mínimo de 0,33. Las mejoras en términos de capacidad portante, incrementando el número de puntos de contacto en la traviesa, aumenta la resistencia transversal posteriormente.

#### Resistencia longitudinal

Análogamente, la resistencia longitudinal de la vía sobre balasto es como mínimo igual a su resistencia transversal, ya que la superficie de fricción bajo la traviesa es la misma, y el empuje en las superficies laterales es mayor en la dirección longitudinal que en la transversal. El coeficiente mínimo de fricción ya mencionado de 0.33, unido a que el sistema de unión tiene una resistencia al deslizamiento más grande, asegura también la estabilidad longitudinal de la vía bajo vehículos cuya deceleración máxima no exceda 0.25 g. (se consideran todos los tipos de frenos).

De esta manera se puede permanecer en un rango elástico y no causar deformaciones permanentes en las zonas de frenada.

#### **2.2.2. Otras propiedades funcionales**

- Se adapta con facilidad a los trazados requeridos, con peraltes de hasta 165 mm, y tolera bien las variaciones en los mismos; esto es en parte debido al hecho de que el sistema de nivelación por bateo, que cubre la base de la traviesa con el balasto,
- Evita la imprecisión de los métodos de trabajo en los que la superficie bajo la traviesa se tiene que adaptar a la geometría de la base existente; se debe mencionar que la inercia del carril normalmente limita la capacidad de la vía de adaptarse a los defectos de un tramo determinado, debido a los efectos de su propio peso, lo que es causa de inestabilidad, esto es, la presencia de depresiones bajo el soporte de las traviesas.

- Tiene propiedades de absorción de ondas de presión en túneles, bien observadas en las líneas japonesas, lo que permite reducir considerablemente los efectos de “bangs” sonoros al salir de los túneles.
- Posibilita las necesarias adaptaciones a otros subsistemas, como los equipamientos de vía y de señalización, estructuras permanentes, etc.
- Hace posible, hasta cierto punto, drenar la vía a través de la evacuación de las aguas por su estructura granular.
- Para incrementar la capacidad de las aguas de atravesar los sistemas de drenaje, a veces es necesario proveer subcapas impermeables en la superficie para acelerar el proceso ante grandes flujos de agua, pero asegurándose de que los equipos laterales (drenajes y cunetas) aceptan este flujo.
- Esta capacidad del balasto de evacuación de agua no requiere actuaciones especiales que no sean los desniveles naturales transversales y longitudinales de las capas inferiores, lo cual es una ventaja en líneas de doble vía.

#### Requisitos medioambientales

En el caso de emisiones acústicas, es bien conocido que la vía sobre balasto es menos ruidosa que la vía en placa convencional debido a un efecto de absorción de las mismas por el propio material, lo que a veces es razón para utilizarlo antes que por las propias propiedades mecánicas.

En cuanto a vibraciones, aunque la vía sobre balasto no cuenta con propiedades intrínsecas antivibratorias, es posible conseguir atenuaciones de hasta 7 dB, utilizando equipos adicionales como tapices elásticos bajo el balasto o placas flexibles colocadas en la interfaz traviesa-balasto, presentando también un mejor comportamiento en este aspecto que la vía en placa tradicional.

Ambos aspectos han de temerse en cuenta con las salvedades expuestas con anterioridad sobre la vía en placa con carril embebido.

Finalmente, el balasto es parcialmente repuesto durante las operaciones de renovación, lo que hace posible restringir el coste de nuevos materiales, y consecuentemente, el gasto generado.

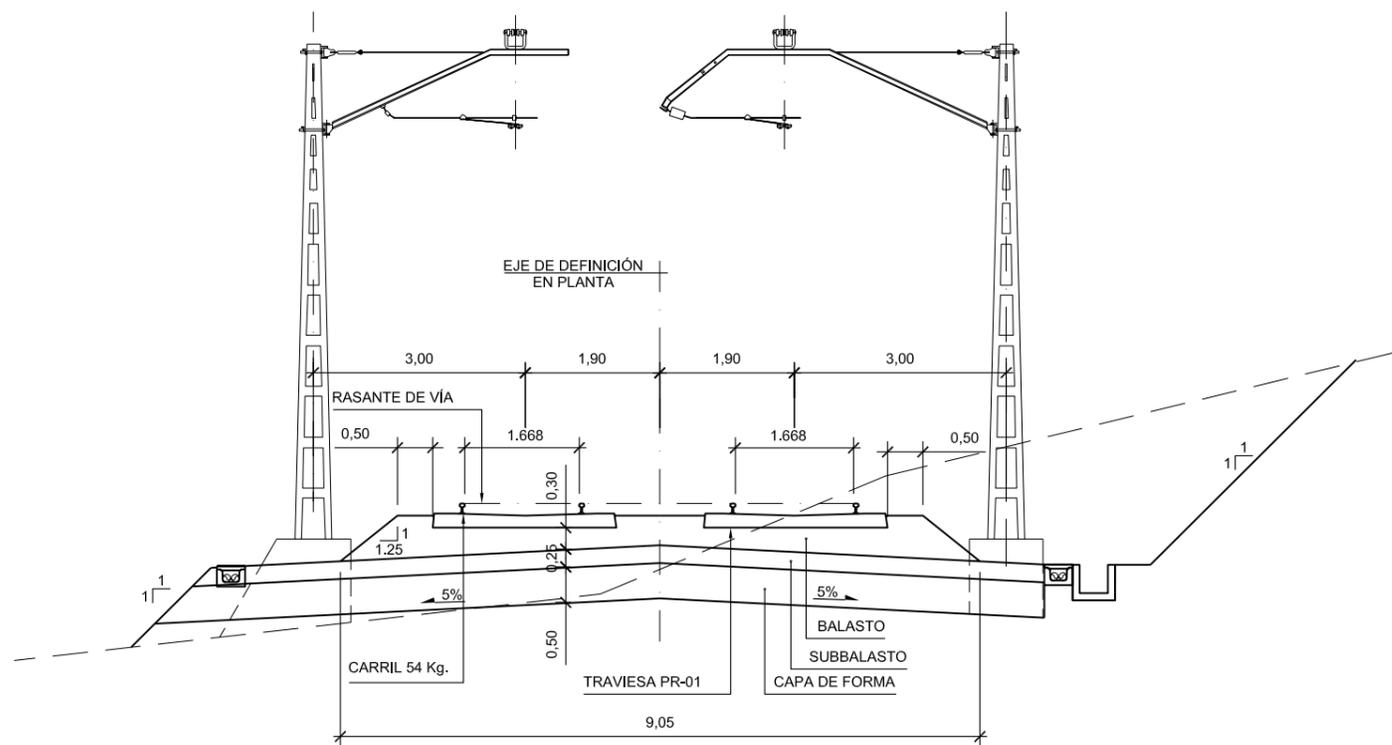
#### Construcción

El proceso de construcción de la vía sobre balasto se compone de pasos sucesivos hasta completar la última capa, lo que hace posible, hasta un estado relativamente avanzado de construcción, circular con vehículos sobre la última capa para realizar mediciones geométricas y a partir de ellas corregir los defectos de calidad que se produzcan durante la construcción. Un sistema así permite la introducción de “procesos de control de calidad”.

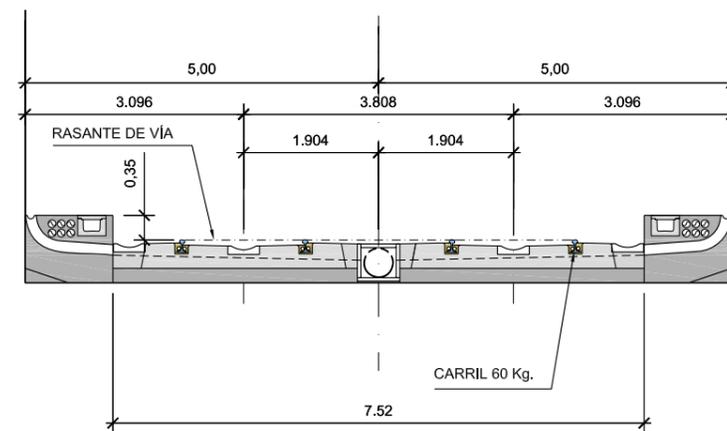
Por consiguiente, la calidad de las vías obtenidas con los métodos estándar (máquinas bateadoras y niveladoras) es como mínimo equivalente a la de las realizadas con mayores dificultades en vía sin balasto. Es fácil obtener desviaciones estándar de nivelación de menos de 0.3 mm en una línea de nueva construcción.

# **APÉNDICE 1. PLANOS**

X:\08\080827-Sant Feliu\Estudio Informativo\Documento-1-Analisis\06-Superestructura-Alternativas 1 y 2.dwg



**SECCIÓN TIPO. VÍA SOBRE BALASTO**  
ESCALA: 1/100



**SECCIÓN TIPO. VÍA CON CARRIL EMBEBIDO EN TÚNEL O FALSO TÚNEL**  
ESCALA: 1/100



SECRETARÍA DE ESTADO  
DE INFRAESTRUCTURAS  
SECRETARÍA GENERAL  
DE INFRAESTRUCTURAS  
DIRECCIÓN GENERAL  
DE FERROCARRILES

TÍTULO PROYECTO:  
ESTUDIO INFORMATIVO DE INTEGRACIÓN DEL  
FERROCARRIL EN SANT FELIU DE LLOBREGAT

AUTOR DEL PROYECTO:

ESCALA ORIGINAL  
1/100  
0 0.5 1 1.5 2 2.5m  
NUMÉRICA      GRÁFICA

FECHA:  
OCTUBRE  
2008

Nº DE PLANO:  
A-6  
Nº DE HOJA:  
HOJA 1 DE 1

TÍTULO DE PLANO:  
SUPERESTRUCTURA  
ALTERNATIVAS 1 Y 2  
SECCIONES TIPO