UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA

GEODÉSICA, CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁAFICA

TRABAJO FINAL DE GRADO

LOS TRABAJOS TOPOGRÁFICOS
EN LA EJECUCIÓN DE UNA VÍA FERROCARRIL DE ALTA VELOCIDAD

Titulación: Grado de Ingeniería Geomática y Topografía

Autor: Yassine, Bajja

Tutor: Jesús Lorenzo, Olivares Belinchón

Valencia, Septiembre 2015

AGRADECIMIENTOS

Al profesor-tutor D. Jesús Lorenzo. Olivares Belinchón por la ayuda en la elaboración y participación en el desarrollo de este proyecto

A mis padres RADI BAJJA, SAADIA GRIBI

A mi hermana AMAL BAJJA, y mis hermanos ADIL BAJJA y OMAR BAJJA por el apoyo durante estos años de estudios.

A todos mis profesores y a mis compañer@s.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1-OBJETIVO 13
2-INTRODUCCION 13
3-APROXIMACION HISTORICA 14
4-LAS INFRAESTRUCTURAS FERROVIARIAS 21
4.1. LAS INFRAESTRUCTURAS FERROVIARIAS EN EL MUNDO 21
4.2. LAS INFRAESTRUTURAS FERROVIARIAS EN EUROPA 26
4.3 LAS INFRAESTRUCTURAS FERROVIARIAS EN ESPAÑA 31
5-CARACTERÍSTICAS DE UNA VÍA FERROCARRIL 36
5.1 EL CARRIL 37
5.2 TRAVIESAS Y CACHAS 38
5.3 SUJECIONES Y PLACAS DE ASIENTO 39
5.4 JUNTAS DE CARRILES 40
5.5 BALASTO 41
5.6 VIA EN PLACA Y SOBRE LOSAS FLOTANTES 41
5.7 APARATOS DE VIA 42
6-GEOMETRÍA DE UNA VÍA FERROCARRIL 43
6.1 TRAZADO EN PLANTA 45
6.2 PERALTE 50
6.3 TRAZADO EN ALZADO 54
6.5 ANCHO DE VIA 57
6.6 PARAMETROS DE DISEÑO DE LINEAS DE ALTA VELOCIDAD 57
6.6.1 INTRODUCCION 57
6.6.2 PARAMETROS PARA ALTA VELOCIDAD ESPAÑOLA 58
7-TRABAJOS TOPOGRÁFICOS DE UNA VÍA FERROCARRIL 60
7.1INSTRUMENTOS Y ACCESORIOS TOPOGRÁFICOS 60
7.1.1 INSTRUMENTOS TOPOGRAFICOS 60
7.1.2 OTROS INSTRUMENTOS NECESARIOS EN EL MONTAJE DE VIA 67
7.1.3 ACCESORIOS 69
7.1.4 CALIBRACION DEL INSTRUMENTAL 78
7.2 TRABAJOS TOPOGRAFICOS PREVIOS 78
7.2.1 RED DE BASES DE REPLANTEO 80
7.2.2 RED DE BASES DE NIVELACION 83
7.2.3 COMPROBACION DEL TRAZADO EN PLANTA 84
7.2.4 COMPROBACION DE LA RASANTE 88

7.3 MONTAJE DE VIA EN BALASTO 90
7.3.1 REPLANTEO DE LA VIA 92
7.3.2 CONSTRUCCION DE LA VIA EN BALASTO..... 99
7.3.3 TRABAJOS DE RENOVACION DE VIA.....107
7.3.4 MONTAJE DE APARATOS DE VIA.....111
7.4 MONTAJE DE VIA EN PLACA.....112
7.4.1 COMPARACION ENTRE VIA EN BALASTO Y VIA EN PLACA.....112
7.4.2 SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS DE VIA EN PLACA.....115
7.4.3 LA TOPOGRAFIA EN EL MONTAJE DE VIA EN PLACA 124
7.4.2 VIA EN PLACA: APLICACIÓN A ENTORNOS METROPOLITANOS 128
7.5 CALIFICACION DE LA VIA.....133
7.5.1 PARAMETROS QUE CARACETRIZAN LA CALIDAD GEOMETRICA DE UNA VIA 133
7.5.2 ESTADOS DE VIA.....134
7.5.3 SONDEOS 135
8- CONCLUSIONES 144
9- VOCABULARIO FERROVIARIO.....147
10- BIBLIOGRAFIA.....154

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 4.1 Fuente: UIC datos del 2011, publicados en 2012 y elaboración propia

Cuadro 4.2: Fuente: UIC, ONU –estimaciones de la población mundial en 2010- y elaboración propia

Cuadro 4.3: Fuente: UIC – datos del 2011 publicados en 2012 – y elaboración propia

Cuadro 4.4: Fuente: UIC – datos actualizados a 1 de julio de 2012 – y elaboración propia

Cuadro 4.5: Fuente: UIC – datos del 2011 publicados en 2012 – y elaboración propia

Cuadro 4.6: Fuente: López Pita, A, (infraestructuras ferroviarias) año 2006
Cuadro 4.7: Fuente: UIC – datos actualizados a 1 de julio de 2012 – y elaboración propia

Cuadro 4.8: Fuente: Anuario del Ferrocarril 2012 – datos actualizados a 31 de diciembre de 2011 –

Cuadro 4.9: Fuente: Anuario del Ferrocarril 2012 – datos actualizados a 31 de diciembre de 2011

Cuadro 4.10: Fuente: Anuario del Ferrocarril 2012, datos de FGV del año 2010

Cuadro 4.11: Fuente: Anuario del Ferrocarril 2012, datos de ETS del año 2010

Cuadro 4.12: Fuente: UIC – datos actualizados a 1 de julio de 2012 –

Cuadro 6.1: Fuente: elaboración propia

Cuadro 6.2: Fuente: Cuaderno técnico de vía. Geometría de la vía, Mendoza, J. José Julián

Cuadro 6.3: Fuente: Cuaderno técnico de vía. Geometría de la vía, Mendoza, J. José Julián, diseño y características de una vía ferroviaria, Calvo Poyo, F.J, Jurado Pina, R, Lorente Gutiérrez, J, de Oña López, J, y elaboración propia

Cuadro 7.1: fuente: Normativa Renfe Vía N.R.V. 7-1-3.1. Montaje de vía. Instalación de la vía. Primera edición: Enero de 1993. Dirección de Mantenimiento de Infraestructura. Dirección técnica

Cuadro 7.2: Fuente: Normativa Renfe Vía N.R.V. 7-1-3.1. Montaje de vía. Instalación de la vía. Primera edición: Enero de 1995. Dirección de mantenimiento de infraestructura. Dirección técnica

Cuadro 7.3: clasificación de los sistemas comerciales de vis en placa. Fuente: http://www.ciccp.es

Cuadro 7.4: Fuente: Panero Huerga, José Antonio, vías en placa aplicación a entornos metropolitanos

Cuadro 7.5: Fuente: Panero Huerga, José Antonio, vías en placa aplicación a entornos metropolitanos

Cuadro 7.6: Fuente: Normativa Renfe Vía N.R.V. Calificación de la vía. Alineación

Cuadro 7.7: Fuente: Normativa Renfe Vía N.R.V. Calificación de la vía. Alineación

Cuadro 7.8: Fuente: Normativa Renfe Vía N.R.V. Calificación de la vía. Alineación

Cuadro 7.9: Fuente: Normativa Renfe Vía N.R.V. Calificación de la vía. Alineación

Cuadro 7.10: Fuente: Normativa Renfe Vía N.R.V. 7-3-5.5. Calificación de la vía. Nivelación longitudinal.

Cuadro 7.11: Fuente: Normativa Renfe Vía N.R.V. 7-3-5.0. Calificación de la Vía. Peralte, alabeo y estabilidad de traviesas

Cuadro 7.12: Fuente: Normativa Renfe Vía N.R.V. 7-3-2.0. Calificación de la vía. Ancho de vía

Cuadro 7.13: Fuente: Normativa Renfe Vía N.R.V. 7-3-2.0. Calificación de la vía. Ancho de vía

Cuadro 7.14: Fuente: Normativa Renfe Vía N.R.V. 7-3-2.0. Calificación de la vía. Ancho de vía

Cuadro 7.15: Fuente: Normativa Renfe Vía N.R.V. 7-3-2.0. Calificación de la vía. Ancho de vía

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 en 1941 se nacionaliza toda la red ferroviaria, desaparecen las compañías privadas y nace la Red Nacional de Ferrocarriles Españoles –RENFE-

Figura 4.1: Distribución geográfica de la red ferroviaria mundial en porcentaje, Fuente: UIC

Figura 4.2: Porcentaje pasajeros-kilómetros para las principales áreas geográficas del mundo, Fuente: UIC

Figura 4.3: Países con alta velocidad en operación – rojo -, en construcción – amarillo – y en proyecto – azul -, Fuente: UIC-High Speed World Maps

Figura 4.4: Red de líneas de alta velocidad en China, Fuente: UIC – High Speed World Maps

Figura 4.5: Red de líneas de alta velocidad en Japón, Fuente: UIC – High Speed World Maps

Figura 4.6: Evolución del tráfico de pasajeros en Europa de 1950 a 2008 – indicador pasajeros – kilómetros medido en miles de millones- Fuente: UIC

Figura 4.7: Principales líneas de ferrocarril en Europa año 2011, Fuente: www.google.com

Figura 4.8: Red de líneas de alta velocidad en Francia, Fuente: UIC –High Speed World Maps -

Figura 4.9: Principales itinerarios ferroviarios en Alemania, Suiza, Austria y Republica Checa, Fuente: UIC – High Speed World Maps -

Figura 4.10: Red ferroviaria española en función de sus características y gestores – 31 de diciembre de 2011 - , Fuente: Anuario del Ferrocarril 2012

Figura 4.11: Longitud de las líneas de ancho ibérico y estándar en función de las características de la vía en la red gestionada por ADIF, Fuente: Anuario del Ferrocarril 2012

Figura 4.12: Longitud total de la red ferroviaria española, por comunidades autónomas, Fuente: ministerio de fomento. Transporte por ferrocarril. Datos del 2011, publicados el 2012

Figura 5.1: Detalle del sistema carril – sujeción, Fuente: www.sufetra.es y elaboración propia

Figura 5.2: Geometría del carril, Fuente: Normativa Renfe Vía N.R.V. 3-0-0.0, Carriles. Barras elementales – organismo redactor: Renfe, Área de inversiones, Gabinete y Normas

Figura 5.3: Traviesa monobloque polivalente tipo PR-90 EA – ALVISTRANVI, Fuente: Normativa Renfe Vía N.R.V. 3-1-2.1. Traviesas. Traviesas monobloque de hormigón – organismo redactor: Renfe. UN mantenimiento de infraestructura. Dirección Técnica.

Figura 5.4: Ejemplos de sujeciones elásticas en las vías modernas, a la derecha Sujeción NABLA, a la izquierda Sujeción SKL-12 , Fuente: www.zbrf.en.ecplaza.net y elaboración propia.

Figura 5.5: Brida y tornillo de brida para carril de 54 kg, Fuente: Normativa Renfe Vía N.R.V. 3-3-0.0. Juntas de carriles. Bridas y tornillos de bridas – organismo redacto: Renfe. Área de inversiones. Gabinete de proyectos y Normas.

Figura 5.6: Vía en placa, sistema Stedef, Fuente: www.google.com

Figura 5.7: Componentes de un desvío simple, Fuente: www.es.wikipedia.org

Figura 6.1: ejemplo de una vía ferrocarril en planta, (fuente: google.com)

Figura 6.2: ejemplo de una vía ferrocarril en alzado, (fuente: google.com)

Figura 6.3: Alineación recta, Fuente: diseño y características de una vía ferroviaria, Calvo Poyo, F.J, Jurado Pina, R, Lorente Gutiérrez, J, de Oña López, J

Figura 6.4: Elementos principales de una curva circular, Fuente: diseño y características de una vía ferroviaria, Calvo Poyo, F.J, Jurado Pina, R, Lorente Gutiérrez, J, de Oña López, J

Figura 6.5: Fuente: diseño y características de una vía ferroviaria, Calvo Poyo, F.J, Jurado Pina, R, Lorente Gutiérrez, J, de Oña López, J

Figura 6.6: Curva de Transición, Fuente: diseño y características de una vía ferroviaria, Calvo Poyo, F.J, Jurado Pina, R, Lorente Gutiérrez, J, de Oña López, J

Figura 6.7: Peralte, Fuente: Cuaderno técnico de vía. Geometría de la vía

Figura 6.8: Diagrama de esfuerzos sobre el material móvil en las curvas, Fuente: diseño y características de una vía ferroviaria, Calvo Poyo, F.J, Jurado Pina, R, Lorente Gutiérrez, J, de Oña López, J

Figura 6.9: Perfil longitudinal de una vía, Fuente: Cuaderno técnico de vía. Geometría de la vía, Mendoza, J.

Figura 6.10: Curva vertical, Fuente: Cuaderno técnico de vía. Geometría de la vía, Mendoza, J. José Julián

Figura 7.1: características del carro de vía Amberg GPS System FX, Fuente: http://www.grupoacre.com

Figura 7.3: carro de vía Amberg GRP System FX, Fuente: Manual Amberg Rail-Amberg Technologies AG

Figura 7.4: partes principales de una regla de vía digital, Fuente: http://www.instop.es

Figura 7.5: Regla Digital colocación-izquierda, medición-derecha, Fuente: http://www.instop.es

Figura 7.6: Proceso de medición con las asas de flechar, Fuente: http://www.carttop.com

Figura 7.7: elementos de sustentación, trípodes y consolas, Fuente: http://www.geoconcept.es

Figura 7.8: Bases nivelantes y soportes portaprismas, Fuente: http://www.geoconcept.es y elaboración propia

Figura 7.9: Tipos de centrados forzosos, Fuente: http://www.geoconcept.es y elaboración propia

Figura 7.10: Tipos de prismas y miniprismas, Fuente: http://www.geoconcept.es y elaboración propia

Figura 7.11: Dianas reflectantes y soportes basculantes para dianas y miniprismas, Fuente: http://www.geoconcept.es y elaboración propia

Figura 7.12: Tipos de mira de nivelación, Fuente: http://www.grupoacre.com y elaboración propia

Figura 7.13: Zapatas portaprisma, Fuente: http://www.geoconcept.es

Figura 7.14: Medición del ancho de vía con zapatas. Fuente: http://www.geoconcept.es

Figura 7.15: La Zapata utilizada en vías peraltadas, no mantiene la superficie de rodadura horizontal. Fuente: http://www.geoconcept.es

Figura 7.16: Zapatas para flechar vías férreas. Fuente: http://www.geoconcept.es

Figura 7.17: Proceso de medición con las zapatas para flechar vías férreas. Fuente: http://www.geoconcept.es

Figura 7.18: Regla de vía para estación total. Fuente: http://www.geoconcept.es

Figura 7.19: Medidor de peralte que se puede incorporar a la regla de vía para estación total. Fuente: http://www.geoconcept.es

Figura 7.20: Medición del peralte con la regla de vía para estación total. Fuente: http://www.geoconcept.es

Figura 7.21: Ejemplo de listado de puntos singulares del trazado. Fuente: Normativa Renfe Vía N.R.V. 7-1-0.2. Montaje de vía. Métodos de replanteo

Figura 7.22: ejemplo de listado de puntos a intervalo constante de 20 m desde el origen del trazado. Fuente: Normativa Renfe Vía N.R.V. 7-1-0.2. Montaje de vía. Métodos de replanteo

Figura 7.23: ejemplo de listado con las coordenadas y distancia al eje de los puntos de paso obligado y los del borde de la plataforma tomados en campo. Fuente: Normativa Renfe Vía N.R.V. 7-1-0.2. Montaje de vía. Métodos de replanteo

Figura 7.24: ejemplo de listado de la rasante. Fuente: Normativa Renfe Vía N.R.V. 7-1-0.2. Montaje de vía. Métodos de replanteo

Figura 7.25: ejemplo de listado de la rasante de la vía en puntos fijos cada 20 m. fuente: Normativa Renfe Vía N.R.V. 7-1-0.2. Montaje de vía. Métodos de replanteo

Figura 7.26: secuencia de los trabajos de montaje de la vía. Fuente: Normativa Renfe Vía N.R.V. 7-1-0.0. Montaje de vía. Secuencia de los trabajos de construcción de una línea. Primera edición: 20 de julio de 1993

Figura 7.27: Marcaje por bulones en muros, túneles y postes de catenaria de hormigón centrifugado. Fuente: Normativa Renfe Vía N.R.V. 7-1-0.2. Montaje de vía. Métodos de replanteo. Primera edición: Marzo de 1994

Figura 7.28: Marcaje de taladores en postes de catenaria metálicos. Fuente: Normativa Renfe Vía N.R.V. 7-1-0.2. Montaje de vía. Métodos de replanteo. Primera edición: Marzo de 1994

Figura 7.29: marcaje para puntos de suelo. Fuente: Normativa Renfe Vía N.R.V. 7-1-0.2. Montaje de vía. Métodos de replanteo. Primera edición: marzo de 1994

Figura 7.30: Marcaje con bulones verticales o clavos. Fuente: Normativa Renfe Vía N.R.V. 7-1-0.2. Montaje de vía. Métodos de replanteo. Primera edición: Marzo de 1994

Figura 7.31: Cabeza de marcaje para piquete de carril. Fuente: Normativa Renfe Vía N.R.V. 7-1-0.2. Montaje vía. Métodos de replanteo. Primera edición: Marzo de 1994

Figura 7.32: ejemplo de hoja de dos kilómetros. Fuente: Normativa Renfe Vía N.R.V. 7-3-5.5. Calificación de la vía. Nivelación longitudinal. Primera edición: septiembre de 1983. Área de inversiones. Gabinete de proyectos y Normas

Figura 7.32: Valores de longitudes de rampa y de acuerdos verticales en función de la diferencia de cota entre vía nueva y Antigua. Fuente: Normativa Renfe Vía N.R.V. 7-1-0.3. Vía montaje de vía. Primera edición: Agosto de 1983.

Figura 7.33: Ejemplo de materiales usados y nuevos en las renovaciones de vía. Fuente: Normativa Renfe Vía N.R.V. 7-1-0.3. Vía. Montaje de vía. Primera edición: Agosto de 1983

Figura 7.34: sección tipo del sistema de vía en placa de apoyo del carril colocado en el tramo Ricla-Calatorao de la línea ferroviaria Madrid-Barcelona. Fuente: http://www.ciccp.es

Figura 7.35: Sistema STEDEF del tramo experimental Oropesa-Las Palmas. Fuente: http://www.ciccp.es

Figura 7.36: Esquema del sistema de traviesas apoyadas sobre losa BTD. Fuente: http://www.ciccp.es

Figura 7.37: ejemplo del empleo de las mantas CDM a un sistema ferroviario tranviario. Fuente: http://www.ciccp.es

Figura 7.38: elementos que componen una losa BOGL. Fuente: http://max-boegl.de

Figura 7.39: Esquema del sistema de losa flotante sin traviesas japonés Shinkansen. Fuente: http://www.ciccp.es

Figura 7.40: tensor de alineación. Fuente: Railtech-Sufetra-Tranosa

Figura 7.41: Esquema de la reducción de la sección en túneles y falsos túneles. Fuente: Ingeniería de vías elásticas S.A 2001, carril embebido: descripción del sistema

Figura 7.42: izquierda: detalle de la circulación de emergencia sobre el carril embebido. Fuente: Ingeniería de vías elásticas S.A 2001, carril embebido: descripción del sistema. Derecha: vista del sistema de vía en placa de carril embebido EDILON. Fuente: Panero, J. 2008 vía en placa: aplicación a entornos metropolitanos.

Figura 7.33: parámetros que definen la calidad geométrica de una vía. Fuente: López Pita, Andrés 2006, Infraestructuras ferroviarias, UPC

Figura 7.34: Modelo del impreso a rellenar en el sondeo de alineación de vía. Fuente: Normativa Renfe Vía N.R.V. 7-3-6.0. Calificación de la vía. Alineación

Figura 7.35: Modelo para la calificación del peralte, alabeo y estabilidad de traviesas. Fuente: Normativa Renfe Vía. Peralte, alabeo y estabilidad de traviesas.

Figura 7.36: Modelo de ficha para la calificación del ancho de vía. Fuente: Normativa Renfe Vía N.R.V. 7-3-2.0. Calificación de la vía. Ancho de vía

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 3.1 Retrato de james watt (1736 Greenock, Escocia -1819 Birmingham, Reino Unido) pintado por Henry Howard (Fuente: National Portrait Gallery, Londres)

Imagen 3.2 la locomotora 020 George Stephenson, utilizada en la primera línea de ferrocarril del mundo, la de Stockton a Darlington en Inglaterra 1825

Imagen 3.3 Fotografía de principios del siglo XX de la estación de Orleans, muelle de Orsay en París-Francia, (Fuente: http://www.google.com)

Imagen 3.4 Construccion de la ≪ *Central Line* ≫ del metro de Londres en 1898, Fuente: The British Library

Imagen 3.5 Tren del Centenario (1848-1948), Conmemoración del primer centenario del FF.CC. en España

Imagen 4.1: Fotografía del AVE – alta velocidad Española -, Fuente: RENFE

Imagen 7.1: Estacion total robotizada Leica ICON robot 50, Fuente: http://www.leica-geosystems.es , http://apac.getac.com y elaboración propia.

Imagen 7.2: nivel automático NAK2 de Leica, Fuente: http://www.leica-geosystems.es

Imagen 7.3: Receptor GPS Leica SR20, Fuente: http://www.docstoc.com

Imagen 7.4: carro de vías con sistema de medición relativo, Fuente: http://www.geoconcept.es

Imagen 7.5: Regla Digital Carttop Absolute 1435 con sistema de medición absoluto, Fuente: http://www.carttop.com

Imagen 7.6: inicio de las obras de montaje de vía sobre la plataforma finalizada. Fuente: http://www.google.com

Imagen 7.7: vértice geodésico del IGN – INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL –. Fuente: http://www.taringa.net

Imagen 7.8: PAG Programa de Aplicaciones Geodesicas. Fuente: http://www.ign.es

Imagen 7.9: información sobre un vértice geodésico. Fuente: http://www.ign.es

Imagen 7.10: Hito topográfico construido para obra del ADIF. Fuente: http://www.tusolspain.com

Imagen 7.11: captura de pantalla del programa de diseño ferroviario Benley Rail Track. Fuente: http://www.google.com

Imagen 7.12: Fotografia de una bateadora. Fuente: http://www.google.com

Imagen 7.13: Trabajos de montaje de vía en la línea de alta velocidad Madrid-Valencia a su paso por Requena. Fuente: http://www.google.com

Imagen 7.14: Electrificación ferroviaria. Fuente: http://www.adif.es

Imagen 7.14: Transportador y pórticos de montaje. Fuente: Nociones Básicas ferroviarias

Imagen 7.15: Acopio de carriles y pórticos preparados para su carga a los trenes de trabajo. Fuente: http://www.feve.es

Imagen 7.16: Transportador y pórticos de montaje. Fuente: http://www.feve.es

Imagen 7.17: detalle de los bates de una bateadora. Fuente: http://www.google.com

Imagen 7.18: carro de vía se puede utilizar junto con una estación total o un receptor GPS. Fuente: http://www.google.com

Imagen 7.19: trabajos de renovación de vía en la línea de ancho convencional Zafra-Huelva. Fuente: http://www.ugofe.com.ar

Imagen 7.20: Desguarnecedora trabajando. Fuente: http://www.google.com

Imagen 7.21: auscultación con el carro de vías. Fuente: http://www.dosdemil.es

Imagen 7.22: vía en placa sistema OBB-POOR instalado en túnel (Austria). Fuente: http://www.railone.com

Imagen 7.23: modelo en 3D de la estructura de la vía en placa del sistema sin armadura continua sobre capa portante de balasto. Fuente: http://www.railone.com

Imagen 7.24: tranvía de Zaragoza con sistema de carril embebido. Fuente: http://www.google.com

Imagen 7.24: corte transversal del sistema de carril embebido tipo EDILON. Fuente: http://www.ciccp.es

Imagen 7.25: sistemas de bloques recubiertos de elastómero. Fuente: http://www.sufetra.es

Imagen 7.26: línea de alta velocidad Nuremburg-Ingolstadt, en Alemania, construida de placas prefabricadas BOGL. Fuente: http://es.wikipedia.org

Imagen 7.27: Obras de construcción del tranvía de Jaén. Funte: http://www.google.com

Imagen 7.28: Trabajos topográficos para la alineación y nivelación de la vía. Fuente: http://www.balzola.com

Imagen 7.29: Montaje de vía por separado de forma lineal en túneles. Fuente: http://www.ecomovilidad.net

Imagen 7.30: trabajos de hormigonado de la vía en placa. Fuente: http://www.google.com

Imagen 7.31: vehículo para el mantenimiento de la vía. Fuente: http://www.google.com

Imagen 7.32: Desvío montado en fabrica. Fuente: http://www.amufer.es

1-OBJETIVO

Según la normativa vigente, una vez superadas todas las asignaturas que conforman el plan de estudios, es perceptiva la realización, entrega, exposición y defensa de un trabajo final de grado TFG que tiene doce 12 ECTS, para la obtención del Título Universitario Oficial de Grado de Ingeniero en Geomática y Topografía por la Universidad Politécnica de Valencia.

El TFG consiste en aplicar la capacidad adquirida para resolver, analizar, proyectar o aplicar cualquier tema o asunto que corresponda al ámbito profesional de la titulación, el presente documento constituye una memoria del TFG, en el que se han aplicado las competencias adquiridas durante los años de estudio.

El propósito en este trabajo es muy claro, profundizar firmemente en la actual labor de los Trabajos Topográficos en la Ejecución de las Vías Ferrocarriles, desde el conocimiento y cuantificación de los parámetros generales de los trabajos topográficos, las características, la geometría de la vía hasta la metodología topográfica para el montaje de vía, en balasto y en placa, además bajo el planteamiento general del trabajo, surgen otras propuestas interesadas: el conocimiento y el manejo de los nuevos instrumentales topográficos específicos, carro de vías y regla digital, con sistema de posicionamiento absoluto y accesorios ferroviarios típicos como zapatas portaprisma, asas de flechar etc ; cómo materializar una red de bases de replanteo y nivelación en una lineal ferroviaria, los trabajos topográficos necesarios para realizar la renovación de una vía, o los sondeos a realizar para la calificación de la vía alineación, nivelación longitudinal y transversal, ancho de vía y aparatos de vía.

2-INTRODUCCION

El ferrocarril, tras sufrir un largo período de letargo posterior a la segunda guerra mundial, ha experimentado en las últimas décadas un desarrollo espectacular tanto a nivel internacional como en España en particular, gracias a la construcción de nuevas infraestructuras y a la implementación de servicios de alta velocidad, en consecuencia se han realizado progresos notables en el conocimiento de los diversos ámbitos que configuran el ferrocarril como medio de transporte, en la actualidad los estudios e investigaciones se centran en la comodidad, seguridad y aumento de la velocidad.

Como ocurriera en toda Europa, los ferrocarriles españoles tienen su origen en siglo 19, el primer ferrocarril español que entró en servicio fue en la provincia de Cuba en el año 1837, aunque en España peninsular la primera concesión fue el tramo Jerez-El portal, sobre el río Guadalete en 1829 no es hasta 1848 cuando se inaugura la primera línea de ferrocarril construida en la península Ibérica: la línea Barcelona-Mataró, a partir de ahí se ha configurado una amplia red ferroviaria que ha permanecido hasta nuestros días y cuya construcción ha requerido de gran cantidad de recursos financieros y ha estado ligada a los desarrollos técnicos de cada época que han condicionado la forma de realización de los trabajos propios que suelen desarrollarse en materia de líneas de ferrocarril.

La UIC (International Union Of Railways), define Alta Velocidad a la combinación de todos los Elementos que constituyen el sistema formado por infraestructura, material rodante y condiciones de funcionamiento que permiten alcanzar velocidades superiores a 250 km/h en el caso de nuevas líneas o velocidades superiores a los 220 km/h en el caso de líneas acondicionadas, es considerado como uno de los medios de transporte más seguros del mundo.

Los antecedentes sobre implantación de este tipo de líneas en nuestro país se remontan al 14 de abril de 1992; cuando fue inaugurada la primera línea de alta velocidad Española: la LAV Madrid-Sevilla. Supuso la introducción del ancho de vía internacional 1435 mm, el ancho ibérico es un problema histórico que aún arrastramos en la actualidad, desde esta fecha, se han venido realizando grandes esfuerzos inversores que han hecho posible que la red de Alta Velocidad Española sea la más extensa de Europa y la segunda del mundo, por detrás de China, superando a países con gran tradición en esta tecnología, como Japón o Francia.

Geométricamente, las características geométricas tanto en planta como en alzado de los trazados de las líneas de ferrocarril, están condicionadas por aspectos como el cumplimiento de unas determinadas condiciones de comodidad para el viajero y el establecimiento de unas condiciones de seguridad para la circulación de vehículos.

En la instrumentación topográfica, cada día resulta más imprescindible para los profesionales del sector conocer los avances que hacen posible una ingeniería técnicamente más factible y económicamente más interesante, para los ingenieros topógrafos también, en la actualidad las obras de montaje de superestructuras ferroviarias requieren exigen instrumental cada vez más fiable y preciso que incrementan el rendimiento son olvidar la precisión, para dar respuesta a estos retos, han surgido en los últimos años nuevas herramientas que facilitan la labor del topógrafo pero asimismo implican un cambio profundo en la metodología de trabajo, el carro de vías y la regla digital, ambos con sistema de posicionamiento absoluto de la vía.

La evolución en la percepción del ferrocarril ha cambiado considerablemente a lo largo de su historia, algunos ejemplos:

- Francisco Cambó en 1921: ≪ la única solución posible está en el rescate de las grandes líneas ferroviarias por el estado, concediendo la explotación a diversas Compañas en régimen de gestión interesada, después de una estructuración racional de las líneas rescatadas… ≫
- Luis Armand en 1964: ≪ el ferrocarril será el modo de transporte del siglo 21 si logra sobrevivir al siglo 20 ≫
- Años 90: ≪ La Alta Velocidad ha cambiado la percepción del ferrocarril, si el ferrocarril no existiese habría que crearlo ≫

El futuro del ferrocarril es prometedor, pero se enfrenta en los próximos años a una serie de retos, entre los que cabe destacar: técnicos interoperabilidad, consumo energético, reducción de impactos, etc. Organizativos optimización de la capacidad existente, introducción de la competencia en el ámbito de viajeros, etc. Y económicos mantenimiento de las redes existentes y desarrollo de nuevas infraestructuras.

3-APROXIMACION HISTORICA

El ferrocarril es un medio de transporte terrestre a gran escala, tanto de personas como de mercancías, en vehículos con ruedas guiadas, que se desplaza sobre carriles paralelos, la palabra ≪ ferrocarril ≫ está formada con raíces latinas, sus dos componentes léxicos son *ferrum*-hierro y *carrus*- vehículo con ruedas.

El transporte siempre ha sido un problema para el hombre, en el que ha ido avanzando paralelamente a su evolución, el desarrollo del transporte se puede dividir en dos períodos, durante el primero que comprende desde los tiempos más remotos hasta principios del siglo 19, el transporte se efectuaba utilizando la fuerza humana o la de animales como elemento motriz, el segundo período tuvo como inicio el descubrimiento de nuevas fuerzas motrices como el vapor de agua, el carbón y los combustibles fósiles, los cuales permitieron el perfeccionamiento de los medios de transporte.

El ferrocarril fue uno de los motores decisivos en el despegue final del proceso de industrialización y además produjo una auténtica revolución en el mundo de los transportes con importantes consecuencias de todo tipo, pero el ferrocarril no aparece en la historia tal y como lo conocemos en la actualidad, como un sistema complejo de transporte, sino que es consecuencia y evolución de tres hitos importantes que surgen de forma independiente: la rueda, el carril y la locomotora de vapor.

En la actualidad, el desarrollo se basa en el aumento de velocidad, la mejora en la seguridad de los trenes, la comodidad de los pasajeros o en reducir el consumo, una de las últimas innovaciones es la aplicación de la energía magnética, esto ha permitido desarrollar trenes de levitación magnética, al no haber contacto físico con el carril puede alcanzar velocidades muy elevadas, pero aún quedas dudas sobre su viabilidad económica debido a su elevado coste de fabricación y consumo energético.

La importancia que alcanzó la industria minera de carbón, junto a la economía, son dos elementos esenciales para comprender la aparición y evolución de **la máquina de vapor**. En 1712 Thomas Newcomen, Dormouth - Inglaterra-, inventó una máquina que funcionaba con vapor basada en algunos descubrimientos realizados anteriormente, ésta podía bombear media tonelada de agua por minuto, el doble que la máquina que Savery presentó en 1699 destinada a extraer el agua que se

acumulaba en las galerías de las minas y que había extendido su uso en los años posteriores. La máquina de Newcomen o máquina de vapor atmosférica no tuvo competencia siendo la reina de todas las minas europeas durante seis décadas.

Un constructor de instrumentos científicos llamado James Watt, durante el invierno de 1764 puso fin al monopolio de Newcomen, durante un año busca los fallos de la máquina de Newcomen y la perfecciona.

Posteriormente, la máquina de condensación de Watt evolucionó hacia la máquina de doble acción: lo que antes era el vástago de una bomba de agua, ahora era una biela que mueve un volante de inercia.

Imagen 3.1 Retrato de james watt (1736 Greenock, Escocia -1819 Birmingham, Reino Unido) pintado por Henry Howard (Fuente: National Portrait Gallery, Londres)

Un motor térmico de combustión externa estaba moviendo una rueda: había estallado la Revolución Industrial y Watt, con su avalancha de inventos, fue uno de los culpables, Watt amasó una gran fortuna, todas las fábricas funcionan con sus enormes máquinas de vapor de doble efecto.

Los dos principios mecánicos, guiado de ruedas y uso de fuerza motriz fueron combinados por primera vez por el ingeniero de minas inglés Richard Trevithick, quien el 24 de febrero de 1804 logró adaptar la máquina de vapor, utilizada desde principios del siglo XVIII para bombear agua, para poner en funcionamiento una locomotora que hizo circular un tren a la nada despreciable velocidad de 8km/h, arrastrando cinco vagones cargados con 10 toneladas de acero y 70 hombres, sobre una vía de 15 km/h en la fundación de Pen y Darren al sur de Gales.

A Trevithick se le puede atribuir como el primer constructor de una locomotora para ferrocarril, en julio de 1808 su locomotora llamada ≪ Catch me who can ≫ que me coja el que pueda, hacia demostraciones en un circuito de pruebas y desafiaba a recorrer en 24 horas más millas que cualquier caballo de Inglaterra.

Durante la segunda década del siglo XIX se proyectaron diferentes tipos de locomotoras por varios constructores, la mayoría de ellas se quedaron solamente en proyectos y otras en prototipos poco afortunados, así que aunque muchos nombres han aportado avances al desarrollo de la locomotora de vapor fueron sin duda los Stephenson padre e hijo, los que desarrollaron la locomotora que marcaría la línea tecnológica a seguir para el futuro y les corresponde a ellos el mérito de haber elevado el ferrocarril guiado por rueda de pestaña a la categoría de modo de transporte universal, seguro, rápido, capaz y económico.

La primera línea férrea pública del mundo fuel la línea de Stockton-Darlington, en el norte de Inglaterra, dirigida por George Stephenson e inaugurada en 1825, durante algunos años esta vía sólo transportó mercancías utilizando en ocasiones como fuerza motora la tracción animal de los caballos, la primera vía férrea para transporte de pasajeros y de carga que funcionaba exclusivamente con locomotoras de vapor fue la de Liverpool-Manchester inauguraba en 1830, también dirigida por George Stephenson aunque en esta ocasión con la ayuda de su hijo Robert.

Imagen 3.2 la locomotora 020 George Stephenson, utilizada en la primera línea de ferrocarril del mundo, la de Stockton a Darlington en Inglaterra 1825

El éxito comercial, económico y técnico de la línea Liverpool-Manchester transformó el concepto de líneas férreas y no sólo en Gran Bretaña, algo que antes se veía como medio para cubrir recorridos cortos, beneficioso especialmente para la minería, se consideraba ahora capaz de revolucionar el transporte de largo recorrido tanto de pasajeros como de mercancías.

Desde mediados de la década de 1830, se desarrollo con rapidez en gran Bretaña y en Europa continental la construcción de vías férreas entre ciudades, los ferrocarriles ingleses fueron construidos por empresas privadas con una intervención mínima por parte del Gobierno, pero en la Europa continental casi siempre la construcción estuvo controlada, y en ocasiones hasta realizada por los gobiernos nacionales o estatales, asíse estableció en Europa excepto en Gran Bretaña, la tradición del ferrocarril como empresa pública y la obligación del gobierno de financiar cuanto menos en parte, el mantenimiento y la ampliación de la infraestructura nacional de vías férreas, la intervención estatal se consideró primordial a la hora de elegir y unificar el ancho de vía, que de todos los parámetros es el que mejor define una vía ferroviaria.

El control gubernamental más estricto en la construcción y planificación de los primeros ferrocarriles europeos se dio en Francia, con el resultado de que ya en el siglo XIX contaba con la red de líneas troncales mejor planificada del continente y también la mejor preparada para los futuros incrementos de velocidad.

La construcción de vías férreas se expandió a tal ritmo en la década de 1840 que al terminar la misma se habían construido 10715 km de vía en Gran Bretaña, 6080 km en Alemania y 3174 km en Francia, en el resto de Europa Central y del Este, excepto en los países Escandinavos y los Balcanes, se había puesto en marcha la construcción del ferrocarril.

Los viajes en tren pronto se hicieron populares pero hasta la segunda mitad del XIX la rápida expansión de los ferrocarriles europeos estuvo guiada sobre todo por la necesidad de la naciente industria de transportar productos y la capacidad del ferrocarril para hacerlo a un precio que garantizaba buenos beneficios a los inversores.

En 1914, ya existía excepto en los países Escandinavos, la red de vías férreas que prácticamente hoy tiene Europa una vez terminados los túneles de la gran vía transalpina: el Mont Cenis o Fréjus entre Francia e Italia en 1871 el San Gotardo en Suiza en 1881, el Arlberg en Austria en 1883, en Suiza el Simplon en 1906 y el Lotschberg en 1913.

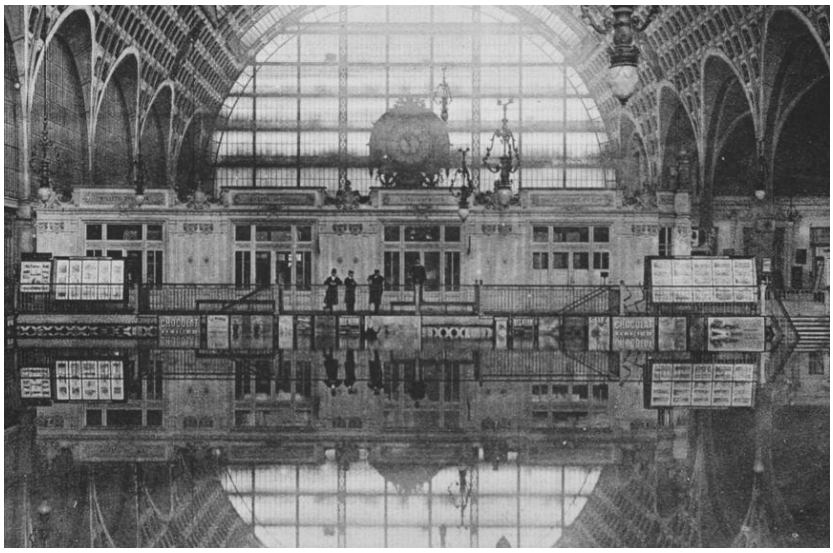


Imagen 3.3 Fotografía de principios del siglo XX de la estación de Orleans, muelle de Orsay en París-Francia, (Fuente: http://www.google.com)

El primer metro del mundo fue el subterráneo de Londres denominado *Metropolitan Railway* inaugurado el 9 de enero de 1863 con seis kilómetros de longitud. Durante los años sucesivos fue extendiéndose de forma que en 1884, formaba un anillo de aproximadamente 20 kilómetros. Posteriormente se le añadieron líneas radiales, parte de ellas a cielo abierto y parte en túnel para constituir el *Metropolitan* and *District Railway*. Las locomotoras eran de vapor. Más tarde se comenzó la excavación de túneles en forma de tubo y se electrificaron las líneas, de allí la denominación inglesa ≪ *Tube* ≫

La siguiente ciudad en tener metro fue Nueva York, cuya línea más antigua que estaba totalmente separada del tráfico, la *West End* de la BMT, estuvo en uso desde el mismo año que el subterráneo de Londres en 1863.

Cronológicamente, el tercer metro más antiguo del mundo y el más corto es el de Estambul. El tramo llamado Túnel fue inaugurado en 1876 y comunica el barrio de *Karakoy* con la torre Gálata. Se construyo entre 1871 y 1876 por una empresa inglesa con un proyecto de un ingeniero francés, Eugene Henry Gavand. Tiene 570 metros de longitud y el trayecto dura solamente dos minutos.

En 1896, Budapest con la inauguración de la línea Vörösmarty Tér-Széchenyi Fürdö de 5 km y lascow con un circuito cerrado de 10 km fueron las siguientes cuidades europeas en disponer de metro.

La tecnología se extendió rápidamente a otras ciudades europeas y a los Estados Unidos, donde un elevado número de sistemas se han construido a partir del siglo XX comenzó la expansión por Latinoamérica, Oceanía, África y Asia donde el crecimiento ha sido más grande en los últimos años.

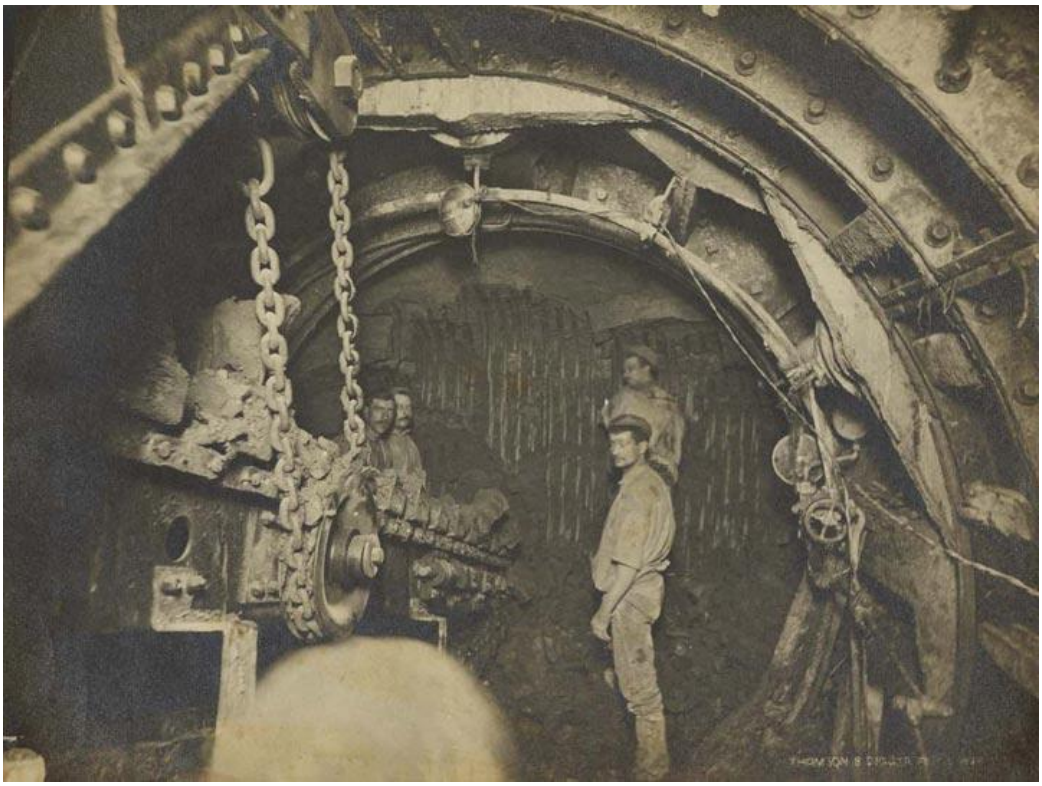


Imagen 3.4 Construccion de la ≪ *Central Line* ≫ del metro de Londres en 1898, Fuente: The British Library

En España, a pesar de la creencia general, la primera línea ferroviaria puesta en servicio no fue la de Barcelona-Mataró, ésta es la primera línea peninsular. Es conocido que la primera se construyo en la isla de Cuba, entre la Habana y Güines, destinada a dar una salida a la producción azucarera, siendo inaugurada en 1837, adaptándose el ancho de vía internacional de 1435 mm. No obstante, la acertada decisión tomada en los albores del ferrocarril en España sobre el ancho de vía no tuvo continuación en el ámbito peninsular tal y como ya habíamos comentado anteriormente.

Las sucesivas peticiones de construcción de líneas de ferrocarril en España, que ya desde 1829 se elevaron al Gobierno, tropezaron con la ausencia de un marco legal que fijara las condiciones de su construcción y posterior funcionamiento, este vacío legal concluyó con la promulgación de la Real Orden de 31 de diciembre de 1844 mediante la cual se establecían las condiciones de carácter general que habían de regular la construcción de las futuras líneas de ferrocarril en España.

Don Miguel Biada Bunyol fue el gran precursor del ferrocarril entre la ya próspera e industriosa Barcelona y su pueblo natal Mataró, Este hombre marchó cuando era joven a lo que se conocía popularmente como ≪ *hacer las américas* ≫ y realmente lo consiguió. Se estableció en Maracaibo, Venezuela y más tarde en la Habana donde pudo ver el primer ferrocarril cubano que a cargo de la real Junta de Fomento de la Habana, se construía entre 1834 y 1837 cuando regresó a Barcelona en 1840 tenía la idea fija del ferrocarril.

Otro catalán residente en Londres José María Roca, a través de su representante presentó una instancia al jefe Político de la provincia de Barcelona. Se declararon protectores de esa empresa el Capitán General, barón de Mecer y unas cuarenta personas más destacadas de la industria y el comercio. Elaboraron con su respaldo un proyecto con el coste de la obra y el rendimiento de su explotación.

Se fijó una oficina provisional en un local de Miguel Biada, administrándose solicitudes de participación, hasta formar una sociedad con un capital de millón de duros, distribuidos en 10.000 acciones de 100 duros. Se formalizó su constitución el 6 de junio de 1845 a la que el Sr. Roca cedió la concesión y privilegios, comprometiéndose a presentar los planos, perfil y demás documentos.

Fueron contratados las obras con la casa Mackenzie-Brassey por un precio de 112.849 libras esterlinas y a principios de 1847 dio comienzo el envío de personal y material a España, contando con 1200 acciones. El trazado sólo tenía dos obras de

importancia: el túnel de Mongat, en roca viva, con una longitud de 135 metros y el puente sobre el Besós construido en madera.

En 1848 las obras estaban muy avanzadas y además otro tipo de construcciones e industrias cobraron vida alrededor del ferrocarril. Dos directivos de la compañía fueron a Londres para aclarar algunos asuntos y comprar cuatro locomotoras por un coste total de 19.822 libras. Las cosas iban muy bien y a las locomotoras adquiridas se les asignaron los nombres de Cataluña, Barcelona, Mataró y Besós.

Imagen 3.5 Tren del Centenario (1848-1948), Conmemoración del primer centenario del FF.CC. en España

La inauguración tuvo lugar el 28 de octubre de 1848 con el acto de la bendición a las 9 de la mañana. Terminada la ceremonia con una numerosa representación de las autoridades locales, partió el tren inaugural que detuvo ampliamente en todas las estaciones llegando a las 12 a Mataró, en lo sucesivo el público llenó todos los trenes y la admiración y el entusiasmo que el ferrocarril produjo fue grande. El fin principal de aquel ferrocarril era el transporte de viajeros y con esta afición que despertó y por la importancia de la zona recorrida, la explotación fue rentable y prosperó la vida económica de la sociedad.

Para la línea Madrid-Aranjuez, el promotor fue D. José de Salamanca. El ingeniero español Pedro Lara, que en 1844 trabajaba en el proyecto Madrid-Aranjuez ya lo veía como la primera parte de una gran línea hacia el Mediterráneo, de la que entonces ya se hablaba, Pedro Lara obtiene la concesión provisional en abril de 1844 y sobre esta base se constituyó una sociedad que se llamaría ≪ *Empresa del Camino de Hierro de Maria Cristina* ≫, los estatutos de la empresa están fechados el 20 de mayo de 1844 constituyéndose la junta del gobierno y necesitando un capital inicial de 1.000.000 de pesos, sólo para el camino de Aranjuez.

Era difícil reunir aquel dinero abandonándose el asunto poco a poco, hasta que lo recoge con energía D. José de Salamanca. Así el 6 de abril le es concedida a él personalmente la línea de Madrid-Aranjuez. Con más medios que Lara construyó una nueva sociedad el 24 de diciembre de 1845 de la que una parte suscribía el propio Salamanca, poseedor de la concesión y privilegio del camino.

En mayo de 1846 comenzaron las obras antes que las del Barcelona-Mataró. La explanación se hacía a buen ritmo, pero la crisis económica de 1847 paralizó las obras. Estas no se reanudarían hasta 1849 al año siguiente su empresa consigue una ayuda del gobierno mediante garantía de interés al capital que se invierta, arreglándose de esta forma los problemas económicos, el plazo de construcción era de tres años, pero hubo de prorrogarse por otros tres.

La inauguración oficial se llevó a cabo el 9 de febrero de 1851 construyéndose para el acontecimiento un coche Real, salón de gran ostentosidad, atribuyéndosele a la fama de salamanca el hecho de que los últimos carriles que entraban en palacio eran de plata.

La estación de Madrid ya empezaba a llamarse embarcadero de Atocha y el tren real partía entre vítores y aclamaciones que siguió recibiendo durante todo el camino hasta Aranjuez detrás iban otros dos trenes con más invitados. Caída la tarde los trenes regresaron a Madrid donde siguieron las celebraciones en la estación de Atocha.

La explotación comienza al día siguiente de tan pomposa inauguración y la realización 6 trenes diarios, 3 en cada sentido. El transporte era básicamente de viajeros, los trenes paraban en todas las estaciones y en cuanto a mercancías, lo único que se transportaba eran los llamados encargos llevados a domicilio por la propia empresa.

Sobre 1856 empezaron a crearse en España las grandes compañías ferroviarias. La TBF Tarragona, Barcelona, Francia – fue adquiriendo todas las líneas catalanas llegando a Zaragoza. Por otro lado la ZMA Zaragoza, Madrid, Alicante- unía el Mediterráneo con la capital y con Zaragoza. Estas dos compañías se fusionarían en 1899.

El 22 de febrero de 1926, el rey Alfonso XIII inauguró el primer ferrocarril eléctrico español, el ferrocarril del Urola, una línea de vía estrecha que unía las localidades guipuzcoanas de Zumárraga y Zumaya de 34,4 km de longitud.

Poco tiempo después de finalizada la guerra civil se aprueba la ley de bases de Ordenación Ferroviaria y de los transportes por carretera que agrupa en una sola empresa a todas las compañías de ferrocarril que tenían anchos de vía de 1688 mm es decir a los que son conocidos como ferrocarriles de vía ancha. Así el 24 de enero de 1941 nace **la Red Nacional de Ferrocarriles Españoles - RENFE –**

Bajo la gestión de RENFE quedan 12.401 km de vía, muchos de ellos dañados por la reciente guerra. Las primeras acciones de la nueva compañía se enfocan aparte de la recuperación de la red, a la unificación de señales y reglamentos de las antiguas compañías ferroviarias.

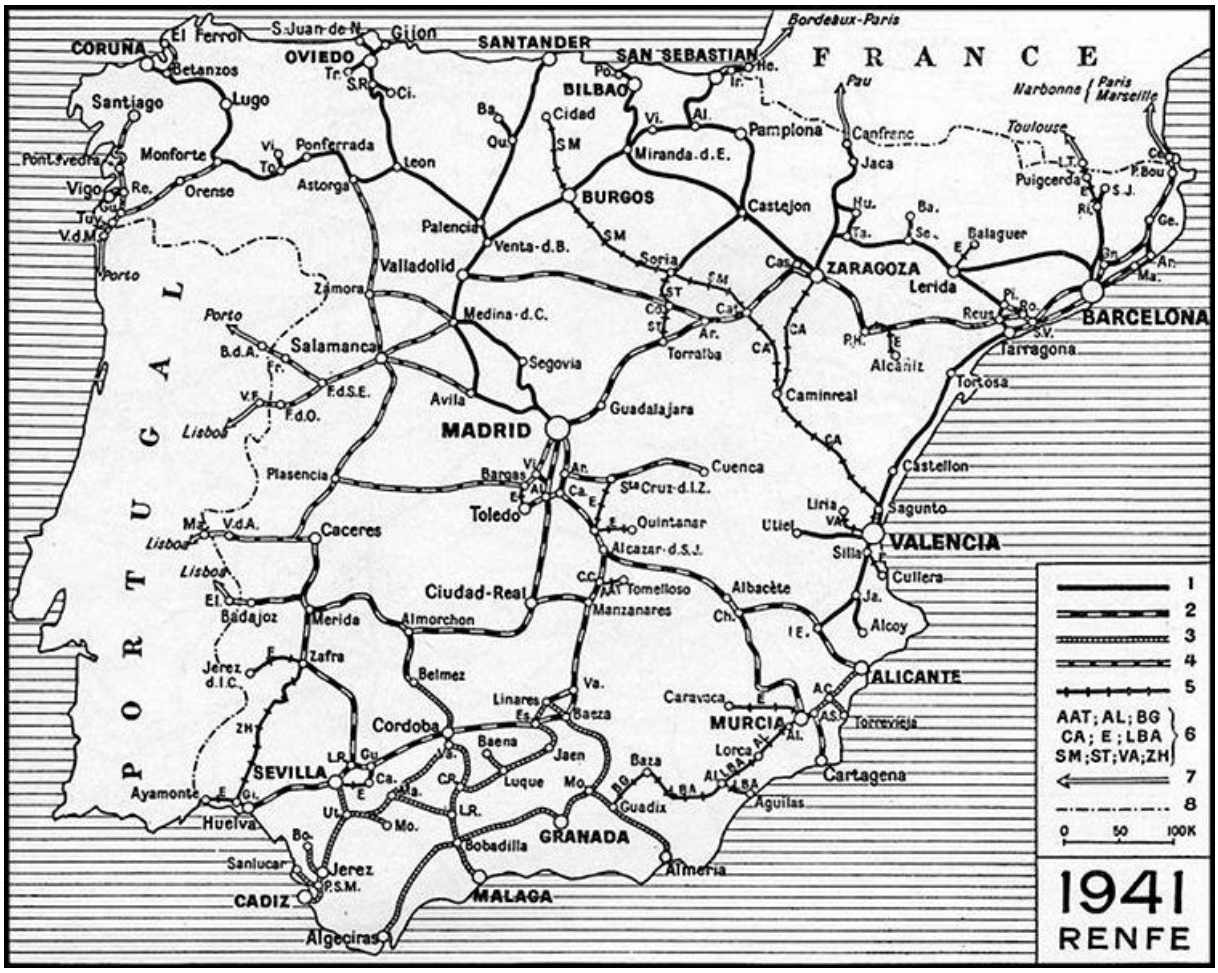


Figura 3.1 en 1941 se nacionaliza toda la red ferroviaria, desaparecen las compañías privadas y nace la Red Nacional de Ferrocarriles Españoles –RENFE-

En 1949 se aprueba el plan Guadalhorce, Plan General de Reconstrucción y Reformas Urgentes, que recupera y refuerza la red y empieza la electrificación de la misma. Formaba parte de este plan la adquisición de nuevo material rodante: se compran 200 locomotoras, 5000 vagones y 400 coches de viajeros. La puesta en marcha de los trenes Talgo son el icono de la

modernización de los ferrocarriles españoles la primera línea fue entre Madrid y Hendaya, inaugurada en julio de 1950, pero la reforma era mucho más profunda e incluía la realización de Centros de Tráfico Centralizado y la automatización en la regulación del tráfico. Las inversiones se paran a principios de los años de 60. Este parón hace que el Banco Mundial aconseje al gobierno español que vuelva a invertir en el ferrocarril.

En 1964 se aprueba el Plan Decenal de Modernización que tiene el utópico objetivo de que el ferrocarril sea rentable económicamente. Se renuevan las vías, se construyen estaciones de mercancías, se cambian las locomotoras de carbón por otros diesel y eléctricas, se elimina la tercera clase y se mejoran los sistemas de seguridad y comunicaciones. Dentro del plan está la incorporación de los viajeros, para ello se invierte en integrar el ferrocarril en las ciudades, se llega a establecer la velocidad de 140 km/h como velocidad comercial en la red básica.

En 1975 se apaga la última locomotora de carbón y se empieza a experimentar con la alta velocidad, 190 km/h con el objetivo de implementarla en la línea Madrid-Barcelona, antes de finalizar la década se implanta el sistema ASEA reproducción en cabina de las señales que impide de forma automática que se rebase una señal en rojo con vistas a aumentar la seguridad.

En los años 80 se plantea la rentabilidad económica de la red, basándose en que el 68% del tráfico ferroviario se realizaba en 5.000 de los 13.500 km de vía de la red, se elabora un plan dentro del *Contrato Programa* acordado con el gobierno para ir cerrando aquellas líneas que no sean rentables económicamente, olvidando en gran medida la rentabilidad social que tiene el ferrocarril. Así en enero de 1985 se clausuraron 914 km de ferrocarril que afectaban a 12 líneas y 132 estaciones, mientras que otros 933 km se mantuvieron para el servicio exclusivo de mercancías.

En 1986 se aprueba el Plan de Transporte Ferroviario que tiene como objetivo conseguir velocidades por encima de los 200 km/h, para lo que se realizan obras de mejora de las líneas.

Los cambios de costumbres, sobre todo con el crecimiento de la población urbana y en especial de las periferias, haciendo que se incremente espectacularmente el tráfico de cercanías, lo que llevó a la necesidad de efectuar importantes inversiones.

La aplicación de la Directiva Europea 91/440 impone la liberalización del transporte en Europa y la eficiencia económica. Así España publica en noviembre de 2003 la ley del Sector Ferroviario, que da visos de realidad a la liberalización del sector. Esta ley entra en vigor en el 2005 y hace que se rompa el monopolio del transporte ferroviario que imperaba en España desde finales de la guerra civil. La aplicación de la ley implica la creación del ADIF **–Administrador de Infraestructuras Ferroviarias**-, que será el encargado de administrar la gestión de la infraestructura y realizar las inversiones para la construcción de nuevas líneas.

4 - LAS INFRAESTRUCTURAS FERROVIARIAS

4.1. LAS INFRAESTRUCTURAS FERROVIARIAS EN EL MUNDO

La red ferroviaria mundial se extiende, en la actualidad de acuerdo con las últimas estadísticas publicadas por la **Unión Internacional de Ferrocarriles** -UIC-, a través de más de un millón de kilómetros tal y como muestra el cuadro 4.1.

Distribución geográfica de la red ferroviaria mundial (2011)

ZONA GEOGRAFICA	LONGITUD DE LINEAS (km)	PORCENTAJE RESPECTO AL TOTAL (%)
Europa incluyendo Turquía	355.246,0	34,55
- **Unión Europea**	215.656,0	20,96
- **Federación de Rusia**	85.167,0	8,27
- **Resto de países de Europa**	54.603,0	5,31
África	70.505,1	6,85
América	369.222,0	35,89
- **Estados unidos**	194.136,0	18,87
Asia, Oceanía y Oriente Medio	233.570,4	22,70
- **Republica Popular de**	66.050,0	6,42

	China	64.460,0	6,27
-	**India**		
Total		1.028.723,5	100

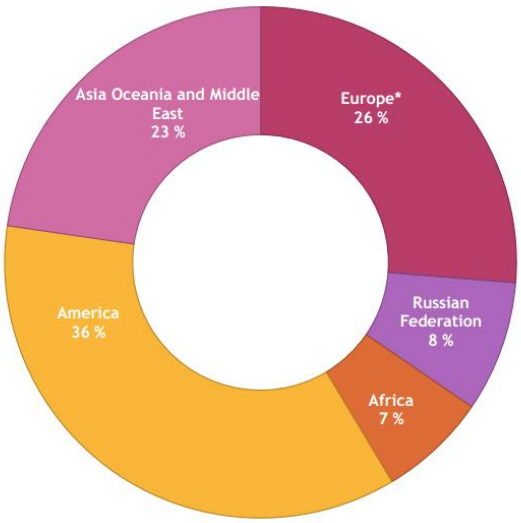
Cuadro 4.1 Fuente: UIC datos del 2011, publicados en 2012 y elaboración propia

La distribución geográfica de la citada red pone de relieve que el continente europeo en su totalidad incluyendo Turquía y la Federación de Rusia y el continente americano absorben más del 70% de su longitud total.

Por lo que respecta al interior de Europa, los países que configuran la Unión Europea disponen de más del 60% de la red ferroviaria existente en el conjunto de Europa.

África contrata con estos datos ya que apenas representa el 7% de la red ferroviaria mundial.

En el continente americano, Estados Unidos dispone de más del 50% de la red total del continente en concreto del 18,87% de la red ferroviaria mundial.



Europa Incluyendo a Turquía pero sin incluir a la Federación de Rusia, ésta aparece en un porcentaje

Figura 4.1: Distribución geográfica de la red ferroviaria mundial en porcentaje, Fuente: UIC

Por último podemos destacar también de los datos y estadísticas del cuadro 4.1 que la República Popular China e India juntas suponen más del 55% del total de la red ferroviaria existente en Asia, Oceanía y Oriente Medio, lo que supone del 12,69% de la red ferroviaria mundial.

Es práctica corriente referir la extensión de la red ferroviaria a la superficie en la que se inserta y a la población más directamente afectada por la citada red, De este modo se obtienen dos indicadores de densidad: longitud de red ferroviaria por kilometro cuadrado de superficie y longitud de red por millón de habitantes, ambos indicadores proporcionan globalmente una perspectiva más adecuada sobre el desarrollo del ferrocarril en un continente o en un país dado.

Con este enfoque, los resultados que se obtienen conducen a los datos indicados en el cuadro 4.2.

Densidad de líneas de ferrocarril por superficie de territorio y población en las principales áreas geográficas del mundo.

Zona geográfica	Superficie (miles de km²)	Población (millones de habitantes)	Longitud de líneas de F.C. (km)	Longitud de la red ferroviaria por (km)	
				Miles de km ²	Millón de habitantes
- Europa (*)	- 24.063,6	- 811,0	- 355.426,0	- 15	- 438
- África	- 30.370,0	- 1.022,2	- 70.505,1	- 2	- 69
- América	- 42.330	- 934,6	- 369.222,0	- 9	- 395
- Asia, Oceanía y Oriente Medio	- 38.934,4	- 4.128,1	- 233.570,4	- 6	- 57

(*) Incluyendo la federación de Rusia y Turquía

Cuadro 4.2: Fuente: UIC, ONU –estimaciones de la población mundial en 2010- y elaboración propia

Se constata:

1. La densidad de líneas de ferrocarril, respecto a la superficie de cada zona geográfica oscila en el intervalo de 2 a 15 km/miles de km^2. el mayor valor corresponde a Europa -15- seguido del continente americano -9- muy por debajo se encuentra África con el menor valor -2-
2. La densidad de líneas de ferrocarril respecto a la población de cada zona geográfica se sitúa en el intervalo comprendido entre 57 y 438 km/millón de habitantes, el límite superior corresponde a Europa -438- muy cerca se encuentra América -395- , el límite inferior corresponde a Asia, Oceanía y Oriente Medio.

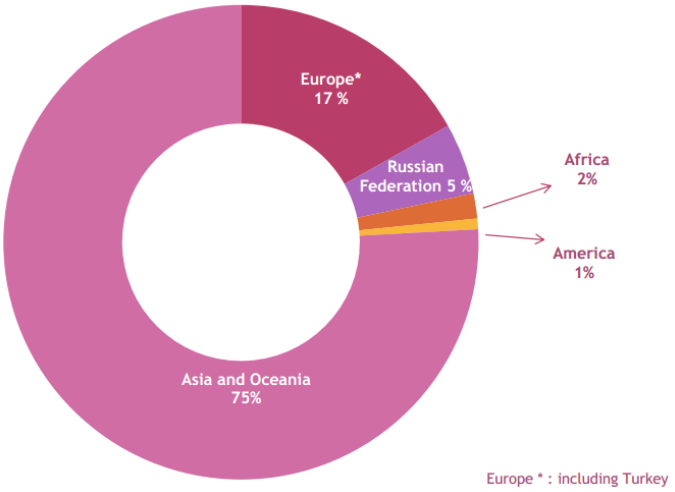
Debe señalarse que a nivel mundial, en las últimas décadas se han ido cerrando numerosas líneas de ferrocarril, aquellas que por sus características geométricas perdieron interés para mantener por ellas servicios comerciales. La construcción de nuevas infraestructuras, en general dedicadas a la explotación de servicios de alta velocidad, no ha permitido compensar, en extensión el referido cierre de líneas.

Otro indicador de importancia es el de pasajeros-kilómetros, medido en miles de millones

ZONA GEOGRAFICA	PASAJEROS KILOMETROS (miles de millones)	PORCENTAJE RESPECTO AL TOTAL (%)
- **Europa (incluyendo a Turquía)**	- 485,6	- 16,8
- **Federación de Rusia**	- 139,8	- 4,8
- **África**	- 49,3	- 1,7
- **América**	- 20,8	- 0,7
- **Asia, Oceanía y Oriente Medio**	- 2.187,8	- 75,9
- **Total**	- 2.883,4	- 100

Cuadro 4.3: Fuente: UIC – datos del 2011 publicados en 2012 – y elaboración propia

Podemos observar en el cuadro 4.3 que más del 75% lo aglutinan Asia, Oceanía y Oriente Medio.



Europa incluyendo a Turquía pero sin incluir la Federación de Rusia, ésta aparece en un porcentaje aparte

Figura 4.2: Porcentaje pasajeros-kilómetros para las principales áreas geográficas del mundo, Fuente: UIC

El transporte ferroviario de alta velocidad está considerado como uno de los avances más significativos que se han desarrollado en el transporte terrestre de pasajeros a partir de la segunda mitad del siglo XX.

Según los últimos datos publicados por la UIC a fecha de 1 de julio de 2012 existían en operación 17547 kilómetros de líneas ferroviarias de alta velocidad en todo el mundo, gracias a ellas se pueden suministrar servicios de alta velocidad a un creciente número de viajeros dispuestos a pagar por menores tiempos de viaje y mayor calidad en el transporte por ferrocarril.

En el cuadro 4.4 se recogen algunos datos sobre las redes de alta velocidad más importantes del mundo.

Líneas de alta velocidad en el mundo (2012)

Zona geográfica	En operación (km)	En construcción (km)	Planificados (km)	Previsión 2025 (km)
Asia	10.271	6.153	5.201	21.625
- **China**	6.403	4.235	2.901	13.539
- **Japón**	2.664	424	537	3.625
- **Turquía**	447	758	1.219	2.424
- **Corea del sur**	412	186	49	647
Europa	6.914	2.936	8.384	18.234
América	362		1.411	1.773
- **Estados unidos**	362		900	1.262
Mundo	17.547	9.289	15.476	42.312

Cuadro 4.4: Fuente: UIC – datos actualizados a 1 de julio de 2012 – y elaboración propia

En la figura 4.3 se puede observar a nivel mundial los países que disponen en la actualidad de líneas de ferrocarril de alta velocidad operativas, los que tienen proyectos en construcción y los que disponen de proyectos para la construcción de futuras líneas.

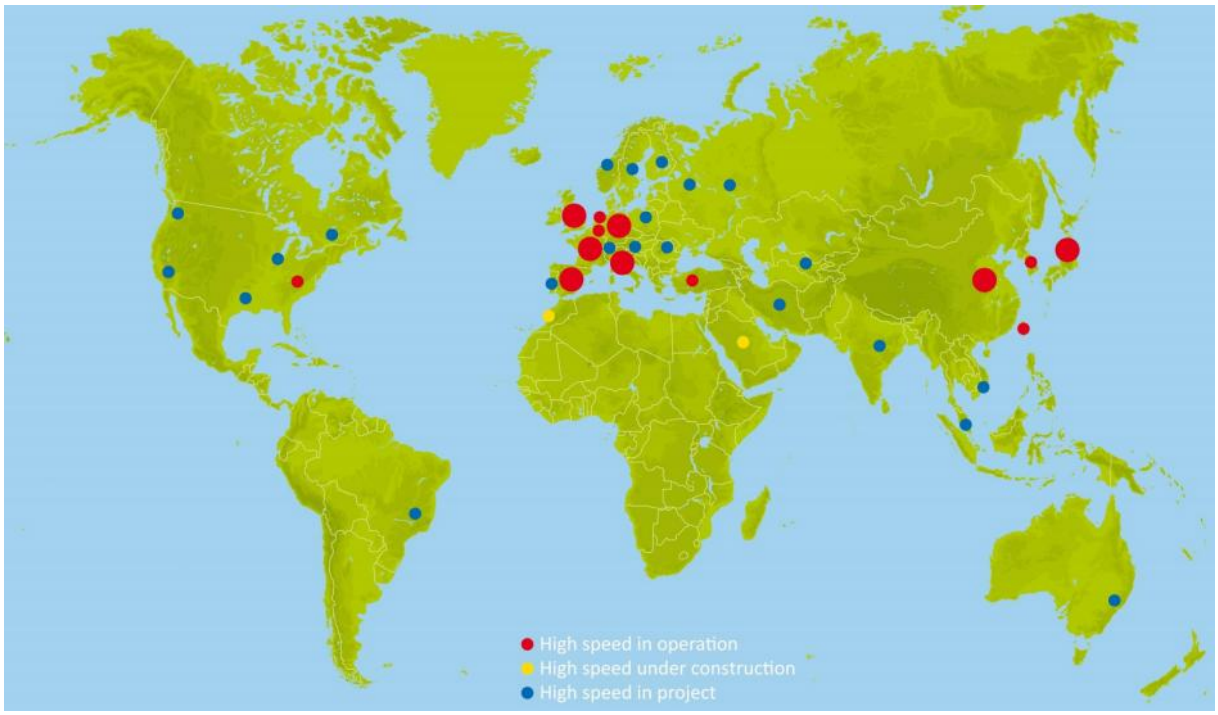


Figura 4.3: Países con alta velocidad en operación – rojo -, en construcción – amarillo – y en proyecto – azul -, Fuente: UIC- High Speed World Maps

China está en la cabeza mundial en líneas de alta velocidad

Figura 4.4: Red de líneas de alta velocidad en China, Fuente: UIC – High Speed World Maps

Figura 4.5: Red de líneas de alta velocidad en Japón, Fuente: UIC – High Speed World Maps

Sólo en Japón, donde el concepto de tren bala apareció por primera vez en 1964, el Tren de Alta Velocidad -TAV- ha movido un promedio de 100 millones de pasajeros anuales en los últimos cuarenta años. En Europa el tráfico medio anual se sitúa en 50 millones de pasajeros aunque ha crecido de manera constante desde 1981 a una tasa anual del 2,6%.

Según los datos publicados por la UIC en la actualidad existen servicios de alta velocidad ferroviaria en 14 países del mundo - China, Japón, Corea del Sur, Taiwán, Turquía, España, Francia, Alemania, Bélgica, Reino Unido, Italia, Países Bajos, Suiza y Estados Unidos -, aunque la red se está expandiendo rápidamente y se espera alcanzar los 42.312 kilómetros en el 2025, se sumarán entonces a la red mundial países que en la actualidad tienen proyectos de alta velocidad proyectados o ya en construcción - Marruecos, Brasil, India, Arabia saudí, Rusia, Portugal, Suecia, Polonia-.

4.2. LAS INFRAESTRUTURAS FERROVIARIAS EN EUROPA

En el cuadro 4.5 podemos observar la extensión de la red ferroviaria en los principios países europeos.

Extensión de la red ferroviaria en los principales países europeos

País	Superficie (miles de km²)	Población (millones de habitantes)	Densidad de población (hab/km²)	Longitud de la red de F.C. (km)	Miles de km²	Millón de habitantes
Austria	84	8,4	100	5.021	60	598
Bélgica	31	10,8	348	3.578	115	331
Bulgaria	111	7,4	67	3.947	36	533
R. Checa	79	10,5	133	9.470	120	902
Dinamarca	43	5,6	130	2.131	50	381
Estonia	45	1,3	29	792	18	609
Finlandia	338	5,4	16	5.944	18	1101
Francia	640	65,8	103	34.621	54	526
Alemania	357	81,8	229	33.576	94	410
Grecia	132	11,3	86	2.554	19	226
Hungría	93	10,0	108	7.906	85	791

Irlanda	70	4,5	64	1.919	27	426
Italia	301	60,6	201	17.045	57	281
Letonia	65	2,2	34	1.865	29	848
Lituania	65	3,2	49	1.767	27	552
Luxemburgo	3	0,5	164	275	92	559
Holanda	37	16,7	451	3.016	82	181
Polonia	313	38,1	122	19.725	63	518
Portugal	92	10,6	115	2.793	30	263
Rumania	238	21,5	90	10.777	45	501
España	506	46,2	91	15.680	31	339
Eslovaquia	49	5,4	110	3.624	74	671
Eslovenia	20	2,0	100	1.209	60	605
Suecia	450	9,4	21	10.014	22	1065
Reino unido	243	62,0	255	16.408	68	265
Noruega	324	4,9	15	4.154	13	848
Suiza	41	7,8	190	3.574	87	458

Cuadro 4.5: Fuente: UIC – datos del 2011 publicados en 2012 – y elaboración propia

Si se focaliza la atención en la situación existente en los principales países europeos, la observación de los datos del cuadro 4.5 permite destacar los siguientes aspectos.

- Respecto a los km de longitud de la red ferroviaria/miles de km^2 de superficie:
  - El primer indicador presenta unos valores máximos que correspondan a la República Checa y a Bélgica, con 120 y 115 km/miles de km^2 de superficie, respectivamente.
  - Los valores mínimos se encuentran en Noruega, estonia, Finlandia y Grecia, con valores comprendidos entre 13 y 19km de red ferroviaria/miles de km^2 de superficie.
  - El valor medio se encuentra próximo a 55km de red/miles de km^2 de superficie, cercano al cual se sitúa Francia -54-, Italia -57-, Austria -60-, Eslovenia -60- y Dinamarca -50-.
  - Alemania tiene un indicador de 94 y Luxemburgo de 92, ambos bastante elevados, por su parte España tiene un indicador con valor de 31km/miles de km^2
- Respecto al segundo indicador de densidad calculado, longitud de la red ferroviaria por millón de habitantes destacamos:
  - El indicador muestra un intervalo comprendido entre 181 km/millón de habitantes, valor que corresponde a Holanda y los 1.101 que correspondan a Finlandia, seguida de cerca por Suecia con 1.065 km.
  - El valor medio se sitúa en 548 km de líneas de ferrocarril por millón de habitantes, muy cercano al cual se encuentra Lituania con 552, seguida de Luxemburgo y Bulgaria con 559 y 533 respectivamente.
  - Francia y Alemania se encuentran por debajo del valor medio con 526 y 410 km respectivamente. España tiene una densidad de 339 km por millón de habitantes.

Si se adopta como indicador más representativo la densidad de líneas de ferrocarril por habitante, se observa que la red ferroviaria española se encuentra en la parte inferior de la media europea con 339 km/millón de habitantes junto a Bélgica 331 y por encima de Italia 281, Reino Unido 265, Portugal 263, Grecia 226 y Holanda 181.
Otro indicador importante a tener en cuenta es el de pasajeros kilómetros medidos en miles de millones, en la figura 4.6 podemos observar la evolución del tráfico de pasajeros en Europa desde 1950 hasta 2008.

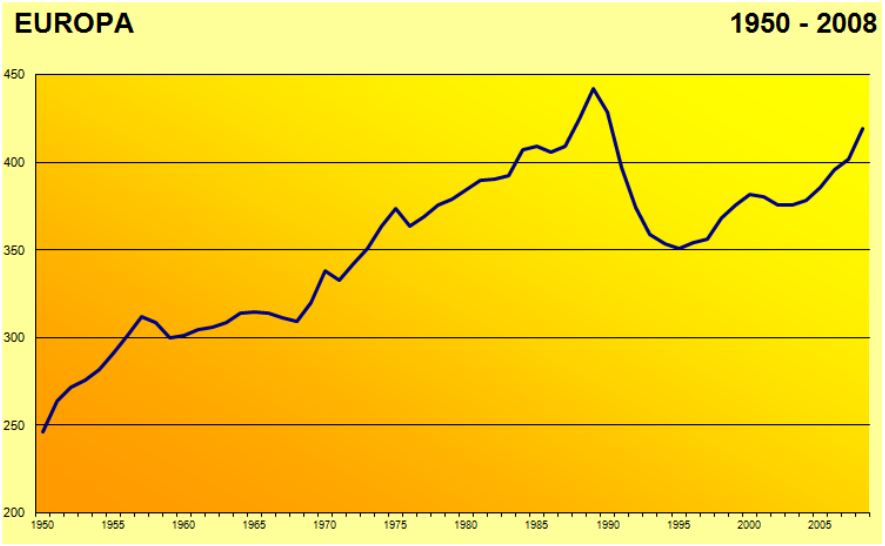


Figura 4.6: Evolución del tráfico de pasajeros en Europa de 1950 a 2008 – indicador pasajeros – kilómetros medido en miles de millones- Fuente: UIC

A continuación vamos a mostrar otros indicadores de interés respecto a la red ferroviaria de los principales países europeos.

La red ferroviaria europea se configure básicamente en torno a las líneas que enlazan, en el interior de cada país, los principales núcleos de población, así como a través de los itinerarios que permiten conectar dos o más países. El mapa de la siguiente página, figura 4.11, muestra la red principal de ferrocarriles en Europa, por lo que respecta a itinerarios internacionales.

Resulta un hecho bien conocido que la mayor parte de la línea de ferrocarril fueron construidas durante el siglo XIX, en una época donde los equipos mecánicos y las técnicas de realización de obras lineales estaban lejos de alcanzar el grado de desarrollo que en la actualidad presentan.

Consecuencia de tal situación fue el principio, implícitamente admitido de diseñar trazados que necesitan del menor movimiento posible de tierras procurando adaptar la traza de las citadas líneas a la orografía del terreno para evitar de este modo obras fábrica de especial importancia, lo que no siempre se consiguió, como es sabido.

El resultado fue la existencia de itinerarios con curvas en planta de radios comprendidos entre 300 y 600 m y rampas con magnitudes que alcanzaban, en ocasiones, el 20 ‰ con mayor o menor extensión de trayectos de estas características, según la administración ferroviaria considerada.

Prescindiendo del efecto rampa, los datos en planta citados condicionan la velocidad máxima de los trenes más rápidos al no poderse superar con los criterios habituales de cálculo y los vehículos convencionales, 100/110 km/h. debe significarse no obstante la existencia de algunos tramos particularmente aptos para el desarrollo de altas velocidades, la existencia de estos tramos con características favorables para conseguir velocidades elevadas no constituye sin embargo más que una excepción a los condicionantes geométricos de base que con carácter general, hemos indicado precedentemente.

Figura 4.7: Principales líneas de ferrocarril en Europa año 2011, Fuente: www.google.com

Sin embargo, la experiencia práctica, así como los numerosos estudios y encuestas realizadas, ponían de manifiesto que alcanzados y mantenidos ciertos niveles de referencia en algunos de los factores que conforman la calidad de la oferta ferroviaria, en los servicios diurnos interurbanos de media y larga distancia –regularidad, frecuencia y confort – era el tiempo de viaje empleado por el ferrocarril en recorrer una distancia dada, es decir la velocidad comercial obtenida, la que desempeñada el papel fundamental en la captación de tráfico por este modo de transporte.

Por esta razón, las principales administraciones ferroviarias emprendieron de forma sistemática, hace más de tres décadas, una actividad permanente de progresivo y paulatino incremento de sus velocidades máximas de circulación en explotación comercial sobre los trazados construidos en el siglo XIX, actividad basada en introducir significativas mejoras en su geometría, bien por técnicas o económicas que impidiesen o desaconsejan la solución anterior.

Se llegó a lograr, de este modo los niveles de servicio que se indican en el cuadro 4.6

Año de introducción de velocidades máximas de 160/200 km/h en algunas redes ferroviarias europeas

Red (país)	Velocidad máxima en explotación comercial (km/h)	Año de introducción
SNCF (Francia)	200	1.967
DB (Alemania)	200	1.973
BR (Gran Bretaña)	200	1.976
FS (Italia)	180	1.970
SJ (Suecia)	160	1.985
RENFE (España)	160	1.986

Cuadro 4.6: Fuente: López Pita, A, (infraestructuras ferroviarias) año 2006

Resulta de interés destacar que las principales dificultades orográficas con las que se enfrentaron las primeras líneas de ferrocarril fueron lógicamente la superación de los Pirineos y de los Alpes. Fue necesario construir algunos de los túneles más largos de Europa para enlazar los países que se articulan en torno al macizo de los Alpes, destaca el túnel del Simplón con más de 19 km de longitud. A continuación le siguen los túneles de Apeninos 18,7 km, San Gotardo 15 km, Lotschberg 14,5 km, Arlberg 10,2 km, entre otros en el continente europeo.

En el cuadro 4.7 se pueden observar los kilómetros totales de líneas de alta velocidad existentes en Europa, tanto actualmente operativos como los que se encuentran en construcción, además de incluirse la previsión para el año 2025.

Líneas de alta velocidad en Europa en kilómetros de longitud

País	En operación	En construcción	Planificados	Previsión 2025
Alemania	1.334	428	558	2.320
Bélgica	209	-	-	209
España	2.144	1.679	1.702	5.525
Francia	2.036	757	2.407	5.200
Holanda	120	-	-	120
Italia	923	-	395	1.318
Polonia	-	-	712	712
Portugal	-	-	1.006	1.006
Rusia	-	-	650	650
Suecia	-	-	750	750
Suiza	35	-	-	107
UK	113	72	204	317
		-		
Europa	6.914	2.936	8.384	18.234

Cuadro 4.7: Fuente: UIC – datos actualizados a 1 de julio de 2012 – y elaboración propia

De los 6914 kilómetros de líneas de alta velocidad operativos en Europa a fecha de 1 de julio de 2012, España cuenta con la red más amplia -2144-, seguida muy de cerca por Francia -2036-, aunque actualmente España está a la cabeza europea en número de kilómetros , los franceses fueron pioneros en la investigación y desarrollo de los trenes de alta velocidad, No en vano el TGV –Train á Grande Vitesse – es uno de los trenes convencionales más veloces del mundo, operando en algunos tramos a velocidades de hasta 320 km/h, ostenta el récord de mayor velocidad media en un servicio de pasajeros y el de mayor velocidad en condiciones especiales de prueba, habiendo alcanzado la velocidad de 574,8 km/h en el año 2007. La figura 4.8 presenta la red de alta velocidad francesa según los datos del UIC.

Figura 4.8: Red de líneas de alta velocidad en Francia, Fuente: UIC –High Speed World Maps -

Tras Francia, Alemania es el tercer país europeo en número de kilómetros de alta velocidad con -1334-, - InterCityExpress –, normalmente abreviado como ICE, designa al sistema de trenes de alta velocidad de los ferrocarriles de Alemania que circulan por dicho país y por países vecinos. Es el servicio de mayor calidad ofrecido por la empresa Deutsche Bahn. El nombre ICE también es usado para nombrar a los trenes de alta velocidad que se utilizan en el sistema alemán. El tren alemán InterCityExperimental – ICE V – logró en 1988 alcanzar 406,9 km/h. la red ICE se inauguró oficialmente el 29 de mayo de 1991, con varios vehículos convergentes en diferentes direcciones en la recién construida Estacion Cassel-Wilhelmschöhe en Kassel, Alemania.
La figura 4.9 muestra los principales itinerarios ferroviarios de Alemania y algunos de sus países vecinos, Suiza, Austria y República Checa.

Figura 4.9: Principales itinerarios ferroviarios en Alemania, Suiza, Austria y Republica Checa, Fuente: UIC – High Speed World Maps -

4.3 LAS INFRAESTRUCTURAS FERROVIARIAS EN ESPAÑA

Según el anuario del ferrocarril 2012, la red ferroviaria de ancho ibérico y estándar gestionada por ADIF está compuesta a 31 de diciembre del 2011 por un total de 14094,7 kilómetros de líneas más 0,66% respecto al año anterior, de los que 5285,4 kilómetros son de vía doble y 8731,4 kilómetros están electrificados, esta longitud supera el máximo histórico de la red ferroviaria española que se había alcanzado en el año 2010, el cuadro 4.8 recoge estos datos.

Longitud en kilómetros de las líneas de ancho ibérico y estándar en función de las características de la vía en la red gestionada por ADIF

	Vía única sin electrificar	Vía única electrificada	Vía doble sin electrificar	Vía doble electrificada	Total
Red convencional	5.247,5	3.421,1	115,8	3.084,9	11.869,3
Alta velocidad	-	140,6	-	2.084,7	2.225,4
Total	5.247,5	3.561,7	115,8	5.169,7	14.094,7

Cuadro 4.8: Fuente: Anuario del Ferrocarril 2012 – datos actualizados a 31 de diciembre de 2011 –

La figura 4.10 ubica geográficamente, la red ferroviaria española en función de sus características y gestores.

Figura 4.10: Red ferroviaria española en función de sus características y gestores – 31 de diciembre de 2011 - , Fuente: Anuario del Ferrocarril 2012

La figura 4.11 presenta la evolución, durante la última década, de la longitud en kilómetros de las líneas de ancho ibérico y estándar en España, en función de las características de la vía en la red gestionada por ADIF. Destaca a simple vista que desde el año 2002 hasta el 2011 el mayor aumento en nuestro país se da en la alta velocidad, mientras que el resto de vías única o doble, electrificada o sin electrificar se mantienen prácticamente sin cambios respecto a su longitud en kilómetros.

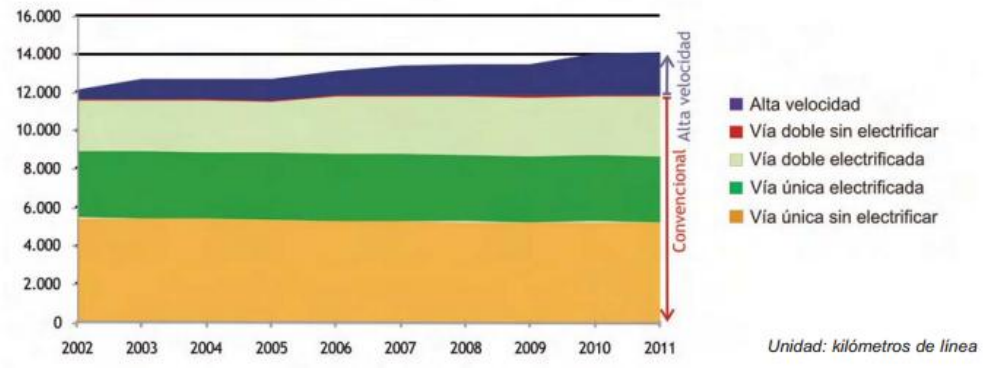


Figura 4.11: Longitud de las líneas de ancho ibérico y estándar en función de las características de la vía en la red gestionada por ADIF, Fuente: Anuario del Ferrocarril 2012

Ferrocarriles de vía Estrecha FEVE, explota la red de vía métrica que recorre toda la Cornisa Cantábrica, con sus ramales, la línea del antiguo Ferrocarril de la Robla entre León y Valmaseda y la línea entre Cartagena y Los Nietos sobre estas líneas se presentan servicios de viajeros tanto de cercanías como regionales, así como de mercancías excepto en la línea de Cartagena Los Nietos, dedicada exclusivamente a viajeros.

Longitud en kilómetros de las líneas de ferrocarriles de vía estrecha – FEVE – en función de las características de la vía

	Vía única sin electrificar	Vía única electrificada	Vía doble sin electrificar	Vía doble electrificada	Total
Red FEVE	872,9	237,2	-	83,8	1.193,9

Cuadro 4.9: Fuente: Anuario del Ferrocarril 2012 – datos actualizados a 31 de diciembre de 2011

El análisis de la orografía de la península ibérica y la inserción en ella de los trazados ferroviarios pone de relieve las importantes dificultades que las primeras líneas en España tuvieron que superar, de forma especial en los itinerarios que enlazaron el centro con el norte del país.

Debe destacarse, por otra parte la existencia de un cierto número de trayectos donde confluyen en zonas localizadas, los valores extremos más negativos de los radios de curva en planta y de las rampas en alzado. Esta situación se da entre otros lugares, en los accesos desde la Meseta Central a zonas litorales como Vizcaya, Asturias, Cantabria y Guipúzcoa. En relativamente pocos kilómetros 30 a 50 se salvan desniveles de 300 a 700 m, además en planta los radios medios ponderados se encuentran próximos a 300 m. resultan por tanto trayectos especialmente difíciles para la explotación ferroviaria, al disponer incluso algunos de ellos de tan sólo una vía.

Los accesos a Galicia por la puebla de Sanabria y Orense constituyen posiblemente uno de los itinerarios más tortuosos y con mayor densidad de túneles. A este hecho cabe añadir el estar dotado de vía única, lo que incrementa las dificultades de explotación de la línea.

Si nos dirigimos hacia el este, en la línea que enlaza las dos poblaciones con mayor número de habitantes, Madrid y Barcelona, pueden encontrarse al menos tres zonas significativas de trazado. La primera la sección Ricla-Calatayud, discurre siguiendo el río Jalón, y a lo largo de sus 36 km no permite superar, en general 100 a 105 km/h esto se solucionó con la construcción de la línea de Alta Velocidad entre Madrid y Zaragoza, la sección Zaragoza-Lleida a causa de su recorrido, superior en 50 km al

que presenta la carretera, y tercero, la sección Montblanc-San Vicente de Calders, itinerario en vía única del tramo Lleida-Barcelona.

En dirección hacia el sur, los itinerarios más singulares por las dificultades de su trazado son, principalmente:

- El paso, en vía única, por Despeñaperros, que enlaza Castilla La Mancha con Andalucía. La nueva línea entre Madrid y Sevilla permitió superar esta dificultad para la explotación comercial.
- La línea, en vía única, que permite acceder al Puerto de Algeciras, la velocidad comercial no alcanza los 100 km/h.
- El acceso a la ciudad de Málaga por el desfiladero de los Gaitanes, en particular en el tramo comprendido entre Bobadilla y Málaga.

La figura 4.12 presenta la longitud total en kilómetros de la red ferroviaria española, dividida por comunidades autónomas.

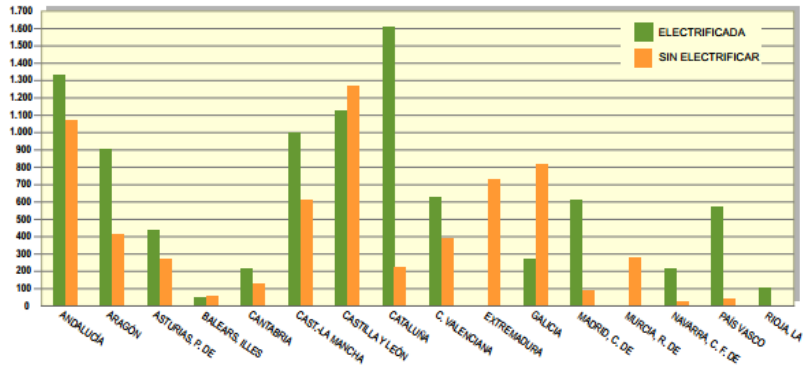


Figura 4.12: Longitud total de la red ferroviaria española, por comunidades autónomas, Fuente: ministerio de fomento. Transporte por ferrocarril. Datos del 2011, publicados el 2012

Red de los Ferrocarriles de la Generalitat Valenciana FGV

Los ferrocarriles de la Generalitat Valenciana FGV explotan una red de 249,2 kilómetros y 193 estaciones. La práctica totalidad de las líneas se encuentran electrificadas y operan únicamente servicios de viajeros.

Longitud en kilómetros de la red de los ferrocarriles de la Generalitat Valenciana – FGV – en función de sus características.

	Vía única sin electrificar	Vía única electrificada	Vía doble sin electrificar	Vía doble electrificada	Total
ETS	6,1	111,3	-	87,2	249,2

Cuadro 4.10: Fuente: Anuario del Ferrocarril 2012, datos de FGV del año 2010

Red del gestor de infraestructuras ferroviarias de Euskadi ETS

En el año 2010 en la red gestionada por ETS presta servicio Euskotren en un total de 206,7 kilómetros de longitud y 111 estaciones.

Longitud en kilómetros de la red de ETS sobre la que presta servicio EUSKOTREN en función de sus características.

	Vía única sin electrificar	Vía única electrificada	Vía doble sin electrificar	Vía doble electrificada	Total
ETS	6,1	150,3	-	50,4	206,7

Cuadro 4.11: Fuente: Anuario del Ferrocarril 2012, datos de ETS del año 2010

Red de los ferrocarriles de la Generalitat de Catalunya FGC

Los ferrocarriles de la Generalitat de Catalunya FGC explotan una red de 202,7 kilómetros, compuesta por las siguientes líneas: red de Barcelona-Vallés, la red del Metro del Baix Llobregat, las líneas de cremellera de Nucia y Montsserrat y finalemente el ferrocarril turístico del Alt Llobregat. La práctica totalidad de las líneas con servicio regular de viajeros se encuentran electrificadas.

El AVE, alta velocidad española cumplió dos décadas el año 2012, veinte años han permitido a España desarrollar uno de los ferrocarriles de alta velocidad más modernos y avanzados del mundo.

Más de 121 millones de personas han viajado en trenes de alta velocidad de la línea Madrid-Sevilla desde que el 21 de abril de 1992, un tren AVE hizo el primer viaje comercial entre esas ciudades.

Veinte años después, cada día circulan en España más de 300 trenes de alta velocidad que dan servicio aproximadamente a casi 100.000 viajeros diarios y llegan a 80 municipios españoles.

Imagen 4.1: Fotografía del AVE – alta velocidad Española -, Fuente: RENFE

Tras la puesta en servicio en 2010 de los 438 km del recorrido entre Madrid y Valencia, España se situó como el primer país en Europa y segundo del mundo tras China en número de kilómetros de altas prestaciones en explotación. La última puesta en servicio fue el tramo Albacete-Alicante, el pasado mes de junio de 2013.

La red ferroviaria de alta velocidad contaba en España con 2144 km a fecha de 1 de julio de 2012, según los últimos datos publicados por la UIC. En la siguiente página, el cuadro 4.13 desglosa estos kilómetros por tramos, además de indicar la velocidad y el año de puesta en servicio de cada uno de ellos.

A fecha de 1 de julio de 2012 un total de 1679 kilómetros se encontraban en construcción en España, en concreto los siguientes tramos:

- Barcelona – Figueres
- Madrid – Alicante/Murcia/Castellón
- Vitoria – Bilbao – San Sebastián
- Variante de pajares
- Bobadilla – Granada
- La Coruña – Vigo
- Navalmoral – Cáceres - Badajoz – Frontera portuguesa
- Sevilla – Cádiz
- Hellín – Cieza

- Sevilla – Antequera

Además está planificada la construcción de 1072 kilómetros más durante los próximos años, aunque la profunda crisis económica en la que se encuentra inmerso el país probablemente ralentizará la ejecución de estas infraestructuras.

Longitud por tramos de las líneas de alta velocidad – AVE – operativas

Tramo	Velocidad (km/h)	Año de inauguración	Longitud (km)
Madrid – Sevilla	270	1992	471
Madrid – Lleida	300	2003	519
Zaragoza – Huesca	200	2003	79
(Madrid) La Sagra-Toledo	250	2005	21
Córdoba – Antequera	300	2006	100
Lleida – Camp de Tarragona	300	2006	82
Madrid – Segovia – Valladolid	300	2007	184
Antequera – Málaga	300	2007	55
Camp de Tarragona –Barcelona	300	2008	88
By pass Madrid	200	2009	5
Madrid – Valencia/Albacete	300	2010	432
Figueres – Frontera (Perpignan)	300	2010	20
Ourense – Santiago	300	2011	88
			Total = 2144

Cuadro 4.12: Fuente: UIC – datos actualizados a 1 de julio de 2012 –

5-CARACTERÍSTICAS DE UNA VÍA FERROCARRIL

Se puede describir una vía como un emparrillado formado por carril, traviesa y sujeción que se apoya en un lecho elástico constituido por el balasto y la plataforma.

El carril se apoya en la traviesa y está se encuentra asentada en la capa de balasto. La inclinación de la capa da balasto normalmente de un 4% en el contacto con la plataforma permite evacuar el agua de lluvia hacia las cunetas de desagüe, evitando o reduciendo su efecto sobre la infraestructura.

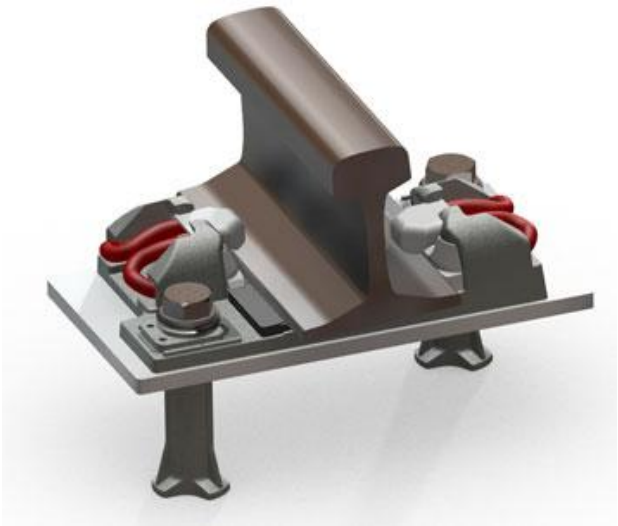
Por convenio, se define como ancho de vía la distancia entre las caras internas de los dos carriles que configuran la vía, medida a 14-15 mm por debajo de la superficie de rodadura del carril, el ancho de vía más habitual es el conocido como ancho internacional, que corresponde a 1.435 mm, en España, el ancho de vía fue exclusivamente de 1.668 mm hasta la llegada de la alta velocidad. Algunos ferrocarriles regionales o locales cuentan con anchos de vía inferiores, siendo el más habitual entre ellos el ancho métrico.

Cuando una línea está dotada de vía doble, se define como entrevía a la distancia existente entre ejes de vías adyacentes. La magnitud necesaria para la entrevía viene determinada, en primer lugar por el gálibo del material ferroviario y a medida que se incrementa la velocidad de circulación de los trenes, aparece un nuevo condicionante, los fenómenos aerodinámicos que se desarrollan al cruzarse dos trenes.

Las traviesas se colocan a una cierta distancia constante bajo el carril proporcionándole el apoyo necesario, por convenio se define la distancia entre traviesas consecutivas como la separación existente entre sus respectivos ejes no entre las caras internas de las traviesas.

Los carriles se fijan a las traviesas mediante sujeciones, elementos que presionan al patín del carril y evitan el movimiento longitudinal y lateral del mismo, así como su giro a causa de los esfuerzos transversales y verticales transmitidas por los vehículos.

Por razones relacionadas con la estabilidad lateral de los vehículos, los carriles se encuentran inclinados hacia el centro de la vía, en un ángulo de valor normal 1/20, que en algunos países como Alemania se reduce a 1/40.



Como se observa en la figura 5.1 el carril no se coloca directamente sobre la superficie de la traviesa, para evitar su rápido deterioro por la acción del acero del carril, entre ambos elementos el carril y la traviesa se interpone una placa rígida denominada placa de asiento, que incrementa el área de apoyo a través del cual el patín del carril transmite los esfuerzos a la traviesa. Por lo tanto la inclinación del carril puede lograrse mediante la forma de las traviesas y utilizando placas de asiento planas, o bien utilizando placas de asiento con la inclinación deseada.

Figura 5.1: Detalle del sistema carril – sujeción, Fuente: www.sufetra.es y elaboración propia

5.1 EL CARRIL

De los elementos que configuran el emparrillado de la vía, el carril es el encargado de soportar directamente el peso de los vehículos y las acciones dinámicas generadas por la velocidad y el estado de conversación de vía y vehículo.

En un carril se diferencian tres partes:

- Cabeza. Es la parte superior del carril que utiliza como elemento de rodadura
- Patín. Base del carril de anchura mayor que la cabeza con superficie inferior plana para su apoyo en las traviesas.
- Alma. Parte del carril de pequeño espesor que une la cabeza con el patín.

Las dimensiones de un carril si sitúan en el intervalo de los 7 cm de cabeza los 15 cm de la base o patín y los 17 cm de su altura, pero dependiendo del tipo pueden variar algunos milímetros de unos a otros.

Los diferentes tipos de carril es el resultado de un conjunto de operaciones relativamente complejo que condiciona, de forma determinante la calidad del producto final. En el proceso completo de fabricación se distinguen tres fases principales, la fabricación del acero, la operación de acabado que incluye el corte a la longitud estándar, y el enderezado y refrentado de los extremos.

La longitud de los carriles ha venido marcada tradicionalmente por la necesidad de dejar entre dos consecutivos, una separación o cala dependiente de la temperatura con objeto de evitar el posible pandeo de la vía debido al incremento de su longitud bajo los efectos de la dilatación.

Para identificar los carriles se inscriben en ellos, en el último pase de su proceso de fabricación, unas marcas que pueden realizarse en relieve, por punzonamiento en caliente o por punzonamiento en frío.

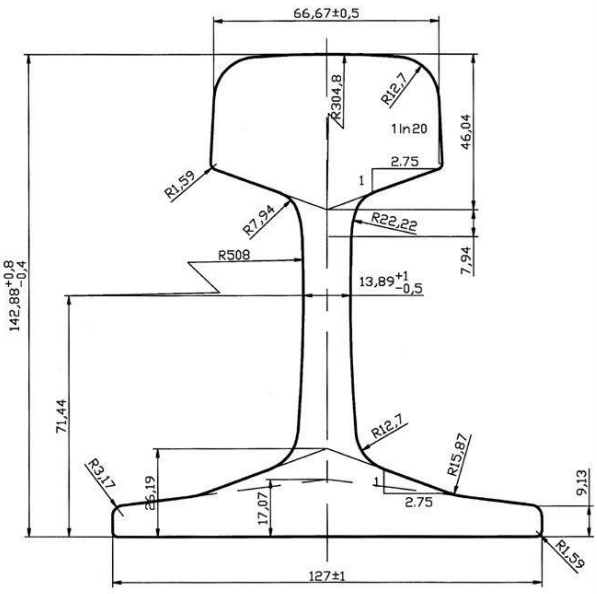


Figura 5.2: Geometría del carril, Fuente: Normativa Renfe Vía N.R.V. 3-0-0.0, Carriles. Barras elementales – organismo redactor: Renfe, Área de inversiones, Gabinete y Normas

5.2 TRAVIESAS Y CACHAS

Vamos a establecer las siguientes definiciones para diferenciar los términos traviesa y cachas:

- Traviesa: elemento de diversos materiales que situado en dirección transversal al eje de la vía, sirve de sostenimiento al carril constituyendo el nexo de unión entre él y el balasto.
- Cachas: elementos prismáticos de madera que se utilizan para sustentar los aparatos de vía poseyendo longitudes mayores que las traviesas y escuadrías también superiores.

Las funciones principales que deben desempeñar las traviesas son:

- Servir de soporte a los carriles asegurando su separación e inclinación
- Repartir sobre el balasto las cargas verticales y horizontales transmitidas por los carriles
- Conseguir y mantener la estabilidad de la vía, en los planos horizontal y vertical
- Mantener, si es posible por sí mismas, el aislamiento eléctrico entre los dos hilos del carril cuando la línea posea circuitos de señalización.
- Ofrecer características aislantes para que las corrientes parásitas procedentes de la electrificación, no perjudiquen las instalaciones situadas en el entorno de la vía.

Desde los orígenes del ferrocarril se empleó la madera como elemento soporte del carril, las propiedades físicas y mecánicas de la misma y la abundancia de recursos naturales en esta materia prima en la mayoría de los países hizo aconsejable su empleo. La aparición del hormigón y las posibilidades que ofrecía este material para la fabricación de traviesas determinan un importante aumento del interés por este tipo de traviesas, las traviesas de hormigón tienen una elevada duración en servicio, mantienen a lo largo de toda su vida una práctica constancia de sus condiciones físicas y proporcionan una mayor resistencia lateral a la vía frente a esfuerzos transversales como desventaja respecto a las traviesas de madera, podemos decir que su mayor peso dificulta su manejo, aunque contribuye a proporcionar una mayor estabilidad longitudinal y transversal a la vía.

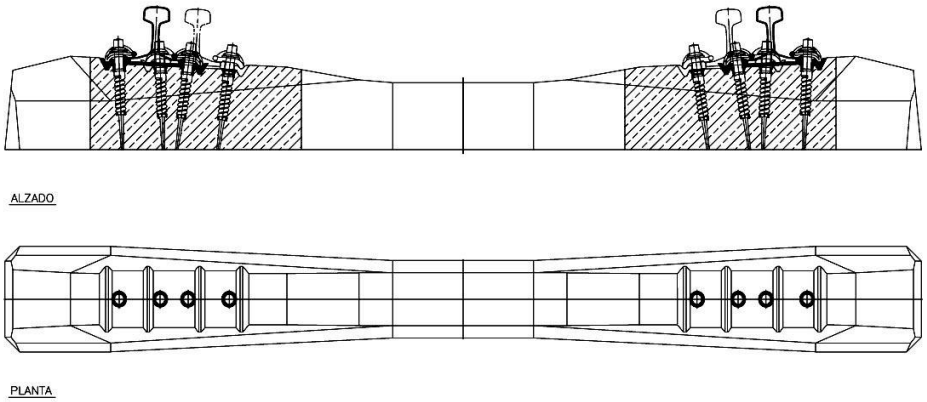


Figura 5.3: Traviesa monobloque polivalente tipo PR-90 EA – ALVISTRANVI, Fuente: Normativa Renfe Vía N.R.V. 3-1-2.1. Traviesas. Traviesas monobloque de hormigón – organismo redactor: Renfe. UN mantenimiento de infraestructura. Dirección Técnica.

5.3 SUJECIONES Y PLACAS DE ASIENTO

Las sujeciones de carril son los elementos que hacen posible la continuidad de la estructura de la vía, aunque algunos autores engloban bajo esta denominación también a las bridas que unen los carriles entre sí en sentido longitudinal, nosotros solo consideramos los elementos de unión del carril a las traviesas.

Las principales funciones que deben desempeñar las sujeciones son las siguientes:

- Fijar los carriles a las traviesas
- Asegurar la invariabilidad del ancho de vía
- Facilitar la transferencia a la infraestructura de las acciones estáticas y dinámicas ejercidas por el material rodante sobre la estructura de las vía

Así, sus características básicas han de ser las siguientes:

- Tener resistencia mecánica y elasticidad adecuadas y constantes a lo largo de la vida de la sujeción
- Contribuir al buen aislamiento eléctrico entre ambos hilos de carril
- Constar del menor número posible de elementos de peso
- Ofrecer un bajo coste y poseer una gran duración

Podemos realizar una clasificación de las sujeciones atendiendo a su naturaleza:

- Sujeciones rígidas: la transmisión de esfuerzos entre el carril y la traviesa se realiza a través de elementos rígidos.
- Sujeciones elásticas: la transmisión de esfuerzos se realiza a través de elementos elásticos.

Figura 5.4: Ejemplos de sujeciones elásticas en las vías modernas, a la derecha Sujeción NABLA, a la izquierda Sujeción SKL-12 , Fuente: www.zbrf.en.ecplaza.net y elaboración propia.

Vamos a destacar el **tirafondo** como una de las sujeciones rígidas más utilizadas, se trata de un elemento de acero con el cuerpo formado por un espárrago tronco-cónico, provisto de un filete helicoidal, terminado en una cabeza redonda de diámetro superior al espárrago, coronada por un prisma cuadrado o rectangular, que se utiliza para unir rígidamente el carril a la traviesa.

La ventaja fundamental de las sujeciones elásticas de carriles sobre las rígidas consiste en permitir movimientos verticales del carril al paso de las circulaciones, amortiguándole así la energía de los choques que se producen. Para que estos movimientos se produzcan existen diferentes tipos de grapas elásticas y sujeciones que aprietan el patín del carril contra la traviesa y funcionan a modo de muelle.

Respecto a las placas de asiento, su función primordial es reducir la presión especifica transmitida por el carril a la traviesa, protegiendo a ésta de las acciones que el carril ejerce sobre ella, pero además sirve para ampliar la superficie de apoyo del carril, contribuye a la correcta posición e inclinación del mismo y evita sus posibles desplazamientos.

5.4 JUNTAS DE CARRILES

Una **junta** es la unión longitudinal de dos carriles consecutivos, esta puede realizarse utilizando **bridas** o realizando una **unión por soldadura**.

Una **brida** es una pieza de acero que tiene como función unir los extremos de dos carriles consecutivos, de forma que coincidan sus ejes longitudinales y la altura de sus cabezas evitando cualquier desnivel o falta de alineación entre ellas. Para conseguido sus caras superior e inferior se acoplan respectivamente, a la cara inferior de la cabeza del carril y a la superior de su patín, inmovilizando de este modo la posición de los carriles consecutivos tanto en el plano horizontal como el vertical, existen diferentes tipos de bridas según el peso de los carriles que han de unir.

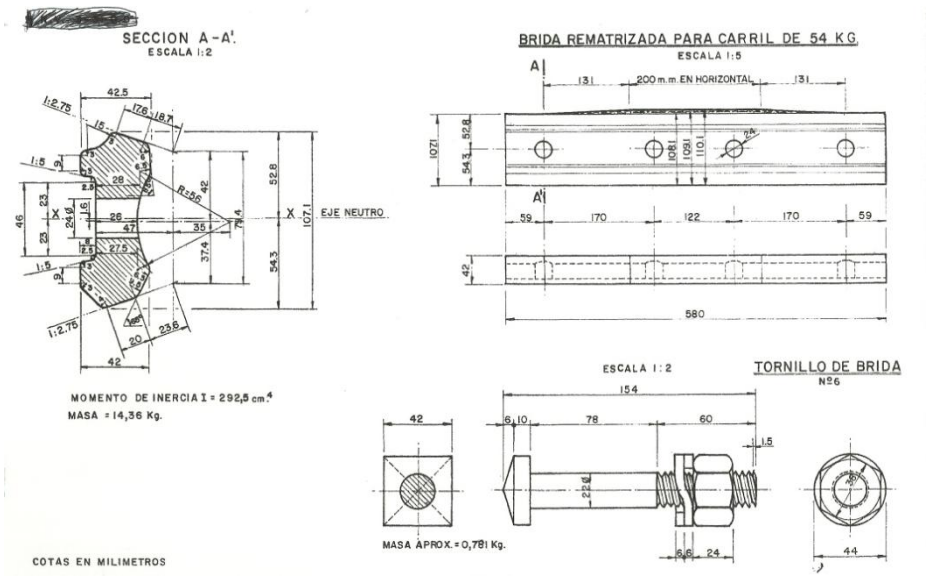


Figura 5.5: Brida y tornillo de brida para carril de 54 kg, Fuente: Normativa Renfe Vía N.R.V. 3-3-0.0. Juntas de carriles. Bridas y tornillos de bridas – organismo redacto: Renfe. Área de inversiones. Gabinete de proyectos y Normas.

Respecto a las uniones por soldadura, los procedimientos de soldeo de carriles utilizados más frecuentemente en Renfe son: el procedimiento alumino térmico, el procedimiento eléctrico a tope por chisporroteo, el manual al arco eléctrico y el de soplete oxiacetilénico. Los dos primeros son los utilizados con mayor frecuencia casi exclusivamente.

5.5 BALASTO

Uno de los elementos básicos de la infraestructura ferroviaria es el **balasto**, el balasto está formado por piedra partida heterogranular que se dispone en una capa o banqueta sobre la plataforma y bajo la vía. Esta capa desempeña un importante papel en el comportamiento de la vía frente a las acciones tanto verticales como transversales ejercidas por el material ferroviario, amortigua y reparte las cargas asegurando la estabilidad del conjunto traviesa-carril, y además posibilita el drenaje de las aguas de lluvia, aísla la explotación de los efectos de las heladas y facilita las operaciones de nivelación y alineamiento de la vía.

En el ámbito de los esfuerzos verticales, el balasto debe cumplir tres funciones principales:

1) Contribuir a proporcionar elasticidad y amortiguamiento de la vía
2) Disminuir el nivel de presiones que llegue a la superficie de la plataforma
3) Soportar la abrasión que las partículas pueden tener como consecuencia de su contacto con infraestructuras rígidas tal como sucede en las vías que discurren sobre puentes de hormigón.

Para cumplir con las funciones 1 y 2 es necesario disponer de un cierto espesor de balasto entre 25 y 35 cm. Con valores inferiores no se lograría el objetivo perseguido y con valores superiores se incrementaría el asiento de la vía y previsiblemente el aumento también de los defectos geométricos.

El balasto debe poseer ciertas características que hacen referencia fundamentalmente a su naturaleza, curva granulométrica forma geométrica de las partículas y su resistencia al choque, al desgaste y a la acción de las heladas. Dichas características se recogen en general en las distintas especificaciones que las administraciones ferroviarias poseen sobre los materiales a utilizar.

Para poder soportar elásticamente las cargas que la traviesa le transmite, el balasto necesita ser bateado es decir, compactado mediante la acción de unos bates, este hecho exige que los materiales utilizados resistan la acción de los bates sin llegar a la rotura.

Las rocas normalmente empleados para la obtención de balasto son: granito, ofita, caliza y en general, rocas ígneas.

5.6 VIA EN PLACA Y SOBRE LOSAS FLOTANTES

Existen otros tipos de vías en los que se sustituye el lecho o banqueta de balasto por una placa de hormigón armado, conformando una vía sobre una base rígida, es la llamada **vía en placa** para absorber los movimientos diferenciales y tensiones que las cargas de los trenes transmiten a la vía, los carriles van embutidos en productos elásticos elastómeros, también se disponen traviesas de hormigón apoyadas en elastómeros y embutidas en la placa, así pues existen varios procedimientos y distintos materiales: métodos Rheda, Edylon, Stedeef, etc.

Como ventaja más representativa del sistema podemos señalar que el mantenimiento de la geometría de la vía es casi nulo, por el contrario su construcción es mucho más laboriosa y cara y en caso de una incidencia por ejemplo un descarrilamiento, las operaciones son mucho más cars y en ocasiones con interrupción total de la circulación.

En Japón y Alemania se está desarrollando mucho este tipo de vías sobre todo en alta velocidad. En España también, además de estar muy extendida en ferrocarriles metropolitanos: tranvías, metros ligeros y metros convencionales.

Figura 5.6: Vía en placa, sistema Stedef, Fuente: www.google.com

Como evolución de las vías en placa, aparece el montaje de **vías sobre losas flotantes** se construyen con losas prefabricadas de hormigón de 4 Tm, de 6 cavidades. Existen dos tipos de prefabricados: rectangular y trapezoidal para adaptarse a todo tipo de trazados, inclusive en curvas.

5.7 APARATOS DE VIA

Una particularidad específica de las líneas férreas es su carácter de guiado, que obliga al material rodante a recorrer un camino prefijado y establecido. Esta restricción que se impone en los grados de libertad del movimiento de los vehículos ferroviarios y que tantas ventajas tiene a efectos cinéticos presenta, no obstante diversos inconvenientes desde el punto de vista de la explotación ya que en condiciones normales se presenta la necesidad de realizar cruces, alcances, aparato de material, clasificación del mismo y otras operaciones. De esta circunstancia surge la necesidad de los aparatos de vía, que pasamos a tratar a continuación.

Su tipología se reduce básicamente a dos configuraciones:

- Desvíos, que permiten el paso de una vía a otra
- Travesías, que permiten el paso de una vía a través de otra cuyos ejes se cortan

En ambas situaciones resulta imprescindible lograr, con un adecuado diseño de la geometría de los aparatos de vía, la continuidad del camino de rodadura en las mejores condiciones técnicas y de confort posibles para el viajero.

DESVIOS

El caso más sencillo es el denominado desvío simple o de dos vías que da paso a las circulaciones de una vía a otra. La primera recibe el nombre de vía directa, y la segunda de vía desviada. Los dos elementos principales de un desvío son el cambio se separan dos a dos, los hilos de carril de las vías, los carriles intermedios o de unión conectan dicho cambio con el cruzamiento. Finalmente en el cruzamiento se materializa el corte del carril derecho o izquierdo de la vía directa con el carril izquierdo o derecho de la vía desviada.

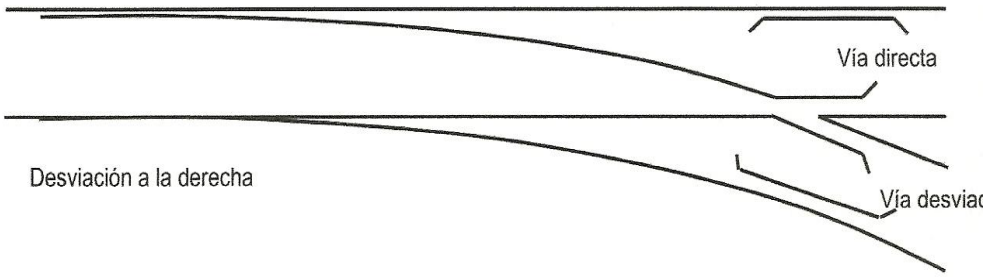


Figura 5.7: Componentes de un desvío simple, Fuente: www.es.wikipedia.org

El desvío doble o de tres está formado por una vía en recta en la que se instalan juntos dos cambios sencillos, comprende por tanto dos cambios y tres cruzamientos.

TRAVESIAS

Cuando dos vías se cortan, pueden hacerlo oblicua o perpendicularmente dando lugar a dos tipos de aparatos diferentes: la **travesía oblicua** y la **travesía rectangular**. En la oblicua las dos vías se cortan formando un rombo, en la rectangular las dos vías se cruzan perpendicularmente. Estos tipos de **travesías sin unión** pueden ser entre dos vías del mismo o de distinto ancho.

Combinando cambios y travesías obtenemos las travesías de unión, estas pueden ser de unión sencilla cuando permiten establecer el paso de un solo lado de la travesía o bien de unión doble cuando permiten realizar el paso a ambos lados de ésta.

6- GEOMETRÍA DE UNA VÍA FERROCARRIL

El diseño de trazado de una vía es una fase crucial del proyecto de una infraestructura ferroviaria, pues la mayor parte de las decisiones tomadas en el curso de esta fase tendrán importantes repercusiones después en el proyecto, ya se trate de una infraestructura nueva o acondicionada.

Hacer un buen diseño requiere de un dominio total de la geometría, el conocimiento de la normativa imprescindible antes de diseñar cualquier proyecto, el conocimiento de todas las materias relacionadas con las vías férreas, la experiencia y disponer de todos los datos necesarios.

Todo proyectista debe considerar en el diseño de un proyecto ferroviario los siguientes aspectos: la seguridad, la rigidez del sistema, los condicionantes técnicos y medioambientales, el coste de inversión y mantenimiento cuyo conjunto constituye el ciclo de vida útil y el confort.

Sabemos que el ferrocarril es un sistema guiado, de este modo la rigidez del trazado constituye una característica básica del ferrocarril como modo de transporte, al realizar el estudio de un trazado ferroviario, en contra de lo ocurre en la carretera es imposible pensar que cada conductor pueda modificar su trazado y adaptar dentro de unos límites, los parámetros de trazado en el momento de realizar el recorrido, modificando incluso su velocidad según la percepción de inseguridad o confort.

Bajo la dominación de geometría de la vía se suelen considerar los parámetros que la definen, así como los criterios y valores que deberían emplearse para determinar las velocidades máximas a las que pueden circular los trenes con seguridad y regularidad tanto en vías existentes como en nuevos trazados.

En general se pueden considerar los diferentes elementos que definen la geometría de la vía agrupados en los siguientes ámbitos:

1. Condicionantes geométricos impuestos a la vía en relación con el trazado de las líneas. Son las alineaciones en planta y alzado.
2. Condicionamientos geométricos derivados de la circulación de los vehículos, surge así el concepto de peralte, transiciones, radios mínimos de las curvas, limitación de inclinación de las rasantes y sus curvas de acuerdo.
3. Parámetros geométricos indicadores de la degradación de la vía bajo las cargas del tráfico, son las variaciones del ancho de vía, los defectos de nivelación transversal, los defectos de alineación, etc.

En el presente capítulo se tratarán aspectos relacionados con los dos primeros epígrafes, el trazado de la vía en planta y alzado, además del peralte y el ancho de vía respecto a la cuantificación de estos parámetros de diseño determinados limitaciones de sus valores, se abordara en profundidad en el próximo capítulo.

A efectos de este capítulo, se denomina plena vía a todos y cada uno de los tramos del trazado de la vía sin puntos singulares, considerándose éstos últimos como aquellos en que se encuentran instalados aparentes de vía desvíos y travesías, aparatos de dilatación, encarriladoras, etc.., así como los que al menos un elemento de su trazado es de corta longitud y/o la unión entre dos cualesquiera de estos elementos de trazado consecutivos no reúne las condiciones de ser tangentes entre sí y de mantener la continuidad de curvatura.

El trazado de una vía ferroviaria se corresponde con una serie de rectas y curvas enlazadas tangencialmente en el espacio, para una mejor comprensión de las características del mismo, en el estudio de sus diversos parámetros, se acepta la simplificación del cálculo en sus proyecciones en planta -alineaciones rectes, curvas circulares y de transición- y en alzado –alineaciones rectas y curvas de enlace circulares o parabólicas-, con la que a efectos prácticos se puede obtener una aproximación suficiente.

De este modo, para la definición de la posición geométrica de los carriles que forman la vía se emplean los elementos de referencia antes citados, tanto en el caso de vía sencilla como el caso de doble vía, el trazado en planta se definirá por el eje de la entrevía cuando se trate de doble vía y por el eje de la vía si es vía única. El desarrollo del perfil longitudinal –o eje en alzado- se corresponde con el eje definido en planta y representa al hilo más bajo, la cota del carril más bajo, ya que el peralte exige en los tramos curvos una cota distinta para los dos carriles de la misma vía.

Las coordenadas geométricas de la planta $\ll x, y \gg$ se obtienen a partir del eje de planta y la coordenada $\ll z \gg$ a partir del eje de alzado.

En el ejemplo de la figura de la siguiente página podemos observar, tal y como habíamos mencionado anteriormente, que el eje en planta está formado por una secuencia de rectas y curvas, en el eje en alzado se indican los puntos Kilométricos -P.K- y las cotas del eje - cota rasante – y las cotas del terreno. El eje en alzado presenta una secuencia de pendientes y rampas de inclinación constante y acuerdos cóncavos y convexos.

La elección de los parámetros de diseño adecuados deberá ser consecuencia de un análisis del proyectista, siempre pensando en ponderar los diversos factores: geográficos, económicos, ingenieriles, etc. La norma UNE-ENV 13803 fija dos valores para estos parámetros:

- Los valores límites recomendados, que aseguran un nivel aceptable de confort y permiten que los costes de mantenimiento de la vía tengan un nivel razonable.
- Los valores límites máximos o mínimos, valores extremos que está permitido utilizar a la máxima velocidad a la mayor parte de los vehículos ferroviarios. Dado el carácter extremo de estos valores, es esencial que su utilización en una línea determinada sea la menor posible.

Como ya habíamos comentado, entraremos en estos valores límite en el próximo capítulo.

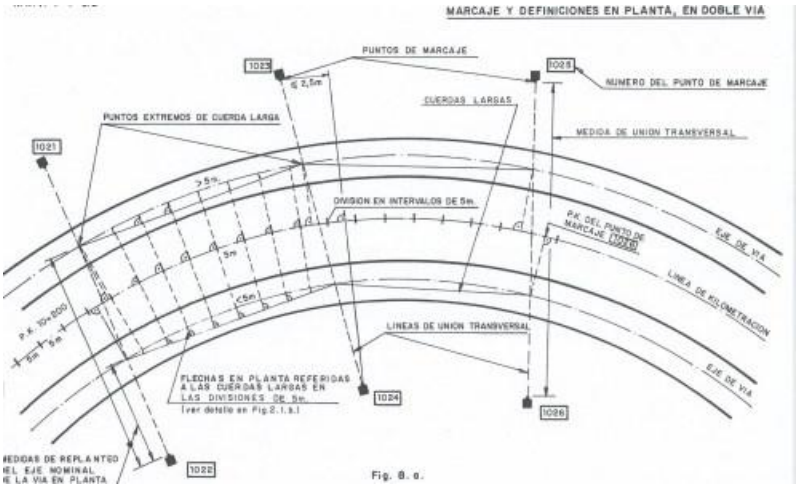


Figura 6.1: ejemplo de una vía ferrocarril en planta, (fuente: google.com)

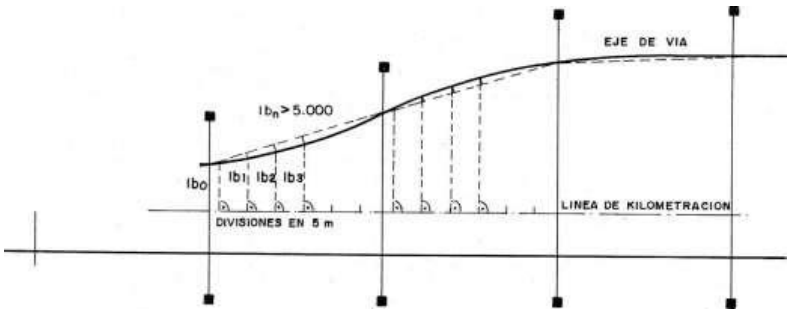


Figura 6.2: ejemplo de una vía ferrocarril en alzado, (fuente: google.com)

En el cuadro se presentan los símbolos y abreviaturas que vamos a utilizar más frecuentemente a lo largo del presente capitulo.

SIMBOLO	SIGNIFICADO	UNIDADES
A	Parámetro del clotoide	m
E	Exceso del peralte	mm
e	Anchura del camino de rodadura o distancia entre puntos de apoyo rueda-carril	mm
f	Flecha de la curva	m
g	Aceleración debida a la gravedad = 9.81	m/s^2
H	Peralte	mm
I	Insuficiencia de peralte	mm
i	Pendiente de la línea	‰
L	Longitud de la curva de transición en el plano horizontal	m
R	Radio de la curva en planta	m
V	Velocidad de la línea	Km/h

Cuadro 6.1: Fuente: elaboración propia

6.1 TRAZADO EN PLANTA

El trazado en planta tiene una gran importancia en un proyecto ferroviario, ya que sus características son las que establecen los límites de velocidad de circulación de los vehículos.

Igual que en el caso de una carretera, el trazado en planta de una vía férrea está constituido por una sucesión de alineaciones rectas y curvas, entre las que se colocan las curvas de transición, que permiten el paso gradual de un radio infinito al radio finito de la curva circular, o de dos radios finitos de curvas circulares - ovoides -.

Las curvas de transición más empleadas en el trazado ferroviario son los clotoides, en las que la variacion del radio de curvatura es uniforme en toda su longitud.

Vamos a suponer que los diferentes elementos del trazado en planta son osculadores - tangentes entre sí y con continuidad de curvatura -, que las variaciones de peralte son proporcionales a las variaciones de curvatura y que los vehículos circulan al inicio de cada elemento sin excitación del movimiento de balanceo, esto es, en calma.

ALINEACION RECTA

Es aquella que en el plano horizontal se representa por una recta, proyección del eje de la vía sobre dicho plano, este tipo de alineación es el más natural a la hora de trazar una obra lineal.

Los parámetros relacionados con su definición son:

- Las coordenadas de los puntos extremos origen y final
- Punto kilométrico del origen y final
- Longitud del elemento
- Azimut, ángulo que forma el elemento con el eje y

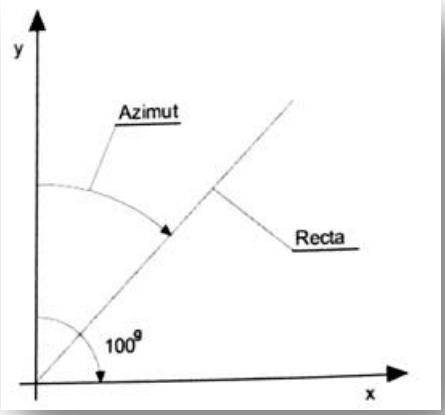


Figura 6.3: Alineación recta, Fuente: diseño y características de una vía ferroviaria, Calvo Poyo, F.J, Jurado Pina, R, Lorente Gutiérrez, J, de Oña López, J

CURVA CIRCULAR

Una alineación curva circular es una curva de radio constante.

Esta puede ser definida mediante los siguientes parámetros:

R = Radio de la curva

C = Centro de la curva

2L = Longitud de la cuerda entre dos puntos de tangencia

F = Flecha

Ω = ángulo entre las dos alineaciones rectas consecutivas

Observamos la figura siguiente, si en una curva circular se dibuja una cuerda de longitud 2L, se define la flecha f como la distancia a la cuerda del punto intersectado por la mediatriz a la cuerda.

De todos estos parámetros, el fundamental para definir una curva es el radio, vamos a calcularlo. Si observamos la figura:

$$tg\alpha_1 = tg\alpha_2$$

$$\frac{f}{L} = \frac{L}{(2R-f)}$$

$$F(2R - f) = L^2$$

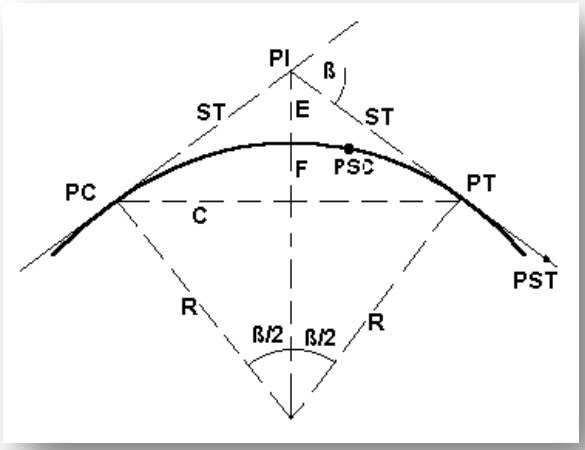


Figura 6.4: Elementos principales de una curva circular, Fuente: diseño y características de una vía ferroviaria, Calvo Poyo, F.J, Jurado Pina, R, Lorente Gutiérrez, J, de Oña López, J

Como R toma generalmente valores del orden de 1000 m, y el valor de f cuando se determina en cuerdas de 20 m de longitud que generalmente es la que se utiliza para realizar las medidas de la flecha sobre el terreno ésta en torno a un valor máximo de 100 mm, podemos despreciar f frente a 2R, por lo que resulta:

$$f2R = L^2$$

$$R = \frac{L^2}{2f}$$

Con esta expresión se relaciona el radio, la cuerda y la flecha.

Obtención del radio de una curva circular ya construida.

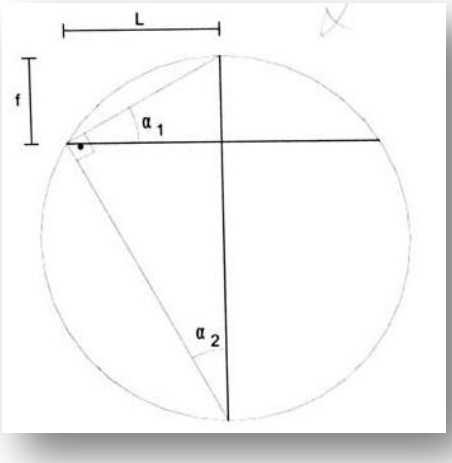


Figura 6.5: Fuente: diseño y características de una vía ferroviaria, Calvo Poyo, F.J, Jurado Pina, R, Lorente Gutiérrez, J, de Oña López, J

Un problema ferroviario frecuente es el de conocer el radio real de la curva que tiene una determinada vía que lleva mucho tiempo construida y que ha sufrido las cargas de tráfico, y consecuentemente ha podido deformarse, o bien el de conocer el radio de una vía antigua de la que no dispone de plano alguno.

Por ejemplo, si en una curva se obtiene una flecha constante de 50 mm en una cuerda de 20 m, el valor del radio de la curva es de:

$$R = \frac{L^2}{2f} = \frac{10^2}{(2 * 0{,}05)} = 1000\ m$$

RADIO DE LOS DIFERENTES CARRILES EN UNA CURVA CIRCULAR

Debido a las características del eje montado en una curva, la longitud y el radio del carril interior es menor que la del carril exterior. Esto se compensa mediante la conicidad de las ruedas, de forma que en una curva la fuerza centrifuga hace que la llanta inferior descienda, dando un radio de rodadura menor, pero si el radio fuese muy pequeño, la pestaña de la llanta chocaría con el carril y ya no sería posible el desplazamiento del eje, produciéndose unos deslizamientos de la llanta sobre el carril, y consecuentemente unos elevados desgastes.

Así pues, existe un radio mínimo para la inscripción del material móvil por debajo del cual el material no es capaz de recorrer la curva, en general, en el diseño de un nuevo trazado ferroviario, el radio mínimo viene impuesto por la velocidad deseada y por el confort del viajero.

CURVA DE TRANSICION, LA CLOTOIDE

La curva de transición sirve de enlace entre los diferentes elementos del eje en planta, es una curva de radio variable, pueden encontrarse entre dos curvas circulares, cada una de radio diferente o entre una curva circular y una recta.

La clotoide o parábola cubica, como es estándar en España, es la que normalmente se utiliza como curva de transición, resultando una variación constante de la curvatura y del peralte. En algunos casos, el diagrama de curvatura se redondea en sus extremos.

Dentro de estos tipos de transiciones, existe generalmente proporcionalidad entre la curvatura y el peralte.

Es posible usar otros tipos de curvas de transición que presentan una variación de la curvatura y del peralte no constantes.

En principio no se utilizan curvas de transición en el trazado en el plano vertical.

Con las curvas de transición se pretende evitar la aparición o desaparición instantánea de las fuerzas de inercia o centrípetas. Al pesar de una alineación recta u otra circular, o viceversa y mediante los peraltes disminuir las fuerzas de ripado sobre el plano de la vía, así como minimizar las aceleraciones desestabilizadoras sobre los viajeros o mercancías, evitando los impactos bruscos, la variación, tanto de la aceleración centrifuga como del peralte, se utiliza de una forma paulatina.

Estas curvas deben cumplir las siguientes exigencias:

- Tangentes a la alineación recta y al arco circular
- En el punto de tangencia con la recta, su curvatura será nula
- En el punto de tangencia con la curva circular, su curvatura será 1/R
- Entre los dos puntos de tangencia anteriores, la curvatura variará progresivamente

Si bien pueden darse infinitas soluciones en la elección de la curva ideal, hay dos factores básicos que se deben cumplir:

- Las leyes de variación de curvatura y peralte deben ser sencillas

- La curva debe ser de fácil replanteo sobre el terreno

Con respecto a las mismas, la ficha UIC 703 R, indica ≪ como regla general, las curvas de transición se instalan con variación de curvatura lineal y rampa de peralte igualmente lineal≫. Aunque en ciertos países se utilizan asimismo curvas de transición con rampa de pendiente variable, estas retrasan la reacción del eje de rodadura respecto al cambio de curvatura. Por esta razón, las curvas de transición no lineales, sólo son utilizadas la mayoría de las veces por la existencia de restricciones de naturaleza topográfica.

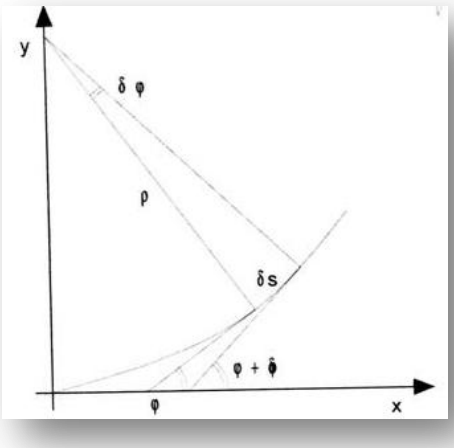


Figura 6.6: Curva de Transición, Fuente: diseño y características de una vía ferroviaria, Calvo Poyo, F.J, Jurado Pina, R, Lorente Gutiérrez, J, de Oña López, J

Las curvas de transición se definen con la condición de que, para una velocidad V dada, se equilibren el efecto de la fuerza centrífuga y la compensación del peralte:

$$\frac{V^2}{\rho} = \frac{gH}{S}$$

Siendo ρ el radio de curvatura de la curva de transición en cada punto.

Si se aplica la condición de que la variación del peralte a lo largo de la longitud de la curva de transición sea lineal es decir:

$$H = K.s$$

Siendo s la longitud de la curva de transición.

Se tiene:

$$\frac{V^2}{\rho} = \frac{g.K.s}{S} \gg \frac{V^2.S}{g.K} = \rho.s$$

$$\frac{V^2.S}{g.K} = cte = A^2$$

$$\rho.s = A^2$$

Esta relación se cumple siempre, siendo A, el parámetro de la curva de transición. Todos los elementos se miden en metros.

Para nuestro caso, en concreto, una vez establecido que el tipo de curva de transición a utilizar es la clotoide, en particular se cumple donde es tangente con la curva circular. En ese punto, s es igual a la longitud total de la clotoide L y ρ es el radio de la curva circular R, obteniéndose la siguiente expresión:

$$R.L = A^2$$

Por lo tanto, conociendo el valor de la longitud de la clotoide L necesaria, se puede conocer el parámetro A de la clotoide sin más que multiplicar la longitud L por el radio R.

6.2 PERALTE

Como consecuencia de la fuerza centrifuga creada durante el recorrido del material móvil en las curvas, aparece una aceleración transversal que sobrecarga el carril exterior, reduce el confort del viajero y además puede afectar al estado de las mercancías transportadas. Para evitar estos efectos en las curvas se introduce un peralte, es decir la magnitud en que un carril de la vía se encuentra más elevado que el otro, medida entre los planos de rodadura de los dos carriles.

El peralte hace que el material rodante adquiera una inclinación al recorrer la curva, con lo cual aparece una fuerza hacia el interior de la curva que compensa el efecto de la aceleración centrífuga. Así pues, contribuye a que las cargas se repartan entre los dos carriles, igualando su desgaste y a aumentar el confort de los viajeros. En cualquier caso, el efecto más importante es la aceleración transversal soportada por el pasajero y es la variable que limita la velocidad de circulación de los trenes en las curvas.

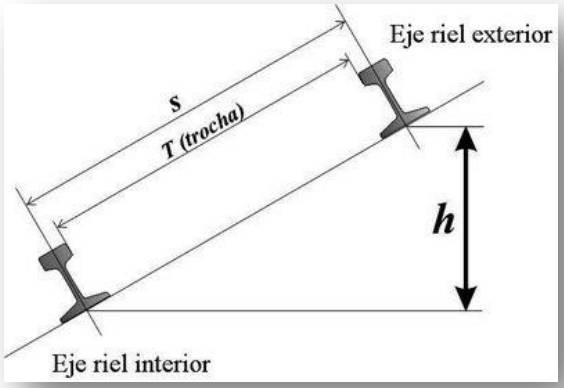


Figura 6.7: Peralte, Fuente: Cuaderno técnico de vía. Geometría de la vía

El peralte es positivo cuando el carril exterior de la vía en curva está a un nivel más elevado que el carril interior y negativo en caso contrario, cuando el carril interior está a un nivel más elevado que el exterior.

El peralte negativo es inevitable en los desvíos y travesías en una vía directa peraltada donde la vía desviada tiene un sentido de curvatura contrario al de la vía directa, en el apartado o en el tramo adyacente al mismo.

El peralte debe ser nulo en las alineaciones rectas y constante en las curvas circulares. La transición de peralte de la recta a la curva o viceversa, se materializa en las curvas de transición con una variación lineal en el desarrollo de la misma, desde cero hasta el valor del peralte elegido para la curva circular o al contrario.

El peralte se debe lograr manteniendo el carril más bajo en la cota que marca el perfil longitudinal - rasante -, elevando el otro carril lo necesario para lograr el peralte, aparecen así los conceptos de hilo bajo e hilo alto para cada uno de los carriles.

PERALTE TEORICO

Durante la circulación de un vehículo por una trayectoria curva, las dos fuerzas actuantes son la fuerza centrífuga y su paso, ambas fuerzas son perpendiculares entre sí y en ausencia de peralte, no existiría ninguna componente que compensara la aceleración centrífuga que actúa sobre el viajero. Sin embargo cuando hay peralte, el vehículo se inclina y el peso se descompone en dos componentes, una perpendicular al suelo del vehículo y otra opuesta a la fuerza centrífuga.

En la figura de la página siguiente se representan los esfuerzos que aparecen cuando un vehículo circula en una curva peraltada. Para el cálculo del peralte teórico, necesario para equilibrar la fuerza centrífuga, hay que aplicar la condición de que la resultante de las fuerzas F_c y P sea perpendicular al plano de la vía, en este caso, el viajero no sentiría ninguna fuerza transversal, para ello la fuerza P_o resultante de descomponer la del peso P en dos componentes, una perpendicular al plano de la vía (P_n) y otra en la dirección de F_c (P_o), debe ser igual a F_c

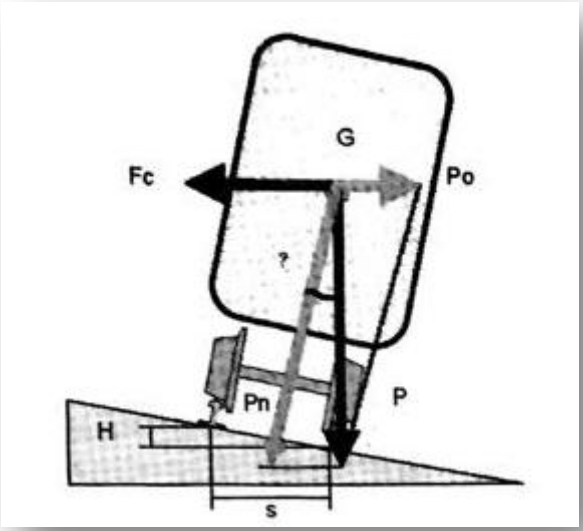


Figura 6.8: Diagrama de esfuerzos sobre el material móvil en las curvas, Fuente: diseño y características de una vía ferroviaria, Calvo Poyo, F.J, Jurado Pina, R, Lorente Gutiérrez, J, de Oña López, J

Siendo H el peralte de la vía, s la distancia existente entre los carriles, G el centro de gravedad del vehículo y b el ángulo de inclinación del vehículo provocado por la presencia del peralte, podemos establecer para F_c y P_o la siguiente relación:

$$tan\beta = \frac{H}{s}$$

$$F_c = m.a_c = m.\frac{V^2}{R}\,; \quad P_o = P.tan\beta = m.g.tan\beta$$

Igualando F_c y P_o se obtiene el peralte teórico necesario para neutralizar el efecto de la fuerza centrífuga:

$$m.\frac{V^2}{R} = m.g.tan\beta \quad \gg \quad \frac{V^2}{R} = g.\frac{H}{s} \quad \gg \quad H = \frac{s.V^2}{g.R}$$

Unos valores normales, en líneas convencionales de ancho ibérico de la distancia entre ejes de los carriles s y del peralte H son 1,74 m y 160 mm respectivamente, luego se tendría que para esos órdenes de magnitud el ángulo, el seno y la tangente prácticamente coinciden:

$$tan\beta = \frac{0{,}16}{1{,}74} = 0{,}0919\,; \quad \beta = 0{,}0916 \;\; ; \quad sen\beta = 0{,}09156$$

Si se tiene una curva con un peralte dado H, se deduce que la aceleración transversal máxima que compensa dicho peralte toma un valor de:

$$\alpha_c = g.\frac{H}{s}$$

LAS SITUACIONES REALES: INSUFICIENCIA O EXCESO DE PERALTE

En las condiciones reales de circulación se tiene que una vez construida una vía ferroviaria con un peralte determinado, no todos los trenes circulan por ella a la velocidad teórica para la que se había calculado el peralte, debido a que hay pesados trenes de mercancías que circulan más despacio y trenes de viajeros que son más rápidos y ligeros.

En la práctica, la neutralización de la fuerza centrífuga por medio del peralte solamente puede conseguirse en una línea de tráfico exclusivo por la que circulen trenes de las mismas características siempre en las mismas condiciones, un acercamiento a este caso se produce en las líneas exclusivas de cercanías y de metro, en las cuales existe un tráfico exclusivo de trenes de viajeros y los automotores son lo suficientemente potentes como para mantener la misma velocidad estando llenos o vacios.

Por lo tanto, en las circunstancias habituales de circulación aparecen dos tipos de situaciones: insuficiencia o exceso de peralte.

Insuficiencia de peralte: es la situación que se produce cuando el tren circula a mayor velocidad que la velocidad de equilibrio del peralte, un peralte escaso hace que los viajeros se sientan incómodos, ya que las fuerzas de inercia tienden a lanzarle lateralmente, si la insuficiencia de peralte es importante.

Dicho valor viene dado por la expresión:

$$I = \frac{e}{g} \cdot \frac{V^2}{3{,}6^2 . R} - H$$

Siendo I= insuficiencia de peralte (mm)

e= anchura del camino de rodadura (mm)

g= 9,81 m/s^2

V= velocidad (km/h)

R= radio (m)

H= peralte (mm)

Esta insuficiencia de peralte modifica los esfuerzos verticales y transversales sobre el carril exterior y los transversales sobre el tramo de vía cargado.

La magnitud de estos esfuerzos depende, entre otros factores, de:

- Tipo de estructura de la vía- vía soldada o con juntas
- Condiciones del mantenimiento de la vía y del estado de los elementos que la conforman
- Geometría de la vía y su calidad
- Tipo de sistema de rodadura y suspensión del vehículo
- Carga por eje y masas no suspendidas del vehículo
- Condiciones de mantenimiento del vehículo

Dichas fuerzas transversales ejercidas por los ejes no deben superar la resistencia de la vía a la deformación transversal, esta resistencia no es sólo función de la estructura de la vía, en especial del tipo de material del balasto, sino también de su grado de compactación, por lo que después de un bateo hay que tener en cuenta que se debe respetar el valor mínimo de la resistencia al ripado de la vía.

Si se aumenta el valor de I recomendado, deberá por tanto considerarse la sección del carril, el tipo de travesías y la separación entre ellas, las sujeciones, la baqueta de balasto y la capacidad portante de la infraestructura, considerando que

implicará una disminución de la vida útil de los elementos constructivos de la vía, además de unos costes adicionales para la vigilancia y el mantenimiento de la calidad de la vía.

Exceso del peralte: Es la situación que se produce cuando el tren circula a menor velocidad que la velocidad de equilibrio del peralte. Dado que sólo los trenes lentos, especialmente los mercancías, circulan con exceso de peralte sobre las curvas de mayor radio, este parámetro afecta fundamentalmente a la fatiga de la vía, y en especial al incremento de carga de la rueda sobre el carril bajo de las curvas y al incremento de tensión en el mismo, especialmente en el borde activo de la pestaña, con el consiguiente deterioro por aplastamiento anormal del carril con aparición de rebabas en su cabeza - los trenes más lentos suelen ser también los más pesados -. Además de poder dificultar su arranque en caso de que la circulación haya tenido que realizar una parada.

Dicho valor viene dado por la expresión:

$$E = H - \frac{e}{g} \cdot \frac{V^2}{3{,}6^2 . R}$$

Siendo E, exceso de peralte (mm)

H, peralte

e, anchura del camino de rodadura (mm)

g= 9.81 m/s^2

V, velocidad (km/h)

R, radio (m)

ESTABLECIMIENTO DEL PERALTE

Ya hemos comentado anteriormente que para obtener el peralte lo habitual es elevar el carril exterior, manteniendo fija la cota del interior, para así no reducir el espesor de balasto bajo travesía en la parte del carril interior.

Si una curva circular se une directamente a una recta, en su punto de tangencia, el peralte debe tener el valor H correspondiente a la curva y ser nulo por pertenecer a la recta. Como no es posible dar este salto $\ll de\ golpe \gg$, para dar continuidad a la vía, se va elevando de forma continua y progresiva el carril exterior respecto al interior, mediante una débil rampa de peralte, desde cero hasta el valor deseado, de tres formas distintas:

- Elevando el carril exterior en la alineación recta, de forma que al llegar al inicio de la circular ya tenga alcanzado todo el peralte problemática de balanceo de las circulaciones y disminución de la seguridad frente al descarrilamiento.
- Establecer progresivamente el peralte dentro de la curva circular a partir del punto de tangencia problemática de desgaste de pestañas e incomodidad del viajero.
- Establecer el peralte, parte en la recta y parte en la curva.

Todos estos procedimientos son indeseables ya que, o bien dan lugar a un peralte de la alineación recta que no debe poseerlo o bien a una elevación insuficiente de una parte de la curva.

En el tercer caso, tenemos una combinación de los inconvenientes de los dos anteriores, aunque reducidos por lo que es la que se debe adoptar si no hay curva de transición entre ambas alineaciones.

VARIACION DEL PERALTE CON RESPECTO AL TIEMPO

Es la cantidad en la que el peralte se incrementa o se reduce por unidad de tiempo relativa a la velocidad máxima del vehículo que circula por una transición.

Por ejemplo, 35 milímetros por segundo significa que un vehículo que está circulando por una curva de transición a la máxima velocidad permitida experimentará una variación en el peralte de 35 milímetros cada segundo, este concepto se puede aplicar para cualquier velocidad de circulación de los vehículos.

Dicha variación de peralte, en caso de ser con pendiente constante, tiene como valor:

$$\frac{dH}{dt} = \frac{dH}{dl} \cdot \frac{dl}{dt} = V \cdot \frac{dH}{dl} = \frac{\Delta H \cdot V_{max}}{3{,}6\ L}$$

Siendo dH/dt la variación del peralte con respecto al tiempo (mm/s)

dH/dl la variación del peralte con respecto a la longitud (mm/s)

ΔH la variacion total del peralte a lo largo de una clotoide, a saber entre recta y curva circular o entre dos curvas circulares de diferente radio (mm)

V_{max} la velocidad máxima en curva (km/h)

L la longitud de la curva de transición en el plano horizontal (m)

VARIACION DEL PERALTE CON RESPECTO A LA LONGITUD

Esta variación indica la cantidad en la que el peralte aumenta o se reduce por unidad de longitud de transición.

Para una velocidad constante el valor del peralte es directamente proporcional a la curvatura, 1/R y como ésta es variable a lo largo de la curva de transición, según la ley determinada, el valor de H debe variar también con ella partiendo de un valor nulo al inicio de la transición y alcanzando su valor máximo al terminar la misma:

$$H_l = \frac{1/R_l}{1/R_{max}} \cdot H_{max}$$

En el caso de rampa de pendiente constante a este parámetro se le define también como pendiente del diagrama de peralte o rampa de peralte. Este caso es el extendido en la red ferroviaria española.

Al no ser constante el peralte a lo largo de las curvas de transición, dos ejes consecutivos de un vehículo no pueden pertenecer al mismo plano, originándose así unos determinados alabeos. El alabeo de la vía queda definido por la diferencia de peralte entre dos puntos de la misma separados una distancia $\ll 2.a \gg$, a la que se denomina $\ll$ *base de medida longitudinal* $\gg$ generalmente se emplea una base de 3 metros de longitud.

6.3 TRAZADO EN ALZADO

El perfil longitudinal de la vía viene definido por una sucesión de tramos con inclinación constante de la rasante, enlazados entre sí mediante acuerdos de tipo circular o parabólico.

Reflejado con más precisión, está constituido por planos sucesivos con diferente inclinación, que forman los tramos horizontales, las pendientes y las rampas. Cada dos planos contiguos se enlazan sí mediante un tramo curvo, cuya sección vertical en el caso más general será el desarrollo sobre la superficie de un cilindro de eje horizontal - curva circular de enlace – o una parábola, de gran radio de curvatura, con el fin de evitar, entre otros muchos efectos, los movimientos verticales anormales en los vehículos debidos a efectos dinámicos, siendo más apreciable la falta de comodidad que experimentan los viajeros en los acuerdos convexos que en los cóncavos.

Las alineaciones rectas se definen por su longitud y por la inclinación en el plano tangente en cada punto. El signo de dicha inclinación depende del sentido de la circulación, así se denomine rampa a los tramos en que se gana cota y pendiente a aquellos en los que se pierde.

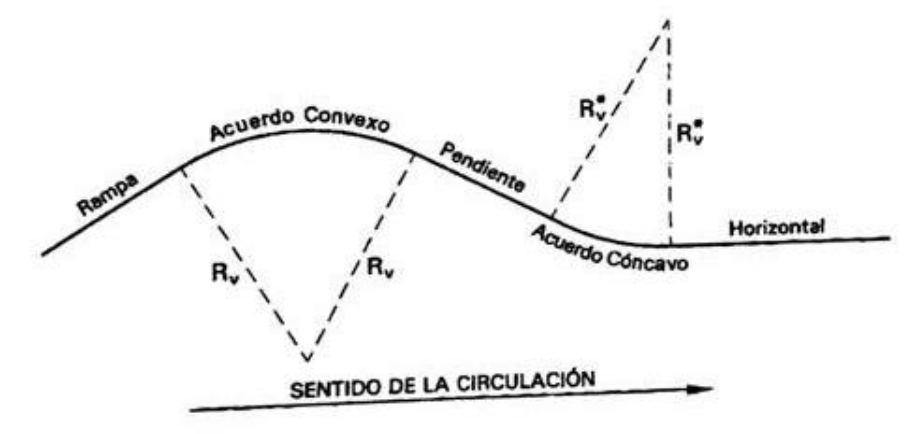


Figura 6.9: Perfil longitudinal de una vía, Fuente: Cuaderno técnico de vía. Geometría de la vía, Mendoza, J.

Los acuerdos o curvas de enlace pueden ser cóncavos - valles – o convexos - crestas –y se definen por su radio y su longitud.

Las rampas y pendientes surgen por la necesidad de ganar o perder cota de altura en el trazado, estando sus cambios condicionales por el terreno y por el valor de la rampa máxima adoptada. Para ello, deben considerarse los siguientes aspectos:

- Adherencia rueda-carril – que la limita a valores $<$ 70‰
- Potencia de los vehículos para ascender en una rampa prefijada
- Características del tráfico de la línea-automotores, especializado de viajeros, mixto, etc.
- Posibilidad de arranque y frenado de las circulaciones
- Modificación de las condiciones de explotación, si en una línea se introducen rampas superiores a las existentes. Así en tráfico mixto se considera que no deben superarse las 20‰ y en túnel o curva las 17‰

RADIO DE LAS CURVAS VERTICALES

La necesidad o no de la existencia de curvas verticales es función de la diferencia algebraica entre rasantes. Así, las diferentes compañías ferroviarias introducen estos acuerdos verticales, entre rasantes sucesivas, cuando la diferencia algebraica de sus inclinaciones es igual o superior a $\ll \Delta i \gg$ ‰, que oscila entre 1 y 4 ‰, dadas las siguientes limitaciones:

- En condiciones estáticas se podrían producir choques en la parte baja central de las cajas de los vehículos bajos, en los puntos altos del trazado, así como compresión de unas suspensiones y elongación de las otras, causando deteriores en el material y posibles riesgos para la seguridad de las circulaciones.
- En condiciones dinámicas se producirían movimientos anormales en los vehículos, agravando los problemas aparecidos en las condiciones estáticas.

La forma más natural de establecer el enlace es mediante una curva tangente a las dos alineaciones rectas y cuya tangente respecto al eje horizontal presente una inclinación variable constantemente desde el principio al fin del acuerdo.

El tramo curvo se suele establecer en la práctica mediante una circunferencia o una parábola de segundo grado con curvatura máxima en el vértice y decreciendo hacia los puntos de tangencia con las rectas que enlaza, de gran radio de curvatura, siendo la más habitual la curva circular, no se emplean ningún otro tipo de curvas, cuyo radio se fija en función de la aceleración vertical.

Dado que el ángulo que define la inclinación de las pendientes y rampas es muy pequeño, en la práctica se iguala el valor de la tangente al del ángulo, medido en radianes.

Como se puede observar en el cuadro siguiente cuando $\Delta i < 3.5° = 60‰$, puede adoptarse $\theta = tg\theta$, con θ en radianes, con error menor de 0,0001.

Relación de valores entre Δi, $tg\theta$ y θ

Δi	5	10	30	50	60
$tg\theta$	0,0050	0,0100	0,0300	0,0500	0,0600
θ (grados)	0,2865	0,5729	1,7184	2,8624	3,4336
θ (radianes)	0,0050	0,0100	0,0300	0,0500	0,0599

Cuadro 6.2: Fuente: Cuaderno técnico de vía. Geometría de la vía, Mendoza, J. José Julián

Observamos ahora la figura siguiente, en el caso de utilizar el arco de circunferencia tendremos entonces, si denominamos i (+) a la rampa e i (-) a la pendiente:

$$l = R_v \,.\, \theta$$

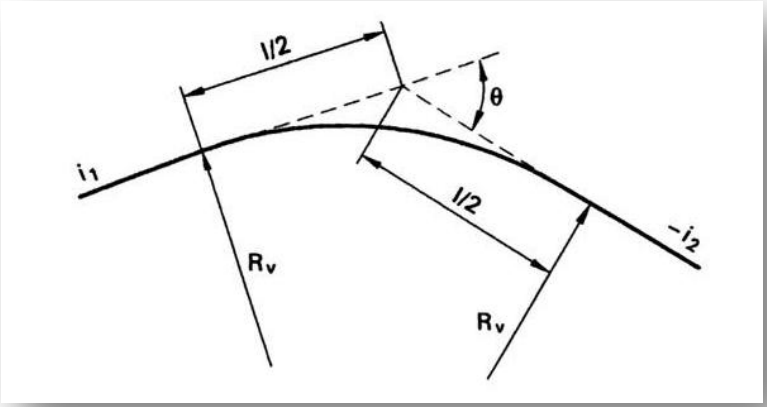


Figura 6.10: Curva vertical, Fuente: Cuaderno técnico de vía. Geometría de la vía, Mendoza, J. José Julián

Siendo I el desarrollo de la curva de enlace (m)

R_v, radio de la curva vertical (m)

θ, el ángulo formado por las rasantes o ángulo de reflexión del arco de la circunferencia que forma el acuerdo vertical (radianes)

$$\theta \approx tg\theta = i_1 - (-i_2) = i_1 + i_2$$

i la pendiente del tramo recto tangente a la curva vertical (‰)

6.4 COINCIDENCIA DE CURVAS VERTICAL Y EN PLANTA

Si bien puede surgir la complicación de la coincidencia de una curva de enlace vertical con una curva en planta, debe recomendarse que esto no suceda, en especial con las curvas de transición en planta.

Si ello es inevitable se deben construir radios muy importantes en el acuerdo vertical. La solución teórica al problema es la implantación de una parábola de cuarto grado. En estos casos el montaje de la vía resulta muy complicado.

6.5 ANCHO DE VIA

Se define como la distancia entre los extremos de las cabezas de los dos carriles -el teórico es sobre carriles no gastados-, en el plano paralelo situado habitualmente a 14 ó 15 mm, según las distintas compañías explotadoras, por debajo del plano de rodadura y medido perpendicularmente al eje de la vía.

El ancho internacional es de 1.435 mm, adoptado en España para las líneas de alta velocidad, y el llamado ancho ibérico es de 1.668 mm, adoptado para el resto de vías de la península ibérica.

Las variaciones del ancho a lo largo del trazado de la vía son el resultado tanto del diseño de las travesías y sujeciones a saber, ancho nominal, sobreancho y tolerancias constructivas y de fabricación, como del desgaste y/o deformaciones producidas por su uso del carril, sujeciones y travesías.

Hay dos causas que dificultan la inscripción de un vehículo ferroviario a su paso por una curva en planta, lo que se traduce en esfuerzos transversales y desgastes laterales en carriles y pestañas de las ruedas:

a) La rigidez del bastidor que mantiene paralelos entre sí a los ejes del vehículo, siendo mayor cuanto mayor es la distancia entre los dos ejes considerados -base rígida-
b) El hecho de que ambos ruedas de un eje estén fijas al cuerpo del eje, lo que motiva que la llanta que rueda sobre el carril exterior recorra una longitud superior a la del carril interior, efecto que se palia parcialmente gracias a la conicidad de la llanta.

Debido a esto, las curvas de radio reducido necesitan, generalmente de un aumento del ancho de vía llamado sobreancho, para poder mejorar la inscripción del vehículo. Este sobreancho puede acompañarse de la instalación de un contracarril que contribuye a conseguir los objetivos siguientes:

- Limitar el ángulo de la rueda en curva.
- Aumentar la rigidez del tramo de vía.
- Proporcionar un mejor guiado de la cara interior de la rueda y absorber parte del esfuerzo producido en la rueda, esto es ayudar a reducir la propensión a descarrilar, las fuerzas rueda-carril y el desgaste..

Para facilitar la fabricación de travesías, particularmente las de hormigón o posibilitar el montaje de sus sujeciones en taller, se suelen dar a los sobreanchos unos valores fijos.

La obtención práctica del mismo se suele hacer por desplazamiento del carril interior, dado que la continuidad de la alineación recta a la curva es más importante en el carril exterior -que es el que obliga a la inscripción de los vehículos- su consecución se realiza en la curva de transición, adquiriendo todo su valor en el comienzo de la curva circular o del punto de la transición cuyo radio exija dicho valor de sobreancho.

6.6 PARAMETROS DE DISEÑO DE LINEAS DE ALTA VELOCIDAD

6.6.1 INTRODUCCION

Resulta bien conocido que el tiempo de viaje constituye uno de los atributos más valorados en todo modo de transporte. En las últimas décadas, a medida que se producía el desarrollo de la red viaria de cada país, incluyendo la construcción de autovías y autopistas, se generalizaba el uso del reactor en la aviación y ambos modos de transporte se volvían más atractivos.

En este contexto de concurrencia, el ferrocarril ha tratado de reducir los tiempos comerciales de viaje mediante la implementación de distintos tipos de actuaciones, logrando así ser más competitivo frente a otros medios de transporte. En una secuencia gradual y lógica, pueden distinguirse, entre otros, los siguientes factores sobre los que podemos actuar para incrementar la velocidad de circulación de una línea ferroviaria:

- Reducción de las aceleraciones aleatorias debidas a los defectos geométricos de la vía gracias a un mantenimiento importante de la calidad geométrica de la vía
- Elevación del peralte existente en la vía
- Utilización de una suspensión transversal activa -STA-, un dispositivo hidráulico o neumático que compensa parcial o totalmente la inclinación de la caja hacia el exterior de la curva
- Utilización de vehículos de caja inclinable
- Modificación del radio en planta de las curvas mediante la realización de ripados selectivos o construcción de variantes locales
- Construcción de nuevas infraestructuras con geometría apta para elevadas prestaciones

Agotadas las posibilidades que ofrecen los cinco primeros factores, puede llegarse a la conclusión de que es necesaria la construcción de un nuevo trazado ferroviario. La decisión de disponer de una nueva infraestructura es el resultado de la consideración de diversos aspectos, no todos ellos relacionados con la velocidad de circulación a título indicativo, la falta de capacidad en un itinerario dado suele ser uno de los principales motivos para desencadenar el interés de analizar la conveniencia de una nueva línea.

Por otro lado, debe tenerse en cuenta que el coste económico de una nueva infraestructura ferroviaria con características aptas para desarrollar elevadas prestaciones se sitúa en el intervalo de 10 a 26 millones de euros por kilómetro, pudiendo alcanzar muchísimas más en situaciones excepcionales.

Dado que una de las principales actividades de los ferrocarriles europeos en la actualidad es la construcción de nuevas infraestructuras aptas para la introducción de servicios de alta velocidad, incluyendo España, se ha creído justificada la inclusión de un capitulo especifico. De este modo vamos a tratar a continuación los parámetros utilizados en la alta velocidad aunque debemos saber que el diseño geométrico de estos trazados se basa en los criterios expuestos en los dos capítulos anteriores y la obtención numérica de los valores de las variables -radio de las curvas, peralte, longitud de la clotoide, etc-, es el resultado de su aplicación a las velocidades previstas, en general 300 km/h o más.

6.6.2 PARAMETROS PARA ALTA VELOCIDAD ESPAÑOLA

En el cuadro 6.3 siguiente se indican las limitaciones geométricas -según normativa de ADIF- que debe cumplir el trazado en planta y alzado de líneas de ancho de vía internacional, 1.435 mm, tanto para tráfico mixto como exclusivo de viajeros y con velocidad máxima de proyecto comprendida entre 200 y 350 km/h.

Parámetros para alta velocidad Española

Parámetro	Unidad	Normal	Excepc.	Normal	Excepc.	Normal	Excepc.
Distancia entre ejes vías generales (Z_e)	M			4,7			
Mínima anchura de plataforma (AP)	M			14			
Peralte máximo (H_{max})	Mm	140	160	140	160	140	160
Máxima insuficiencia de peralte (I_{max})	Mm	80	100	70	80	60	65
Máximo exceso de peralte V_{min} de trenes lentos E_{max}	Mm	80	100	80	100	80	100
Máxima aceleración sin compensar a_Q máxima	m/s²	0,52	0,65	0,46	0,52	0,39	0,42
Máxima aceleración vertical $(a_v)_{max}$	m/s²	0,22	0,44	0,22	0,44	0,22	0,44
Máxima variación del peralte respecto de la longitud $(dh/dl)_{max}$	mm/m	0,7	2	0,5	2	0,5	2
Máxima variación del peralte con el tiempo $(dh/dt)_{max}$	mm/s	40	60	30	50	30	50
máxima variación de la insuficiencia con el tiempo $(dl/dt)_{max}$	mm/s	50	75	40	60	30	50
Máxima variación del ángulo de giro de la vía $(d\theta/dt)_{max}$ (*)	rad/s	0,027	0,040	0,020	0,033	0,020	0,033
Máxima variación de la aceleración no compensada con el tiempo $daQ/dt)_{max}$	m/s²	0,33	0,49	0,26	0,39	0,20	0,33
Mínima longitud de alineaciones de curvatura constante en curva circular	M			$\geq \frac{V_{max}}{2}$			
Mínima longitud de alineaciones de curvatura constante en recta entre curvas de igual signo de curvatura	M			$\geq \frac{V_{max}}{2}$			
Mínima longitud de alineaciones de curvatura constante en recta entre curvas de distinto signo de curvatura	M			$\geq \frac{V_{max}}{2}$	ó 0		
Máxima pendiente longitudinal i_{max} tráfico de viajeros	‰	25	30	25	30	25	30
Máxima pendiente longitudinal i_{max} tráfico mixto	‰	15	18	15	18	15	18
Máxima pendiente longitudinal i_{max} apartaderos	‰			2			
Mínima pendiente longitudinal en túneles y trincheras i_{min}	‰	5	2	5	2	5	2
Longitud mínima de acuerdos verticales Lv_{min}	M			$\frac{V_{max}}{2}$			
Longitud mínima de rasante uniforme entre acuerdos Lp_{min}	M			$\frac{V_{max}}{2}$			
Longitud máxima de rasante uniforme LP_{max}(**)	M			3000			

θ(*) Corresponde al ángulo que forma el plano de la vía con la horizontal

(**) Referida a la rampa con pendiente máxima. En caso de pendientes inferiores a la máxima admisible, se debe justificar que la perdida de V no supera el 10%, para V_{min} y V_{max}

Cuadro 6.3: Fuente: Cuaderno técnico de vía. Geometría de la vía, Mendoza, J. José Julián, diseño y características de una vía ferroviaria, Calvo Poyo, F.J, Jurado Pina, R, Lorente Gutiérrez, J, de Oña López, J, y elaboración propia

Además, hay que tener en cuenta las siguientes consideraciones sobre el trazado:

- Como criterio general, las clotoides para las entradas y salidas en las alineaciones curvas deberán ser simétricas y tendrán longitudes múltiples de diez, ajustando para ello el valor del parámetro de la clotoide.
- En túneles no se proyectará un punto bajo, un acuerdo cóncavo, ni tampoco una rasante inferior a 5‰, salvo donde exista un acuerdo convexo o cuando se adopten medidas especificas para garantizar la escorrentía longitudinal.
- En trincheras se procurará respetar el límite de 4‰ para la pendiente longitudinal, sin bajar en ningún caso del 2‰.
- En el diseño de la rasante, se procurará evitar las alturas superiores a 25-30 m en terraplenes, a 30-35 m en desmontes y 10-12 m en estribos de viaductos.

- Por último, en el encaje final del trazado deberá tenerse en cuenta, si es el caso, las siguientes limitaciones de vía: distancia mínima de 300 m entre aparatos de dilatación y de 100 m entre un desvío y un aparato de dilatación.

7-TRABAJOS TOPOGRÁFICOS DE UNA VÍA FERROCARRIL

7.1 INSTRUMENTOS Y ACCESORIOS TOPOGRÁFICOS

Las actuales obras civiles de construcción de superestructuras ferroviarias requieren de las más altas precisiones en el posicionamiento espacial de la vía, por ello actualmente las empresas exigen equipos topográficos cada vez más fiables, precisos y robustos que incrementan su rendimiento sin olvidar su precisión.

Aunque las tolerancias exigidas son diferentes dependiendo tanto del tipo de vía a ejecutar tranvía, metro ligero, metro convencional, alta velocidad, etc.- como según el material sobre el que se coloque la vía siendo más restrictivas en los casos de vía hormigonada que sobre balasto, en cualquiera de los casos siempre son elevadas en comparación con otros trabajos topográficos.

El instrumental topográfico empleado actualmente ha ido evolucionado de conformidad a los tiempos y desarrollo tecnológico, estamos asistiendo a la sustitución de parte de la óptica de los instrumentos de la electrónica, al tiempo que los aparatos aumentan su precisión y amplían su alcance, lo que provoca la revisión y modificación de los métodos de trabajo.

En efecto, la informática con su gran capacidad que permiten la utilización de la información con una enorme fluidez, así como su dibujo con la ayuda de la cartografía automática con la ventaja que supone que el cambio de la información en la base de datos sea rápido y sencillo.

Incluso actualmente la tecnología ha modificado la puntería en los aparatos de topografía labor realizada tradicionalmente por el operador a través del anteojo, pudiendo sur automática con ayuda de la electrónica.

En el ámbito que nos ocupa, el montaje de una vía ferroviaria, hasta hace relativamente poco tiempo se empleaban exclusivamente los instrumentos topográficos clásicos, estación total, nivel, receptor GPS etc. No obstante en los últimos años han aparecido en el mercado nuevos instrumentos para llevar a cabo los trabajos topográficos en vía que facilitan mucho la labor del topógrafo – carros y reglas de posicionamiento absoluto de vías- haciendo así más rápido y productivo el proceso pero que a su vez implican un cambio en la metodología de trabajo que expondremos.

En el presente capitulo, además del instrumental topográfico se van a tratar los principales instrumentos y accesorios que necesita el topógrafo para el trabajo de montaje de vía, regla de ancho y peralte, asas de flechar, zapata especial para levantar la cara activa de la vía etc.

7.1.1 INSTRUMENTOS TOPOGRAFICOS

ESTACION TOTAL

La integración en solo equipo del sistema medida de ángulos y el sistema electroóptico para la medida de distancias, junto con un microprocesador para el cálculo automático de datos topográficos – distancia reducida o inclinada, azimut, desniveles y coordenadas polares o cartesianas- dio paso a la construcción de la estación total integrada, gracias a esto, con ella se pueden medir simultáneamente distancias y ángulos verticales y horizontales, e internamente, con el microprocesador programado, calcular las coordenadas topográficas de los puntos visados, una de sus características más importantes es que pueden medir ángulos horizontales en ambos sentidos y ángulos verticales con el cero en el horizonte o en el zenit.

Las estaciones más modernas pueden realizar cálculos relativos a la información para replantear puntos, así como otras funciones así, podemos distinguir entre varios tipos de estaciones totales de características especiales:

- Estaciones servo direccionales o motorizadas: son estaciones totales integradas que disponen de compensador de doble eje e incorporan un servomando que simplemente pulsando una tecla permite girar y apuntar el instrumento. Esta motorización tanto horizontal como vertical, permite que la propia estación busque la dirección necesaria para el replanteo de un punto en concreto. De este modo se minimiza el posible error a la hora de hacer coincidir la lectura horizontal de la estación con el azimut calculado de replanteo.
- Estación total ≪ *One Man System* ≫ o robotizada: a principios de los años noventa se introdujo en el mercado el primer modelo. Este instrumento consiste en una estación total con servo motor de rastreo y una unidad de control remoto de posicionamiento que controla la estación total y funciona como emisor y recolector de datos, tanto la estación como la unidad de control remoto se conectan por medio de ondas de radio. Una vez puesto en estación, el instrumento es orientado colimando un punto de referencia conocido y entonces por medio de un botón, se transfiere el control de la estación a la unidad de control remoto de posicionamiento. A partir de este momento, el operador se puede desplazar dentro del área de trabajo con la unidad de control remoto recolectando los datos, es la estación la que busca automáticamente al prisma, bien vía láser o bien vía radio. Las estaciones robóticas vienen con programas de aplicación incorporados, que junto con las características mencionadas previamente, permiten tanto en los trabajos de levantamiento como en los de replanteo, que pueda ser gobernada por una sola persona desde la posición del porta prisma, cuyo bastón dispone de un teclado similar al de la estación total.

Imagen 7.1: Estacion total robotizada Leica ICON robot 50, Fuente: http://www.leica-geosystems.es , http://apac.getac.com y elaboración propia.

- Estación total integrada con GPS: este sistema permite posicionarnos, sin necesidad de poligonales, intersecciones inversas, etc. El GPS ubicado en la vertical de la estación determina la posición y transmite estas coordenadas a la estación, momento en que ya se puede empezar a medir o a replantear. Este sistema combinado permite elegir el método de trabajo, bien con el GPS montado en su correspondiente jalón en casos de zonas despejadas, bien con la estación trabajando en zonas con mala cobertura GPS o mucha vegetación, en los replanteos permite estacionar en un par de puntos obteniendo previamente las coordenadas de éstos con el GPS, una vez conocidas, ya podemos trabajar en modo estación, estacionando en una de las bases y orientando a la otra antes de comenzar el replanteo.
  En los trabajos topográficos que nos ocupan, de montaje de vía, se emplean estaciones totales de alta precisión, es decir equipos de gama alta, si vamos a utilizar el carro de posicionamiento global, el cual describimos con detalle más adelante, se requiere que las estaciones estén servo motorizadas con reconocimiento automático de señal, ya que es necesario realizar punterías finas al prisma del carro de una forma totalmente automatizada.

NIVEL

Los niveles son los instrumentos utilizados para realizar los llamados trabajos altimétricos o nivelaciones, necesarias para determinar la altura de los puntos que hay sobre una superficie de nivel tomada como plano de comparación, así pues son instrumentos dedicados exclusivamente a realizar nivelaciones operaciones para determinar la diferencia de nivel o desnivel entre dos o más puntos o lo que es lo mismo, las distancias verticales entre ellos. Y su fundamento es basa en la determinación de planos horizontales.

Al igual que en las estaciones totales, en las obras de montaje de vía necesitamos realizar mediciones con una alta precisión, por lo que se recomienda el uso de niveles automáticos. Estos están dotados de un mecanismo interno de compensación de la horizontalizacion, esto quiere decir que únicamente es necesario estacionar y calar la burbuja del nivel circular para que el instrumento deje automáticamente horizontal la visual del nivel.

Este nivel automático que hoy en día utilizamos de una manera tan habitual, no siempre fue así, los primeros niveles ópticos usados en topografía de precisión fueron los niveles de ningún sistema compensador.

También se emplean niveles de precisión, niveles con un mayor número de aumentos en su anteojo entre 35x y 50x lo que permite medir el desplazamiento de la visual, reduciendo así el error de puntería, se complementan con el uso de miras invar.

Imagen 7.2: nivel automático NAK2 de Leica, Fuente: http://www.leica-geosystems.es

Otro tipo muy utilizado son los niveles digitales, estos tienen el mismo fundamento que los automáticos, pero ofrecen un mayor número de ventajas gracias a que incorporan elementos electrónicos que son capaces de leer sobre una mira de código de barras, la cual tiene memorizada el propio nivel.

Las ventajas más destacables de estos niveles son: la velocidad, la precisión, que el cansancio ocular del técnico no influye en la medida y además que se evitan errores de lectura sobre la mira y también errores de transcripción a la libreta ya que también disponen de un sistema de almacenamiento de datos que permite posteriormente volcar la información tomada en campo al nivel y mira es automática, basándose en los métodos estadimétricos.

RECEPTORES GPS

Las siglas GPS corresponden a la denominación en ingles de lo que se ha traducido al castellano con el barbarismo de ≪ *Sistema de Posicionamiento Global* ≫ , Global Positionning System, es decir, un sistema que permite situarse geográficamente, en tiempo real y en cualquier lugar de la tierra, con gran precisión. Pero también por extensión se ha establecido ya en la jerga de sus usuarios denominar GPS a los equipos receptores de las señales que emiten los satélites del sistema.

Imagen 7.3: Receptor GPS Leica SR20, Fuente: http://www.docstoc.com

El GPS funciona mediante unas señales de satélite codificados que pueden ser procesados en un receptor permitiéndole calcular su posición, velocidad y tiempo, se utilizan cuatro señales para el cálculo de posiciones en tres dimensiones y del reloj del receptor en el bloque receptor.

Actualmente, los receptores GPS de uso topográfico no sólo son capaces de captar las señales de los satélites estadounidenses GPS-NAVSTAR, sino también la constelación GLONASS creada por Rusia así como la constelación europea llamada GALILEO que está desarrollando su propio sistema global de navegación por satélite GNSS en el caso europeo es un sistema de uso civil.

El sistema GPS se compone de tres partes o segmentos claramente diferenciados:

- Segmento espacial, formado por los satélites activos
- Segmento de control, para el control del sistema desde la tierra
- Segmento del usuario, formado por los receptores de los usuarios del sistema

El sistema WGS84 es el sistema de referencia que utiliza el GPS, por lo tanto cualquier receptor nos dará la longitud, latitud y altitud referida a este sistema, no todos los países ni todas las cartografías utilizan el sistema WGS84, sino que tienen sistemas locales, normalmente los GPS vienen equipados con software que realiza esta transformación o calibración. Por lo tanto es muy importante conocer el sistema en el que está trabajando nuestro GPS y saber en qué sistema se encuentra la obra o la cartografía sobre la que hemos de ajustar nuestro levantamiento, si estos sistemas no fuesen idénticos se podrían estar cometiendo errores muy graves.

La precisión centimétrica de los receptores GPS, tanto en altimetría 2 o 3 cm aproximadamente como en planimetría no tan alta como en altimetría, pero también centimétrica entre 1 y 2 cm, hace que el uso de estos instrumentos en los trabajos de montaje de vía sea muy concreto. En los próximos capítulos abordaremos que trabajos son aptos para uno u otro instrumento topográfico.

CARRO DE VIAS

Como ha habíamos comentado en la introducción del capítulo, el trabajo del topógrafo en la vía ferrocarril puede resultar una tarea mucho más sencilla y rápida si disponemos de una herramienta como el carro de vías.

El método clásico para la medición completa de un tramo de vía requiere de varias pasadas por cada uno de los puntos hasta completar la toma de datos, cada una de ellas utilizando un instrumento o herramienta diferente estación total, nivel, regla de ancho y peralte y asas de flechado que nos facilita una información específica sobre la posición absoluta o relativa de la vía. Esta tediosa faena del montaje, colocación y comprobación de la vía se facilita mucho gracias al carro de vías ya que obtenemos toda la información necesaria de una sola pasada, garantizando la precisión de forma absoluta, los datos obtenidos están georreferenciados.

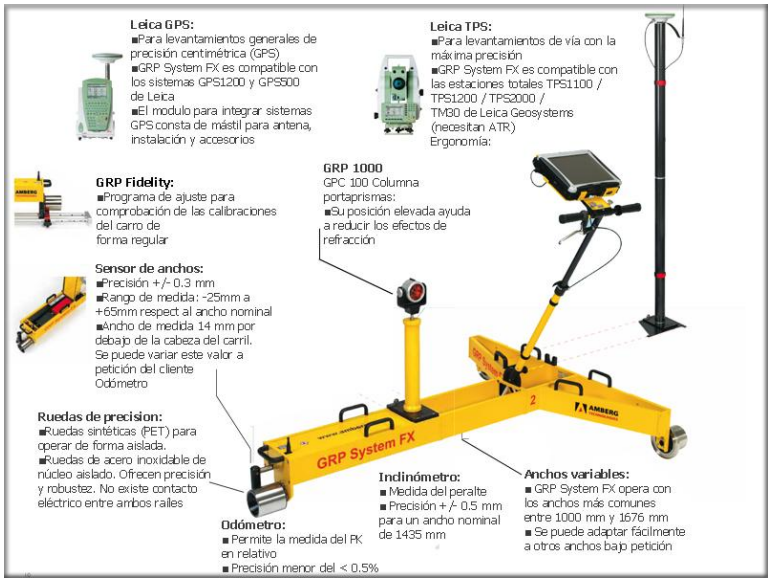


Figura 7.1: características del carro de vía Amberg GPS System FX, Fuente: http://www.grupoacre.com

El sistema permite la medición de la vía de una manera precisa en el marco de secuencias de medición automatizadas, proporciona coordenadas de vía 3D en tiempo real, permite realizar mediciones de ancho de vía y peraltes y muestra directamente la divergencia de la vía actual respecto a la posición teórica. Con el carro de vías, además de poder conocer en todo momento todos los parámetros que requieren ser controladas, podemos almacenar la información en formato digital con tan solo una pasada.

De este modo, en general, podemos decir que un carro de vías consta de los siguientes componentes:

- Carro de vagón de auscultación de vía generalmente en forma de T, elevado, plegable o desmontable y adaptable a los diferentes anchos de vía 1000 mm, 1435 mm y 1668 mm.
- Placa de control, alojada en el interior del carro, que gestiona los datos recibidos de los diferentes sensores instalados en el carro y los envía al ordenador central.
- Inclinómetro para medir el peralte
- Palpador de vía para la medición del ancho
- Odómetro para medir la distancia recorrida
- Columna de soporte para las prismas
- Ordenador central, que puede colocarse en el mismo carro, apto para ir a campo reforzado, estanco y con pantalla táctil.
- Software específico, desarrollado especialmente para cada modelo de carro por la casa constructora que sirve para controlar el instrumento y que realiza los cálculos necesarios pasa poder visualizar de forma rápida y sencilla los datos en tiempo real.

- Estación total robotizada de alta gama para la obtención de las máximas precisiones
- Receptor GPS para levantamientos generales de precisión centimétrica cuando la precisiones requeridas no son tan altas y necesitamos eficacia y rapidez.
- Laser Escáner para obtener no solo la geometría de la vía, sino también su entorno.

Figura 7.3: carro de vía Amberg GRP System FX, Fuente: Manual Amberg Rail-Amberg Technologies AG

Carro de vías con sistemas de medición relativo: este sistema de medición ferroviario consiste en adaptar al carro de vías de posicionamiento global con el que obtenemos datos absolutos de la situación de la vía unos determinados elementos con los cuales obtener un sistema de medición relativo en tiempo real.

El sistema se compone de tres carros, uno principal dotado de sensores de precisión que miden el ancho y el peralte, además de incorporar toda la electrónica y el ordenador para gestionar los datos, y dos carros satélites más básicos uno adelante y uno detrás del principal que sirven para desplazar y situar la cuerda dentro de la vía, el punto kilométrico P.K donde empezar la medición posición absoluta, se obtiene mediante puntos de control de posición conocida sobre la vía, posteriormente, el avance sobre la vía se calcula midiendo las distancias recorridas por el carro con un odómetro incorporado. La flecha se obtiene utilizando la cuerda física que une los tres carros y midiendo los desplazamientos, tanto en horizontal como vertical, por medio de los sensores instalados, los tres carros se desplazan juntos por la superficie de rodadura de la vía, manteniendo el contacto en todo momento con las caras activas de los carriles.

Imagen 7.4: carro de vías con sistema de medición relativo, Fuente: http://www.geoconcept.es

Una vez obtenidos los datos geométricos, los resultados pueden presentarse también mediante gráficas, que permiten evaluar rápidamente la geometría de la vía, ayudando a detectar y situar las posibles anomalías existentes en ella. Además gracias al software instalado, podemos realizar informes de calidad de la geometría de la vía con todos los parámetros que la definen.

Este sistema, al igual que los carros de vía de posicionamiento absoluto, dispone de los elementos intercambiados necesarios para poder utilizarlo en los diferentes anchos de vía: 1000 mm, 1435 mm y 1668 mm.

REGLA DIGITAL CON SISTEMA DE MEDICION ABSOLUTO

Este instrumento topográfico nos facilita la misma información que le carro de vías con sistema de medición absoluto coordenadas absolutas 3D de la vía, ancho y peralte, pero sus características son muy diferentes, esto lo hace más o menos recomendable respecto al carro de vías dependiendo de la situación o del tipo de vía a montar.

Consiste, básicamente en una regla de ancho y peralte digital que se ha integrado totalmente con la topografía, se utiliza junto con una estación total robotizada, convirtiéndose en su complemento ideal en el ámbito ferroviario.

Imagen 7.5: Regla Digital Carttop Absolute 1435 con sistema de medición absoluto, Fuente: http://www.carttop.com

Sus principales características son:

- Es un instrumento ligero, fácilmente transportable por una persona
- Posibilidad de adaptación a los diferentes anchos de vía

- Puede operar con dos estaciones, para un mayor aumento de producción
- Totalmente integrada con la estación total, esto supone menos hardware asociado cables, baterías, etc. y poder controlarla de la estación total, lo que implica una puesta en marcha rápida.
- Desde el software, al igual que con el carro de vías, podemos trabajar en dos modos diferentes: para auscultación de vía obteniendo coordenadas, anchos y peraltes o para construcción obteniendo los ripados y levantes necesarios para colocar la vía en su sitio.

Como ventajas sobre el carro de vías, destacar la ligereza y el precio mucho más competitivo, como principal inconveniente, hay que ir colocándola a mano punto a punto.

De este modo, debido a sus características, sus principales aplicaciones son:

- Auscultación de vía de distintos anchos
- Montaje de vía en placa
- Sondeos de vía previos al hormigonado y sobre balasto
- Montaje y levantamiento de vía en zonas especiales: Desvíos, Traviesas, Playas de vías, zonas de maniobras, zonas de enlace de tramos.

7.1.2 OTROS INSTRUMENTOS NECESARIOS EN EL MONTAJE DE VIA

Además de los instrumentos topográficos necesarios para el trabajo de montaje de vía, descritos con detalle en el apartado anterior, existen otros que no son exclusivos de la topografía, pero que igualmente se hacen imprescindibles para el topógrafo en determinados trabajos. Estos instrumentos son: la regla de ancho y peralte y las asas de flechar.

REGLA DE ANCHO Y PERALTE

Este instrumento está destinado exclusivamente a las mediciones de dos parámetros fundamentales de la geometría de la vía, el ancho y el peralte. Está disponible en todos los anchos, métrico, internacional e ibérico 1000 mm, 1435 mm, 1668 mm, respectivamente.

Existen dos tipos, analógicos y digitales pero la normativa de ADIF para instrumentos de medición en vía obliga a que, desde el año 2010, estas herramientas sean digitales y con unas precisiones mayores que las de las clásicas reglas analógicas, por ello son las más utilizadas actualmente.

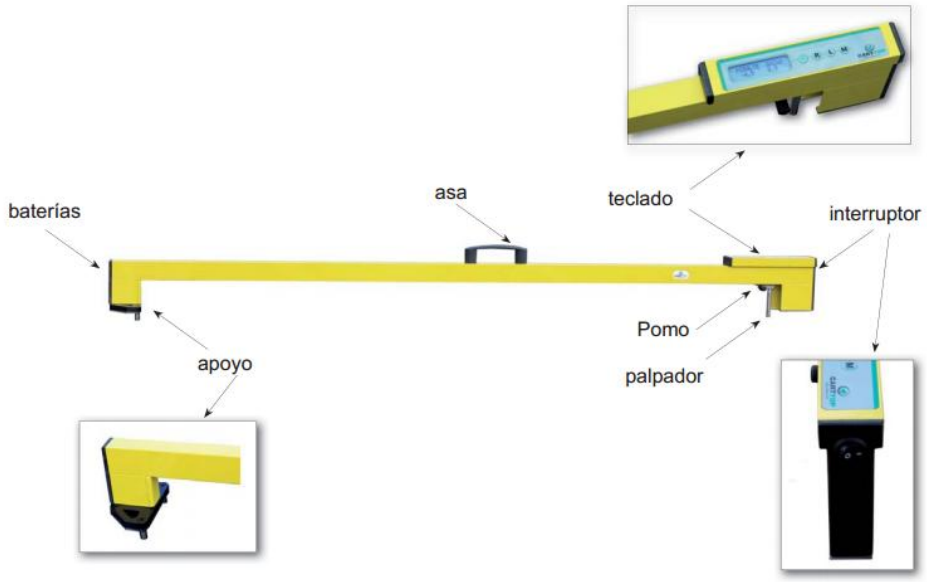


Figura 7.4: partes principales de una regla de vía digital, Fuente: http://www.instop.es

Lo primero es situar correctamente la regla en la vía. Para ello es necesario asegurarse de poner la regla, perfectamente perpendicular a los carriles de la vía, los dos pernos situados en la parte izquierda tienen que presionar en la cara activa del carril izquierdo, después hay que retraer el palpador y apoyar la regla sobre la vía, y por último soltar el palpador.

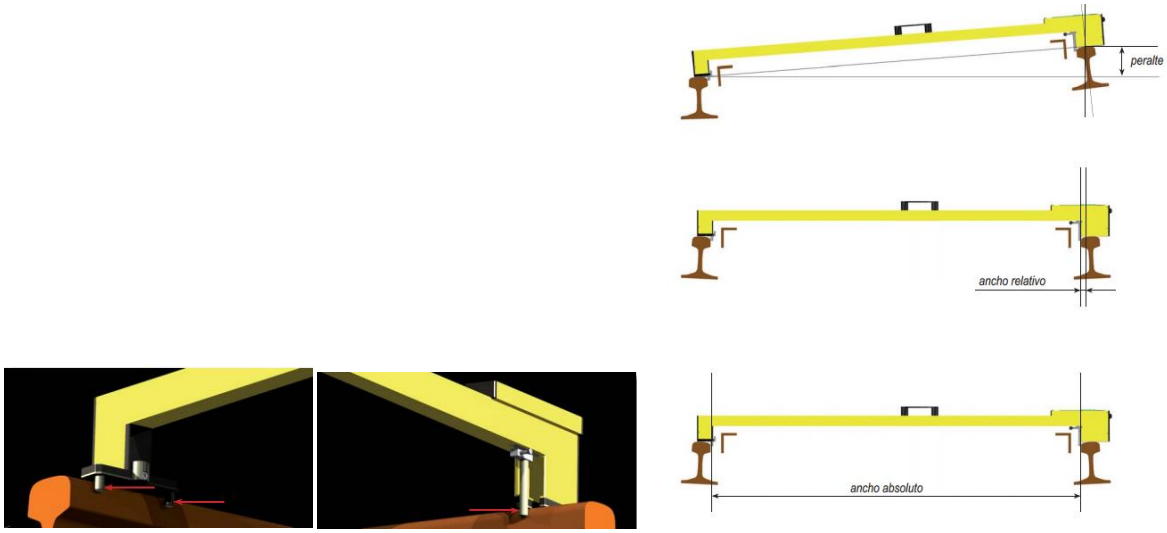


Figura 7.5: Regla Digital colocación-izquierda, medición-derecha, Fuente: http://www.instop.es

Antes de realizar cualquier medición con la regla de vía, es indispensable hacer la calibración de peralte. Para ello, midiendo el mismo perfil de vía dos veces primero con la regla en posición normal y después girándola 180°, deberemos obtener el mismo valor de peralte pero con signo cambiado.

ASA DE FLECHAR

Las asas de flechar son útil de medición de la geometría de vía con el que podemos conocer el valor de la flecha en un punto determinado de la vía, un juego de asas de flechar se compone de: dos asas, una regla milimetrada generalmente de aluminio y una bobina de hilo de nylon de $\mp$ 1 mm de grosor.

El procedimiento de medición es muy sencillo.

1) Metramos la vía siguiendo las indicaciones del proyecto cada 5 m, 10 m, etc.
2) Situamos las asas de flechar en los puntos extremos de la cuerda que queremos medir.
3) Unimos las asas mediante el hilo de nylon, siempre por la cara activa del carril.
4) Situamos la regla milimetrada en el punto medio, sobre la cara activa del carril y leemos directamente el valor de la flecha buscado.

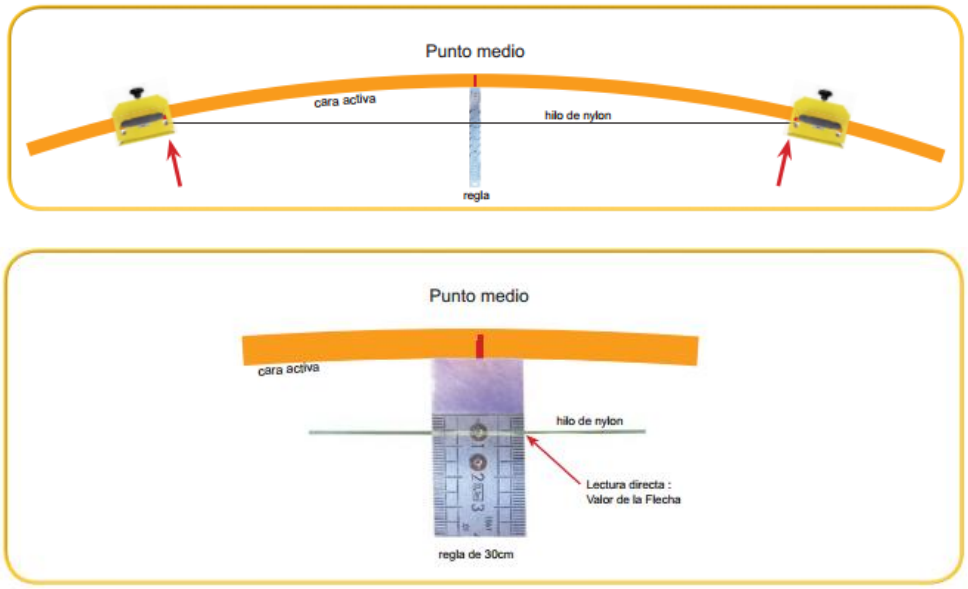


Figura 7.6: Proceso de medición con las asas de flechar, Fuente: http://www.carttop.com

7.1.3 ACCESORIOS

ELEMENTOS DE SUSTENTACION, UNION Y CENTRADO

La mayor parte de los instrumentos topográficos – estación total, nivel y receptor GPS -, para su correcto uso e incluso para mayor comodidad del observador, deben situarse a la altura de los ojos, para ello, se colocan sobre un soporte o apoyo que los eleva sobre el suelo la altura conveniente. Los soportes pueden ser de varios tipos:

Figura 7.7: elementos de sustentación, trípodes y consolas, Fuente: http://www.geoconcept.es

- Trípodes: son instrumentos de tres patas de madera o metálicas aluminio, telescópicas o no, terminadas en regatones de hierro aguzados y provistos de unos estribos o pedales para facilitar su fijación en el terreno apoyando el pie sobre ellos, se denominan simples cuando cada pata es de una sola pieza y compuestos si cada pata está formada por dos piezas, unidas entre si por travesaños que permiten alargarlas o acortarlas actualmente, la gran mayoría de los utilizados son compuestos, un buen trípode debe ser solido, manejable y apto para facilitar la puesta en estación.

- Consola mural: existen lugares en los que es difícil estacionar el instrumento sobre un trípode, además de no poder garantizar la durabilidad de una base de replanteo colocada en el suelo. Por ejemplo en los túneles. Para estos casos específicos existen en el mercado consolas murales fijas y transportables, las fijas se adhieren fuertemente a la superficie de las paredes o los hastiales del túnel mediante un conjunto de tornillos, de manera que una vez colocada ya no debe quitarse, por el contrario, las transportables pueden desmontarse indefinidamente sin perder el punto de estación debido a su sistema de anclaje, sobre ellas fijas o transportables, al igual que en los trípodes, se puede enroscar cualquier base nivelante para estacionar un instrumento de topografía o un prisma.

Los trípodes llevan como elemento para sujetar el instrumento una guía metalica sujeta a la parte inferior de la meseta por uno de sus extremos, alrededor del cual puede girar, de forma que pase a través del amplio orificio circular en la meseta, en esta guía se desilza un tornillo de unión que puede ocupar cualquier posición en la abertura circular.

En casi todos los casos, los instrumentos llevan como basamento plataformas nivelantes – bases nivelantes -, con forma triangular y atravesadas en cada uno de los vértices por un tornillo vertical, llamado tornillo nivelante que constituyen como tres patas del aparato que apoyan sobre la meseta del trípode o consola y que pueden ser alargadas o acortadas para inclinar la plataforma en el sentido y con la magnitud requirida hasta dejarlas niveladas, gracias a un adaptador podemos colocar sobre ellas también un prisma.

Figura 7.8: Bases nivelantes y soportes portaprismas, Fuente: http://www.geoconcept.es y elaboración propia

Para centrar las estaciones totales sobre el punto de estación se utilizan los siguientes sistemas de centrado:

- Centrado con plomada física: el más antiguo y sencillo, casi no se utiliza hoy en día.

- Centrado con plomada óptica: la plomada óptica es un prisma de reflexión total, situado de tal forma que la visual que en ella se dirige, sigue después de reflejarse, la dirección del eje del aparato.
- Centrado con plomada láser: sistema que incorporan la mayoría de los instrumentos actuales, incluidos los de alta gama.
- Centrado forzosos: diseñados para obtener un buen centrado del instrumento sobre un pilar de observación, existen diferentes tipos: los centrados fijos que se construyen al mismo tiempo que el pilar o posteriormente, con perforación y relleno de un adhesivo de dos componentes y los centrados con tapa protectora y anclaje fijo al pilar, que son la versión más completa y segura al disponer también de una roca extraíble que evita que el centrado sea dañado.

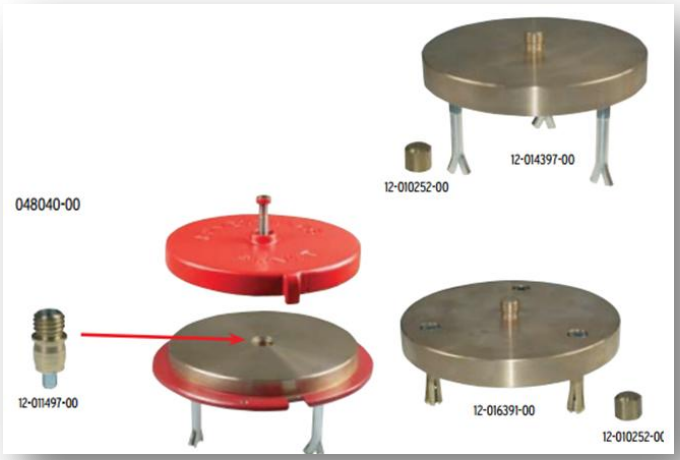


Figura 7.9: Tipos de centrados forzosos, Fuente: http://www.geoconcept.es y elaboración propia

REFLECTORES PASIVOS: PRISMAS, MINIPRISMAS Y DIANAS.

Un reflector es un cuerpo que refleja la luz, y se caracteriza por su forma y su factor de reflexión. En topografía, los reflectores pasivos son elementos inactivos que se utilizan en la medida electrónica de distancias para devolver la señal emitida por los instrumentos electrónicos – estaciones totales -, estos reflectores devuelven la señal por reflexión pura o por reflexión refracción, sin hacer ningún tipo de ampliación de la misma.

Figura 7.10: Tipos de prismas y miniprismas, Fuente: http://www.geoconcept.es y elaboración propia

La extrema variedad de prismas y miniprismas que actualmente se venden en el mercado, ofrecen la posibilidad de una adaptación idónea a cualquier necesidad de trabajo. Por otra parte, también existen numerosos tipos de dianas reflectantes que podemos utilizar como receptor pasivo, disponibles en varios tamaños y dibujos, otros accesorios los soportes basculantes de plástico para dianas y miniprismas. Robustos y duraderos, están preparados para soportar las peores condiciones atmosféricas y gracias a su diseño, incorporan movimiento basculante y movimiento rotatorio sobre su eje de simetría, siendo la mejor opción en determinados trabajos, una buena elección del material accesorio asegura una mejor rentabilidad del equipo.

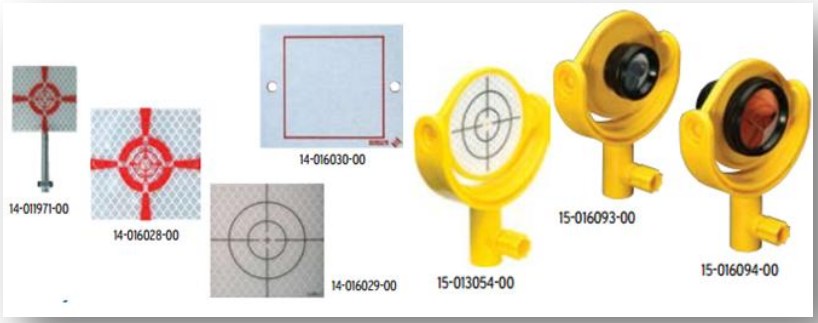


Figura 7.11: Dianas reflectantes y soportes basculantes para dianas y miniprismas, Fuente: http://www.geoconcept.es y elaboración propia

MIRAS DE NIVELACION

Cualquier error cometido de lectura por el operador de un instrumento de nivelación – nivel topográfico-, se transmite, directamente y en toda su magnitud, al desnivel que trata de apreciar. Por otra parte un desnivel, un desnivel o una cota es un número, un valor que puede escribirse con cualquier aproximación, y en muchas ocasiones es imprescindible lograr muy altas exactitudes, como en el caso de determinados trabajos en obras de montaje de vía.

Por todo ello, errores de lectura y precisión necesaria en una determinada nivelación, la longitud de las niveladas no acostumbra a ser superior a 100 m, y por otra parte la mira debe reunir unas características muy estrictas de precisión.

De este modo, una mira debe garantizar homogeneidad en su graduación e inalterabilidad a las variaciones de temperatura. Normalmente se fabrican en metal, utilizándose el invar en miras de alta precisión. Acostumbran a construirse con una capa de pintura antirreflectante para facilitar la lectura. Además la mayoría disponen de un nivel esférico para garantizar se verticalidad, evitando asi los errores de lectura que pueden cometerse sobre una mira inclinada. Generalmente están graduadas en centímetros y milímetros aunque como ya habíamos comentado en el apartado de niveles topográficos, las hay con códigos de barras para su utilización con niveles digitales.

Para lograr mayor precisión en su uso, las miras no suelen situarse directamente sobre el terreno, sino sobre una base de nivelación especial.

Actualmente existen en el mercado multitud de tipos de miras de nivelación como podemos observar en la siguiente figura.

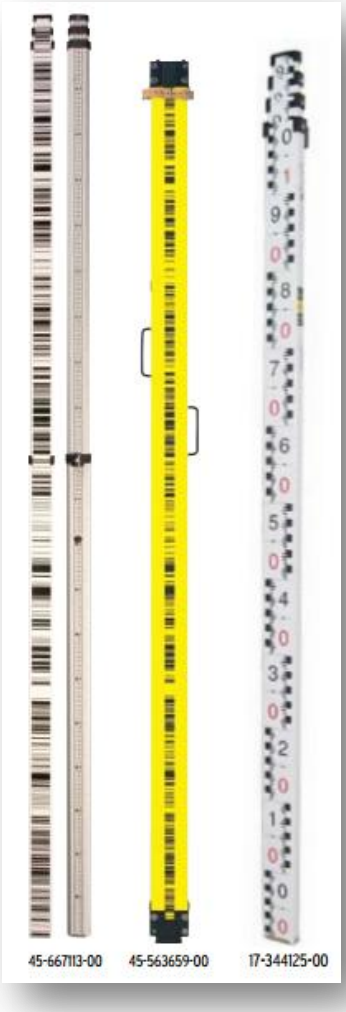


Figura 7.12: Tipos de mira de nivelación, Fuente: http://www.grupoacre.com y elaboración propia

ZAPATAS PORTAPRISMA PARA VIA FERREA

Las zapatas portaprisma son útiles de topografía para la medición de la cara activa de la vía, se sujetan fácilmente a la vía con imanes y se sitúan en posición vertical mediante un pequeño nivel esférico incorporado.

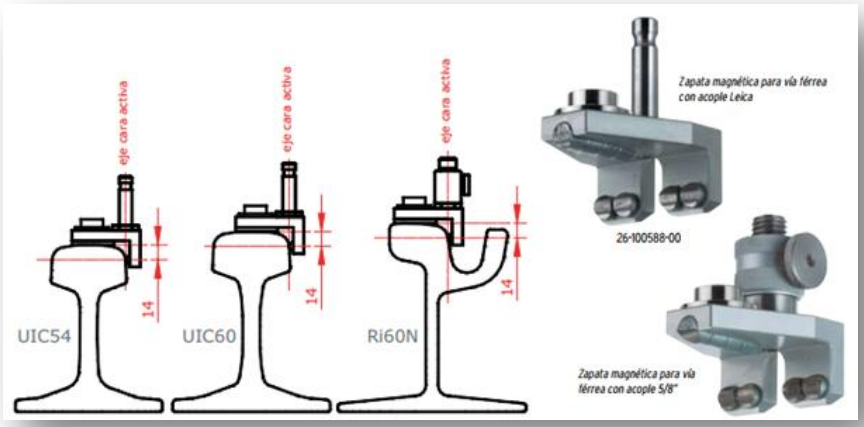


Figura 7.13: Zapatas portaprisma, Fuente: http://www.geoconcept.es

- Accesorios: gracias a la existencia de diferentes adaptadores, es posible utilizar la zapata con una variada tipología de prismas, sólo hay que tener en cuenta que la altura del prisma se verá modificada.
  Por otro lado, para salvar posibles obstáculos que impidan la visión entre la estación total y el prisma en el replanteo de la vía – por ejemplo, los artículos de sujeción para el montaje de vía en placa-, se aconseja el uso de alargadores que se sitúan entre la zapata y el portaprisma. En estos casos, se nivela mejor la zapata si el portaprisma incorpora un nivel. Estos alargadores pueden ser de la longitud necesaria para salvar cualquier obstáculo aunque se aconseja, para una mayor precisión, que el prisma este lo más cercano a la vía posible, y el nivel esférico lo más alto posible sobre la vía.
  Para algunos trabajos específicos, como por ejemplo los levantamientos en mantenimiento de vía, resulta más cómodo para el operador incorporar los alargadores de mayor longitud 80 cm por ejemplo, conviene tener en cuenta que a mayor longitud del alargador más complejo es nivelar la zapata desde un nivel esférico situado en el mango, los movimientos a realizar para calar la burbuja son más suaves en la parte superior del alargador que en la parte inferior con el nivel de la zapata o del portaprisma.
  Así pues, las diferentes zapatas, prismas, alargadores y niveles de burbuja, pueden ser utilizados en múltiples combinaciones según las necesidades del trabajo.
- Consideraciones al medir el ancho de vía: la zapata se debe colocar siempre en las caras activas del carril para poder medir el ancho de vía correctamente, de esta forma la vertical del prisma pasa por la cara activa. Calando la burbuja del nivel que lleva incorporado se materializa la superficie de rodadura de la vía, la cual tangente a ambos carriles en la parte superior de éstos, si el carril no está inclinado.

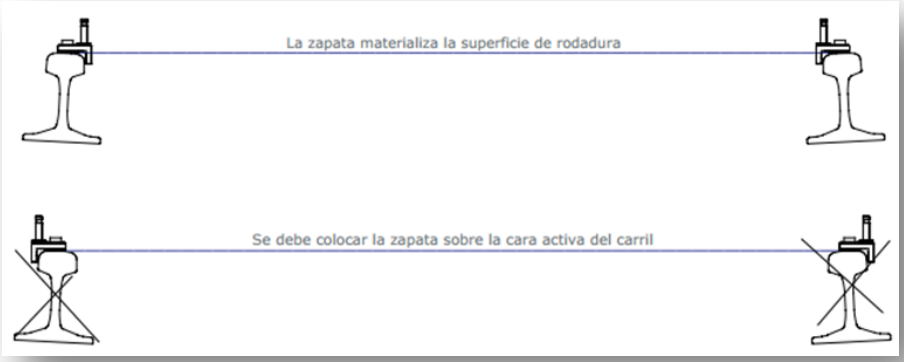


Figura 7.14: Medición del ancho de vía con zapatas. Fuente: http://www.geoconcept.es

No es aconsejable su utilización en vías peraltadas, porque la superficie de rodadura no coincide con la horizontal marcada por el nivel esférico, ya que el punto de contacto habitual entre la zapata y el carril ya no se encuentra a 14 mm por debajo de la superficie de rodadura. En estos casos, tanto la precisión en planta y en alzado como el peralte ya no se miden en el punto de contacto correcto.

Por ello, la mejor herramienta para vías peraltadas a excepción de utilizar el carro de vías o la regla de vía de posicionamiento absoluto, es utilizar una regla de vía provista de soportes para prismas que se utiliza con estación, profundizaremos en este accesorio en próximo apartado de este capítulo, pero antes vamos a tratar la utilización de las zapatas en la operación de flechado de vías férreas.

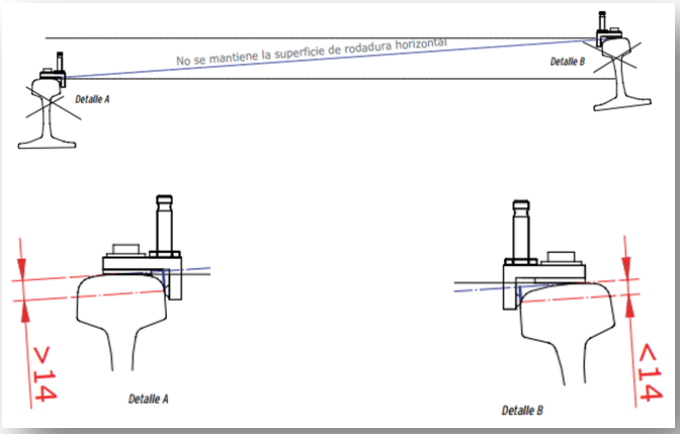


Figura 7.15: La Zapata utilizada en vías peraltadas, no mantiene la superficie de rodadura horizontal. Fuente: http://www.geoconcept.es

- Zapatas para flechar vías férreas: son un utensilio de medición física de la flecha en vías férreas, obteniendo el valor de la flecha, podemos calcular el radio de curvatura del carril en un punto determinado. Con las zapatas para flechar es posible realizar la medición en vías con carril embebido o enchaquetado donde las asas de flechado tradicional no pueden aprisionar el carril, ya que mediante los imanes incorporados la zapata es capaz de sujetarse a cualquier tipo de carrl.

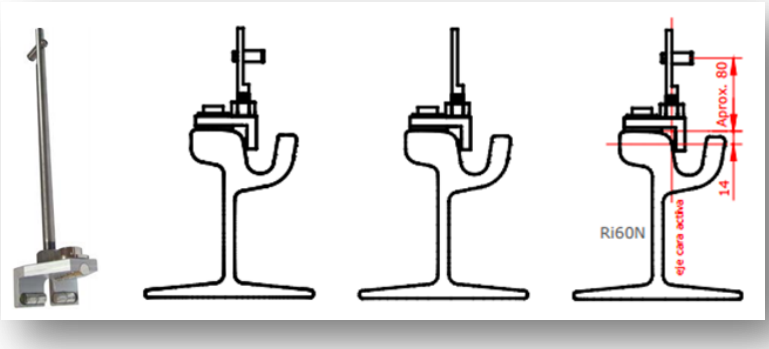


Figura 7.16: Zapatas para flechar vías férreas. Fuente: http://www.geoconcept.es

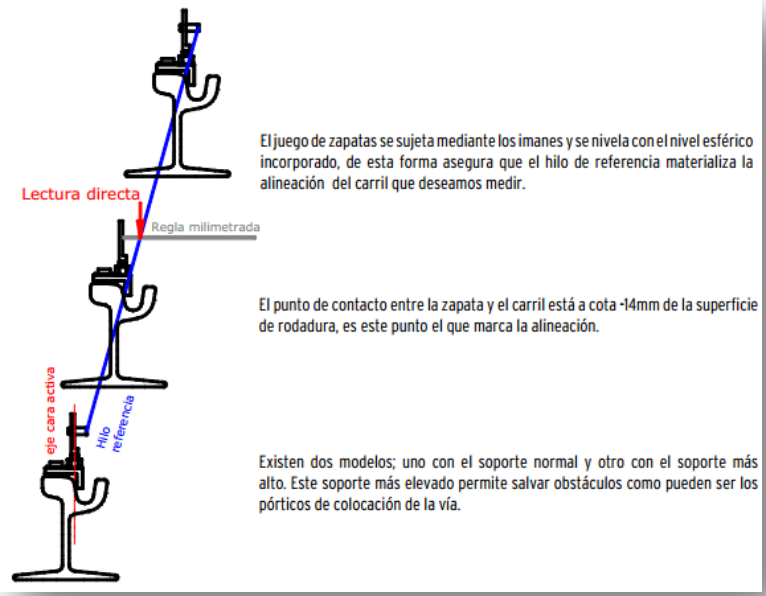


Figura 7.17: Proceso de medición con las zapatas para flechar vías férreas. Fuente: http://www.geoconcept.es

REGLA DE VIA PARA ESTACION TOTAL

Es un accesorio para utilizar con una estación total, sirven tanto para el levantamiento como el replanteo de la vía, con ella podemos medir el ancho, el peralte y la posición del eje de vía en planta y alzado.

Como ya habíamos comentado en el apartado anterior, con vías peraltadas se aconseja su utilización en lugar de las zapatas. Estas reglas de vía incorporan tres soportes para prisma que permiten situarlos sobre las caras activas y en el eje de vía, con ellas aseguramos que la medición se realiza en la superficie tangente a los carriles.

Figura 7.18: Regla de vía para estación total. Fuente: http://www.geoconcept.es

Uno de los lados de la regla es fijo, y lleva un listón que es aconsejable apoyar sobre el carril bajo, en el otro lado, mediante un tetón cilíndrico se realiza el contacto y ajuste con la vía de forma similar a como lo haría una regla de vía convencional, en su parte central, la regla posee un soporte con un pequeño nivel que gira sobre un tornillo centrado en la línea de la tangente a las cabezas del carril, lo cual no permite materializar el eje de la vía real. Con la regla se asegura que la medición tomada en los tres soportes son puntos alineados, ya que se mide en una alineación perpendicular a la vía.

- Accesorios: al igual que con las zapatas para vía, cabe la posibilidad de utilizar diferentes acoples en los soportes para poder utilizar varios tipos de prismas. Se dispone también de alargadores de varias longitudes para elevar el prisma por encima de cualquier obstáculo que dificulte la visión del mismo. Hay que tener en cuenta que al introducir elementos entre la regla y el prisma, se debe modificar la altura del prisma para un correcto cálculo de las cotas.
  Si se desea medir también al mismo tiempo, el ancho de vía de forma analógica mediante el palpador incorporado en la regla, se puede instalar un dispositivo que permite su lectura simultáneamente.
  También se puede comprobar el peralte de la vía si le incorporamos un medidor de peralte, éste incorpora un nivel tubular, un tornillo de calibración y un indicador analógico con el valor medido. Al igual que con las reglas de vía analógicos y digitales, se puede calibrar fácilmente comprobando que la medida es la misma en las dos direcciones.

Figura 7.19: Medidor de peralte que se puede incorporar a la regla de vía para estación total. Fuente: http://www.geoconcept.es

- Consideraciones al medir el peralte: tanto las zapatas de vía como la regla para estación total, miden el ancho sobre las caras activas del carril medido 14 mm por debajo de la cota de la superficie de rodadura.
  Por otra parte, el peralte se define como la nivelación transversal expresada en milímetros medida entre la superficie de rodadura y el plano horizontal de referencia. Es decir es la diferencia de cota entre las cabezas de carril. Por lo tanto hay que tener en cuenta que el peralte se define para la hipotenusa del triangulo formado por la horizontal de referencia y el peralte. Por ejemplo para el ancho nominal de 1.435 mm la hipotenusa mide 1740 mm.
  Así pues, para conocer el valor del peralte real hay que calcularlo mediante una proposición lineal, a partir de la diferencia de altura medida y el ancho de vía medido, calcular el nuevo peralte en la hipotenusa, obteniendo el valor del peralte en las cabezas del carril y no sobre las caras activas, es recomendable comprobar el valor con un medidor de peralte o con una regla de vía tradicional hasta asegurarse que el proceso se realizar correctamente.

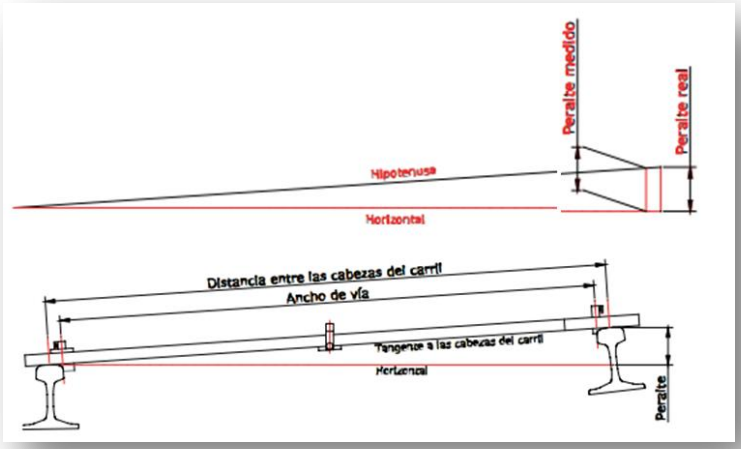


Figura 7.20: Medición del peralte con la regla de vía para estación total. Fuente: http://www.geoconcept.es

CALIBRACION DEL INSTRUMENTAL

Hemos de confiar en la calibración realizada por los servicios técnicos de las diferentes marcas a nuestro instrumental, pero también se han de tener en cuenta algunas cosas respecto a la calibración:

- La calibración no es garantía absoluta del correcto funcionamiento del instrumental con el paso de los días, en realidad la calibración no tiene garantía más allá del momento n que ha sido realizada. El motivo es lógico: una vez sacado del servicio técnico, el instrumental puede verse sometido a movimientos bruscos, golpes, etc.
- Los servicios técnicos realizan las calibraciones en un entorno controlado recintos cerrados donde hay grandes variaciones de temperatura ni humedad.
- Las comprobaciones del distanciómetro se realizan a cortas distancias es decir, no terminan de reproducirse las condiciones reales de trabajo del instrumental en campo.

Por estos motivos, lógicamente en nuestra metodología de trabajo se debe incluir la comprobación del instrumental topográfico periódicamente en la misma obra.

Calibración y revisión en el servicio técnico

- Personal cualificado
- Ajustes internos
- Material técnico especifico
- Comprobación en recinto cerrado
- Limpieza del instrumental
- Calibración anual con la expedición del correspondiente certificado

El instrumental es calibrado en los servicios técnicos en colimadores perfectamente ajustados, pero ¿quién calibra estos colimadores? ¿Existe certificado de calibración para estos aparatos tan precisos? La respuesta a ambos preguntas es sí, y de todo esto se encarga el $\ll Centro\ Español\ de\ Metrologia - CEM - \gg$, calibrando bien el propio colimador o bien un nivel y un teodolito patrón, que sirven a su vez para ajustar dicho colimador.

Comprobación y ajustes propios

- Comprobación en el propio centro de trabajo en condiciones reales.
- Situaciones atmosféricas
- Comprobaciones y ajustes básicos, buscando el correcto funcionamiento del instrumental topográfico, de obligado conocimiento por cualquier buen profesional que quiera aportar precison y rigor a su trabajo.

7.2 TRABAJOS TOPOGRAFICOS PREVIOS

Antes de comenzar los labores de montaje de vías de una nueva superestructura ya sea una línea convencional, de alta velocidad de metro o tranvía, o una renovación de vía en funcionamiento teniendo en cualquiera de los casos la infraestructura ya ejecutada, es necesario realizar unos trabajos topográficos previos. El primero: el diseño, materialización y cálculo de una red de bases de replanteo y de bases de nivelación con características diferentes dependiendo del tipo de vía a ejecutar.

Hace algunas décadas, antes de la llegada de la alta velocidad a nuestro país, el replanteo inicial de una línea de nueva construcción se realizaba después de montada la vía, mediante una rectificación de las curvas por el procedimiento de las flechas y un replanteo con piquetes de carril, con este sistema de posicionamiento se obtenía muy buena calidad de la vía, pero presenta dos inconvenientes:

1) La permanencia del piqueteado en buen estado es muy breve de hecho dura menos que la obra, siendo necesario hacer una verificación del mismo antes de la segunda nivelación y cada vez que se hace un tratamiento de conservación de la vía.

2) La ubicación de la vía nueva, recién montada es muy imprecisa y su nivelación definitiva se obtiene después de varios ripados.

Por estas razones, se necesitaba un procedimiento de replanteo que resolviera ambos inconvenientes y mejor aún, si resultaba más preciso.

Estos sistemas tradicionales de medida y corrección, basados en el método de las flechas que se vinieron utilizando con éxito en las líneas convencionales, no son operativos cuando la velocidad es superior a los 200 km/h, ya que las cuerdas a emplear plantean grandes problemas constructivos, por ello fue necesario establecer un sistema de replanteo que permitiera garantizar la posición absoluta de la vía en una íntima relación con la electrificación y garantizarse a la vez poder reproducir en todo momento su posición.

Replantear una vía con el sistema actual de posicionamiento global y relativo presenta una serie de ventajas, entre las que se pueden citar:

- Tener la vía siempre en la misma posición que se montó evitando los desplazamientos laterales y por tanto las tensiones longitudinales que se producen en los carriles por esta causa.
- Permite mantener mejor la posición relativa de la vía y la catenaria
- La utilización de cuerdas de mayor longitud permite reducir los errores de medida y a la vez las ondulaciones de la vía alrededor de su eje teórico, disminuyendo los excesos de aceleración lateral.
- En los casos de paso obligado con gálibo estricto, facilita el mantenimiento del mismo.

Un replanteo de la vía con estas características permitirá, en una conservación futura, poder reproducir en cualquier momento los datos iniciales de trazado con las ventajas de todo tipo que ello conlleva.

El procedimiento actual de posicionamiento global y relativo de la vía será tratado con detenimiento en los próximos capítulos distinguiendo entre tipos de vía en placa o sobre balasto, pero primero en el presente capítulo abordaremos la necesidad de unos trabajos topográficos previos que nos aseguren el replanteo inicial antes del montaje de vía y posterior posicionamiento de la vía de forma precisa y duradera.

Estos trabajos topográficos previos a tratar son:

- Establecimiento de una red de bases de replanteo
- Establecimiento de una red de bases de nivelación
- Comprobación y ajuste de la traza en planta
- Comprobación y ajuste de la rasante

Imagen 7.6: inicio de las obras de montaje de vía sobre la plataforma finalizada. Fuente: http://www.google.com

7.2.1 RED DE BASES DE REPLANTEO

Ya hemos dicho que antes de comenzar las labores propias del montaje de vía es necesaria la materialización, observación y cálculo de una red de bases de replanteo. La precisión de la red dependerá de la naturaleza del proyecto a ejecutar, si bien la gran mayoría de obras ferroviarias requieren de una alta precisión en el posicionamiento de la vía.

En general, la operación de replanteo debe cumplir una serie de condiciones:

- La red de bases debe cumplir con la precisión requerida en el proyecto
- La instrumentación utilizada, así como la metodología de trabajo durante el replanteo, deben asegurar la precisión requerida en el proyecto
- Los accesorios auxiliares para la materialización del punto replanteado deben ser compatibles con la metodología e instrumentación utilizada, asegurando de igual modo la precisión buscada, así como su perdurabilidad en el tiempo.

Aún así, la calidad final del trabajo puede verse influida por:

- La experiencia y comunicación entre el operario del instrumental y el auxiliar
- Las condiciones del entorno de trabajo
- Las condiciones meteorológicas

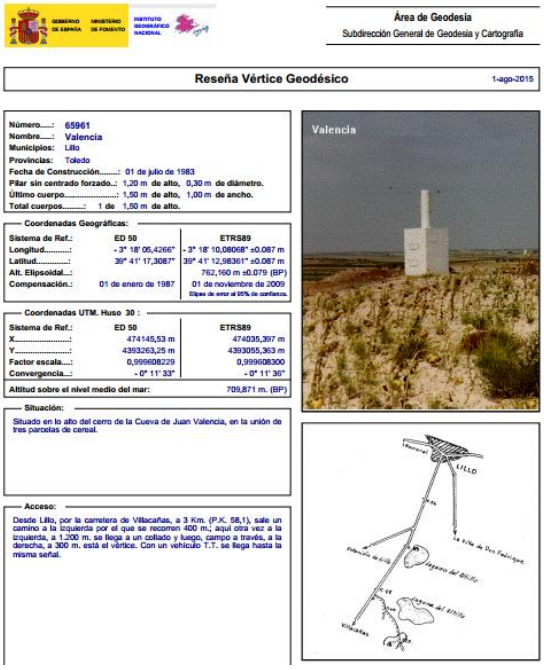
La red de bases de replanteo garantiza la continuidad y el perfecto encaje de las diferentes partes de la obra, la nomenclatura de las bases debe ser única, aconsejando la centralización de este procedimiento para evitar confusiones.

El diseño de la red de replanteo está condicionado, además de por las precisiones requeridas por el proyecto, por la geometría de la obra. En nuestro caso, el montaje de una vía ferroviaria es una obra lineal de longitud considerable, que obliga al cálculo de largas poligonales para dotar de coordenadas a la red de bases, con las condicionantes que esta situación conlleva, además la normativa ferroviaria obliga a buscar el enlace de esta red local con las redes geodésicas establecidas por el IGN en la construcción de nuevas líneas y ramales importantes adquiriendo esta labor tanto en el instrumental que se va a emplear como en las técnicas y metodologías una dimensión geodésica.

Imagen 7.7: vértice geodésico del IGN – INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL –. Fuente: http://www.taringa.net

De este modo, la poligonal a realizar debe iniciarse y finalizarse en bases de coordenadas conocidas, calculadas previamente por triangulación para unirlas a los vértices geodésicas del IGN. En la imagen 7.8 podemos observar el Programa de Aplicaciones Geodésicas PAG, desarrollado por el IGN, y en la imagen 7.9 modelo de información sobre vértices geodésicas y útiles herramientas de cálculo.

Imagen 7.8: PAG Programa de Aplicaciones Geodesicas. Fuente: http://www.ign.es



Área de Geodesia
Subdirección General de Geodesia y Cartografía

Reseña Vértice Geodésico 1-ago-2015

Número.....: 65961
Nombre.....: Valencia
Municipios: Lillo
Provincias: Toledo
Fecha de Construcción.....: 01 de julio de 1983
Pilar sin centrado forzado..: 1,20 m de alto, 0,30 m de diámetro.
Último cuerpo.....: 1,50 m de alto, 1,00 m de ancho.
Total cuerpos.....: 1 de 1,50 m de alto.

Coordenadas Geográficas:

Sistema de Ref.:	ED 50	ETRS89
Longitud.....:	- 3° 18' 05,4266"	- 3° 18' 10,08068" ±0.087 m
Latitud.....:	39° 41' 17,3087"	39° 41' 12,98361" ±0.087 m
Alt. Elipsoidal...:		762,160 m ±0.079 (BP)
Compensación.:	01 de enero de 1987	01 de noviembre de 2009
		Elipse de error al 95% de confianza.

Coordenadas UTM. Huso 30 :

Sistema de Ref.:	ED 50	ETRS89
X.....:	474145,53 m	474035,397 m
Y.....:	4393263,25 m	4393055,363 m
Factor escala...:	0,999608229	0,999608300
Convergencia...:	- 0° 11' 33"	- 0° 11' 35"
Altitud sobre el nivel medio del mar:		709,871 m. (BP)

Situación:
Situado en lo alto del cerro de la Cueva de Juan Valencia, en la unión de tres parcelas de cereal.

Acceso:
Desde Lillo, por la carretera de Villacañas, a 3 Km. (P.K. 58,1), sale un camino a la izquierda por el que se recorren 400 m.; aquí otra vez a la izquierda, a 1.200 m. se llega a un collado y luego, campo a través, a la derecha, a 300 m. está el vértice. Con un vehículo T.T. se llega hasta la misma señal.

Imagen 7.9: información sobre un vértice geodésico. Fuente: http://www.ign.es

RED GEODESICA

Una red geodésica es un conjunto de puntos convenientemente materializados sobre el terreno, entre los que se han efectuado observaciones de tipo geodésico con el fin de primordial de obtener las coordenadas de dichos puntos, su precisión y fiabilidad en términos relativos y absolutos, respecto a un sistema de referencia establecido de antemano.

Una vez proyectada, observada, calculada y compensada una red geodésica constituye la materialización del sistema de referencia y como tal, sirve de apoyo a las labores topográficas y cartográficas.

A la hora de abordar el desarrollo completo de una red del tipo que sea por técnicas GPS o por clásica, la red completa debe contar con cuatro características básicas:

- Capacidad de eliminación o reducción de posibles errores groseros y sistemáticos
- Suficiente redundancia para la obtención de resultados fiables
- Un análisis adecuado y procesado de los datos

- Suficiente documentación para permitir la verificación de los datos

En líneas generales, tres son las fases en las que podemos dividir la realización de una red:

- Diseño
- Observación
- Procesado de los datos: cálculo y compensación

Sin duda alguna, cada una de las fases lleva consigo una metodología. En función de cómo sea aplicadas se obtendrán unos resultados u otros, ya bien de cada una de las fases como en el total del trabajo.

POLIGONAL

La normativa de ADIF establece unas mismas prescripciones para las poligonales en las vías de Nuevo establecimiento, en las ampliaciones de las actuales y en las variantes de dichas líneas. Se trata de definir bases de replanteo a lo largo de la línea férrea que sirvan para el posicionamiento de la vía. Al igual que en las redes geodésicas, podemos diferenciar varias fases: diseño, observación, cálculo y compensación.

Lo primero es el diseño y para ello hay que colocar las bases – la materialización sobre el terreno – la poligonal se formará fuera de la explanación de la vía, pero cerca de la misma y tal que desde la mayor parte de esta explanación puedan verse al menos dos de sus vértices, se procurará además, que quede dentro de la zona de explanación, la longitud de sus lados será de 600 m aproximadamente, en ocasiones menos – sobre todo en zonas curvas -, pero nunca excediendo los 800 m como máximo.

Ya hemos dicho que se iniciará y finalizará en puntos de coordenadas conocidas – calculadas previamente y enlazadas a las redes geodésicas del IGN-, pero también puede partir y llegar directamente a los puntos geodésicos previamente comprobados. Una poligonal se denomina encuadrada cuando las coordenadas de los puntos inicial y final son conocidas, tal y como es nuestro caso.

Para materializar las bases se utilizarán **hitos** construidos específicamente y formados con un tubo de fibrocemento u hormigón de unos 0,20 m de diámetro, relleno de mortero de cemento en el que se colocará una pieza de bronce de centrado forzoso. Dicho tubo irá empotrado en una base cuadrada de hormigón de un metro de lado y 0,40 m de profundidad, tal y como podemos ver en la imagen 7.10, aún cuando no se aproveche como referencia de nivelación, llevará un tornillo con cabeza de gota de sebo fijado en dicha base para facilitar, en su caso futuras comprobaciones de nivelación.

Imagen 7.10: Hito topográfico construido para obra del ADIF. Fuente: http://www.tusolspain.com

Uniendo mentalmente mediante una línea imaginaria los hitos construidos a lo largo de la traza y que se va a levantar, el contorno que resulta es una línea quebrada o poligonal, motivo por el que a estos puntos se les llama puntos poligonométricos, y a las rectas que los unen ejes.

El método itinerario o poligonal, consiste en estacionar el instrumento – estación total – en cada uno de los puntos poligonométricos, por lo que también se les denomina estaciones y se miden las longitudes de los adyacentes y el ángulo que forman en el sentido de las agujas del reloj.

Según la normativa Renfe, los lados y los ángulos de la poligonal se medirán cuatro veces con estación total y dos juegos de prismas, en la primera iteración se hará estación en todos los vértices de la poligonal con doble visual del distanciométro, adelante y atrás y doble medición de los ángulos directa y con vuelta de campana, la segunda iteración se hará de igual forma en otro día, para tener condiciones de trabajo y meteorológicas diferentes, pero permutando la ubicación de los prismas.

Todas estas medidas tomadas en campo en la fase de observación, nos servirán posteriormente para calcular y compensar la poligonal que proporcionará coordenadas a nuestras bases de replanteo.

Los errores máximos tolerados por Normativa – N.R.V. 7-1-0.2 – son:

- Ángulos: $d\alpha = \pm 1\ miligrado\ (\ 10\ segundos\ centisimales\ )$
- Coordenadas: $dx = dy = \pm\left(4 + \frac{s}{1000}\right) mm$
- Distancias: $ds = \sqrt{dx^2 + dy^2} \leq 5 + \frac{s}{500}\ mm$

En la que: $d\alpha$ es la desviación de los ángulos

dx es la desviación de la abscisa (mm)

dy es la desviación de la ordenada (mm)

s es la longitud (m)

ds es la desviación de la longitud (mm)

7.2.2 RED DE BASES DE NIVELACION

Al igual que con la red de bases de replanteo, es necesario el establecimiento de una red de bases de nivelación, la normativa establece una mismas prescripciones para las vías de nuevo establecimiento, en las ampliaciones de las actuales y en las variantes de dichas líneas. Se trata de definir bases de nivelación a lo largo de la traza de la obra, que sirvan para el posicionamiento de la cota de la vía.

Tan pronto sea terminada la plataforma de la vía, se establecerán bases o referencias de nivelación cada 500 m aproximadamente, consistirán en un clavo roscado de cabeza esférica cuyo espárrago mida, al menos 100 mm de largo por 10 de diámetro empotrado verticalmente en una base firme, como obras de fábrica, rocas, etc. O en otro caso sobre un macizo de hormigón de 0,50 x 0,50 x 0,50 m que sobresalga del suelo 5 cm aproximadamente. También pueden colocarse horizontalmente en obras de fábrica, edificios o hastiales de túnel, en estos casos, el clavo debe estar situado aproximadamente a nivel de c.c.c. (cota de cabeza de carril) y permitirá colocar verticalmente una mira de un metro, en estos casos, la longitud del espárrago no será menor de 150 mm y sobresaldrá 30 ó 40 mm para facilitar la colocación de la mira.

La nivelación geométrica o por alturas debe hacerse con un nivel de línea, láser o automático de precisión en itinerario de ida y vuelta.

Las tolerancias admitidas por Normativa – N.R.V. 7-1-0.2.- son:

- $dh = \pm 3\ mm$

- $D = \pm 6\sqrt{K}\, mm$
- $F = \pm(2 + 5\sqrt{K})mm$

En la que: dh es la desviación normalizada para puntos aislados (mm)

D es la diferencia entre las dos nivelaciones de ida y vuelta (mm)

F es la desviación de la diferencia de cota entre dos puntos consecutivos (mm)

K es la distancia total (km)

7.2.3 COMPROBACION DEL TRAZADO EN PLANTA

TOMA DE DATOS EN CAMPO

Una vez diseñada, observada y calculada la poligonal, apoyándose en ella se procederá a hacer un levantamiento topográfico de los dos bordes de la plataforma aproximadamente cada 50 m en curva, cada 200 m en recta y cada 10 m en los puntos de paso obligado viaductos, túneles, muros, etc. Así como de todos los obstáculos que puedan interferir en la vía.

En los túneles es necesario que dichos puntos queden, lo mas aproximadamente posible, a nivel de la c.c.c. o a alturas fijas predeterminados, pues a causa de la curvatura de su sección, la distancia a la vía es muy variables, también es necesario tomar medidas en los cambios de sección tipo y en todos los sitios donde el hastial sobresalga. Si el túnel está sin revestir es necesario tomar medidas en todas las alturas, especialmente donde haya abultamientos. Es de hacer notar que el punto más conflictivo suele estar aproximadamente a 3,75 m sobre el nivel del carril, y que el peralte de la vía modifica notablemente el gálibo de la misma.

Las tolerancias admisibles por Normativa – N.R.V. 7-1-0.2.- para las vías de nuevo establecimiento, en las ampliaciones de las actuales y en las variantes de dichas líneas son:

- $ds_t = \pm 5cm$
- $ds_o = \pm 1cm$

En la que: ds_t es la desviación en los puntos del terreno (cm)

ds_o es la desviación en los puntos de paso obligado (cm)

AJUSTE DEL TRAZADO

Obtenidas las coordenadas de los puntos que limitan la plataforma y las obras de fábrica, se procederá a introducir el trazado en planta definido en el proyecto, pudiendo modificarlo ligeramente si la variación de ubicación de dichas obras está dentro de las tolerancias, para que quede centrado en la plataforma o con el desplazamiento teórico que indique la sección tipo del proyecto y comprobando que queda bien ubicado en los puntos de paso obligado, de acuerdo con las prescripciones y tolerancias del pliego de condiciones del proyecto.

Todos los parámetros de diseño del nuevo trazado en planta se ajustaran a lo indicado en la normativa, para la velocidad máxima de circulación prevista para la línea en el futuro.

LISTADOS

Este trazado queda reflejado en los siguientes listados:

- Listado de puntos singulares del trazado: principio y fin de la línea o tramo ferroviario y puntos de tangencias entre las distintas curvas y rectas. Se indicará de cada punto su abscisa, su ordenada, su PK y el azimut, de la alineación que procede a dicho punto singular se anotará la longitud, el radio y las coordenadas del centro si es una curva circular, el parámetro y el radio máximo si es una clotoide o bien una indicación de que se trata de una recta que puede ser la de cero en la columna del radio, como es práctica usual en los listados de ordenador.
  En la figura 7.9 se muestra un ejemplo en el que:

- PK es el punto kilométrico
- Longitud es la longitud del elemento anterior del trazado, que finaliza en ese PK
- Coord. X y Coord. Y son las coordenadas del punto singular del trazado
- Radio es el radio de la curva circular
- X centro e Y centro son las coordenadas del centro de la curva circular
- Param. Es el parámetro de la clotoide = $\sqrt{R.L}$

PUNTOS SINGULARES

P.K.	Longitud	Coord. X	Coord. Y	Azimut	Radio	Param.	X Centro	Y Centro
0.000	0.000	608585.039	669794.454	135.3419	0.000		608585.039	669794.454
341.200	341.200	608874.998	669614.618	135.3419	0.000		608874.998	669614.618
441.200	100.000	608961.826	669565.120	128.2684	-450.000	212.13	609155.141	669971.481
441.200	0.000	608961.826	669565.120	128.2684	-450.000		609155.141	669971.481
541.200	100.000	609055.009	669528.982	121.1948	0.000	212.13	609055.009	669528.982
692.005	150.805	609197.534	669479.698	121.1948	0.000		609197.534	669479.698
804.667	112.662	609303.284	669440.891	124.7809	1000.000	335.65	608923.782	668515.700
804.667	0.000	609303.284	669440.891	124.7809	1000.000		608923.782	668515.700
917.329	112.662	609405.824	669394.259	128.3671	0.000	335.65	609405.824	669394.259
1245.120	327.791	609701.609	669252.985	128.3671	0.000		609701.609	669252.985
1325.120	80.000	609774.024	669218.988	127.0938	-2000.000	400.00	610599.739	671040.580
1325.120	0.000	609774.024	669218.988	127.0938	-2000.000		610599.739	671040.580
1405.120	80.000	609847.320	669186.935	125.8206	0.000	400.00	609847.320	669186.935
1405.120	0.000	609847.321	669186.935	125.8206	0.000		609847.321	669186.935
1485.120	80.000	609920.617	669154.881	127.0935	2000.487	400.05	609094.710	667332.842
1485.120	0.000	609920.617	669154.881	127.0935	2000.487		609094.710	667332.842
1565.120	80.000	609993.033	669120.885	128.3665	0.000	400.05	609993.033	669120.885
1762.704	197.584	610171.325	669035.730	128.3665	0.000		610171.325	669035.730
1842.703	80.000	610243.280	669000.772	129.6397	2000.000	400.00	609345.400	667213.649
1842.703	0.000	610243.280	669000.772	129.6397	2000.000		609345.400	667213.649
1922.703	80.000	610314.278	668963.908	130.9129	0.000	400.00	610314.278	668963.908
1922.703	0.000	610314.279	668963.908	130.9129	0.000		610314.279	668963.908
2002.831	80.129	610385.391	668926.984	129.6400	-2003.696	400.69	611284.940	670717.406
2002.832	0.000	610385.391	668926.984	129.6400	-2003.696		611284.940	670717.406
2082.961	80.129	610457.464	668891.969	128.3670	0.000	400.69	610457.464	668891.969

Figura 7.21: Ejemplo de listado de puntos singulares del trazado. Fuente: Normativa Renfe Vía N.R.V. 7-1-0.2. Montaje de vía. Métodos de replanteo

- Puntos a intervalo constante desde el origen del trazado cada 20 m o menos, si alguna circunstancia lo aconseja. Se indicará de cada punto su PK, su abscisa y ordenada, su azimut y el parámetro si la alineación es una clotoide o el radio si la vía esta en curva circular o una indicación de que está en recta.
  En la figura 7.22 se muestra un ejemplo.

PUNTOS FIJOS cada 20 m

	P.K.	Coord. X	Coord. Y	Azimut	Radio	Param.
	0.000	608585.039	669794.454	135.3419		
	20.000	608602.035	669783.913	135.3419		
	40.000	608619.032	669773.371	135.3419		
	60.000	608636.028	669762.830	135.3419		
	80.000	608653.025	669752.288	135.3419		
	100.000	608670.021	669741.747	135.3419		
	120.000	608687.018	669731.206	135.3419		
	140.000	608704.014	669720.664	135.3419		
	160.000	608721.010	669710.123	135.3419		
	180.000	608738.007	669699.581	135.3419		
	200.000	608755.003	669689.040	135.3419		
	220.000	608772.000	669678.499	135.3419		
	240.000	608788.996	669667.957	135.3419		
	260.000	608805.993	669657.416	135.3419		
	280.000	608822.989	669646.874	135.3419		
	300.000	608839.986	669639.333	135.3419		
	320.000	608856.982	669625.792	135.3419		
	340.000	608873.978	669615.250	135.3419		
PS	341.200	608874.998	669614.618	135.3419	0.000	
	360.000	608890.988	669604.730	135.0919		
	380.000	608908.084	669594.352	134.2770		
	400.000	608925.357	669584.270	132.8963		
	420.000	608942.887	669574.644	130.9496		
	440.000	608960.743	669565.637	128.4371		
PS	441.200	608961.826	669565.120	128.2684	-450.000	212.13
PS	441.200	608961.826	669565.120	128.2684	-450.000	

Figura 7.22: ejemplo de listado de puntos a intervalo constante de 20 m desde el origen del trazado. Fuente: Normativa Renfe Vía N.R.V. 7-1-0.2. Montaje de vía. Métodos de replanteo

- Coordenadas y distancia el eje del trazado de los puntos de paso obligado y de los del borde de la plataforma, definiendo: denominación abreviada del punto, sus coordenadas X_p e Y_p, su PK, su distancia al eje y además las coordenadas correspondientes al eje X e Y, el azimut y el radio de curvatura.
  En la figura 7.23 se muestra en ejemplo.

DISTANCIA DE LOS PUNTOS DE PASO OBLIGADO A LA TRAZA

Punto	X_p	Y_p	P.K.	Distancia	X	Y	Azimut	Radio
TI	611736.990	668276.700	3499.986	+3.731	611738.598	668280.086	128.3670	0.000
TD	611741.000	668283.060	3500.864	-3.737	611739.389	668279.688	128.3670	0.000
TI	611782.120	668255.150	3549.998	+3.726	611783.726	668258.512	128.3670	0.000
TD	611786.230	668261.410	3551.008	-3.694	611784.638	668258.076	128.3670	0.000
TI	611827.280	668233.580	3600.044	+3.726	611828.886	668236.942	128.3670	0.000
TD	611831.330	668239.940	3600.958	-3.758	611829.710	668236.549	128.3670	0.000
DI	611872.050	668211.030	3650.162	+4.779	611874.110	668215.342	128.3670	0.000
TD	611876.410	668218.330	3650.950	-3.687	611874.821	668215.003	128.3670	0.000
DI	611917.950	668190.100	3700.800	+3.883	611919.623	668193.604	128.3670	0.000
TD	611921.625	668196.710	3701.068	-3.866	611920.045	668193.402	128.3670	0.000
TI	611962.570	668168.800	3750.063	+3.821	611964.235	668172.239	128.6955	2899.95
TD	611966.680	668175.240	3750.956	-3.766	611965.038	668171.850	128.7154	2815.94
TI	612007.190	668146.590	3800.026	+3.706	612008.909	668149.874	130.7079	1086.27
TD	612011.500	668152.750	3800.984	-3.750	612009.757	668149.429	130.7644	1073.41
TI	612050.650	668122.260	3850.046	+3.766	612052.579	668125.495	134.2290	867.800
TD	612055.300	668128.220	3850.984	-3.735	612053.384	668125.014	134.2978	867.800
TI	612092.660	668095.550	3900.052	+3.759	612094.768	668098.662	137.8975	867.800
TD	612097.610	668101.220	3900.987	-3.712	612095.525	668098.148	137.9646	867.800
TI	612133.050	668066.550	3949.996	+3.691	612135.292	668069.482	141.5614	867.800
TD	612138.400	668071.880	3951.004	-3.794	612138.092	668068.869	141.6353	867.800
TI	612171.780	668035.000	4000.173	+3.782	612174.247	668037.867	145.2424	867.800
TD	612177.330	557040.190	4000.990	-3.772	612174.867	668037.333	145.3024	867.800

Figura 7.23: ejemplo de listado con las coordenadas y distancia al eje de los puntos de paso obligado y los del borde de la plataforma tomados en campo. Fuente: Normativa Renfe Vía N.R.V. 7-1-0.2. Montaje de vía. Métodos de replanteo

La dirección técnica de mantenimiento de infraestructura de Renfe dispone de un programa de trazado adaptado a la normativa que facilita tanto cálculos y sus listados como otros que más adelante se indicaran, se llama Programas de Trazado.

Pero conviene apuntar que actualmente existen en el mercado numerosos programas para el diseño de trazados ferroviarios que también disponen de estas prestaciones, así que debemos elegir el que más nos convenga: Tool Clip, Bentley InRoads, Istram Ispol, etc.

En la imagen 7.11 podemos ver una captura de pantalla del programa Bentley Rail Track para diseño ferroviario.

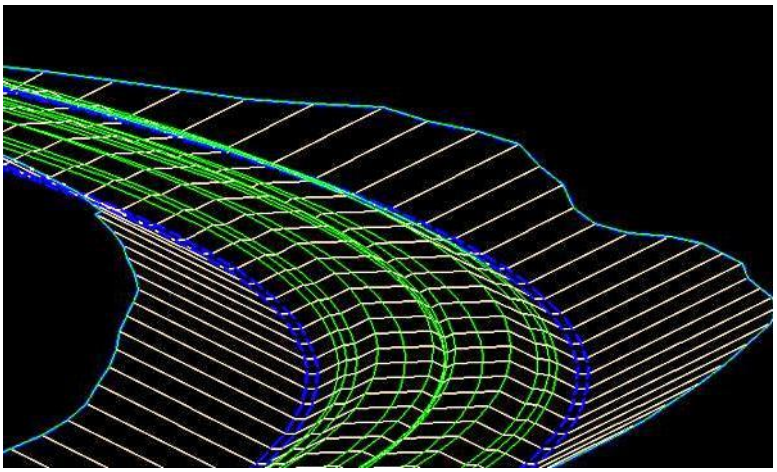


Imagen 7.11: captura de pantalla del programa de diseño ferroviario Benley Rail Track. Fuente: http://www.google.com

7.2.4 COMPROBACION DE LA RASANTE

TOMA DE DATOS EN CAMPO

Se realizará una nivelación geométrica lineal por el eje de la plataforma, cada 50 m aproximadamente en la plataforma y cada 10 m en los puntos de paso obligado viaductos, túneles, intersecciones, cruces, etc. Para posicionar correctamente la vía en alzado.

Aún cuando no es necesario que dichas longitudes sean exactas, sí lo es conocer su posición kilométrica, para ello pueden marcarse primero los puntos a nivelar con una estación total o receptor GPS.

Es necesario también tomar medidas para comprobar el gálibo en los túneles y en los pasos superiores.

Las tolerancias admisibles por Normativa – N.R.V. 7-1-0.2-. En esta nivelación para las vías ferroviarias de nuevo establecimiento, en las ampliaciones de las actuales y en las variantes de dichas líneas, son:

$$F = \pm\left(12 + 6\sqrt{K}\right) mm$$

En la que: F es la desviación de la diferencia de cota entre los puntos y la referencia más próxima (mm)

K es la distancia (km)

AJUSTE DE LA RASANTE

Con las cotas obtenidas de los distintos puntos del eje de la plataforma y sus P.K., teniendo en cuenta la altura teórica entre la plataforma y la c.c.c., se procederá a comprobar la rasante del proyecto ajustándola a la plataforma lo suficiente para que la capa de balasto, tanto en la plataforma como en los puntos de paso obligado, correspondan a las del proyecto con las tolerancias que, en cada caso, determina la Normativa – N.R.V. 7-1-3.1-. Todos los parámetros de diseño de la rasante se ajustarán a lo indicado en la Normativa – N.R.V. 0-2-0.0. Y N.R.V. 0-2-0.1-. En función de la velocidad máxima de circulación prevista para el futuro en la línea.

LISTADOS

Esta rasante definitiva quedara reflejada en los siguientes listados:

- Datos de entrada y complementarios con el número de cada vértice, su P.K., su cota, su pendiente, la longitud del enlace, el parámetro de curvatura y la contraflecha – diferencia de cotas entre la rasante y el vértice-.
  En la figura 7.12 se muestra un ejemplo en el que:
- P es la pendiente en tanto por ciento de la rasante

- L es la longitud de la curva vertical
- K_v es el parámetro de la curva vertical
- B es la contraflecha

DATOS DE LA RASANTE

Nº	P.K.	Cota	p(%)	L	K_v	B
1	0.000	274.870	0.0000	0.000	0	0.000
2	150.000	274.870	0.0000	25.000	12635	0.006
3	620.000	275.800	0.1979	47.879	15000	0.019
4	1980.000	274.150	-0.1213	25.000	14101	0.006
5	2700.000	272.000	-0.2986	82.292	15000	0.056
6	3100.000	273.000	0.2500	171.368	15000	0.245
7	3630.000	268.270	-0.8925	358.868	15000	1.073
8	6660.000	313.720	1.5000	164.695	15000	0.226
9	7200.000	315.891	0.4020	56.998	15000	0.027
10	8726.559	327.829	0.7820	0.000	0	0.000

Figura 7.24: ejemplo de listado de la rasante. Fuente: Normativa Renfe Vía N.R.V. 7-1-0.2. Montaje de vía. Métodos de replanteo

- Puntos singulares de la rasante: principio y fin de la línea o tramo de línea ferroviaria a construir, vértices y puntos de tangencias entre las rectas y las curvas de enlace. Se indicará, en cada uno de estos puntos, su P.K., su cota y en tanto por ciento, la rampa – positiva – o la pendiente negativa, en los vértices se añadirá, además: la cota del vértice, la longitud del acuerdo vertical, el parámetro o el radio del acuerdo, la contraflecha y la diferencia de pendientes que forman las dos alineaciones verticales en tanto por ciento. En este mismo listado se incluirán, intercalándolos, puntos a distancia constante, generalmente cada 20 m, de los que se facilitará su P.K., la cota y caso de estar situado en curva vertical, la pendiente en tanto por ciento.
  En la figura 7.13 se muestra un ejemplo en el que:
- C_v es la cota del vértice
- L es la longitud de la curva vertical
- K_v es el parámetro de la curva vertical
- B es la contraflecha del vértice
- Theta es la diferencia algebraica de pendientes consecutivas

RASANTE DE LA VIA PUNTOS FIJOS cada 20 m

	P.K.	Cota	p(%)	C_v	L	K_v	B	Theta
	0.000	274.870	0.0000					
	20.000	274.870						
	40.000	274.870						
	60.000	274.870						
	80.000	274.870						
	100.000	274.870						
	120.000	274.870						
TE	137.500	274.870	0.0000					
	140.000	274.870	0.0158					
V	150.000	274.878	0.0958	274.870	25.000	12835	0.008	0.0020
	160.000	274.890	0.1751					
TS	162.500	274.895	0.1978					
	180.000	274.929						
	200.000	274.968						
	220.000	275.009						
	240.000	275.048						
	260.000	275.088						
	280.000	275.127						
	300.000	275.167						
	320.000	275.206						
	340.000	275.246						

Figura 7.25: ejemplo de listado de la rasante de la vía en puntos fijos cada 20 m. fuente: Normativa Renfe Vía N.R.V. 7-1-0.2. Montaje de vía. Métodos de replanteo

El programa de ordenador antes indicado – Programas de Trazado-, resuelve también, el cálculo de las rasantes y la impresión de los resultados en listados realizados de acuerdo a lo que se indica en la Normativa, aunque, al igual indicábamos antes, decir que existen numerosos programas de diseño actualmente en el mercado.

7.3 MONTAJE DE VIA EN BALASTO

La experiencia de muchas décadas en explotaciones ferroviarias condujo hace mucho tiempo a la conclusión de que la mejor solución para el reparto de cargas bajo la traviesa era colocar un material granular. Este material se conoce como **balasto** y es una capa de piedra partida que se coloca sobre la plataforma envolviendo a las traviesas en cinco de sus seis caras. De esta forma el balasto transmite y reparte las cargas para no superar las tensiones admisibles de las capas inferiores, empotra a las traviesas para evitar el movimiento longitudinal debido a la dilatación, la aceleración y el frenado del tren y el movimiento transversal debido a la fuerza centrifuga, proporciona la elasticidad necesaria a la vía, haciendo más cómoda la rodadura y reduciendo los impactos debidos a los efectos dinámicos, permite afinar la rasante de la vía actuando sobre él, facilita el drenaje y también permite la evaporación del agua de la plataforma.

Además, al actuar sobre el balasto mediante equipos especializados como las bateadoras que tal y como indica su nombre, sirven para batear la vía, pueden recuperarse posteriormente las características geométricas de la vía, se impide el crecimiento de plantas y arbustos, se reduce el peligro de heladas y se amortigua el ruido transmitido a través del aire.

Así, la gran ventaja del balasto es el estar formado por partículas independientes que le permiten moverse y proporcionar las características elásticas que precisa la vía, pero ahí radica también su desventaja principal, que le permite deformarse a lo largo del tiempo bajo el paso de las cargas, obligando a costosos mantenimientos de la geometría de la vía.

En el presente capítulo se van a abordar los trabajos necesarios para el montaje de vía sobre balasto, haciendo particular incidencia en los que tienen relación directa con la topografía. La construcción de una superestructura ferroviaria debe abordarse teniendo en cuenta que sus diferentes unidades de obra han de efectuarse ordenadamente y que las distintas etapas de ejecución de cualquiera de los servicios necesarios para su funcionamiento deben programarse de forma que se lleven a

efecto en el momento adecuado y de modo que no sea preciso modificar, demoler ni rehacer ninguna parte construida de los rasantes servicios, evitando una posible demora en la terminación del conjunto o un acercamiento final de su costo.

Los pasos a seguir en el montaje de vía en balasto son, generalmente, los siguientes:

- Construcción de la banqueta de balasto en media sección transversal
- Tendido de la primera vía
- Construcción de la banqueta de balasto en la otra media sección transversal
- Tendido de la segunda vía
- Equipamiento de la vía y descarga complementaria de balasto
- Bateo y alineación de la vía
- Terminación y perfilado con la perfiladora de la banqueta de balasto
- Soldaduras aluminotérmicas
- Trabajos de incorporación ambiental, de la obra a su entorno

Imagen 7.12: Fotografía de una bateadora. Fuente: http://www.google.com

Todos estos trabajos deben llevarse a efecto superponiéndolos unos con otros de acuerdo con su ritmo de construcción para dejar, entre ellos un lapso suficiente.

En la siguiente figura se presenta un cuadro sinóptico simplificado de la secuencia de los trabajos de montaje de la vía, a partir del tendido de la primera capa de balasto que se realizan sin interferencias.

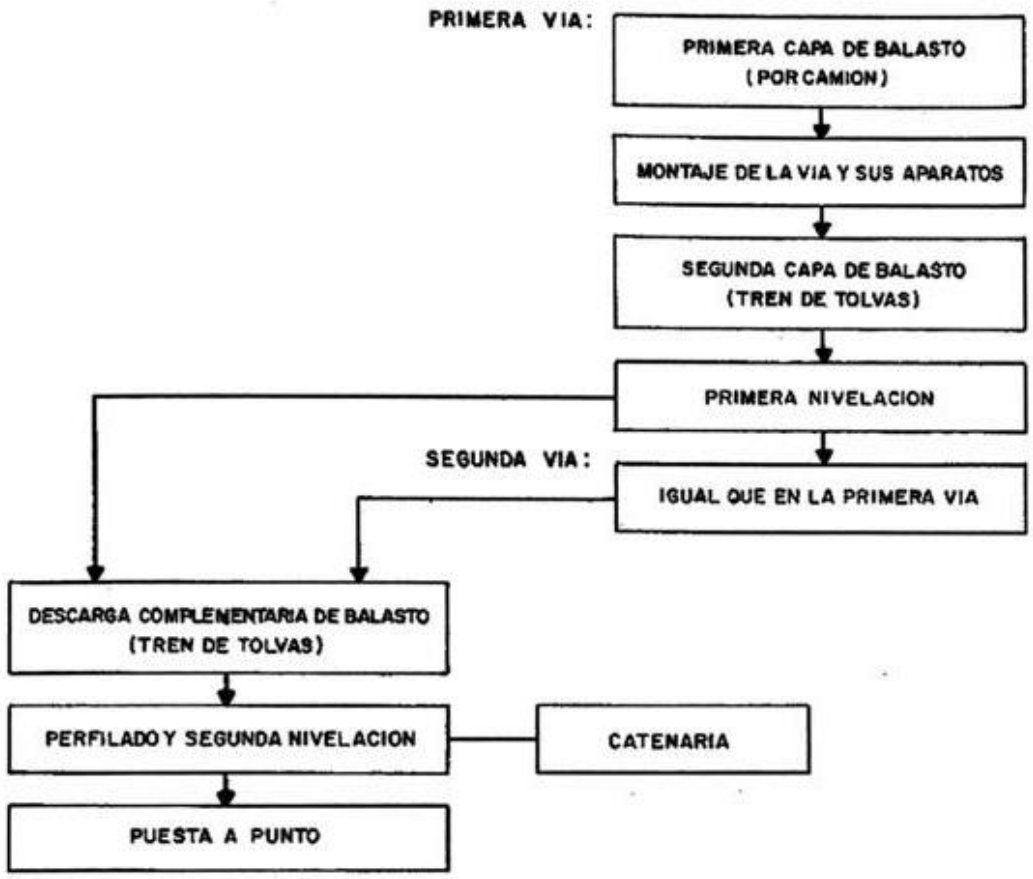


Figura 7.26: secuencia de los trabajos de montaje de la vía. Fuente: Normativa Renfe Vía N.R.V. 7-1-0.0. Montaje de vía. Secuencia de los trabajos de construcción de una línea. Primera edición: 20 de julio de 1993

Para la realización de los trabajos topográficos nos apoyaremos en la red de bases de replanteo y nivelación materializadas y calculadas con anterioridad, la precisión de estas será determinante para la calidad de la futura vía, no se puede obtener mayor precisión en el posicionamiento de la vía de la que tiene la red sobre la que apoyamos los trabajos de topografía.

El replanteo de la vía es tarea de la topografía, constituye la primera operación a realizar para su montaje y debe llevarse a cabo con la suficiente antelación a continuación se explica detalladamente este proceso.

7.3.1 REPLANTEO DE LA VIA

El montaje de una nueva superestructura ferroviaria se ejecuta en tramos. Cada tramo de vía debe quedar replanteado, como mínimo antes de la terminación de las operaciones de montaje en el tramo anterior. Para realizarlo, el terreno debe estar convenientemente preparado.

El trabajo es de fundamental importancia, la futura vía deberá cumplir con unas tolerancias establecidas por normativa, como consecuencia de que los vehículos seguirán el trazado de la vía a una determinada velocidad sin posibilidad de modificar su trayectoria. El replanteo ha de ser, pues, riguroso, debiendo tener presente que la moderna maquinaria de nivelación y alineación, aún corrigiendo los defectos que pudiera tener, no los elimina totalmente.

Imagen 7.13: Trabajos de montaje de vía en la línea de alta velocidad Madrid-Valencia a su paso por Requena. Fuente: http://www.google.com

Tradicionalmente, el método empleado para replantear una vía se basaba en un estaquillado y paqueteado de la misma para aplicando el método de Chappellet sobre regulación de curvas por corrección de sus flechas, llegar al trazado definitivo. Actualmente el procedimiento a seguir es diferente y sirve para efectuar el replanteo de las nuevas líneas de ferrocarril de forma precisa y duradera antes del montaje de la vía.

Cuando se trata de efectuar el replanteo en la renovación de una vía, el trabajo presenta características propias que los diferencian de los replanteos de vías nuevas, ya que el paso de los trenes ha deformado las alineaciones rectas y curvas, en planta y en alzado, aparte de que la vía puede presentar defectos de origen como puede ser el carecer de curvas de transición, por ejemplo, al realizar la renovación es preciso corregir estos defectos. Esto será tratado más adelante, ahora vamos a centrarnos en la metodología para el replanteo de una vía de nuevo establecimiento, en las ampliaciones de las actuales y en las variantes de dichas líneas.

PUNTOS DE MARCAJE. CONSIDERACIONES GENERALES

Una vez definidas la traza y la rasante definitiva de la vía ajustadas a la infraestructura ya finalizada tal y como se explicó antes, procede replantear las columnas de elecrtificación, donde se podrán colocar los puntos de marcaje. Para ello es necesario conocer la equidistancia entre las columnas en los distintos tramos de la línea y su distancia a la vía o lo que es equivalente, sus P.K. y la distancia al eje de trazado en planta.

Imagen 7.14: Electrificación ferroviaria. Fuente: http://www.adif.es

De no electrificarse la vía o si es necesario marcar antes de la colocación de los postes de electrificación, será necesario establecer en el suelo pares de puntos de marcaje cada 50 ó 60 m de línea, máximo 80 m recta, enfrentados a ambos lados de

la vía a 3 m aproximadamente, mínimo 2 m del carril más próximo en las curvas cerradas, donde las flechas de la cuerda larga puedan superar los 750 mm, se reducirá la distancia entre los puntos de marcaje.

Si es vía única electrificada se establecerán, sólo a un lado de la explanación, puntos de marcaje en el suelo enfrentados a las columnas de electrificación aunque, dependiendo del tipo de vía a construir, en ocasiones puede ser suficiente con los puntos de marcaje colocadas en los postes de catenaria.

PUNTOS DE MARCAJE SOBRE POSTES DE CATENARIA Y OBRAS DE FABRICA

Una vez colocadas las columnas de electrificación se fijarán en las mismas bulones especiales que servirán para el marcaje preciso y estable de la vía en las superestructuras ferroviarias que no requieran de tanta precisión, como los tranvías, puede valer un punto de Fixolid que es un tubo de pintura con punta de bola de acero, u otro sistema de marcaje no tan riguroso. También se pueden fijar los bulones en los parámetros verticales de los túneles, muros, etc.

- En los postes de hormigón en túneles y en general sobre parámetros verticales de piedra, fábrica u hormigón, se realizará u hormigón, se realizara un taladro horizontal y perpendicular a la vía de unos 20 mm de diámetro, a 10 ó 15 cm sobre la cota del carril más alto, para colocar un taco de expansión con rosca hembra. A este taco se roscará un bulón de acero inoxidable bien pulimentado.

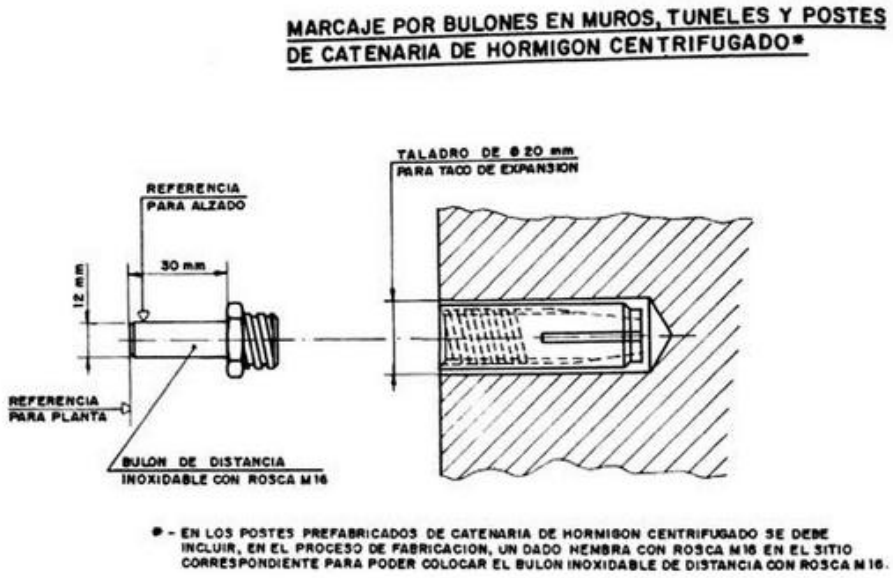


Figura 7.27: Marcaje por bulones en muros, túneles y postes de catenaria de hormigón centrifugado. Fuente: Normativa Renfe Vía N.R.V. 7-1-0.2. Montaje de vía. Métodos de replanteo. Primera edición: Marzo de 1994

- En los postes metálicos se procederá, primeramente, a hacer un taladro de 8 mm de diámetro, perforando totalmente un perfil del poste, de parámetro vertical y paralelo al eje de la vía, a una altura de 10 ó 15 cm sobre la cota del carril alto. En el taladro se colocará un tornillo de cabeza hexagonal en el que se roscará un bulón con rosca hembra de acero inoxidable.

Las coordenadas del extremo exterior de estos bulones son las que definen el punto de marcaje de la vía en planta y la cota más alta del bulón la que define el alzado.

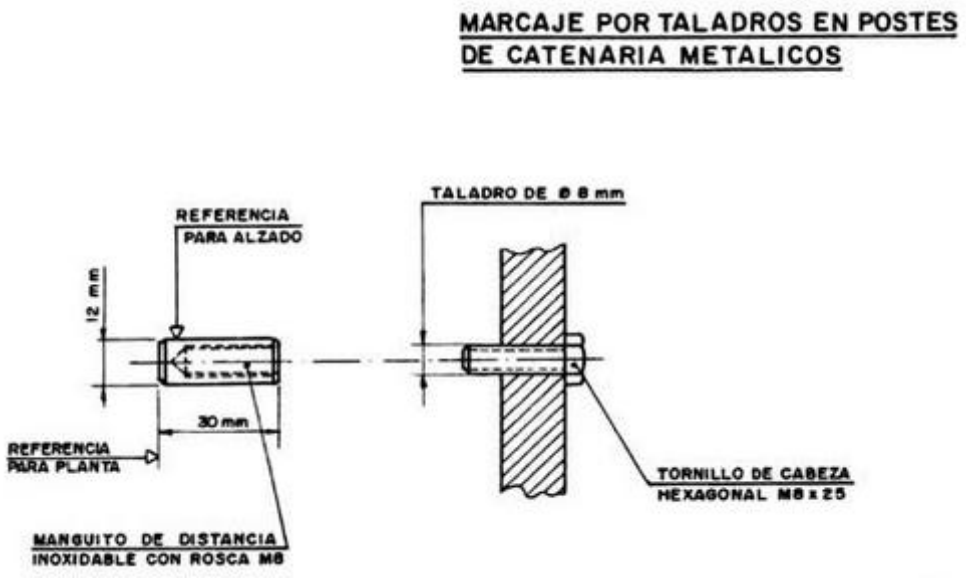


Figura 7.28: Marcaje de taladores en postes de catenaria metálicos. Fuente: Normativa Renfe Vía N.R.V. 7-1-0.2. Montaje de vía. Métodos de replanteo. Primera edición: Marzo de 1994

PUNTOS DE MARCAJE SOBRE EL TERRENO

Se admiten los siguientes tipos:

- Cabeza de marcaje sobre un tubo de hormigón, es un tubo de hierro de 80 mm de diámetro enrasado con el paseo de la vía, y situado a 3 m aproximadamente mínimo 2 m, del carril más próximo, en su extremo superior llevará soldada una placa metálica. El punto de marcaje de la planta de la vía se señala en el centro de la placa con un taladro de unos 3 mm de diámetro y la referencia para el alzado mediante un clavo de cabeza de gota de sebo que atravesando la placa se suelda por su extremo inferior a la misma. Esta placa debe quedar a nivel del suelo, pero fácilmente reconocible.
- Bulones verticales sobre andenes y superficies de obra o roca horizontales. Se hace un taladro en el que se introduce un taco de expansión con roca hembra al que se atornilla un bulón de acero inoxidable, el bulón cuyo eje sirve de punto de marcaje de la vía en planta, debe quedar entre 0,60 m por encima de la traza y 1,00 m por debajo. Cerca de este bulón se introducirá un clavo de cabeza de gota de sebo para referencia de la nivelación de la vía.

- Piquete de carril. No recomendable excepto si es robusto y está bien anclado con hormigón al terreno. Se emplearán perfiles de carril inútil modelos RN 45 ó UIC 54 de longitud suficiente para que profundice 0,40 m y para que la parte superior quede aproximadamente 10 cm más alta que la c.c.c., 20 cm si la vía está peraltada. Se situará a una distancia mínima de 2,50 m del carril o detrás de las cunetas si las hay. Las dimensiones del dado de hormigón serán, como mínimo de 0,50 x 0,50m y 0,60 de profundidad o bien de 0,30 m de diámetro y 0,80 de profundidad. El corte del extremo superior del piquete se hará ortogonal a su eje longitudinal, con sierra o disco abrasivo y su colocación en la explanación será vertical y con el patín perpendicular a la vía, sobre la cabeza se marcara un granetazo que definirá el punto de marcaje de la vía en planta. El extremo del patín más cercano a la vía sirve de referencia para el alzado.

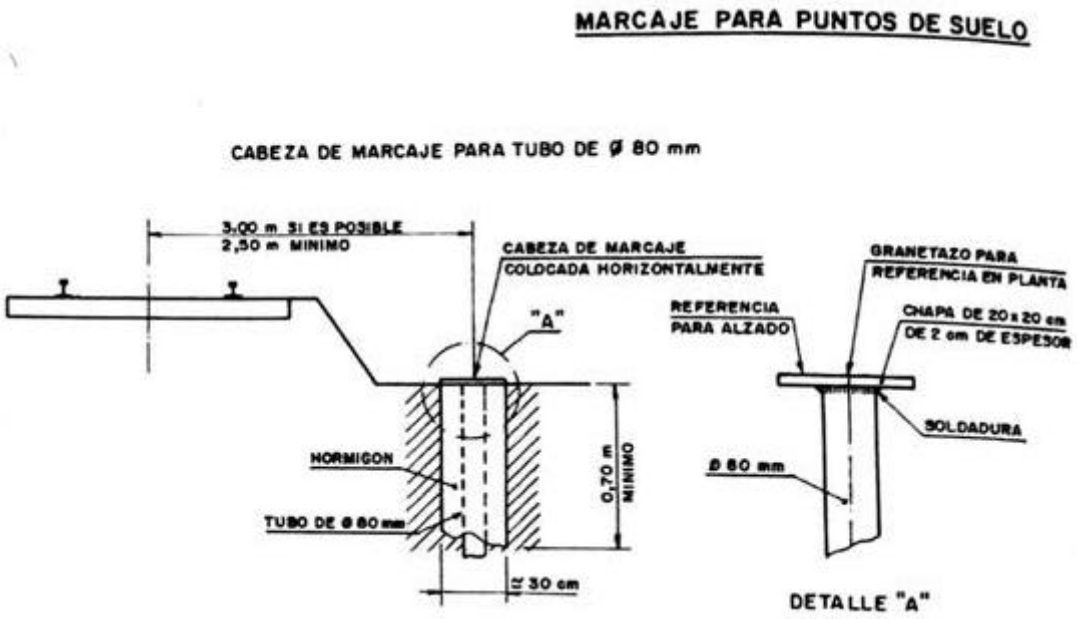


Figura 7.29: marcaje para puntos de suelo. Fuente: Normativa Renfe Vía N.R.V. 7-1-0.2. Montaje de vía. Métodos de replanteo. Primera edición: marzo de 1994

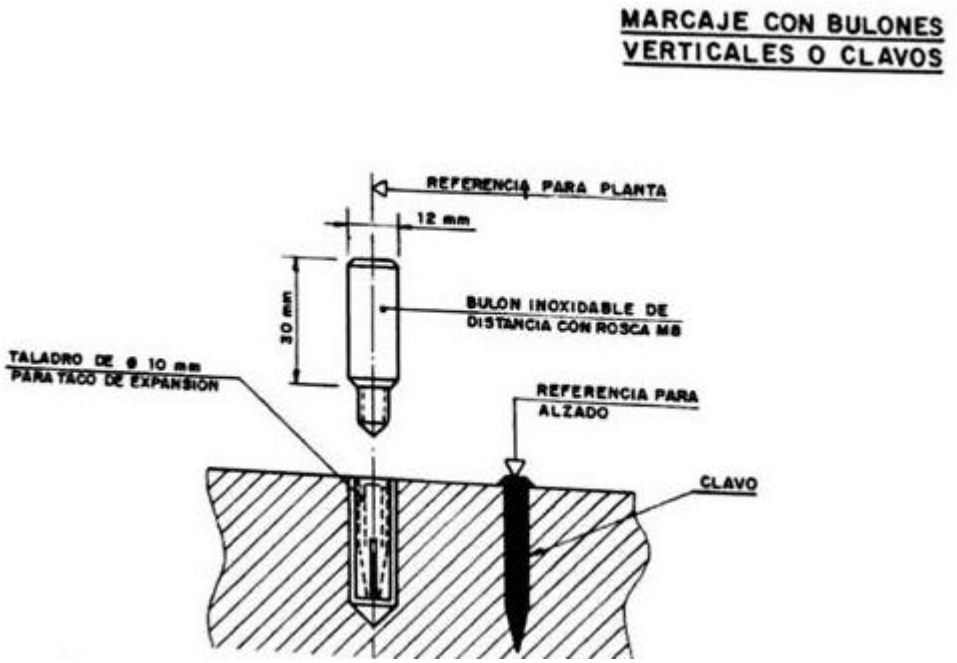


Figura 7.30: Marcaje con bulones verticales o clavos. Fuente: Normativa Renfe Vía N.R.V. 7-1-0.2. Montaje de vía. Métodos de replanteo. Primera edición: Marzo de 1994

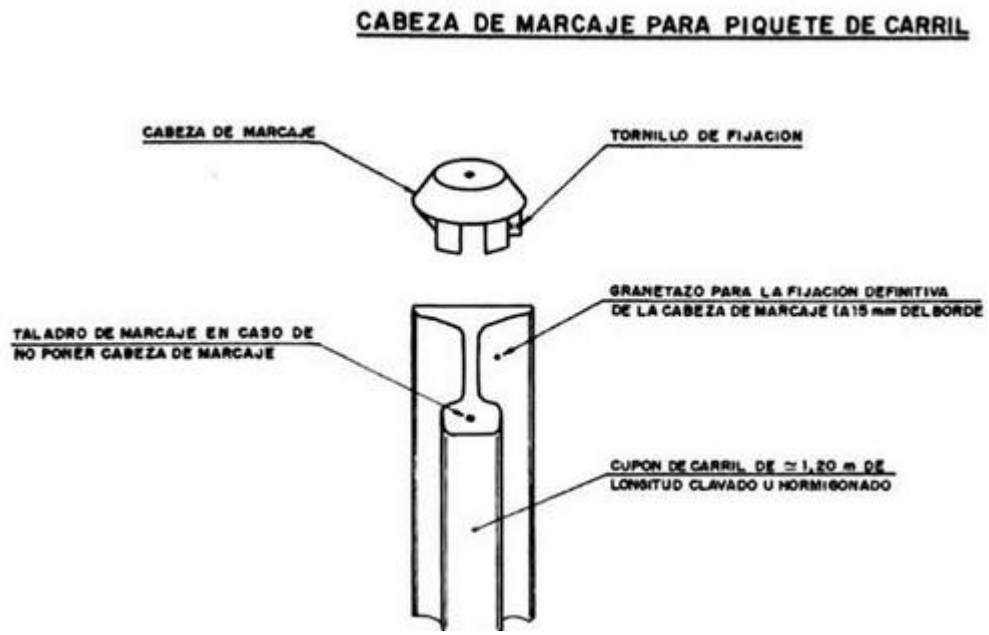


Figura 7.31: Cabeza de marcaje para piquete de carril. Fuente: Normativa Renfe Vía N.R.V. 7-1-0.2. Montaje vía. Métodos de replanteo. Primera edición: Marzo de 1994

MEDICION Y TOLERANCIAS

Materializado convenientemente sobre el terreno todos los puntos de marcaje necesarios para el montaje de la vía en postes de catenaria, sobre obras de fábrica, en piquetes, etc., es necesario el cálculo de sus coordenadas por métodos topográficos. Estos puntos fijos, sobre todo los situados sobre los postes de catenaria o hastiales, servirán en un futuro también para el mantenimiento de la vía, de ahí la necesidad de que sobrevivan a la obra, que perduran en el tiempo.

De este modo, apoyándose en la red de bases de replanteo se levantarán todos los puntos de marcaje con la estación total, determinando sus coordenadas definitivas tras haber compensado los posibles errores. Respecto a las cotas de los puntos se determinarán en nivelación de ida y vuelta, apoyándose en las referencias de la red de bases de replanteo.

Las tolerancias admisibles, según la Normativa Renfe Vía N.R.V. 7-1-0.2. De métodos de replanteo, son:

$d_s = \pm 5$

$d_h = \pm 3$

En la que: $d_s = \pm\sqrt{dx^2 + dy^2} =$ desviación estándar entre dos puntos consecutivos

d_h es la desviación estándar de la cota entre dos puntos consecutivos

Calculadas las coordenadas de los puntos de marcaje será necesario realizar la transformación de estos datos a los que son realmente útiles en campo: el P.K. de cada punto y su distancia a la cara activa del carril más cercano.

7.3.2 CONSTRUCCION DE LA VIA EN BALASTO

Una vez definida geométricamente la vía sobre el terreno, se procede a su montaje, para lo cual pueden emplearse variados procedimientos, desde el totalmente manual ya absoluto en la actualidad, hasta los que emplean un alto grado de mecanización.

No obstante, se puede hacer una clara división en dos tipos de procedimientos de montaje de vía:

- Montaje con parejas también denominado con parrillas, paneles o tramos
- Montaje con materiales sueltos

En el primer caso, se realiza la colocación sucesiva de conjuntos premontados de traviesas fijadas a dos carriles de 12 o 18 cm, en general, en el segundo caso, se transportan al tajo de montaje los carriles, sujeciones y traviesas de forma independiente, procediéndose a ensamblarlos posteriormente.

Imagen 7.14: Transportador y pórticos de montaje. Fuente: Nociones Básicas ferroviarias

En general, la organización de la construcción de la vía ha avanzado, es posible colocar trenes en la línea, que se utilizarán como trenes de trabajos y que servirán, entre otros cometidos, para el transporte del material desde los puntos de comienzo del trabajo hasta los tajos de montaje de vía, en el caso de que la línea en construcción, o un tramo de la misma tenga su origen o su extremo o ambos en un centro ferroviario, el problema del suministro de materiales queda muy mitigado, puesto que pueden ser transportados por ferrocarril directamente desde el principio de la obra, evidentemente en este caso lo lógico es comenzar los trabajos en el centro o centros ferroviarios para, desde allí extender la línea en uno o ambos sentidos, según se trate de cabecera o punto por lo que se refiere a la construcción de una vía doble, lo normal es comenzar con el montaje de una sola vía, con lo que se obtiene un doble resultado, por un lado es posible iniciar el tráfico por dicha vía y por otro apoyándose en ella, realizar la construcción de la segunda.

TENDIDO DE VIA POR MATERIALES SUELTOS

Este método presenta las siguientes ventajas:

- No precisa de parques auxiliares para el montaje previo de parejas de vía

- Permite rendimientos elevados

Imagen 7.15: Acopio de carriles y pórticos preparados para su carga a los trenes de trabajo. Fuente: http://www.feve.es

Un equipo de montaje está formado básicamente por dos pórticos con gálibo suficiente para permitir la circulación por su interior de trenes compuestos por vagones tipo plataforma y de una viga que se apoya en la parte superior de dichos pórticos. Por otra parte el gálibo externo del conjunto no debe interferir con obras de fábrica, túneles o incluso con posibles vías paralelas.

El transporte de los pórticos viga hasta el tajo se suele hacer en un vagón especialmente concebido para ello.

El procedimiento de tendido de la vía por materiales sueltos consiste, en esencia en descargar los carriles sobre la explanación o el balasto para formar, en primer lugar, una vía auxiliar sobre la cual se moverán los equipos de montaje de vía, posteriormente se encarrilan sobre esta vía los pórticos especiales que toman las traviesas y las distribuyen correctamente manteniendo el espaciamiento correcto entre ellas, a continuación con una maquina adecuada que circula por la parte de la vía ya construida, se colocan los carriles sobre los asientos de las traviesas, en los cuales ya se habían situado en posición las placas elásticas o metálicas de asiento de los carriles, finalmente se aprietan las sujeciones y se sueldan los carriles.

TENDIDO DE VIA POR PAREJAS DE CARRILES

Este tipo de tendido consiste en formar, en parque, emparrillados de parejas de carriles sobre traviesas, colocando ambos elementos a la distancia efectiva que han de tener en la vía terminada. Formados los emparrillados y transportados posteriormente a la obra, se unen a la vía ya tendida.

Las parejas de carriles suelen tener 12 ó 18 metros de longitud y pueden estar construidas por materiales nuevos para quedar incorporadas directamente a la vía definitiva o usados en cuyo caso cumplen, con carácter provisional una misión de arriostramiento durante el transporte y la colocación.

El montaje de vía, por este método requiere las siguientes etapas:

Imagen 7.16: Transportador y pórticos de montaje. Fuente: http://www.feve.es

- Montaje en parque de los tramos de vía con carriles nuevos o usados pero con traviesas y sujeciones nuevas
- Traslado de estos tramos el tajo por medio de trenes de plataformas adecuadas
- Colocación mecánica, en planta y perfil de los tramos de vía

Cuando las parejas han sido montadas con carriles usados, después de la última operación indicada y no antes de que la vía, nivelada provisionalmente haya soportado un tráfico mínimo de 100.000 toneladas, se procede a sustituir tales carriles por unos nuevos, siguiendo las siguientes fases:

- Transporte en trenes carrileros a ambos nuevos, formados generalmente por barras largas de taller de 288 metros de longitud
- Descarga de estos carriles a ambos lados de las parejas provisionales
- Retirada del carril usado que formaba las parejas provisionales y colocación de la barra de taller sobre su placa de asiento en las traviesas

Una vez situado el carril, se colocan las piezas de sujeción en su posición correcta, se efectúa un embridado y un apretado provisional y posteriormente el apretado definitivo. Los carriles usados deben ser colocados fuera de la vía o retirados del tajo en vagones plataforma.

ALINEACION Y NIVELACION DE LA VIA

Colocados los carriles sobre sus placas de asiento en las traviesas y apretada correctamente la sujeción, se precisa proporcionar su posición correcta a la vía, en planta y alzado con precisión de milímetros para permitir el paso de los trenes a la máxima velocidad prevista.

Esta operación se realiza en dos fases:

- La primera consiste en la descarga del balasto si no se efectuó previamente, para lo que debe preverse un consumo inicial de 1 ^{3} por metro lineal de vía para los primeros trabajos con maquinaria pesada haciendo sucesivas aportaciones hasta que la vía se encuentre en primera nivelación
- La segunda es situar la vía a su nivel adecuado y en su posición correcta, operaciones que se realizan mediante maquinas pesadas de bateo y de alineación que pueden estar incorporadas en una sola constituyendo bateadoras-niveladoras y bateadoras-niveladoras con las que se tratan normalmente 200 metros de vía por hora pudiendo llegarse hasta más de 800 en algunos modelos.

La bateadora eleva la vía y mediante unos elementos vibrantes bates compacta enérgicamente el balasto bajo las traviesas, a continuación la vía se coloca en planta correctamente con relación a su trazado teórico, por medio de la alineadora ya se ha comentado anteriormente que las modernas maquinarias realizan el bateo y la alineación de la vía a la par.

Imagen 7.17: detalle de los bates de una bateadora. Fuente: http://www.google.com

Se efectúa así, una primera nivelación de la vía que por el asiento del balasto al paso de los trenes, ha de ser rectificada en una segunda nivelación con la misma maquinaria, más adelante se trataran las tolerancias requeridas por Normativa para dejar la vía en primera y segunda nivelación.

En este punto del proceso de montaje de vía cuando es necesaria la llamada topografía de vía, podemos distinguir entre topografía para montaje de vía sobre balasto.

Antes de batear, una vez montada la vía, la topografía nos proporciona la información sobre el estado de la geometría de la vía en ese momento después se deberán calcular las correcciones con respecto a su posición de proyecto a partir de los datos tomados en campo y por ultimo esta información de correcciones se hace llegar a las maquinas bateadoras.

Es necesario aclarar que debido a su naturaleza y comportamiento la vía no puede ser colocada de una sola pasada en su posición definitiva, 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, así la vía en lecho de balasto es un elemento flexible, es decir al levantar y ripar un determinado punto también se mueve la vía a más y menos P.K. por ello es necesario ir acercando progresivamente la vía a su posición definitiva.

Aunque la información del estado de la vía puede obtenerse con métodos clásicos con estación total, nivel y regla de vía, debido a que las obras de montaje de vía de balasto suelen tener mucha longitud, varios kilómetros y es necesario chequear la vía muchas veces cada pasada que realice la bateadora, se recomienda el uso del carro de posicionamiento global, ya que sabe que podemos utilizarlo junto con una estación total o un receptor GPS dependiendo de la precisión que queramos obtener en los datos, así que al principio cuando la vía necesite aun muchas pasadas, podemos utilizarlo con GPS, lo cual nos proporcionara una mayor velocidad de trabajo realizando un menor esfuerzo.

Imagen 7.18: carro de vía se puede utilizar junto con una estación total o un receptor GPS. Fuente: http://www.google.com

Si instalamos un prisma en el carro, la estación total robotizada lo seguirá en todo momento en sus desplazamientos sobre la vía. Por lo tanto la posición 3D del prisma es continuamente calculada. Las dimensiones del carro son conocidas con la máxima precisión, así que junto con la posición calculada del prisma, el software determina el eje de vía y todos sus parámetros.

Para la utilización del carro con tecnología GPS, en lugar de un prisma se instala una antena GPS, también se puede utilizar un acople para elevar la posición de la antena hasta los 2 m asegurando que no haya distorsiones que pudieran reducir la precisión. El GPS permite medir hasta 3 km de vía por hora, aunque ya se sabe que no se puede conseguir la misma precisión que si se utilizara una estación total, las precisiones típicas con este tipo de configuración son mejores de 20 mm en planimetría y de 40 mm en altimetría es decir, la precisión alcanzable dependerá directamente de la proporcionada por el GPS.

El carro de vías proporcionara dos modos diferentes de funcionamiento:

- Modo ≪ &≫. En este modo el sistema se ha de detener para la adquisición de cada punto de la geometría de la vía con la más alta precisión, según sea la configuración con estación total o con GPS, cada parada dura entre los 5 y 10 segundos aproximadamente, hasta que las lecturas de los sensores son realizadas.
- Modo cinemático. En este modo el operador empuja el carro sobre la vía a la velocidad deseada la velocidad siempre es mostrada por el software del sistema en el monitor de control, el modo cinemático proporciona menor precisión pero, por supuesto se consigue una productividad mucho mayor.

Para esta aplicación de carro de auscultación de vía en el montaje de vía en balasto, se necesita definir previamente a su utilización el estado de las alineaciones del eje en el software del sistema, para que así se puedan calcular las diferencias existentes entre la vía tendida y su posición teórica.

Primera nivelación

Se dice que una vía esta en primera nivelación cuando se han verificado los siguientes hechos:

- Las sujeciones de todas las traviesas están trabajando con un apriete suficiente, entendido como tal lo que dice la Normativa Renfe Vía no vamos a entrar con detalle en ello por considerar que excede los objetivos de este proyecto.
- La banqueta de balasto está prácticamente completa dejando una zona menos compactada en la parte central de la traviesa.

- Se han colocado los postes hectómetros, kilómetros y de rasante tal y como indica el reglamento general de circulación en vía única los postes hectómetros pares se colocarán a la derecha de la vía y los impares a la izquierda, en las líneas de vía doble los postes de hectómetro par se colocan del lado de la vía II o vía par y los de hectómetro impar en el lado de vía I o impar.

Segunda nivelación

Se dice que una vía esta en segunda nivelación cuando se han cumplido los siguientes hechos:

- La vía ha sido comprobada en primera nivelación
- Se han liberado las tensiones de las barras largas, si fuera necesario
- Las sujeciones están trabajando son su apriete definitivo
- Ha transcurrido un mínimo de un mes desde la primera nivelación y han circulado al menos 200.000 toneladas
- La banqueta de balasto esta completa y perfilada
- Se ha retirado: todo el balasto excedente, los materiales nuevos sin utilizar en el montaje y los materiales procedentes de los desguaces
- La vía cumple las tolerancias indicadas en los siguientes cuadros dependiendo de la velocidad máxima de la vía
- Para la topografía de vía, lo más importante es comprobar que la vía cumple con las tolerancias establecidas por Normativa. Para ello se adjuntan a continuación los cuadros de aplicación dependiendo de la velocidad máxima de la vía a construir.

PARÁMETRO			1ª NIVELACIÓN	2ª NIVELACIÓN
ANCHO DE VÍA	Error absoluto		- 2 + 4 mm	± 2 mm
	Variación entre traviesas consecutivas		2 mm	2 mm
NIVELACIÓN	Transversal	Peralte	± 5 mm	± 2 mm
		Variación en 5 m	8 mm	3 mm
		Consolidación de traviesas	≥ 0,8	≥ 0,8
	Longitudinal	Diferencias	- 15 - 30 mm	6 mm
		Variación en 5 m	10 mm	7 mm
ALINEACIÓN	Distancia a granete		± 10 mm	± 6 mm
ALINEACIÓN (Flechas cada 5 m)	En recta		----	± 2 mm
	En curva	R > 1.500	----	± 3 mm
		1.500 ≥ R ≥ 500	----	± 3 mm
		R < 500	----	± 3 mm

Cuadro 7.1: fuente: Normativa Renfe Vía N.R.V. 7-1-3.1. Montaje de vía. Instalación de la vía. Primera edición: Enero de 1993. Dirección de Mantenimiento de Infraestructura. Dirección técnica

TRABAJO	PARÁMETRO	TOLERANCIAS (mm)		OBSERVACIONES
		Diferencias	Variaciones cada 5 m	
Primera Nivelación Previa	Alineación	± 30	10	
	Nivelación longitudinal Cota teórica - 70 mm	+ 20 - 30	10	
	Peralte provisional	± 10	6	A definir por el Director de Obra
	Ancho de vía	- 2 + 4	—	
Se efectuarán otras nivelaciones previas con levantes sucesivos hasta alcanzar la cota teórica de - 25 mm (± 5 mm)				
PRIMERA NIVELACIÓN	Alineación	± 10	5	
	Nivelación longitudinal Cota teórica - 15 mm	+ 0 - 10	6	
	Peralte provisional	± 5	5	A definir por el Director de Obra
	Ancho de vía	- 2 + 4	2	
Primera Estabilización Dinámica	Alineación	± 12	5	
	Nivelación longitudinal Cota teórica - 25 mm	+ 5 - 10	5	
	Ancho de vía	- 2 + 4	2	
	Peralte provisional	± 8	6	
SEGUNDA NIVELACIÓN	Alineación	± 6	3	
	Nivelación longitudinal	± 5	5	
	Peralte	± 3	2	
	Ancho de vía	± 2	2	
	Consolidación de traviesas	≥ 0,8	—	
Segunda Estabilización Dinámica	Alineación	± 6	3	
	Nivelación longitudinal	+ 5 - 10	5	
	Peralte	± 3	2	
	Ancho de vía	± 2	2	
	Consolidación de traviesas	≥ 0,9	—	

Cuadro 7.2: Fuente: Normativa Renfe Vía N.R.V. 7-1-3.1. Montaje de vía. Instalación de la vía. Primera edición: Enero de 1995. Dirección de mantenimiento de infraestructura. Dirección técnica

Vía terminada

La vía se considera terminada cuando se cumplen cuando se cumplen los siguientes hechos:

- La vía ha sido recepcionada en segunda nivelación
- Los pasos y cunetas están limpios y libres de hierba, con su perfil adecuado.
- Se han perfilado los taludes de desmontes y terraplenes
- Se han establecido las hojas de dos kilómetros definitivas

Hojas de dos kilómetros

Las cotas teóricas de la superficie de rodadura del carril deberán figurar en un perfil longitudinal de cada línea, junto con otros datos necesarios para las secciones de vía y obras. Este perfil longitudinal se confeccionará, constituyendo las llamadas hojas de dos kilómetros.

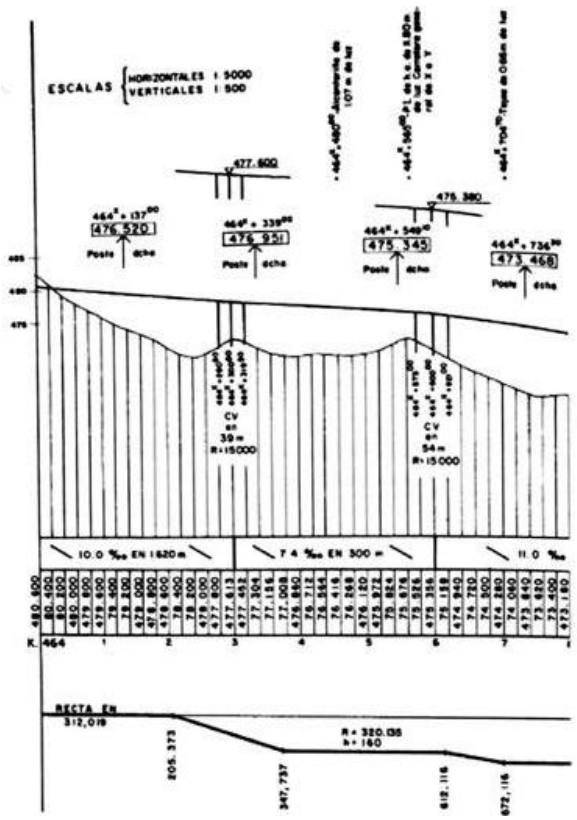


Figura 7.32: ejemplo de hoja de dos kilómetros. Fuente: Normativa Renfe Vía N.R.V. 7-3-5.5. Calificación de la vía. Nivelación longitudinal. Primera edición: septiembre de 1983. Área de inversiones. Gabinete de proyectos y Normas

CONTROL Y TOLERANCIAS

Para alcanzar las tolerancias indicadas en el punto anterior, las operaciones fundamentales de tendido y montaje de vía se someten a un control inmediato y a controles de recepción.

Control inmediato

Se realiza inmediatamente después de cada operación, especialmente detrás de la actuación de la bateadora-niveladora-alineadora, a fin de vigilar cualquier desajuste de la maquina o distracción del operador. Comprende las comprobaciones de:

- Ancho de vía después del montaje
- Nivelación transversal o peralte después de cada nivelación
- Alineación a simple vista

Controles de recepción

Se realizan de acuerdo con lo indicado en la Normativa N.R.V. 7-1-0.5 pero no vamos a entrar en ello por considerar que excede los objetivos de este proyecto.

VELOCIDADES ADMISIBLES Y PRECUACIONES DURANTE LA CONSTRUCCION

El montaje de vía debe realizarse con limitación de velocidad a 20 a 30 km/h, según las características de la obra. Después de montar la vía debe efectuarse lo antes posible una nivelación y alineación provisionales tales que permitan circular a 60 km/h por la vía.

Cuando una vía esta en primera nivelación puede autorizarse una velocidad de 80 km/h, si no se han liberado las tensiones de las barras largas. Efectuada la liberación de tensiones y después de haber circulado 80.000 toneladas sobre ella. Si se ha compactado con maquinaria pesada o 100.000 toneladas en caso contrario, debe autorizarse la velocidad normal de itinerario.

La velocidad normal de itinerario puede establecerse también sin esperar el paso de 100.000 toneladas cuando la temperatura máxima diaria en el carril no alcance 40° centígrados. La velocidad normal de itinerario puede establecerse antes de realizar la liberación de tensiones cuando la temperatura máxima no exceda en 25° centígrados a la menor temperatura a la que se hayan fijado las barras largas provisionales, esta excepción tiene un carácter temporal. La liberación de tensiones debe hacerse lo antes posible, pero si las temperaturas se elevan sin haberla realizado, debe imponerse la limitación de 80 km/h.

Las longitudes máximas de precaución debe figurar en el plan marco del contrato y se establecerán en función del montaje mensual.

Por último, en montaje de vía doble debe establecerse una precaución de 60 km/h por vía no tratada durante las horas de trabajo.

7.3.3 TRABAJOS DE RENOVACION DE VIA

Se denomina renovación de vía a la sustitución total de la superestructura de la vía, esto supone la sustitución de las traviesas, el carril y el pequeño material de vía, no obstante en las labores de mantenimiento, se suelen dar renovaciones parciales en las que se sustituye solamente algunos de los materiales citados. Este tipo de obras son las más frecuentes en el momento ferroviario además son especificas del mismo.

La renovación de una vía presenta unas características que diferencian su montaje del correspondiente a una vía nueva ya que cuando su trazado en planta no se aparta notablemente de la vía primitiva, suele existir una plataforma y una banqueta de balasto deterioradas que se precisan corregir antes de efectuar.

Las operaciones a realizar son las siguientes:

- Desaguace de la vía primitiva
- Preparación de la plataforma y del balasto
- Asiento de la nueva vía
- Liberación de tensiones en su caso
- Perfilado de la banqueta, del paseo y de las cunetas

DESGUACE DE LA VIA PRIMITIVA

Para desenroscar los tornillos de brida fácilmente, se lubrican con una mezcla de aceite y petróleo a partes iguales, cuatro días antes de desguazar la vía.

En las vías sin junta, los carriles se cortan a las longitudes adecuadas. Una vez sueltas sus sujeciones, se procede al levantamiento de carriles y traviesas.

Para levantar la vía mediante pórticos, se separan las parejas en longitudes apropiadas del orden de 36 metros y se transportan, en el tren de montaje, al parque de desguace donde se clasifican los diferentes materiales.

Imagen 7.19: trabajos de renovación de vía en la línea de ancho convencional Zafra-Huelva. Fuente: http://www.ugofe.com.ar

PREPARACION DE LA PLATAFORMA Y DEL BALASTO

Cuando el balasto sea aprovechable y la plataforma se encuentre en buen estado, el balasto se trata con un desguarnecedora, antes de proceder al desguace de la vía o habiéndola renovado previamente. Una vez limpio el balasto se coloca nuevamente en la explanación, contemplando su banqueta con otro de nueva aportación.

Cuando el balasto no sea aprovechable, una vez desguazada la vía se retira la capa superior de la banqueta en un espesor mínimo de 5 cm y se receba, riega y apisona el resto para formar la terminación de la plataforma. Sobre esta sub-base se dispone una banqueta de balasto nuevo.

Cuando la plataforma está deteriorada, se completa con balasto viejo recebado y si fuera preciso con suelo granular de características adecuadas, disponiendo fieltro anticontaminante, cuando sea necesario, y se construyen o reparen las cunetas y la red de drenaje. El perfil transversal de la plataforma se ajustará a las indicaciones de Normativa N.R.V. 2-0-2.0, debiendo tomarse medidas para la evacuación correcta de las aguas durante las operaciones de construcción o reparación. Todos los productos que no vayan a ser utilizados se trasladarán a vertedero.

Imagen 7.20: Desguarnecedora trabajando. Fuente: http://www.google.com

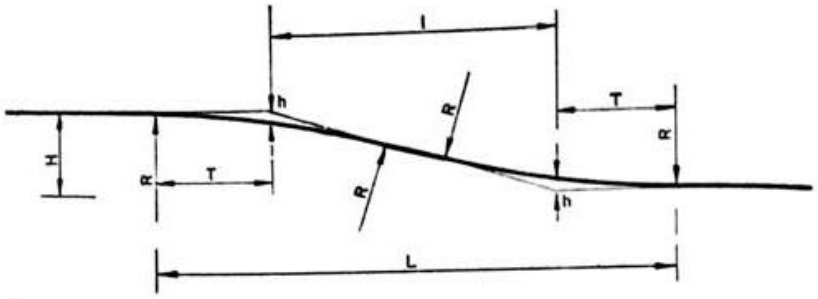
ASIENTO DE LA VIA NUEVA

Una vez bien compactada y bien nivelada la plataforma, se procede a asentar la nueva vía que generalmente se encuentra situada a diferente nivel de la anterior.

Para dar paso a una circulación se precisa una correcta alineación de los carriles, nivelarlos someramente tanto longitudinal como transversalmente y formar unas rampas de unión con los tramos adyacentes de vía.

Debe ponerse especial cuidado en observar los siguientes puntos:

- **Rampas de unión:** la rampa de acuerdo con el tramo adyacente tendrá una inclinación máxima de 10 por 1.00 sobre la existente, en alineaciones rectas. En ambos casos deben redondearse a ojo los dos vértices del acuerdo. Esta rampa puede aumentarse cuando se adopten dos acuerdos verticales, de radio igual a 500 m en los vértices de unión.
  Para poder preparar la plataforma en las renovaciones, se hará el desguace de la antigua vía hasta el final de la rampa de unión y la nueva vía se montará con materiales nuevos hasta el principio de la misma, solamente el resto de la vía nueva, hasta empalmar con la usada, se realizara con materiales usados.
- Alabo de la vía: este no excederá de 20mm en 6 m
- Defectos de alineación: en los defectos de alineación no se admitirán tramos de vía con radio inferior a 150 m



H	RAMPA	l	L	R	T	h
0,20	20‰	10,00	20,00	500	5,00	0,025
0,25	20‰	12,50	22,50	500	5,00	0,025
0,30	20‰	15,00	25,00	500	5,00	0,025
0,35	20‰	17,50	27,50	500	5,00	0,025
0,40	20‰	20,00	30,00	500	5,00	0,025
0,45	20‰	22,50	32,50	500	5,00	0,025
0,50	20‰	25,00	35,00	500	5,00	0,025

Figura 7.32: Valores de longitudes de rampa y de acuerdos verticales en función de la diferencia de cota entre vía nueva y Antigua. Fuente: Normativa Renfe Vía N.R.V. 7-1-0.3. Vía montaje de vía. Primera edición: Agosto de 1983.

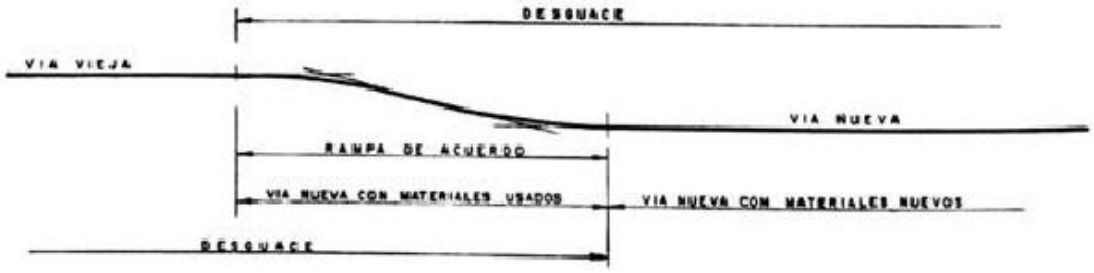


Figura 7.33: Ejemplo de materiales usados y nuevos en las renovaciones de vía. Fuente: Normativa Renfe Vía N.R.V. 7-1-0.3. Vía. Montaje de vía. Primera edición: Agosto de 1983

La vía se termina mediante la acción de las maquinas bateadoras-niveladoras-alineadoras, tal y como se escribió anteriormente para el caso de nuevas vías, pasando por los periodos de primera y segunda nivelación hasta la terminación definitiva.

TRABAJOS TOPOGRAFICOS EN LA RENOVACION DE VIA

La renovación de vía es uno de los trabajos ferroviarios más comunes y la topografía necesaria para su realización tiene algunas características propias que defieren de la metodología para la construcción de una nueva línea. Una gran cantidad de las renovaciones de realizan en vías relativamente antiguas, así que en muchos casos no se dispone ni de un trazado en planta y alzado que no sirva para saber cuál es la geometría de la vía existente, en estos casos se deberá auscultar la vía para conocer su situación previa a la renovación.

Lo primero es materializar una red de bases de replanteo y nivelación a lo largo de la zona de actuación. En la mayoría de los casos bastara con una observación entre ellas y el cálculo de sus coordenadas relativas, pero si la obra de renovación es de gran envergadura será necesario su enlace a la red geodésica del IGN. Como ya sabemos la precisión de la red establecida va a determinar la precisión de los trabajos en el posicionamiento de la vía renovada.

Una vez colocadas las bases, como ya se ha dicho será necesaria la auscultación de la vía a renovar. Se puede realizar por la metodología clásica utilizando estación total, nivel, regla de ancho y peralte, asas de flechar… o con el carro de vías recomendable en obras de grandes longitudes.

Imagen 7.21: auscultación con el carro de vías. Fuente: http://www.dosdemil.es

Tras obtener los datos del estado de la vía a renovar se podrán comparar con su trazado teórico, en el caso de que se disponga del mismo o se deberá generar uno que se adapte al tramo y que cumpla con la Normativa existente, caso más probable.

Otro caso es que conocida la geometría de la vía de un determinado tramo ferroviario se pretendan cambiar sus parámetros para incrementar la velocidad del tramo. Resulta bien conocido que el tiempo de viaje constituye uno de los atributos más valorados en todo modo de transporte. En este contexto, el ferrocarril ha tratado de reducir los tiempos comerciales de viaje, mediante la implementación de distintos tipos de actuaciones así, antes de llegar a la conclusión de que es necesaria la construcción de nuevas infraestructuras con geometría apta para elevadas prestaciones o la construcción de variantes locales,

ambas opciones con un elevado coste de inversión, existen otros factores sobre los que actuar para incrementar la velocidad como:

- Reducción de las aceleraciones aleatorias debidas a los defectos geométricos de la vía
- Elevación del peralte existente en la vía
- Modificación del radio en planta de las curvas

Algunas de estas operaciones suelen originar obras importantes en la infraestructura, así entre los trabajos a realizar en la infraestructura deben citarse la adecuación de:

- Las dimensiones transversales de la plataforma a las nuevas necesidades de la vía
- Taludes y muros de sostenimiento
- Red de drenaje
- Puentes y desagües
- Túneles

Todas estas adecuaciones de la infraestructura al nuevo trazado aumentan mucho la carga de trabajo a la topografía de la obra.

También puede ser necesaria la mejora del alzado de la vía. Pueden considerarse las siguientes operaciones principales:

- Instalación de curvas verticales adecuadas
- Rectificacion de la inclinación de rampas y pendientes adaptándolas a las nuevas necesidades

Una vez calculado convenientemente el eje en planta y en alzado que tendrá la vía, se puede proceder a la renovación según se ha descrito en los apartados anteriores.

7.3.4 MONTAJE DE APARATOS DE VIA

La instalación de aparatos de vía desvíos, escapes y travesías, se realiza en los siguientes tipos de obra:

- En vía existente
- De vía nueva

Las obras en vía pueden ser:

- De renovación
- De sustitución

En las obras de renovación, la sustitución de los aparatos de vía constituye una de las partes fundamentales del conjunto general de la obra. En las obras de sustitución propiamente dicha. Esta se produce por mejora global de una estación, bien será por adaptación a nuevas necesidades, bien por la instalación de un nuevo enclavamiento o por cualquier otro motivo.

Siempre que se trate de obras sobre vía existente, el trabajo de sustitución de los aparatos de vía se ha de realizar en dos fases:

1) Ensamblado en explanación
2) Transporte e instalación en vía

Las obras de vía nueva pueden ser:

- De construcción de una nueva línea
- De trazado de una variante

En cualquiera de estos últimos casos, al no afectar a instalaciones ya existentes ni a la circulación el montaje se puede hacer directamente sobre la plataforma o lugar de ubicación definitiva del aparato.

El replanteo de un desvío debe corresponder con el de la vía es decir se utilizara el eje de trazado en planta y la rasante de la vía para su replanteo, solo será necesario saber su situación en P.K., de este modo estando el desvío sobre vía general, su eje debe corresponder exactamente con el de esta. Para el replanteo en campo coincidiendo con la alineación de la vía en la que se coloca el desvío, se pondrán dos piquetes de carril, uno frente a la junta de contra aguja y otro frente a la última junta de vía directa del desvío, ambos con un granetazo y un corte de sierra para situarlo en planta y en alzado respectivamente. En desvíos de gran longitud se hará uso de un tercer piquete coincidente con el talón de la contra aguja recta del cambio.

7.4 MONTAJE DE VIA EN PLACA

Históricamente se le ha venido exigiendo al ferrocarril transportar mayores cargas a mayores velocidades. Para ello se ha venido desarrollando, en las últimas décadas en muchas administraciones ferroviarias todo el mundo. Un tipo de vía más resistente y rigida que permita estos incrementos sin que se disparen los costes de mantenimiento. Este tipo de vía es conocido como vía en placa y consiste, básicamente en sustituir el lecho de balasto bajo la traviesa por una losa de hormigón armado.

Esta losa de hormigón puede ser prefabricada, pero lo más común es que construya ≪ ≫, mediante encofrado deslizante más adelante se trataran con detenimiento las soluciones constructivas más conocidas de vía en placa. El resto de elementos son similares a los de una vía convencional en balasto de madera, con la excepción de un elemento extra: el elastómero, material plástico derivado del petróleo, que se introduce entre la traviesa y la losa, y que sirve para aumentar la flexibilidad del conjunto, entre otras características.

La vía en placa tiene en la actualidad numerosas aplicaciones, se utiliza en algunas líneas de alta velocidad sobre todo cuando se quiere reducir el gasto de mantenimiento y escasea el balasto, en ferrocarriles metropolitanos tranvías, metros ligeros y metros convencionales, en estaciones, túneles, puentes, etc.

7.4.1 COMPARACION ENTRE VIA EN BALASTO Y VIA EN PLACA

La vía en placa aparece como alternativa a la vía convencional sobre balasto con el objetivo de disminuir los gastos de mantenimiento y alargar la vida útil, ya que la vía en balasto se deteriora antes con el paso de grandes cargas a grandes velocidades, principalmente en lo que a conservación de la geometría se refiere. Frente a esta y otras ventajas, la vía en placa presenta también una serie de inconvenientes. Por ello desde los años sesenta, diversas administraciones ferroviarias, sobre todo en Japón y Alemania, han estado investigando para minimizar los inconvenientes de este sistema. En España, el primer tramo experimental de vía en placa se instalo en el tramo Ricla-Calatorao, de la línea Madrid-Zaragoza en 1975. Estas investigaciones junto a su utilización en determinadas líneas, han permitido mejorar el sistema con lo cual sus inconvenientes se han minimizado y puede decirse que hoy en día, la vía en placa es una alternativa viable a la vía convencional en determinados casos.

Imagen 7.22: vía en placa sistema OBB-POOR instalado en túnel (Austria). Fuente: http://www.railone.com

Se citan a continuación las desventajas:

- Elevado coste de construcción

En torno al doble que la vía convencional en balasto.

- Gran rigidez

En el caso del ferrocarril, los esfuerzos dinamicos son muy importantes. Por ello es necesario que la vía tenga gran elasticidad para amortiguar y absorber las cargas que tras las grandes deformaciones que se producen al paso del tren, la vía pueda recuperar su estado inicial sin quedar con deformaciones permanentes. Sin embargo la vía en placa es muy rígida. La elasticidad de la vía en placa siempre mucho menor que en la vía convencional se confía a las sujeciones y a las juntas elásticas entre los distintos elementos normalmente el elastómero entre traviesas y losa. Asimismo la plataforma de base debe ser muy resistente, ya que al ser tan rígida la vía en placa le transmite grandes cargas.

- Fisuras

La vía en placa es una estructura muy sensible a los asientos, si el terreno asienta, puede llegar a fisurarse

- Drenaje

En la vía en balasto el desagüe se confía a los huecos del balasto, mientras que en la vía en placa deben disponerse específicos para evacuar el agua, canaletas y registros.

- Dificultad en la corrección de geometría

En la vía de balasto, su instalación y corrección geométrica durante las labores de mantenimiento es una tarea relativamente sencilla, mediante el bateo de la vía, sin embargo durante su construcción, la vía en placa debe instalarse en su posición exacta, ya que una vez instalada no puede moverse lo cual requiere de maquinaria de gran precisión. Por otro lado durante su vida útil, debido a su gran rigidez, la vía en placa mantiene durante mucho tiempo las características geométricas, pero si se deforma principalmente debido a asientos que producen su agrietamiento es muy costoso y complicado su arreglo.

- Ruido

En el caso de la vía convencional, el balasto disipa las vibraciones producidas por el paso del tren, por lo que los niveles sonoros son bajos. En la vía en placa las vibraciones se absorben menos, por lo que el nivel sonoro es mayor que en la vía en balasto. Actualmente se utilizan materiales de amortiguamiento acústico elastómero en juntas, recubrimientos de hormigón poroso o gravilla que reducen los ruidos.

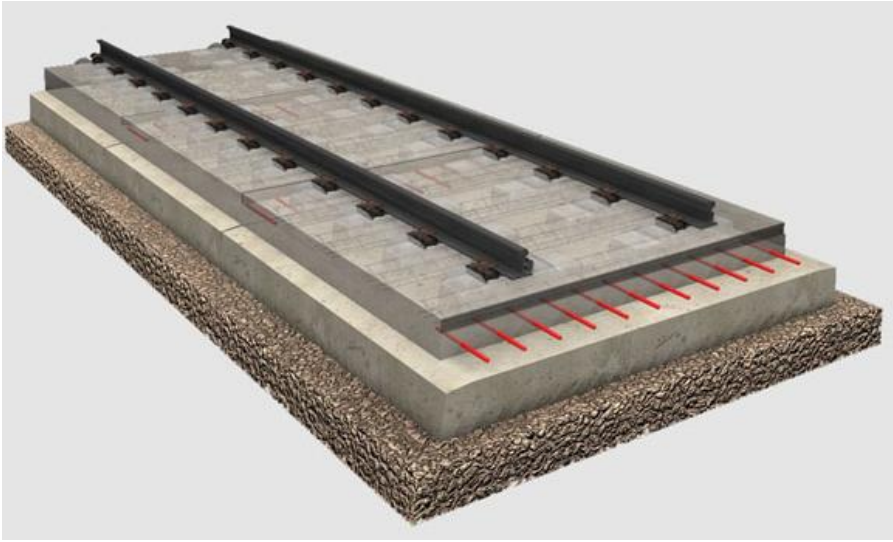


Imagen 7.23: modelo en 3D de la estructura de la vía en placa del sistema sin armadura continua sobre capa portante de balasto. Fuente: http://www.railone.com

Las ventajas fundamentales de la vía en placa son las siguientes:

- Menor mantenimiento

La necesidad de un menor mantenimiento ocasiona menores costes y más disponibilidad operativa.

- Mayor vida útil
- Menor sección

La sección de la vía en placa es menor que la de la vía en balasto, lo que es una ventaja en los túneles, al ser menor la sección a excavar, y en los puentes al ser menor la anchura de tablero necesaria.

Otra ventaja de su instalación en túneles es que reduce la necesidad de mantenimiento en los mismos. Operación más complicada de realizar que a cielo abierto, por ello muchas líneas ferroviarias construidas en balasto, disponen de tramos de vía en placa solamente en las zonas de túnel.

- Mayores cargas

Admite mayores cargas que la vía en balasto, incluso a altas velocidades.

  - Teniendo en cuenta estas ventajas e inconvenientes de la vía en placa, los principales campos de aplicación, ene general, son
- Por su mayor coste, la vía en placa es muy poco utilizada en líneas ferroviarias convencionales. Sin embargo, debido a las grandes cargas que se producen cuando se circula a gran velocidad, las vías de alta velocidad tienen elevados niveles de exigencia en cuanto a cargas a absorber y mantenimiento de la geometría. Para absorber mas cargas era necesario aumentar el espesor de la capa de balasto, lo cual en algunas ocasiones no es posible, debido a la escasez del mismo, y para mantener la nivelación se hacía necesario intensificar las operaciones de mantenimiento. Con la vía en placa se consigue una vía más resistente, que soporta mayores cargas sin sufrir deformaciones permanentes, por lo cual es adecuada para la alta velocidad, sobre todo cuando se dan otras condiciones, como la escasez de balasto, la existencia de muchos túneles y puentes, etc.
- El trazado de las líneas de alta velocidad es muy rígido y exigente. Cuando la línea traviesa un terreno montañoso se hace necesaria la construcción de un gran número de túneles y puentes. Estas obras tienen una rigidez muy superior a la del terreno, lo que provoca asientos diferenciables. Por ello para evitar discontinuidades resulta adecuada la instalación de la vía en placa en todo el tramo.

- La vía en placa es muy utilizada actualmente en metros y ferrocarriles suburbanos, sistemas de transporte que transcurren durante casi todo su trazado en túneles, además de soportar grandes intensidades de tráfico y donde las horas disponibles para realizar los trabajos de mantenimiento son mínimas
- También es adecuada para instalarse en estaciones de viajeros, ya que dota a la vía de una estética más moderna y puede limpiarse fácilmente.

7.4.2 SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS DE VIA EN PLACA

Existen numerosas formas de clasificar la vía en placa, en el presente documento se va adoptar una clasificación de doble que caracteriza los sistemas de vía en placa comerciales según su número de niveles elásticos así como según sus elementos constructivos. La ventaja de esta clasificación reside en que se consideran tanto los elementos que los componen, dato necesario para conocer su dominio de aplicación más conveniente, como el número de elementos elásticos que van a controlar su comportamiento.

En base a los niveles elásticos, se distinguen:

- Sistemas de un solo nivel elástico, cuando disponen únicamente de un elastómero bajo el patín del carril que proporciona elasticidad al sistema
- Sistemas de dos niveles elásticos sin bloque intermedio, en general consisten en la disposición de una placa metálica entre patín y losa separada de ambos por sendos elastómeros.
- Sistemas de dos ó más niveles elásticos con bloque intermedio, que se caracterizan por que al menos dos de los elementos que confieren elasticidad al sistema se encuentran separados por un bloque, generalmente de hormigón ya sea un bloque propiamente dicho, una traviesa o una losa de hormigón.

En lo que respecta a los niveles constructivos la primera distinción se realiza atendiendo al tipo de sujeción, distinguiendo entre sujeciones continuas y discretas. En el primer caso, el carril se encuentra sujeto en toda su longitud, mientras que en el caso de la sujeción discreta, como en la vía clásica, el carril se encuentra sujeto puntualmente en una distancia de separación entre sujeciones fija.

La segunda distinción se realiza en función del tipo de posicionamiento de los carriles donde cabe distinguir entre:

- Sistemas con hilos de carril independientes, donde no existe ningún elemento prefabricado que garantice el ancho de vía ya sea traviesa o losa prefabricada.
- Sistemas con hilos de carril posicionados y nivelados mediante algún tipo de elemento prefabricado

A su vez, los sistemas de vía en placa con hilos independientes del carril, se subdividen en:

- Sistemas de carril embebido: sistemas sin elementos prefabricados, con fijación del carril mediante algún material elastómero a los bordes de una canaleta situada en placa principal para alojar el carril.

Imagen 7.24: tranvía de Zaragoza con sistema de carril embebido. Fuente: http://www.google.com

- Sistema de apoyo directo del carril, bien de forma directa o bien mediante bloques independientes similar a traviesas bibloque sin riostra

Los sistemas de apoyo directo del carril se clasifican en función del tipo de elemento prefabricado empleado para la nivelación y posicionamiento en sistemas con traviesas ya sean monobloque o bibloque o con losas de prefabricadas dispuestos sobre la placa principal. Por último en lo que se refiere a la disposición de las traviesas, esta puede ser incrustada en el hormigón o apoyada sobre la placa principal ya sea de asfalto o de hormigón.

En el cuadro siguiente se resume la clasificación adoptada en este documento para los sistemas comerciales de vía en placa más habituales.

CLASIFICACIÓN DE LA VÍA EN PLACA		Familias				
		1	2	3	4	5
Características estructurales	Sistema de sujeción	Continuo	Discreto			
	Posicionamiento del carril	Hilos de carril independientes		Posicionamiento y nivelación del carril mediante elementos prefabricados		
	Elementos reemplazables	No lleva	Puede llevar bloque simple	Con traviesas		Con losas
Niveles Elásticos	Método constructivo	Vertido de resina in situ	Apoyo del carril sin traviesas	Traviesas incrustadas en hormigón	Traviesas apoyadas sobre estructura soporte	Losas dispuestas sobre placa
1 nivel elástico	A	**Carril embebido**	**Apoyo directo del carril**	-	-	-
		EDILON	PACT			
2 niveles elásticos sin bloque intermedio	B	-	**Apoyo indirecto del carril**	**Monolítica con traviesas**	**Traviesas apoyadas sobre losas**	**Losa apoyada con** mortero no elástico
			Züblin BTE Heilit W. BES APPITRACK CrailsheimFCC Rasengleis Hochtief/SM	RHEDA RHEDA Berlín RHEDA 2000 HEITKAMP ZÜBLIN	BTD ATD GETRAC WALTER SATO	BÖGL
≥ 2 niveles elásticos con bloque intermedio	C	-	**Bloques recubiertos de elastómero**	**Traviesas recubiertas de elastómero**	**Losa flotante con traviesas**	**Losa flotante sin traviesas**
			NS Blokkenspoor SONNEVILLE Bloques EDILON Bloques TRANOSA	STEDEF SATEBA	Mantas CDM	Losa flot. TRANOSA Losa flot. GERB JNR ÖBB-PORR IPA

Cuadro 7.3: clasificación de los sistemas comerciales de vis en placa. Fuente: http://www.ciccp.es

Se caracterizan por la sujeción continua del carril, adhiriéndolo a una canaleta por medio de un elastómero que además de fijar el carril, tiene propiedades elásticas que amortiguan las vibraciones producidas por el paso de los trenes. Esta canaleta puede estar construida en una losa de hormigón, o ser metálica y estar soldada o sujeta a la losa o al tablero metálico de un puente.

El elastómero más habitual que adhiere el carril a las paredes y fondo de la canaleta, es el ≪ ≫, el cual se coloca en estado líquido una vez alineado el carril y se solidifica rápidamente lo que permite el paso de trenes a las pocas horas.

La principal ventaja del sistema es la eliminación de las flexiones del carril entre apoyos de traviesas, la cual conlleva a su vez otras interesantes ventajas como: el bajo coste de mantenimiento debido tanto a la ausencia de fijaciones mecánicas que constituyen la principal causa de deterioro por fatiga del carril como a la innecesaria realización de alineaciones de vía, la amortiguación de ruidos y vibraciones del carril por la mezcla elastomérica que lo soporta, la estanqueidad del corkelast, impidiendo la penetración de agua, aceite, detergentes u vehículos no ferroviarios sobre la placa, lo que hace que el sistema sea particularmente adecuado en pasos a nivel, así como en túneles y estructuras permitiendo el acceso de vehículos de emergencia ambulancias, bomberos, etc. O la reducción de espesor de la superestructura desde la base de la placa a la cabeza de carril que permite una reducción apreciable del diámetro de perforación de túneles. De la profundidad de excavación en soterramientos y de los cantos de los tableros de las obras de paso ferroviarias.

Imagen 7.24: corte transversal del sistema de carril embebido tipo EDILON. Fuente: http://www.ciccp.es

Sin embargo, su mayor inconveniente es la gran precisión que se necesita en la construcción de la placa y las acanaladuras, ya que la corrección de errores en planta o alzado es casi imposible sin picar la vía.

El origen del sistema de carril embebido se debe a las investigaciones que sobre sistemas de vía con bajo mantenimiento emprendieron los ferrocarriles Holandeses hace décadas. En la actualidad, el sistema de vía en placa de carril embebido y en túneles debido a la ventaja de permitir la circulación de vehículos tanto para la limpieza como para las operaciones de salvamento.

SISTEMAS DE APOYO DIRECTO DEL CARRIL

Estos sistemas se caracterizan por la sujeción directa del carril a la placa principal mediante la interposición de una banda elástica continua entre ambos. Al ser la placa de una gran rigidez, toda la suspensión elástica que requiere el carril debe ser proporcionada por la sujeción.

El acabado superior de la placa principal debe presentar el perfil definitivo necesario para la colocación del carril que, en general se fija mediante tirafondos y espiga de nylon embutidas directamente en el hormigón con ayuda de algún mortero de resina epoxi. Dada la escasa flexibilidad del sistema ante la reparación de averías y defectos que puedan surgir tras la construcción, el acabado debe ser muy perfecto. No obstante este gran inconveniente ha sido la principal causa del abandono del sistema.

El prototipo de vía más característico de este sistema es el que se conoce como vía PACT ≪ ≫ fue desarrollada en Inglaterra hacia el año 1965 como resultado de dos proyectos de investigación previos para el desarrollo de equipos que permitieran construir una losa continua de hormigón, uno que trataba de desarrollar la tecnología para que una maquina guiada mediante un cable pudiera trabajar dentro del limitado galibo que corresponde a una vía férrea, sin interferir en las vías adyacentes y otro que trataba de construir dos nuevas secciones de ensayo usando la nueva maquinaria desarrollada. La vía PACT se caracteriza por estar constituida por una losa de hormigón armado sin juntas.

En España, la vía PACT se monto en un tramo experimental de 4,1 km en la línea Madrid-Barcelona en 1975 entre las estaciones de Ricla y Calatorao, que en la actualidad ya no existe al haber sido levantado en 1992 debido a las continuas necesidades de mantenimiento de la geometría.

Figura 7.34: sección tipo del sistema de vía en placa de apoyo del carril colocado en el tramo Ricla-Calatorao de la línea ferroviaria Madrid-Barcelona. Fuente: http://www.ciccp.es

SISTEMAS DE APOYO INDIRECTO DEL CARRIL

Estos sistemas se caracterizan, como el caso anterior por apoyar los carriles sobre la placa principal sin la interposición de traviesas. Sin embargo en estos sistemas, entre el carril y la placa principal, se interpone una placa metálica **intermedia separada de ambos por sendos elastómeros** que confieren una mayor elasticidad al sistema.

La principal ventaja de este tipo de apoyo con placa metálica intermedia es la posibilidad de regular la alineación y nivelación de la vía sin tener que desmontar completamente la vía. Se solventa asi el principal inconveniente de los sistemas de apoyo directo del carril.

Este sistema se ha desarrollado fundamentalmente en Alemania donde desde 1996 se están experimentado diferentes patentes Züblin BTE, Heilit & Woerner BES, Leonard Weiss Crailshem FFC, Heilit & Woernr Rasengleis y Hochtief-Schreck-Mieves en un tramo experimental de 390 m de Waghauls. No obstante, en la Rochelle Francia, se está experimentado la vía APPITRACK que tiene la peculiaridad de empotrar los tirafondos de la placa metálica directamente por vibración en el hormigón fresco.

SISTEMAS DE BLOQUES RECUBIERTOS DE ELASTOMERO

En estos sistemas se sustituye la placa metálica dispuesta entre el carril y la losa de hormigón del caso anterior por un bloque, generalmente de hormigón que se encuentra incrustado en el hormigón de la placa principal. El elastómero que rodea lateral e inferiormente el bloque, puede venir adherido al bloque desde fabrica o puede construirse directamente in situ mediante el vertido de un material elastómerico tipo Corkelast, tal y como ocurría en el carril embebido. En cualquier caso, al quedar recubierto el bloque con un material elastomerico, se garantiza en el sistema una adecuada amortiguación de la carga vertical así como la necesaria elasticidad.

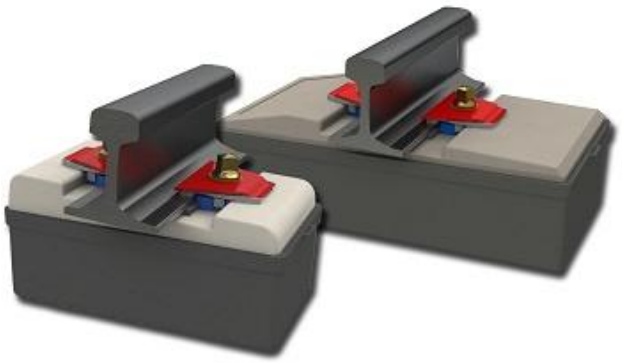


Imagen 7.25: sistemas de bloques recubiertos de elastómero. Fuente: http://www.sufetra.es

La principal vía de este sistema es la SONNEVILLE, caracterizada por montar el carril sobre bloques recubiertos de una goma que otorga flexibilidad vertical y lateral al sistema. Esta vía se coloco en 1993 en el túnel bajo el canal de la Mancha en una longitud de 100 km. Tras esta experiencia, la SNCF ha abandonado su uso a favor de los sistemas de traviesas recubiertas de elastómero que presentan la ventaja de mantener mejor el ancho de la vía. En España la variante más utilizada son los boques EDILON que se posicionan sobre la placa principal mediante **corklast**. Esta solución se está utilizando ampliamente en ferrocarriles metropolitanos, como es el caso del Metro de Madrid. Por último, cabe reseñar la existencia de otros prototipos, como la vía **Blokkenspoor** NS montada en el túnel de **Schiphol** en el aeropuerto de AMSTERDAM en 1986 muy similar a la vía SONNEVILLE.

En definitiva. Por las experiencias existentes, parece ser que el sistema es adecuado para su implantación en túneles por la reducción de galibo que supone y para velocidades no muy elevadas.

SISTEMAS MONOLITICOS CON TRAVIESAS

Se caracterizan por disponer las traviesas directamente embutidas en la losa de hormigón de la placa principal, solidarizando el conjunto traviesas-placa principal. Se trata al igual que los sistemas de apoyo del carril sin traviesas, de un sistema relativamente rígido, residiendo la totalidad de la elasticidad en la sujeción. Así la técnica empleada para conferir elasticidad al sistema consiste en colocar una placa de acero intermedia entre el carril y la losa con sendos elastómeros, como en el caso del sistema de apoyo indirecto del carril.

Estos sistemas presentan la ventaja de permitir una mecanización casi total en su proceso de montaje posibilitando alcanzar rendimientos muy altos de construcción, así como la posibilidad de corregir el posicionamiento de la vía en alzado, no solo a través del sistema de sujeción del carril, sino también durante el proceso de construcción.

Dentro de este sistema de vía en placa se incluyen varias tipologías de vía diseñadas por casas alemanas, entre las que destacan: los modelos RHEDA y ZUBLIN.

El modelo Rheda fue utilizado por primera vez en un tramo de 640 m en la estación de Rheda-Westfalia, de la línea Hannover-Hamm, por la empresa Dywidag. El montaje de la vía se lleva a cabo colocando las traviesas monobloque en su posición final mediante husillos dentro de la artesa que forma la placa base, hormigonado su interior posteriormente. Recientemente en las nuevas tipologías Rheda Berlin y Rheda 2000, las traviesas monobloque han sido sustituidas por traviesas bibloque. Por su lado la vía Rheda 2000 se caracteriza por prescindir de la forma de artesa de la placa base. Tradicionalmente el más empleado ha sido la Rheda clásica, destacando los 117 km de la línea Berlin-hannover en 1998. En lo que respecta a la vía Rheda Berlin, se coloco en 87 km de la línea Koln-Rhein/Main. Sin embargo hoy en día el prototipo que más se está montando es la Rheda 2000, que fue instalado por primera vez en los 7 km entre AMSTERDAM y la frontera belga, puestos en servicio en 2006. Cabe reseñar que en España, la vía Rheda 2000 constituye el prototipo adoptado para su instalación en los túneles de Guadarrama y del Perthus, de las nuevas líneas de alta velocidad Española.

El modelo ZUBLIN sintetiza la versión perfeccionada de las variantes ensayadas en la circunvalación norte de MUNICH en 1977. Su principio constructivo es muy similar al RHEDA, pero a diferencia de esta el hormigón no se introduce entre y bajo las traviesas de la parrilla de vía ya montadas sino que las traviesas se empotran en el hormigón fresco de la placa principal hormigonada in situ de forma que por medio de un equipo de trabajo especialmente diseñado para ello, las traviesas de hormigón se introducen a presión vibrando en el hormigón fresco. Esta variante presenta los inconvenientes total del montaje, reducen sus ámbitos de aplicación así como de problemas para ele ejecución de peraltes mayores a 150 mm. Desde el año 1988 se ha instalado, con carácter experimental en muchos tramos de ensayo en Alemania y en el año 2002 se ha montado una longitud de más de 42 km en la línea KOLN-RHEIN/MAIN.

SISTEMAS DE TRAVIESAS RECUBIERTAS CON ELASTOMERO

Los sistemas de vía en placa de traviesas recubiertas con elastómero se caracterizan porque las traviesas, que están empotradas e la placa principal, quedan recubiertas inferior y lateralmente por un material de tipo caucho cuya principal función es proporcionar elasticidad transversal y amortiguación adecuada al sistema. Así estos sistemas presentan un doble plano de elasticidad separado por una masa intermedia. De este modo, se consigue que las traviesas trabajen como si estuvieran articuladas, quedando libres en parte pudiendo de esta forma realizar un giro al paso de las cargas móviles. Se reproduce así el efecto elástico y de absorción de energía del balasto.

El interés de estos sistemas reside en una captación selectiva de los tipos de frecuencias nocivas, en los niveles donde se manifiestan: las altas frecuencias que se transmiten por el propio carril en nivel de sus sujeciones elásticas a las traviesas y las bajas frecuencias, por el elastómero que recubre la traviesa.

El prototipo más característico de este sistema es la vía STEDEF ideada por Roger Sonneville en 1964. Se caracteriza por la disposición de traviesas bibloque envueltos lateral e inferiormente por un colchón neumático realizado con un elastómero de estructura celular cerrada, con burbujas microscópicas llenas de nitrógeno.

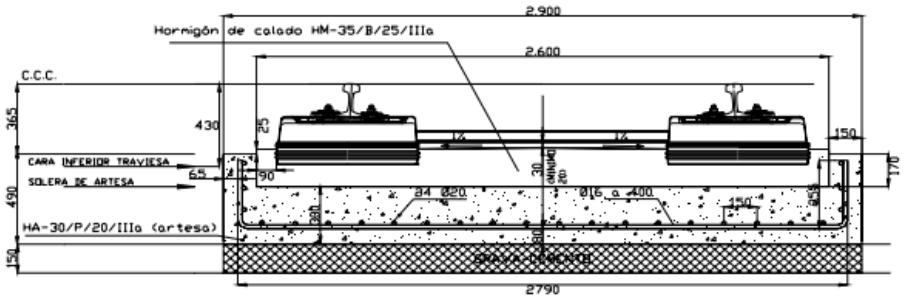


Figura 7.35: Sistema STEDEF del tramo experimental Oropesa-Las Palmas. Fuente: http://www.ciccp.es

Su capacidad para amortiguar vibraciones la hace especialmente adecuada para entornos urbanos. Sin embargo su implantación en el soterramiento de las vías de Cercanías en Getafe en el año 2000 ha sido una pésima experiencia. Los problemas de ruidos y vibraciones son constantes, e incluso tras cambiar a cazoletas de mayor elasticidad siguen existiendo. Pese a ello es una solución muy utilizada en túneles y estaciones de líneas de la SNCF (Sociedad Nacional de Ferrocarriles Francesas) y la RATP (Compañía Arrendataria Autónoma de los Transportes Parisinos). En España también se encuentra montada en estaciones como Málaga o Sevilla-Santa Justa.

SISTEMAS DE TRAVIESAS APOYADAS SOBRE LOSA

En estos sistemas de vía en placa. Las traviesas se disponen directamente sobre la placa principal, sin estar embutidas. De este modo se aumenta la elasticidad del sistema con respecto a los sistemas monolíticos, aunque el grueso de esta es proporcionada por la sujeción, salvo en el caso de que la placa principal sea de asfalto. Hasta ahora todos los sistemas de fijación de la traviesa a la losa consisten en la disposición de algún metálico de acople a través de un orificio situado en centro de la traviesa.

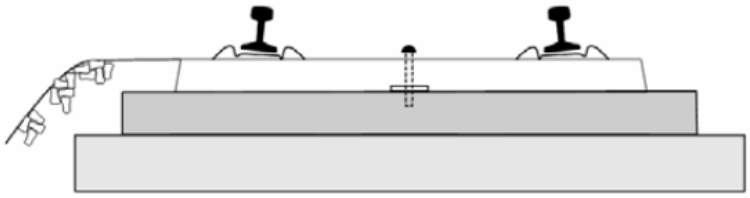


Figura 7.36: Esquema del sistema de traviesas apoyadas sobre losa BTD. Fuente: http://www.ciccp.es

Dentro de esta familia las vías más características son la GETRAC y la ATD, ambas con placa principal asfáltica. En lo que respecta a vías de losa de hormigón, son pocos los prototipos existentes destacando la vía BTD, $\ll hh\ a \gg$, desarrollada por la empresa Heilit+Woerner, que usa exclusivamente.

SISTEMAS DE LOSA FLOTANTE CON TRAVIESAS

Una variación de los sistemas de traviesas apoyadas sobre losa son los sistemas de losa flotante con traviesas, estos sistemas se caracterizan por aumentar la elasticidad del sistema con la interposición de mantas elastoméricas bajo las traviesas. En la actualidad este sistema solo se ha empleado en sistemas ferroviarias tranviarios dadas las ventajas que presenta en reducción de ruidos y vibraciones.

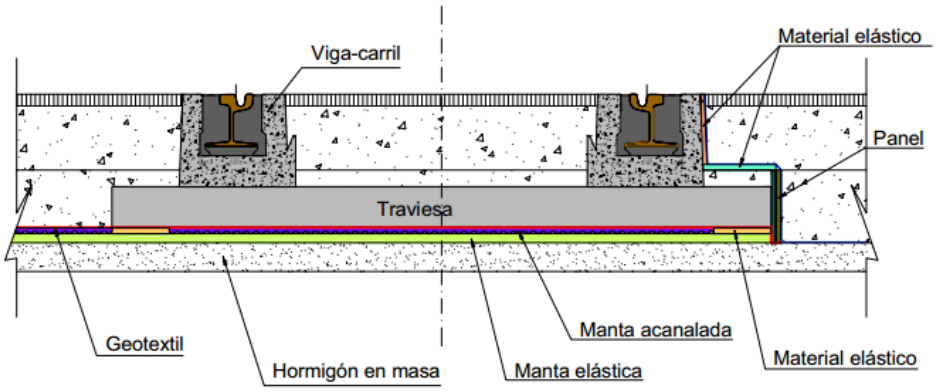
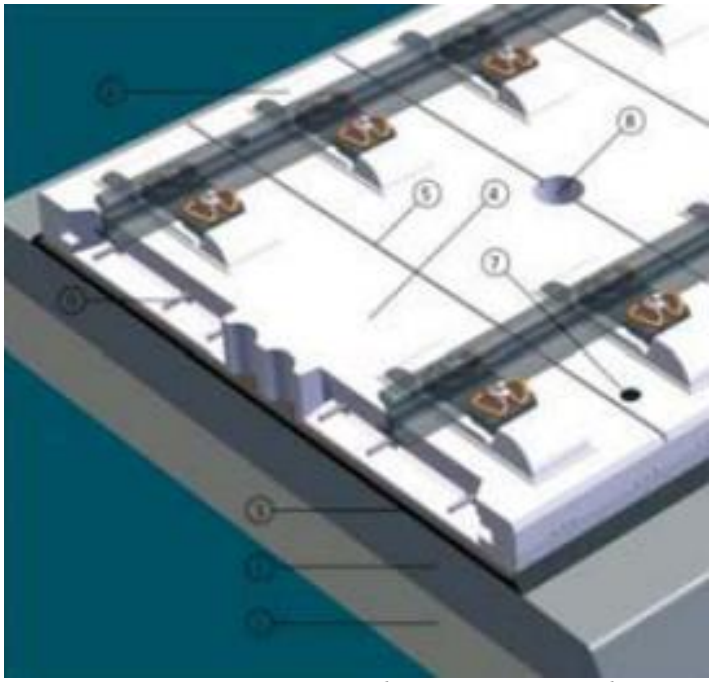


Figura 7.37: ejemplo del empleo de las mantas CDM a un sistema ferroviario tranviario. Fuente: http://www.ciccp.es

SISTEMAS DE LOSAS APOYADAS CON MORTERO NO ELASTICO

Los sistemas de losas apoyadas con mortero no elástico constituyen una variante de los sistemas de traviesas apoyadas sobre losa en los que las traviesas se aproximan tanto que se fusionan, dando lugar a una losa prefabricada que se apoya sobre la placa principal mediante un mortero que carece de características elásticas.



1 – capa de protección antihelada

2 – capa portante de aglomerado hidráulico

3 – lechada de mortero

4 – traviesa

5 – junta de cuartero

6 – soporte de fijaciones

7 – apertura para relleno de mortero

8 – enganche longitudinal de acero

Figura 7.38: elementos que componen una losa BOGL. Fuente: http://max-boegl.de

El prototipo más característico de este sistema es la vía alemana BOGL que se ensayo por primera vez en 1999 en dos tramos experimentados de 735 m de longitud en la estación de ROT-MALSCH, de la línea Karlsruhe-Heidelberg. Otro ejemplo es la vía existente en China entre Pekin y Tianjin, una línea de 115 km, construida con motivo de los juegos olímpicos de 2008

Imagen 7.26: línea de alta velocidad Nuremburg-Ingolstadt, en Alemania, construida de placas prefabricadas BOGL. Fuente: http://es.wikipedia.org

SISTEMAS DE LOSA FLOTANTE SIN TRAVIESAS

Estos sistemas se caracterizan por disponer de algún medio elástico bajo la losa prefabricada que soporta la vía. Los medios elásticos interpuestos más usuales son:

- Muelles situados bajo las losas
- Elastómeros clocados previamente a la colocación de las losas
- Mortero elástico inyectado a través de orificios existentes en las losas para tal fin

Los ferrocarriles japoneses han desarrollado numerosos variantes de este sistema. En todos los casos, las losas prefabricadas incluyen sujeciones son un solo nivel elástico que complementan su elasticidad con la interposición entre estas y la placa principal de un mortero elástico bituminoso que ha sido evolucionado con el tiempo. En general las losas se fijan mediante unos topes circulares colocados en la placa principal. Las últimas evoluciones han sustituido las losas macizas por las losas perforados en el centro por permitir un ahorro importante en mortero bituminoso.

En la actualidad, la placa japonesa es la que en mas kilómetros se ha implantado: línea Sanyo, Osaka-Hakata, en 1975 de 281 km, línea de Tohoku, Tokio-Marioka en 1982 de 451 km, línea Jeoetsu, Omiya-Niigata en 1982 de 256 km, línea Hokuriku, Takasaki-Nagano, en 1997 de 117 km etc. Por su lado tanto la OBB austriaca como la FS italiana, han diseñado sendas vías muy similares a la japonesa que se diferencian de esta por introducir dos niveles elásticos en las sujeciones.

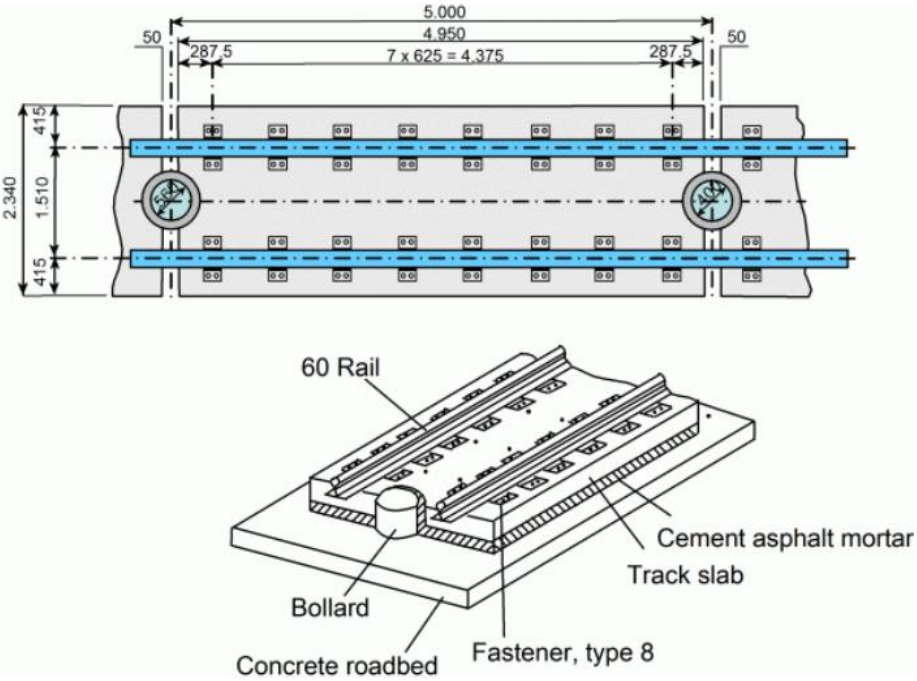


Figura 7.39: Esquema del sistema de losa flotante sin traviesas japonés Shinkansen. Fuente: http://www.ciccp.es

7.4.3 LA TOPOGRAFIA EN EL MONTAJE DE VIA EN PLACA

La construcción de una superestructura de vía en placa es muy diferente a la de una vía convencional en balasto, de ahí que la metodología empleada para las labores de topografía no sea la misma.

La principal diferencia radica en que, al contrario de lo que ocurría con el montaje de vía en balasto donde se iba acercando progresivamente la vía a su posición definitiva mediante varias pasadas bateando, en la vía en placa hay que situar los carriles en su posición definitiva de una vez. Así la construcción de la vía en placa exige unas tolerancias más restrictivas. Es fundamental una nivelación, alineación y ancho de vía precisos, ya que una vez ejecutada la losa de hormigón es prácticamente imposible la corrección de los errores de construcción en la geometría de la vía.

En general, los rendimientos de montaje de vía en placa son menores que de la vía sobre balasto y su coste de construcción mayor, esto se traduce en que la prioridad máxima en el montaje de vía en balasto gran productividad en la toma de datos de la vía para dar ≪ ≫ a las maquinas bateadoras, pasa a ser en el montaje de vía en placa la máxima de la calidad en la geometría de la vía, sin olvidar la productividad, fundamental en cualquier obra. Se pasa así de la toma de datos de varios kilómetros de vía para su bateo. A la alineación y nivelación de centenares de metros para su posterior hormigonado.

Imagen 7.27: Obras de construcción del tranvía de Jaén. Funte: http://www.google.com

Los trabajos previos no cambian, además de la materialización y calculo de una red de bases de replanteo y nivelación, será necesario colocar puntos de marcaje para el montaje de la vía.

DISPOSITIVOS PARA LA ALINEACION Y NIVELACION DE LA VIA

Para el posicionamiento de la vía alineación y nivelación, es necesario disponer de un mecanismo que permita la colocación de la misma y posteriormente la mantenga estable hasta su inmovilización definitiva tras solidificarse el hormigón, corkelast, etc. Dependiendo del sistema constructivo empleado. No existe un único mecanismo normalizado o exigido por Normativa, hay tantas soluciones como sistemas constructivos, empresas o profesionales del sector, pero básicamente debe disponer de un dispositivo eficaz que permita ajustar la alineación y nivelación de la vía de forma precisa. Lo común es utilizar una serie de pórticos, también llamados falsas traviesas, colocados cada 2 ó 3 m, desde los que se suspende o apoya la vía únicamente los dos carriles o junto con las traviesas encaminadas, etc. Dependiendo de la solución empleada pero asegurando siempre tanto el ancho de vía correcto como la inclinación del carril. A su vez los pórticos, deben contar con husillos verticales y horizontales que permitan ajustar la alineación y nivelación de la vía. Una vez colocados los carriles en su posición definitiva se procede a su inmovilización definitiva.

Imagen 7.28: Trabajos topográficos para la alineación y nivelación de la vía. Fuente: http://www.balzola.com

Como dispositivos horizontales, a efectos de obtener una correcta alineación en planta de la vía, se suelen utilizar tensores que abrazan por un lado el carril, por la cabeza o el patin, dependiendo de tipologías y se anclan por el otro a los muros o hastiales en el caso de los túneles p a un murete lateral construido a tal efecto en el resto de los casos. Los tensores deben ser regulables para permitir la correcta alineación de la vía, ejerciendo sobre ella una presión que puede tener dos direcciones, de este modo el tensor puede estar trabajando de dos formas ≪ ≫ el carril. Ver la figura siguiente.

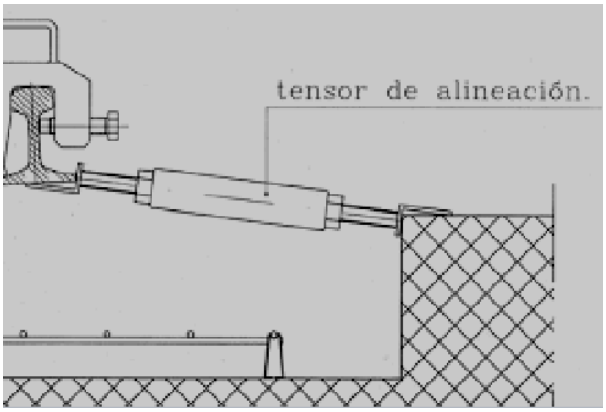


Figura 7.40: tensor de alineación. Fuente: Railtech-Sufetra-Tranosa

Los dispositivos verticales soportan todo el peso de la vía, así que deben ser suficientemente resistentes. Se utilizan para este fin tornillos de regulación que, roscados en los pórticos, apoyan sobre la solera de hormigón y sostienen la vía por efecto de gravedad. Se aconseja el uso de placas metálicas de aproximadamente 6 x 6 cm colocadas entre el apoyo del tornillo y la solera, a fin de que este no se hunda en el suelo, ya que el peso de la vía es enorme y en algunos casos podría clavarse en la solera en lugar de servir para levantar la vía, quedando inutilizado de esta forma para el fin que se le presupone: sostener la vía. Asimismo, los tornillos se protegen con un tubo de plástico que hace la función de encofrado perdido, a fin de que el hormigón no se adhiera a los hilos del tornillo, facilitando de este modo su extracción y posterior posibilidad de reutilización.

METODOLOGIA DE TRABAJO

En la construcción de superestructuras de doble vías, y sobre todo en túneles o viaductos, lo común es el montaje de las vías por separado de forma lineal, es decir primero una que después servirá para mover el material necesario para el montaje de la segunda. Este es el sistema más aconsejable dado que siempre se dispone de un camino de paso para moverse. Se ha de tener en cuenta que los espacios de circulación en los túneles son relativamente reducidos. Si no es posible montar un tramo primero y utilizarlo para mover el equipo de la otra vía, la construcción de ambas deberá avanzar en paralelo.

Imagen 7.29: Montaje de vía por separado de forma lineal en túneles. Fuente: http://www.ecomovilidad.net

Los operarios encargados del montaje de vía deben dejarla convenientemente preparada antes de la entrada de la topografía de obra. Además de los carriles, traviesas si la hubiera y sujeciones, deben colocar los pórticos, tensores y tornillos de regulación. Asimismo conviene que realicen una primera aproximación de la vía, para ello se utilizan los puntos de marcaje colocados previamente por la topografía a lo largo de toda la infraestructura.

Para el posicionamiento definitivo de la vía se puede emplear la metodología tradicional con estación total. Nivel, regla de ancho y peralte y asas de flechar u optar por el carro de vías. Decir que existen algunos modelos de pórticos que al sustentar los carriles por encima. Impiden que se pueda utilizar el carro de posicionamiento absoluto, ya que obstruyen el normal deslizamiento del mismo por la vía. En estos casos una solución puede ser la utilización de la regla digital con sistema de medición absoluto que nos facilita la misma información que el carro coordenadas absolutas 3D de la vía, ripado y levante de cada carril, pero sus características son muy diferentes. En definitiva la elección del instrumental a utilizar vendrá determinada por múltiples factores, entre ellos también habrá que valorar la productividad que se nos exige.

Ya se sabe que al desplazar la vía en un determinado lugar también se moverá a más y menos P.K. aunque en menor magnitud, es decir, el comportamiento de la vía en un punto no es aislado. De este modo independientemente del instrumental topográfico que se emplee, será necesario realizar sucesivas aproximaciones hasta llegar a la posición definitiva de la vía. Un primer ajuste podría tener estas tolerancias.

- Alineación: $\pm$ 5mm
- Nivelación: de – 5 a 0 mm

El cumplimiento de estas tolerancias no es obligatorio pero reducirá la modificación posterior en el ajuste final de la vía, de forma que esta cumpla con las tolerancias dispuestas por la administración competente antes de ser hormigonada. Cabe de recordar que los puntos de referencia de la vía son la parte superior de la cabeza de carril para la cota, y la cara activa del carril para la alineación en planta.

Una vez cumplidas dichas tolerancias, la vía puede ser hormigonada. En algunas ocasiones antes de verter el hormigón, la vía deberá ser inspeccionada por la asistencia técnica de la obra. Esta inspección comprende los siguientes puntos:

- Geometría de la vía, cumpliendo las tolerancias de alineación y nivelación
- Control en algunas zonas criticas del ancho de vía
- Espacio entre las traviesas o los puntos de fijación
- Estabilidad de la vía sobre sus puntos de apoyo
- Limpieza de la base de la vía antes de verter el hormigón
- Correcta colocación de todos los elementos de la vía

Durante el vertido del hormigón, el carril y la parte superior de los puntos de fijación donde se encuentran las sujeciones, deben protegerse mediante plásticos. También se aconseja usar elementos de protección del conjunto carril y fijaciones. Una medida muy usada es la protección con un tubo cortado axialmente de unos dos metros que se va desplazando mientras avanza el vertido del hormigón. Si a pesar de estas precauciones el hormigón entra en contacto con el carril p con las sujeciones, este se eliminara con aire a presión antes de endurecerse o con gua cuando se seque un poco, pero sin llegar a estar completamente endurecido.

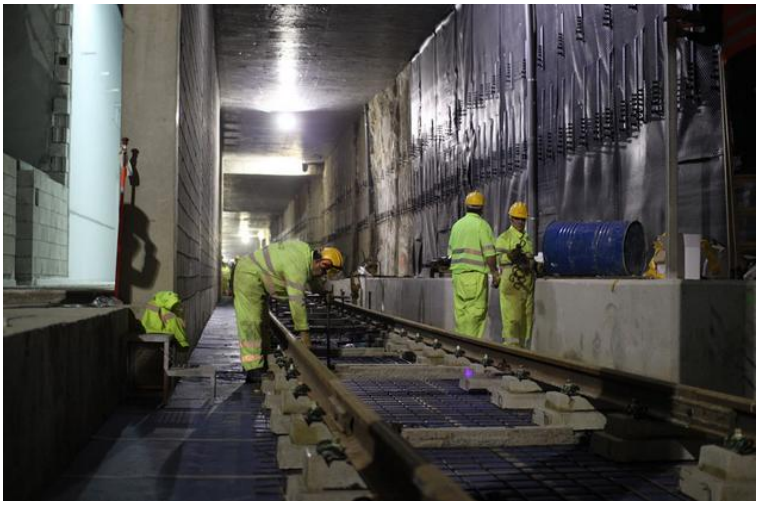


Imagen 7.30: trabajos de hormigonado de la vía en placa. Fuente: http://www.google.com

Una buena recomendación es comprobar la geometría de la vía tras el vertido de hormigón, mientras aun este fresco, ya que la vía puede haberse desplazado en algún punto, bien por la fuerza del hormigón o por algún golpe accidental de los operarios o maquinaria.

Metodología tradicional

Se emplearan los siguientes instrumentos:

- Estación total, para la alineación en planta utilizando una zapata de vía para el correcto posicionamiento del prisma sobre la cara activa del carril.
- Nivel para la nivelación de la rasante de la vía
- Asas de flechar para comprobar la flecha
- Regla de ancho y peralte

La metodología tradicional requiere de diferentes pasadas hasta completar la toma de datos. El primer paso a realizar es el metrado de la vía, consiste en marcar los puntos que serán medidos después, por norma general cada 3 ó 5 m, se continuara con la nivelación, alineación y flechado de la vía, para terminar con la toma de los valores de ancho y peralte. De este modo para una medición completa de un tramo de vía, serán necesarias al menos cuatro pasadas por cada uno de los puntos.

Carro de posicionamiento absoluto

Con el carro de vías al igual que en la metodología tradicional, el trabajo comienza con la colocación de la estación total. Para ello se puede estacionar sobre una base o realizar una intersección inversa, en el caso de que se disponga de una numerosa red de bases o puntos de referencia. Para garantizar la máxima precisión de la intersección inversa se recomienda el uso de 6 puntos de planimetría y 3 de altimetría, aunque con menos sea suficiente para calcularla. También conviene revisar los errores de estacionamiento replanteado una base, si estos son muy elevados se procederá de nuevo a estacionar el instrumento. En ningún caso el estacionamiento debería de superar la tolerancia máxima del montaje de vía.

El diseño del eje debe haber sido introducido previamente en la oficina, eje en planta, rasante, peraltes y sobre anchos. Una vez en campo en la configuración inicial del proyecto, se recoge la metodología de trabajo y se carga la definición del proyecto, así como los criterios escogidos para la aplicación de los datos.

Los datos recibidos directamente de los sensores sirven para calcular el ripado y el levante de cada uno de los carriles en tiempo real, así como todos los otros datos útiles para el trabajo. Todos los datos pueden ser almacenados en archivos, formato ASCII, siendo plenamente configurables los formatos de salida, y con la posibilidad de realizar recálculos, en el caso de haber tenido un imprevisto, gracias al almacenamiento de los datos brutos.

Ya se ha comentado anteriormente que, para el montaje de la vía en placa, la topografía parte de una vía colocada previamente en una posición aproximada utilizando para ello los puntos de marcaje. Moviendo poco a poco los tensores y elevadores tornillos de regulación llevaremos la vía a su posición teórica absoluta. A diferencia de lo que ocurría con la metodología tradicional, con el carro de vías se posicionan los dos carriles a la vez de una sola pasada, tanto en alineación como en la nivelación. Los movimientos necesarios son aplicados en tiempo real sobre la vía flotante.

En una primera pasada moveremos los tensores de alineación y los tornillos de nivelación no más de 1-2 cm, debido como ya se sabe a que el movimiento hasta llegar a la posición absoluta definitiva. Una vez conseguido el objetivo, la vía ya está lista para ser hormigonada.

7.4.4 VIA EN PLACA: APLICACIÓN A ENTORNOS METROPOLITANOS

Aunque, como ya se ha dicho anteriormente, la vía en placa también es utilizada en líneas de alta velocidad y líneas convencionales, una de sus principales aplicaciones en las últimas décadas ha sido en entornos metropolitanos: estaciones, tranvías, metros ligeros y metros convencionales. Así se ha creído interesante la introducción de un aparato específico donde abordar el tema.

En muchas ciudades no es extraño encontrar un barrio de la estación, es decir, una zona de viviendas denominada así por haber crecido en torno a la primitiva y siempre periférica estación ferroviaria de la localidad. Desde su origen, las instalaciones ferroviarias se situaron en las zonas periféricas de las ciudades donde, además de existir suficiente suelo libre para albergar sus instalaciones y demás actividades anexas, interferían lo menos posible con las tramas urbanas. De este modo la línea ferroviaria se convirtió en una frontera imaginaria al desarrollo de las ciudades.

Con el paso del tiempo, esta concepción primitiva ha desaparecido y la expansión de las urbes, de forma muchas veces incontrolada, ha hecho que hoy en día muchas de esas instalaciones hayan sido integradas en la trama urbana, ocupando grandes extensiones de terreno que se han convertido en un anhelado y preciado suelo para las administraciones locales, ya que su liberación podría proporcionarlas espacios nuevos para llevar a cabo actuaciones urbanísticas.

A este hecho, se le une la mala imagen asociada a los barrios próximos a las instalaciones ferroviarias, donde las vibraciones y ruidos suponen una reducción importante de la calidad ambiental, así como el impacto visual que supone la catenaria.

En esta perspectiva, la vía en placa se presenta como una estructura que proporciona soluciones a los ruidos y vibraciones, la seguridad de las circulaciones ferroviarias, al suelo ocupado, a las operaciones de limpieza y a las operaciones de mantenimiento y conservación.

TUNELES

La minimización del impacto visual de las infraestructuras ferroviarias en zonas urbanas obliga, en muchos casos, a soterramientos y es precisamente en túneles donde la vía en placa ha tenido una de sus primeras aplicaciones, debido al elevado coste del mantenimiento de la vía con balasto en los túneles urbanos por los condicionantes que la propia explotación impone. En efecto, para que las operaciones de mantenimiento de la vía y de la línea área de contacto puedan realizarse cumpliendo las normas adecuadas de calidad deben llevarse a cabo fuera del horario de servicio de los usuarios. Es impensable la realización de los mencionados trabajos con la red en servicio cuando en muchos tramos urbanos la frecuencia entre trenes puede alcanzar los 2 minutos. Sin embargo, las experiencias llevadas a cabo con cada uno de los diferentes sistemas de vía en placa descritos anteriormente no conducen a los mismos resultados.

Los sistemas de vía en placa de carril embebido, al contrario de cualquier otro sistema de vía en placa, no precisan de un espesor de placa donde recibir o alojar las fijaciones o bloques de soporte del carril. La altura total entre la base de la placa y la cabeza de carril, la diferencia entre la altura mencionada y las de otros sistemas no solo es muy significativa respecto a la vía sobre balasto, sino también apreciable respecto a la que exigen otros sistemas de vía e placa. Esta circunstancia permite ahorros notables o ventajas muy apreciables en relación con los gálibos que la vía exige o permite.

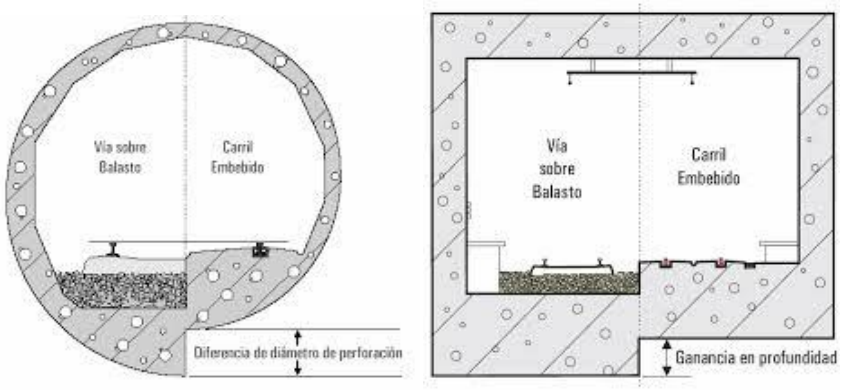


Figura 7.41: Esquema de la reducción de la sección en túneles y falsos túneles. Fuente: Ingeniería de vías elásticas S.A 2001, carril embebido: descripción del sistema

Otra ventaja es la posibilidad de circulación de vehículos neumáticos a lo largo de la plataforma, ya que la superficie superior de la placa es independiente de la sistema de fijación y puede hacerse incluso enrasar con el nivel de la cabeza del carril. Asimismo esta falta de obstáculos simplifica y acelera significativamente la evacuación a pie de los pasajeros de unidades que por cualquier causa quedan detenidas en la vía.

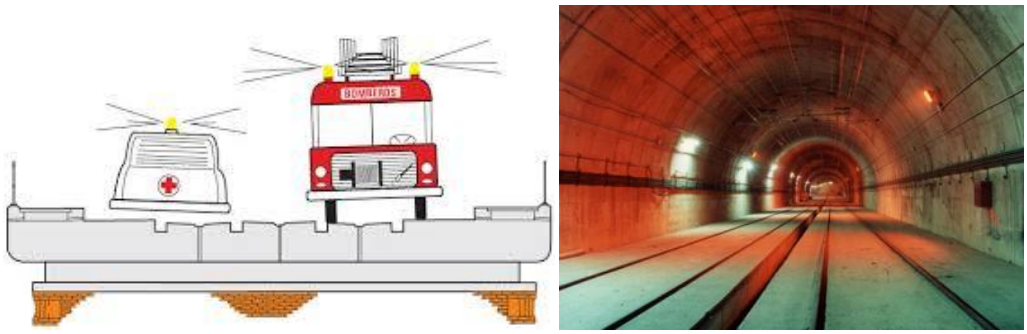


Figura 7.42: izquierda: detalle de la circulación de emergencia sobre el carril embebido. Fuente: Ingeniería de vías elásticas S.A 2001, carril embebido: descripción del sistema. Derecha: vista del sistema de vía en placa de carril embebido EDILON. Fuente: Panero, J. 2008 vía en placa: aplicación a entornos metropolitanos.

En lo que respecta en los sistemas de apoyo directo del carril se ha descartado en particular, su uso en túneles y en general en cualquier tipo de línea por la dificultad de realizar correcciones o reparaciones en la propia vía, así como por el nulo amortiguamiento de ruidos y vibraciones. La resolución d este último problema se logra con los sistemas de apoyo indirecto del carril, de los cuales no existe apenas experiencia internacional de uso en túneles.

los sistemas de bloques de recubiertos de elastómero se han empleado tradicionalmente en muchas obras de túneles urbanos. Al ser los bloques independientes uno del otro, el montaje es más complicado que aquellos que emplean traviesa o un elemento rígido de unión entre cada pareja de tacos, pues en estos casos la propia configuración de los elementos garantiza la posición relativa de ambos carriles.

La opción del sistema de traviesas recubiertas por elastómero fue desarrollada en Francia para su colocación en túneles en sustitución de la vía con balasto. Se ha colocado en muchas líneas de la SNCF y de RATP, tanto en líneas de metro clásico como redes de cercanías. Su principal dificulta las operaciones de evacuación. Asimismo cabe reseñar que la mayoría de las tipologías utilizan pavimentos bituminosos como placa principal, material cuyo uso no se aconseja en túneles debido a su inflamación y generación de humos en caso de incendio.

Los sistemas de losas flotantes con traviesas se emplean casi exclusivamente en sistemas tranviarios. Su disposición en túneles no supone ningún ahorro en sección ya que los sistemas amortiguadores de ruido y vibraciones ocupan prácticamente el mismo espacio que la banqueta de balasto de la vía tradicional.

El sistema de losas apoyadas con mortero no elástico constituye un prototipo de vía en placa todavía en fase experimental. Esta tipología de vía no presenta ventajas importantes en reducción de sección de túneles.

Por último, los sistemas de losas flotantes sin traviesas constituyen las tipologías de vía en placa utilizadas por los ferrocarriles japoneses y austriacos para sus líneas de alta velocidad.

COMPORTAMIENTO DE LOS DISTINTOS TIPOS DE VIA EN PLACA EN TUNELES

TIPO DE VÍA	SECCIÓN DEL TÚNEL	CIRCULACIÓN DE VEHÍCULOS	EVACUACIÓN DE PASAJEROS	OTROS ASPECTOS
Carril embebido	Mucho menor a la vía clásica	Posible	Buenas condiciones	Reparación geométrica cara
Apoyo directo	Menor a la vía clásica	No posible	Buenas condiciones	Mucho ruido y vibraciones
Apoyo indirecto	Menor a la vía clásica	No posible	Buenas condiciones	Poca experiencia
Bloques recubiertos con elastómeros	Menor a la vía clásica	No posible	Buenas condiciones	Montaje complicado
Monolítico con traviesas	Menor a la vía clásica	No posible	Condiciones aceptables	Remplace de elementos posible
Traviesas recubiertas de elastómero	Menor a la vía clásica	No posible	Malas Condiciones	Remplace de elementos posible
Traviesas sobre losa	Menor a la vía clásica	No posible	Malas condiciones	Humos en caso de incendio
Losa flotante con traviesas	Similar a la vía clásica	No posible	Condiciones aceptables	Montaje complicado
Losas sobre mortero no elástico	Menor a la vía clásica	No posible	Buenas condiciones	Poca experiencia
Losa flotante sin traviesas	Menor a la vía clásica	No posible	Buenas condiciones	Remplace de elementos posible

Cuadro 7.4: Fuente: Panero Huerga, José Antonio, vías en placa aplicación a entornos metropolitanos

De acuerdo con el análisis realizado, los mejores opciones de vía en placa para su colocación en túneles son el carril embebido en caso de que las velocidades no sean muy elevadas y por lo tanto, no sean presumibles alteraciones geométricas por el paso de los vehículos y los sistemas monolíticos con traviesas o los sistemas de losas flotantes sin traviesa en caso de velocidades más elevadas.

VIBRACIONES

Las vibraciones constituyen fenómenos perturbadoras complejos provocados por el desplazamiento vertical del conjunto rueda, eje y vagón que tienen dos orígenes fundamentalmente: el régimen vibratorio en carril inducido por el desplazamiento de una carga-tren, que lo deforma siguiendo una curva aproximadamente sinusoidal que se desplaza a la velocidad de avance del tren, y el excitamiento del sistema constituido por la estructura de la vía y el vehículo debido a los defectos aleatorios existentes sobre la superficie de rodadura del carril.

La vía en placa, por constituir una tipología de vía más rígida, requiere la instalación de elementos elásticos. Una de las tipologías de vía en placa que tiene mejor comportamiento antes las vibraciones son los sistemas de carril embebido que al carecer de traviesas y apoyar continuamente el carril. Reducen considerablemente la amplitud del régimen vibratorio del carril mejorando incluso el comportamiento de la vía clásica.

Por su lado, los sistemas con dos niveles elásticos tienen un comportamiento más deficiente antes las vibraciones que obligan a disponer dispositivos correctivos en el carril, o bajo sus placas de apoyo, transformando el sistema de vía en una tipología híbrida con respecto a las de losa flotante, incrementando consecuentemente el espesor y el coste de la superestructura.

En virtud de lo anterior, el sistema de vía en placa más adecuado para la atenuación de las vibraciones es el carril embebido aunque los sistemas de más de dos niveles elásticos, e incluso los sistemas de dos niveles elásticos con medidas suplementarias antivibraciones, pueden alcanzar un nivel de atenuación próximo al de las vías clásicas con balasto.

RUIDO

Los primeros ensayos de medida de ruido se llevaron a cabo en el Sanyo Shinkansen concluyéndose que el nivel de ruido de la vía en placa era unos 5 dB más alto que la vía con balasto. En consecuencia los japoneses comenzaron a trabajar en sistemas de losas flotantes que atenuaban los niveles de ruido a valores próximos a la vía con balasto gracias a la disposición bajo el carril de materiales con capacidad de absorción de ruido como materiales inorgánicos. Cerámica u hormigón poroso.

Por su lado, los alemanes que trabajaron fundamentalmente en los sistemas monolíticos con traviesas constataron que los niveles de ruido medidos eran del orden de 4 dB superiores a la vía con balasto. Así con objeto de reducirlos realizaron algunas innovaciones al sistema como la disposición de una capa inferior de gravilla y una capa superior de hormigón poroso que permite la absorción de parte del ruido producido, garantizando unos niveles de ruido similares a los de la vía tradicional con balasto.

Para el resto de sistemas apoyo directo e indirecto del carril, traviesas sobre losa y losas con mortero no elástico, se obtienen niveles aceptables de reducción de emisiones sonoras con la utilización de hormigones porosos.

Así, no parece existir un sistema de vía en placa que destaque sobre los demás en relación a las emisiones de ruido. En general todos los sistemas presentan emisiones sonoras superiores a la vía tradicional, y por lo tanto deben implantarse soluciones complementarias para reducirlos.

Por último, es importante mencionar que en muchos trazados urbanos la solución más efectiva para eliminar las emisiones de ruido son los soterramientos de las líneas que trasladan el problema de selección de una tipología de vía a su comportamiento en túneles.

MANTENIMIENTO

Con el incremento del tráfico ferroviario en los entornos urbanos, las bandas horarias para la conservación se han convertido en uno de los tópicos más importantes para los administradores ferroviarios de todo el mundo que, unido al interés por reducir los costes de mantenimiento asegurando un correcto funcionamiento, ha tenido como consecuencia la consideración de la vía en placa como una alternativa real a la vía tradicional en balasto.

Las operaciones de mantenimiento de la vía en placa se pueden clasificar en:

- Mantenimiento preventivo o regular: que incluye la inspección visual, el amolado periódico del carril o la lubricación de los aparatos de vía.
- Mantenimiento correctivo o irregular: que consiste en la reparación de fracturas o grietas, la mejora de las condiciones de aislamiento eléctrico o correcciones locales de la geometría de la vía

De entre todas las operaciones de mantenimiento y conservación debe destacarse la corrección geométrica. Si bien en las vías clásicas se realizan casi sistemáticamente, en la vía en placa se tiende a evitarlos debido a las dificultades y sobrecostes que representan. Sin embargo no todas las tipologías de vía en placa tienen los mismos requerimientos de conservación y mantenimiento.

En los sistemas de carril embebido al sujetar de modo continuo el carril y carecer, por tanto de sujeciones puntuales, el desgaste del carril se produce mucho mas dilatadamente en el tiempo reduciéndose, en consecuencia, la frecuencia de operaciones de mantenimiento preventivo. Del mismo modo la conservación correctiva necesaria se reduce ya que:

- El soporte continuo del carril reduce las tensiones a que sometido, disminuyendo notablemente el riesgo de fracturas o grietas.
- En caso de rotura del carril, su sistema de sujeción continua permite la transmisión de las tensiones a la placa soporte a lo largo de una corta longitud del carril.
- No existen elementos deteriorables por las inclemencias climáticas en las sujeciones

En lo que se refiere a las correcciones geométricas, en general son poco frecuentes si la ejecución por su lado, los sistemas de apoyo e indirecto de carril, como ya se ha mencionado, se utilizan muy poco debido a las necesidades continuas de mantenimiento preventivo y correctivo.

Los sistemas de traviesas apoyadas directamente sobre la losa tienen la ventaja de la sencillez de montaje, reparación y renovación. Entre ellas cabe reseñar las ventajas de los materiales bituminosos por la sencillez de reconstrucción.

El comportamiento de los sistemas de losas flotantes a la operaciones de conservación es similar al de los sistemas monolíticos de traviesas: el mantenimiento debe centrarse en las sujeciones y, en caso de requerir correcciones geométricas, sus elementos son fácilmente reemplazables.

RESUMEN DEL COMPORTAMIENTO DE LOS DISTINTOS TIPOS DE VIA EN PLACA FRENTE A LAS OPERACIONES DE MANTENIMIENTO

TIPO DE VÍA	REPARACIÓN PREVENTIVA	REPARACIÓN CORRECTIVA	CORRECCIÓN GEOMÉTRICA
Carril embebido	Muy dilatada en el tiempo	Muy dilatada en el tiempo	Complicada
Apoyo directo	Frecuente	Muy frecuente en el tiempo	Necesidad de reconstrucción
Apoyo indirecto	Frecuente	Muy frecuente en el tiempo	Necesidad de reconstrucción
Bloques recubiertos con elastómeros	Periódica sobretodo de sujeciones	Problemas con las filtraciones de agua	Remplace de elementos posible
Monolítico con traviesas	Periódica sobretodo de sujeciones	Remplace de elementos posible	Remplace de elementos posible
Traviesas recubiertas de elastómero	Periódica sobretodo de sujeciones	Problemas con las filtraciones de agua	Remplace de elementos posible
Traviesas sobre losa	Periódica sobretodo de sujeciones	Remplace de elementos posible	Remplace de elementos posible
Losa flotante con traviesas	Periódica sobretodo de sujeciones	Remplace de elementos posible	Remplace de elementos posible
Losas sobre mortero no elástico	Periódica sobretodo de sujeciones	Remplace de elementos posible	Remplace de elementos posible
Losa flotante sin traviesas	Periódica sobretodo de sujeciones	Remplace de elementos posible	Remplace de elementos posible

Cuadro 7.5: Fuente: Panero Huerga, José Antonio, vías en placa aplicación a entornos metropolitanos

De acuerdo con lo anteriormente expuesto, la tipología de vía en placa que permite una mayor reducción tanto de las operaciones como los costes de mantenimiento es el carril embebido aunque, en caso d requerir correcciones geométricas, estas son de complicada realización. El resto de familias salvo las de apoyo directo e indirecto del carril, tienen un comportamiento similar, con la salvedad de los sistemas de bloques o traviesas recubiertas de elastómero en las que deben extremarse las precauciones en caso de que puedan darse ciclos de congelación y descongelación del agua infiltrada.

7.5CALIFICACION DE LA VIA

7.5.1 PARAMETROS QUE CARACETRIZAN LA CALIDAD GEOMETRICA DE UNA VIA

La experiencia alcanzada a través de la explotación de líneas de ferrocarril ha puesto de manifiesto que, en relación con la calidad de la vía, como mínimo de rodadura era posible obtener información suficiente si se conocía y cuantificaba la magnitud de los siguientes parámetros:

- Nivelación longitudinal de cada hilo de carril
- Nivelación transversal entre ambos hilos de carril
- Ancho de vía
- Alineación de cada uno de los dos carriles
- Alabeo

Se establecen las siguientes definiciones asociadas a cada uno de los términos indicados anteriormente.

Nivelación longitudinal

Parámetro que define las variaciones de cota de la superficie de rodadura de cada hilo de carril respecto a un plano de comparación

Nivelación transversal

Parámetro que establece la diferencia de cota existente entre las superficies de rodadura de los hilos de carril en una sección normal al eje de la vía.

Ancho de vía

Parámetro que determina la distancia existente entre las caras activas de las cabezas de los carriles, medido a 14 mm por debajo de la superficie de rodadura.

Alineación

Parámetro que, para cada hilo de carril, representa la distancia en planta respecto a la alineación teórica.

Alabeo

Parámetro que representa la distancia existente entre un punto de la vía y el plano formado por otros tres puntos.

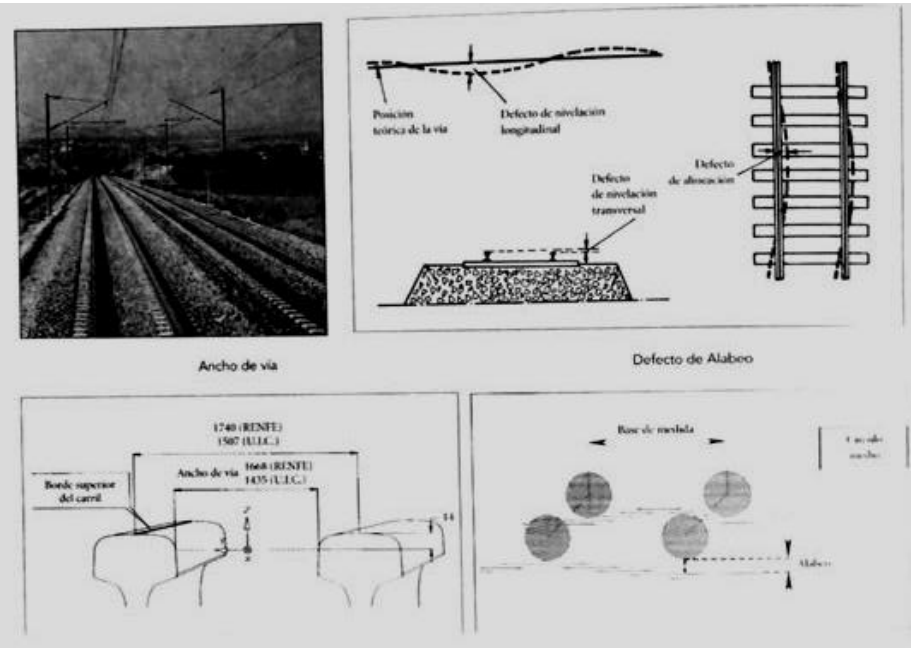


Figura 7.33: parámetros que definen la calidad geométrica de una vía. Fuente: López Pita, Andrés 2006, Infraestructuras ferroviarias, UPC

Puede decirse que los efectos de nivelación longitudinal, medidos en milímetros, afectan al movimiento de galope de los vehículos, los defectos de nivelación transversal, por su parte, afectan al balanceo de los vehículos, las irregularidades existentes en el ancho de vía inciden en el movimiento transversal o de lazo de los vehículos, así como los defectos de alineación y finalmente, los defectos de alabeo de una vía pueden ser auca del descarrilamiento. De los vehículos ferroviarios.

7.5.2 ESTADOS DE VIA

En la vía de nueva construcción, una vez terminado el montaje y realizado el aporte de balasto necesario, la vía se deja en lo que se denomina primera nivelación tal y como se dijo en el capítulo 10 de montaje de vía en balasto, después se procede a realizar la segunda nivelación y una vez terminada esta, según se dijo, es necesario establecer las hojas de dos kilómetros, momento en el cual se considera vía terminada.

Cuando hablamos de mantenimiento, se considera vía recién tratada aquella que ha sido revisada hace menos de seis meses, en caso de que no cumpla con esto, se considera vía sin tratar.

Imagen 7.31: vehículo para el mantenimiento de la vía. Fuente: http://www.google.com

7.5.3 SONDEOS

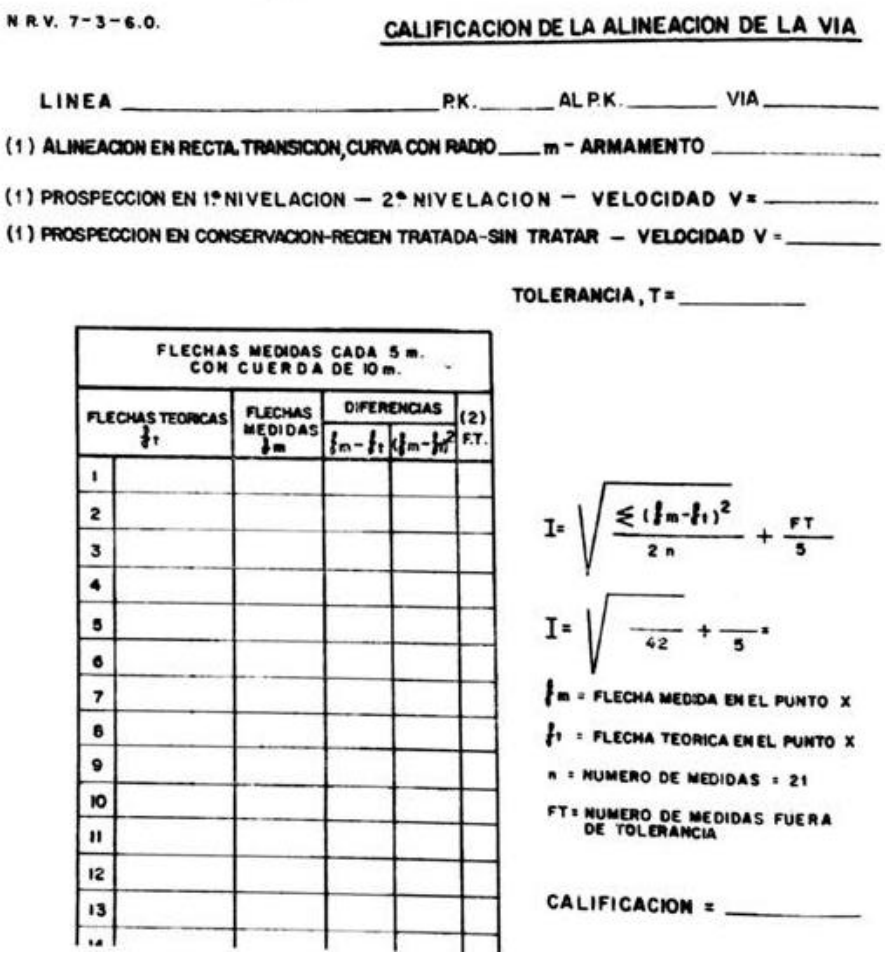
Una vez terminada una obra ferroviaria, o en vías antiguas de forma periódica se tienen que realizar unos sondeos con el fin de comprobar los parámetros más importantes de la superestructura ferroviaria. Ya se han enumerado anteriormente los parámetros que caracterizan la calidad geométrica de una vía, nivelación longitudinal, nivelación transversal, ancho de vía, alineación y alabeo, además cabe destacar que también se realizaran sondeos de los aparatos de vía.

La forma de sondear la vía viene determinada en la Normativa Adif Vía –N.R.V.- decir que gran parte de la misma procede de la antigua Normativa Renfe Vía –N.R.V.-.

SONDEOS DE ALINEACION

El objeto principal de estos sondeos es calificar la vía en el aparato referente a su alineación. Para ello según la N.R.V. 7-3-6.0 de calificación de la vía en alineación. Los sondeos se deben efectuar en el mismo tramo de 100 metros en el que realicen también los correspondientes al ancho, a la nivelación transversal –peralte y alabeo- y a la nivelación longitudinal de la vía.

Las flechas se medirán en mm, cada 5 mm con cuerda de 10 m, en el hilo alto de las curvas. Para hacerlo se utilizara un hilo de nylon o de acero, tipo cuerda de piano- de 0,6 ó 0,8 mm de diámetro apoyando dicho hilo o las asas de flechar y el metro de reglilla de medición en la cara activa de la cabeza del carril unos 15 mm por debajo de su superficie de rodadura. Los valores obtenidos de las flechas se irán anotando en un impreso.



N.R.V. 7-3-6.0.

CALIFICACION DE LA ALINEACION DE LA VIA

LINEA _____ P.K. _____ AL P.K. _____ VIA _____

(1) ALINEACION EN RECTA, TRANSICION, CURVA CON RADIO ____ m - ARMAMENTO _____

(1) PROSPECCION EN 1ª NIVELACION — 2ª NIVELACION — VELOCIDAD V = _____

(1) PROSPECCION EN CONSERVACION-RECIEN TRATADA-SIN TRATAR — VELOCIDAD V = _____

TOLERANCIA, T = _____

FLECHAS MEDIDAS CADA 5 m. CON CUERDA DE 10 m.					
	FLECHAS TEORICAS f_t	FLECHAS MEDIDAS f_m	DIFERENCIAS $f_m - f_t$	$(f_m - f_t)^2$	(2) F.T.
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					

$$I = \sqrt{\frac{\leqslant (f_m - f_t)^2}{2n}} + \frac{FT}{5}$$

$$I = \sqrt{\frac{\quad}{42}} + \frac{\quad}{5}$$

f_m = FLECHA MEDIDA EN EL PUNTO X

f_t = FLECHA TEORICA EN EL PUNTO X

n = NUMERO DE MEDIDAS = 21

FT = NUMERO DE MEDIDAS FUERA DE TOLERANCIA

CALIFICACION = _____

Figura 7.34: Modelo del impreso a rellenar en el sondeo de alineación de vía. Fuente: Normativa Renfe Vía N.R.V. 7-3-6.0. Calificación de la vía. Alineación.

Indice de calidad de la alineación -I-

Es el numero resultante de la formula $I = \sqrt{\frac{\sum(f_m - f_t)^2}{2n}} + \frac{FT}{5}$

Donde:

f_m es la flecha medida en un determinado punto x, con cuerda de 10 m

f_t es la flecha teórica en un determinado punto x, con cuerda de 10 m

n es el numero de medidas totales = 21, porque hay que medir 100 m cada 5 m

FT = numero de medidas fuera de tolerancia

Tolerancias

Para la calificación de la vía según su alineación se tendrá en cuenta el cuadro de tolerancias incluido a continuación, en el que se señalan los errores admisibles para flechas tomadas con cuerda de 10 m.

TOLERANCIAS ADMISIBLES PARA FLECHAS TOMADAS CON CUERDA DE 10 m

ALINEACIÓN		VÍA NUEVA (mm)		VÍA EN CONSERVACIÓN (mm)			
				Vía recién tratada		Vía sin tratar	
		1ª Nivelación	2ª Nivelación	V < 120 km/h	V ≥ 120 km/h	V < 120 km/h	V ≥ 120 km/h
En recta		± 4	± 2	± 2	± 2	± 4	± 3
En curva de radio:	R > 1.500 m	± 4	± 2	± 2	± 2	± 4	± 3
	1.500 > R > 500 m	± 5	± 3	± 3	± 3	± 5	± 4
	R < 500 m	± 6	± 3	± 4	—	± 6	—

Cuadro 7.6: Fuente: Normativa Renfe Vía N.R.V. Calificación de la vía. Alineación

Calificación

La calificación de la vía, teniendo en cuenta la calidad de su alineación, queda reflejada en el cuadro siguiente.

CALIFICACIONES		VÍA NUEVA		VÍA EN CONSERVACIÓN			
				Vía recién tratada		Vía sin tratar	
		1ª Nivelación	2ª Nivelación	$V_{máx}$ < 120 km/h	$V_{máx}$ ≥ 120 km/h	$V_{máx}$ < 120 km/h	$V_{máx}$ ≥ 120 km/h
BIEN		Cuando todas las medidas están dentro de tolerancia					
ACEPTABLE	Menor de	1,7	1,4	2,0	1,8	3,1	2,4
REGULAR	De	1,7	1,4	2,0	1,8	3,1	2,4
	a	2,3	2,0	2,7	2,4	4,3	3,3
DEFICIENTE	De	2,3	2,0	2,7	2,4	4,3	3,3
	a	2,9	2,6	3,4	3,0	5,5	4,2
MAL	Mayor de	2,9	2,6	3,4	3,0	5,5	4,2

Cuadro 7.7: Fuente: Normativa Renfe Vía N.R.V. Calificación de la vía. Alineación

SONDEOS DE NIVELACION LONGITUDINAL

El objeto principal de estos sondeos es calificar la vía en el apartado referente a su nivelación longitudinal –N.R.V. 7-3-5.5 de calificación de la vía en nivelación longitudinal. La nivelación se realiza sobre el hilo bajo de la vía en las alineaciones curvas o sobre cualquiera de los hilos en las rectas. El sondeo para la calificación se efectuara sobre el mismo tramo donde se lleven a cabo los correspondientes a la alineación transversal y al ancho de vía. Se realizara en 100 m de vía. Nivelando un punto cada 3 puntos.

Marcado de los puntos a nivelar

La posición de cada punto se señalará, con tiza, en el carril a nivelar. La medición se realizara con precisión, utilizando cinta métrica.

Nivelación del carril

Para realizar la nivelación se parte de una de las bases de nivelación ya se sabe que estas deben existir en la explanación, a lo largo de toda la línea férrea, situadas cada 200 m aproximadamente y se cierra en la siguiente con un error máximo de 10 $K^{1/2}$según N.R.V. 1-0-3.0, donde K es la distancia en km entre ambas bases. Se realizan las lecturas colocando el nivel de forma que quede centrado en cada estacion, a distancia maxima de 60 m de cada punto extremo y determinando las cotas de la superficie de rodadura del carril en los 33 puntos marcados según lo indicado anteriormente. Esta operación de nivelación debe efectuarse dos veces, ida y vuelta, sin poner el nivel en el mismo sitio al repetir las estaciones de los dos itinerarios. La diferencia entre las dos cotas, determinadas en las dos nivelaciones, no debe ser mayor de 3 mm en cada uno de los puntos según la Normativa.

N.R.V. 7-3-5.5. NIVELACION LONGITUDINAL DE LA VIA

LINEA DE _____ A _____

P.K. _____ AL P.K. _____ DE LA VIA _____

PROSPECCION EN _____ VELOCIDAD V= _____

PUNTOS NIVELADOS		LECTURAS			DIFERENCIAS		COTAS
P.K.	Nº	ATRAS	INTER-MEDIA	ADELANTE	+	−	
REF.							
	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
	6						
	7						
	8						

Cuadro 7.8: Fuente: Normativa Renfe Vía N.R.V. Calificación de la vía. Alineación

Calificación de la vía

Para calificar la nivelación longitudinal de la vía se utiliza el modelo de ficha de la siguiente figura. \

N.R.V. 7-3-5.5. NIVELACION LONGITUDINAL DE LA VIA

LINEA DE _____ A _____

P.K. _____ AL P.K. _____ DE LA VIA _____

PROSPECCION EN _____ VELOCIDAD V= _____

PUNTO COMPROBADO		COTAS		DIFEREN-CIA.	VARIACIO-NES.
P. K.	Nº	TEORICAS a	REALES b	b − a	
	1				
	2				
	3				
	4				

TOLERANCIAS

DIFERENCIAS = _____

VARIACIONES _____

Cuadro 7.9: Fuente: Normativa Renfe Vía N.R.V. Calificación de la vía. Alineación

- Columna PK: la situación kilométrica de cada punto
- Columna Cotas teóricas: la cota teórica de cada punto según la rasante de proyecto
- Columna Cotas reales: la media aritmética de las dos cotas determinadas en las nivelaciones de ida y vuelta

- Columna diferencia: la diferencia existente entre las cotas de las dos columnas precedentes, cota real menos cota teórica
- Columna Variaciones: la variación existente entre las diferencias de la columna anterior con los datos obtenidos en esta ficha se procede a calcular el índice de calidad de vía según su nivelación longitudinal

Se pueden encontrar los siguientes casos:

- Vía en primera nivelación. Se aplica la siguiente fórmula:

$$I_{nivelacion} = \frac{1}{25} * |m + 20| + \frac{1}{3} * n$$

Donde I = índice de calidad de la vía, referente a su nivelación longitudinal
m = media aritmética, con su signo, de las diferencias entre las cotas reales y teóricos de los puntos nivelados comprobándose, en el sondeo, 33 puntos por 100 metros de vía, la suma aritmética de las diferencias viene dividida por 33.
n = media aritmética de las variaciones de nivelación en dichos puntos, en valor absoluto al nivelar 33 puntos se obtienen 32 variaciones y su suma viene dividida por este número.

- Casos normales, es decir, vía nueva en segunda nivelación, o vía en conservación recién tratada o sin tratar. Se aplica la siguiente fórmula

$$I_{nivelacion} = \frac{1}{25} * |m| + \frac{1}{3} * n$$

Donde I y n tienen el mismo significado que en el caso anterior, siendo:
m = media aritmética de los valores absolutos de las diferencias entre las cotas reales y teóricas de los puntos nivelados.
Cuando se trate de los llamados casos especiales es decir, cuando no existan referencias de nivel, piquetes de replanteo, hojas de dos kilómetros o datos del perfil longitudinal por aplicación de la fórmula:

$$I_{nivelacion} = \frac{1}{2} * n$$

Donde n tiene el mismo significado que en los casos anteriores.
La calificación de la vía, para estos casos, se refleja en el cuadro anterior, donde se establece la calidad según el índice I

Tolerancias

Al calificar la nivelación se tendrá en cuenta el cuadro de tolerancias, indicándose con un asterisco las diferencias y variaciones que se hallan fuera de las mismas.

TOLERANCIAS (mm)	VÍA NUEVA		VÍA EN CONSERVACIÓN			
			Vía recién tratada		Vía sin tratar	
	1ª Nivelación	2ª Nivelación	$V_{máx}$ < 120 km/h	$V_{máx}$ ≥ 120 km/h	$V_{máx}$ < 120 km/h	$V_{máx}$ ≥ 120 km/h
DIFERENCIAS	- 10 - 50	+ 0 - 10	± 25	± 25	± 25	± 25
VARIACIONES	6	5	6	5	8	6

Cuadro 7.10: Fuente: Normativa Renfe Vía N.R.V. 7-3-5.5. Calificación de la vía. Nivelación longitudinal.

Se han mencionado anteriormente las hojas de dos kilómetros, decir al respecto que ya se trataron en el capítulo del montaje de vía en balasto, recordar que son básicamente unos perfiles longitudinales en formato A3 en los que se representa el trazado de la vía en tramos de dos kilómetros.

SONDEOS DE NIVELACION TRANSVERSAL

El objeto de estos sondeos es definir la calidad en la nivelación transversal de la vía y en el bateado de sus traviesas –N.R.V. 7-3-5.0. De calificación del peralte, alabeo y estabilidad de traviesas de la vía.

El sondeo para medir el peralte se realiza sobre el mismo tramo de vía utilizado para la medición del ancho, de la alineación y de la nivelación longitudinal. El peralte se medirá en 100 metros de vía, cada 3 metros 5 traviesas. Para estimar el alabeo en las alineaciones rectas. Los peraltes irán precedidos de su signo artimético con el fin de operar, después correctamente.

Las tolerancias admisibles quedan reseñadas en el cuadro siguiente:

TOLERANCIAS (mm)	VÍA NUEVA		VÍA EN CONSERVACIÓN			
			Vía recién tratada		Vía sin tratar	
PARÁMETROS	1ª Nivelación	2ª Nivelación	$V_{máx} < 120$ km/h	$V_{máx} \geq 120$ km/h	$V_{máx} < 120$ km/h	$V_{máx} \geq 120$ km/h
PERALTE	± 3	± 3	± 4	± 3	± 10	± 7
VARIACIONES DE PERALTE CADA 3 m	3	2	4	3	6	5
CONSOLIDACIÓN DE TRAVIESAS	C ≥ 0,80	C ≥ 0,80	C ≥ 0,75	C ≥ 0,75	C ≥ 0,65	C ≥ 0,70

Cuadro 7.11: Fuente: Normativa Renfe Vía N.R.V. 7-3-5.0. Calificación de la Vía. Peralte, alabeo y estabilidad de traviesas

Respecto a la desconsolidación de las traviesas que indica, en definitiva, el asiento de la vía se acusa por el ruido sordo que producen al ser golpeadas con un bastón de bola homologado por RENFE, el procedo se detalla en la Normativa N.R.V. 7-3-5.0, pero no vamos a profundizar en ello por considerar que excede la labor que debe realizar la topografía de la obra.

El índice de calidad $\ll I \gg$ se obtendrá de la fórmula

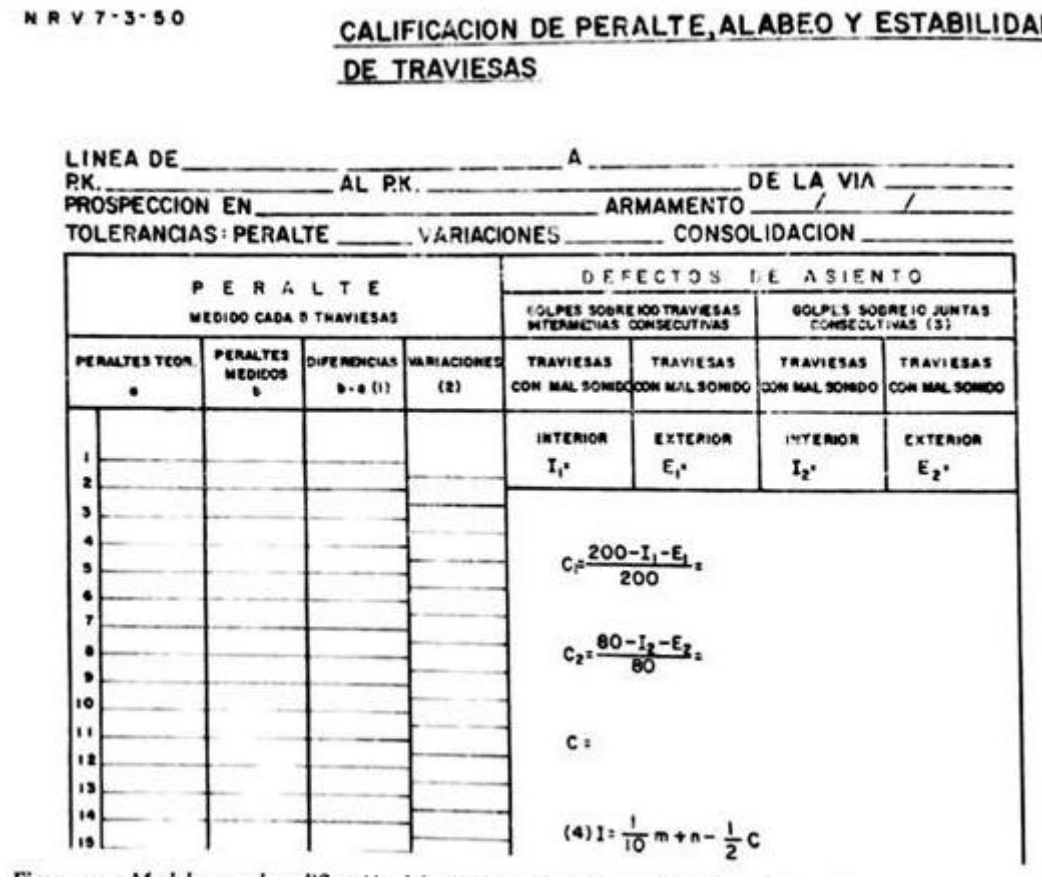
$$I_{nivelacion} = \frac{1}{10} * m + n - \frac{1}{3} * C$$

Donde m = la media aritmética de las diferencias entre el peralte teórico de la vía y el real, en valor absoluto, de los puntos medidos, en los sondeos se comprueban 33 puntos en 100 metros de vía, por lo que la suma de las diferencias de peralte viene dividida por este número.

n = media aritmética de las variaciones en valor absoluto se entiende como variación la segunda diferencia entre peraltes teóricos y reales de la vía, al medir los peraltes en 33 puntos resultan 32 variaciones y su suma viene dividida por este número.

C = tanto por uno de las traviesas bien consolidadas.

Los datos para obtener la calificación se consignaran en una ficha como es de la siguiente figura.



NRV 7-3-50

CALIFICACION DE PERALTE, ALABEO Y ESTABILIDAD DE TRAVIESAS

LINEA DE _____ A _____
P.K. _____ AL P.K. _____ DE LA VIA _____
PROSPECCION EN _____ ARMAMENTO ____/____/____
TOLERANCIAS: PERALTE _____ VARIACIONES _____ CONSOLIDACION _____

PERALTE MEDIDO CADA 5 TRAVIESAS				DEFECTOS DE ASIENTO			
				GOLPES SOBRE 100 TRAVIESAS INTERMEDIAS CONSECUTIVAS		GOLPES SOBRE 10 JUNTAS CONSECUTIVAS (3)	
PERALTES TEOR. a	PERALTES MEDIDOS b	DIFERENCIAS b - a (1)	VARIACIONES (2)	TRAVIESAS CON MAL SONIDO	TRAVIESAS CON MAL SONIDO	TRAVIESAS CON MAL SONIDO	TRAVIESAS CON MAL SONIDO
				INTERIOR I_1'	EXTERIOR E_1'	INTERIOR I_2'	EXTERIOR E_2'
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							

$C_1 = \frac{200 - I_1 - E_1}{200}$

$C_2 = \frac{80 - I_2 - E_2}{80}$

$C =$

(4) $I = \frac{1}{10} m + n - \frac{1}{2} C$

Figura 7.35: Modelo para la calificación del peralte, alabeo y estabilidad de traviesas. Fuente: Normativa Renfe Vía. Peralte, alabeo y estabilidad de traviesas.

SONDEOS DE ANCHO DE VIA

El objeto principal de estos sondeos es calificar la vía en el apartado referente a su ancho de vía. Para este apartado se va a tomar como referencia la Normativa existente para el ancho ibérico, de 1668 mm, por ser el más utilizado en las vías férreas españolas –N.R.V. 7-3-2.0. Calificación de la vía. Ancho de vía.

Aunque el ancho de vía es de 1668 mm, en algunas curvas es necesario dar un sobre ancho con el fin de ajustar mejor el trazado. Estos sobre anchos se indican en el cuadro siguiente.

RADIO DE LAS ALINEACIONES CURVAS (m)	ANCHO DE VÍA (mm)
R > 300	1.668
300 > R > 250	1.673
250 > R > 200	1.678
200 > R > 150	1.683
150 > R > 100	1.688

Cuadro 7.12: Fuente: Normativa Renfe Vía N.R.V. 7-3-2.0. Calificación de la vía. Ancho de vía

Tolerancias

- Tolerancias limites

- En alineaciones rectas, el ancho mínimo será de 1665 mm, y el máximo de 1683 mm
- En alineaciones curvas, las tolerancias se ajustaran al cuadro siguiente.

ALINEACIÓN (m)	ANCHO DE VÍA (mm)	
	Mínimo	Máximo
Recta	1.665	1.683
R ≥ 400	1.665	1.688
400 > R > 350	1.665	1.693
350 > R > 300	1.670	1.698
300 > R > 250	1.675	1.703
250 > R > 200	1.680	1.703
200 > R > 150	1.680	1.703
150 > R > 100	1.685	1.703

Cuadro 7.13: Fuente: Normativa Renfe Vía N.R.V. 7-3-2.0. Calificación de la vía. Ancho de vía

- Tolerancias de calidad en vías nuevas

Las tolerancias de calidad se ajustaran a los valores del cuadro siguiente.

ANCHO DE VÍA	EN PRIMERA NIVELACIÓN	EN SEGUNDA NIVELACIÓN
Error absoluto	+ 4 mm - 2 mm	± 2 mm
Variación	5 mm en 3 m (5 traviesas)	3 mm en 3 m (5 traviesas)
	2 mm entre 2 traviesas consecutivas	2 mm entre 2 traviesas consecutivas

Cuadro 7.14: Fuente: Normativa Renfe Vía N.R.V. 7-3-2.0. Calificación de la vía. Ancho de vía

- Tolerancias de calidad en conservación de vía

Las tolerancias de calidad se ajustaran a los valores del cuadro siguiente

VELOCIDAD MÁXIMA (Km/h)	VARIACIÓN MÁXIMA ENTRE DOS TRAVIESAS CONSECUTIVAS (mm)	ANCHURA DEL CORREDOR (mm)
V ≥ 130	2	4
130 > V ≥ 100	2	6
100 > V ≥ 60	2	8
V < 60	3	Las del cuadro 12.6

En vía con traviesas RS y sujeción RN la variación máxima entre dos consecutivas puede llegar a 3 mm para V ≤ 90 km/h

Cuadro 7.15: Fuente: Normativa Renfe Vía N.R.V. 7-3-2.0. Calificación de la vía. Ancho de vía

Control de ancho de vía

La calidad del ancho de vía se controla mediante sondeos que se realizan midiendo el ancho de vía, con la regla digital correspondiente, sobre todas las traviesas de un tramo de 25 m de longitud un total de 42 traviesas.

Índice de calidad del ancho de vía ≪I≫

En la determinación del índice de calidad del ancho de vía se distinguen seis casos, como el resto de sondeos:

- Vía nueva o renovada, en primera nivelación
- Vía nueva o renovada, en segunda nivelación
- Vía recién tratada, con velocidad máxima menor de 120 km/h

- Vía recién tratada, con velocidad máxima igual a mayor de 120 km/h
- Vía sin tratar, con velocidad máxima menor de 120 km/h
- Vía sin tratar, con velocidad máxima igual a mayor de 120 km/h

El ancho de vía, se considera bien cuando todas las medidas realizadas en el sondeo quedan dentro de las tolerancias indicadas, en el caso de que sean rebasadas las tolerancias limites que recoge, en una o varias medidas, el ancho de vía se calificara de mal, en los demás casos se calculara el índice de calidad I de acuerdo con la formula:

$$I_{ancho\ de\ via} = \frac{\sum V}{41} + \frac{E_\Delta}{21} + \frac{E_v}{21} - C$$

Donde I = índice de calidad del ancho de vía

Δ entre el ancho real de vía y el teorico, con su signo

V variacion entre dos Δ consecutivas, es la diferencia del ancho de vía entre dos traviesas consecutivas, excepto cuando varie el ancho teorico por cualquier causa

E_Δ = numero de puntos de la vía con variaciones V, fuera de tolerancia

E_V = numero de puntos de la vía con variaciones, V fuera de tolerancia

C = 0,5 en la vía con sujeción RN y cero en el resto de los casos

De acuerdo con el índice I y con los valores del cuadro anterior, la calificación del ancho de vía será de:

Aceptable, regular, deficiente y mal

Modelo de ficha a utilizar para la calificación del ancho de vía

FICHA DE CALIFICACION DEL ANCHO DE VIA

VIA EN: 1º NIVELACION, 2º NIVELACION, RECIEN TRATADA, SIN TRATAR.(1)

LINEA DE _____ A _____ ARMAMENTO _____

VIA ____ DEL Km. _____ AL Km. _____ Vmax = ____ Km/h.

ALINEACION _____ R° = _____ mts. VARIACION MAXIMA ____ mm.

CORREDOR ELEGIDO: DE _____ A _____ mm.

VIA						
TRAVIESA Nº	ANCHO REAL R	ANCHO TEORICO T	DIFERENCIAS Δ mm	DIFERENCIAS F.T.	VARIACIONES V mm	VARIACIONES F.T.
1						
2						
3						
4						
5						
6						

$\Delta = R - T$

$V = \Delta_n - \Delta_{n-1}$

INDICE: $I = \frac{\Sigma V}{41} + \frac{E_\Delta}{21} + \frac{E_v}{21} - C$ (2)

$I = \frac{\quad}{41} + \frac{\quad}{21} + \frac{\quad}{21} - \quad =$

CALIFICACION = _____

Figura 7.36: Modelo de ficha para la calificación del ancho de vía. Fuente: Normativa Renfe Vía N.R.V. 7-3-2.0. Calificación de la vía. Ancho de vía

SONDEOS DE APARATOS DE VIA

El objeto fundamental de estos sondeos es determinar la calidad de los aparatos de vía.

Antes de su instalación en vía, los desvíos deben ensamblarse en una explanación preparada convenientemente y lo más próxima posible a su ubicación definitiva. Sin embargo pueden instalarse en su lugar de ubicación definitiva en los siguientes casos:

a) En el montaje de vías nuevas, con materiales nuevos o de segundo uso, en donde las únicas circulaciones sean la maquinaria y trenes de trabajo, que podrán circular cuando el montaje del desvío se encuentre en situación de garantizar la seguridad de la circulación y la preservación de sus propios materiales.
b) En incidencias o accidentes en los que sea necesario sustituir, total o parcialmente un desvío averiado y restablecer rápidamente la circulación
c) En casos especiales suficientemente justificados y con autorización superior.

En los casos b) y c) es necesario comprobar a posteriori el estado de los materiales del desvío y en su caso sustituir los deteriorados

La explanación para el ensamblado debe ofrecer una superficie plana, prácticamente paralela a la rasante de la vía donde debe ubicarse el desvío.

Los desvíos se recibirán siempre premontados de fábrica cuando sean nuevos o del taller especializado que los haya puesto a punto si fuesen usados y se asentaran en la explanación, directamente sobre carriles viejos o sobre perfiles de cualquier clase convenientemente nivelados.

Primeramente se comprobara que se han recibido todos los materiales del desvío y que están en buenas condiciones. De lo contrario se efectuara la oportuna reclamación a fábrica.

Imagen 7.32: Desvío montado en fabrica. Fuente: http://www.amufer.es

El sondeo de calidad debe hacerse tan pronto se termine el ensamblado, el desvío no debe montarse en vía, o autorizar la circulación de trenes sobre él, hasta que ofrezca suficientes garantías para las circulaciones y para su propia preservación.

8- CONCLUSIONES

La decisión de escoger un tema para el trabajo Final de Grado que estuviera relacionado con la tecnología ferroviaria no es aleatoria. Es bien conocida la modernización que ha experimentado el ferrocarril español durante las últimas décadas. En gran parte gracias al espectacular desarrollo de la Alta Velocidad Española. España no es un caso aislado, este renacer del ferrocarril también se ha dado a nivel internacional: el ferrocarril del siglo XXI se está afianzando en los servicios interurbanos

de viajeros como alternativa real al transporte aéreo en determinadas distancias. Además la creciente congestión viaria de las grandes ciudades obliga a la necesidad de que la ciudadanía disponga de un medio de transporte alternativo al vehículo privado, rápido, seguro, eficaz y que no atente contra el medio ambiente, esto está haciendo y hará cada vez más usual encontrarnos en las ciudades de tamaños grandes y medios ferrocarriles metropolitanos, por todo ello y a pesar de la actual crisis económica, se puede augurar un futuro prometedor para el ferrocarril.

Existen numerosas publicaciones dedicadas a la tecnología ferroviaria, pero enfocadas a otros profesionales del sector. El presente Trabajo Final de Grado no es una compilación, más o menos afortunada, de los conocimientos plasmados en diferentes libros y publicaciones sobre el tema, sino un trabajo estructurado y ordenado sobre la base de plasmar los conocimientos que un Ingeniero Topógrafo necesita saber si quiere desarrollar su carrera profesional en la obra ferroviaria. Así se ha pretendido atender en su elaboración a dos perfiles profesionales:

1) Redactar un trabajo que sirva de base al topógrafo que en un momento dado tenga que abordar algún trabajo en el ámbito ferroviario y no tenga unos conocimientos previos en esta materia
2) Al mismo tiempo. Dirigir el mismo también a otros topógrafos profesionales algo más experimentados, describiendo la nueva instrumentación y métodos de trabajo existentes actualmente para que los pueda tener en cuenta a la hora de tomar determinadas decisiones en cuanto a la elección de la metodología adecuada para cada trabajo ferroviario, que redundara en el consiguiente ahorro de costes y la mejora de operatividad.

El camino de rodadura de los ferrocarriles se suele estudiar tradicionalmente separándolo en dos componentes: infraestructura y superestructura estando formada esta ultima por todos los elementos y materiales que se colocan sobre la plataforma para establecer el camino ferroviario. El Trabajo Final de Grado se ha centrado en la construcción de la superestructura.

La calidad geométrica de la misma, habiendo sido esta ultima nuestro principal objeto de estudio.

En el presente trabajo se ha pretendido, por una parte enumerar y definir los parámetros generales de diseño de un trazado ferroviario. Así como las limitaciones y/o tolerancias límite de sus valores, y por otra parte exponer, describir y comparar las diferentes soluciones constructivas existentes además de enumerar y describir las fases y procesos constructivos que se emplean en la implantación de superestructuras ferroviarias, haciendo una revisión de los principales instrumentos y métodos de trabajo que se han venido utilizando.

Para la definición de la posición geométrica de los carriles que forman la vía se emplean dos elementos geométricos: el eje en planta y el eje en alzado. En el primero se pueden distinguir tres tipos de alineaciones: rectas, curvas circulares y curvas de transición. El desarrollo del eje en alzado representa la cota del carril más bajo, ya que el peralte exige en los tramos curvos una cota distinta para cada uno de los carriles de la misma vía.

Respecto al instrumental y metodología utilizadas en los trabajos topográficos de montaje de vía, tanto en balasto como en placa, ha variado en los últimos anos, desde la metodología clásica hasta las nuevas propuestas basadas en instrumentación ideada específicamente para estos trabajos, como son los denominados carros de vías, donde el posicionamiento 3D absoluto de los carriles se realiza mediante estacion total robotizada o por tecnología GNSS.

Si bien los métodos e instrumentos tradicionales han podido ser suficientemente contrastados, son los nuevos métodos los que, basados en la incorporación de estos nuevos instrumentos al mundo ferroviario, están en fase de estudio por parte de instituciones e investigadores que intentan dar respuesta a cuestiones como en que fases resulta conveniente utilizar unos u otros, así como cuales son las ventajas de su utilización sobre todo, si tenemos en cuenta que los métodos tradicionales no han desaparecido, sino que coexisten con los de reciente implantación.

Una de las fases más importantes en los grandes proyectos de infraestructuras lineales, como son las nuevas líneas de ferrocarril, es la implantación de un sistema de coordenadas adecuado, que no tenga saltos ni discontinuidades planimétricas ni altimétricas, debido principalmente a que suelen ser redes de gran longitud que incluso pueden llegar a discurrir por dos países distintos con diferentes Sistemas de Referencia. La calidad final de la vía va a depender en gran medida de la precisión con que hayan sido obtenidas las bases de replanteo y nivelación, ya que nos apoyaremos en ellas para replantear y comprobar la vía, la Normativa Ferroviaria obliga a buscar el enlace de estas redes locales con las redes geodésicas por el IGN, en la

construcción de nuevas líneas y ramales importantes, adquiriendo esta labor tanto en el instrumental que se va a emplear como en las técnicas y metodología una dimensión geodésica.

Así, previo a los trabajos de materialización de la superestructura, se deberán distribuir una serie de vértices a lo largo del trazado, a ambos lados de la vía, que están observados, calculados y compensados. La implantación de esta red deberá ser suficientemente densa y precisa. Posteriormente, desde estas bases se realizara un levantamiento de la infraestructura ya finalizada para determinar si el trazado en planta y la rasante teórica encajan bien, en caso contrario se realizaran los ajustes necesarios.

Desde la red de bases de replanteo y nivelación implantada, se procede a la materialización de unas referencias denominadas puntos de marcaje sobre los postes de catenaria, obras de fábrica, piquetes, etc. Con indicaciones de distancia a la cara activa del carril más cercano y cota de rasante. Situados estos elementos externos a lo largo de toda la traza de la obra, se dispone ya de las referencias necesarias para comenzar el montaje de la superestructura.

Si se trata de una vía tradicional, el balasto ya puede ser llevado al tajo, extendido y nivelado, formando una capa de aproximadamente 15 cm de espesor. Se sigue con el montaje de la vía propiamente dicho procedimiento que está totalmente mecanizado, el siguiente paso es la correcta alineación y nivelación de la vía mediante maquina bateadora, con ayuda de los datos tomados por la topografía de obra del estado inicial de la vía, así como completar y perfilar la banqueta de balasto. Es necesario saber que la vía no puede ser llevada de una vez a su posición definitiva, serán necesarias varias pasadas de la bateadora que la vayan acercando, pasando por varios estados: en primera nivelación, en segunda nivelación y vía terminada.

Una vez realizados estos procesos, podemos dar por concluido el montaje completo de la superestructura de vía en balasto, no obstante quedaran pendientes las labores de control de calidad de la vía en cuanto a sus aspectos geométricos, para lo cual se seguirán las instrucciones que a tal efecto pública la administración ferroviaria competente. ADIF, FGV, FGC, etc. Donde se comprobara si se cumplen los límites de aceptación o las tolerancias impuestas según las condiciones geométricas del proyecto en cuestión. Este no es un procedimiento finalista, sino que forma parte de todo un proceso de control perfectamente delimitado en distintas fases de las obras hasta que se firma el acta de recepción definitiva de la vía.

Esto en el caso de nuevas infraestructuras, pero para el mantenimiento y control periódico de la vía constituye todo un proceso de remodelación de la vía existente hasta que cumpla los parámetros geométricos y de calidad originales, en este caso podemos hablar de un mantenimiento cíclico en el dependiendo del estado de la vía se procede a la ejecución de un conjunto de operaciones para estimar y restablecer en su caso los parámetros de calidad. También podemos considerar otro método denominado mantenimiento según el estado, en el que una vez diagnosticadas las irregularidades de la vía, se procede a la corrección de estas.

El análisis de la calidad de la vía se hace a nivel global, mediante los índices de calidad, resulta evidente que para la obtención de estos necesitamos la evaluación puntual de determinados aspectos geométricos de la misma, como son: alineación, nivelación longitudinal, nivelación transversal y ancho de vía, para ello existen unos determinados sondeos establecidos por normativa.

En el caso de que la vía a montar sea en placa, la metodología es diferente, en las últimas décadas, se ha venido desarrollando este tipo de vía más resistente y rígida que permite incrementos de carga y velocidad sin que se disparen los costes de mantenimiento. Este tipo de vía consiste básicamente en sustituir el lecho de balasto bajo la traviesa por una losa de hormigón armado. En la actualidad tiene numerosas aplicaciones y diferentes soluciones constructivas, se utiliza en algunas líneas y tramos de alta velocidad, en ferrocarriles metropolitanos, en estaciones túneles, puentes, etc. La principal diferencia en su montaje radica en que al contrario de lo que ocurría con la vía en balasto donde se iba acercando progresivamente la vía a su posición definitiva mediante varias pasadas bateando, en la vía en placa hay que situar los carriles en su posición definitiva de una vez, así su construcción exige unas tolerancias más restrictivas, es fundamental una nivelación, alineación y ancho de vía precisos ya que una vez ejecutada la losa de hormigón es prácticamente imposible la corrección de los errores de construcción en la geometría de la vía.

Tanto para el montaje como para la calificación de la vía, en balasto o en placa se puede usar el método tradicional empleando estación total, nivel, asas de flechar y regla de ancho y peralte, o los nuevos métodos basados en la utilización del carro de vías con posicionamiento absoluto. El carro de vías es considerado como un sistema avanzando de medición y auscultación de vía, está compuesto por un carro o vagón, generalmente en forma de T y sus principales componentes son: placa de control,

inclinométro, palpador de vía, odómetro y una columna de soporte para los prismas. Es necesario un ordenador central desde el que controlar el carro gracias a un software especifico instalado en el, podemos utilizar el carro de estación total, receptor GPS o escáner laser, dependerá de las necesidades del trabajo a realizar. La calidad de las observaciones, precisiones alcanzadas y rendimientos medios con estos instrumentos están avaladas por diferentes estudios realizados por investigadores, empresas y organismos, tanto nacionales como extranjeros.

Gracias a este y otros nuevos instrumentos, la Topografía de Obras como tantas otras disciplinas que intervienen en el proceso de diseño y construcción de una infraestructura ferroviaria, ha evolucionado tecnológicamente en los últimos anos para adaptarse a los retos que le plantea el futuro, respondiendo a ellos tanto con nuevas técnicas y procedimientos como con software o instrumental de diseño especifico. El desarrollo del carro de vías, que ofrece altas precisiones y grandes prestaciones, aumenta considerablemente el rendimiento en determinada situaciones, además de facilitar enormemente la labor del topógrafo de campo.

9- VOCABULARIO FERROVIARIO

A

Acopio de balasto: montón de balasto almacenado para su posterior transporte en vagón o camión.

Aguja: cada uno de los dos carriles móviles que en los ferrocarriles y tranvías sirven para que los vehículos vayan por una de dos o más vías que concurren en un punto; véase también: alabeo de la rueda deformación de la rueda por comba

Alabeo de la vía: deformación de la alineación de la vía por pandeo de carriles

Alineación de la vía: la proyección horizontal del hilo director definido

Alma del carril: parte del carril, de pequeño espesor, que une la cabeza con el patin

Altitud del contracarril: altura del contracarril sobre el plano de rodadura del carril

Amolado del carril: es el mecanizado de la cabeza del carril mediante muelas.

Ancho de vía: es la mínima distancia entre las caras activas de sus carriles

Aparato de dilatación: junta especial que permite recorridos importantes de los extremos de las barras largas que concurren en ella.

Apeadero: lugar de parada para el servicio viajeros

Atricción: proceso de desgaste por rozamiento

B

Balasto: material granular pétreo sobre el que apoyan las traviesas

Banqueta: capa de balasto extendida bajo las traviesas que envuelve, además sus extremos y caras laterales

Barra elemental: es el carril obtenido directamente por laminación en fábrica o acerería

Barra larga definitiva: es la barra comprendida, generalmente entre dos aparatos de dilatación

Barra larga provisional: es la obtenida en taller por soldadura de varias barras elementales

Barra regenerada: es la barra o carril usado después de sometido a un proceso que elimina los defectos adquiridos durante su utilización

Barrenadora: máquina para realizar taladros en traviesas de madera

Bateadora: maquina que batea, nivela y alinea la vía sondeo

Batear: operación de levantar la vía hasta el nivel teórico que debe tener rellenando los huecos ocasionados bajo las traviesas por introducción del balasto en ellos.

Borde activo: línea en la cara activa de la cabeza del carril, situada a 15 mm por debajo de su superficie de rodadura

Botador: pieza de acero de forma troncocónica que se emplea para hacer coincidir los taladros del carril de rodadura

Bridas: parejas de piezas de acero sirven para unir los extremos de dos carriles consecutivos

C

Cabeza del carril: parte superior del carril que se utiliza como elemento de rodadura

Cachas: elementos prismáticos de madera que se utilizan para sustentar los aparatos de la vía

Cajón: es el balasto de la banqueta comprendido entre dos traviesas consecutivas

Cala: separación entre los extremos de dos carriles consecutivos de un hilo de vía

Cala nominal de soldeo: espacio que debe dejarse preceptivamente entre los extremos de los dos carriles a soldar por aluminotermia para quedar relleno por el metal de aportación

Capa de enrase: se denomina al balasto existente a partir del nivel de la superficie inferior de la traviesa hasta la superficie de terminación de la banqueta

Capa de forma: capa de terminación de la plataforma

Capas de asiento ferroviario: se denomina de este modo a cada una de las capas que se disponen entre las traviesas y la capa de forma, con diversos fines

Cara activa de la cabeza de carril: superficie lateral de la cabeza de carril que sirve de guía a las pestanas de las ruedas de los vehículos ferroviarios.

Carga aluminotérmica: preparado granular formado por aluminio, oxido de hierro y algunos aditivos que al reaccionar por ignición, constituye el metal de aportación para la formación de la soldadura aluminométrica

Carril: elemento de acero sustentador del material rodante que se utiliza como dispositivo para su guiado y como conductor de las corrientes eléctricas.

Catenaria: provee de corriente eléctrica a las locomotoras

Cazoleta elástica: pieza de caucho de planta rectangular con las aristas redondeadas

c.c.c.: abreviatura de cota de cabeza de carril

Cerrojo: elemento de seguridad que sujeta la aguja

Clotoide: curva plana con radio de curvatura creciente o decreciente.

Codal: pieza de arriostramiento entre el contracarril y el cruzamiento

Contraaguja: pieza fija del cambio a la que se acopla la aguja

Contracarril: carril o perfil especial colocado en el interior de la vía de manera que sirva de guiado de la pestaña.

Corazón: elemento de los desvíos y de las traviesas donde se materializa el corte de los hilos izquierdos de las dos vías o de los hilos derechos.

Cupón de carril: trozo de carril que se obtiene por corte de una barra elemental o por soldadura de dos trozos de esta

Curva circular: curva de radio constante

Curva de radios múltiples: curva formada por dos curvas circulares de diferente radio y mismo sentido de curvatura.

Curva de transición: curva de radio variable, pueden encontrarse entre dos curvas circulares, cada uno de radio diferente, o entre una curva circular y una recta

D

Deformación plástica de la banqueta: deformación permanente que sufre la banqueta por efecto del tráfico ferroviario

Descarrilamiento: se produce por remonte de la rueda de los vehículos ferroviarios sobre el carril

Descubierta de la vía: es la operación de retirada del balasto de la banqueta situado por encima del plano inferior de las traviesas

Desgaste de altura de carril: el desgaste de altura de un carril es la diferencia entre la que tiene cuando es nuevo y la que arroja cuando se mide en un determinado momento

Desguarnecido: acción de retirar el balasto en su totalidad por debajo de la traviesa. Puede realizarse manual o mecánicamente.

Desvío: aparato que se instala en la vía para encauzar el tráfico en un sentido determinado

Diplory: viga con dos pequeñas ruedas troncocónicas, con pestanas a cada lado que se emplea para el transporte de objetos pesados por la vía.

Dresina: maquina básicamente en una tracción con una pluma. Se utilizan fundamentalmente para la recogida y deposito de material de vía.

E

Eje de trazado en planta de la vía: línea continúa situada en el eje de la entrevía.

Electrificación ferroviaria: sistema de alimentación de tracción por el cual la energía eléctrica procedente de una línea exterior de alta tensión pasa por la subestación.

Encarriladora: aparato de vía formado por contracarriles y planos inclinados longitudinalmente que mediante guiado sitúan de nuevo sobre los carriles un eje descarrilado de tal manera que colocado este aparato a la entrada de un puente metálico sin balasto evita los daños que sobre el mismo hubiera provocado el eje descarrilado.

Entreeje de vía: distancia medida en su sección transversal entre los ejes de dos vías, generalmente paralelas.

Escape doble o bretelle: aparato de vía compuesto por dos escapes superpuestos, simétricos con relación a un eje perpendicular a los carriles de las dos vías que relaciona y por una traviesa sin unión instalada en el cruce de las vías desviadas de estos escapes.

Excavación a media ladera: cuando el rebajado del terreno se realiza con talud en un solo lado

Exceso de peralte: cuando el peralte de una vía es excesivo para una determinada velocidad

Explanación o explanada: superficie de terreno natural, excavado o de relleno, sobre el que asienta la plataforma de la vía.

Extremo del carril: se entiende por extremo, la parte del carril ocupada por las bridas

F

Flecha: es la flecha geométrica de un arco, respecto a la cuerda que le subtiende, en el centro de esta medida en milímetros.

Flechado de la vía: acción de obtener la flecha de la vía cada 5,10 o 20 cm, con una cuerda de 10 o 20m, en las rectas deberá tener un valor teórico de cero.

G

Galibo: contorno mínimo de la plataforma y máximo del material ferroviario

Gatos de neutralización: tensores que se sujetan al carril y lo tensan realizándose así la liberalización de tensiones.

H

Hilo alto de una curva: se entiende como hilo alto de una vía en curva el carril que está más lejos del centro de la curva.

Hilo bajo de una curva: se entiende como hilo bajo de una vía en curva el carril que está más cerca del centro de la curva

Hilos de las vías: son líneas continuas definidas por el borde activo de los carriles

Hoja de dos kilómetros: documento utilizado en ferrocarril representado en dimensión DIN A3 o A4 en el que figuran de manera grafica

Hombro de la banqueta: distancia que existe entre una arista superior de la banqueta de balasto y el borde activo del carril de la vía más próximo a la misma

Homogeneización de tensiones: operación que tiene por objeto conseguir que una determinada longitud de barra larga, colocada en la vía quede fijada en una misma tensión.

I

Inclinación del carril: tangente del ángulo que forma el eje de simetría de la sección transversal del carril con la perpendicular al plano de la vía.

Infraestructura ferroviaria: conjunto de obras necesarias para constituir la explanación o plataforma de vía.

Inscripción en curva: se denomina así a las condiciones en que un vehículo ferroviario negocia su paso por una curva.

Insuficiencia de peralte: cuando el peralte de una curva es insuficiente para el paso de los vehículos a una determinada velocidad

J

Junta aislante: conjunto de piezas de diferentes materiales con el que se unen y embridan los extremos de dos carriles para impedir el paso de la corriente eléctrica en los circuitos de vía.

L

Laguna de corazón: discontinuidad existente entre los carriles que se cortan para formar el cruzamiento

Liberación de tensiones en barras largas: operación mediante la cual se fija la barra a las traviesas, después de darle la longitud correspondiente a la temperatura de liberación.

Línea de terreno natural: línea que limita la superficie del terreno una vez desprovisto de la capa vegetal

M

Maquina de soldadura eléctrica de carril: esta máquina sustituye a la soldadura aluminotérmica del carril para constituir barra larga soldada por una soldadura de acero eléctrico.

Metrado de la vía: consiste en el marcado de los puntos kilométricos P.K. en el lateral de la cabeza del carril. Se puede metrar la vía cada 3, 5, 10 o 20 m dependiendo del trabajo a realizar

N

Nivelación longitudinal: parámetro que define la cota de la superficie de rodadura de un hilo de la vía, referida a un plano de comparación

Nivelación transversal: es la diferencia de cota existente entre las superficies de rodadura de los dos carriles de una vía en una sección normal al eje de esta

Nudo de un desvío: punto de intersección de las tangentes a los ejes de la vía directa y de la vía desviada, al final del cruzamiento

P

Patín del carril: base del carril, de anchura mayor que la cabeza, son superficie inferior plana para su apoyo en las traviesas

Peralte: diferencia de cota entre las superficies de rodadura de los dos carriles de una vía, dentro de una misma sección normal a ella.

Perfiladora: maquina pesada de vía cuya misión principal es formar la sección tipo de balasto.

P.K.: punto kilométrico correspondiente a un punto determinado del trazado en planta es su distancia al origen de la línea.

Placa de asiento del carril: elemento sobre el que descansa el carril en la traviesa.

Plataforma de la vía: estructura, construida sobre la explanación que sustenta la capa de asiento, la vía y los elementos destinados al funcionamiento de los trenes.

Punto de marcaje: puntos colocados por la topografía de la obra ferroviaria para el correcto replanteo de la planta y el alzado de la vía.

Punto de paso obligado: punto de influencia vinculante en el diseño del trazado de la vía.

R

Rasante: alineación vertical que define, en alzado, el trazado de una línea ferroviaria

Recepción de la vía: acto mediante el cual el organismo competente acepta una cierta fase del montaje de la vía, o se hace cargo de la totalidad de él, después de comprobar que cumple las condiciones

Red de bases de nivelación: conjunto suficiente de puntos o bases de referencia de nivelación que se emplean para fijar con exactitud la cota de la vía

Regla de ancho y peralte: permite la medición del ancho y el peralte de la vía, las hay analógicas y digitales.

Renovación de vía: sustitución total de la superestructura de una vía

Ripado de una vía: acción de desplazarla lateralmente

Rueda de medición de vía: rueda de medición adaptada para la medición expedita de la longitud del carril.

S

Sobreancho: mayor anchura que se le da a las vías en curva de radio reducido para facilitar la inscripción de los vehículos.

Soldadura de acuerdo de perfiles: se dice de la soldadura que une dos carriles con diferente tipo de perfil.

Sondeos de alineación: para la calificación de las vías en el apartado referente a su alineación

Sondeos de ancho de vía: para la calificación de las vías en el apartado referente a su ancho

Subalasto: capa de granulometría uniforme sobre la que descansa la banqueta de balasto.

Sub-base: parte de las capas de asiento que comprende desde el balasto hasta la capa de forma.

Sujeción directa de carriles: se denomina de este modo a la sujeción cuya función de fijar el carril a la traviesa se consigue mediante un elemento.

Superestructura ferroviaria: formada por todos los elementos y materiales que se colocan sobre la plataforma para establecer el camino ferroviario.

Superficie de rodadura del carril: superficie superior de la cabeza del carril donde apoyan las ruedas de los vehículos.

T

Taladradora de carril: máquina para realizar taladros en el alma del carril y así poderlos embridar posteriormente.

Talud: plano de parámetro de una obra de fabrica o de tierra

Terraplén: macizo de tierra con el que se constituye la plataforma al rellenar una vaguada.

Tierra vegetal: suelo constituido principalmente por materia orgánica descompuesta, humus natural o artificial mezclado en diversas proporciones con suelos minerales.

Tijera: se dice a la diferencia de alineación en la cara activa de los extremos de los dos carriles que forman una junta en la vía.

Tolerancias de calidad: son aquellos que deben exigirse en toda vía funcionamiento para que proporcione un buen nivel de servicio.

Tolerancia limites: son aquellas que no deben rebasase en ningún caso ni bajo ningún concepto

Traviesa: elemento de diversos materiales que situado en dirección transversal al eje de la vía, sirve de sostenimiento al carril, constituyendo el nexo de unión entre él y el balasto o losa de hormigón, en algunas tipologías de vía en placa.

Trazado: proyección sobre el plano horizontal o vertical de un trazado ferroviario, cuya configuración se basa en las alineaciones en planta y en alzado

Tren: serie de vehículos acoplados unos con otros que, remolcados por una locomotora o un automotor, conducen viajeros o mercancías de un punto a otro por una vía férrea

Túnel: paso subterráneo artificial abierto para establecer una comunicación a través de un monte, por debajo de un río u otro obstáculo similar

Tren-tierra: sistema de telefonía que permite la comunicación entre el tren y el puesto de mando, y un sistema de telefonía que dispone de teléfonos a lo largo de la vía, cada 1,5 kilómetros, que permiten la comunicación del maquinista con el jefe de circulación, en el caso de que se averiase el sistema de tren-tierra.
El dispositivo necesario para su puesta en marcha requiere, esencialmente, un PCR, unos puestos móviles en los trenes, unos

equipos portátiles y unos puntos fijos instalados a lo largo de la línea. La comunicación se realiza entre el PCR y los puestos móviles o portátiles, por el intermedio de los puestos fijos.
El puesto móvil que circula por la línea y el equipo portátil, se conectan automáticamente, con el puesto fijo más cercano, al existir mejor transmisión por radio y desde éste pasa la comunicación al PCR a través de la línea telefónica

U

UIC: Union Internationale des Chemins de Fer (fra.) Unión Internacional de Ferrocarriles; organismo internacional que tiene como objetivo la normalización de las instalaciones y del material ferroviario, así como de los aspectos técnicos y organizativos del ferrocarril

V

Vagón: unidad móvil ferroviaria sin sistema de propulsión propio destinada al transporte de mercancías

Vías: estructura compuesta por dos carriles cuya inclinación y separación relativas son mantenidas por las traviesas, que están apoyadas sobre una capa de balasto de espesor variable, separada de la plataforma por una subbase

Vía ancha: vía cuyo ancho es superior al internacional, y cuyas medidas oscilan entre 1,668 m de la vía española y 1,676 m de Argentina, Chile y la India, que son las más anchas del mundo

Vía en placa: tipo de vía sin balasto constituida por una placa de base de hormigón pobre, que soporta otra llamada principal en la que se apoyan los carriles, que quedan fijados a ella por medio de los elementos de sujeción y donde el apoyo del carril se realiza sobre un elastómero que ha de cumplir la función de balasto.

Vías de mango: vía muerta que sirve para apartar máquinas y vagones durante las maniobras. En una clasificación, vía que continúa por una banda todas las vías de un haz y tiene la longitud suficiente para recibir en ella los vagones de maniobra que se han de llevar a otra vía

Z

Zapata: pieza metálica, o de algún otro material resistente, que se aplica contra la llanta de la rueda para frenarla

Zunchado de traviesas: operación por la que se coloca alrededor de la traviesa una banda o fleje de acero de 20 a 25 mm de ancho por 8 a 10 mm de espesor que abraza con fuerza la traviesa impidiendo, o al menos retrasando en gran medida, su hendido longitudinal

Zuncho: abrazadera o anillo de hierro que sirve para ceñir y reforzar los extremos de la traviesa de madera; anillo retráctil de sujeción

10- BIBLIOGRAFIA

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ADIF.NORMATIVA ADIF VIA (N.A.V. 3-4-0.1. Balasto. Canteras suministradores. Prescripciones geotécnicas y de instalaciones de fabricación). Adaptado al Pliego PF-6 del Ministerio de Fomento y las Normas UNE-EN 13450 y UNE 146147, 2^a Edición: Enero de 2007. Dirección de Calidad, Medio Ambiente y Sistemas de información (Dirección Ejecutiva de Mantenimiento de Infraestructuras)

ARRUFAT MOLINA, ENRIQUE D (2006) (Instrumentos Topográficos). Editorial Tirant lo Blanch. ISBN 84-8456-723-0

BOE número 276 (Martes, 18 de noviembre de 2003). (Ley 39-2003, de 17 de noviembre, del Sector ferroviario).

BOE numero. 315 (Viernes 31 de diciembre de 2004). (Real Decreto 2387/2004, de 30 de diciembre, por el que se aprueba el reglamento del sector ferroviario)

CALVO POYO, FRANCISCO J, JURADO PINA RAFAEL, LORENTE GUTIERREZ, JOSE DE ONA, LOPEZ JUAN (2005). (Diseño y características de la vía ferroviaria). Grupo editorial Universitario. Universidad de Granada. Departamento de Ingeniería Civil. Área de Ingeniería e infraestructuras de los Transportes. ISBN 84-8491-601-4

CAMPOS MENDEZ JAVIER, DE RUS MENDOZA GINES, BARRON DE ANGOTTI IGNACIO (2009). (El transporte ferroviario de alta velocidad. Una visión económica). Documentos de trabajo. Fundación BBVA

LOPEZ PITA ANDRES. (Infraestructuras ferroviarias). Edición de la Universidad Politécnica de Catalunya, S.L. ISBN 84-8301-853-5

MENDOZA FERNANDEZ JOSE JULIAN (2005). (Cuaderno técnico de vía). Cuaderno I: Geometría de la vía. Tecnorail Consulting S.L. ISBN 84-609-3491-8 (Obra Completa).

OLTRA CASTELLO RICARDO (2013). (LA TOPOGRAFIA EN EL DISENO Y CONSTRUCCION DE SUPERESTRUCTURAS FERROVIARIAS). Trabajo Final de Carrera. Tutor: JESUS LUIS OLIVARES BELINCHON. Titulación: Grado en Ingeniería Geomática y Topográfica. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Geodésica, Cartográfica y Topográfica. Universidad Politécnica De valencia.

RENFE (2008). (Nociones Básicas Ferroviarias). Escuela Técnica Profesional de RENFE Ediciones Técnicas Marcombo, S.A. ISBN 978-84-267-1513-5

RENFE.NORMATIVA RENFE VIA (N.R.V. 3-0-0.0 Carriles. Barras elementales). 1^a Edición: Febrero de 1981. Área de Inversiones. Gabinete de Proyectos y Normas.

RENFE.NORMATIVA RENFE VIA (N.R.V. 3-1-0.0 Traviesas. Traviesas y cachas de madera). 1^a Edición: Marzo de 1981. Area de Inversiones. Gabinete de Proyectos y Normas.

RENFE.NORMATIVA RENFE VIA (N.R.V. 3-2-0.0 Sujeciones rígidas de carriles. Tirafondos y placas de asiento). 1^a Edición: Junio de 1980. Area de Inversiones. Gabinete de Proyectos y Normas.

RENFE.NORMATIVA RENFE VIA (N.R.V. 3-2-1.0 Sujeciones de carriles. Sujeciones Elásticas). 1^a Edición: Julio de 1982. Area de Inversiones. Gabinete de Proyectos y Normas.

RENFE.NORMATIVA RENFE VIA (N.R.V. 3-3-0.0 Juntas de Carriles. Bridas y tornillos de brida)1^a Edición: Agosto de 1982. Area de Inversiones. Gabinete de Proyectos y Normas.

RENFE.NORMATIVA RENFE VIA (N.R.V. 3-3-2.0 Juntas de Carriles. Uniones por soldadura). 1^a Edición: Septiembre de 1982. Area de Inversiones. Gabinete de Proyectos y Normas.

RENFE.NORMATIVA RENFE VIA (N.R.V. 3-6-0.0 Desvíos. Descripción general). 1^a Edición: Julio de 1991. Dirección de mantenimiento de Infraestructura. Dirección técnica

RENFE.NORMATIVA RENFE VIA (N.R.V. 7-1-0.0 Montaje de vía. Secuencia de los trabajos de construcción de una línea). 1^a Edición: Julio de 1993. Dirección de mantenimiento de Infraestructura. Dirección técnica

RENFE.NORMATIVA RENFE VIA (N.R.V. 7-1-0.0 Montaje de vía. Replanteo de vía). 1^a Edición: Noviembre de 1982. Area de Inversiones. Gabinete de Proyectos y Normas.

RENFE.NORMATIVA RENFE VIA (N.R.V. 7-1-0.2 Montaje de vía. Métodos de replanteo). 1^a Edición: Marzo de 1994. Dirección de mantenimiento de infraestructura. Dirección técnica

RENFE.NORMATIVA RENFE VIA (N.R.V. 7-3-6.0 Calificación de la vía. Alineación). 1^a Edición: Abril de 1983. Area de Inversiones. Gabinete de Proyectos y Normas.

RENFE (N.R.V. 2-0-0.3 Definición, características y tipología de las explanaciones y obras de contención). 1^a Edición: Octubre de 1997. Dirección de mantenimiento de infraestructura. Dirección técnica.

UIC - INTERNATIONAL UNION OF RAILWAYS - (2010) (HIGH SPEED AROUND THE WORLD MAPS), UIC High Speed Departament.

UIC-INTERNATIONAL UNION OF RAILWAYS - (2012) (HIGH SPEED LINES IN THE WORLD) UIC High Speed Departament.

UIC-INTERNATIONAL UNION OF RAILWAYS - (2012) (RAILWAY STATISTICS. SYNOPSIS 2011) UIC High Speed Departament.

PAGINAS WEB

http:///www.google.com

http://www.adif.es ADMINISTRADOS DE INFRAESTRUCTURAS FERROVIARIAS

http://www.es.wikipedia.org ENCICLOPEDIA LIBRE

http://www.ferropedia.es FERROPEDIA. WIKI SOBRE FERROCARRILES ESPAÑOLES

http://www.ffe.es FUNDACION DE LOS FERROCARRILES ESPAÑOLES

http://www.fomento.gob.es MINISTERIO DE FOMENTO. GOBIERNO DE ESPAÑA

http://www.geoconcept.es GEOCONCEPT

http://www.leica-geosystems.es LEIGA GEOSYSTEMS ESPAÑA

http://www.rae.es REAL ACADEMIA ESPAÑOLA

http://www.renfe.com RENFE

http://www.topcon-medical.es TOPCON ESPAÑA

http://www.trimble.com TRIMBLE

http://www.uic.org INTERNATIONAL UNION OR RAILWAYS