

Geometría y control de calidad de infraestructura viaria de alta velocidad: Revisión de métodos y procedimientos constructivos

REVISTA **MAPPING**
Vol. 22, 157, 46-60
enero-febrero 2013
ISSN: 1.131-9.100

Alonso Sánchez Ríos, Abel González Ramiro(*)

Resumen:

La calidad de las vías permiten a los trenes circular a la velocidad para la que fueron diseñadas, además de garantizar el confort y lo que es más importante: la seguridad. Esta calidad va a depender de dos factores: los materiales que la forman (y su conservación) y por otro lado la calidad geométrica de la misma, siendo ésta nuestro objeto de estudio.

En esta comunicación, pretendemos exponer las diferentes fases y procesos constructivos que se emplean en la implantación de infraestructura viaria, haciendo una revisión de los principales instrumentos y métodos de trabajo que se han utilizado en los últimos 25 años en los proyectos de implantación de líneas de ferrocarril de alta velocidad en nuestro país.

El instrumental y metodología utilizadas en estos trabajos ha variado desde las primeras experiencias llevadas a cabo en la línea AVE Madrid-Sevilla hasta nuestros días, desde los trabajos basados en replanteos por coordenadas hasta las nuevas propuestas basadas en instrumentación ideada específicamente para estos trabajos, como son los denominados "carros de vía", donde el posicionamiento 3D se realiza mediante estación total o por tecnologías GNSS.

Palabras clave: Alta velocidad, Bateadoras, Carros de vía, Control de calidad, Superestructura viaria, Metodología 3D, Vías ferrocarril.

Abstract:

The quality of the tracks allow trains to travel at the for speed they were designed, beside to ensure the comfort and the most important: safety. This quality will depend on two factors: the materials that form (and their preservation) and on the other hand the geometric quality of the same, being the object of our study.

In this paper, we pretend present the different phases and construction processes used in the implementation of railways, doing a review the main instruments and methods of work that is come used in the past 25 years in the implementation design of lines high-speed rail in our country. The instrumentation and methodology used in this work have changed since the first experience carried out in the Madrid-Seville AVE line until our days, from the works based on stakeout by coordinates to the new proposals based instrumentation on designed specifically for this work as they are called "track trolley survey" where the 3D positioning is performed using total station or GNSS technologies.

Keywords: High speed, tamping machine, track trolley, quality control, road superstructure, Methodology 3D rail routes..

Alonso Sánchez Ríos
Universidad de Extremadura,
Centro Universitario de Mérida CUM
schezrio@unex.es

Abel González Ramiro
Universidad de Extremadura,
Centro Universitario de Mérida CUM
agramiro@gmail.com

Recepción 19/06/2012
Aprobación 18/09/2012

Introducción

La INTERNATIONAL UNION OF RAILWAYS (UIC) 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 250km/h (en el caso de nuevas líneas) o velocidades superiores a los 220Km/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 con motivos de la Exposición Universal de Sevilla (Expo92) fue inaugurada la primera línea de alta velocidad en España: la LAV Madrid-Sevilla, con una longitud de 471 Km de vía de ancho internacional (1,435 m); la velocidad de circulación de hasta 300 Km/h permitía conectar ambas ciudades en un tiempo de 2 horas y 55 minutos, lo que supuso un cambio del concepto de transporte ferroviario en nuestro país, tradicionalmente considerado como impuntual y lento. A esto habría que añadir que tanto en España como en otros países, los servicios de alta velocidad son las unidades de negocio más rentables para los operadores públicos, permitiéndoles recuperar con ellas sus costes operativos aunque no los de infraestructura [ANG09], por lo que desempeñan un papel complementario y especializado frente al transporte aéreo y por carretera.

El primer ferrocarril español que entró en servicio fue en la entonces provincia de Cuba, en el año 1837

Desde esta fecha, se han venido realizando grandes esfuerzos inversores¹ que han hecho posible que la red de alta velocidad española sea la más extensa de Europa

¹ En abril de 1987, el Gobierno aprobó el Plan de Transporte Ferroviario (PTF), que constituye el primer instrumento de modernización del ferrocarril español. Posteriormente, el Plan Director de Infraestructuras (PDI) centró la planificación para el período 1993-2007 en una clara apuesta por la especialización del ferrocarril en las modalidades de alta velocidad, cercanías y transporte combinado, con un volumen medio anual de inversión de 215.000 millones de pesetas. Fuente: Secretaría de Estado de la Comunicación. Ministerio de la Presidencia, 2000

y la segunda del mundo, por detrás de China, superando a países con alta tradición en esta tecnología, como Japón o Francia, y que cuenta con casi 2900km de vía que conectan 23 ciudades, manteniendo el tradicional carácter radial, con centro en Madrid, que permite ahorros en la construcción y economías de escala en la explotación.

La red española de alta velocidad está dentro del diseño de la Red Transeuropea del Transporte, ya que desde su dorsal principal, basada en el eje Sevilla-Madrid-Barcelona-Frontera francesa, se define otro enlace europeo por Francia a través de Irún y una conexión con Lisboa (Portugal), a través de Badajoz (Figura 1).



Figura 1 Fuente: ADIF. Noviembre 2011.

Como ocurriera en toda Europa, los ferrocarriles españoles tienen su origen en el siglo XIX: El primer ferrocarril español que entró en servicio fue en la entonces provincia de Cuba, en el año 1837; aunque en la 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 [RAF99] y tres años más tarde, la línea Madrid-Aranjuez. A partir de aquí, 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, entre los que podemos citar tres tipos bien diferenciados:

- Los trabajos de control de calidad de la vía.
- Los trabajos de rectificación y remodelación de vías existentes.
- Los trabajos de implantación de nuevas líneas de ferrocarril.

Los dos primeros grupos constituyen las tareas cotidianas de las administraciones ferroviarias y de empresas especializadas, y con ellos, se pretende garantizar el mantenimiento de las condiciones de seguridad y comodidad para el viajero y mercancías en las vías ya existentes. Estos trabajos suelen ser periódicos y realizados por equipos especializados.

Por otra parte, los trabajos de implantación de nuevas líneas de ferrocarril, forman parte de proyectos nacionales o incluso internacionales de gran envergadura, tanto en sus aspectos constructivos, como en otros de índole económico, social y político, y dadas sus características particulares, suelen ser ejecutados por empresas y grupos especializados en este tipo de infraestructuras

En todos estos trabajos se utilizan procedimientos y métodos de trabajo específicos que han ido variando a lo largo del tiempo debido bien a la introducción de mejoras en los instrumentos de trabajo o a la propia aparición de otros nuevos, que han modificado la forma de trabajar, los rendimientos y los resultados que se obtienen.

Si bien los métodos e instrumentos tradicionales han podido ser suficientemente contrastados en los numerosos trabajos ejecutados en diferentes períodos, son los nuevos métodos, los que basados en la incorporación de nuevos instrumentos al mundo ferroviario están en fase de estudio por parte de instituciones e investigadores que intentan dar respuesta a cuestiones como en qué fases resulta conveniente utilizar unos u otros, así como

cuáles 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.

En esta comunicación, se expondrán las diferentes fases y procesos constructivos que se emplean en la implantación y control de calidad de infraestructura viaria, haciendo una revisión de los principales instrumentos y métodos de trabajo que se venido utilizado en los últimos 25 años en los proyectos de implantación de líneas de ferrocarril de alta velocidad en nuestro país, en la que describiremos desde los métodos tradicionales hasta los de reciente implantación; por último, se redactarán una serie de recomendaciones generales en cuanto al tipo de metodología (o combinación de ellas) a utilizar en cada fase de trabajo o según la actuación que se vaya a realizar. Con ello, pretendemos cumplir con dos objetivos: el primero, consistente en redactar un documento que sirva de base al profesional que en un momento dado tiene que abordar algún trabajo en el ámbito ferroviario y no tiene unos conocimientos previos en esta materia; el segundo, dirigido a otros profesionales más experimentado y consistente en describir los nuevos métodos de trabajo 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, que redundará en el consiguiente ahorro de costes y la mejora de operatividad.

El Proyecto

Como en todas las obras de ingeniería, el proceso de implantación de una nueva línea de ferrocarril comienza con la realización de varios anteproyectos que pretenden dar solución a una serie de necesidades de la sociedad. De entre las distintas soluciones aportadas, se escogerá una, que una vez perfilada y estudiada en cada uno de sus aspectos relevantes, constituirá el proyecto definitivo de construcción.

Este documento gráfico-literal, describe e identifica sobre el papel cada uno de los elementos que deberán materializarse en el terreno para que lo proyectado tome forma en la realidad. El primer ferrocarril español que entró en servicio fue en la entonces provincia de Cuba, en el año 1837.

Las diferentes fases de ejecución de la obra van desde la implantación de la cartografía base, incluyendo las redes topográficas de apoyo, hasta la recepción de la misma o puesta a punto [REN93].

Una de las fases más importantes en los grandes proyectos de ingeniería, como son las 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 pueden alcanzar los 450km de longitud, como es el caso de la "LAV Madrid - Extremadura - Frontera Portuguesa", e incluso en un futuro podría llegar a discurrir por dos países distintos con diferentes "Sistemas de Referencia".

Una de las fases más importantes en los grandes proyectos de ingeniería, como son las líneas de ferrocarril, es la implantación de un sistema de coordenadas adecuado

La bondad de las Bases de replanteo sobre las que nos apoyaremos para replantear y comprobar las vías (superestructura) va a depender en gran medida de la calidad de nuestra "Red Inicial". Para el caso concreto de la LAV Madrid - Extremadura - Frontera Portuguesa se ha procedido de la siguiente forma:

- Planimetría: La observación y cálculo de la red planimétrica se realiza por tecnologías GNSS, apoyándonos en vértices geodésicos pertenecientes a la "Red Geodésica Nacional por Técnicas Espaciales (REGENTE), los cuales tienen una precisión absoluta igual o mejor que 5cm, además de tener una serie de características que la hacen idónea para este proyecto [FOM12-1]. Una de las vicisitudes que nos encontramos es que muchos de los proyectos anteriores a 2008 se redactaron en el sistema ED50 (European Datum 1950) y los actuales se redactan en el ETRS89 debido al "REAL DECRETO 1071/2007, de 27 de julio de 2007, por el que se regula el sistema geodésico de referencia oficial en España".
- Altimetría: La altimetría de las bases que conforman la

RED INICIAL O DE APOYO para toda la obra procede de la REDNAP (Red Española de Nivelación de Alta Precisión), Las líneas que conforman esta red arrojan un residuo promedio de 0,16 ppm [FOM12-2], proporcionando una garantía y seguridad en la asignación de altitudes ortométricas. Las observaciones de nuestra red se realizan con niveles automáticos de código de barras, con itinerarios dobles de ida y vuelta observados por el método del punto medio.

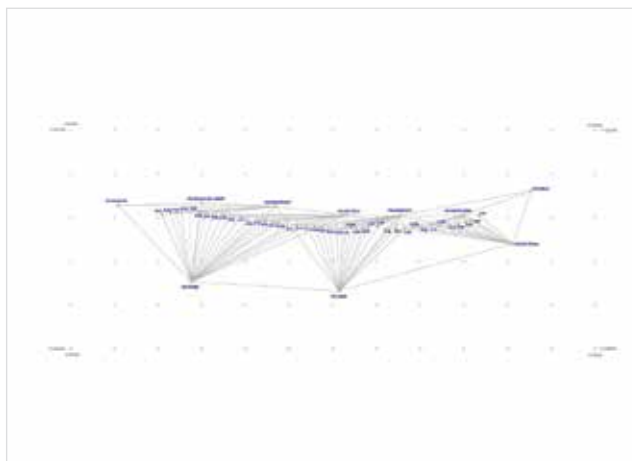


Figura 2. Red Planimétrica: AVE Madrid-Extremadura (Subtramo Mérida-Badajoz).

De esta forma, tendremos distribuidos por toda la obra una serie de puntos con coordenadas X,Y,Z de precisión que servirán a los equipos topográficos para, desde ellos, realizar todos los replanteos y controles necesarios para la ejecución de la obra, y que suelen denominarse bases de replanteo.

En algunos Estados como el Reino Unido, en concreto para la línea de ferrocarril que une Glasgow (Escocia) y Londres (Inglaterra) con una longitud de 650Km, han apostado por la creación de un software específico, que consiste en adaptar una proyección de forma que el factor de escala (también de altura) sea mantenido durante varios kilómetros, solventando así problemas de continuidad y saltos [ILI07].

El ignorar los aspectos comentados anteriormente, ha venido produciendo innumerables problemas en la ejecución de obras lineales de gran envergadura, pues al no tenerse en cuenta las prescripciones descritas, realmente, no existe una correspondencia real entre la cartografía del proyecto y la red de bases de replanteo, lo que produce que la exactitud posicional de los elementos replanteados no sea la correcta. Esto ha dado lugar a

soluciones sesgadas que de ninguna forma pueden ser aceptadas para un proyecto de implantación de una línea de ferrocarril, donde la exactitud posicional de los elementos que la conforman, debe estar totalmente garantizada.

La geometría

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.

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

Como consecuencia de satisfacer estas condiciones, los trazados de las líneas de ferrocarril, en especial los de velocidades altas, se caracterizan por:

- En planta, utilización de grandes radios para los acuerdos horizontales, que amortigüen los efectos de la aceleración transversal de los vehículos ferroviarios al entrar en las curvas, o ya dentro de ellas. Esto implica radios mínimos de entre 2000 y 4000 metros, dependiendo de la topografía del terreno.
- Rasantes con escasa pendiente (en torno al 12‰) y con curvas de acuerdo muy grandes (en torno a los 24.000 m).
- Sección tipo formada por (Figura 3) :
- Vía formada por carriles tipo UIC 60, de 60 Kg/ml, con carriles duros y resistentes al desgaste.
- Traviesa tipo Dwydag monobloque.
- Capa superficial de balasto granítico de machaqueo,

con un espesor constante de 30 cm, que evitará asientos diferenciales a lo largo del trayecto.

- Bajo el balasto va una capa de subbalasto (mezcla de 70% de material de machaqueo con 30% de suelo arenoso) con bombeo del 4%.
- Bajo el subbalasto va la capa de forma, de espesor variable (hasta 60 cm) compuesta de materiales seleccionados. Esta es opcional y dependerá del material del núcleo del terraplén.

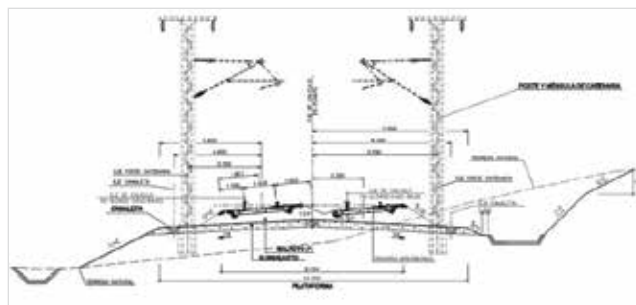


Figura 3. Sección tipo: LAV Madrid-Extremadura.

Al conjunto capa de forma y subbalasto se le denomina PLATAFORMA, y tiene su justificación en que una vía destinada a la circulación de trenes de alta velocidad ha de mantener con el tiempo su regularidad geométrica, con tolerancias mínimas. Para ello, es necesario que el conjunto balasto-vía se apoye sobre un soporte resistente y con un buen comportamiento frente a la acción del agua. Al conjunto balasto-vía se denomina SUPERESTRUCTURA.

La ejecución

Desde las bases de replanteo establecidas anteriormente, se realizarán las distintas labores topográficas necesarias para la ejecución y control de la obra, como:

- Replanteo de los puntos del eje mediante el estaquillado de puntos cada 20m, que definirán la traza de la plataforma donde irá instalada la estructura viaria.
- Levantamiento topográfico de la zona de actuación de la obra; se suele tomar un sobreancho por los posibles cambios que pudiera sufrir el trazado original de proyecto.
- Una vez tomado el terreno, mediante programas de cálculos de trazado de obra civil (Clip, Ispol, Mdt, Inroad, etc.), se recalcula el proyecto: movimientos de tierra, pies y cabezas de talud, obras de drenaje, estructuras, etc.
- Se marcan en campo mediante estaquillado aquellos

elementos necesarios para la ejecución de las obras, como: líneas límite de expropiación, cabezas y pie de talud, inicio y final de obras de drenaje, zapatas de estructuras, etc.

- Replanteo selectivo de elementos puntuales para realización de controles periódicos por parte de las empresas consultoras, con el fin de comprobar la exactitud posicional de los elementos constructivos ejecutados, y que éstos se ajustan a las condiciones del proyecto.
- A medida que se va avanzando en la obra se van destruyendo y reponiendo bases de replanteo.
- Generalmente es, entre la fase de coronación de tierras y el extendido de subbalasto cuando se colocan los hitos a lo largo de la traza (Figura 4). Las características que han de cumplir vienen recogidas en el Pliego de Prescripciones Técnicas particulares (PPTP) del administrador ferroviario, para el caso de España es ADIF (Administrador de Infraestructuras Ferroviarias). Estos hitos son los encargados de mantener el sistema de referencia desde el principio de la obra hasta sus últimas fases.



Figura 4. Imagen izquierda: vértices utilizados para materialización de superestructura. Imagen derecha: hitos kilométricos.

- Una vez hemos llegado a la capa de coronación, se debe de haber creado una red de nivelación ajustadas al PPTP. Estas bases de nivelación aseguran la correcta ejecución de la capa de subbalasto (aseverando tanto el espesor que le corresponde como las pendientes longitudinales y transversales), además servirán de apoyo a la ejecución de la capa de balasto.
- Una vez extendida la capa de subbalasto, colocados la canaleta, los cerramientos, etc., podemos dar por

finalizados los trabajos de materialización de la plataforma.

- Previo a los trabajos de materialización de la superestructura, debemos distribuir una serie de vértices a lo largo del trazado, a ambos lados de la vía, a distancias no superiores a 300m., a los que se le asignarán coordenadas desde los hitos que fueron materializados con anterioridad (Figura 4.)

La ejecución de la “superestructura”:

Las características propias de una línea de ferrocarril de alta velocidad hacen que se deban extremar las precauciones en la implantación de la superestructura, pues se exige el cumplimiento de grandes exactitudes posicionales, tanto en planta como en alzado. La ejecución y puesta en obra de la superestructura se realiza de la siguiente forma:

- Desde las bases de replanteo, hitos y vértices se procede a la materialización de unas referencias denominadas PIQUETES, constituidos por trozos de hierro de sección angular hincados en el suelo y hormigonados, situados a una distancia constante del eje de entrevías y a ambos lados de la plataforma. Llevarán un corte de sierra o rotulado con un marcador tipo fixolid o similar, que señalará la cota del carril en cada punto (dato que se obtiene mediante una nivelación geométrica). Situados estos elementos externos a lo largo de toda la traza de la obra, disponemos ya de las referencias planimétrico-almétricas para el montaje de la superestructura de vía (Figura 12), este método de trabajo fue el utilizado en la LAV Madrid-Sevilla [SAN90].
- El balasto llega al tajo en camiones acopiándose en cordones que posteriormente serán extendidos con motoniveladora y apisonado con rodillo convencional pero sin vibración. Se formará así una capa nivelada (con referencia en los piquetes) de 15 cm de espesor en la que se practicarán dos surcos longitudinales coincidentes con los ejes de las futuras vías, que servirán para garantizar un correcto apoyo de las traviesas en la fase de montaje.
- Sobre esta capa de balasto, se procede al tendido de una vía denominada vía auxiliar, formada por traviesas de madera y carriles de segundo uso, que servirá para que las plataformas ferroviarias transporten el material de la vía (carril, traviesas y aparatos) hasta los tajos.
- Se sigue con el montaje de la vía, que está totalmente

mecanizado, y que consta de las siguientes fases:

- Descarga y posicionamiento de barras largas con ayuda de pórtico situado sobre tren carrilero (Figura 5).
 - Desmontaje de la vía auxiliar y avance de la misma mediante pórticos de orugas.
 - Colocación de traviesas de hormigón sobre el balasto mediante pórtico que se traslada sobre las barras largas posicionadas según el punto primero.
 - Colocación de los carriles sobre las traviesas mediante máquina posicionadora.
 - Fijación de los carriles a las traviesas mediante máquina motoclavadora.
- El siguiente proceso, terminado el montaje de la vía, es la correcta nivelación y alineación de la misma, así como completar y perfilar la banqueta de balasto.

Estas operaciones se consiguen en tres secuencias repetidas, con las que conseguiremos levantar la vía 15 cm en total (recordemos que la capa de balasto era de 30 cm, según la sección tipo, y hasta ahora hemos extendido sólo 15 cm). Por tanto, en cada secuencia, y siempre refiriéndonos tanto planimétrica como altimétricamente en los piquetes replanteados desde las bases de replanteo, las operaciones a seguir son las siguientes [SAN00], [HIG12]:

- Vertido de balasto desde vagones-tolva que circulan sobre la vía recién montada.
- Reparto del balasto vertido, uniformemente mediante máquina perfiladora.
- Alineación y nivelación de la vía mediante máquina bateadora. Esta operación es la más delicada en cuanto a la geometría de la vía se refiere y se realiza mediante un equipo óptico informatizado del que dispone la máquina bateadora, y siempre refiriéndose a los datos planimétricos y altimétricos que proporcionan los piquetes (Figura 6).
- Soldadura de juntas alternas mediante procedimientos aluminotérmicos.
- Liberación de tensiones por tramos.
- Soldadura de las juntas no soldadas en el punto 4.
- Estabilización de la vía mediante máquina estabilizadora, que transmite a la vía una fuerza vibratoria para consolidar la banqueta de balasto.

Una vez realizados estos procesos, podemos dar por

concluido el montaje completo de la superestructura de vía (Figura 7); no obstante, quedarían 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 publica ADIF.

El control de calidad

Al igual que en cualquier proceso de fabricación o construcción actual, podemos distinguir dos fases o estados diferenciados:



Figura 5. "Tren carrilero" circulando sobre vía auxiliar. LAV Madrid-Sevilla.



Figura 6. Máquina bateadora en pleno trabajo. LAV Madrid-Sevilla.

- El estudio de la calidad de la vía en las nuevas ejecuciones, donde comprobaremos 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.
- El mantenimiento y control periódico de la vía, que 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 que 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 [AEN11]. También podemos considerar otro método denominado mantenimiento según estado, en el que una vez diagnosticadas las irregularidades de la vía, se procede a la corrección de éstas.

Corresponde a la administración ferroviaria tomar la decisión de implantar el sistema de mantenimiento y control de la calidad de la vía, estableciendo los parámetros de tolerancia permitidos.



Figura 7. Aspecto de la línea terminada, con toda la infraestructura viaria. LAV Madrid-Sevilla.

Si nos hacemos la pregunta de por qué se degrada la geometría de la vía, en un principio podemos encontrar, entre otras, tres causas principales:

- Las condiciones climáticas.
- La dispersión de las capas de asiento (balasto y subbalasto) y plataforma.
- Las acciones dinámicas propias de la explotación.

Estos factores, inciden directamente sobre la geometría

inicial de la vía, produciendo en los vehículos que circulan sobre ella efectos no deseados, como son efecto de galope, balanceo o movimiento de “lazo”, que a su vez, afectan de manera decisiva a las condiciones impuestas de velocidad, seguridad y confort, produciendo incluso en condiciones extremas, situaciones de peligro para la circulación.

El análisis de la calidad de la vía se hace a nivel global mediante los índices de calidad y la obtención de la calidad media de la vía; resulta evidente que para la obtención de éstos necesitamos la evaluación puntual de determinados aspectos geométricos de la misma [REN85], como son:

- Medición de la alineación de la vía, tanto en recta como en curva
- Medición del ancho de vía
- Comprobación de la nivelación longitudinal
- Comprobación de la nivelación transversal

Los dos primeros son parámetros geométricos horizontales, y los dos últimos son parámetros geométricos verticales.

La medición de estos parámetros puede realizarse principalmente de tres formas claramente diferenciadas en cuanto a su metodología, pero que en la mayoría de los casos se complementan

Estos métodos son:

- Los métodos “manuales”
- Los métodos “mecánicos”
- Nuevos métodos: “carros de vía”

De entre estos tres métodos, los “manuales” y los “carros de vía”, suelen emplearse en actuaciones concretas o cuando no es rentable o posible la utilización de los métodos mecánicos, caracterizados por su gran rapidez y precisión. En la Tabla 1 se representan un estudio comparativo entre ambos métodos realizado por el Dr. Gérard Presle Head en Austria [PRE00].

	Método manual	EM SAT
Nº de vigilantes	2-3	0
Nº de observadores	1	1
Personal de topografía	3	2
Velocidad de medición	0,5 km/h (alineación)	2,5Km (medición simultanea)
	0,7 Km/h (nivelación)	
Precisión (desviación estándar)	2-3mm	< 1mm
Modo de grabación	Manual	Electrónica

Tabla i. Comparativo entre vehículos de control y métodos manuales. Tomado de [pre00]

Para la medición de los parámetros geométricos de la vía de forma automática se utilizan vehículos de control (Figura 8) que disponen de aparatos de medida basados en palpadores, captadores de tipo óptico, medición a piquetes, ejes telescópicos, GPS, etc. , conectados a analizadores numéricos informáticos que realizan la medición de forma continua y con gran precisión [SAN01], con un gran ahorro de tiempo y costes.

Estos vehículos de control presentan los resultados de la medición en tiempo real, con salida desde una impresora conectada al analizador numérico informático. Entre estos resultados se encuentran para cada parámetro medido: nivelación longitudinal, alabeo, ancho, nivelación transversal y alineación, aquellas muestras que superan los límites establecidos, indicando el punto kilométrico donde se registró, así como su magnitud (expresada en mm). También expresan el índice de calidad de cada parámetro, así como el índice de calidad del tramo.

Con el conocimiento de estos datos, se puede valorar el estado de la geometría de la vía y establecer los planes de conservación necesarios por la Administración competente.



Figura 8. Vehículo de control, modelo Plasser&Theurer. Fuente: <http://www.plasser.co.uk/>

En la ejecución de nuevas vías, como es el caso de la Alta Velocidad, los vehículos de control van incorporados a las máquinas bateadoras garantizando su precisión y una mayor producción y rentabilidad. Este tipo de maquinaria tiene grandes ventajas: medición y corrección de la vía en una sola pasada (no hay que realizar medición en una pasada previa). Una vez que la máquina bateadora ha realizado los trabajos de alineación y nivelación, proporcionará un listado con las diferencias entre lo ejecutado y lo proyectado. El modo de funcionamiento dependerá de la casa comercial, a continuación se muestran dos ejemplos:

- Guiado por observación a puntos de coordenadas conocidas, como es el caso del modelo B 41 UE TAMPER (<http://www.sersa-group.com/prospekt-palas-de-ens.pdf>) de la marca MATISA. El funcionamiento de esta maquinaria se basa en la observación a puntos fijos con coordenadas, como pueden ser los vértices o bulones incrustados en los postes de la catenaria. Este sistema se inició en Suiza sobre 1994, después llegó a países como Francia (2004), Gran Bretaña (2006) e Italia (2007).
- Vehículo de guiado por GPS y observación a piquetes: caso de los modelos EM-SAT de la casa Plasser&Theurer (Figura 9). El sistema de medición es muy similar al descrito anteriormente, pero en lugar de llevar el sistema de observación incorporado a la propia bateadora, es independiente. El vehículo de medición está compuesto por dos vehículos, uno de cuatro ejes (principal) con cámara receptora laser y otro mas pequeño que lleva incorporado un GPS que a su vez le transmite los datos de posición al principal; para que

el rango de precisión de este equipo sea superior los dos centímetros ha de disponer de un GPS de referencia a una distancia no superior a 20km. Para calcular la posición absoluta del vehículo los nuevos equipos tienen la opción de “medición a piquete”, de esta forma realiza observaciones sin prisma a puntos de coordenadas conocidas, ya sean bulones incrustados en las catenarias, piquetes o vértices distribuidos a lo largo de la obra (cada 300m).



Figura 9. Lector de piquetes en modelo em-sat plasser&theurer. Fuente: <http://www.plassertheurer.com/es/>

Revisión de los métodos y procesos topográficos en los trabajos de ejecución y control de calidad en las vías del ferrocarril

En este apartado se van a enumerar las diferentes formas de llevar a cabo los replanteos y controles de calidad, haciendo una distinción entre los métodos manuales que se están utilizando hasta ahora y los nuevos métodos (carro de vía).

Método de flechado y uso de regla de anchos y peraltes:

Ambos métodos son considerados como técnicas semitopográficas o manuales. El flechado consiste en medir la flecha de la vía que definen dos puntos en la cara activa del carril a una distancia determinada. Para ello se utilizan las asas de flechado y el metrado de la vía (marcaje kilométrico de la misma) (Figura 10.)

La comprobación de anchos y peraltes se realizan a la par con bastante precisión utilizando las “reglas de anchos”

(aconsejable digitales) (Figura 11). Su manejo es bastante sencillo: la parte fija se coloca sobre un carril y la parte móvil sobre el otro hilo; dispone de unos marcadores o bulones que se apoyarán sobre la parte interior del hilo, midiendo así la distancia entre ellos, una vez nivelado también podremos obtener el valor del peralte de la vía.

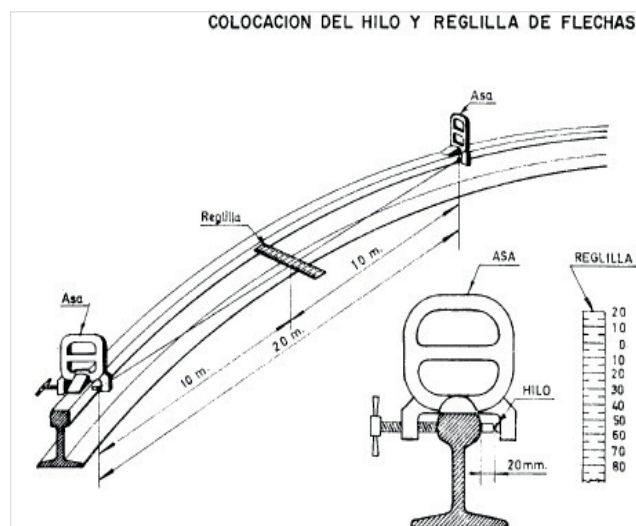


Figura 10. Edición de flechado. Fuente: normativa RENFE.



Figura 11. Regla de anchos. Fuente <http://www.prosutec.com/>

Replanteo con “Estación Total”, GPS y nivelación:

El replanteo de piquetes se llevará a cabo por técnicas GPS, y la calidad del replanteo dependerá de varios factores [PIR07].

Al hincar y hormigonar el piquete no quedará en la posición en la que fue replanteado y en consecuencia habremos perdido la referencia a la vía. Para ello se hace una marca con puntero (o granetazo) en la parte superior del piquete. (Figura 12.) Este granetazo será observado con estación total topográfica desde los “vértices” situados a lo largo de la obra; las coordenadas obtenidas son volcadas a programas de trazado como Istram-Ispol, Clip, MDT, Inroad, etc., consiguiendo así la referenciación de los piquetes al trazado de proyecto. El rendimiento medio podemos cifrarlo en 2-3 Km/día, aunque dependerá del número de operarios.

La referenciación altimétrica de la vía queda reflejada en los piquetes mediante cortes de sierra o con un marcador

tipo fixolid o similar, que hacen referencia al hilo bajo. Para tramos en curva se hacen dos marcas, las correspondientes al hilo bajo e hilo alto, o bien se rotula el valor del peralte en el piquete. La cota es asignada mediante nivelación geométrica, siendo bastante recomendable empezar y acabar en los vértices o bulones de la catenaria.



Figura 12. Piquetes y vértices. LAV Madrid-Valencia Gabaldón Cuenta Siete Aguas Valencia

En el control de calidad de la ejecución de la vía se diferencian dos fases:

- Comprobación planimétrica: Consiste en medir la distancia lateral desde la cara inactiva del carril a los piquetes o en su defecto a los bulones de catenaria. También se pueden realizar mediciones con estación total topográfica desde los vértices, aunque es menos usual.
- Comprobaciones altimétricas: Es necesario que la vía esté metrada, para que luego, mediante nivelación geométrica obtengamos las cotas de cada punto marcado, que podrán ser comparadas con las de proyecto.

Nuevos métodos de replanteo y control de calidad de las vías: Carros de vía

El carro de vía es considerado como un “sistema avanzado de medición y auscultación de vía”, está compuesto por un carro generalmente en forma de T y sus principales

componentes son [GIK08] (Figura 13):

- Indicador de ancho variable de alta precisión, para determinar los valores del ancho de vía.
- Inclínómetro biaxial o sensor de inclinación, para determinar la pendiente transversal (peralte) y longitudinal.
- GPS: Doble frecuencia en tiempo real cinemático (RTK). Para trabajar en tiempo real se conecta mediante radiomodem con el equipo de referencia para recibir las correcciones necesarias; la antena suele ir en la base del equipo.
- Portaprisma: lleva incorporado un portaprisma de forma que pueda ser leído por estaciones automáticas en zonas donde no se puede trabajar con receptores GNSS, como sucede en los túneles. Funciona a modo de radiación, en el que la estación estará posicionada en un punto de coordenadas conocidas, desde el que se obtendrán las coordenadas absolutas de las distintas posiciones observadas.
- Coordinated Universal Time (UTC): Reloj que coordina las observaciones.
- Ordenador de abordó: Donde se memorizan las observaciones, se muestran los resultados directamente en pantalla: observaciones, trazado en planta, altimetría, Estado de peraltes, sobreanchos, perfiles, escaneados, diferencias con proyecto, etc. Todo dependerá del software del que disponga.

Adicionalmente pueden llevar lo siguiente:

- Odómetro: para saber la distancia recorrida por el vehículo.
- Perfilómetro: para tomar perfiles de forma automatizada; los perfiles aparecen en tiempo real en la pantalla del ordenador de a bordo. Estos perfilómetros pueden tomar hasta 60 puntos por minuto y alcanzar precisiones de hasta 3mm de precisión como es el caso del GRP 3000. Fuente: [AMB12-1].
- Escáner láser : puede llegar a alcanzar precisiones en observaciones a puntos individuales de 5mm, con lecturas de hasta 20.000 puntos por sección y con un alcance aproximado de 80m, aunque para medidas de precisión se aconsejan observaciones no superiores a los 52m. Estos escáneres son ultrarrápidos, con una velocidad que pueden alcanzar los 100Hz. Fuente: [AMB12-3].



Figura 13. Carro de vía. fuente: <http://www.leica-geosystems.es/>

Métodos de medición del Carro de Vía:

Se pueden distinguir dos tipos de métodos de medición:

- **Absoluto:** La base de este método consiste en saber en todo momento las coordenadas absolutas con precisión del carro de vía, ya sea mediante mediciones GPS o por Estación Total. Este método es utilizado para obras de nueva ejecución donde la obra está perfectamente referenciada mediante bases de replanteo, vértices y en los bulones embutidos en los postes de la catenaria.
- **Relativo:** En ocasiones no existen puntos de coordenadas conocidas a lo largo de la obra a tratar, como suele suceder por ejemplo en los trabajos de renovación de vías. En este caso entran en funcionamiento los elementos básicos del carro de vía: el “odómetro” o “giróscopo”, sensores de inclinación y medidores de alineación, todas las mediciones se referencian a un punto origen, siendo tratadas mediante software específico [GAO10] [GIK12]. La calidad de estas observaciones es muy reducida, por lo que debe limitarse su uso a este tipo de actuaciones.

Calidad de las observaciones y rendimientos medios:

Las precisiones alcanzadas con estos instrumentos están avaladas por los diferentes estudios que realizados por investigadores, empresas y organismos, tanto nacionales como extranjeros. Entre los más significativos, exponemos los siguientes:

- Burak Akpınar y Engin Gülal (2012), después de un riguroso estudio realizado sobre un tramo de pruebas

(Turquía), contrastan los datos obtenidos con el carro de vía y con los reales, y comprueban que las precisiones obtenidas cumplen con la normativa UIC (International Union of Railways) tanto para vía sobre balasto como para vía en placa. Remarcan que las observaciones con estación total topográfica (Tabla II) son más precisas que las realizadas con GPS (Tabla III) (Akpınar and Gulal 2012), teniendo unos rendimientos medios de unos 100m en 10 minutos para la toma de datos y otros 10 minutos para su tratamiento; es decir, unos 2-3 Km por día de trabajo.

Parámetro	Max. (mm)	Min. (mm)	Media (mm)	Desviación estándar (mm)
Horizontal	4.7	0.1	1.6	0.9
Elevación	3.0	-3.1	-0.1	1.5

Tabla ii. Precisión con estación total. Fuente: [akp12].

Parámetro	Max. (mm)	Min. (mm)	Media (mm)	Desviación estándar (mm)
Horizontal	15.1	0.5	6.8	3.1
Elevación	21.5	-17.3	2.2	8.5
Ancho	1.2	-0.9	0.4	0.6
Peralte	4.1	-1.6	1.0	1.4
Pendiente (grados)	0.36	-0.23	0.12	0.04

Tabla iii. Precisión con GPS. Fuente: [akp12].

- V.Gikas (2005) realiza un contraste entre los métodos tradicionales y el carro de vía durante la construcción del tranvía moderno de Atenas [GIK05]. Referente a la calidad asevera que las discrepancias entre ambos

métodos son ínfimas, haciendo hincapié en la importancia de la red principal en la que se apoya. En lo concerniente a la producción aconseja alternar entre ambos métodos.

- La empresa Amberg Technologies AG, realizó la medición del gálibo del “Metro de Toronto” (Canadá) combinando el carro de vía con escaneos mediante laser [TEC08]. Las precisiones del escaneo rondan los 10mm. Los tiempos de producción empleados son los siguientes: Fase1: 6,6km en 5horas, Fase2: 15km en 11horas, Fase 3: 24km en 26horas. Esta empresa también es conocida por haber realizado trabajos de relevancia como los realizados en el control y seguimiento en los túneles de la línea de alta velocidad Nuernberg–Ingolstadt (Alemania-2005) y en el Metro de Londres en 2009.
- Spitzke Se y Falko Soffner, después de haber utilizado el “carro de vía” en la renovación de vía entre las ciudades de Sontra y Cornberg en Alemania Central, alcanzaron rendimientos medios entre 1200m/h y 1500m/h; destacan que se eliminaron los usuales errores humanos en el cálculo de datos [CON12].
- Casas comerciales:
 - Amberg Technologies aseguran una precisión para guiado con estación total (Amberg Survey Basic GRP 1000) mayor a $\pm 5\text{mm}$ y para GPS $\pm 20\text{mm}$ (en planimetría) y $\pm 40\text{mm}$ en altimetría. Con un rendimiento aproximado de 800 a 1200 m/h para Estación Total y de 3000 m/h para guiado con GPS [AMB12-2].
 - Carttop garantiza que el “R500” precisiones de hasta $\pm 1\text{mm}$, aconsejado su uso sobre los métodos topográficos o semitopográficos [CAR12].
 - RM3DLIGHT de la casa Trimble (AI-top), en su ficha técnica ofrece las siguientes precisiones en sus mediciones: ancho de vía: $\pm 0.2\text{mm}$, peralte $\pm 0,1\text{mm}$ y odómetro: $\pm 2.5\text{mm}$ [TOP12].

Conclusiones y recomendaciones

En obras de grandes infraestructuras con largos recorridos, varios años de duración y en las que suelen estar implicadas distintas empresas constructoras y de ingeniería, la estabilidad y continuidad posicional de los distintos elementos que conforman la obra debe estar

garantizada. Para que esto sea así, independientemente de los instrumentos y métodos que se utilicen para la ejecución y control de la superestructura de vía, es necesaria la implantación de una “red topográfica planimétrica” suficientemente densa que garantice el trabajo en el mismo sistema de coordenadas durante la ejecución de la obra en sus diferentes fases; esta red, que en las primeras experiencias de la LAV Madrid-Sevilla se fue realizando por tramos mediante las observación de poligonales de precisión, actualmente se observa mediante tecnologías GNSS y su materialización es uno de las fases más importantes y delicadas en este tipo de trabajos. La misma importancia tiene el establecimiento de una “red altimétrica” que garantice la tercera coordenada en todos los elementos de la obra, pero sobre todo en las cotas de terminación de las vías de la superestructura. En este caso, aunque no han variado los métodos, sí lo han hecho los instrumentos, como los niveles automáticos digitales de código de barras, que facilitan enormemente las observaciones y minimizan la posibilidad de equivocaciones.

Una vez implantadas las redes topográficas de apoyo, el transcurso de las obras hasta la finalización de la plataforma es similar a la empleada en la ejecución de otras vías de comunicación, por lo que está suficientemente contrastada; sin embargo, es en la fase de ejecución de la superestructura en la que las distintas situaciones, fases o tipos de trabajos, harán que tengamos que elegir entre unos métodos e instrumentos u otros, o bien una combinación entre ellos, siempre atendiendo a la mejora del rendimiento y ahorro de costes y al cumplimiento de las precisiones exigidas. Para ello, haremos la división siguiente:

a) Trabajos para la implantación de nuevas líneas de ferrocarril: el caso más común es la ejecución de la vía sobre la capa de balasto; el acopio y reparto de este material se realiza tomando como referencia (tanto en planimetría como en altimetría) los piquetes que previamente se han replanteado a ambos lados de la plataforma. Posteriormente, para la alineación y nivelación de las vías se recomienda el uso de máquinas bateadoras que disponen de sistemas de medición y guiado automatizado, por lo que no se necesitan más datos ni referencias adicionales que los de los piquetes y los propios datos geométricos del proyecto.

El control de calidad de la vía ejecutada se puede realizar a partir de los listados de resultados que ofrecen las propias máquinas bateadoras, en los que aparecen las diferencias entre las posiciones de la vía ejecutada y la proyectada y por consiguiente, los tramos que cumplen o no con las precisiones requeridas. Para grandes longitudes de vía es recomendable el uso de esta metodología. Otro tipo de trabajos son los de sondeos puntuales de pequeños tramos que pueden oscilar desde los 100 a 200 metros en los que se emplean los "métodos manuales", topográficos o semitopográficos. A medida que aumenta la distancia de sondeo dejan de ser recomendables estos métodos y empieza a tomar peso la opción del carro de vía.

En tramos urbanos y en túneles, con el fin de reducir la emisión de ruidos y las vibraciones, cada vez se está extendiendo más el montaje de la vía sobre placas de hormigón o asfalto en sustitución del balasto, que se conoce como montaje de vía en placa; en este caso, es recomendable la combinación de dos métodos para la implantación de la vía: la utilización de los métodos topográficos, consistentes en replanteos con estación total y nivelación con nivel automático digital y el empleo del carro de vía. También emplearemos el carro de vía para realizar los controles de calidad, sobre todo, en el interior de túneles, donde además de medir los parámetros de vía se mide el gálibo, para lo que se utilizará la opción de acoplarle un perfilómetro o un escáner láser.

b) En los trabajos de rectificación y remodelación de vías existentes, dependiendo de la longitud el tramo pueden utilizarse desde los propios métodos topográficos, en pequeñas actuaciones, hasta los métodos mecánicos, cuando las longitudes son grandes. Para actuaciones intermedias, se recomienda el uso del carro de vía.

Referencias

- [AEN11] Aenor. *Railway applications. Track. Track geometry quality. Part 5: Geometric quality levels. Plain line. UNE-EN 13848-5:2009+A1 2011*, 8-16.
- [AKP12] Akpınar, Burak, and Engin Gulal. *Multisensor Railway Track Geometry Surveying System. IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT* 61, 2012, 190-197.
- [AMB12-1] Amberg Technologies AG. *Amberg Clearance Basic GRP 3000*. <http://www.ambergtechnologies.ch/2012a>, 1-2. Available from world wide web: <http://www.ambergtechnologies.ch/fileadmin/amberg_technologies/documents/Rail/weitere_Sprachen/ES_datasheet_clearance_basic.pdf>.
- [AMB12-2] Amberg Technologies AG. *Amberg Survey Basic GRP 1000. Amberg Survey Basic / GRP 1000 2012b*, 1-2. Available from world wide vweb: <<http://www.ambergtechnologies.ch/en/products/rail-surveying/amberg-survey/>>.
- [AMB12-3] Amberg Technologies AG. *GRP 5000*. <http://www.ambergtechnologies.ch> 2012c. Available from world wide web: <http://www.ambergtechnologies.ch/fileadmin/amberg_technologies/documents/Rail/EN_datasheet_clearance_plus.pdf>.
- [ANG09] Angoiti, Ignacio Barrón De, Javier Campos Méndez, and Ginés De Rus Mendoza. *El transporte ferroviario de alta velocidad (una visión económica)*. Fundación BBVA 2009.
- [CAR12] Carttop proyectos. *Innovación ferroviaria en productos para el control geométrico de la vía*. In VI CONGRESO DE INNOVACIÓN FERROVIARIA, 16, [MALAGA], 2012 Available from world wide web: <http://www.carttop.com/files/noticia/9/110331_Ponencia_UNED_CARTTOP.pdf>.
- [CON12] *Construction Trimble, Trimble Engineering & Pre-Surveying Helps Keep Railroads on Track. Technology & More 2012*, 12-13.
- [FOM12-1] FOMENTO, MINISTERIO DE. *Red Geodésica: Regente. Instituto Geográfico Nacional. 2012a*. Available from world wide web: <http://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/DIRECCIONES_GENERALES/INSTITUTO_GEOGRAFICO/Geodesia/red_geodesicas/regente.htm>.
- [FOM12-2] FOMENTO, MINISTERIO DE. *Red de Nivelación: Proyecto REDNAP. Instituto Geográfico Nacional. 2012b*. Available from world wide web: <<http://www.ign.es/ign/layoutIn/actividadesGeodesiaRedn.do>>.
- [GAO10] Gao, Zhan et al. *Track irregularity inspection trolley based on fiber-optic gyro. JOURNAL OF MICRO-NANOLITHOGRAPHY MEMS AND MOEMS* 9, 2010.
- [GIK05] Gikas, V. *Geodetic survey and track recording vehicle data combined for the accurate setting out of rails on slab track. Journal of Spatial Science* 50, 2005, 13-23.
- [GIK08] Gikas, V, and S Daskalakis. *DETERMINING RAIL TRACK AXIS GEOMETRY USING SATELLITE AND TERRESTRIAL GEODETIC DATA. SURVEY REVIEW* 40, October 2008, 392-405.

- [GIK12] Gikas, Vassilis, and John Stratakos. A Novel Geodetic Engineering Method for Accurate and Automated Road/Railway Centerline Geometry Extraction Based on the Bearing Diagram and Fractal Behavior. *IEEE TRANSACTIONS ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS* 13, March 2012, 115-126.
- [HIG12] Higuera Martínez, Ángel. El montaje de la vía de alta velocidad. *Informes de 44*, February 2012, 49-66. [cited 29 April 2012].
- [ILI07] Iliffe, J C, J V Arthur, and C Preston. The snake projection: A customised grid for rail projects. *SURVEY REVIEW* 39, 2007, 90-99.
- [PIR07] Pirti, a. Performance Analysis of the Real Time Kinematic GPS (RTK GPS) Technique in a Highway Project (Stake-Out). *Survey Review* 39, January 2007, 43-53.
- [PRE00] Presle, Dr. Gérard. The EM 250 high-speed track recording coach and the EM-SAT 120 track survey car, as networked track geometry diagnosis and therapy systems. *Rail Engineering International* 3, 2000, 14-16.
- [REN93] RENFE. N.R.V. 7-1-0.0. MONTAJE DE VÍA. Secuencia de los trabajos de construcción de una línea. *Normas RENFE Vía* 1993.
- [REN85] RENFE. N.R.V. 7-3-0.0/2. Calificación de la vía. *Geometría de la vía. Normas RENFE Vía* 1985, 2-5.
- [RAF99] Rafael Alcaide González. EL FERROCARRIL EN ESPAÑA (1829-1844): LAS PRIMERAS CONCESIONES, EL MARCO LEGAL Y LA PRESENCIA DE LA GEOGRAFÍA EN LAS MEMORIAS DE LOS ANTEPROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN DE LAS LÍNEAS FÉRREAS. *Biblio 3W. Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales* 190, 1999, 1-29.
- [SAN01] Sanchez Ríos, A. La calidad de la vía en las redes ferroviarias. Aspectos geométricos y topográficos. *Topografía y Cartografía* 2001, 23-28.
- [SAN90] Sanchez Ríos, A. Replanteo de líneas de Ferrocarril, "ALTA VELOCIDAD". *Topografía VIII*, 1990, 12-18.
- [SAN00] Sánchez Ríos, A, G Píriz Mira, and J García del Prado. *Sistemas de Ingeniería: Consideraciones en la Implantación de Infraestructura Viaria de Alta Velocidad. Topografía y Cartografía* 2000, 18-24.
- [TOP12] Topografía, AL-TOP. RM3D. Sistema avanzado de medición de parámetros de vía. *AL-TOP Topografía* 2012. Available from world wide web: <<http://www.al-top.com/producto/rm3d>>.
- [TECO8] Técnico, Dpto. de Amberg Technologies AG. Análisis rápido y preciso del gálibo del Metro de Toronto (Canadá). *Ingeopres* 170, 2008, 58-60.

Sobre los autores

Alonso Sánchez Ríos:

Dr. Ingeniero en Geodesia y Cartografía e Ingeniero Técnico en Topografía. Profesor Titular del Área de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría de la Universidad de Extremadura (UEX). Imparte docencia en la titulación de Grado en Ingeniería en Geomática y Topografía de la UEX y en el Máster Universitario de Investigación (MUI) en Ingeniería y Arquitectura. Ha sido autor de varios libros y de diversos artículos en revistas técnicas, así como de comunicaciones en congresos nacionales e internacionales.

Desarrolla su labor investigadora en el grupo de investigación INNOVA <http://www.unex.es/investigacion/grupos/innova>, donde ha colaborado en numerosos proyectos de investigación. Participó en los trabajos de ejecución del primer tramo de la LAV Madrid- Sevilla, entre Getafe y Villaseca. C.V.

Abel González:

Ingeniero Técnico en Topografía. Cursando el Máster Universitario de Investigación (MUI) en Ingeniería y Arquitectura de la UEX. Con once años de experiencia en obra civil, ejerce como profesional en las obras de la línea LAV Madrid-Extremadura, trabajando en la empresa NORTE TOPOGRAFÍA para INGENIERÍA IDOM INTERNACIONAL S.A. En este proyecto desempeña labores de control y asistencia para la coordinación y apoyo de asesores especializados de las obras de plataforma de la LAV Madrid –Extremadura. Tramo: Cáceres – Badajoz”.