

DESARROLLO

1.- Criterios de renovación de vía en las líneas convencionales.

En una línea en servicio existen tres objetivos importantes en lo que respecta a su conservación:

- La estructura debe estar configurada de tal forma que los trenes que por ella circulan no causen una excesiva contaminación ambiental en lo que se refiere tanto a contaminación sonora como a vibraciones.
- El coste total de la vida de la vía debe ser lo más bajo posible.
- El mantenimiento de la línea debe ser lo más bajo y menos costoso posible, dentro de los parámetros de seguridad y calidad establecidos por las normativas.

La infraestructura de una vía férrea tiene básicamente dos elementos esenciales que se deberá controlar, como son el buen estado del material de la vía (carriles, traviesas, sujeciones, material diverso...) y la geometría de la vía, respetando las características del trazado y de la nivelación.

Para poder fijar cuando realizar una renovación de vía o de alguno de sus elementos deberemos estudiar los dos puntos anteriores. Para los materiales lo primero que se debe conocer son las características de dicho elemento, sus funciones y que se le exige a ese elemento para que cumpla su cometido de forma adecuada. Por lo que se refiere a la geometría, se deberán conocer los métodos de control de ésta, su disponibilidad y sus costes, utilizando los resultados para sacar conclusiones sobre el estado de la vía. Así, una vez conocido todo esto, podremos estudiar en que momento se deberá realizar esta renovación para tener una buena distribución de recursos en nuestra red ferroviaria.

Históricamente las autoridades ferroviarias que gestionaban la red asignaban la misma proporción de recursos económicos a todas las vías para su conservación y renovación, sin importar ninguna de sus características ni el tipo de tráfico ni cantidad de éste que circulaba. Ahora esta política ha cambiado, ya que gran parte de los recursos de las empresas ferroviarias se destinan en el desarrollo de la alta velocidad, y cada vez son más escasos los que van a parar a la renovación de líneas convencionales. Y de esa parte, la gran mayoría sirve para el mantenimiento y renovación de las aquellas vías y aquellos puntos cuya renovación o conservación es más urgente, siempre que el tráfico existente justifique el gasto.

Por todo esto se puede ver que será muy importante para evaluar correctamente el coste de cualquier operación conocer todos los elementos que existen en la vía, tanto por si es necesario sustituirlos, como por la afección que podamos realizar durante las operaciones de renovación. Y para ello, además de conocer la existencia de los elementos, deberemos conocer su edad y su ubicación exacta en la vía.

Los trabajos de renovación comprenderán algunos de los siguientes trabajos:

* Renovación y mejora de los materiales:

- Sustitución del balasto por otro más adecuado (silíceo, mejor granulometría...).
- Proporcionar las dimensiones convenientes a la banqueta de balasto.
- Sustitución de las traviesas por otras nuevas que posean características mejores (más resistentes, mejorando repartición de las cargas...).
- Sustitución del carril por otro nuevo, de igual o mayor peso.

* Mejora del trazado en planta:

- Introducción de curvas de transición adecuadas.
- Realizar variantes locales para aumentar radios de las curvas circulares.
- Instalar los peraltes adecuados para la circulación prevista.

* Mejora del perfil longitudinal:

- Instalación de curvas verticales adecuadas
- Rectificación de inclinación en rampas y pendientes.

Para analizar el estado de una vía se deben recopilar lo siguientes datos:

- Medidas
 - Geometría de la vía.
 - Resistencia del carril.
 - Fallos del carril.
- Planificación
 - Apisonamiento / bateo.
 - Alineación del carril.
- Infraestructuras
 - Tipo de carril / fabricante / edad o fecha de tendido
 - Tipo de traviesa / Fabricante / edad o fecha de tendido
 - Tipo de sujeción o anclaje existente.
 - Tipo de soporte, fecha de renovación.
 - Tipo de balasto, fecha de renovación, datos de la limpieza
 - Uniones (dos tipos): tipo junta (brida), tipo carril soldado continuo (soldadura aluminotérmica....)
 - Desvíos. Tipo y componentes.
- Tipo de tráfico: Pasajero, mercancías, mixto.
- Espectro de velocidades de circulación
- Tonelaje anual (tonelaje real y ficticio)
- Inspección
 - Inspecciones visuales
 - Inspecciones automatizadas

- Costes
- Trabajos realizados
 - Bateo
 - Pulidor
 - Estabilización dinámica
- Costes de conservación posteriores
 - Cifras de trabajo planeadas y ejecutadas

Todo esto se engloba en un método denominado TMMS (Track Maintenance Management System) que pretende englobar y relacionar las medidas en la vía, la planificación, los datos de infraestructura, las inspecciones, los trabajos realizados y los costes. La idea de este método se refleja en el siguiente gráfico extraído de la publicación de Sveld, Coenraad titulada Modern Rail Track [1]:

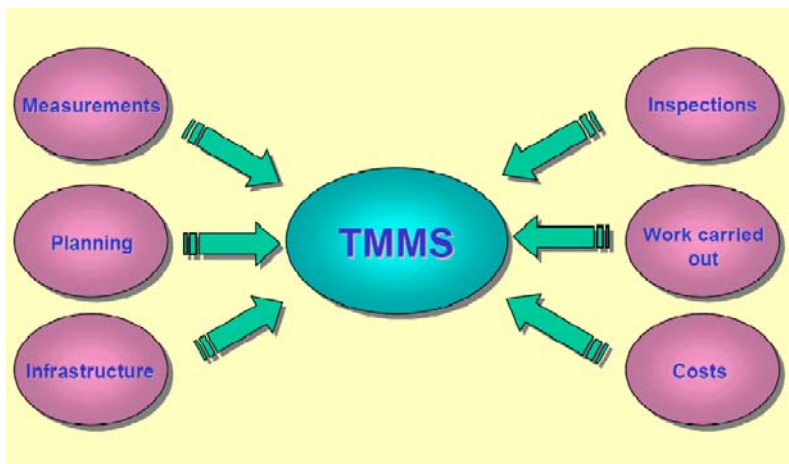


Gráfico 1.1.- Componentes que intervienen en el TMMS

Para analizar la calidad de una vía y estudiar su posible renovación debemos recopilar la mayor cantidad de datos sobre el estado de la vía, y ésta deberá analizarse en tramos de unos 100 a 200 metros. Antiguamente para organizar el mantenimiento las líneas se dividía en cantones (10-12 km.), y éstos se agrupan en distritos (de 4 a 5 cantones), y por último las secciones agrupaban a 4 o 5 distritos, que constituyen longitudes de 200 a 300 kilómetros. Sobre esta clasificación se distribuían los recursos, tanto humanos como materiales, destinándose unos cuantos trabajadores para las operaciones de control y mantenimiento de cada cantón. Actualmente, y sobre todo en alta velocidad, la longitud de los cantones se calcula como una cantidad inferior a la distancia de frenado, que suele ser de 3300 metros a una velocidad de 300 kilómetros por hora. Estas variarán según velocidad, y la vía (si es en pendiente no será la misma distancia de frenado cuesta arriba que cuesta abajo).

Con las técnicas actuales de control de las líneas mediante trenes que circulan a velocidades altas estas subdivisiones no resultan ni tan importantes las anteriores clasificaciones ni son necesarios tal cantidad de recursos humanos. Los métodos actuales

permiten un control mucho más rápido y exhaustivo. Esta maquinaria de control será comentada en el siguiente apartado junto a los métodos de renovación.

1.1.- Medidas

1.1.1.- Geometría de la vía

Uno de los componentes básicos de la vía es la definición de su geometría, por eso la renovación de la vía viene muchas veces regida por el estado de ésta. Así controlando los puntos enumerados anteriormente podemos detectar si por ejemplo no se mantiene la alineación de la vía, si tenemos un fallo de nivelación longitudinal, si es por el fallo de una traviesa o por el anclaje...

Las secciones de control suelen ser de una longitud superior a 200 metros, ya que con secciones de longitud pequeña podemos no tener ningún dato. Los datos necesarios de la sección son:

- Historia de conservación
- Geometría vertical
- Geometría lateral
- Geometría de carril de onda corta
- Datos de infraestructura

Tanto la geometría vertical como la lateral se puede controlar mediante el coche de registro de vía. El coche de registro puede controlar la desviación estándar y los niveles de calidad de la vía en ese momento, que sumado a registros realizados anteriormente, podremos analizar el historial de como ha ido cambiando la vía y realizar una predicción de la evolución de la calidad, el ritmo de deterioro de la sección y planificar futuras actuaciones en la vía. También nos sirve si lo usamos justo después del paso de la bateadora para analizar el efecto de la máquina y la mejora conseguida con ella. Para evaluar la calidad según las reacciones en el vehículo podemos usar el registro de la geometría de ese tramo de vía para el cálculo de dichas reacciones.

El deterioro del estado de la vía se debe principalmente a dos efectos, el efecto del paso del tiempo, del tonelaje y del tráfico que circula por ella. Se pueden realizar análisis del ritmo de deterioro de la vía y crear funciones que reflejen el deterioro en el tiempo, viendo que la función es lineal según el tiempo y el tonelaje que circula. También se puede ver como el bateo de la línea permite que se mejore la calidad de la vía, corrigiendo fallos en ésta. Como parámetro para conocer el estado de la vía podemos utilizar el planteado en el artículo de la Fundación de los Ferrocarriles Españoles [2] que sugiere calcular la desviación estándar de ésta (σ) y normalizarla con un valor máximo de desviación, y así dado cualquier valor de σ se puede calcular $\underline{\sigma}$ y si el resultado de esta variable normalizada es menor que 1, la vía no supera una calidad admisible.

$$\underline{\sigma} = \frac{\sigma}{\sigma_{norm}}$$

Con estos datos de desviaciones también podemos conocer las mejoras conseguidas con el apisonado, ritmo medio de deterioro... y comparar el estado de diversas líneas para determinar en cual de ellas las intervenciones de mantenimiento o renovación resultan más prioritarias.

Otra forma de tener una idea del estado de la vía es la planteada en la normativa de RENFE N.R.V. 7-3-0.0. [22] en la que se plantea el cálculo de una variable Q que se denomina calidad de la vía que nos permite dar una idea de la aptitud de una vía para la circulación de los trenes dependiendo del nivel de calidad que se quiera ofrecer. La variable Q se calcula mediante la ecuación siguiente:

$$Q = K \sum (K_i S_i)$$

en el que:

K = coeficiente general

K_i = valor del peso que se ha otorgado a cada parámetro P_i para obtener el valor de la variable Q

P_i = parámetro geométrico de la vía

S_i = calificación del parámetro P_i, que a su vez depende de la amplitud de los defectos y de la longitud del tramo considerado.

Con esto podremos tener una idea (consultando las tablas adjuntas en la norma N.R.V. 7-3-0.0. [22]) de la calidad de una vía y se podrá comparar con otros tramos, aunque el resultado siempre dependerá del peso que se le otorgue a cada uno de los parámetros (en la normativa se dan ciertos valores de referencia para estos parámetros).

Se deberá considerar que para el cálculo del ritmo de deterioro y de la calidad de la vía sólo se admitirán aquellos puntos que no estén influidos por el rápido deterioro posterior al bateo, es decir, equivalente a 0,7 MGT (Millones de toneladas brutas) de la operación de bateo, ya que justo después del bateo se debe producir un proceso de consolidación de la vía.

1.1.2.- Resistencia al uso del carril. Fallos del carril.

El carril instalado en vía está sometido a acciones que actúan sobre sus superficies activas agravando sus defectos y dando lugar a otros nuevos. Con esto ocurre que por un lado la vida del carril se acorta, al tiempo que aumentan los gastos de mantenimiento de la vía y por otro lado los vehículos que circulan sobre ella sufren iguales consecuencias y disminuyen la comodidad del viajero en tanto que se incrementa el coste del transporte.

Por tanto, el estado de la superficie del carril resulta importante puesto que es el punto dónde se produce el contacto entre las ruedas del tren y la estructura de la vía. Si ésta empeora, afecta al confort percibido por los viajeros, a la seguridad de los trenes... Por eso es imprescindible evitar los defectos de fabricación o subsanar aquellos que aparecen por el uso. Con la mejora de la fabricación se ha conseguido evitar algunos problemas, aunque actualmente los más habituales son los originados con el paso del tráfico, como son:

- Huellas de patinaje.
- Fisuras transversales de la cabeza del carril.
- Desfibrado del acuerdo superficie de rodadura-cara lateral.
- Fisuras en el acuerdo cabeza-alma.

En menor grado aparecen los siguientes defectos, que completan casi toda la gama de defectos que pueden aparecer:

- Fisuras horizontales.
- Desgaste lateral y ondulatorio.
- Aplastamientos locales de la cabeza.
- Defectos procedentes de las soldaduras.

Para corregir los defectos que aparecen en la superficie del carril se dispone principalmente dos opciones: amolar el carril o cambiarlo (renovación).

El amolado de la superficie del carril consiste en eliminar y corregir por medio de cuchillas los defectos en la superficie del carril. Estos defectos producen problemas diversos, tales como daños en la vía, mayor ruido al paso de los trenes y vibraciones. Todo esto puede ser evitado con una mejora en la superficie. Los defectos que pueden ser eliminados, según la normativa española de RENFE [33] mediante amolado son:

- Defectos en los extremos de los carriles y en plena barra.
- Desgaste ondulatorio de onda corta.
- Desgaste ondulatorio de onda media.
- Desgaste lateral en curvas.
- Desfibrado del acuerdo de superficie de rodadura y borde activo.
- Aplastamiento o rebabas.
- Huellas de patinaje.
- Defectos en soldaduras.

Los defectos de onda corta son una sucesión de crestas y senos en la superficie del carril de entre 3 y 8 centímetros. Los de onda media varían entre 8 y 30 centímetros. La cresta de ambos suele tener un espesor de entre 0,2 y 0,3 milímetros. Este tipo de defectos aparecen de forma más significativa en líneas con homogeneidad de tráfico y velocidades. También ocurre con el aumento de tráfico y de la carga pro eje. El desgaste lateral en alineaciones rectas no debe solucionarse mediante amolado y en alineaciones curvas solo se usa con un amolado asimétrico.

El origen de estos daños es muy diverso pero una de las causas destacables son las aceleraciones producidas en la caja de ejes. El sistema de evaluación del estado de la superficie de carril puede ser equivalente al usado en el apisonado (ver apartado anterior), analizando los fallos existentes, sus desviaciones y su evolución.

Al margen de estos fallos, el carril se va desgastando con el tiempo por el paso de trenes y por los procesos de amolado, descendiendo su superficie en órdenes que oscilan entre 0,7 a 4 mm²/10⁶T de tráfico circulado siendo mayor cuanto más pequeños sean los radios. Para asegurar su buen funcionamiento se debe limitar el desgaste de la superficie y la cabeza del carril, que generalmente alcanza un máximo de 350 a 400 mm² de superficie desgastada. Una vez llegado a este límite se deberá renovar el carril (por razones de calidad y seguridad).

Como el tendido de carril nuevo es caro, se deberá analizar la cantidad de fallos que hay para valorar el coste. Si se decide renovar y cambiar el carril, es recomendable controlar las curvas, puesto que el desgaste en éstas es superior, y los fallos propios del carril. Además de esto la reparación puntual trae consigo diversos problemas añadidos porque interrumpen el tráfico (aspecto que en algunas líneas no podrá permitirse) y fastidia la geometría de la vía.

Así, en el momento que se considere que existen demasiados fallos y por tanto que su reparación comporta demasiados problemas, se optará por la renovación. Por eso es importante una buena planificación, de esta forma cuando se deba efectuar la renovación existirán recursos suficientes y se podrán solucionar los todos los defectos detectados anteriormente.

Un umbral planteado por la N.R.V. 7-5-2.1. [33] a partir del cual resulta necesario un proceso de amolado de la vía por los defectos de onda es el siguiente:

- Profundidad de 0,05 milímetros en las ondas cortas, en líneas principales y en líneas secundarias con fuerte densidad de tráfico.
- Profundidad de 0,07 milímetros en líneas secundarias con gran tráfico.
- Profundidad de 0,1 milímetros en otras líneas de menor importancia.

Después del amolado se aceptará que como desviación residual haya 0,2 milímetros en 20 centímetros de longitud. En las ondas largas se aceptará una altura residual de onda de 0,3 milímetros como máximo en 3 metros de longitud.

Para realizar un buen estudio sobre la planificación, necesitamos el historial detallado de los fallos que se han detectado en el carril, que estará compuesto como mínimo de los siguientes puntos:

- Clasificación de los fallos.
- Tonelaje resistido hasta producirse el fallo.
- Tiempo transcurrido hasta producirse el fallo.
- Método de reparación.
- Proceso de soldadura.
- Tratamiento posterior a la soldadura.
- Datos de infraestructura.

Para poder disponer suficiente variedad de datos necesitamos grandes longitudes de vía, en general mayores a 5 o 10 kilómetros, o bien puntos de la red ferroviaria con características similares para poder combinarlos de forma correcta y complementar la

información disponible. Si no tenemos un número razonable de datos para el estudio será difícil que las previsiones que hagamos sean fiables, y por tanto la planificación no será útil.

Los fallos más comunes en el carril suelen producirse en las soldaduras aluminotérmicas y representan entre un 65 a 97 % del total. Con esto se observa el problema que supone el reparar un carril cortándolo y añadiendo otro trozo, ya que tenemos dos nuevos fallos potenciales en el carril al crearse dos juntas nuevas donde se aplica soldaduras aluminotérmicas. Otra posible causa de fallos del carril es la fatiga por el paso reiterado de los trenes, y la probabilidad de aparición de este tipo de fallo es mayor cuando mayores son las cargas que se aplican en la vía.

A pesar de todo lo citado anteriormente, no suele ser habitual renovar toda la longitud del carril por fallos. La causa principal de renovación suele ser por la edad, porque han resistido un tonelaje superior al que estaba recomendado, porque se renuevan el resto de los elementos o porque la calidad es baja.

Para el amolado de la superficie en España se usan los tren amolador, como los construidos por la empresa de origen suizo SPENO, que está formado por 8 unidades amoladoras que van dispuestas en un carro. Este tren puede alcanzar velocidades de desplazamiento de hasta 90 km/h aunque su velocidad de trabajo en las unidades más modernas oscila entre 4 y 6 km/h y en las convencionales su rendimiento máximo es de 1 kilómetro por hora. Este tren tiene una autonomía de trabajo de 25 horas. Además existe la posibilidad de cambiar sus bogies para poder trabajar tanto en vías de ancho español como en vías de ancho internacional (Madrid-Sevilla).

Además de las funciones comentadas, este tren amolador SPENO permite realizar lo siguiente:

- Medida del perfil longitudinal y transversal.
- Aspiración del polvo del carril producido por los equipos amoladores, lo que evita la contaminación del balasto.
- Rectificación del desgaste ondulatorio que existe en la superficie del carril, tanto los de onda corta, media o larga. También puede rectificar las irregularidades del carril y las existentes en las soldaduras, entre otras.

Una ventaja clara del amolado con el tren SPENO es que proporciona un rectificado controlado del carril y su superficie con un mínimo gasto de metal. Con esto se consigue prolongar la vida útil del carril, ahorrando un 30% de recursos en operaciones de nivelación de la vía.

Por otro lado el amolado también permite mejorar la inclinación de la superficie de rodadura del carril al lograr, una vez aplicado, una superficie que corresponde a una inclinación constante del carril. En este caso la superficie máxima de amolado debe ser de 0,5 milímetros.

1.2.- Planificación.

1.2.1.- Bateo

El bateo se define como la operación para la consolidación de la capa de balasto. Es una operación que se realiza con una máquina que mediante una serie de pequeñas palas (denominados bates) colocadas en los laterales de la máquina de forma que al bajar se sitúan por ambos lados del carril, penetra entre las traviesas y se insertan en el balasto, producen una vibración transmitida a la piedra que permite anular, eliminar o reducir considerablemente parte de los defectos de trazado en planta y alzado de cada hilo de carril producidos por el paso continuado de los trenes.

Pero a pesar que al batear se pone a nivel la vía corrigiendo parte de los defectos , se le quita el asiento al balasto, con lo que se genera un nuevo proceso de consolidación, que no se completa hasta que no ha circulado cierta cantidad de tráfico por encima. Por eso será conveniente espaciar los bateos y planificar en que momento se realizan, esperando a que los defectos sean apreciables, no haciéndolos justo tras la detección de uno de ellos. Se debe considerar además que con el bateo no se eliminan los defectos del carril (como los existentes en la superficie) y por tanto después de batear no se solventan todos los defectos de la vía.

Otro problema generado en el caso que con el bateo se proceda al vertido de balasto nuevo para levantar la vía, es que se producirán mayores asientos (a mayor grosor de balasto, mayores asientos). Por eso se debe controlar cual es el levante de la vía que realiza la bateadora durante el proceso.



Imagen 1.1.- Máquina bateadora de línea.

1.2.2.- Alineación del carril y nivelación.

Uno de los problemas principales de la vía es que los carriles sigan en su posición teórica con el paso del tiempo, es decir, la alineación y su nivelación. Las características de estos parámetros se comentan en las diferentes normativas existentes ([3] y [4]) y los problemas principales relacionados con esto son la falta de paralelismo de las vías (uno de los carriles se ha desplazado, produciendo movimientos laterales en la cabina), garrotes (desplazamiento lateral de la vía), alabeo, etcétera.... Estos defectos de alineación y nivelación van apareciendo a medida que pasa el tiempo y deben ser controlados, sobre todo porque influyen en el confort del viajero.

Una vez conocemos la posición actual de la vía, podemos comprobar si cumple unas tolerancias aceptables. Para ello nos podemos regir, por ejemplo, por la ficha UIC 518 de febrero de 1998 que indica que en una vía con un indicador de calidad QN1 (calidad aceptable) para velocidades entre 80 y 120 km/h se aceptarán hasta 8 mm de desviación respecto el eje teórico, mientras que en vías donde la velocidad de circulación sea superior a los 200 km/h sólo aceptaremos desviaciones de hasta 4 mm. para defectos puntuales aislados. Si en cambio tenemos una vía con calidad QN2, lo que significa que se necesita efectuar operaciones de conservación a corto plazo, con velocidades entre 80 y 120 km/h aceptaremos hasta 10 milímetros de desviación del eje teórico, mientras que para velocidades superiores a 200 km/h sólo aceptaremos 6 mm. de desviación. Los valores máximos para defectos puntuales según la velocidad (ficha UIC 518) vienen descritas en el siguiente cuadro:

Velocidad (Km/h)	QN1 (mm)	QN2 (mm)
$v < 80$	12	14
$80 < v < 120$	8	10
$120 < v < 160$	6	8
$160 < v < 200$	5	7
$200 < v < 300$	4	6

Tabla 1.1.- Defectos de alineación máximos

La normativa N.R.V. 7-3-6.0. de RENFE [27] indica que la alineación de la vía se medirán en milímetros, cada 5 metros, con cuerda de 10 metros de nylon o de acero, en el hilo alto de las curvas. En este caso las tolerancias admitidas son diferentes a las recomendadas por la UIC y solamente las diferencia en dos tipos, si la velocidad máxima es superior o inferior a 120 kilómetros por hora:

Alineación	$v < 120$ km/h	$v \geq 120$ km/h
Recta	± 4 mm.	± 3 mm.
Curva $R > 1500$ m.	± 4 mm.	± 3 mm.
Curva $1500 \geq R \geq 500$ m.	± 5 mm.	± 4 mm.
Curva $R < 500$ m.	± 6 mm.	

Tabla 1.2.- Limitaciones en la alineación según N.R.V. 7-3-6.0.

No se ponen limitaciones para curvas de radios menores a 500 metros y velocidades superiores a 120 kilómetros por hora porque a esas velocidades no se admiten estos radios. Si la vía fue revisada previamente en un periodo inferior a 6 meses, las limitaciones sobre las tolerancias tanto en recta como en curva de radios superiores a 1500 metros para cualquier velocidad son de ± 2 milímetros. Para radios de curva entre 1500 y 500 metros se limita a ± 3 milímetros y para radios inferiores a 500 metros se limita a ± 4 milímetros.

Para los defectos en la nivelación longitudinal de la vía también se observa en la ficha UIC 518 que varían los máximos permitidos según dos parámetros: la velocidad y la calidad que se quiere imponer a la vía. La calidad geométrica que se le exige es diferente no por ir más rápido, sino tanto por los niveles de confort como por la seguridad que se pretende mantener:

Velocidad (km/h)	QN1 (mm)	QN2 (mm)
$v < 80$	12	16
$80 < v < 120$	8	12
$120 < v < 160$	6	10
$160 < v < 200$	5	9
$200 < v < 300$	4	8

Tabla 1.3.- Defectos de la nivelación longitudinal máximos

La normativa RENFE es mucho más restrictiva en este aspecto y según se refleja en la N.R.V. 7-3-5.5. [26] se acepta que en la nivelación longitudinal haya las variaciones siguientes, diferenciadas según las velocidades máximas:

Tolerancias (mm.)	$v < 120$ km/h	$v \geq 120$ km/h
Diferencias	± 25	± 25
Variaciones	8	6

Tabla 1.4.- Limitaciones en nivelación longitudinal según N.R.V. 7-3-5.5

Los datos de las diferencias serán calculadas por la variación existente entre las cotas teóricas y reales, y las variaciones se refiere a la variación producida entre dos diferencias consecutivas.

Para corregir estos defectos el método más habitual es el uso de la bateadora, que permite realizar rectificaciones sobre:

- Nivelación longitudinal
- Alineación
- Nivelación transversal.

El mercado de bateadoras en Europa se lo reparten principalmente entre dos empresas, la compañía de origen suizo Matisa (Matériel Industriel) y la austriaca Plasser & Theuer, que son en si los máximos exponentes a nivel internacional en fabricación de este tipo de máquinas.

Para realizar el trabajo correctamente se necesita que la bateadora disponga de los mecanismos necesarios para que pueda realizar los siguientes trabajos:

- Sistema de medición y corrección de los defectos de la nivelación, la alineación y el peralte.
- Equipos de ripado y levante del emparrillado de la vía.
- Compactación de balasto (bates)

Además de estos trabajos, estas máquinas también pueden realizar tareas de perfilado si disponen de los accesorios necesarios para ello.

Para un buen trabajo con la máquina será conveniente disponer de un estudio topográfico para conocer la posición de la vía. La no disposición de estos datos nos condiciona el tipo de trabajo que realizaremos en la vía, como se comentará después.

Cabe destacar que realizando bateos sucesivos conseguimos aumentar la longitud de onda de los defectos y aunque esta no desaparezcan completamente, se obtienen concavidades más suavizadas, con lo que se mejora la calidad de la vía percibida.

Para la nivelación se pueden usar dos métodos:

- Sistema topográfico o de base absoluta
- Sistema de base relativa

El sistema de base absoluta supone disponer de la posición de todos los puntos de la vía (o gran parte de ellos), que se ha podido obtener, por ejemplo, por un levantamiento topográfico previo. El sistema de base relativa, en cambio, supone disponer solamente de datos del tramo de vía bajo la bateadora o aquellos que ya hemos pasado por encima con la máquina.

Con el sistema de base absoluta podemos conseguir directamente la posición final porque conocemos la posición actual de la vía y la deseada, aplicando el levante diferencial. Algunas máquinas actuales disponen de posicionamiento mediante GPS, con lo que se puede realizar un seguimiento de los puntos en que se ha bateado.

En el sistema de base relativa se trabaja con puntos fijos, y se aplica el levante relativo entre dos puntos (uno ya conocido y el punto en que trabajamos). En estos casos, como existe una cierta incertidumbre acerca de si el levante dado es suficiente, se suele dar un levante de seguridad para salvar los puntos buenos, pero vigilando que no sea excesivo porque a mayor levante, menor estabilidad de la vía.

En la alineación, además de usar los mismo sistemas de control final de la vía que en los procesos de nivelación, se dispone de otros métodos diferentes, como por ejemplo el método de la flecha de los puntos (basado en comprobar la desviación en planta respecto de

un punto) o el ángulo que deben formar dos rectas que unen dos puntos dados de la vía (método de la cuerda, método de los triángulos).

Cada uno de estos métodos debe apoyarse en tres o cuatro puntos base. Para paliar en parte los errores que supone la utilización del sistema con base relativa, los sistemas de alineación suelen estar asistidos por integradores para la determinación y ajuste del cero de la alineación. Para trabajar de forma correcta en base absoluta y obtener una alineación casi perfecta se necesita conocer la topografía previa y los desplazamientos detallados en cada traviesa.

Un problema existente es que trabajando con puntos fijos y con sistema de base relativa solamente se puede alinear trazados rectilíneos en planta. Esto pasa en la alineación y no ocurría en la nivelación dado que en la alineación los radios de curvatura son mucho más pequeños y por tanto no resulta nada conveniente el aproximar la curva por una poligonal, a no ser que el radio de curvatura sea muy grande.

En el análisis de la nivelación transversal, las componentes que habitualmente se controlan son tres:

- El peralte
- El ancho de vía
- El alabeo.

El peralte se define como la diferencia de cota entre las superficies de rodadura de los dos carriles de una vía dentro de una misma sección normal a ella. El peralte ayuda a compensar y anular la fuerza centrífuga, pero como esta depende de la velocidad de circulación, estará en función del espectro de velocidades de circulación de la línea. La normativa indica un valor de peralte máximo y un mínimo, para controlar la aceleración centrífuga sin compensar. El peralte se medirá en 100 metros de vía, cada 3 metros (5 traviesas). El peralte máximo y el peralte mínimo en las líneas convencionales de ancho ibérico de 1668 milímetros se rigen según las expresiones siguientes, que aparecen en la normativa RENFE N.R.V. 7-3-5.0. [25], siendo h el peralte en milímetros, L la longitud de la curva de transición en milímetros, V la velocidad en kilómetros por hora y R el radio de la curva circular en metros:

$$h_M = L / 8V$$

$$h_m = (13,7V^2/R) - 115$$

Generalmente no se permite que el peralte exceda de 160 milímetros a no ser que se consideren circunstancias excepcionales. Además cuando se emplace un desvío en una curva de una vía general, el valor del peralte en toda la curva no excederá de 140 milímetros si el desvío exterior es convergente y 110 si es divergente.

En la misma normativa RENFE se indican las tolerancias admitidas del peralte en conservación de vía y en una vía recién tratada:

Tolerancias	Vía recién tratada		Vía sin tratar	
Parámetros	v < 120	v ≥ 120	v < 120	v ≥ 120
Peralte (mm.)	± 4	± 3	± 10	± 7
Variaciones de peralte cada 3 metros (mm.)	4	3	6	5

Tabla 1.5.- Tolerancias en el peralte según la normativa RENFE

En el peralte se podrá actuar fácilmente con la bateadora, procediendo al levante necesario para alcanzar el peralte indicado introduciendo más balasto bajo un lado de las traviesas.

El ancho de vía se define como la mínima distancia nominal, en alineación recta, entre las superficies de las caras laterales interiores de las cabezas de los dos carriles [23]. Como el lado de las cabezas suele ser curvo, se mide el ancho a partir de 14 milímetros desde el borde superior, aunque según la normativa RENFE en los carriles de 60 kg/ml el plano se sitúa a 15 mm. respecto la cara superior (norma N.R.V. 7-1-0.3. [19]). El ancho varía dependiendo de la línea, pero básicamente en la red ferroviaria española se pueden encontrar tres tipos de ancho:

- Ancho RENFE: 1668 milímetros.
- Ancho internacional: 1435 milímetros.
- Ancho métrico: 1000 milímetros.

La calidad del ancho de vía se controla mediante sondeos que se realizan midiendo el ancho de vía con la regla correspondiente sobre todas las traviesas de un tramo de veinticinco metros de longitud (equivalente a cuarenta y dos traviesas).

Los defectos que afectan al ancho de la vía tienen origen diverso, pudiendo provenir por ejemplo pueden provenir del desgaste del carril por su borde interior, del desgaste de los elementos de sujeción del carril o del mal estado de las traviesas. Estos desgastes suelen producirse en mayor medida en alineaciones curvas, mientras que en alineaciones rectas se produce el efecto contrario, un estrechamiento de la vía. El estrechamiento tiene también orígenes diversos, entre los que destaca la posición inclinada del carril o la conicidad de las llantas de las ruedas.

El ancho de vía solamente dependerá de la precisión con la que se montó la vía y puesto que las bateadoras no pueden controlar y modificar este parámetro, para modificarlo se necesitará actuar directamente con otras máquinas sobre los carriles.

Las tolerancias en el ancho de vía dependen tanto del ancho de vía en términos absolutos, de la velocidad de circulación por la vía y de los diferentes radios de curvatura existentes. Para las líneas de alta velocidad, tal como se comentará más adelante, las tolerancias son menores y están establecidas en principio entre -1 a +3 milímetros. En aparatos de vía como cruzamientos también son más reducidas las tolerancias y se limitan de -2 a +4 milímetros.

A continuación se resumen las desviaciones del ancho toleradas por RENFE en alineación curva, considerando que el ancho de vía sea el español (1668 milímetros), que dependerá del radio de curvatura:

Radio (R) de la curva (metros)	Ancho de la vía (milímetros)	
	Mínimo	Máximo
100 < R < 150	1685	1703
150 < R < 200	1680	1703
200 < R < 250	1675	1703
250 < R < 300	1670	1698
300 < R < 350	1665	1698
350 < R < 400	1665	1688
400 < R	1665	1683

Tabla 1.6.- Valores máximos y mínimos en anchos de vía en alineación curva.

En la tabla anterior se observa como la limitación en ancho mínimo tiende a situarse sobre los 1665 milímetros a medida que los radios son más elevados, lo que supone una tolerancia de -3 milímetros, mientras que la superior va descendiendo a medida que aumenta el radio. Como limitaciones máximas la N.R.V. dictamina que el ancho de vía no debe rebasar en ningún caso los valores límite de 1665 milímetros de ancho mínimo y de 1703 milímetros de máximo en vías de ancho ibérico, y de 1432 milímetros mínimo y 1470 máximo en vía de ancho internacional.

Así, según la normativa RENFE N.R.V. 7-1-3.1 [20], en la nivelación transversal se aceptarán tolerancias de +5 y -3 milímetros para tramos rectos, las mismas que en vías de ancho internacional (ancho no inferior a 1432 milímetros). Además el ancho no deberá variar más de 2 milímetros entre dos traviesas consecutivas ni más de 3 milímetros en 3 metros de longitud. Esto se resume en el cuadro siguiente:

Velocidad máxima (km/h)	Variación máx. entre 2 traviesas consecutivas (mm.)	Anchura del corredor en milímetros
$v \geq 250$	2	4
$200 > v \geq 250$	2	4
$160 > v \geq 200$	2	4
$120 > v \geq 100$	2	6
$100 > v \geq 60$	2	8
$v < 60$	3	*
* Las impuestas por la norma		

Tabla 1.7.- Tolerancias admitidas en el ancho de vía según RENFE en conservación de vías.

El corredor se define como la banda de tolerancia entre unos límites, en este caso superior e inferior. En vías con traviesas RS y sujeción RN la variación máxima entre dos consecutivas puede llegar a 3 milímetros para velocidades inferiores a 90 kilómetros por hora. De forma general la diferencia, en milímetros, entre el ancho real y el teórico esté comprendida entre:

- 3 y +7 en vía con $V \leq 120$ km/hora
- 3 y +6 en vía con $120 < V \leq 160$ km/h
- 3 y +5 en vía con $160 < V \leq 200$ km/h
- 3 y +4 en vía con $200 < V \leq 250$ km/h
- 3 y +3 en vía con $250 < V$

Si se desea realizar algún tipo de modificación en el ancho de vía, el hilo (carril) que se proceda a alinear es indiferente, puesto que el movimiento de uno va ligado al otro. Aún así se tiende a alinear aquel que más colabora en el guiado de los trenes, o sea, el que en mayor medida es exterior en las curvas, puesto que es el que recibe mayores esfuerzos. En este caso si se realizan los trabajos en base absoluta y se poseen puntos buenos podremos obtener resultados óptimos.

Otro aspecto a controlar será el alabeo del plano de la vía, el cual se define como la distancia desde el punto de contacto de una rueda con el carril respecto el plano que forman los puntos de contacto de las otras tres ruedas. Generalmente este parámetro debe ser cero, excepto en las curvas de transición, pero dependiendo del plano que se encuentre (alineación recta o alineación curva) y la velocidad máxima de circulación por la vía se admitirán diversas desviaciones. Así en vías con velocidades máximas de 200 kilómetros por hora se acepta un alabeo de 2 milímetros cada 5 metros de vía, mientras que para velocidades inferiores se aceptan alabeos de 3 a 4 milímetros cada 5 metros.

Otro aspecto que se revisará después de trabajos puntuales en la vía es la inclinación de los carriles. Esta debe ser de 1/20 en todos los casos normales excepto en aparatos de dilatación en alta velocidad que es de 1/40 y de 1/∞ en los desvíos de 45 kg y de 60 kg. La inclinación se consigue mediante el cajado de las traviesas, que permiten darle una pendiente a las placas de asiento y por tanto, al carril. En este caso se comprobará la inclinación en los dos hilos de la vía mediante la plantilla Geismar, una vez los carriles están en su posición definitiva. Una alteración en esta inclinación ocasiona desgastes anormales en el carril y en la rueda que actúa sobre él, daña sus superficies de contacto y varía el ancho de la vía por lo que es preciso mantenerla entre unos límites determinados.

La inclinación de los carriles no deberá diferir de 3 milímetros de la teórica para vías de velocidad comercial igual o inferior a 140 kilómetros por hora [24]. Para velocidades mayores las tolerancias son en recta entre +1 y -3 milímetros y en curva entre +3 y -1 milímetros.

En la normativa de RENFE N.R.V. 7-3-0.0. [22] se recoge que en la inspección de la vía mediante los coches de inspección geométrica para los trabajos de conservación de líneas convencionales se recomienda destacar los siguientes valores límite del parámetro P_1

calculado en para obtener la calidad Q, y si alguno de los defectos supera estos valores se anota a parte indicando que es necesario una reparación inmediata:

Parámetro	Barra larga	Barra corta
Nivelación longitudinal	14 mm.	20 mm.
Alabeo de la vía	4,5 mm./m.	6,5mm./m.
Ancho de la vía	-7 mm. y +20 mm.	-7 mm. y +20 mm.
Peralte	15 mm.	20 mm.
Flechas (alineación)	16 mm.	32 mm.

Tabla 1.8.- Limitaciones de parámetros P_i en conservación de vía RENFE.

La barra elemental [8] es el carril obtenido directamente por laminación, que, en general, suele tener una longitud de 18 metros, y posteriormente en la obra se juntan unas a otras mediante bridas o soldaduras. La barra larga [9] es la obtenida en taller por soldadura de varias barras elementales, nuevas o regeneradas, teniendo una longitud de 144 o 288 metros, y posee un taladro en sus extremos para efectuar su descarga.

1.3.- Infraestructura.

En este apartado se enumeran y analizan los elementos principales que configuran el conjunto de la vía, las características más importantes de éstos y su tipología (los más usuales). Conociendo esto se podrá realizar el estudio para determinar en que casos el elemento estará dañado y necesitará reparación, o su estado ya no es el deseable.

Aparte de estos seis elementos (carril, traviesas, sujeción, soporte, balasto y uniones), existen otros elementos que pueden participar en el conjunto de la vía, pero como ya pertenecen a otros campos más específicos (señalización, pasos a nivel,...) y no siempre se encuentran en una línea de tren convencional, no se procede a su estudio.

Las características básicas que se le exigen a la estructura son elasticidad, dureza, estabilidad y durabilidad, pero no todos los elementos cumplen esto, y de forma general sus características son:

	Elasticidad	Dureza	Estabilidad	Durabilidad
Carriles		X		X
Fijaciones	X		X	X
Traviesas		X	X	X
Balasto	X		X	X
Capa soporte	X		X	X

Tabla 1.9.- Características principales de los componentes de la vía.

La elasticidad y la dureza influyen tanto en la calidad o confort percibido como en la durabilidad del material, mientras que la estabilidad es importante para mantener la posición de la vía incluso bajo cargas fuertes. Todas estas características se desarrolla su estudio en los apartados siguientes.

Además de la revisión de todos estos elementos, también resulta imprescindible prestar atención a las posibles deformaciones que puedan presentar la plataforma, los taludes y los terraplenes, evitando que se hagan mayores y ocasionen accidentes o obliguen a gastos de reparación mayores. El agua es el principal origen de estos fallos por eso se deberá aumentar el control en épocas de fuertes lluvias o heladas. Así, tal como se refleja en la N.R.V. 2-1-4.0. [6] y en la N.R.V. 2-1-6.0. [7] se deberá prestar una buena vigilancia en los siguientes puntos:

- Comportamiento de la plataforma: Su encharcamiento, funcionamiento de la red de drenaje superficial y de la red de drenes.
- Comportamiento de las secciones en trinchera: Erosiones producidas en taludes, abultamientos en la base y afloramiento de aguas.
- Comportamiento de terraplenes: Correcta evacuación de las aguas superficiales y aparición de fisuras, grietas o abultamientos.

1.3.1.- El carril

El carril es el único elemento de la infraestructura que contacta con el tren. Es por eso que además de permitir por una parte unas adecuadas condiciones de rodadura (contacto rueda-carril), también debe resistir y transmitir las tensiones aplicadas por el tren a las capas inferiores, tanto las verticales como las transversales.

Hay diversos tipos de carril (dependiendo del país de origen, antigüedad...) pero los básicos son RN45, UIC54, UIC60 indicando las iniciales si son carriles de la red nacional (característicos de España) o son con características marcadas por la UIC (Union International de Chemins de Ferr o Unión Internacional de Ferrocarriles); el número que figura en el tipo de carril indica el peso en kilogramos por metro lineal. Existen otros tipos de carriles en extinción que deberán ser retirados en las renovaciones (como el propio RN 45). El peso del carril por metro lineal deberá ser mayor cuanto más se incremente la velocidad de circulación de los trenes, la vía deba resistir más cargas por eje o la densidad de tráfico aumente, a igualdad del resto de los condicionantes.

La sección del carril, y sobre todo la de la cabeza, también es importante, porque a mayor sección, más caro pero disminuye la resistencia a la rodadura y por tanto los gastos de explotación. Pero tampoco no se pueden crear un número elevado de perfiles, por cuestiones prácticas y de explotación.

Otra característica básica del carril es su dureza. En general ésta suele oscilar entre los 75 a 90 kg/mm² (carriles normales y duros), pero en curvas muy cerradas se pueden usar carriles de dureza entre 105 y 110 kg/mm².

Estos carriles se pueden recibir de diversas maneras:

- En barras largas (144 ó 288 metros)
- En barras elementales
- En barras soldadas de corta longitud, de hasta 36 metros.

La forma de transporte dependerá de la longitud de las barras.

Los defectos que se observan más habitualmente en el carril, aparte de aquellos en la superficie comentados anteriormente, son, por ejemplo, la aparición de un desgaste sólo de la zona interior por estar el carril en una curva, o una plastificación parcial del carril por tener que soportar el carril elevadas cargas por eje, o no se respeta la relación entre la carga q y el radio de la rueda, superándose las tensiones tangenciales admisible en el carril. Por eso en curvas muy cerradas se usan carriles con una dureza elevada (entre 105 y 110 kg/mm^2), para poder resistir estas tensiones elevadas.

Como referencia se puede tomar la normativa RENFE N.R.V. 7-3-8.0. [28] que indica lo siguiente:

* Limitaciones de calidad:

- Desgaste máximo de los laterales en cabeza de 6 mm. en cada lado.
- Desgaste total máximo de 21 mm. (RN45), 24 mm. (UIC54).
- Desgaste del alma máxima de 4 mm. (RN45) y 7 mm. (UIC54).
- Junto a brida desgaste inferior a 3,7 mm. hasta 2 cm. del extremo.
- Defectos de superficie originados por aplastamiento, desconchado, patinaje, desgaste ondulatorio...
- Defectos de patín que no permitan buen acoplamiento de la sujeción.
- Fisuras y deformaciones permanentes.

* Límite:

- Desgaste lateral en cabeza máximo de 8 milímetros en carriles RN45, 10 milímetros en carriles RN54 y 12 milímetros en los UIC60.
- Desgaste total excede de 21 milímetros si es modelo RN45, de 24 milímetros en UIC54 y de 27 milímetros en UIC60.
- El desgaste lateral alcanza el borde inferior de la cabeza o permite que rocen las pestañas de las ruedas con las bridas.
- El desgaste del alma excede de 4 milímetros en carriles RN45, de 7 milímetros en UIC54 y de 7,5 milímetros en UIC60.

También se deberán retirar y ser sustituidos todos aquellos carriles que presenten roturas en su parte superior (cabeza del carril) que puedan poner en peligro la seguridad y no permitan disponer se una superficie de rodadura continua.

Según la misma norma, la revisión de la vía se debe realizar comprobando 4 barras elementales, dos por cada hilo de la vía, examinando:

- Los extremos del carril.
- El desgaste lateral de su cabeza.
- El desgaste vertical.

- El desgaste del alma.
- Los defectos de la superficie de rodadura.
- Los defectos del patín.
- La existencia de fisuras o grietas.
- Las deformaciones permanentes.
- La inclinación del carril, midiendo 2 puntos en cada barra en los otros casos y cada 10 metros si son traviesas RS.

1.3.2.- Traviesas.

La traviesa es una pieza alargada de forma y material diverso, que comentaremos posteriormente, situada entre el carril-placa de asiento y la capa de balasto, cuyas funciones principales son:

- Servir de soporte a los dos carriles que forman la vía, asegurar su inclinación y mantener la separación de cada uno de los hilos de sus cabezas..
- Repartir sobre el balasto las solicitaciones verticales y horizontales que les transmiten los citados carriles.
- Contribuir, juntamente con las sujeciones, a mantener el aislamiento eléctrico entre ambos carriles en las vías con circuitos eléctricos de señalización.
- Conservar la estabilidad de la vía en el plano horizontal tanto en dirección transversal como en el plano longitudinal frente a esfuerzos debidos a variaciones de temperatura, para evitar su pandeo, por esfuerzos dinámicos de trenes, para impedir ripados de dicha vía.
- Conservar la estabilidad de la vía en el plano vertical ante los esfuerzos estáticos y dinámicos producidos por los trenes.

La función estabilizadora de las traviesas dependerá de sus características como:

- El ancho de su base y la altura de su canto, que contribuyen a estabilizarla longitudinalmente.
- Su peso colabora en su estabilidad longitudinal y transversal.
- En unión con las sujeciones proporciona a la vía una estabilidad elástica que absorbe las acciones mecánicas a las que está sometida y abarata su mantenimiento al evitar su deterioro.

Básicamente existen tres tipos de traviesas según materiales y tipología:

- Traviesas de madera
- Traviesas de hormigón:
 - * Traviesas bloque
 - * Traviesas monobloque.

Las traviesas de madera, definidas en la N.R.V. 3-1-0.0. [10], tienen diverso origen, por ejemplo madera de roble, de akoga, de haya o de pino. Deben cumplir las especificaciones que indican la U.N.E. 25.002-76 y la "Especificación técnica para el suministro de traviesas y cachas no inyectadas de roble, haya o pino".

Se usan aún en la actualidad en lugares donde la plataforma y el balasto forman una estructura con rigidez elevada, como en puentes metálicos. Si se opta por su utilización, deberán ser tratadas contra las afecciones que pueda sufrir, como la humedad (creosotadas), la aparición de fisuras (zunchadas) ... También será conveniente que estén taladradas para facilitar la colocación de las sujeciones (sean tirafondos, escarpas...). También deberán ir provistas de clavos fechadores donde se indica mediante dos cifras el año de su fabricación.

Se rechazarán o sustituirán aquellas traviesas que presenten una o varias grietas de longitud superior a 25 centímetros partiendo de cualquiera de sus cabezas y que vayan de una cara a otra. También se rechazarán aquellas que tengan una o varias grietas con un ancho superior a 4 milímetros.

Se podrán aceptar o mantener aquellas traviesas que tengan grietas en la cabeza siempre que estas tengan las siguientes limitaciones:

- Presentan anchos inferiores a 2 milímetros.
- No parece probable su corrimiento hasta la zona de los carriles.
- No atraviesan todo el espesor de la pieza.
- No tienen una longitud superior a 25 centímetros.
- Estén aún a tiempo de consolidar o corregir el defecto detectado.

El proveedor para mayor seguridad deberá entregarlas provistas de un refuerzo consistente en un zuncho, un pasador o una ese de acero. Y si la sujeción se coloca a posteriori (se extrae la traviesa y se arregla para reutilizarla) se deberá, en el caso que las grietas tengan un espesor superior a 2 milímetros, cerrar las grietas mediante prensas o mordazas que compriman la pieza para una mejor efectividad de las piezas de sujeción. El empleo o colocación de zunchos es imprescindible si las grietas son importantes o en varias direcciones. Si las grietas son poco numerosas o paralelas se puede optar a colocar pasadores con arandelas para impedir el punzonamiento de la traviesa.

De las traviesas de hormigón, definidas en las N.R.V. 3-1-2.1 y N.R.V. 3-1-3.1 ([11] y [12]), se disponen de dos tipos básicos: bloque y monobloque. A su vez, de cada una de ellas existen dos tipos en España para los diferentes anchos de vía y características: Monovalentes (BR-94,MR-93, ancho ibérico) o polivalentes (PR-90,PR-91, posibilidad de ancho ibérico o ancho internacional). En España se tiende a sustituir las traviesas bloque por las monobloque, por su resistencia (las monobloque se pueden pretensar) y disponer de más superficie de apoyo, con lo que reparte más las cargas aplicadas por la vía. La ventaja de las traviesas bloque es que son más ligeras y tienen buen comportamiento a los movimientos laterales (en Francia aún se usan con frecuencia).

Los problemas principales de las traviesas bloques son:

- Su alto coste debido al acero empleado en su zona central.
- No son las mejores traviesas en cuanto al mantenimiento de forma constante del ancho de vía, debido principalmente a su baja rigidez vertical y horizontal.
- Pueden presentar corrosión en la riostra central, así que no son aptas para lugares húmedos.
- Se comportan de forma deficiente ante los descarrilamientos.

Así en las inspecciones de las vías donde se haya utilizado traviesas de hormigón se deberá comprobar tanto el buen estado de ambos dados de hormigón como el de la riostra central de acero. También se controlará que los tres elementos sigan unidos y que no posean deformaciones que provoquen defectos en el ancho de vía.

Se considera que la traviesa ha fallado cuando deja de realizar su función principal de sujeción adecuada de la vía. Una forma de detectar que una traviesa falla es la observación o medida del aumento de la distancia entre vías o bien la incapacidad de conservación de la geometría de ésta.

Si se intenta analizar las diversas razones por la que se producen los fallos en las traviesas, se pueden encontrar diversas posibilidades:

- Agrietamiento de las traviesas de hormigón (exceso de cargas aplicadas, defectos en su fabricación...)
- Aflojamiento de las traviesas, con lo que se producen movimiento al paso de los trenes y desgaste de éstas.
- Rotura de la placa de base, sobre todo en el caso de las traviesas de madera.
- Podredumbre de la traviesa de madera.
- Apoyo incorrecto de la traviesa sobre la capa de balasto.

Cuando se observe alguna de las características anteriores en alguna inspección, se procederá al cambio de las traviesas afectadas para que no peligre la seguridad y mejorar la calidad de la vía.

El agrietamiento de las traviesas puede ser atribuido a varias causas, entre las cuales tienen especial importancia las mecánicas, sean internas o externas, la retracción del hormigón durante su fraguado y las transformaciones químicas del cemento durante este proceso. Aunque parece que estos procesos se producen generalmente durante su fabricación, también pueden originarse en otros momentos como los ocasionados al enroscar los tirafondos de las sujeciones cuando sus dimensiones exceden de las que deberían tener o cuando no se roscan en las entallas de las espigas (falso roscado). Se prohíbe por tanto la recepción de traviesas que presenten cualquier tipo de fisuras y se retirará aquella traviesa que por la razón que sea presente fisuras que pueda afectar a la vía.

Es difícil realizar un modelo de fallo general para predecir su renovación porque en este caso existen muchos tipos de traviesas y de sujeciones, comportándose cada tipo de una forma diferente puesto que la rigidez, forma de apoyo... varía según el material del que se compone y su forma. Como el gasto en traviesas es muy elevado, se desarrollan muchos modelos de su comportamiento, de porqué y cómo fallan las traviesas en la vía. Se ha observado en diversos estudios que cuanto más elástica es la traviesa, menor es su coste de mantenimiento (transmite en menor medida las cargas), aunque no se puede aumentar en exceso ésta por la estabilidad de la vía.

Para poder realizar esta predicción de fallo de las diferentes traviesas necesitamos como mínimo los siguientes datos:

- Datos de la infraestructura
- Fecha y número de sustituciones de las traviesas

- Motivos para la renovación de las traviesas

Una forma de controlar estos defectos es basarse en la normativa N.R.V. 7-3-8.0. [28] en la que se recomienda que se compruebe el estado de 20 traviesas, su descuadre y la distancia entre sus ejes. Además se indica que se considerarán inútiles:

- Traviesas de madera: Las quemadas, las podridas, las rotas y aquellas que presentan hendiduras longitudinales que coincidan con los taladros de los tirafondos.
- Traviesas de hormigón monobloque: Las que presentan grietas o roturas y las que no permitan una correcta posición de la sujeción.
- Traviesas de hormigón bibloques: Las que presenten fisuras o roturas y las que no permitan un perfecto anclaje de la sujeción. además se comprobará el buen estado de la riostra.

Así se considera que no cumplen una calidad aceptable aquellas traviesas bibloque que sean inútiles, que tengan la riostra torcida o partida, en las que tengan descuadre superior a 6 centímetros, o que la distancia teórica entre ejes sea superior a 5 centímetros. Se considera caso límite cuando se detectan 3 traviesas seguidas o más que se consideren inútiles.

Otro problema existente en cualquiera de los tres tipos de traviesas son el problema de las traviesas "bailadoras", considerándose que la traviesa no baila y está bien consolidada cuando su asiento es inferior a 1 milímetro (N.R.V. 7-3-5.0. [25]).

Otro aspecto al cual se le impone una tolerancia, por aspectos de calidad de la vía, es a la diferencia entre la posición real de la traviesa y a su posición teórica. En la N.R.V. se limita esta cantidad a 30 milímetros por condiciones de calidad.



Imagen 1.2, 1.3 y 1.4.- Traviesas de madera, hormigón bibloque y hormigón monobloque.

1.3.3.- Sujeción.

Las sujeciones son unas piezas que van unidas a la traviesa cuya función principal es agarrar el carril para fijarlo e impedir su movimiento al paso del tren. Las sujeciones pueden ser de dos tipos:

- Rígidas.
- Elásticas.

Un ejemplo de sujeción rígida son los tirafondos, las escarpas... Los tirafondos pueden ser tipo tornillo que se enroscan a la traviesa y aprietan el carril. Generalmente se ponen varios para sujetar los dos lados del carril (una configuración habitual suele ser en disposición de triángulo, con dos tirafondos a un lado del carril y uno al otro). Suelen ser usados en traviesas de madera. Las escarpas van clavadas a la traviesa (traviesas de madera), aunque están en desuso.

Las sujeciones elásticas habituales en las traviesas de hormigón suelen ser tipo grapa o clips. Los más comunes de este tipo son las H.M. (SKL-1), Nabla, SKL-12 y KD. Son las sujeciones típicas de traviesas monobloc. Existen otros tipos de sujeción (RN, P2, J2, Dörken ...) que aún pueden encontrarse en las vías pero están en desuso.

Será importante controlar en su colocación el par de apretado de las sujeciones para que aguante el carril pero que a su vez la tensión excesiva no produzca daños ni en la sujeción ni en el carril. En el control periódico de la vía se deberá vigilar que todas ellas realicen la función de apretado del carril, no habiendo ninguna rota o suelta, puesto que peligra la seguridad en la vía, sobre todo en las zonas donde el carril trabaja con mayores sollicitaciones, como en alineaciones curvas.

En la norma N.R.V. 7-3-8.0. [28] española se indican las particularidades de y las tolerancias que se aplican a las sujeciones, indicando las características para cada tipo. Generalmente se limita la holgura existente entre la sujeción y el carril en diversos puntos.

En el caso de las traviesas de madera, con el paso del tráfico se puede crear una holgura o desgaste en la unión entre la sujeción (la hélice del tirafondo) y el taladro en la propia madera, lo que puede propiciar la entrada de agua o de agentes corrosivos y llegar a eliminar la utilidad de la propia sujeción. También se produce desconsolidación de la sujeción por otras causas como la pudrición de la madera, hendidura longitudinal en la traviesa coincidente con los taladros de los tirafondos, desgaste fileteado del tirafondo y desgaste de la madera.

Un reapretado es un resultado engañoso, cuya utilidad desaparece en poco tiempo y a la larga no resulta útil, debiéndose proceder al cambio de traviesa. La mejor solución es reducir las hendiduras zunchando la traviesa, sustituir el tirafondo desgastado por otro nuevo, meter estaquillas en las traviesas y taladrar sobre ellas, o aún mejor si empleamos espirales Votok ya que podremos aprovechar algunos de los tirafondos desgastados, aprovechamos el taladro y obtenemos un apretado más firme.

Además en las traviesas de hormigón bibloque es la sujeción la que permite disponer de un sobrecancho de vía, por eso en estos casos se deberá controlar aún más su colocación y posición. En las de hormigón monobloc se consigue mediante placas acodadas.



Foto 1.5.- Sujeción elástica de carril.

1.3.4.- Soporte.

Las placas de asiento son unas piezas planas generalmente de plástico que se colocan entre los carriles y las traviesas. Se clasifican en placas de junta o placas intermedias según su posición en la vía. Estas placas proporcionarán a la vía características adecuadas de elasticidad en el plano vertical, evitando un contacto demasiado rígido entre el carril y la traviesa. La presencia de dichas placas aporta además otras cualidades como:

- Reducción del deterioro del balasto existente bajo las traviesas
- Protección de los aparatos de vía
- Salvaguarda las suspensiones de los vehículos (menos rigidez de la vía)
- Mejora la calidad de rodadura.
- Contribuye a la correcta posición del carril, tanto en lo que afecta a su inclinación como al ancho de la vía.
- Contribuye a evitar los desplazamientos longitudinales del carril.

La circulación de los trenes causa vibraciones en los carriles que deben ser amortiguadas, por eso las placas de asiento tienen una doble función y actúan a la vez como elementos elásticos y como amortiguadores.

Al principio los carriles iban directamente apoyados en las traviesas pero este sistema tiene el defecto de que los movimientos del carril liman rápidamente las traviesas (sobre todo si son de madera blanda) y las destruye con el paso de los trenes. El tipo de placa de asiento varía, además de por su rigidez, por el tipo de sujeción que se usa.

En este caso se deberá comprobar mediante la inspección de la vía que las placas estén en buen estado y separen bien el carril de la traviesa para que puedan realizar su función. También se pueden cambiar en caso de renovación si se considera que con placas más modernas y elásticas se mejora la calidad de la vía.

En la norma N.R.V. 7-3-8.0. [28] se indican algunas recomendaciones sobre tolerancias en la calidad de las placas de asiento, diferenciadas entre cada tipo de placa y sujeción. Así, por ejemplo, se deberán rectificar aquellas que se hayan desplazado, que interfieran con otros elementos de la vía o que se observe su mal estado.

1.3.5.- Balasto.

El objetivo que se persigue con la colocación de la capa de balasto entre la superestructura y la plataforma es:

- Repartir los esfuerzos transmitidos por las ruedas a la plataforma y absorber una parte de ellos.
- Reducir las acciones dinámicas producidas por el paso de trenes.
- Permitir crear una plataforma con la forma deseada, es decir, con una nivelación longitudinal y transversal y un peralte necesarios para el trazado permitiendo las correcciones en la alineación.
- Constituir un lecho elástico suavizador de la rodadura.
- Evitar las fugas de corriente, tanto de señalización como de tracción.
- Permitir el drenaje e impermeabilizar la plataforma.
- Permitir la evaporación de agua de las capas inferiores.
- Estabilizar tanto vertical, lateral como horizontalmente la vía, impidiendo los posibles desplazamientos.

Para cumplir estas funciones se le exige una serie de cualidades al balasto, definidas en las diferentes normativas ([15], [16] y [17]) que se puede resumir en los siguientes puntos:

- Elasticidad suficiente para poder absorber las solicitaciones de los vehículos y repartirlas correctamente.
- Resistencia eficaz para evitar posibles desplazamientos horizontales de la vía.
- Proporción de huecos adecuada, sin afectar a la elasticidad, para proporcionar al conjunto un buen drenaje de aguas.
- Estabilidad física frente a la acción del agua y del hielo.
- Ser fácilmente bateable para poder recuperar la calidad geométrica de una forma sencilla.

Para comprobar el estado del balasto en la vía, según la norma RENFE N.R.V. 7-3-8.0. [28], se tomarán dos muestras de balasto, una en cada hilo de la vía, comprobándose el espesor de balasto, el nivel de contaminación de la vía y la posibilidad de drenar el agua de lluvia hasta las cunetas. También se aprovechará para comprobar si se conserva las dimensiones adecuadas de la banqueta.

El balasto que se deberá añadir en toda renovación deberá ser de tipo silíceo y elaborado según la norma correspondiente, en España la NRV 3-4-0.0. [14], teniendo según esta última norma todas sus caras de fractura y un diámetro que generalmente oscila entre los 25 y 50 mm de grosor. Es importante el tipo de material porque si se usara balasto de tipo calizo se pueden presentar deformaciones el doble superiores al balasto silíceo (el calizo 0,05% de deformación posible) y a su vez el coste de mantenimiento es del orden de 15 a 25% superior. Por eso en líneas con mucho tráfico o alta velocidad se usa sólo balasto silíceo, mientras que el de tipo calizo se usa solamente en líneas poco importantes o en estaciones con poco tráfico. Así en aquellas líneas que se haya producido un incremento de tráfico y se sepa que el balasto es de tipo calizo se deberá prestar más control en su estado o optar por sustituirlo.

Los tamaños y los porcentajes de los elementos que forman el balasto vienen determinados mediante ensayos encaminados a la obtención de las mejores condiciones para lo siguiente:

- Facilitar el bateo mecánico
- Producir un buen asiento en las traviesas
- Obtener una banqueta elástica
- Asegurar la estabilidad horizontal de la vía.

Los elementos de menor tamaño deben ocupar los huecos existentes para proporcionar una superficie de contacto mediante la cual se estabilice la banqueta, pero no deben ser tan pequeños que actúen como lubricante. Si esto ocurriera, se impediría la citada estabilización y originarían deformaciones plásticas planteando menor resistencia frente a los desplazamientos horizontales de la vía. Diferentes estudios han permitido llegar a la conclusión que la oposición aumenta con el tamaño de la piedra y que la deformación plástica de la estructura aumenta si los elementos de menor tamaño representan más del 15% del total.

Las investigaciones sumado a al experiencia muestran que el balasto más adecuado es aquel formado por piedra partida cuya relación de tamaños, entre el máximo y el mínimo, es igual a dos. Por otro lado, el tamaño máximo no debe superar los 80 milímetros para el buen de las traviesas y que el detrito debe tener tamaños comprendidos entre 20 y 60 milímetros para facilitar el bateo y entre 25 y 60 milímetros para que la banqueta sea estable, vertical y horizontalmente. Los husos a considerar vienen reflejados en la N.R.V. 3-4-0.0. [14].

En resumen, el balasto usado tiene que tener un tamaño lo suficientemente pequeño para asegurar bastantes puntos de contacto para poder transmitir las tensiones entre ellos sin por ello romperse; pero deben tener suficiente espacio entre ellos para asegurar un apoyo y un drenaje correcto de la estructura.

Las muestras de la banqueta de balasto tomadas para analizar el estado de la misma se recogerán, generalmente, en los diferentes puntos kilométricos de la misma, elegidos según los criterios de los técnicos de la administración ferroviaria correspondiente. En banquetas de balasto uniforme será suficiente con tomar una muestra colectiva de entre

diversas traviesas. Si no tiene apariencia uniforme, deberá haber una distancia mínima de cuatro traviesas entre las diversas tomas para la muestra colectiva.

El espesor de capa vendrá regido por el proyecto y la tolerancia que se permite es de -2, +5 centímetros, con lo que en las diferentes revisiones comprobaremos que no haya excesivas pérdidas de espesor. Ha de tenerse especial cuidado de no alterar la granulometría del balasto en su transporte, en su almacenamiento y en su empleo.

Existen diversos tipos de ensayos para comprobar la clasificación y estabilidad de la roca, y así comprobar si ese tipo de balasto es adecuado para la vía. Un ejemplo sería ensayos de compresión simple, de resistencia al choque, resistencia al desgaste, estabilidad ante heladas...

El balasto es uno de los elementos estructurales más importante en la infraestructura y es el responsable, junto a la plataforma, de la mayoría de los asientos diferenciales que alteran la nivelación vertical de la vía. Así, a excepción de los suelos de baja calidad, la mayor parte del asiento se debe a la capa de balasto. Y el problema es que cuanto más asiento tiene una vía, más defectos aparecen porque será diferente el asiento para cada traviesa.

En el control y mantenimiento de las diferentes capas que influyen en el asiento de la infraestructura intervienen diversos factores:

- La naturaleza del tráfico que circula por la vía, es decir: las cargas por eje de los vehículos, su velocidad, número de toneladas circuladas, etc.
- La calidad geométrica de la vía compatible con ese tráfico.

Esto es importante porque a mayor tráfico circulante, mayores cargas y mayor asiento. Y a mayor espesor de balasto, mayor incremento del asiento para un mismo nivel de tráfico. De la comparación de estos dos puntos se puede aproximar el coste a dedicar en mantenimiento de la vía para obtener el servicio deseado, pero para tener valores más exactos necesitamos conocer el detalle de los factores que intervienen en la degradación de la vía, entre los cuales destacan:

- Las propiedades geométricas de las capas de asiento.
- Las características del balasto y de la plataforma.
- La distancia entre traviesas.
- Su funcionamiento hidráulico.
- Los efectos de las heladas.
- La fatiga de la plataforma.
- La dependencia de las acciones del conjunto subbase-plataforma.
- Los diversos levantes realizados en los bateos.

La contaminación por suciedad es el mayor problema de la capa de balasto. Esta contaminación tiene orígenes diversos, entre los que destacan los siguientes:

- Material arrojado por los vagones, material transportado por el viento o por la lluvia.
- Material pequeño generado bajo las traviesas por aplastamiento y trituración del balasto por la carga ejercida por el tráfico y la acción de la apisonadora.

- Posible penetración de material de subgrado cuando se rompe una capa vacía o cuando esta no existe.

Como norma general, podemos considerar que el resulta apropiado renovar el balasto cuando hay más del 30% de finos en la estructura o demasiadas partículas de tamaño menor a 22 milímetros. La limpieza del balasto es estrictamente necesaria cuando hay una contaminación superior al 40 % del balasto.

Para determinar si una zona de balasto está contaminada nos basaremos en inspecciones visuales y en observar si la capa dreña bien el agua que pueda circular en ella, generalmente al llover.

Como algunos de estos problemas son difíciles de evitar, se necesita poder predecir los daños que se producen en el balasto, y para hacerlo se necesitan una serie de datos:

- Datos de la infraestructura
- Procedencia del material (corte, levantamiento de tierras, cercanía de canteras o minas...)
- Profundidad de balasto
- Condiciones de drenaje
- Rigidez de cimientos
- Geometría de la vía
- Información relativa a los puntos de humedad

Para obtener todos estos datos se necesitará el proyecto constructivo inicial y cualquier intervención o modificado que se haya podido realizar en la vía a estudiar.

Además, de la propia piedra necesitaremos conocer de su estado inicial y del estado en el momento del análisis:

- El estado de ésta
- Granulometría
- Dureza
- Limpieza / Contaminación
- Forma de los áridos

La dureza del balasto la podremos determinar por ensayos clásicos a choque o a desgaste, y la utilización de un criterio o de otro dependerá de la administración. Entre los ensayos de este tipo los más comunes son:

- Deval
- Los Ángeles.

El coeficiente de Deval nos determina la resistencia a la abrasión, y cuanto mayor sea éste, mayor resistencia tiene y más durará el balasto. El coeficiente de Los Ángeles nos indica la resistencia al choque del balasto, que en nuestro caso es el producido al paso de la rueda, y cuanto mayor es, peor balasto tenemos. Generalmente se exigirá que el coeficiente de Los Ángeles sea inferior a 20. La normativa española N.R.V. 3-4-0.0. [14] referente al balasto recomienda que en el ensayo de Los Ángeles se admita hasta un 19% para el balasto de tipo silíceo y un 22% para el de tipo calizo, aunque debe vigilarse y realizarse los

ensayos según la norma porque los resultados son diferentes según la granulometría del material. La normativa también plantea que se puede controlar la resistencia al aplastamiento, medida por el BCV, para controlar la posible fragmentación del árido.

Esquemáticamente, las características del balasto y las funciones que desempeñan en la estructura son las siguientes:

TIPO DE ACCIÓN	FUNCIÓN A EXIGIR AL BALASTO	FACTOR A MEDIR
ACCIONES VERTICALES	Proporcionar elasticidad y amortiguamiento de las cargas	Espesor de balasto
	Resistencia a la abrasión	Coefficiente DEVAL
	Disminución de las presiones sobre la plataforma	Espesor de balasto
	Dimensiones y dureza	- Tamaños - Granulometría - Resistencia a la compresión de la roca
	Resistencia al choque	Coefficiente de Los Ángeles
ACCIONES HORIZONTALES	Dimensiones y compactación	- Granulometría - Dimensiones de la banqueta
ACCIONES CLIMÁTICAS	Drenaje y resistencia al hielo	- Granulometría - Resistencia a los sulfatos

Tabla 1.10.- Funciones del balasto y características exigibles.

El esfuerzo resultante del paso de los trenes produce los siguientes efectos en los áridos:

- Desgranamiento
- Redondeo de los cantos de los áridos
- Polvo y finos (colmatación)

La colmatación (saturación de la capa de balasto de polvo y finos) impide que se produzca el rozamiento resistente de los granos y dificulta el drenaje de líquidos a través del material.

La supervisión de la geometría será la herramienta que nos permitirá determinar la necesidad de la limpieza o de la renovación del balasto. Aún así, se optará sólo a la renovación del balasto o a su desguarnecido si la suciedad causa una pérdida de geometría no admisible, si impide el apisonado eficaz de la vía o si hay una carencia de drenaje que

suponga un peligro o que cause daños. La excepción a esto es que si habiéndose de efectuar trabajos de renovación de traviesas (por ejemplo), el renovar el balasto en la misma obra resulta más económico que la renovación a posteriori, se procederá al cambio de balasto. Por eso se necesitan estudios de degradación del balasto, para poder comparar los costes.

1.3.6.- Uniones.

Las uniones son los elementos que se colocarán en aquellos puntos donde se produce un cambio de carril, puesto que estos tienen una longitud limitada y necesitamos que funcionen (temporalmente o de forma fija) como un carril único.

Básicamente pueden las uniones ser de dos tipos:

- Junta
- Carril soldado continuo.

La unión con junta se basa en la colocación en la unión de los dos carriles alguna pieza que permita que funcione como un carril único. El mejor ejemplo es el uso de las bridas, que colocadas una en cada cara de la junta de los dos carriles, estando situado cada extremo de la brida en un carril diferente, sujetan al carril por dos tornillos que atravesarán el conjunto brida-carril-brida de lado a lado.

Esta unión se usa de forma temporal en líneas con mucho tráfico o que se exija calidad, porque no ofrece continuidad en la superficie del carril. En cambio resulta esencial en los trabajos de renovación de carril cuando sólo se puede trabajar durante la noche porque durante el día circulan trenes, puesto que permite la separación rápida de los carriles con solamente desatornillando las bridas.

Un inconveniente de este tipo de uniones que obliga a que su uso sea temporal es que con el paso del tráfico se generan vibraciones y altas cargas dinámicas con lo que se debe realizar un mantenimiento importante y se acelera el proceso de deterioro de la geometría vertical de la vía, deformación plástica de la cabeza del carril, peligrosas roturas del carril y también daños diversos en traviesas y sujeciones.

Las limitaciones más importantes sobre sus características son las siguientes:

- La abertura de una junta provisional no debe ser nunca mayor de 50 milímetros, y si alguna es superior a 25 milímetros irá provista con bridas con agujeros alargados y el vacío entre los dos carriles se cubrirá utilizando un cupón de longitud adecuada.
- Los descuadres entre los dos carriles no superarán los 3 centímetros en carriles UIC54.

La alternativa a esto que reduce considerablemente el número de inconvenientes es la unión mediante carril soldado continuo. Esta unión se basa en realizar una soldadura aluminotérmica para unir los carriles, una vez montados en obra. También se suele usar después de haber realizado la liberación de tensiones de la vía (se tensa el carril para que cuando con el calor se dilate no se produzcan deformaciones). Estas uniones deberán pulirse o amolar lo mejor posible una vez terminadas para suprimir la mayor parte de los

excedentes de la mazarota (componente de la soldadura) y dejar una superficie lisa para la circulación.

Recordar que como se ha comentado en el apartado 1.1.3 en las soldaduras aluminotérmicas es donde se encuentran la mayoría de defectos y suele ser un punto frágil del carril. Según la norma española NRV 3-3-2.1 de Marzo de 1992 [13] en las soldaduras sólo podrá subsistir una pequeña desigualdad de metal no superior a 0,5 milímetros. Por tanto en las diversas revisiones que se realicen se deberá controlar bien todos estos puntos y proceder a la reparación en caso de fallo.

Con este tipo de soldaduras además se deberá realizar la liberación de tensiones. Esta operación que lo que pretende es dejar el carril estirado evita que con el incremento de temperaturas se dilate el carril y se deforme la vía, aumentando el ancho de vía, provocando deformaciones laterales o problemas diversos. Como para realizar la liberación de tensiones se realiza otra soldadura, se deberá controlar cómo se realiza y el acabado de ésta.

Las soldaduras eléctricas tienen tolerancia de 0,5 milímetros y las aluminotérmicas admiten alturas menores a los 0,6 milímetros para vías cuya velocidad máxima sea inferior a 200 kilómetros por hora. En vías con velocidades superiores a los 200 km./h. la tolerancia en las soldaduras aluminotérmicas es hasta 0,4 milímetros.



Imagen 1.6, 1.7 y 1.8.- Unión mediante brida de madera, brida metálica y soldadura aluminotérmica.

1.3.7.- Desvíos y cruces.

Los desvíos son aquellos elementos que permiten al tren el cambio de vía de circulación. Sus características están definidas en la N.R.V. 3-6-0.0. [18]. Los cruces permiten que dos vías se intersecten al mismo nivel. De cada uno de estos aparatos de vía existen diversas variedades y se diferencian entre ellos tanto por el tipo de elementos que lo componen como por el ángulo del cambio.

Los elementos que lo componen le dan las características principales de resistencia y de vida. Así se comportará diferente según las traviesas (madera u hormigón), según el tipo de sujeción, carriles... teniendo una velocidad máxima admisible.

Además de los componentes también lo caracteriza el ángulo que forma la vía principal con la vía desviada. Este ángulo resulta muy importante porque el desvío constituye un elemento único y no se le puede aplicar un peralte. Así si queremos que admita velocidades altas deberá tener un ángulo pequeño para disminuir la aceleración centrífuga, pero esto implica que se deberá disponer de un desvío más largo.

La vida del desvío la caracteriza o bien los elementos que la constituyen (traviesas, interruptor...) o bien su utilidad (si resulta o no compatible con las velocidades de la línea).



Imagen 1.9 y 1.10.- Desvío y cruce de vías.

1.4.- Tráfico.

En una vía de tren cualquiera podemos tener tres tipos de tráfico:

- Tráfico de pasajeros
- Tráfico de mercancías
- Tráfico mixto (pasajeros y mercancías).

El problema surge al calcular el tráfico total, puesto que el efecto de cada uno de los diferentes tipos de tráfico en la vía no es el mismo debido a que, por ejemplo, las velocidades a las que circulan son diferentes y las aceleraciones que se producen y su efecto sobre las vías también son diferentes. De esta manera el tráfico no sólo dependerá de la carga por eje aplicada a la vía, sino de otros componentes diversos que deberán ponderar este valor.

Por eso se usa el cálculo de una variable dependiente del tráfico llamada tráfico ficticio, y según el resultado de este se clasifica la línea (según las normas de la UIC, ficha 714). El cálculo del tráfico ficticio se realiza de la siguiente manera:

$$T_f = S_v * (T_v + K_t * T_{tv}) + S_m * (K_m * T_m + K_t * T_{tm})$$

Siendo la primera parte del sumatorio dependiente del tráfico de viajeros y el segundo del tráfico de mercancías y sus términos:

- T_f el tráfico ficticio

- las variables S_v y S_m son los parámetros variables que dependen de la velocidad de circulación en la línea
- las variables K_t y K_m son parámetros variables dependientes de la distribución de toneladas por eje.

Según establece la ficha UIC 714 los valores del parámetro S_v pueden variar desde $S_v = 1$ para velocidades medias de circulación inferiores a los 60 kilómetros por hora hasta valores de $S_v = 1,5$ para velocidades superiores a 250 km/h., variando esta valor gradualmente con la velocidad. Estos valores se recogen en la siguiente tabla:

Velocidad (km/h)	S_v
$v < 60$	1
$60 < v < 80$	1,05
$80 < v < 100$	1,15
$100 < v < 130$	1,25
$130 < v < 160$	1,35
$160 < v < 200$	1,4
$200 < v < 250$	1,45
$v > 250$	1,5

Tabla 1.11.- Valores de S_v para las diversas velocidades de circulación

Para el valor del parámetro S_m que afecta al segundo término de la ecuación se considera la hipótesis que todos los trenes de mercancías suelen circular a velocidades bajas, generalmente alrededor o por debajo de los 60 kilómetros por hora, entonces generalmente se adopta el valor $S_m = 1$.

La variable K_t suele tener el valor 1,40 puesto que la carga de los trenes de viajeros no suele variar mucho. En cambio, para la variable K_m como en los trenes de mercancía la carga por eje varía dependiendo del tren, el valor de ésta varía entre 1,15 a 1,40 . Por ejemplo, para una carga de 22,5 toneladas por eje, $K_m = 1,3$. Sabiendo el valor de estos parámetros y conociendo el valor del tráfico de viajeros y de mercancías (T) podemos conocer el grupo UIC al que pertenece la línea calculando el tráfico ficticio, y según la ficha el grupo será:

Tráfico ficticio (T_f)(Toneladas/día)	Grupo UIC
$T_f > 130.000$	Grupo 1
$T_f > 80.000$	Grupo 2
$T_f > 40.000$	Grupo 3
$T_f > 20.000$	Grupo 4, 5

Tabla 1.12.- Clasificación de las vías por la UIC según tráfico ficticio

Una vez se conoce el grupo al que pertenece la línea que se está estudiando, la UIC indica unas recomendaciones del tiempo que debe transcurrir entre dos revisiones integrales de la vía. Como ejemplo, una línea del grupo 3 necesita una revisión integral cada aproximadamente dos años. Por norma general, para saber cuando realizar una revisión integral se le resta una unidad al número del grupo, obteniendo con que frecuencia (en años) como máximo debe pasar entre dos revisiones integrales de la vía. En líneas importantes (grupo 1) se deberá hacer cálculos específicos según la evolución de los fallos y el tipo de tráfico. Esto nos puede servir de criterio para planificar las revisiones o tener una idea de cómo se degrada una vía.

A pesar de las recomendaciones de la UIC, cada gestor de red ferroviaria usa sus propios criterios de clasificación de sus vías y su renovación. Así, por ejemplo, SNCF / RFF decide hacer las revisiones sin periodicidad fija, y se basa según los resultados de sus máquinas auscultadoras de vía (Bauzin) para la toma de decisiones. En España, RENFE / GIF posee una clasificación específica de sus vías, diferenciadas en tipo A, tipo A-1, tipo B y alta velocidad.

1.5.- Espectro de velocidades de circulación.

El espectro de velocidades de circulación es el detalle de las velocidades a las que circula cada tren en cada punto de la vía. Esta información nos puede ser útil para proporcionar, por ejemplo, datos sobre el punto en que se producen las aceleraciones y deceleraciones de los trenes, puntos débiles para la superficie del carril donde se puede originar más desgaste y formación de rebabas. Conociendo estos puntos cuando se realicen las inspecciones se observará con más atención estos tramos de vía.

Será importante en este espectro de velocidades que se descomponga en los diversos tipos de trenes de pasajeros y de mercancías, para un mejor análisis, puesto que las cargas y condiciones con las que circula cada clase de tren es diferente.

Esta información es muy importante para el cálculo del tráfico ficticio, tal como se ha visto en el apartado 1.4. relacionado con el tráfico, imponiéndonos la frecuencia de las revisiones integrales de la vía.

Otra razón para conocer el espectro de velocidades es que si para mejorar la calidad de la vía le queremos exigir unos tiempos máximos de circulación entre dos puntos sin modificar significativamente su trazado, deberemos imponer unas tolerancias a sus elementos, como una velocidad de circulación mínima en las curvas, unos peraltes, ... Así conociendo la velocidad a la que circulan antes de la renovación los trenes y la velocidad necesaria, se puede imponer los criterios necesarios.

1.6.- Tonelaje anual (tonelaje real y ficticio)

El tonelaje anual es la suma total de todas las cargas que circulan por la vía durante el año, sea calculado de forma real (la carga total sumada) o de forma ficticia (ponderada por las velocidades de circulación y el tipo de tren). Igual que para el espectro de velocidades, el conocer el tonelaje que circula por una vía nos sirve de herramienta para calcular otros elementos, como el tráfico ficticio, la carga por eje, las sollicitaciones de la vía y de la infraestructura...

Este tonelaje deberá estar descompuesto entre el tonelaje por tráfico de viajeros y el de tráfico de mercancías, ya que las velocidades a las que circulan estos dos tipos de trenes es diferente y por tanto las sollicitaciones que debe resistir la vía son diferentes. Esto también sirve de ayuda para calcular el tonelaje ficticio.

1.7.- Inspección

La inspección es la base de la detección de los defectos que van apareciendo a lo largo de la vida de una vía. A su vez, el tratamiento deberá encaminarse a la supresión de las causas que lo han originado para que no reaparezca y obligue a otra intervención sobre la vía. Para analizar las posibles causas del origen del defecto debemos disponer además de un inventario totalmente fiable de los trabajos realizados, punto que se comentará posteriormente.

Las mejoras técnicas introducidas con los años tanto en la inspección como en los elementos de la vía como en el material móvil han hecho variar los criterios a seguir y los métodos de control. Por ejemplo la aparición de las juntas soldadas provocó que desaparecieran muchos problemas en esos puntos (supresión de bridas). La mejor calidad en los elementos permite centrarse más en el control de la geometría de la vía. Además se ha tendido a sustituir el denominado control periódico de la vía por el mantenimiento según el estado de la vía, vigilancia que permite determinar los momentos en que se debe intervenir para seguir ofreciendo buena calidad al tráfico.

Existen diversas formas de inspeccionar, y el uso y la frecuencia de cada una de ellas dependerá de los criterios de revisión que impongan las diversas administraciones según la importancia de cada una de las líneas y los diferentes criterios que impongan. Toda la información que se obtiene de estas inspecciones ayudará a obtener los datos que, según los criterios citados en los apartados anteriores para cada uno de los elementos, ayudan a decidir si se debe considerar la renovación de la vía o no.

Así, para efectuar una buena vigilancia y conservación de la vía, se necesita lo siguiente:

- Un conocimiento detallado y continuo del comportamiento real de los elementos de la vía y del de las relaciones geométricas existentes entre ellos a través de la vigilancia, control y registro del estado de sus características.
- Una descentralización de los medios técnicos y humanos a aplicar.

- Una utilización sistemática de la maquinaria pesada de vía, ejercida por medio de una programación correcta de sus intervenciones.

En la normativa española se plantea el siguiente esquema del proceso a seguir para programar la conservación de la vía:

OPERACIÓN	MÉTODOS A UTILIZAR	RESULTADOS A OBTENER
* Control del estado de la vía	-Auscultaciones -Prospección geométrica -Medida de aceleraciones -Recorridos de vigilancia a pie -Recorridos de vigilancia en cabina -Control ultrasonoro de los carriles -Control de la superficie de rodadura de los carriles -Control del estado de los materiales de la vía	-Detección de defectos
* Diagnóstico	- Visita sobre el terreno de los puntos defectuosos	-Identificación de las causas
* Determinación de las medidas correctoras	-Normas N.R.V. -Instrucciones técnicas de mantenimiento -Experiencia	-Determinación del tipo y urgencia de la intervención. -Definición de: · medios humanos · medios materiales · intervalos · otras circunstancias
* Programación	-Confrontar los trabajos necesarios o prioritarios, con medios disponibles.	-Programa de trabajos a realizar con los medios propios -Programa de trabajos a realizar por contrata (gastos por explotación o inversiones).

Tabla 1.13.-Proceso de programación de conservación según N.R.V. 7-4-0.1 [29].

La forma más básica de inspección es la inspección visual a pie, existiendo una normativa específica para estos trabajos [30], encontrando más información en la referente a mantenimiento de vía [31]. La frecuencia con la que se revisa la vía depende de la velocidad máxima y del tonelaje que pasa diariamente, variando de unas cuantas veces a la semana en las líneas más importantes a alguna vez al mes en líneas con un menor tráfico. Resulta útil sobre todo para el control de posibles defectos de los elementos de la vía como

las traviesas, las sujeciones, los soportes como las placas de asiento, o hasta el propio carril. Además se podrá complementar la inspección con la ayuda de algunas herramientas, como por ejemplo para inspeccionar el estado del balasto situado bajo las traviesas.

En estas inspecciones se controlará de la infraestructura:

- El correcto funcionamiento de toda la red de drenaje.
- Estado adecuado de los principales elementos de la plataforma de la vía (paseos de vía, taludes...).
- Estado satisfactorio de la propia vía (banqueta, carencia de vegetación, buena alineación visual, elementos en buen estado...).

En la vía los elementos que el controlador deberá comprobar son:

* De los carriles:

- Inclinación
- Desgastes excesivos.
- Aplastamientos.
- Patinazos.
- Roturas (especialmente en época de fríos intensos).

* De las traviesas:

- Posición y estado
- Fisuraciones y grietas, en especial en las zonas próximas a los agujeros de los tirafondos o tornillos en traviesas de cualquier tipo y además en las cabezas de las traviesas.
- Traviesas consecutivas inútiles.
- Corros de traviesas "bailadoras".

* De las sujeciones:

- Sujeciones flojas.
- Sujeciones inútiles: aquellas que parezcan desconsolidadas, rotas o pasadas de apriete.

* Del balasto:

- Derrames.
- Banquetas escasas.
- Zonas contaminadas.
- Corros de traviesas "bailadoras".

* De las juntas:

- Aprietes de las sujeciones cercanas.
- Desgastes y el estado de éstas.
- Si tiene bridas, estado de estas y de los tornillos.

* Geometría de la vía:

- Desplazamientos visibles de la vía: baches, garrotes...

* Puntos singulares:

- Aparatos de vía.
- Aparatos de dilatación.
- Pasos a nivel.

En la normativa de RENFE se recomienda que las inspecciones visuales, realizadas en cada cantón por el capataz de brigada o por un obrero primero, debe tener una frecuencia

igual o inferior a un mes, realizando un parte al final de cada inspección para registrar el estado de la vía.

Existen diversos problemas con este método, como el disponer de suficientes recursos humanos, que en el caso de inspeccionar grandes líneas o se dispone de mucha gente o se necesita mucho tiempo. Además en este caso puede haber errores de anotación que pueden alterar los resultados de la inspección o que la detección de los diversos defectos existentes dependen de la destreza visual del inspector correspondiente.

Para suplir el defecto de la velocidad de control en las inspecciones a pie (demasiado tiempo y demasiados recursos humanos necesarios) se pueden realizar inspecciones desde la cabina de un tren. Suelen tener una periodicidad semanal, los suele realizar el Jefe de Distrito en las vías de su demarcación, viajando preferiblemente a bordo de los trenes más rápidos que circulen en esas vías, pero a mayor velocidad, más difícil resulta observar los defectos, dependiendo aquí también de la destreza sensorial (visual, movimientos...) del controlador para anotar los defectos. Aún así resulta útil para detectar defectos en la superficie del carril, en la alineación o nivelación....

Para una inspección de la geometría de una forma rápida existe los trenes de prospección geométrica, como el tren denominado Mauzin (en la red ferroviaria francesa), que permite recoger los datos de una forma más rápida y detallada que las indicadas anteriormente. Estas inspecciones son más esporádicas que las inspecciones a pie o en cabina, aunque el tren puede circular hasta velocidades de 200 kilómetros por hora, dependiendo del modelo del tren. Según la norma N.R.V. 7-4-0.1. [29] se recomiendan los siguientes ciclos de inspección geométrica de la vía:

Velocidad máxima (km/h)		Nivel de tráfico (MTBR)	Periodicidad aproximada
$v > 160$	y/o	$T > 10$	4 meses
$140 < v \leq 160$		$5 < T \leq 10$	6 meses
$v \leq 140$		$T \leq 5$	12 meses
MTBR= millones de toneladas brutas remolcadas T = tráfico de la vía			

Tabla 1.14.- Frecuencia de inspección mediante coche de prospección geométrica recomendada por la normativa de RENFE.

De la información obtenida el tren proporciona datos de tipo numérico y gráfico para la detección, localización y corrección de los defectos geométricos en la vía. Entre los diferentes datos se proporciona información de la nivelaciones longitudinal o transversal y la alineación. Todo esto se completa mediante la aplicación de sistemas informáticos que analizan los defectos y los divide en dos tipos:

- Defectos puntuales cuya reparación se considera urgente.
- Defectos que necesitan intervención a corto plazo.

Actualmente se están añadiendo a este tren otros sistemas de detección de otros parámetros de calidad de la vía, pero como aún se están desarrollando y sólo se usan en casos especiales como en líneas de alta velocidad y no en líneas convencionales, se comentará más en profundidad cuando se estudie ese caso. Por otro lado el problema de estos registros es que no permiten determinar las causas que originan el defecto y por tanto las medidas de reparación más idóneas a adoptar. En otras redes ferroviarias existen trenes parecidos que vienen a realizar las mismas medidas pero que reciben nombres diferentes, como en la red ferroviaria de Holanda (UFM120 en NS) o en la red de Bélgica (EM130 en SNCB).

Otra forma de inspección es el registro de aceleraciones en los bogies del tren y en el cuerpo del tren o de las interacciones vehículo-vía. Un ejemplo es el tren Mélusine usado en las ramas de TGV de Francia. Es un vagón que se intercala en medio del tren (normalmente entre la locomotora y el resto de vagones) que registra las interacciones antes mencionadas. Son de gran utilidad en detectar los defectos precozmente y así poder actuar de forma rápida. A veces se puede usar el sistema Ivoire para controlar la superficie del carril desde el propio tren, teniendo aún más información sobre el estado de la vía, pero por ahora se usa básicamente sólo en alta velocidad, por eso se comentará su utilidad más adelante. Los datos obtenidos de estos trenes son de tipo gráfico y numérico, y se procesan más adelante para conocer con más detalle y rapidez el estado de la vía. También se han desarrollado de forma conjunta con el sistema Mélusine sistemas de análisis de valores pico con su localización exacta, para una posible corrección rápida del defecto si se considera necesario.

Otro tren existente en el mercado es el usado en la red ferroviaria británica, el UFM160, construido por Plasser&Theuer que realiza trabajos de auscultación de vía. Puede medir una gran cantidad de parámetros con un simple paso y puede circular hasta 160 kilómetros a la hora. Dispone de varios sensores láser e inerciales con posicionamiento GPS que recogen mediciones sobre la geometría de la vía y el carril. Estos datos son enviados a los ordenadores del tren para su almacenaje en forma digital y su posterior estudio.

De los datos obtenidos de estos trenes, se destacarán aquellos datos que superen ciertas tolerancias. En el caso de la normativa española N.R.V. 7-3-5.5. [26] se indica que los datos obtenidos en las nivelaciones longitudinales se recogerán en una tabla donde se podrán comprobar las diferencias entre el valor teórico y el real, y las variaciones entre dos puntos, pudiendo comprobar posteriormente si cumplen las tolerancias impuestas que se han indicado en el apartado 1.2.2.

Existen además los equipos de control por ultrasonidos de los carriles, los cuales se usan generalmente en vías con mucho tráfico o en alta velocidad. Su trabajo se centra principalmente en el control de la interacción rueda-carril, analizando la superficie del carril y algunos posibles defectos por fatiga. Además también permite controlar los defectos interiores del carril y de sus uniones por soldadura. La periodicidad de utilización de este tren será la misma que el coche de prospección geométrica y se realiza mediante un vagón especial equipado con la maquinaria necesaria para realizar el control. Uno de los aspectos que se está desarrollando de este tren es que su velocidad de trabajo es

generalmente de 70 kilómetros por hora, lo que supone un inconveniente para trabajar el líneas de velocidad alta en jornada diurna. Otro problema cuya mejora en la detección está en fase de desarrollo es la aparición de los defectos por fatiga, que no siempre resulta fácil a detectar mediante ultrasonidos.

Existen diversos métodos alternativos a los ultrasonidos para el control de los defectos en los carriles, como las sondas de potencial por corriente continua, la verificación por corriente inducida o la prospección por rayos X, pero lo más usado es el uso de ultrasonidos por poseer mayores ventajas y haber eliminado el eco de entrada de la pieza a observar.

En la tabla siguiente se recogen la frecuencia de registro o inspección, según el tipo, en las vías francesas:

Tipo de inspección	Frecuencia
- Encargado de la zona -	
Inspección a pie	2 semanas
- Inspección general por el encargado de distrito -	
Inspección a pie	2 meses
Inspección en cabina	2 semanas
- Inspección especial -	
Coche control de geometría de la vía	6 meses
Coche control de aceleraciones	6 meses
Inspección ultrasónica del carril	12 meses

Tabla 1.15.- Frecuencia de inspección en las vías convencionales francesas (velocidad máxima entre 160 y 200 kilómetros por hora).

Para el control del estado de la superficie de rodadura de los carriles existen otros trenes destinados a localizar los desperfectos existentes en la cabeza del carril que pueden ser suprimidos por amolado de su superficie de rodadura. Un ejemplo de estos trenes son los usados en la red española, como el SPI-8 o el SM775 (el segundo posee mayor velocidad de trabajo), montados en el propio tren amolador o funcionando como una dresina independiente. Gracias a los datos obtenidos por estos trenes se puede planificar el amolado de los carriles.

Existe otro tren de inspección llamado Hélène que se encarga de controlar las instalaciones de señalización y de telecomunicaciones de la vía, en particular el buen funcionamiento de la transmisión vía-máquina. Este tren será usado posteriormente a la renovación de la vía para comprobar que todos los sistemas de comunicación funcionen correctamente.

También en algunos procesos de renovación se incluye la inspección, conservación y rectificación de la catenaria. Para esto existen diversas máquinas de diferentes

fabricantes, como la vagoneta de Plasser modelo DIC-40. Estas máquinas suelen estar dotadas de grúas hidráulicas para la inspección, pantógrafos especiales para el control del descentramiento de la catenaria y altura del hilo de contacto, pértigas detectoras de tensión y sistemas de aislamiento eléctrico para el trabajo personal, entre otros dispositivos.

1.8.- Costes

Una forma de tener una idea del coste real aproximado de la renovación de una vía es analizando el coste de los trabajos en diversas vías, extraer el coste por kilómetro comparando el grupo de la UIC en que se incluye la vía, o bien el coste de la renovación parcial de alguno de sus elementos que la constituyen.

Hay muchos ejemplos de los costes de renovación de una vía en la red ferroviaria española, y se han recogido unos cuantos en la tabla siguiente:

Tramo	Distancia (km.)	Coste (millones euros)	Coste/km.
La Garrovilla - Badajoz	54,4	45	0,82
Carranza - Arcentales	16,6	6,6	0,39
Marrón- Udalla	6,1	2,7	0,44
Orejo - Hoz de Anero	7,1	3,3	0,46
Treto - Marrón	8	4,09	0,51
Parga - Curtis	62	31,19	0,5
Betanzos Infesta - A Coruña	44	16,3	0,37

Tabla 1.16.- Coste de renovación de vía en diversos tramos de la red española.

Otro ejemplo en la red ferroviaria española es la renovación de vía entre Granollers i Maçanet, tramo situado en la línea Barcelona-Girona, correspondiente de forma aproximada al grupo 2/3 de la UIC. La renovación de este tramo de 40 kilómetros de vía doble costó aproximadamente 47 millones de euros, lo que supone un coste de 0,58 millones de euros por kilómetro de vía. En este caso la renovación fue total (se cambiaron balasto, traviesas y carril). También de renovación son los trabajos realizados en la comunidad de Galicia, entre los tramos de vía comprendido entre los municipios de Sarria y Monforte de Lemos, y entre Monforte de Lemos y Canabal. La longitud total de estos dos tramos es de 43,4 kilómetros y el coste total de la renovación ascendió a 27,9 millones de euros. El coste es inferior al caso anterior puesto que la calidad de algunos de los materiales colocados (como los carriles) es inferior y las posibles modificaciones de trazado (ripado) son menos importantes.

Si se quiere disminuir los costes de renovación, se puede optar por renovar sólo algunos elementos de la vía. Es el caso del tramo que discurre entre Castuera y Villanueva

de la Serena. Este tramo está comprendido en una línea de tipo C en el que las exigencias en la calidad de la vía son mucho menores que en líneas de mucho tráfico, y el proceso de renovación tan sólo consiste en la sustitución de las traviesas de madera existentes (en estado avanzado de degradación) por traviesas de hormigón y el cambio de carril de 45 kg/ml por carril de 54 kg/ml. Así la renovación de un tramo de 40 kilómetros tuvo un coste de alrededor de los 5,6 millones de euros, lo que supone 0,14 millones el kilómetro, cantidad bastante inferior a los costes por kilómetro de una renovación completa.

Otros ejemplos de renovación parcial de la vía son en la línea de tren entre Lleida y Tarragona en el tramo Lleida - Tárrega, tramo de vía única. En este caso se optó por renovar las traviesas de madera existentes en 10 kilómetros de la vía y el cambio de carril de 3062 metros, descargando cantidades pequeñas de balasto donde pareciera necesario. El coste total de estos trabajos tan sólo ascendió a 2,2 millones de euros. Si además sólo se pretende renovar las traviesas, como en el caso del tramo entre Majarabique y Los Rosales (Sevilla), la sustitución de 20.000 traviesas, equivalente a unos 12 kilómetros de vía, implica un coste de 1,7 millones de euros, disminuyendo aún más los costes de la renovación.

En la tabla siguiente se reflejan los datos correspondientes a los principales proyectos de renovación de vía en Francia durante el año 2002 según el artículo de Barberon, M. [35], con los kilómetros totales de vía, el coste de la ejecución de los trabajos y el grupo en que se engloba la vía. El coste por kilómetro resulta útil para poder comparar posteriormente el gasto generado según el tipo de vía o según los trabajos realizados.

Tramo de vía	Grupo UIC	Kilómetros	Coste (Millones €)	Coste/kilómetro
Valence - Pierralate	2/3	130	55	0,42
Grenoble - Montmélian	3	18	8	0,44
St. Denis- Dieppe	4	16	3,96	0,24
La Plaine - Hirson	3	10	4,52	0,45
Massy - Savigny	4	10	4,87	0,48
Lens - Ostricourt	3/4	14	7,83	0,55
Is/Tille - Culmont	3	10,5	7,19	0,68
Montauban - Castelnaud	3	54	27,78	0,51
Noisy - Strasbourg	2/3	47	29,9	0,63
Vierzon - Saincaize	5	10	5,41	0,54

Tabla 1.17.- Costes de renovación de vía en diversos tramos de la red ferroviaria francesa (RFF).

Como se puede observar el coste oscila en términos medios entre los 0,4 y 0,7 millones de euros por kilómetro. Esto variará dependiendo de diferentes factores, siendo más caro cuanto más calidad se quiera obtener a la vía, o dependiendo del estado de la vía antes de la renovación que se va a renovar (cuanto más degradado esté el balasto, menos

detritus se podrá recuperar y más trabajo en desguarnecido de la vía),o de la maquinaria usada...

Existe una excepción que es el tramo de Valence a Pierralate, que a pesar de ser del grupo 2/3 su bajo coste se debe a que se ha usado un nuevo sistema que permite realizar la renovación de entre 1000 y 1200 metros de vía en cada jornada nocturna, teniendo por tanto menos jornadas de trabajo nocturnas y menos coste (generalmente se consigue renovar de 300 a 700 metros en jornada nocturna en una obra normal). En cambio se observa que en el tramo de Noisy a Strasbourg al ser de una categoría superior el coste también es superior a la media.

También se puede realizar una renovación parcial de la vía, renovando solamente el balasto, sólo las traviesas o los carriles... En el cuadro siguiente se analizan los costes de cada trabajo siendo RB la renovación de balasto, RR la renovación de carriles, RT renovación de traviesas, REL levante de vía y MOD la modernización de la vía:

Tramo de vía	Grupo	Trabajos	Km.	Coste(millones euros)	Coste/k m.
Mantes - Cherbourg	5	RT+REL+MOD	124	15,7	0,13
Dijon - Vallorbe	5	RT+RR+REL	10	5,54	0,55
Mouchard - Bourg	5	RT+RR+REL	82	18,31	0,22
Grenoble - Montmélian	6	MOD	12	5,89	0,49
Bordeaux - Sète	5	RT+RB+REL	48	18,66	0,38

Tabla 1.18.- Costes de trabajos parciales de renovación en tramos de RFF

Como se observa el coste es igual o inferior, dependiendo del estado inicial de la vía y de las mejoras que se deseen obtener. Así en el caso del tramo de Mantas a Cherbourg como básicamente sólo se renuevan las traviesas, el coste por kilómetro es más bajo que en los otros casos que se renuevan más elementos de la vía. Esto será interesante a considerar porque en casos de vías con poco tráfico como el de estos tramos, si con una renovación de alguno de sus componentes se consigue una mejora sustancial, mejoramos la calidad de la vía con un menor coste. Para ello se necesitará conocer bien el estado de cada uno de los elementos mediante inspecciones y analizar el coste desglosado de la renovación de cada uno de ellos y el de la renovación del conjunto.

A esta forma de renovación se la conoce actualmente como "regeneración progresiva". Es un método de regeneración bastante bueno sobre todo para líneas de tráfico medio y que cada vez se utiliza con más frecuencia. Tiende a enfocar la renovación de aquellos elementos más gastados en la vía sin olvidar el control de los demás. Así enfocan la renovación en las traviesas de madera, los carriles en curva... ya que suelen ser los elementos que más sufren el paso del tráfico y del tiempo.

En general, las líneas con tráfico elevado no resulta óptimo aplicar esta regeneración progresiva si el envejecimiento de los 3 elementos básicos (carriles, traviesas y balasto) sigue el mismo ritmo, llegando al final de su vida útil casi al mismo tiempo. Pero cada vez más se intenta repartir los costes de mantenimiento de la red ferroviaria, y como una renovación completa es muy costosa se intenta limitar los gastos, efectuando renovación sólo en aquellos elementos y puntos que más lo necesitan.

1.9.- Trabajos realizados previamente.

Resulta de mucha utilidad disponer del historial de cambio de los componentes de la vía. De esta forma, si ha habido operaciones puntuales de cambios de traviesas o de carriles desde la construcción inicial de la vía, se puede plantear una renovación parcial cambiando sólo algunos de los componentes, reduciendo el coste de los trabajos. Además el cambio repetido de los elementos en una zona puede deberse a factores externos a las propias características del elemento (problemas de la estructura de la base, por ejemplo), con lo que será más fácil detectar el problema y encontrar una solución.

Otra utilidad es para comprobar si, una vez reparado un problema, la solución adoptada fue correcta y puede ser aplicada en la aparición de problemas de la misma índole en otros puntos.

Además de conocer los datos de los elementos existentes, también será importante conocer la frecuencia con la que se ha usado las máquinas para corregir algunos aspectos de la vía, como por ejemplo el paso de bateadoras para nivelar la vía, o el paso de la pulidora para mejorar la superficie del carril.

Esto es importante para ver, además del tiempo transcurrido desde la última mejora de vía y el estado de esta en ese momento, si los materiales que se usaron en su construcción fueron adecuados para el nivel de tráfico, y en que medida se deben mejorar estos. Así si se observa que se debe nivelar muy a menudo, es que existen fallos en el balasto y las traviesas, mientras que si se observa la aparición frecuente de ondulaciones en los carriles se deberá plantear el uso de carriles de mayor peso o mayor dureza para aumentar su resistencia. Además de esto también podremos, conociendo en que puntos se producen mayores defectos de alineación o nivelación, adoptar soluciones específicas para tener que recurrir con menor frecuencia al bateo.

1.10.- Costes de conservación posteriores

Paralelamente al proyecto de renovación de la vía, se puede plantear el realizar un estudio sobre la planificación y previsión de gastos de conservación posteriores a la obra, basado en las inspecciones y las intervenciones de mantenimiento puntuales, destacando su evolución en el tiempo.

Si el coste de conservación posterior de la vía es muy alto porque debido a la mejora se incrementa el tráfico, será interesante conocer si renovando con materiales de mayor calidad para no tener que recurrir tanto a la conservación.

Este estudio resulta ser útil para compararlo posteriormente con el gasto real. Si las previsiones son inferiores al gasto real podrá ser debido a que el proceso de renovación no resultó tan efectivo como se esperaba y se deberá incidir en la mejora de ese aspecto.

Un ejemplo de la importancia de los costes de mantenimiento se refleja en el siguiente gráfico extraído de la publicación de Coenraad Esveld titulada *Modern Railway Track* [1] que refleja la importancia en las líneas ferroviaria danesas (NS) los costes de mantenimiento respecto los de renovación. En el año 2000 el estado holandés se gastó 180 millones de euros entre mantenimiento y renovación. De todo este gasto, tres cuartas partes se dedicó a renovación y la otra cuarta parte se utilizó en el mantenimiento habitual de la vía.

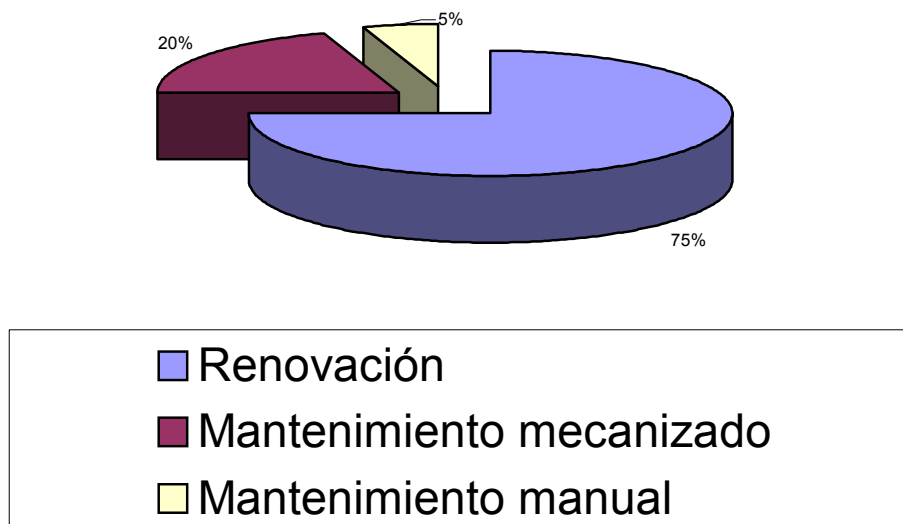


Gráfico 1.2.- Porcentajes destinados a mantenimiento y renovación en NS.