

ANÁLISIS DE LA SOLUCIÓN DE VÍA FERROVIARIA EN BALASTO FRENTE A VÍA EN PLACA Y MONTAJE DE SUPERESTRUCTURA EN LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-ZARAGOZA-BARCELONA-FRONTERA FRANCESA. TRAMO PUENTE DE EBRO-LLEIDA. LA EXPLOTACIÓN Y EL MANTENIMIENTO DE LA VÍA EN PLACA Y LA VÍA SOBRE BALASTO.

Memoria

Trabajo Final de Grado

Titulación: Grado en Ingeniería Civil
Curso: 2015/16

Autor: Martí Blázquez, María del Mar
Tutor: Ricardo Insa Franco

Valencia, junio de 2016

ÍNDICE DE LA MEMORIA

ÍNDICE DE DOCUMENTACIÓN ADICIONAL	3
1. Anejo Geotécnico	3
2. Anejo de Trazado	3
3. Anejo Topográfico	3
<u>1. OBJETO DEL PROYECTO</u>	<u>4</u>
1.1 PROBLEMAS DE LA VÍA SOBRE BALASTO	4
VUELO DEL BALASTO	4
<u>2. INFORMACIÓN DE LA LAV</u>	<u>5</u>
2.1 HISTÓRIA DE LA LÍNEA	5
2.2 LOCALIZACIÓN DE LA LÍNEA	5
2.3 ENCUADRE GEOTÉCNICO	6
Desmante Zaragoza.....	7
Terraplén Peñalba.....	7
Terraplén Lérida.....	7
Desmante Lérida.....	7
2.4 CLIMATOLOGÍA E HIDROLOGÍA	8
2.5 TOPOGRAFÍA	8
2.6 DESCRIPCIÓN DE LA VÍA DE BALASTO	9
CAPA DE FORMA	9
SUBBALASTO	9
BALASTO.....	9
TRAVIESAS Y SUJECCIONES	9
PLACA DE ASIENTO.....	9

CARRIL.....	9
ELECTRIFICACIÓN.....	9
<u>3. VIABILIDAD DE IMPLANTAR VÍA EN PLACA.....</u>	<u>9</u>
3.1 TRAZADO	9
VÍA EN PLACA	9
VÍA SOBRE BALASTO	10
3.2 GEOTECNIA	10
ALTURA TERRAPLENES.....	10
MÓDULO Ev2.....	10
TERRENO TIPO Qs2 y Qs3.....	10
BERMAS.....	11
COMPROBACIÓN DE HUNDIMIENTO	11
ASIENTOS.....	11
INESTABILIDAD GLOBAL.....	11
3.3 DRENAJE.....	12
VIA EN PLACA	12
VÍA SOBRE BALASTO	12
<u>4. MANTENIMIENTO</u>	<u>12</u>
4.1 MANTENIMIENTO COMÚN DE AMBOS TIPOS DE VÍAS.....	13
AUSCULTACIÓN	13
AUSCULTACIÓN DINÁMICA	14
AUSCULTACIÓN POR ULTRASONIDOS DEL CARRIL.....	14
AMOLADO Y ESTABILIZADO DEL CARRIL	14
REVISIÓN DE COMPONENTES DE LAS SUJECCIONES	15
LIMPIEZA DE DRENAJES	15
DESPEJE , DESBROCE Y RIEGO HERBICIDA	15
REPARACIÓN SOLDADURAS	15
RENOVACIÓN DE CARRILES	16

4.2 DIFERENCIAS DE MANTENIMIENTO	16
NIVELACIÓN, LEVANTAMIENTO, ALINEACIÓN Y BATEO DE LA VÍA.....	16
REGULACIÓN Y PERFILADO DEL BALASTO.....	16
DEPURACIÓN Y DESGUARNECIDO DEL BALASTO	16
ESTABILIZACIÓN DINÁMICA.....	16
MARCAJE DE RIPADOS Y LEVANTES DE VÍA	16
SUSTITUCIÓN DE TRAVIESAS.....	16
INYECCIONES	17
<u>5. PRESUPUESTO</u>	<u>17</u>
5.1 UNIDADES DE OBRA	17
VÍA SOBRE BALASTO	17
U01 ml.....	17
U02 ml.....	17
U03 ml.....	17
U04 ml.....	17
U05 ml.....	17
U06 ml.....	17
U07 m³.....	17
U08 ud.....	17
VÍA EN PLACA.....	17
U01 ml.....	17
U02 ml.....	17
U03 ml.....	17
U04 ud.....	17
5.2 PRECIOS UNITARIOS, PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL Y PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN.....	17
VÍA SOBRE BALASTO	18
VÍA EN PLACA.....	24

<u>6. CONCLUSIÓN</u>	<u>27</u>
VUELO DEL BALASTO	27
TERRAPLEN	28
DESMONTE, TRAZADO Y DRENAJE.....	28
TÚNELES Y VIADUCTOS	28
COSTES.....	28
<u>7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	<u>30</u>

ÍNDICE DE DOCUMENTACIÓN ADICIONAL

1. Anejo Geotécnico
2. Anejo de Trazado
3. Anejo Topográfico

1. OBJETO DEL PROYECTO

El trabajo se desarrolla en la línea de Alta Velocidad Madrid – Barcelona – Frontera Francesa. El estudio se realiza sobre el tramo de línea de vía entre Pina de Ebro y Lérida.

La línea de la que se parte es la descrita por mi compañera de grupo Antonia Mestre el curso pasado. Se trata de una vía de Alta Velocidad sobre balasto.

El objetivo del trabajo es estudiar la viabilidad de construir la línea de Alta Velocidad en vía en placa.

Para la adaptación de una solución concreta, ya sea balasto o placa, se realiza una reflexión técnica basada en estudios técnicos y económicos particularizados para éste tramo de línea.

Se describirán las condiciones geotécnicas, climáticas e hidrológicas a las cuales se encuentra el tramo de línea. Posteriormente se expondrán los requisitos técnicos que demanda la vía en placa y se comprobarán si la vía en balasto actual los cumple.

Además se tendrán en cuenta las operaciones de mantenimiento de cada tipo de vía junto con su coste económico. Y así, se realizará un estudio comparativo final de costes construcción – mantenimiento para diferentes periodos de vida de la vía.



Figura 1. Tramo LAV Madrid-Barcelona-Frontera Francesa.

1.1 PROBLEMAS DE LA VÍA SOBRE BALASTO

La vía en placa es una solución superior a la vía sobre balasto, con grandes ventajas sobre ella. Tiene una baja necesidad de mantenimiento, alta disponibilidad y condiciones aerodinámicas. La estabilidad de la vía en placa proporciona una gran calidad de la marcha, que se mantiene en el tiempo.

Sin embargo, todo ello se ha conseguido a base de múltiples fracasos y decepciones de todo tipo, condicionando la normal explotación.

La vía sobre balasto ha respondido perfectamente al incremento de solicitudes a que ha sido sometida, tanto en velocidades (574 kilómetros por hora) como en carga (45 toneladas por eje). Esto ha sido posible mediante la modernización del armamento de vía.

Además de la variable económica, de decisiva importancia, la razón de la permanencia de la vía sobre balasto hay que buscarla en sus prestaciones. Aunque el esquema estructural y la concepción de sus componentes sea propia del siglo XIX, ha sabido adaptarse con leves cambios a las nuevas necesidades.

La pega de la vía sobre balasto son su gran necesidad de mantenimiento y, para alta velocidad, el vuelo del balasto.

VUELO DEL BALASTO

El vuelo del balasto es un problema de las líneas de alta velocidad. En el paso de trenes de velocidades cercanas y superiores a 300 kilómetros por hora, se crea un flujo turbulento (mayoritariamente detrás de los bogies) que puede levantar alguna partícula de balasto de modo individual.

Esta partícula levantada no tiene inicialmente excesiva velocidad, pero se ha desplazado suficiente del lecho como para rebotar contra las ruedas o los bajos del tren. Es en este momento cuando la partícula sale disparada otra vez debido al impacto del tren circulando a alta velocidad, y esta vez sí tiene una alta energía cinética. Esta primera piedra levantada y rebotada, vuelve al lecho de la vía y golpea el balasto, levantando a su vez más piedras por el efecto del impacto, que a su vez pueden rebotar contra el tren, y crear lo que se llama una "nube" de balasto, donde partículas de balasto van rebotando continuamente entre la vía y los bajos, ruedas, y bogies del tren.

También puede ocurrir el caso de que las piedras reboten contra las traviesas de la vía. Entonces, el efecto repercute directamente sobre los bajos del tren, ya que la partícula que rebota en la traviesa de forma relativamente elástica, es muy probable que golpee con bastante energía a los bogies, carriles, rodales, ejes, timonería de freno y demás partes auxiliares cercanas.

En cuanto a los daños sobre el carril, pueden darse o por golpeo directo de las partículas sobre la cabeza del carril, o por aplastamiento de granos de balasto sobre él. El aplastamiento se produce cuando parte de algún grano que ha salido volando o rebotado se queda encima de la cabeza del carril, y es aplastada por el paso de una rueda del tren, provocando defectos en la superficie inicialmente plana del carril. Sea como sea, en ambos casos, se crean irregularidades sobre la parte del carril donde existe el contacto entre la rueda, y aumenta los esfuerzos dinámicos sobre la vía.

Otra causa demostrada que produce el vuelo de balasto es la acumulación de nieve en los bajos de tren. En países y regiones frías, donde la nieve es un fenómeno habitual, los copos se van acumulando en los huecos

existentes entre bogies y partes bajas de la carrocería. Esta nieve queda compactada formando pequeños bloques de hielo que al desprenderse y caer en la vía pueden llegar a impactar con suficiente fuerza como para levantar las partículas de balasto, haciendo de efecto catalizador para que se forme otra vez la llamada "nube" de balasto antes comentada.

Una de las soluciones que se han adoptado, desestimando el uso de ligantes bituminosos por temas de medio ambiente y por ser una solución perecedera, es rebajar dos centímetros de balasto por debajo de la cara superior de las traviesas, incluso en la parte inferior del carril, para facilitar la salida del aire. Será posible realizar esto siempre que esté acompañado de los estudios de estabilidad de la vía pertinentes.

Otras de las medidas utilizada en Japón es cubrir el balasto con unas esteras.

Además, este problema hace que la degradación del balasto aumente y, por lo tanto, es necesaria una frecuencia más alta de renovación del balasto y con ello un aumento en el coste de mantenimiento.

Este es un tema en el cuál se necesita un estudio exhaustivo por el hecho básico de si éste problema es una limitación definitiva para la vía sobre balasto.

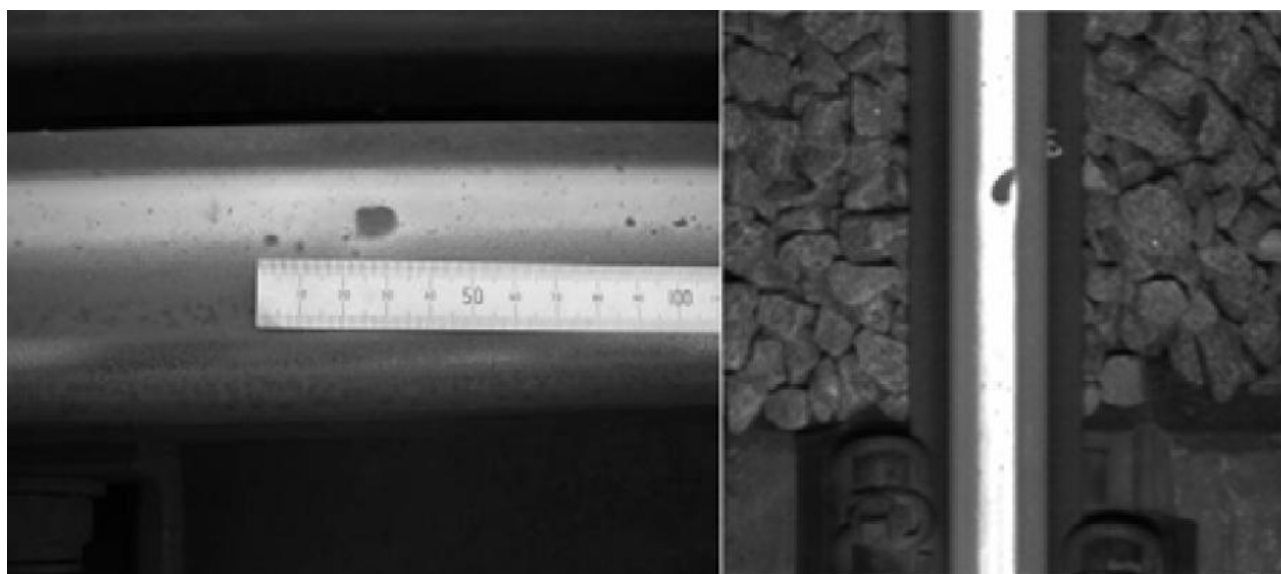


Figura 2. Defectos del carril por el vuelo del balasto

2. INFORMACIÓN DE LA LAV

2.1 HISTÓRIA DE LA LÍNEA

El 4 de marzo de 1994 el Gobierno aprueba el P.D.I. (Plan Director de Infraestructuras). En el mismo se da prioridad a la ejecución de la línea de Alta Velocidad Madrid-Barcelona-Frontera Francesa para, de este

modo integrar a España en la Red europea de Alta Velocidad, completando el eje básico ya iniciado con la línea de Madrid-Sevilla.

En la Cumbre de Essen, en diciembre de 1994, se aprobó este proyecto para formar parte del Esquema Director de la Red Transeuropea de Alta Velocidad.

Los primeros tramos se licitaron en 1993 y en 1995 se iniciaron los trabajos. El tramo Madrid – Zaragoza – Lleida, de 443 kilómetros de longitud y una inversión de 4.500 M€, entró en servicio en octubre de 2003, con trenes Alaria y AVE Serie 100 procedentes de la línea Madrid – Sevilla. Inicialmente sólo alcanzaban velocidades punta de 200 km/h, durante el periodo de implantación de un nuevo sistema de señalización, el Ertms nivel 1, que permitiría aumentar progresivamente la velocidad. Así, en 2006, con el nuevo sistema instalado por primera vez en España, los trenes AVE alcanzaron velocidades máximas primero de 250 km/h, luego de 280 km/h y finalmente de 300 km/h en mayo de 2007, lo que redujo considerablemente los tiempos de viaje.

En 2008 la línea conectó las ciudades de Madrid y Barcelona. Tras sus primeros cinco años de funcionamiento, entre 2008 y 2013, los servicios de Renfe Madrid-Zaragoza-Barcelona han registrado un total de 27,2 millones de clientes. De éstos, cerca de 16 millones corresponden a relaciones que enlazan Cataluña con Madrid.

Esta línea de alta velocidad favorece el transporte de viajeros entre la Península Ibérica y el resto de Europa y posibilita que las capitales catalanas queden unidas por uno de los sistemas de transporte con mayores prestaciones del contexto internacional y enlazadas tanto con Madrid, Zaragoza y otras ciudades españolas, como con Francia (desde diciembre de 2013), una vez puesta en explotación la conexión directa de alta velocidad para pasajeros entre Barcelona y París el pasado 15 de diciembre.

Esta infraestructura cohesionará todo el territorio y permite impulsar el crecimiento económico de nuestro país.

2.2 LOCALIZACIÓN DE LA LÍNEA

La línea tiene una longitud total de 804 kilómetros y es uno de los principales ejes de comunicación de España con Europa.

El estudio se realiza sobre el tramo Puente del Ebro – Lleida, abarcando una longitud de 93.4 kilómetros. El tramo tiene su origen en Pina de Ebro localizado en el término municipal de Zaragoza y finaliza en la estación de Lérida. El trazado del tramo pasa por las localidades de Pina de Ebro, La Almolida, Bujaraloz, Vallfarta, Peñalba, Candanos, Ballobar, Zaidín, Vallmanya, Alcarrás y Lérida.

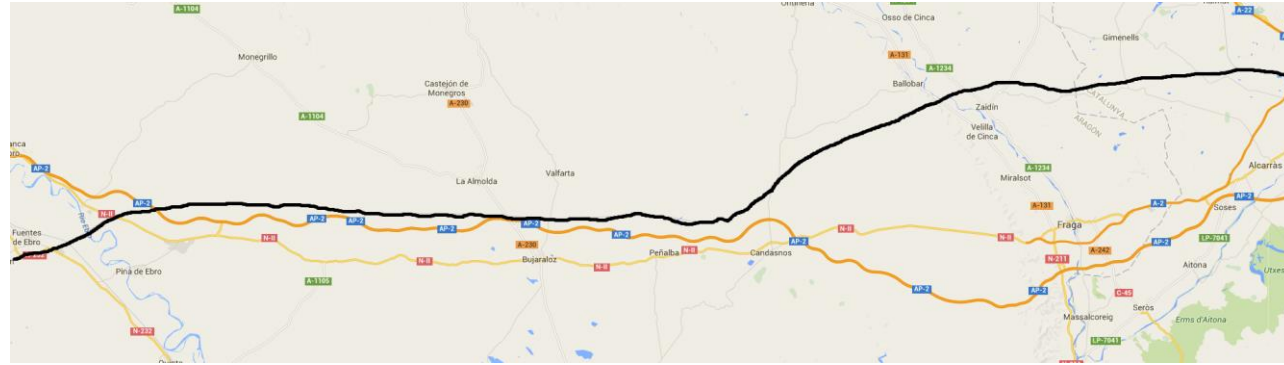


Figura 3. Trazado de la Línea de Alta Velocidad entre Pina de Ebro y Lérida

2.3 ENCUADRE GEOTÉCNICO

Consultando la cartografía del Instituto Geológico y Minero de España, situamos el área de estudio en la Depresión del Ebro entre las ciudades de Zaragoza y Lérida. Coincide con la gran cuenca terciaria del NE de la Península Ibérica, limitada por los sistemas montañosos pirenaicos, celtíberos y costero-catalanes.

Entre los relieves y las depresiones, en esta zona se alcanza una altitud mínima y máxima de 90 m y 595 m respectivamente, con una altura media situada entre 300 y 400 metros.

La red fluvial principal está constituida por el río Ebro que actúa como colector de los numerosos vales existentes en la zona. El río Ebro discurre con dirección aproximada O-E por la zona meridional del área estudiada, dibujando meandros pronunciados y presenta una morfología de encajamiento progresivo con sentido hacia el este de la zona. En el resto de la red fluvial de menor orden existente en el área, predominan los valles de fondo plano ("vales"), así como algunos barrancos de incisión lineal.

Para el estudio de las características del terreno del tramo Puente del Ebro- Lleida, se han escogido tres puntos próximos a la línea. Uno al principio del tramo, situado en el polígono industrial de Malpica, próximo a Zaragoza. El segundo en los alrededores de Peñalba (Huesca), y el tercero, en el tramo final de este recorrido de la vía, próximo a la localidad de Fraga.

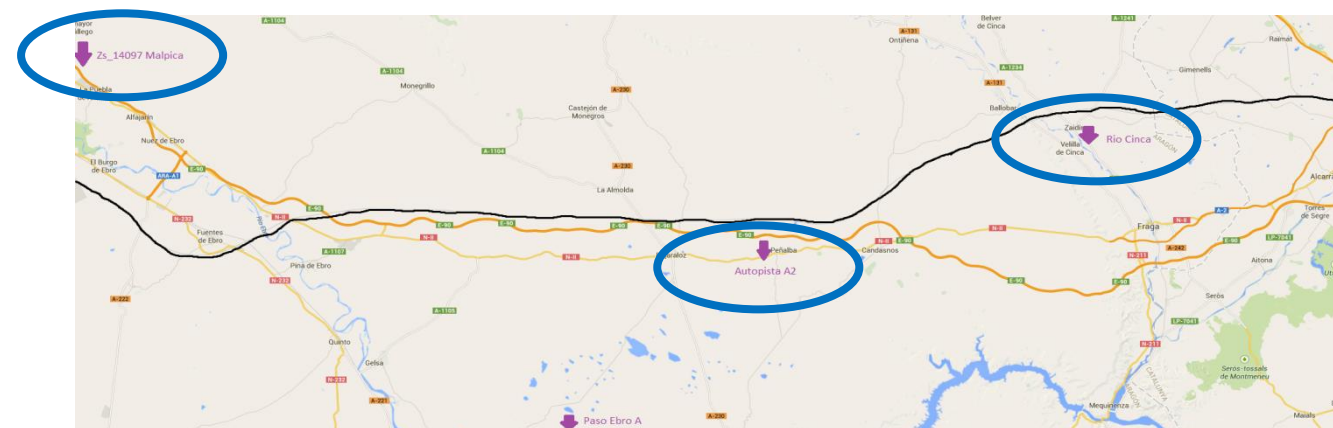


Figura 4. Puntos de estudio cercanos a la línea

En estos puntos se han realizado sondeos, calicatas, ensayos, tanto in-situ como en el laboratorio, se han tomado muestras para el reconocimiento del terreno. Posteriormente, unificando y clasificando las características y propiedades del terreno se han obtenido, en los tres puntos significativos, la estructuración del terrenos en estratos.

Todos los sondeos, calicatas y ensayos se pueden comprobar en el Anejo Geotécnico adjuntado.

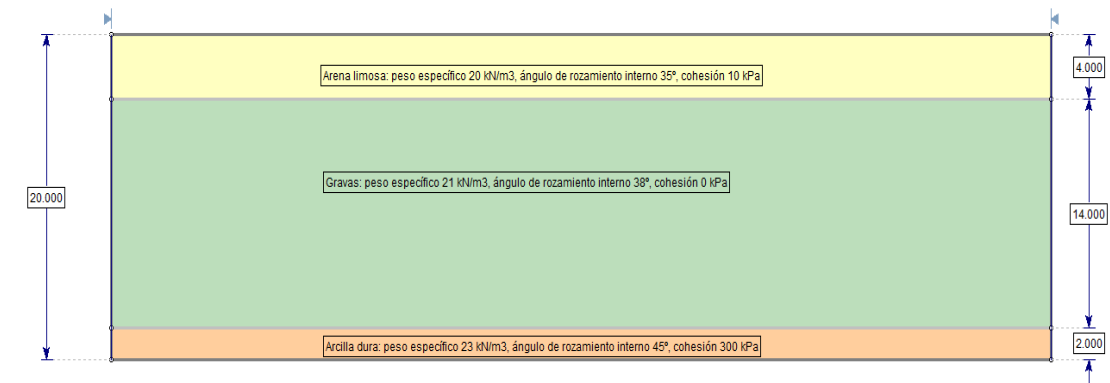


Figura 5. Unificación terreno en la zona de Zaragoza

En las proximidades a Zaragoza, como se muestra en el dibujo, se tienen en la superficie una capa de arenas limosas (4 metros), a continuación 14 metros de gravas, y en lo más profundo 2 metros de arcilla dura.

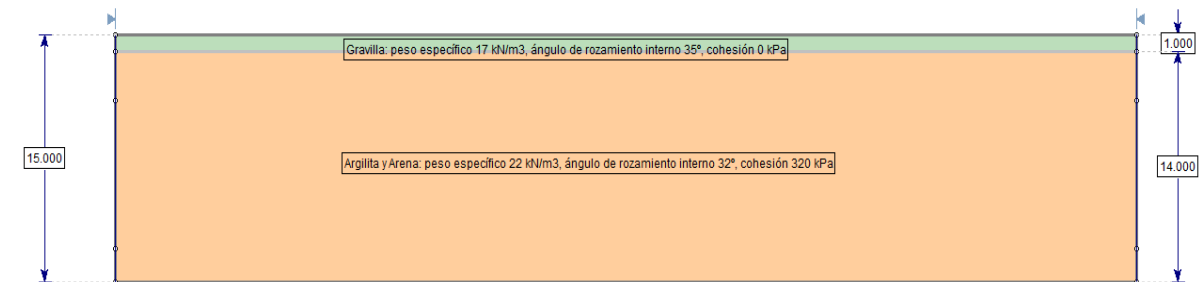


Figura 6. Unificación del terreno en la zona de Huesca

En Peñalba (Huesca), el terreno son prácticamente argilitas y arenas excepto el metro superior que está compuesto por gravilla.

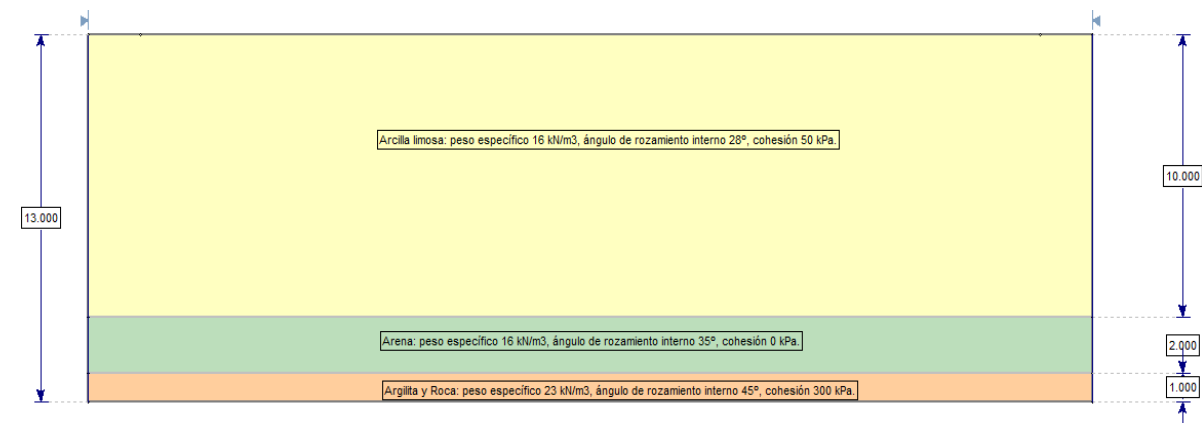


Figura 7. Unificación del terreno en la zona de Lérida

En las proximidades a Lleida, los 10 metros superiores son arcillas limosas, los dos metros siguientes arenas, y por último, un metro de argilita y roca.

Es importante mencionar que el terreno descrito corresponde al terreno natural antes de cualquier tipo de actuación. A la hora de realizar las comprobaciones de hundimiento, estabilidad y asentamientos, el terreno se verá modificado parcialmente por la excavación de los desmontes, por la ejecución de terraplenes y por la sustitución de los primeros metros del terreno por otro más competente. Este terreno más competente es suelo estabilizado 3, según la N.R.V. puede considerarse QS3.

En caso de que alguna comprobación requiera más terreno que el mostrado en este punto, se supone que el último estrato llega siempre hasta el final del bulbo de presiones.

Los tres puntos escogidos, además de por su localización geométrica, se han elegido por sus características de obras de tierra. En Zaragoza, la totalidad de las obras de tierra son de desmonte; en Peñalba, son todo terraplenes y; en las proximidades a Lleida, hay tanto terraplenes como desmontes. Se pueden observar en el plano 2, P.K. 300+600 del Subtramo III; en el 12, P.K. 507+200 del Subtramo V; y en el plano 7, P.K.703+600 y 704+100 del Subtramo VII. Además, los terraplenes y los desmontes escogidos y analizados son los más desfavorables.

Desmonte Zaragoza

En Zaragoza, el desmonte elegido para el estudio tiene 11,78 metros de profundidad, un talud 2H:1V con bermas de 3 metros a cada lado situadas a 6 metros de profundidad. Desde la superficie del terreno, se encuentran 4 metros de arena limosa (peso específico 20 kN/m³ y E= 30 MPa), a 4 metros de profundidad se encuentra también un nivel freático colgado, de forma que la gravas se consideran saturadas pero para el resto de la comprobación no se considera la presencia de nivel freático. Este fenómeno ocurre al tener las gravas sobre un estrato impermeable. A continuación, el terreno sigue con 8 metros de gravas (peso específico 21 kN/m³ y E= 50 MPa). Por último, aparece un estrato de argilita y roca (peso específico 23 kN/m³ y E= 70 MPa), este estrato continúa hasta alcanzar la profundidad donde el bulbo de presiones deja de tener influencia.

El plano de cimentación se sitúa en el fondo del desmonte, se considera un ancho de 14 m y al ser corrida (por ser una obra lineal), el área de influencia del bulbo asciende a 4*B = 56 metros. Justo debajo de la vía se sitúa un estrato de 2 metros del terreno sustituido (peso específico saturado de 22 kN/m³ y E= 75 MPa)

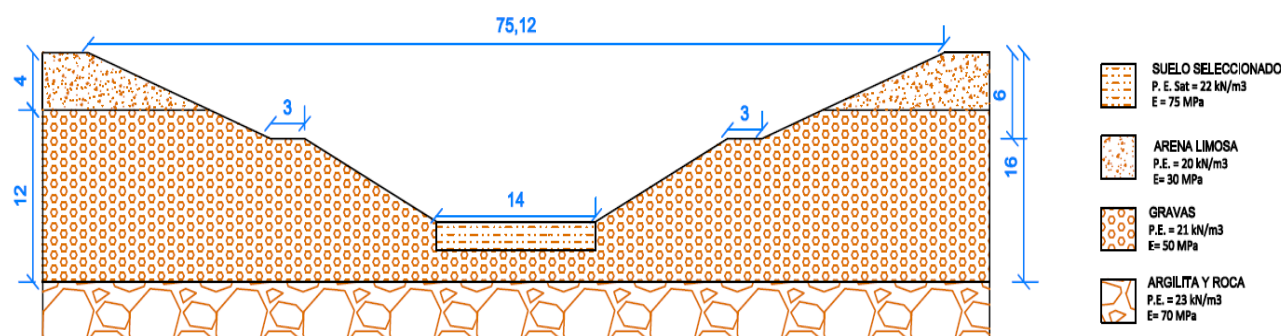


Figura 8. Desmonte de Zaragoza

Terraplén Peñalba

Las características del terraplén cerca de la autopista A-2, en Huesca, son las siguientes. El terraplén tiene un talud de 2H:3V, una altura de 7 metros y un ángulo de 35°, una coronación de 14 metros (vía doble) y una base de 34 metros. Los dos primeros metros del terreno son suelo seleccionado (peso específico aparente 19 kN/m³ y módulo de elasticidad, E= 75 MPa). A continuación, se encuentran argilitas y arenas (peso específico 22 kN/m³ y E= 500 MPa) hasta alcanzar la profundidad de 4*B = 4* 34 = 136 metros.

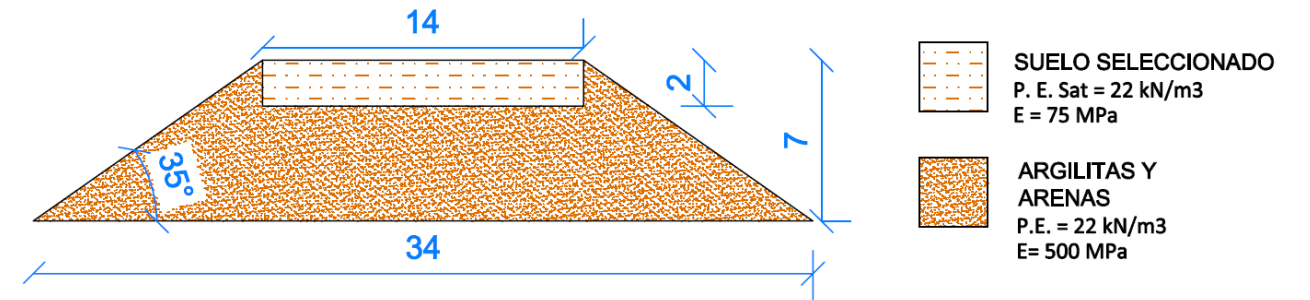


Figura 9. Terraplén de Peñalba

Terraplén Lérida

En Lérida, el terraplén tiene un talud de 2H:3V, una altura de 10,11 metros y 35°, una coronación de 14 metros y una base de 42,88 metros. Respecto al terreno tenemos los dos primeros metros de suelo seleccionado (peso específico aparente 19 kN/m³ y módulo de elasticidad, E= 75 MPa); de los 2 a los 10 metros, arcillas limosas (peso específico 16 kN/m³ y E= 70 MPa). A continuación, 2 metros de arenas (peso específico 16 kN/m³ y E=40 MPa,) y finalmente, hasta los 156,92 metros encontramos argilitas y rocas (peso específico de 23 kN/m³ y E= 500 MPa).

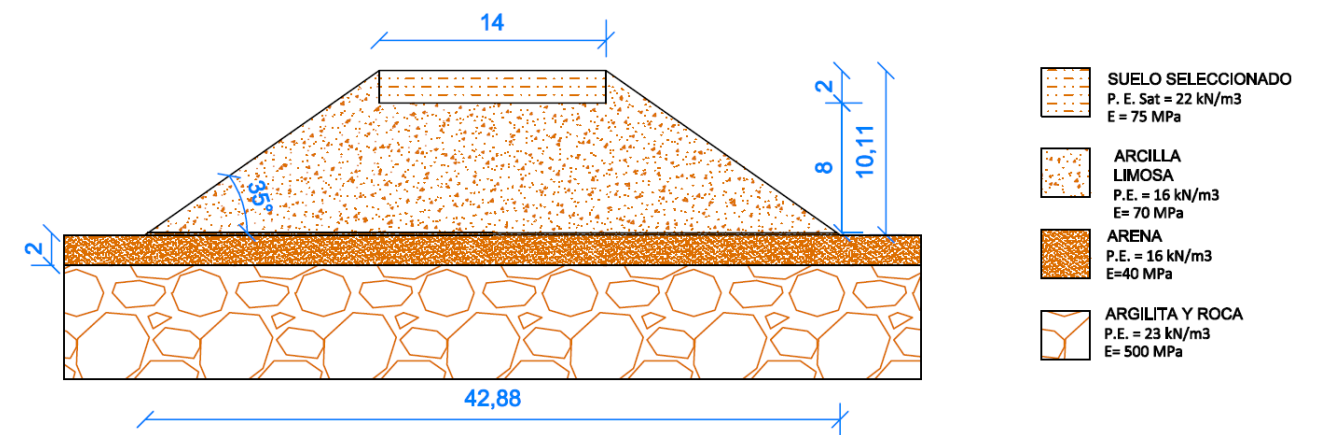


Figura 10. Terraplén de Lérida

Desmonte Lérida

En Lérida, el desmonte tiene una profundidad de 13,39 metros con un talud 1H:1V. Partiendo desde lo alto del desmonte se puede apreciar un estrato de arcillas limosas de 10 metros (peso específico 16 kN/m³ y E= 70 MPa). A continuación, le sigue un estrato de 2 metros de arena (peso específico 16 kN/m³ y E= 40 MPa).

Por último, se encuentra un estrato que llega hasta el final del área de influencia del bulbo de presiones, compuesto por roca y argilita (peso específico 23 kN/m^3 y $E = 500 \text{ MPa}$).

La base del desmonte, considerado el ancho de la zapata, mide 14 metros. Debido a la obra lineal que supone la vía, se supone la zapata corrida y por lo tanto el área de influencia del bulbo es 56 metros. A partir del fondo se desarrolla un estrato de 2 metros de suelo sustituido (peso específico de 19 kN/m^3 y $E = 75 \text{ MPa}$). Después de este estrato, aparecen la argilita y roca ya descritas. En toda el área del bulbo de presiones no se detecta nivel freático.

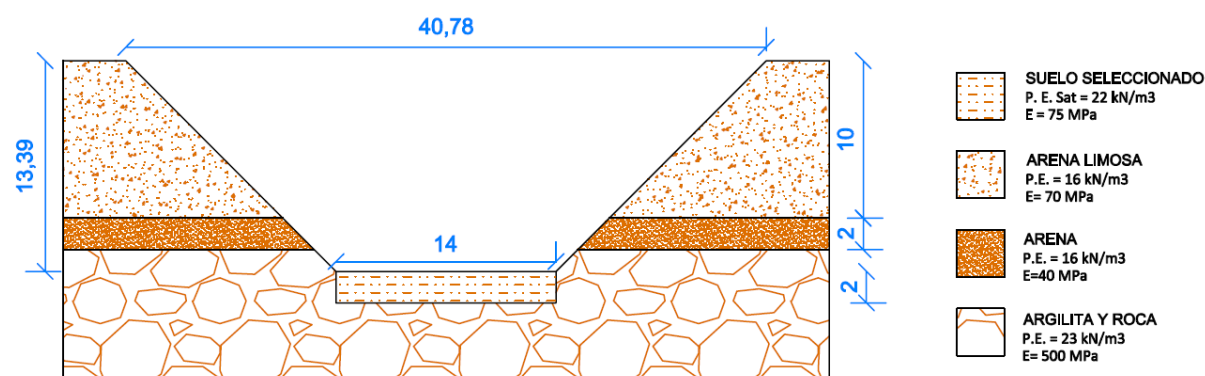


Figura 11. Desmonte de Lérida

En la zona de Zaragoza se encuentran zonas de yesos, pero éstos no afectan a la zona de actuación de las obras del tramo de línea Zaragoza – Lleida. Aun así, se ha realizado un estudio que se puede consultar en el Anejo Geotécnico.

No es obligatorio el uso de la Norma de Construcción Sismorresistente NCSE-94 debido a que la aceleración sísmica de cálculo es inferior a $0,06\text{-}g$. La aceleración sísmica de cálculo depende de la ubicación del tramo de estudio en el mapa de Peligrosidad Sísmica, y éste se encuentra en la zona de aceleración sísmica básica, es decir, con un valor de $0,04\text{-}g$.

2.4 CLIMATOLOGÍA E HIDROLOGÍA

En la catalogación hidrogeológica llevada a cabo por el Instituto Tecnológico Geominero de España y el Servicio Geológico de Obras Públicas (MOPU-MINER, 1988), modificada posteriormente en el Plan Hidrológico de la cuenca del Ebro (MIMAM, 1999), la zona de estudio se incluye en el Dominio de la depresión del Ebro próximo a las cercanías del Dominio Ibérico Maestrazgo-Catalánides.

La zona situada entre Zaragoza y Lérida, por donde discurren las obras de construcción de la vía, pertenece a la cuenca hidrográfica del Ebro.

Las condiciones de precipitación y temperatura serán muy similares en todo el tramo estudiado.

Por tanto en lo que se refiere al medio físico, según la AEMET, nos encontramos en una zona de la península Ibérica con un el clima del área corresponde a un ambiente morfoclimático semiárido, con

valores de precipitación y temperatura medios anuales de 350 mm y $15 \text{ }^\circ\text{C}$ respectivamente, y una evapotranspiración potencial de 760 mm , este valor hace que haya un elevado déficit hídrico, en cuanto a precipitación- evaporación, especialmente en los meses de verano

Respecto a la permeabilidad de los materiales aflorantes en el entorno de la planta, se tiene que los materiales aluviales cuaternarios (gravas y gravillas con arenas) se caracterizan por permeabilidades del orden de $10^{-1}\text{-}10^{-2} \text{ cm/s}$ "permeabilidad alta". Los valores de permeabilidad del sustrato rocoso terciario se estiman en torno a 10^{-7} cm/s , ("impermeables").

En los sondeos realizados en Zaragoza, se observó la existencia de un nivel de agua, también se detectó en aquellas calicatas más próximas al cauce del río y topográficamente poco elevadas respecto al nivel del mismo.

Este nivel freático corresponde en realidad a un nivel freático colgado, debido a unas gravas situadas sobre un estrato impermeable. Realmente el nivel freático real no afecta a la realización de las obras de construcción de la vía a pesar de que se haya detectado agua en los sondeos realizados en Zaragoza. A efectos de cálculo, se considerará las gravas con peso específico saturado pero no se considerará la presencia de agua.

2.5 TOPOGRAFÍA

Los trabajos topográficos realizados han consistido en la toma de datos de la capa de forma.

La red básica fue creada en el año 1992 a lo largo de toda el trazado de la Línea de Alta Velocidad. Se realizó en el terreno mediante una poligonal básica, empleándose para ello hitos de centraje fijo distanciados entre ellos alrededor de un kilómetro.

Iniciando por unas coordenadas de partida, los Hitos de la Red Básica, excepto en el Subtramo III, que en este caso, son substituidas por las implantadas por la Asistencia Técnica de este Subtramo, como fruto de las comprobaciones llevadas a cabo al inicio de la obra, se ejecutan los trabajos de topografía y de replanteo.

Cuando ha sido necesario garantizar la precisión exigida se implantaron Bases de apoyo en la plataforma próximas a las zonas de trabajo.

Todos los trabajos se han realizado a escala 1:1000 facilitada por el G.I.F.

Para el replanteo se emplean métodos clásicos de topografía, señalando mediante piquetes y estacas los puntos que servirán de referencia para la posición en planta y en alzado.

Sin embargo, a partir de la primera nivelación, antes de la neutralización de tensiones, y en la segunda nivelación, previa a la recepción de la vía, se utiliza el método de la cuerda larga. Todo ellos queda más desarrollado en el Anejo de Topografía.

2.6 DESCRIPCIÓN DE LA VÍA DE BALASTO

La vía de la cual partimos es la vía sobre balasto que mi compañera de grupo Antonia Mestre describió el curso pasado. Se van a destacar los aspectos generales de la plataforma y la superestructura como partida del estudio posterior objetivo del trabajo.

CAPA DE FORMA

Según la norma N.R.V. y el PG- 3, la capa de forma debe de tener un espesor de 30 centímetros de material estabilizado con cemento procedente de cantera (suelo estabilizado tipo 3).

Como la capa de forma está integrada por un suelo de buena calidad (QS3) no se ha colocado un geotextil entre la capa de forma y subbalasto.

SUBBALASTO

Según lo dispuesto en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares de GIF para este material se dispone una capa de 30 centímetros de espesor.

El subbalasto, puesto que tiene unas características muy similares a la zahorra artificial, se extraído de unas canteras próximas a la traza de la vía que cumplen los requisitos exigidos de calidad por la norma.

Debe de cumplir en el Ensayo de Proctor Modificado que el 95 % de los puntos tengan una densidad seca superior o igual al 100% de la densidad seca óptima del Proctor Modificado. Al menos un 50% de roca machacada, un coeficiente de Los Ángeles menor o igual a 24 y que el resultado del Deval seco será superior a 12 y superior a 6 en el Deval húmedo. Y finalmente, su valor mínimo de la deformabilidad del suelo compactado es $E_{v2} > 1400 \text{ Kg/cm}^2$.

BALASTO

El balasto tiene un espesor de 30 centímetros y se sitúa encima de la capa del subbalasto.

Su función es la de transmitir y repartir la carga de los trenes, empotrar en sentido longitudinal, dar elasticidad y permitir el drenaje.

TRAVIESAS Y SUJECCIONES

Se utilizan Traviesas Monobloque de 320 kilogramos de peso, 6500 centímetros cuadrados de superficie y una longitud de 2600 milímetros. Se colocan a una distancia de 60 centímetros entre ellas.

Las sujecciones empleadas son sujecciones elásticas tipo Vossloh SKL 14, utilizando dos por traviesas.

PLACA DE ASIENTO

Es una placa de caucho de 200 x 175 milímetros colocada entre la traviesa y el carril para conceder mayor una mayor elasticidad vertical a la vía.

CARRIL

El carril empleado es el UIC 60 con un peso de 60 kilogramos por metro lineal de vía. Su competencia es la de resistir de forma directa el peso de los vehículo y las acciones dinámicas generadas por la velocidad. Los carriles van soldados entre sí.

ELECTRIFICACIÓN

Se utilizan postes eléctricos tipo X2B y X3B embebidos en un macizo de hormigón cada 65 metros, que sujetan el cable sustentado de la catenaria. Una base maciza de hormigón, una ménsula, el equipo de suspensión y atirantado forman el poste.

Dado que es una línea de Alta Velocidad la catenaria es tipo RENFE en el cual se emplea un único hilo de contacto de corriente alterna de 150 milímetros cuadrados de sección y a 5,30 metros de distancia de la cabeza del carril. Para evitar el desgaste se le proporciona una excentricidad de 20 centímetros y, al cable la misma pendiente del carril.

El cable sustentador es de 100 milímetros cuadrados y las péndolas de sección de 25.

Para evitar los posibles daños por corrientes residuales se incorporan algunos elementos de seguridad. Los aisladores, evitan que la corriente de los elementos conductores pasen a los apoyos y a tierra; los seccionadores, que separan distintos tramos de catenaria, así en caso de avería, no sería necesario el corte de toda la línea; el cable de tierra, uniendo todos los elementos de la catenaria los mantiene al mismo potencial y; el pararrayos, que protege la catenaria de sobretensiones causadas por tormentas eléctricas.

La corriente alimenta al tren y termina en el carril hasta que debe volver a la subestación. Éstas se disponen en los seccionamientos para alimentar a toda la vía.

3. VIABILIDAD DE IMPLANTAR VÍA EN PLACA

En este apartado se va a referir, sobre cada aspecto relevante de la construcción de la vía, las características que demanda la vía en placa y, a continuación, las propiedades actuales en la vía sobre balasto. Así comprobaremos si es posible o no la implantación de vía en placa.

3.1 TRAZADO

VÍA EN PLACA

La normativa de RENFE obliga a las líneas de Alta Velocidad a diseñar y construir curvas con radios superiores a 5000 metros.

Cómo la vía está proyectada para uso exclusivo de tráfico de pasajeros en Alta Velocidad, la normativa permite peraltes de 200 milímetros. Y el valor límite de insuficiencia de peralte está entre 60 y 80 milímetros.

La pendientes, según la norma, deben ser inferiores al 25 ‰.

La aceleración sin compensar, también en Alta Velocidad, se limita a valores de 0,39 o de 0,42 m/s^2 , sin superarse los 0,42 en ningún caso.

Respecto la máxima variación de la aceleración sin compensar, ADIF recomienda limitar a un valor de 0,2 m/s^3 .

Se debe limitar el alabeo en transiciones con clotoide a 1,5 mm/m.

En cuanto a los cuerdos verticales, los radios de curvatura en transición vertical para una velocidad de circulación de 350 Km/h para Alta Velocidad rondan los 61250 metros.

Finalmente la aceleración centrífuga vertical en las transiciones verticales deben de encontrarse entre 0,2 y 0,4 m/s^2 .

VÍA SOBRE BALASTO

La plataforma es de vía doble para una velocidad máxima de 350 km/h y tiene una anchura de 14 metros.

El ancho de vía es el estándar, es decir, 1435 milímetros. La separación entre ejes de carril es de 1,507 metros. Y la entrevía es de 4,7 metros.

En planta, el radio mínimo es de 6615 metros para una velocidad de 350 Km/h. El resto de radios se encuentran entre los 5000 y 7000 metros, por lo que no habría ningún impedimento respecto los radios a implantar la vía en placa. Además, es una característica que se tenía que cumplir debido a que en vía en placa se permiten radios menores.

Cómo se comprueba en el listado de datos del Anejo de Trazado, el máximo peralte de la vía son 160 milímetros y el menor valor de peralte son 32 milímetros. Por lo tanto, respecto al máximo peralte cumpliría con un amplio margen pero hay cuatro curvas tendrían insuficiente peralte. El ángulo de rozamiento del balasto es inferior que el hormigón de la losa de la vía de placa, lo que permite alcanzar peraltes mayores y como consecuencia una mayor comodidad de los viajeros y una mejor orografía del terreno.

La vía tiene una pendiente máxima de 25‰, por lo que cumple para vía en placa.

La máxima aceleración sin compensar es de 0,402 m/s^2 , no supera en ningún momento los 0,42 m/s^2 que indica la norma.

Respecto a la máxima variación sin compensar, el máximo valor de la vía es de 0,094 m/s^3 , también cumple.

El máximo valor del alabeo en transiciones con clotoide es de 0,35 mm/m. Es inferior al 1,5 mm/m que indicaba la norma.

Los radios de curvatura en transición vertical son de 60500 aproximadamente, por los que sí que rondan los 61250 metros.

Las curvas de transición en alzado no se supera una aceleración centrífuga vertical mayor de 0,4 m/s^2 .

CARACTERÍSTICA	PLACA	BALASTO	CUMPLE / NO CUMPLE
Radios de curvas (m)	> 5000	6615	Cumple
Peraltes (mm)	< 600	160	Cumple
	> 60	32	No Cumple
Pendiente (‰)	≤ 25	25	Cumple
Aceleración sin compensar (m/s^2)	0,42	0,402	Cumple
Máxima variación aceleración sin compensar (m/s^3)	0,2	0,094	Cumple
Alabeo en transiciones con clotoide (mm/m)	1,5	0,35	Cumple
Radios curvatura transición vertical (m)	61250	60500	Cumple
Aceleración centrífuga vertical (m/s^2)	0,4	0.38	Cumple

Tabla 1. Resumen de las características de trazado

3.2 GEOTECNIA

ALTURA TERRAPLENES

Los problemas más habituales de la infraestructura están vinculados a asentamientos de los terraplenes. Pueden ser debidos a variaciones de volumen por la composición de los materiales que lo forman o por deformación del cimiento, además de los asentamientos post-constructivos normales en este tipo de obra. Por esta razón debe limitarse su altura a 5 metros.

El terraplén de Huesca tiene 7 metros y el de Lérida 10,11 metros, superan al límite de 5 metros que indica la norma. Habría que sustituir los terraplenes por viaductos o losas pilotadas, pero ello supone un sobrecoste.

MÓDULO Ev2

En los terraplenes deben también cumplir estrictamente los módulos Ev2. El pliego exige un valor de Ev2 para la capa de forma mayor o igual a 600 Kg/cm² para un 95% de PM. Como se puede comprobar en el Anejo Geotécnico, la capa de forma presenta un 95% PM y un módulo Ev2 de 3000 Kg/cm², por lo que cumple con lo demandado en la norma para vía en placa.

TERRENO TIPO Qs2 y Qs3

Los terraplenes también deberán limitarse su construcción a terreno tipo Qs2 y Qs3. Se cumple, ya que la capa de forma y los terraplenes están sustituidos por material de cantera, y además, la capa de forma estabilizada con cemento, resultando una capa de 30 centímetros de suelo estabilizado tipo 3 proyectada para soportar tráfico de 25000 TBR. El cimiento de los terraplenes tienen un porcentaje inferior al 15% de finos por lo que se considera Qs2.

BERMAS

Las recomendaciones IGP aconsejan ,en desmontes con altura mayor de 10 metros, se deberán construir bermas de 4m longitud.

El objetivo de las bermas es evitar, en caso de desprendimiento, que las grandes rocas terminan en la plataforma. Otro objetivo es evitar la rotura circular en desmontes, aligerando el peso que soporta. Por último, las bermas también se ejecutan para evitar la erosión de las obras de tierra.

El gran inconveniente de las bermas es el importante aumento de volumen de excavación que implican y por tanto el incremento notable en el coste de la obra.

En el desmonte de Zaragoza tenemos bermas de 3 metros y se considera que es suficiente para garantizar el paso de la maquinaria para su limpieza.

En el caso del desmonte de Lérida, tiene una altura de 13,39 metros y no se ha construido ningún tipo de berma. Por lo que, en este caso no se cumple la norma.

COMPROBACIÓN DE HUNDIMIENTO

Se debe comprobar que los terraplenes no se hundan, es decir que la carga transmitida por el peso del terraplén y de la superestructura no supere la carga admisible del terreno.

En Zaragoza, por debajo del plano de cimentación del desmonte encontramos dos estratos gravas y arcilla dura, por ello se utiliza el método de Brinch-Hansen. Puesto que la carga transmitida de 23,21 kN/m² es inferior a la carga admisible del terreno 1464,51 kN/m² no se produce hundimiento del mismo.

En Huesca, cerca de la autopista A-2, el terreno por debajo del terraplén es argilita y arena. Utilizando la *Guía de cimentaciones en obras de carreteras*, la presión admisible en roca es 624,4 kN/m². Puesto que la carga transmitida 112,42 kN/m² es inferior a la carga admisible del terreno 624,4 kN/m² no se produce hundimiento del mismo.

En Lérida, el terreno existente por debajo del plano de cimentación del desmonte es argilita y roca. Según la *Guía de cimentaciones en obras de carreteras*, la presión admisible es 900 kN/m². Como la carga transmitida 23,21 kN/m² es inferior a la carga admisible del terreno no se produce hundimiento del mismo.

El terraplén de Lérida tiene un terreno estratificado, arcilla limosa, arena y por último, argilita y roca. Mediante el cálculo aproximado de Brinch -Hanses se comprueba que el terreno no se hunde, ya que la carga transmitida 142,17 kN/m² es inferior a la carga admisible del terreno 1635,26 kN/m².

ASIENTOS

Según la norma alemana y japonesa, el asiento máximo es de 30 milímetros, independientemente del sentido del asiento. Se ha referido a la normas extranjeras ya que ADIF no proporciona especificaciones sobre asientos, y estos países proporcionan los límites más restrictivos y están experimentados en vía en placa.

Respecto los asientos se ha utilizado el método de Schmertmann, que calcula los asientos que se producen en el terreno a partir de la carga transmitida y de los módulos de elasticidad de los materiales, entre otros muchos factores. Suponemos la vía para los cálculos como si fuera una zapata corrida.

Como se puede comprobar en el Anejo Geotécnico adjunto el asiento en el terraplén de Zaragoza es de -27 milímetros. Este pequeño hinchamiento es debido a la descarga del terreno producido por la sustitución de los dos metros por terreno seleccionado.

El asiento del terraplén de Huesca producido por el terraplén y la vía es de 8,8 milímetros y el producido únicamente por la vía es de 1,5 milímetros.

En Lérida, el asiento del terraplén producido por el terraplén más vía es de 19 milímetros y el producido por la vía es de 3,4 milímetros. Y en el desmonte , el asiento es de -3,9 milímetros.

Aunque la comprobación de los asientos se cumplan tenemos una altura mayor de la permitida en los terraplenes, esto, como después tendremos en cuenta en los costes de mantenimiento, pueden provocar unas microfisuras en la losa de hormigón en la vía en placa.

INESTABILIDAD GLOBAL

Es necesario comprobar también la rotura circular del suelo seleccionado que forma el terraplén y de los taludes del terreno natural de los desmontes. Para que se verifique la comprobación se debe obtener un coeficiente mayor o igual a 1,2, sin es inferior a 1 el talud no se sostendrá.

Para la inestabilidad global se ha utilizado el programa informático Slide 6.0 ya que nos permite determinar la rotura circular más desfavorable, acompañada de su respectivo coeficiente de seguridad.

En el desmonte situado en Zaragoza, tanto en el talud izquierdo como en el derecho la rotura se sitúa por debajo de la berma con coeficientes 1,81 y 1,86 ,respectivamente, verificando así la comprobación.

En el terraplén de Huesca se obtiene 1,27 en ambos taludes, superan 1,2 por lo que el terraplén no romperá.

En Lérida, en el desmonte se obtiene 1,96 y 1,98, unos coeficiente similares en ambos taludes. Superan el 1,2 de la norma por lo que no hay problemas de rotura de los taludes. En cuanto al terraplén, se obtiene un coeficiente se seguridad de 1,25 en ambos lados, supera 1,2 por lo que se verifica la comprobación.

Características	Placa	Balasto	CUMPLE / NO CUMPLE
Altura Terraplenes (m)	< 5	7 y 10,11	No cumple
Módulo Ev2 (Kg/cm2)	≥ 600	3000	Cumple
Tipo Terreno	Qs2 y Qs3	S-EST 3 y Qs2	Cumple
Bermas (m)	Desmontes > 10, construir bermas de 4	Zaragoza tiene bermas	Cumple
		En Lérida 13,39 y no hay bermas	No cumple
Hundimiento (kN/m2)	Carga transmitida < carga admisible terreno	23,21<1464,51 112,42<624,4 23,21<900 142,17<1635,26	Cumple
Asientos (mm)	< 30	Todos	Cumple
Inestabilidad Global	Coef. ≥ 1,2	Todos	Cumple

Tabla 2. Resumen de las características geotécnicas

3.3 DRENAJE

Cómo se ha dicho anteriormente, nos encontramos en un clima semiárido con un déficit hidrológico, la precipitación no supone un grave problema.

En la vía sobre balasto éste material granular sirve como drenaje de la vía, sin embargo, en la vía en placa, los carriles descansan sobre una losa de hormigón impermeable por lo que ha de evacuarse cualquier líquido que haya acabado en la vía. Las normas a las que hay que recurrir, al ser una obra lineal, son la norma 5.21 IC y las recomendaciones de ADIF en las IGP-2008.

VIA EN PLACA

Se debe hacer un estudio de escorrentía e hidrología de la zona ya que no se deben construir terraplenes con un nivel freático máximo menor de 1,5 metros por debajo de la cara superior del carril.

Es necesario realizar un correcto drenaje del trasdós de la estructura mediante la colocación de tubos drenantes.

Es imprescindible elementos que impermeabilicen la plataforma

VÍA SOBRE BALASTO

Como se comprueba en los sondeos realizados en la zona y que hemos comentado anteriormente, no se considera la presencia de agua.

Se ha colocado como recomendación elementos de drenaje tanto transversal como longitudinal.

El drenaje longitudinal está compuesto por cunetas trapeziales de guarda en desmontes y a pie de terraplenes de hormigón revestido in-situ. En bermas y en los extremos de la plataforma se colocaron cunetas trapeziales prefabricadas para reducir costes. Transportarán el agua de la escorrentía superficial hasta las arquetas, hormigonadas in-situ para que no haya juntas y así evitar filtraciones.

Las arquetas se disponen para garantizar la inspección y conservación de los elementos de drenaje enterrados y están dispuestas cada 50 metros.

Se colocan también bajantes que conecten cunetas de guarda con cunetas de berma o de base de terraplén para guiar el agua hacia un elemento de drenaje transversal.

Para permitir el drenaje las bermas, la zona superior de las obras de tierra y la plataforma se les ha dado un 5% de pendiente mínima.

En el drenaje transversal se han dispuesto marcos prefabricado de hormigón de dimensiones 2,5 x 2,5 metros en terraplenes para permitir el agua sin que los afecte en el caso de que la obra interrumpa una vaguada.

Concluyendo, observamos que no disponemos los elementos necesarios para impermeabilizar la plataforma de la vía en placa. Se debería disponer, como mi compañero de grupo Javier Cases propuso el curso pasado, caces en el centro de la plataforma, que recoja el agua y la transporten hasta desagües que conecten el caz central con una conducción de drenaje subterránea.

CARACTERÍSTICA	PLACA	BALASTO	CUMPLE / NO CUMPLE
Terraplenes con N.F.	<1,5	No hay N.F.	Cumple
Drenaje transversal	Cunetas + Arquetas + Bajantes + Caces plataforma	No hay caces	No cumple
Drenaje transversal	Marcos	Marcos	Cumple

Tabla 3. Resumen de las características de drenaje

4. MANTENIMIENTO

Dentro de las obras ferroviarias es tan importante la construcción de la vía como los trabajos de mantenimiento y conservación.

El mantenimiento es el conjunto de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión, durante el ciclo de vida de un elemento, destinados a conservarlo o devolverlo a un estado en el cual puede desarrollar la función requerida.

Tiene el fin de aprovechar los recursos disponibles para optimizar el estado de la infraestructura desde el mejor punto de vista técnico y económico, teniendo en cuenta criterios de mantenibilidad, fiabilidad, disponibilidad y seguridad de las instalaciones. RAMS

Aunque en este trabajo nos centramos en la conservación y mantenimiento de un tramo de vía ya construido, debemos recordar que el mantenimiento se tendrá que tener siempre en cuenta en las fases de diseño y construcción. En el cual se deben introducir y considerar los elementos necesarios para facilitar las labores de mantenimiento futuras y su coste. (se podrían introducir mas información)

Las operaciones de mantenimiento son más activas durante los 2-3 primeros años, al inicio de la vida útil de la vía, y en los últimos 5-7 años finales. Esto se produce porque, durante los primeros años, la vía se consolida y hay que vigilar los posibles cambios que se pueden producir desde el momento de la construcción. Y al final de la vida útil los materiales se degradan y van perdiendo sus propiedades, aumentando así la probabilidad de fallo.

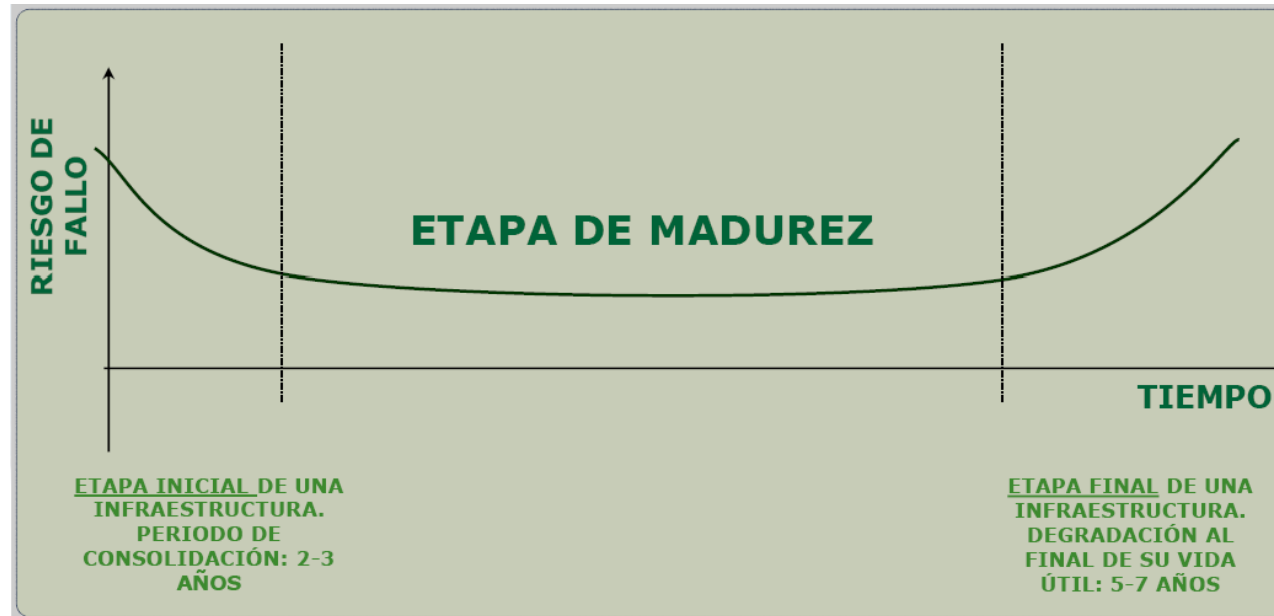


Figura 12. Gráfica que muestra el riesgo de fallo con el tiempo

Las operaciones de mantenimiento se puede clasificar atendiendo a su estrategia como: mantenimiento predictivo, mantenimiento preventivo y mantenimiento correctivo. Este cuadro muestra las ventajas e inconvenientes de cada tipo.

	VENTAJAS	INCONVENIENTES
MANTENIMIENTO PREDICTIVO Puesta a punto dependiente del estado	<ul style="list-style-type: none"> Paralizaciones solo las necesarias Seguridad muy elevada Posibilidad muy pequeña de fallo Buena planificación Alto grado de aprovechamiento Posibilidad de evitar fallos grandes 	<ul style="list-style-type: none"> Elevado gasto de inspección Elevado gasto en equipos y personal Nuevas estructuras
MANTENIMIENTO PREVENTIVO Puesta a punto periódica preventiva	<ul style="list-style-type: none"> Breves tiempos de inutilización Seguridad elevada Baja probabilidad de fallos inesperados Buena posibilidad de planificación 	<ul style="list-style-type: none"> Posibilidad de empeorar No se detecta desgaste inesperado Es necesaria experiencia Paralizaciones posiblemente innecesarias
MANTENIMIENTO CORRECTIVO	<ul style="list-style-type: none"> Ninguna inspección 	<ul style="list-style-type: none"> Fallo no previsible

Explotación hasta el fallo	<ul style="list-style-type: none"> Ninguna puesta a punto innecesaria 	<ul style="list-style-type: none"> Alto gasto de puesta a punto Largos tiempos de inutilización La seguridad puede peligrar
----------------------------	--	--

Tabla 4. Clasificación de las operaciones de mantenimiento

Los tratamientos preventivos consisten en tratamientos puntuales tanto en la vía como en la infraestructura para mantener unos niveles de seguridad en la circulación ferroviaria, y por tanto de la calidad del servicio.

4.1 MANTENIMIENTO COMÚN DE AMBOS TIPOS DE VÍAS

AUSCULTACIÓN

La exigencia de los ferrocarriles modernos de altos niveles de seguridad, disponibilidad y confort incompatibles con los métodos tradicionales de mantenimiento basados en inspecciones visuales de la vía obligan a las administraciones ferroviarias a optar por el empleo de vehículos auscultadores o trenes laboratorio que automatizan el trabajo y permiten realizar un mantenimiento predictivo.

Es el procedimiento por el cual se realiza el control de la vía evaluando en qué condiciones se encuentra la infraestructura (vía, catenaria, señalización, telecomunicaciones..) y la evolución de su calidad. Su función es detectar donde, qué tipo y la magnitud de los posibles fallos en la infraestructura, pero no podemos conocer la causa ni las medidas a adoptar. Se realiza de manera periódica en todas las líneas, pero sobretodo en líneas de alta velocidad.

Pueden ser coches laboratorio que circulan traccionados por una locomotora o acoplados a trenes que realizan servicios comerciales o vehículos autopropulsados específicos. En general se tiende a agrupar en un mismo vehículo distintos sistemas de medición y realizar las auscultaciones a velocidades de explotación, para interferir lo menos posible en la circulación y realizar la toma de datos en condiciones similares a las del servicio comercial.

Para vías de alta velocidad Renfe dispone de dos vehículos auscultadores. Para la auscultación geométrica de la vía dispone de un vehículo que detecta e informa a través de imágenes sobre defectos en el carril, traviesas, sujeciones y balasto. Para auscultación dinámica y auscultación de sistemas de comunicación utilizan el vehículo Séneca.

Para las líneas de Alta Velocidad ADIF a asignado a REDALSA la tarea de la auscultación geométrica vía y la auscultación por ultrasonidos del carril.

La auscultación puede ser geométrica o dinámica, de vía o de catenaria.

AUSCULTACIÓN GEOMÉTRICA

En la auscultación geométrica de vía se miden directamente parámetros como la nivelación longitudinal de onda corta, media y larga para los dos hilos; el peralte; el alabeo; el ancho de vía y; la alineación de onda

corta, media y larga para los dos hilos para garantizar la seguridad de las circulaciones en condiciones óptimas.

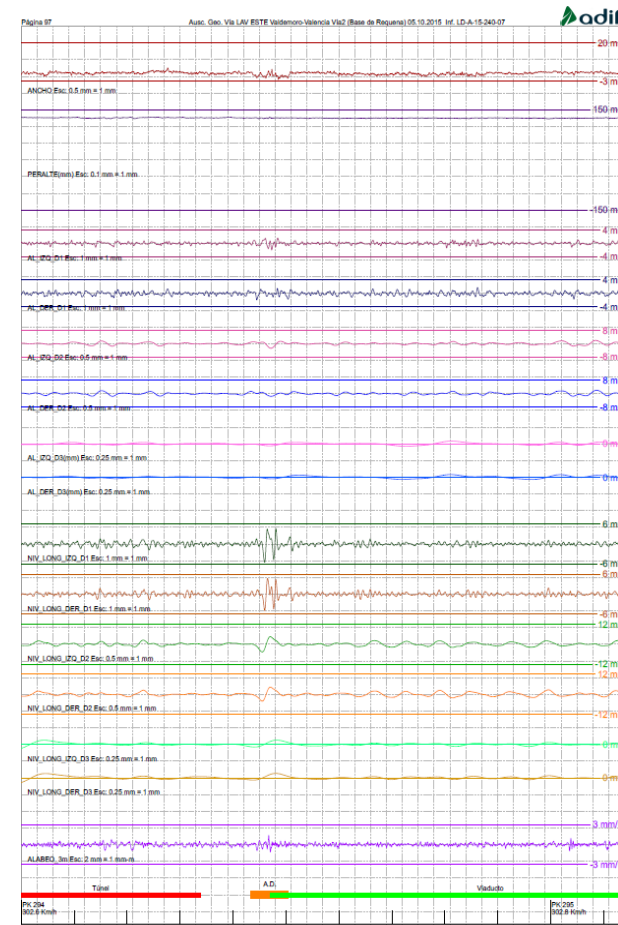
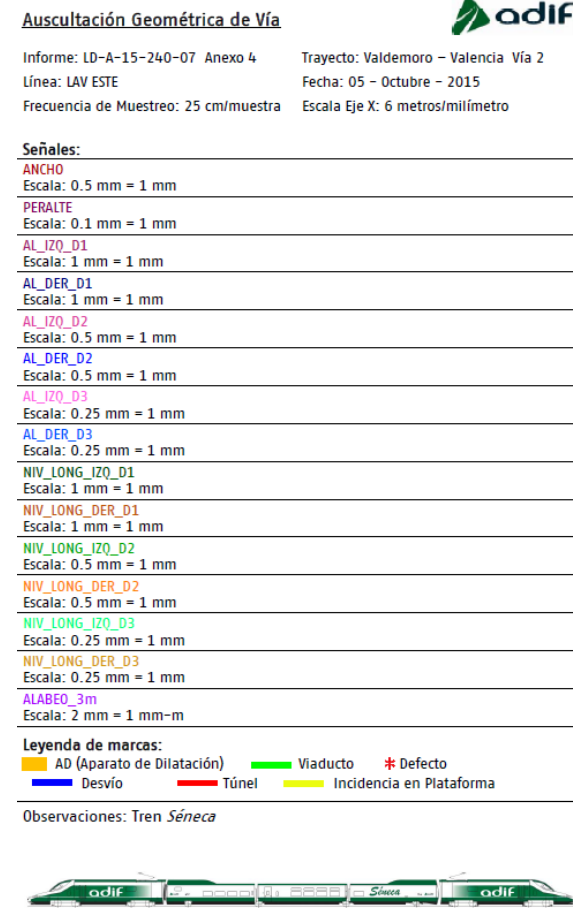


Figura 13. Ejemplo de una Auscultación Geométrica de Vía

En la auscultación geométrica de catenaria se recogen parámetros del hilo de contacto como la altura, el descentramiento y la pendiente.

AUSCULTACIÓN DINÁMICA

En la auscultación dinámica de vía se registra las condiciones de interacción vía-vehículo, es decir, condiciones de seguridad, fatiga de los materiales de la vía y de los trenes, y la confortabilidad de la marcha.

Se registran diversos parámetros: la velocidad, la aceleración en bogie (idea de seguridad 6 m/s^2 10 Hz), aceleración en caja de grasa (interacción rueda-carril, 20 Hz), aceleración lateral en caja de vehículo (confortabilidad, 6 Hz), aceleración vertical en caja de vehículo (confortabilidad, 10 Hz), aceleración lateral no compensada (cuasi-estática).

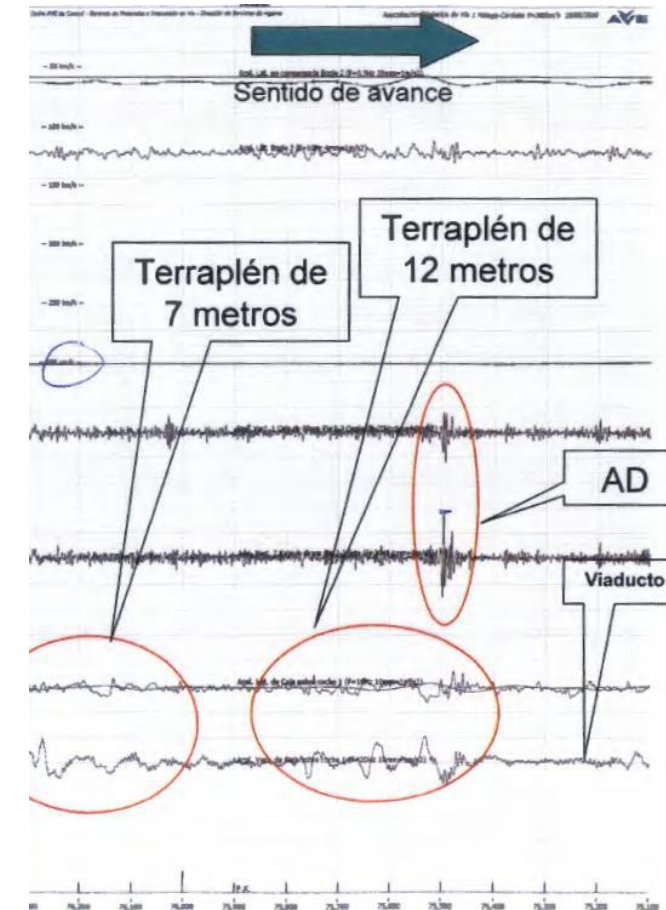


Figura 14. Ejemplo de una Auscultación Dinámica de Vía

La auscultación dinámica de la catenaria analiza la interacción entre el pantógrafo y la catenaria, registrándose la fuerza de contacto y arcos eléctricos. Estas auscultaciones pueden completarse con video-inspecciones, medición de parámetros térmicos de la catenaria mediante sistemas de termografía, registro del desgaste e inspección ultrasónica de los carriles y registro de desgaste del hilo de contacto. Los distintos operadores españoles cuentan con distintos vehículos para realizar las tareas de auscultación.

AUSCULTACIÓN POR ULTRASONIDOS DEL CARRIL

El objetivo de estos trabajos, que se realizarán en todas las líneas en servicio, es localizar posibles defectos internos en el carril, con la finalidad de favorecer una buena programación y realización de las operaciones de mantenimiento y previniendo así posibles fallos inesperados que podrían llegar a la paralización de la vía.

AMOLADO Y ESTABILIZADO DEL CARRIL

El carril influye sobre la buena marcha de los vehículos y su estado es un factor de calidad esencial para el confort de los viajeros. Es caro y por tanto determinante en el coste por kilómetro de una vía. Mantenerlos en buen estado es fundamental, asegura un reparto óptimo de las cargas manteniendo las condiciones óptimas para la marcha y prolonga la vida de los carriles. La renovación de los carriles es caro y en los tramos de alta velocidad, los desgastes de los carriles pueden acarrear consecuencias aún más costosas.

Para prevenir las vibraciones de la vía y mantener bajo control la formación de fatigas de superficie el amolado debe realizarse de forma cíclica y periódica. También se puede hacer un amolado correctivo debido a síntomas concretos o puntuales y aplicar programas para reducciones de ruido.

Los objetivos principales del amolado son asegurar que se mantiene el perfil correcto de la cabeza del carril y eliminar/reducir los defectos superficiales.

Mantener en buen estado los carriles mejora la vida de la rueda y el carril, reduce el ruido, reduce también la aparición de fisuras y se obtiene un mayor control de los defectos y ondulaciones del carril.

Las sollicitaciones transmitidas por las ruedas llevan al desgaste. Cuanto mayor sean las cargas mayor será el desgaste y se manifestará de forma prematura. La presencia del desgaste tiene consecuencias en el ruido, se forma rebaba en el interior o en el exterior de la cabeza y también se produce desgaste lateral en los carriles en el hilo alto. Provocan energía de tracción, los mayores esfuerzos fatigan y producen la reducción del ancho de vía sobre todo en la parte interior. Esto debe evitarse porque el amolado del ancho de vía lleva su tiempo y como tal, es costoso.

En el proceso de amolado interesa que éste sea óptimo, es decir, retirar el mínimo material de la cabeza de los carriles en el lugar adecuado.



Figura 15. Ejemplo de defectos producidos por el desgaste de la circulación de los trenes.

Como se muestra en la imagen, los defectos comunes son:

- Las alteraciones geométricas. En los tramos rectos se refleja en el desgaste ondulatorio corto, en curva son las ondas cortas llamadas ondas de deslizamiento, que ocasionalmente se presentan también ondas largas.

- Los defectos aislados, que como las marcas del balasto o patinaje debe ser eliminados para evitar que se hagan mayores.
- Deformación del perfil transversal, su medición se hace sin contacto directo con el carril, se obtiene por vía óptica mediante un láser. A 80km/h se toma una medida cada 15 cm con una precisión de 5 centésimas de milímetro. Así se determina la diferencia entre el perfil normal y el medido.

REVISIÓN DE COMPONENTES DE LAS SUJECCIONES

Un buen mantenimiento del apretado de las sujeciones ayudan a mantener el ancho de vía en su correcta ubicación. Un apretado insuficiente facilita el deslizamiento del carril sobre la traviesa y da lugar, en tiempo caluroso, a la aparición de serpenteos e incluso de pandeos en la vía, que son función del número de sujeciones contiguas flojas. Por el contrario, un apretado excesivo puede originar pérdida de elasticidad e incluso rotura en las sujeciones del carril llegando, incluso, a fisurar las traviesas. En particular, el apretado correcto de la sujeción tiene gran importancia en las zonas de respiración de las barras largas.

LIMPIEZA DE DRENAJES

Los drenajes longitudinales y transversales, así como los cauces de los ríos y arroyos deberán mantenerse libres de obstáculos que eviten la evacuación de las aguas pluviales, o que puedan originar afectaciones en los viaductos y demás obras de fábrica.

Para fomentar este drenaje, deben limpiarse adecuadamente las cunetas de la plataforma y las de guarda de desmontes, juntamente con las obras transversales eliminando, de ellas, cualquier clase de material que dificulte su trabajo, sean tierras, elementos vegetales, materiales de vía, etc. y restituir sus secciones que hayan sido dañadas.

La limpieza se podrá llevar a cabo mediante herramientas manuales o agua a presión.

DESPEJE, DESBROCE Y RIEGO HERBICIDA

Limpieza con medios manuales, con herramientas de corte de maleza y exceso de vegetación situada en la zona de afección del ferrocarril para evitar incendios, patinaje de los trenes por exceso de hierbas, falta de visibilidad de las señales y obstrucción de los drenajes. Y además, en primavera y otoño se realizará un riego herbicida.

REPARACIÓN SOLDADURAS

Está totalmente prohibido por la Jefatura de Vía efectuar ninguna clase de reparación de soldadura. En caso de observar alguna soldadura defectuosa, se rechazará automáticamente y se rehará. Dicha soldadura, se sustituirá por una sola soldadura aluminotérmica.

Los defectos exteriores que se pueden encontrar en las soldaduras son: defectos en la unión del metal de aportación con el laminado, discontinuidades en la superficie de rodadura y en la cara activa del perfil, defectos en el resalto, o cordón, de la soldadura y, deformaciones permanentes en el resalto de la soldadura.

RENOVACIÓN DE CARRILES

Tanto para vía en placa como en vía sobre balasto es necesario realizar cada 30 años la renovación de los carriles.

Mediante el tren carrilero con útil de descarga y un posicionador de carril, se retiran los antiguos carriles, se suministran los nuevos, se colocan y nivelan para dejarlos en su correcta posición.

4.2 DIFERENCIAS DE MANTENIMIENTO

NIVELACIÓN, LEVANTAMIENTO, ALINEACIÓN Y BATEO DE LA VÍA

Cuando un tren circula sobre la vía se generan esfuerzos enormes y la totalidad del sistema, compuesto por el carril, las traviesas y el balasto, se deforma.

Con el tiempo, estos enormes esfuerzos provocan un deterioro de la posición de la vía. Como consecuencia pueden aparecer errores de geometría, es decir, la vía ya no está en su posición ideal, lo que obliga a establecer precauciones en estas zonas.

Para restablecer su posición exacta en planta y en alzado se realiza mediante la máquina bateadora. Ésta máquina se encarga de la nivelación, el levantamiento, la alineación y el bateo de la vía.

El equipo de trabajo se encarga de asegurar la correcta distribución del balasto bajo las traviesas gracias a los movimientos de vibración que se realizan mediante bates. La correcta afluencia del balasto es importante, ya que la distribución sin vacíos del árido en la parte inferior de la traviesa asegura la buena transmisión del esfuerzo al terreno, evitando procesos de colapso o hundimiento de la superficie de circulación. Con la bateadora también se realizarán los levantamientos y ripados del carril con la finalidad de asegurar una correcta nivelación y alineación en el trazado topográfico de la vía.

REGULACIÓN Y PERFILADO DEL BALASTO

El lecho del balasto evita que aparezcan pandeos en la vía. Para evitar este fenómeno es necesario que el perfil de la banqueta esté realizado correctamente, por ello, el balasto debe de estar repartido uniformemente cumpliendo el perfil teórico a lo largo de toda la línea. Un exceso de balasto produce costes innecesarios, y al contrario, la falta de balasto o su deficiente distribución reduce la calidad de la vía.

Para corregir el ángulo del talud, los arados laterales arrastran el balasto hacia la parte superior, en dirección hacia la corona de la banqueta. Allí, el arado central recoge el balasto y lo distribuye. A continuación, una instalación de barrido retira las piedras que hayan quedado depositadas sobre las traviesas. Este balasto sobrante o bien se descarga lateralmente o se transporta a una tolva de almacenamiento a través de una cinta transportadora. Así, el balasto almacenado queda disponible para su distribución en zonas con falta de balasto.

DEPURACIÓN Y DESGUARNECIDO DEL BALASTO

El balasto distribuye las cargas transmitidas por los trenes homogéneamente sobre la plataforma y asegura la posición fija e inamovible de las traviesas. Para poder resistir a estos esfuerzos dinámicos, el lecho de balasto debe ser muy elástico. Su buen funcionamiento depende de la altura de la capa de balasto, su granulación y el grado de contaminación.

La contaminación se produce por las solicitaciones normales de las circulaciones. Esto conlleva roturas, desplazamientos y abrasión de las piedras. Otras causas son materiales que se filtran desde la plataforma y factores ambientales externos. La consecuencia es el aumento de la proporción de finos y la disminución de la elasticidad, la capacidad de drenaje y la durabilidad de la posición de la vía. El resultado son asentamientos irregulares del emparrillado, que pueden corregirse mediante bateo solo por poco tiempo. A partir de un momento es más rentable desguarnecer la totalidad del lecho de balasto.

Con las máquinas desguarnecedoras de balasto puede limpiarse el balasto sin necesidad de desmontar el emparrillado. Mediante potentes cadenas de excavación, excavan el balasto contaminado y simultáneamente preparan la explanación para el balasto nuevo. El balasto se limpia en grandes cribas oscilantes con varios niveles de cribado, que proporcionan una calidad óptima. El balasto limpio se reintroduce a la vía inmediatamente después de la cadena de excavación. Los residuos de la limpieza se entregan a una instalación de traslado y transporte de detritos.

ESTABILIZACIÓN DINÁMICA

Tras un desguarnecido de balasto o una nueva colocación, parte de las piedras de balasto no se encuentran en una posición ideal unas respecto a las otras. A menudo, las piedras de balasto únicamente se tocan en sus puntas y aristas. Por ello, es necesario proporcionarles la compactación y la estabilidad necesarias para un anclaje óptimo del emparrillado de la vía en el balasto. Se consigue mediante la estabilización dinámica de vía, realizando los asentamientos iniciales necesarios de manera dirigida y controlada. Aumentando así, la calidad de la vía, y la durabilidad de la posición de la vía.

Para conseguir la compactación, en primer lugar los grupos de estabilización se presionan firmemente contra ambos carriles. Vibradores de masas excéntricas generan una vibración horizontal en dirección transversal a la vía. Esta vibración se transmite a la banqueta y provoca que las piedras de balasto se reordenen, prácticamente sin esfuerzo, en una estructura más compacta. El asentamiento del emparrillado resultante se controla a través de la carga vertical.

MARCAJE DE RIPADOS Y LEVANTES DE VÍA

Es necesario comprobar si la posición de la vía es la correcta, sino, se deberá recolocar. No es posible situarla en su posición definitiva de una sola pasada. Las bateadoras tienen unos límites de ripado y levante, provocados precisamente por la fuerza de oposición que ejerce la vía, así que se necesitara de múltiples pasadas. El número total dependerá de su posición inicial hasta lograr la posición definitiva de la vía según proyecto.

SUSTITUCIÓN DE TRAVIESAS

Se realiza con ayuda de retroexcavadora hidráulica adaptada mediante unos accesorios diseñados especialmente para ello. Además tiene un escudo o pantalla especial para retirar el balasto de entre las traviesas y una pinza para agarrar y mover el carril y las traviesas.

En este caso, el equipo está formado, normalmente, por 4 personas: el operador de la retroexcavadora, dos operarios encargados de auxiliar al maquinista en el movimiento de las traviesas y un operario encargado de aflojar y apretar las traviesas una vez colocadas.

El procedimiento consiste en desclavar o aflojar la traviesa, retirar el balasto de alrededor de cada traviesa con ayuda del escudo. Posteriormente, utilizando la pinza de la retroexcavadora se retira y se aparta la

traviesa a sustituir. Se coloca la nueva traviesa con la pinza en la vía y, finalmente se aprieta de nuevo la traviesa.

INYECCIONES

Como se dijo anteriormente, los terraplenes sobrepasan el límite y únicamente cumplen los asientos por la sustitución de los dos metros del terreno debajo de la plataforma por suelo seleccionado de cantera.

Aun así, es casi imposible el asiento cero por lo que en vía en placa es probable que con el paso del tiempo se produzcan fisuras en la losa de hormigón. Por ello se deberán reparar con una resina epoxi.

5. PRESUPUESTO

En este apartado se va a proceder a realizar una estimación de la valoración de las operaciones de mantenimiento en los dos tipos de vía a lo largo del tiempo, exactamente para 25, 50 y 100 años de vida de las vías. De este modo, y partiendo del coste de construcción de cada tipo de vía que proporcionaron mis compañeros, veremos la variación del coste de cada tipo de vía con el tiempo de explotación.

5.1 UNIDADES DE OBRA

Hay que tener en cuenta que se ha realizado un presupuesto de las unidades de obra más significativas y básicamente las unidades que se diferencian de vía sobre balasto a vía en placa. Se va a disponer de un listado con la definición completa de las unidades de obra tenidas en cuenta en cada tipo de vía.

VÍA SOBRE BALASTO

U01 ml

Auscultación Geométrica. Paso del tren auscultador por la vía midiendo los parámetros de la nivelación longitudinal de onda corta, media y larga para los dos hilos; el peralte; el alabeo; el ancho de vía y; la alineación de onda corta, media y larga para los dos hilos.

U02 ml

Auscultación Dinámica. Paso del tren auscultador por la vía midiendo la velocidad, la aceleración en bogie, aceleración en caja de grasa, aceleración lateral en caja de vehículo, aceleración vertical en caja de vehículo, aceleración lateral no compensada.

U03 ml

Nivelación, alineación, bateo, desguarnecido, perfilado y estabilizado dinámico de la banqueta de balasto. Incluye la maquinaria necesaria para realizar los trabajos.

U04 ml

Amolado de carril. Incluye el tren amolador para realizar los trabajos.

U05 ml

Levante de carril y traviesas y desguace de vía existente. Incluye suministro, carga, descarga, acopios en la obra y transporte, así como la parte proporcional de maquinaria y equipos necesarios para el trabajo.

U06 ml

Renovación carril UIC60. Incluye extracción del antiguo carril, fabricación, transporte, colocación y fijación a la traviesa, embridado provisional, soldaduras aluminotérmicas y la liberación de tensiones, incluida también la alineación con bateadora, además de un 15% adicional por la parte proporcional de los equipos empleados para la ejecución.

U07 m³

Renovación balasto. Extracción, suministro, transporte desde cantera a acopio y desde acopio a vertedero, incluso carga y descarga, extendido y bateo.

U08 ud

Renovación traviesas monobloque con sujeción elástica Vossloh incluidas las placas de caucho para el carril UIC-60. Se incluye la extracción, acopio, carga de las traviesas, transporte y descarga en lecho de balasto mediante retroexcavadora.

VÍA EN PLACA

U01 ml

Auscultación Geométrica. Paso del tren auscultador por la vía midiendo los parámetros de la nivelación longitudinal de onda corta, media y larga para los dos hilos; el peralte; el alabeo; el ancho de vía y; la alineación de onda corta, media y larga para los dos hilos.

U02 ml

Auscultación Dinámica. Paso del tren auscultador por la vía midiendo la velocidad, la aceleración en bogie, aceleración en caja de grasa, aceleración lateral en caja de vehículo, aceleración vertical en caja de vehículo, aceleración lateral no compensada.

U03 ml

Renovación de losa. Incluye inyección resina epoxídica para las fisuras producidas por mini asientos de los terraplenes por el paso del tiempo.

U04 ud

Renovación carril UIC60. Incluye extracción del antiguo carril, fabricación, transporte, colocación y fijación a la traviesa, embridado provisional, soldaduras aluminotérmicas y la liberación de tensiones.

5.2 PRECIOS UNITARIOS, PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL Y PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN

Para los precios unitarios se ha escogido la misma longitud de actuación considerada por mis dos compañeros para poder así, más tarde, utilizar sus resultados para hacer el estudio de la variación del coste construcción-mantenimiento. Ésta longitud es 100 metros de vía.

Para el cálculo del Presupuesto de Ejecución Material (PEM), se ha obtenido para cada unidad de obra su precio unitario. Éste precio incluye los costes directos e indirectos. En los primeros se tiene en cuenta los costes de materiales, maquinaria, mano de obra y los rendimientos de los equipos. Y los costes indirectos se definen como el 6 % de los costes indirectos.

Para los precios unitarios se han escogido los precios tanto de:

- El libro de “ Valoración de obras de ingeniería Civil”
- “Bases de precios tipo para los proyectos de vía” publicado por GIF en el 2003

Para el cálculo de los costes de mantenimiento a los 25, 50 y 100 años de vida se ha tenido en cuenta además el número de veces que se repite cada unidad de obra en esos periodos de años. En el “Estudio del comportamiento a medio y largo plazo de las estructuras ferroviarias de balasto y placa” del Centro de Innovación del Transporte (CENIT) proporcionan la frecuencia de las actuaciones para cada tipo de vía.

ACTUACIÓN	Nº VECES
Auscultación Geométrica	1 año
Auscultación Dinámica	cada 3 semanas
Nivelación, Levantamiento, Alineación, Bateo, Desguarnecido, Perfilado y Estabilización Dinámica	cada 23 meses
Amolado del carril	cada 5 años
Renovación Carril	cada 30 años
Renovación Traviesas	cada 30 años
Renovación Balasto	cada 20 años
Inyecciones en la losa	cada 60 años

Tabla 5. Frecuencia de las actuaciones de mantenimiento

Hay que decir que en el cálculo de los costes a lo largo de los años no se ha tenido en cuenta la inflación.

VÍA SOBRE BALASTO

Los precios unitarios obtenidos para las unidades de obra de las operaciones de mantenimiento en vía sobre balasto son las siguientes:

Precio unitario: ml Auscultación Geométrica					
					U.O. 1
MATERIALES				IMPORTE (€)	
CÓDIGO	UD	DEFINICIÓN	COSTE (€/UD)	PARCIAL	TOTAL
					0,00
MAQUINARIA				IMPORTE (€)	
CÓDIGO	HORA	TIPO	COSTE (€/UD)	PARCIAL	TOTAL
MQ16	0,0003	Tren Auscultador Geométrico	100	0,03	
					0,03
MANO DE OBRA				IMPORTE (€)	
CÓDIGO	HORA	CATEGORÍA	COSTE (€/UD)	PARCIAL	TOTAL
MO001	0,050	2 Peones ordinarios	12,37	0,62	
					0,62
HERRAMIENTAS % sobre mano de obra					0,00
SUMA DE COSTES DIRECTOS					0,65
SUMA DE COSTES INDIRECTOS 6% SOBRE COSTE DIRECTO					0,04
TOTAL PRECIO EJECUCIÓN MATERIAL					0,69

Tabla 6

Precio unitario: ml Auscultación Dinámica					
					U.O. 2
MATERIALES				IMPORTE (€)	
CÓDIGO	UD	DEFINICIÓN	COSTE (€/UD)	PARCIAL	TOTAL
					0,00
MAQUINARIA				IMPORTE (€)	
CÓDIGO	HORA	TIPO	COSTE (€/UD)	PARCIAL	TOTAL
MQ16	0,0003	Tren Auscultador Dinámico	100	0,03	
					0,03
MANO DE OBRA				IMPORTE (€)	
CÓDIGO	HORA	CATEGORÍA	COSTE (€/UD)	PARCIAL	TOTAL
MO001	0,050	2 Peones ordinarios	12,37	0,62	
					0,62
HERRAMIENTAS % sobre mano de obra					0,00
SUMA DE COSTES DIRECTOS					0,65
SUMA DE COSTES INDIRECTOS 6% SOBRE COSTE DIRECTO					0,04
TOTAL PRECIO EJECUCIÓN MATERIAL					0,69

Tabla 7

Precio unitario: ml Nivelación, alineación, bateo, desguarnecido, perfilado y estabilización dinámica					
					U.O. 3
MATERIALES				IMPORTE (€)	
CÓDIGO	UD	DEFINICIÓN	COSTE (€/UD)	PARCIAL	TOTAL
					0,00
MAQUINARIA				IMPORTE (€)	
CÓDIGO	HORA	TIPO	COSTE (€/UD)	PARCIAL	TOTAL
MQ62	0,025	Bateadora, alineadora y niveladora de 740 CV	145,95	3,65	
MQ63	0,025	Instalación de cribado y lavado de balasto	21,47	0,54	
MQ64	0,025	Perfiladora de Vía	473,29	11,83	
MQ65	0,040	Estabilizador dinámico de 680 CV	174,72	6,99	
					23,01
MANO DE OBRA				IMPORTE (€)	
CÓDIGO	HORA	CATEGORÍA	COSTE (€/UD)	PARCIAL	TOTAL
MO003	0,028	Capataz	18,30	0,51	
MO002	0,029	Oficial de primera	17,24	0,50	
MO001	0,120	Peón ordinario	12,37	1,48	
					2,50
HERRAMIENTAS % sobre mano de obra					0,00
SUMA DE COSTES DIRECTOS					25,50
SUMA DE COSTES INDIRECTOS 6% SOBRE COSTE DIRECTO					1,53
TOTAL PRECIO EJECUCIÓN MATERIAL					27,03

Tabla 8

Precio unitario: ml Amolado de carril					
					U.O. 4
MATERIALES				IMPORTE (€)	
CÓDIGO	UD	DEFINICIÓN	COSTE (€/UD)	PARCIAL	TOTAL
					0,00
MAQUINARIA				IMPORTE (€)	
CÓDIGO	HORA	TIPO	COSTE (€/UD)	PARCIAL	TOTAL
MQ018	0,025	Tren amolador	599,55	14,99	
					14,99
MANO DE OBRA				IMPORTE (€)	
CÓDIGO	HORA	CATEGORÍA	COSTE (€/UD)	PARCIAL	TOTAL
MO003	0,028	Capataz	18,30	0,51	
MO002	0,029	Oficial de primera	17,24	0,50	
MO001	0,120	Peón ordinario	12,37	1,48	
					2,50
HERRAMIENTAS % sobre mano de obra				0,00	
SUMA DE COSTES DIRECTOS				17,49	
SUMA DE COSTES INDIRECTOS 6% SOBRE COSTE DIRECTO				1,05	
TOTAL PRECIO EJECUCIÓN MATERIAL				18,53	

Tabla 9

Precio unitario: ml Levante de carril y traviesas y desguace de vía existente					
					U.O. 5
MATERIALES				IMPORTE (€)	
CÓDIGO	UD	DEFINICIÓN	COSTE (€/UD)	PARCIAL	TOTAL
					0,00
MAQUINARIA				IMPORTE (€)	
CÓDIGO	HORA	TIPO	COSTE (€/UD)	PARCIAL	TOTAL
MQ016	0,025	Pala cargadora de 110 HP, tipo CAT-953 o similar	33,44	0,84	
MQ008	0,025	Camión de 250HP, de 20 T	27,48	0,69	
MQ017	0,025	Grúa autopropulsada de 12 T	34,81	0,87	
MQ60	0,040	Sierra mecánica	1,89	0,08	
MQ61	0,039	Motoclavadora desprendedora de tirafondos	5,09	0,20	
					2,67
MANO DE OBRA				IMPORTE (€)	
CÓDIGO	HORA	CATEGORÍA	COSTE (€/UD)	PARCIAL	TOTAL
MO003	0,028	Capataz	18,30	0,51	
MO002	0,029	Oficial de primera	17,24	0,50	
MO001	0,120	Peón ordinario	12,37	1,48	
					2,50
HERRAMIENTAS 2% sobre mano de obra				0,50	
SUMA DE COSTES DIRECTOS				5,66	
SUMA DE COSTES INDIRECTOS 6% SOBRE COSTE DIRECTO				0,34	
TOTAL PRECIO EJECUCIÓN MATERIAL				6,00	

Tabla 10

Precio unitario: ml Renovación carril UIC60. Incluye extracción, fabricación, transporte a traza con tren carrilero, colocación y fijación a la traviesa, embridado, la soldadura aluminotérmicas y la liberación de tensiones, incluida también alineación con bateadora, además de un 15% adicional por la parte proporcional de los equipos empleados.					
					U.O. 6
MATERIALES				IMPORTE (€)	
CÓDIGO	UD	DEFINICIÓN	COSTE (€/UD)	PARCIAL	TOTAL
MT011	1,15	Carril UIC-60	45,89	52,7735	
					52,77
MAQUINARIA				IMPORTE (€)	
CÓDIGO	HORA	TIPO	COSTE (€/UD)	PARCIAL	TOTAL
MQ055	0,005	Tren carrilero con útil de descarga	73,12	2,43	
MQ058	0,005	Posicionador de carril	47,36	0,24	
					2,67
MANO DE OBRA				IMPORTE (€)	
CÓDIGO	HORA	CATEGORÍA	COSTE (€/UD)	PARCIAL	TOTAL
MO002	0,005	Oficial de primera	17,24	0,09	
MO001	0,010	2 Peones ordinarios	12,37	0,12	
					0,21
HERRAMIENTAS 4 % sobre mano de obra					0,08
SUMA DE COSTES DIRECTOS					55,74
SUMA DE COSTES INDIRECTOS 6% SOBRE COSTE DIRECTO					3,34
TOTAL PRECIO EJECUCIÓN MATERIAL					59,08

Tabla 11

Precio unitario: m^3 Renovación balasto. Extracción y acopio del balasto viejo y suministro, transporte en camión desde cantera, carga, descarga extendido y bateo.					
					U.O. 7
MATERIALES				IMPORTE (€)	
CÓDIGO	UD	DEFINICIÓN	COSTE (€/UD)	PARCIAL	TOTAL
MT0052	1m^3	Balasto tipo 1	17,49	17,49	
					17,49
MAQUINARIA				IMPORTE (€)	
CÓDIGO	HORA	TIPO	COSTE (€/UD)	PARCIAL	TOTAL
MQ052	0,011	Camión basculante 6t	17,69	0,20	
MQ053	0,011	Extendedora con maestra vibrante	98,49	1,09	
MQ006	0,011	Rodillo vibratorio autopropulsado	34,07	0,38	
MQ056	0,011	Bateadora	50,09	0,56	
					2,23
MANO DE OBRA				IMPORTE (€)	
CÓDIGO	HORA	CATEGORÍA	COSTE (€/UD)	PARCIAL	TOTAL
MO001	0,010	2 Peones ordinarios	12,37	0,12	
					0,12
HERRAMIENTAS % sobre mano de obra					0,00
SUMA DE COSTES DIRECTOS					19,84
SUMA DE COSTES INDIRECTOS 6% SOBRE COSTE DIRECTO					1,19
TOTAL PRECIO EJECUCIÓN MATERIAL					21,03

Tabla 12

Precio unitario: Ud. Travesía monobloque con sujeciones y placa de caucho. Incluye carga desde acopio a tren travesero, transporte y descarga en lecho de balasto con retroexcavadora.					
					U.O. 8
MATERIALES				IMPORTE (€)	
CÓDIGO	UD	DEFINICIÓN	COSTE (€/UD)	PARCIAL	TOTAL
MT010	1ud	Travesía con sujeciones	84,74	84,74	
MT056	2 ud	Placa de caucho	0,84	1,68	
					86,42
MAQUINARIA				IMPORTE (€)	
CÓDIGO	HORA	TIPO	COSTE (€/UD)	PARCIAL	TOTAL
MQ010	0,004	Grúa autropulsada de 12 T	34,81	0,14	
MQ054	0,007	Tren travesero MMQ sin teleros	220,87	1,55	
MQ059	0,010	Pórtico de descarga de traviesas	235,04	2,35	
					4,04
MANO DE OBRA				IMPORTE (€)	
CÓDIGO	HORA	CATEGORÍA	COSTE (€/UD)	PARCIAL	TOTAL
MO001	0,060	2 Peones ordinarios	12,37	0,74	
MO002	0,025	Oficial de primera	17,24	0,43	
					1,17
HERRAMIENTAS 4 % sobre mano de obra					0,47
SUMA DE COSTES DIRECTOS					92,10
SUMA DE COSTES INDIRECTOS 6% SOBRE COSTE DIRECTO					5,53
TOTAL PRECIO EJECUCIÓN MATERIAL					97,62

Tabla 13

Las tablas resumen siguientes muestran para los diferentes periodos de años, las unidades de obra junto con sus mediciones, el precio unitario y el número de veces que se ha realizado la actuación en esos años.

25 AÑOS					
Unidad de obra	Descripción	Precio unitario (€/Ud)	Mediciones	Veces	Precio total de la unidad
U.O. 1	A. Geométrica	0,00	100	25	0
U.O. 2	A. Dinámica	0,69	100	435	29902,335
U.O. 3	Nivelación	27,03	100	13	35143,5612
U.O. 4	Amolado	18,53	100	3	5560,39218
U.O. 5	Levante carril	6,00	100	1	600,328032
U.O. 6	R.Carril	59,08	100	0	0
U.O. 7	R. balasto	21,03	273	1	5741,21239
U.O. 8	R. traviesa	97,62	334	0	0

Tabla 14

50 AÑOS					
Unidad de obra	Descripción	Precio unitario (€/Ud)	Mediciones	Veces	Precio total de la unidad
U.O. 1	A. Geométrica	0,00	100	50	0
U.O. 2	A. Dinámica	0,69	100	870	59804,67
U.O. 3	Nivelación	27,03	100	26	70287,1224
U.O. 4	Amolado	18,53	100	10	18534,6406
U.O. 5	Levante carril	6,00	100	2	1200,65606
U.O. 6	R.Carril	59,08	100	1	5908,15868
U.O. 7	R. balasto	21,03	273	2	11482,4248
U.O. 8	R. traviesa	97,62	334	1	32606,4503

Tabla 15

100 AÑOS					
Unidad de obra	Descripción	Precio unitario (€/Ud)	Mediciones	Veces	Precio total de la unidad
U.O. 1	A. Geométrica	0,00	100	100	0
U.O. 2	A. Dinámica	0,69	100	1740	119609,34
U.O. 3	Nivelación	27,03	100	52	140574,245
U.O. 4	Amolado	18,53	100	20	37069,2812
U.O. 5	Levante carril	6,00	100	3	1800,9841
U.O. 6	R.Carril	59,08	100	3	17724,476
U.O. 7	R. balasto	21,03	273	3	17223,6372
U.O. 8	R. traviesa	97,62	334	3	97819,3508

Tabla 16

La suma de los precios total de las unidades de obra para cada período nos da el PEM. Sumando los gastos generales de la obra (17% del PEM), el beneficio industrial (6%PEM) al propio PEM, obtenemos el Presupuesto Base de Licitación sin I.V.A.

Para obtener el precio total, se le suma el Impuesto de Valor Añadido (I.V.A) al Presupuesto Base de Licitación sin I.V.A.

A continuación se muestran ese procedimiento para los diferentes periodos de años.

25 AÑOS	
Presupuesto Base de Licitación:	
PEM	76947,83
Gastos Generales (17% del PEM)	13081,13089
Beneficio Industrial (6% del PEM)	46168,69727
Total sin IVA	136197,66
IVA (21%)	28601,50796
Total final	164799,16

Tabla 17

50 AÑOS	
Presupuesto Base de Licitación:	
PEM	199824,12
Gastos Generales (17% del PEM)	33970,10087
Beneficio Industrial (6% del PEM)	119894,4736
Total sin IVA	353688,70
IVA (21%)	74274,62642
Total final	427963,32

Tabla 18

100 AÑOS	
Presupuesto Base de Licitación:	
PEM	431821,31
Gastos Generales (17% del PEM)	73409,62338
Beneficio Industrial (6% del PEM)	259092,7884
Total sin IVA	764323,73
IVA (21%)	160507,9824
Total final	924831,71

Tabla 19

En conclusión obtenemos un coste de mantenimiento en 25 años de 164799,16€, es decir NOVECIENTOS VEINTICUATRO MIL OCHOCIENTOS TREINTA Y UN EUROS CON SETENTA Y UN CÉNTIMOS.

En 50 años, 427963,32€, esto es, CUATROCIENTOS VEINTISIETE MIL NOVECIENTOS SESENTA Y TRES EUROS CON TREINTA Y DOS EUROS.

Y pasados 100 años el coste es 924831,71€, es decir, NOVECIENTOS VEINTICUATRO MIL OCHOCIENTOS TREINTA Y UN EUROS CON SETENTA Y UN CÉNTIMOS.

El coste por kilómetro y año del mantenimiento en vía sobre balasto es de 92483 €, es decir, NOVENTA Y DOS MIL CUATROCIENTOS OCHENTA Y TRES EUROS.

VÍA EN PLACA

Realizamos las mismas operaciones pero para vía en placa.

Los precios unitarios son los siguientes.

Precio unitario: ml Auscultación Geométrica					
					U.O. 1
MATERIALES				IMPORTE (€)	
CÓDIGO	UD	DEFINICIÓN	COSTE (€/UD)	PARCIAL	TOTAL
					0,00
MAQUINARIA				IMPORTE (€)	
CÓDIGO	HORA	TIPO	COSTE (€/UD)	PARCIAL	TOTAL
MQ015	0,0003	Tren Auscultador Geométrico	100	0,03	
					0,03
MANO DE OBRA				IMPORTE (€)	
CÓDIGO	HORA	CATEGORÍA	COSTE (€/UD)	PARCIAL	TOTAL
MO001	0,050	2 Peones ordinarios	12,37	0,62	
					0,62
HERRAMIENTAS % sobre mano de obra					0,00
SUMA DE COSTES DIRECTOS					0,65
SUMA DE COSTES INDIRECTOS 6% SOBRE COSTE DIRECTO					0,04
TOTAL PRECIO EJECUCIÓN MATERIAL					0,69

Tabla 20

Precio unitario: ml Auscultación Dinámica					
					U.O. 2
MATERIALES				IMPORTE (€)	
CÓDIGO	UD	DEFINICIÓN	COSTE (€/UD)	PARCIAL	TOTAL
					0,00
MAQUINARIA				IMPORTE (€)	
CÓDIGO	HORA	TIPO	COSTE (€/UD)	PARCIAL	TOTAL
MQ016	0,0003	Tren Auscultador Dinámico	100	0,03	
					0,03
MANO DE OBRA				IMPORTE (€)	
CÓDIGO	HORA	CATEGORÍA	COSTE (€/UD)	PARCIAL	TOTAL
MO001	0,050	2 Peones ordinarios	12,37	0,62	
					0,62
HERRAMIENTAS % sobre mano de obra					0,00
SUMA DE COSTES DIRECTOS					0,65
SUMA DE COSTES INDIRECTOS 6% SOBRE COSTE DIRECTO					0,04
TOTAL PRECIO EJECUCIÓN MATERIAL					0,69

Tabla 21

Precio unitario: ml Renovación losa. Inyecciones en las fisuras.					
					U.O. 3
MATERIALES				IMPORTE (€)	
CÓDIGO	UD	DEFINICIÓN	COSTE (€/UD)	PARCIAL	TOTAL
MT020	0,5 Kg	Resina epoxídica	15	7,50	
					7,50
MAQUINARIA				IMPORTE (€)	
CÓDIGO	HORA	TIPO	COSTE (€/UD)	PARCIAL	TOTAL
					0,00
MANO DE OBRA				IMPORTE (€)	
CÓDIGO	HORA	CATEGORÍA	COSTE (€/UD)	PARCIAL	TOTAL
MO002	0,025	Oficial de primera	17,24	0,43	
MO001	0,075	3 Peones ordinarios	12,37	0,93	
					1,36
HERRAMIENTAS 4% sobre mano de obra					0,54
SUMA DE COSTES DIRECTOS					9,40
SUMA DE COSTES INDIRECTOS 6% SOBRE COSTE DIRECTO					0,56
TOTAL PRECIO EJECUCIÓN MATERIAL					9,97

Tabla 22

Precio unitario: ud Carriles UIC 60. Retirada de los antiguos, suministro, transporte, colocación, nivelación y soldadura aluminotérmica.					
					U.O. 4
MATERIALES				IMPORTE (€)	
CÓDIGO	UD	DEFINICIÓN	COSTE (€/UD)	PARCIAL	TOTAL
MT011	1,05	Carril UIC 60, incluso soldadura	45,89	48,1845	
					48,18
MAQUINARIA				IMPORTE (€)	
CÓDIGO	HORA	TIPO	COSTE (€/UD)	PARCIAL	TOTAL
MQ0055	0,005	Tren carrilero con útil de descarga	73,12	0,37	
MQ0058	0,005	Posicionador de carril	47,36	0,24	
					0,60
MANO DE OBRA				IMPORTE (€)	
CÓDIGO	HORA	CATEGORÍA	COSTE (€/UD)	PARCIAL	TOTAL
MO002	0,00500	Oficial de primera	17,24	0,09	
MO001	0,0100	2 Peones ordinarios	12,37	0,12	
					0,21
HERRAMIENTAS 4% sobre mano de obra					0,08
SUMA DE COSTES DIRECTOS					49,08
SUMA DE COSTES INDIRECTOS 6% SOBRE COSTE DIRECTO					2,94
TOTAL PRECIO EJECUCIÓN MATERIAL					52,03

Tabla 23

Los precios totales de las unidades de obra en los diferentes periodos de años son:

25 AÑOS					
Unidad de obra	Descripción	Precio unitario (€/Ud)	Mediciones (m)	Nº veces	Precio total de la unidad (€)
U.O. 1	A. Geométrica	0,69	100	25	1718,525
U.O. 2	A. Dinámica	0,69	100	435	29902,335
U.O. 3	R.Losa	9,97	100	0	0
U.O. 4	R. Carriles	52,03	100	0	0

Tabla 24

50 AÑOS					
Unidad de obra	Descripción	Precio unitario (€/Ud)	Mediciones (m)	Nº veces	Precio total de la unidad (€)
U.O. 1	A. Geométrica	0,69	100	50	3437,05
U.O. 2	A. Dinámica	0,69	100	870	59804,67
U.O. 3	R.Losa	9,97	100	0	0
U.O. 4	R. Carriles	52,03	100	1	5202,559076

Tabla 25

100 AÑOS					
Unidad de obra	Descripción	Precio unitario (€/Ud)	Mediciones (m)	Nº veces	Precio total de la unidad (€)
U.O. 1	A. Geométrica	0,69	100	100	6874,1
U.O. 2	A. Dinámica	0,69	100	1740	119609,34
U.O. 3	R.Losa	9,97	100	2	1993,277
U.O. 4	R. Carriles	52,03	100	3	15607,67723

Tabla 26

Los Presupuestos Base de Licitación con I.V.A se muestran a continuación.

25 AÑOS	
Presupuesto Base de Licitación:	
PEM	31620,86
Gastos Generales (17% del PEM)	5375,5462
Beneficio Industrial (6% del PEM)	18972,516
Total sin IVA	55968,92
IVA (21%)	11753,47366
Total final	67722,40

Tabla 27

50 AÑOS	
Presupuesto Base de Licitación:	
PEM	68444,28
Gastos Generales (17% del PEM)	11635,52744
Beneficio Industrial (6% del PEM)	41066,56745
Total sin IVA	121146,37
IVA (21%)	25440,73853
Total final	146587,11

Tabla 28

100 AÑOS	
Presupuesto Base de Licitación:	
PEM	144084,39
Gastos Generales (17% del PEM)	24494,34702
Beneficio Industrial (6% del PEM)	86450,63654
Total sin IVA	255029,38
IVA (21%)	53556,16933
Total final	308585,55

Tabla 29

Por lo tanto, a los 25 años el coste del mantenimiento en vía en placa es de 67722,40€, es decir, SESENTA Y SIETE MIL SETECIENTOS VEINTIDOS EUROS CON CUARENTA CÉNTIMOS.

A los 50 años, 146587,11, esto es, CIENTO CUARENTA Y SEIS MIL QUINIENTOS OCHENTA Y SIETE EUROS CON ONCE CÉNTIMOS.

Y a los 100 años será de 308585,55€, es decir, TRESCIENTOS OCHO MIL QUINIENTOS OCHENTA Y CINCO EUROS CON CINCUENTA Y CINCO CÉNTIMOS.

El coste del mantenimiento en vía en placa por kilómetro y año es de 30858 €, es decir, TREINTA MIL OCHOCIENTOS CINCUENTA Y OCHO EUROS.

6. CONCLUSIÓN

VUELO DEL BALASTO

Como comentábamos al principio del estudio, en las vías de Alta Velocidad construida sobre balasto, como es nuestro caso, nos encontramos con el problema del vuelo del balasto.

La succión del balasto se produce a partir de los 270 kilómetros por hora y sus efectos a partir de los 300 son muy importantes. Éste problema a parte de producir golpes y abolladuras tanto en los carriles como en los bogies de los coches, acelera el proceso de degradación del balasto por las aceleraciones de las partículas, lo que implica una renovación con más frecuencia y un mayor coste del mantenimiento.

Es necesario un estudio más profundo por el hecho básico de si ésta es realmente una limitación definitiva para la vía sobre balasto. Y buscar, así posibles soluciones viables y sostenibles económicamente.

TERRAPLEN

Como vemos en el apartado de viabilidad para la implantación de vía en placa de este documento, observamos que algunos aspectos demandados por la normativa no cumplen.

En vía en placa los terraplenes son una gran limitación por ser prácticamente imposible el asiento casi nulo. Y adaptar las obras de tierra para que puedan aceptar una vía en placa vale probablemente el doble o el triple de la inversión de la infraestructura.

Los japoneses no tienen apenas suelos, es por eso que casi el 80 o 90 % es vía en placa. En un tramo en el que la componente suelo sea minoritaria en el trazado, debe estudiarse, porque en función del porcentaje o kilómetros que están en el suelo puede que se decante la opción económica, respecto al ciclo de vida, hacia la opción de vía en placa.

En nuestra vía, los terraplenes son demasiado altos para vía en placa, que se limitan a 5 metros, y aunque los asientos cumplen con los límites permitidos, no se puede asegurar que en el futuro se produzcan pequeños asentamientos. Es por ello, por lo que en el presupuesto se tiene en cuenta una renovación de placa, sellando las posibles grietas en la losa de hormigón.

DESMONTE, TRAZADO Y DRENAJE

También en el desmonte de Lérida, se deberían disponer de bermas ya que sobrepasa por 3,5 metros aproximadamente la altura permitida.

Además, el peralte en vía en balasto es inferior y por lo tanto no cumple con el mínimo exigido por vía en placa, por ello, sería necesario aumentarlo como mínimo a 60 milímetros.

Y, respecto al drenaje, el balasto drena los posibles líquidos que pudieran haber en la plataforma y por ello no necesita el caz central que necesitaría la vía en placa.

Esto ocurre porque en el diseño de la vía no está pensada ni calculada para vía en placa, sino únicamente para vía sobre balasto.

TÚNELES Y VIADUCTOS

En tramos con un gran número de obras de fábrica, como en viaductos, túneles y sucesión de túneles y viaductos de gran longitud, es un buen lugar para la vía en placa. Siempre tratando adecuadamente las zonas de tierras intermedias y teniendo en cuenta en el diseño del viaducto que encima va a ir una placa.

Además, por seguridad, no solamente en caso de incendio en un túnel, sino simplemente un tren que se pare a sacar a los viajeros andando por un terreno firme en lugar de por el balasto, aparte de ser mucho más rápido, nos puede quitar muchos problemas en situaciones de evacuación.

Otro motivo por el cual en túneles es mejor vía en placa son las inclemencias del tiempo, éstas no afectan apenas al hormigón por lo que la duración de la vía en placa puede ser del doble que si estuviera fuera.

En nuestro caso, no tenemos obras de fábrica en el tramo estudiado.

COSTES

La tabla y la gráfica que se muestran a continuación manifiestan la variación de los costes de 100 metros de vía con el paso del tiempo en los diferentes tipos de vía.

Se parte del coste de construcción, que mis compañeros proporcionaron el curso pasado, y se comprueba la evolución de los costes con el mantenimiento a lo largo del tiempo.

	AÑOS			
	CONSTRUCCIÓN	25	50	100
BALASTO	691663,42	691663,42	691663,42	1616496,13
PLACA	1089481,34	1089481,34	2487548,23	1398066,89

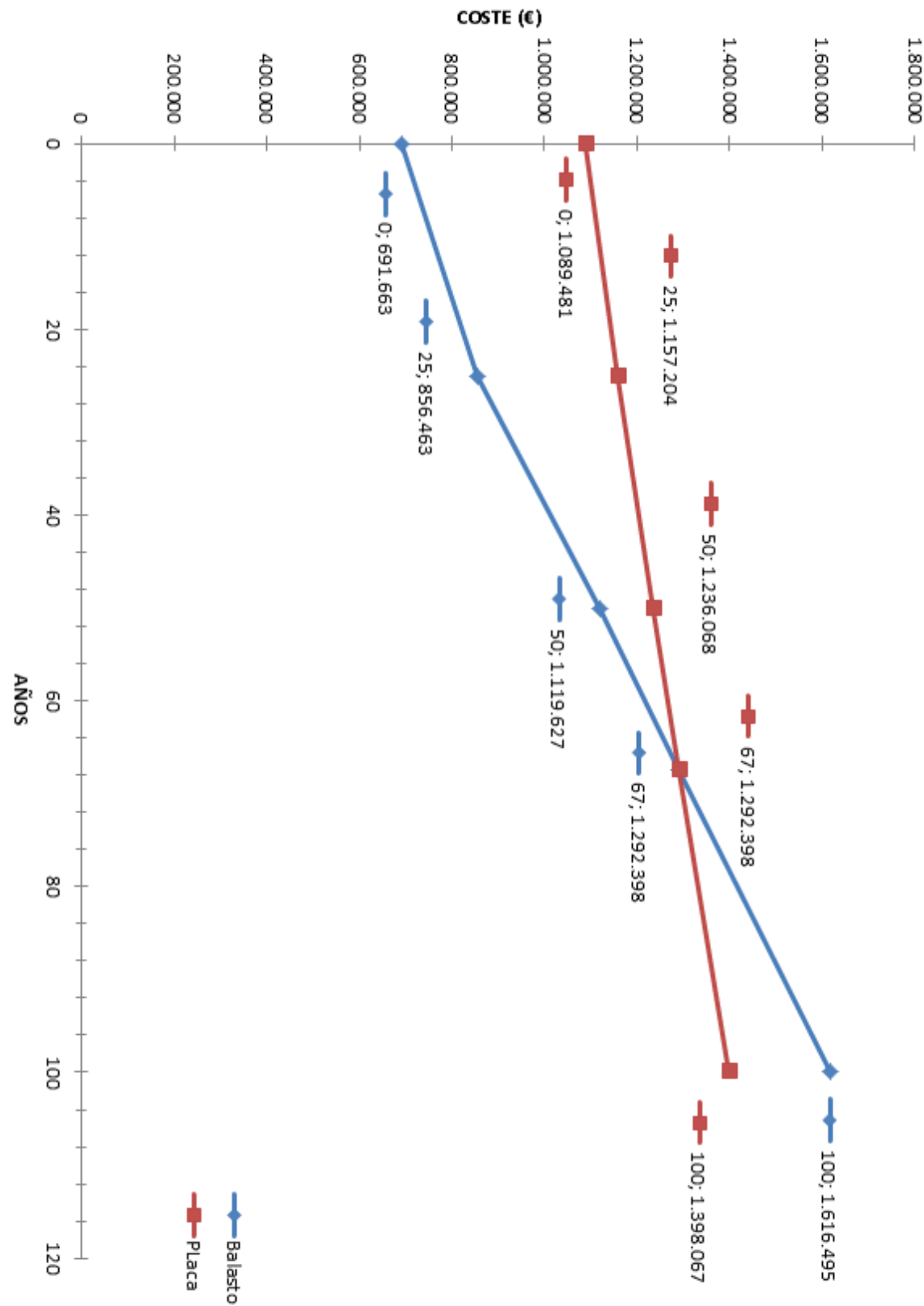
Tabla 30. Evolución del coste construcción más mantenimiento a lo largo de los años

Observamos que el coste de construcción de la vía en placa es más cara que en vía sobre balasto. Exactamente la vía en placa supone un 57,5 % más que el coste de implantación del balasto.

Sin embargo, el coste de mantenimiento de la vía sobre balasto es mayor que la de placa, con lo que en el año 100, el coste de la vía sobre balasto es superior a la de placa.

El coste de mantenimiento por kilómetro y año de la vía sobre balasto es tres veces mayor que en la vía en placa.

Como se observa en la gráfica, el año umbral en el cual la vía en placa empieza a ser más rentable que en vía sobre balasto es el año 67 desde la construcción de la vía.



Costes a lo largo del tiempo de los dos tipos de vía

En resumen, y retomando la pregunta que planteábamos al inicio del documento: Partiendo de la vía en balasto ya construida, ¿es viable la construcción de la línea en vía en placa?.

Para realizar la línea en vía en placa hay que cumplir con las carencias de algunos aspectos técnicos estudiados que la vía actual no nos ofrece.

Es decir, se necesitará aumentar el peralte al menos unos 28 milímetros para cumplir con la norma, y además, se tendrá que instalar el caz central entre ambas vías para la evacuación de los posibles líquidos que puedan caer sobre la plataforma.

En cuanto a los terraplenes, que es el elemento que puede dar más problemas, pero según el estudio realizado, y viendo que cumplen los asientos, con realizar las operaciones de mantenimiento establecidas anteriormente, no habrá ningún problema.

Respecto a los costes, la vía sobre balasto es más económica en inversión inicial, pero necesita más inversión para su mantenimiento, y en vía en placa sucede lo contrario, su implantación es más cara pero su mantenimiento es menor. Exactamente, el coste del mantenimiento en balasto es tres veces mayor al coste del mantenimiento en vía en placa.

Por ello, económicamente, será viable la construcción de la vía en placa a partir del año 67 de vida útil de la vía, en el que la vía en balasto empieza a ser menos rentable.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] *“Proyecto de montaje de vía en la línea de Alta Velocidad Madrid-Zaragoza-Barcelona-Frontera Francesa. Tramo Puente de Ebro-Lleida”*. Documento cedido por el profesor Ricardo Insa Franco.
- [2] *“Jornada de Reflexión y Debate”* de INECO. Libro cedido por el profesor Ricardo Insa Franco.
- [3] MINISTERIO DE FOMENTO *“Norma 5.2 IC”*, sobre drenaje superficial.
- [4] MINISTERIO DE FOMENTO *“Guía de cimentaciones en obras de carretera”*. Edición de 2009.
- [5] MINISTERIO DE FOMENTO, ADIF. *“Acceso de Alta Velocidad a Toledo.”*
- [6] PÁGINA WEB DE ADIF: *“www.adif.es”*.
- [7] GIF, *“Base de precios tipo para los proyectos de vía”*. Edición de 2003.
- [8] CATALÁ ASÍS, J., PELLICER ARMIÑANA, E., MONDRÍA GARCÍA, M., SANZ BENLLOCH, A. *“Valoración de Obras de Ingeniería Civil”*. Editorial Universidad Politécnica de Valencia.
- [9] AENOR, Norma UNE-EN 50126. *“Aplicaciones Ferroviarias. Especificación, y demostración de la fiabilidad, la disponibilidad, la mantenibilidad y la seguridad”*.
- [10] A. OCHOA de OLZA GALÉ. *“Mantenimiento en vía en placa y vía sobre balasto”*.
- [11] *“CAPÍTULO 2. Las Líneas de Alta Velocidad frente a las convencionales desde el punto de vista de la Infraestructura.”*
- [12] *“Corredor Mediterráneo Las Palmas de G.C - Maspalomas. Tramo: El Doctoral – Playa del Águila”*. Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid.
- [13] RICARDO INSA FRANCO. *“Diseño de vías de alta velocidad: construcción y mantenimiento”*.
- [14] TIFSA. *“Instrucciones para el diseño de la vía en placa en los proyectos básicos y constructivos de la plataforma del tren del sur de Tenerife”*.
- [15] Tesina del alumno Alexandre Vidal Muro de la UPC. *“Vibraciones en las vías de ferrocarril”*.
- [16] Documento de la UPC. *“Vía en placa en Alta Velocidad como alternativa al balasto”*.
- [17] Apuntes de la asignatura *“Caminos y Aeropuertos”*. Curso 2013/2014 de GIC.
- [18] Apuntes de la asignatura *“Ferrocarriles”*. Impartida por Ricardo Insa Franco y Jaime Pallarol Simón. Curso 2013/2014 de GIC.
- [20] Página web de Plasser Theurer: *“www.plassertheurer.com”*
- [21] CENIT. *“Evolución de los costes de conservación de los diferentes tipos de vía”*. Junio 2008.
- [22] Documento de AIR_RAIL. *“Harsco Track Technologies”*.
- [23] VOSSLOH. *“Vossloh Fastening Systems GmbH”*.
- [24] ESTRADA PANADES, JOAN MANUEL. *“La superestructura de vía sin balasto: perspectivas de su aplicación en las nuevas líneas de alta velocidad”*. Revista de Obras públicas. Septiembre 1991

Autora: M^a del Mar Martí Blázquez

Valencia, junio de 2016