

La Vía de la Alta Velocidad a Levante

The Levante High-Speed Line

Revista de Obras Públicas
nº 3.522. Año 158
Junio 2011
ISSN: 0034-8619
ISSN electrónico: 1695-4408

José Manuel Galindo Escribano. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Director de Vía. ADIF. Madrid (España). rop@ciccp.es

Almudena Hernando Gutiérrez. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Gerente de Proyectos de Vía. ADIF. Madrid (España). rop@ciccp.es

Pedro González Paniagua. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Gerente de Vía y Suministros. ADIF. Madrid (España). rop@ciccp.es

Luis Llamas Martínez. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Gerente de Construcción de Vía. ADIF. Madrid (España). rop@ciccp.es

Resumen: La reciente puesta en servicio de la nueva infraestructura ferroviaria de Alta Velocidad que une Madrid y Valencia, de 391 kilómetros de longitud (438 km si se incluye la conexión a Albacete) constituye el eje principal de la Línea de Alta Velocidad Madrid- Castilla La Mancha- Comunidad Valenciana-Región de Murcia y supone la conexión directa de 24 localidades españolas a la red española de alta velocidad, completando los 2.665 km que sitúan a España a la cabeza de Europa en longitud de líneas de alta velocidad y como segundo país del mundo, después de China.

Esta primera fase de dicho corredor ferroviario que arranca en la renovada Estación de Atocha y comparte la infraestructura con la Línea de Madrid-Sevilla en sus primeros 34 km, hasta Torrejón de Velasco, ha supuesto, en lo relativo a todas las tareas propias de la infraestructura, un gran esfuerzo técnico debido a su complejidad, en el montaje de la vía, desde la definición tecnológica y geométrica de la misma, su diseño, la ubicación de las bases de montaje, la gestión del ciclo de los materiales y aparatos de vía y de la circulación en fase de montaje, hasta la ejecución y recepción final de la vía, todo bajo las exigencias de calidad y de rendimientos propios de una vía del siglo XXI. Las características técnicas de la vía permitirán, de forma general, la circulación por vía directa a 350 km/h, habiéndose definido dos sistemas de vía: vía sobre balasto, con un total de 406 km de vía doble con traviesa monobloque de hormigón y espesor mínimo bajo traviesa en el hilo bajo de 35 cm, y vía en placa o vía hormigonada, con más de 32 km como resultado de su implantación en diferentes túneles y estructuras de la Línea.

Palabras Clave: Balasto; Traviesas; Carril; Desvíos; Montaje de vía; Vía en placa; Trazado; Cambiador de ancho

Abstract: The recent introduction of the new 391 km long high-speed railway infrastructure connecting Madrid and Valencia (438 km when including the Albacete connection) makes up the main axis of the Madrid - Castilla La Mancha - Valencia Community - Murcia High-Speed line and directly connects 24 towns to the Spanish high-speed network. The addition of this line completes 2,665 km of track and places Spain at the head of Europe in terms of total length of high-speed lines and as the second country in the world, after China.

This first phase of the said railway corridor that starts off from the remodelled Atocha Station and shares the first 34 km of its infrastructure up to Torrejón de Velasco with the Madrid-Seville Line, has entailed a considerable technical challenge in terms of infrastructure related activities. This complexity has been brought about by the technological and geometrical definitions of the line, its design, assembly locations and the project cycle management of materials, track and traffic installations during the assembly period and has carried on through to the construction and final delivery of the track, all under the strictest quality and performance requirements pertinent to a modern-day railway line. The technical characteristics of the track allow main line traffic, under general circumstances, to travel at 350 kph. The track being formed by two systems: track on ballast, with a total of 406 km of double track with concrete monoblock sleepers and with a minimum thickness below sleepers at the lower contact of 35 cm, and over 32 km of slab track or concrete track, installed in the different tunnels and line structures.

Keywords: Ballast; Sleepers; Rail; Sidings; Track assembly; Slab track; Route; Gauge change



1. Definición Tecnológica y Geométrica de la Vía

La definición tecnológica y geométrica de la vía se encuentra indisolublemente unida a las condiciones impuestas por las Especificaciones Técnicas de

Interoperabilidad (ETI's). En los últimos años, el esfuerzo realizado por ADIF, conjuntamente con la ingeniería española ha dado como resultado no solo la adopción de los parámetros impuestos por la integración en una red ferroviaria transeuropea, sino también por la propia necesidad de desarrollar la infraestructura interior gracias al espaldarazo y empuje de las inversiones y ayudas al desarrollo, lo que ha situado a España a la cabeza de Europa en tecnología de Alta Velocidad. En este marco, se han potenciado las técnicas y procedimientos de ejecución así como la fabricación y perfeccionamiento de productos propios.

En la actualidad, la sección tipo de vía, sus parámetros funcionales de trazado y la calidad de ejecución son un estándar de fiabilidad, disponibilidad, seguridad y confortabilidad. Es reseñable anotar que la seguridad y el confort se garantizan con el establecimiento de parámetros de valores tan limitativos como los que se observan en el Cuadro 2.

Normativa de referencia: Entre otras, las principales Normas que han servido de referencia para el proyecto y construcción de esta importante infraestructura son.

Cuadro 1. Características principales de la Línea de Alta Velocidad Madrid-Cuenca-Albacete/Valencia.

Características principales de la Línea	
Longitud total corredor	955 km
Longitud tramos en servicio	438 km
Sección tipo-ancho de plataforma	14 m
Intereje	4,7 m
Inversión total prevista	12.410 millones de euros
Tipo de vía	Vía doble en ancho internacional (1.435 mm)
Velocidad de diseño de la infraestructura	350 km/h
Velocidad máxima comercial	300 km/h
Estructuras tramos en servicio	79 viaductos y 50 túneles
Cambiadores de ancho	Albacete y Valencia
Estaciones en servicio	Madrid-Puerta de Atocha, Cuenca-Fernando Zobel, Requena-Utiel, Vialia Albacete-Los Llanos y Valencia-Joaquín Sorolla
Centros de Regulación y Control (CRC)	Albacete y Madrid-Puerta de Atocha
Electrificación	25 kV / Corriente Alterna
Señalización	ERTMS-Niveles 1 y 2
Telecomunicaciones	Malladas con topología en anillo. Redes malladas IP y SDH
Radiotelefonía	GSM-R

Cuadro 2. Parámetros de trazado de la Línea de Alta Velocidad Madrid-Cuenca-Albacete/Valencia.

Velocidad máxima de proyecto		300 ≤ V _{Máx} (km/h) ≤ 350		
TRAZADO EN PLANTA		Fórmulas	Normal	Excepc.
MÁXIMA INSUFICIENCIA DEL PERALTE - $l_{Máx}$ (mm)		$(11,85 V_{Máx}^2/R) - D$	60	65
MÁXIMA ACELERACIÓN SIN COMPENSAR - $a_{q Máx}$ (m/s ²)		$(V_{Máx}^2 / 12,96 R) - D / 153,62$	0,39	0,42
MÁXIMO EXCESO DE PERALTE (VMín DE TRENES LENTOS) EMáx (mm)		$D - (11,85 V_{Mín}^2 / R)$	80	100
MÁXIMA VAR. DEL PERALTE CON EL TIEMPO - $(dD/dt)_{Máx}$ (mm/s)		$(V_{Máx} / 3,6) \cdot (D / L)$	30	50
MÁXIMA VAR. DEL ÁNGULO DE GIRO DE LA VÍA - $(dq/dt)_{Máx}$ (rad/s)		$(V_{Máx} / 3,6) \cdot (D / 1507) / L$	0,020	0,033
MÁXIMA VAR. DE LA INSUFICIENCIA CON EL TIEMPO $(dl/dt)_{Máx}$ (mm/s)		$(l / L) \cdot (V_{Máx} / 3,6)$	30	50
MÁXIMA VAR. DE AC. NO COMPENSADA CON EL TIEMPO $(da_q/dt)_{Máx}$ (m/s ³)		$(a_q / L) \cdot (V_{Máx} / 3,6)$	0,20	0,33
PERALTE MÁXIMO $D_{Máx}$ (mm)			140	160
MÁXIMA VARIACIÓN DE PERALTE RESPECTO DE LA LONGITUD (Rampa de peralte) $(dD/dl)_{Máx}$ (mm/m)			0,5	2,0
LONGITUD MÍNIMA DE ALINEACIONES DE CURVATURA CONSTANTE (m) ≥	CURVA CIRCULAR		≥ V _{Máx} / 1,5	≥ V _{Máx} / 2
	RECTA ENTRE CURVAS DE IGUAL SIGNO DE CURVATURA		≥ V _{Máx} / 1,5	≥ V _{Máx} / 2
	RECTA ENTRE CURVAS DE DISTINTO SIGNO DE CURVATURA		≥ V _{Máx} / 1,5	≥ V _{Máx} / 2
TRAZADO EN ALZADO		Fórmulas	Normal	Excepc.
MÁXIMA ACELERACIÓN VERTICAL a_v Máx (m/s ²)		$V_{Máx}^2 / 12,96 R_v$	0,22	0,44
PENDIENTE LONGITUDINAL MÁXIMA	En vía general con tráfico de viajeros	$i_{Máx}$ (‰)	25	30
	En vía general con tráfico mixto		15	18
	En apartaderos		2	2,5
PENDIENTE LONG. MÍNIMA EN TÚNELES Y TRINCHERAS - $i_{Mín}$ (‰)			5	2
LONGITUD MÍNIMA DE ACUERDOS VERTICALES (m)			≥ V _{Máx} / 1,5	≥ V _{Máx} / 2
LONGITUD MÍNIMA DE RASANTE UNIFORME ENTRE ACUERDOS (m)			≥ V _{Máx} / 1,5	≥ V _{Máx} / 2
LONGITUD MÁXIMA DE RASANTE CON LA PENDIENTE MÁXIMA (*) (m)			3000	

(*) Para pendientes inferiores a la máxima admisible justificar que la pérdida de velocidad no supera el 10% de las velocidades máxima y mínima de circulación.



- Instrucciones y Recomendaciones para Redacción de Proyectos de Plataforma de ADIF – IGP – 2006 y 2008.
- Directiva 96/48/CE del Consejo de 23 de julio de 1996, relativa a la Interoperabilidad del Sistema Ferroviario Transeuropeo de Alta Velocidad.
- Decisión de la Comisión de 20 de diciembre de 2007 sobre la Especificación Técnica de Interope-

Arriba, foto 1. Base de Montaje de Villarrubia de Santiago. Abajo, foto 2. Base de Montaje de Albacete.



rabilidad del Subsistema Infraestructura del Sistema Ferroviario Transeuropeo de Alta Velocidad (2008/217/CE).

2. Bases de Montaje

Los trabajos destinados a ejecutar la llamada “superestructura de vía” se inician con la construcción de las correspondientes Bases de Montaje, que ubicadas estratégicamente a lo largo de la línea sirven de apoyo logístico y principal acopio de materiales. Puede tratarse de una instalación temporal o definitiva (Base de Mantenimiento) en función de lo cual se establece un tipo de dotación mínima. En general tiene conexión con la futura línea de Alta Velocidad, y en la mayoría de los casos, con una línea en explotación, para permitir el suministro de carril, balasto y aparatos de vía.

Para las obras entre Madrid y Valencia-Albacete ha sido necesario construir un total de 5 Bases de Montaje (Villarrubia de Santiago, Gabaldón, Requena, Almussafes y Albacete) y apoyarse en una existente en Madrid Sur (perteneciente a la Línea Madrid-Barcelona).

La funcionalidad en el tiempo condiciona el diseño y la construcción de las bases de montaje asociadas, pudiendo ser instalaciones temporales, destinadas básicamente a la clasificación y gestión de materiales y apoyo logístico durante la construcción, mediante la organización y mantenimiento de vehículos y maquinaria de vía, o instalaciones definitivas, que además servirán para la ejecución de las labores propias del mantenimiento durante la fase de explotación.

En todos los casos, estas instalaciones se ubican estratégicamente a lo largo de la línea cuando ésta se proyecta, para poder dar servicio a la construcción de los tramos de montaje, los cuales pueden llegar hasta los 100 km de longitud, y dado que entre sus principales funciones se encuentra la de servir de acopio de materiales, tanto las barras largas de carril (de 270 m procedentes de taller) como las partes metálicas de los aparatos de vía (de hasta 64 m de longitud), es primordial que la base quede conectada con una línea ferroviaria en explotación, para permitir el transporte de dichos materiales. La superficie necesaria para su establecimiento ronda las 10 Ha aproximadamente, siendo igualmente necesario disponer de puntos de acometida de servicios.

Cuadro 3. Instalaciones de una Base de Montaje según su funcionalidad.

Instalaciones de una Base de Montaje de Alta Velocidad	
Mínimas	<ul style="list-style-type: none"> • Conexión con línea de Alta Velocidad. • Conexión con la red viaria. Su diseño permitirá el acceso de transportes especiales (tipo vagones y locomotoras ferroviarias). • Playas de vías con pendiente máxima 0,25 %, salvo en los accesos que se debe limitar al 12%. Se establecen radios mínimos para maniobras con grandes cargas (desvíos tipo C tg 0,09). • Superficie para acopio de materiales: traviesas, balasto, bobinas, etc. • Nave de Mantenimiento equipada con foso y grúa de 5 tn (1.000 m²). • Cargadero de balasto (muro mínimo 150 m largo y 1,5 m altura). • Instalaciones para acometida de energía eléctrica, agua, saneamiento. • Red contraincendios.
Temporales	<ul style="list-style-type: none"> • Conexión con la línea de en explotación. • Losa y Pórticos para transferencia y acopio de carril. (20 uds repartidas en 288 m). • Losa y 2 BiPórticos para acopio y premontaje de aparatos de vía.(capacidad carga 2x (12.5+12.5) Ton). • Báscula de pesaje de camiones. • Descargadero de balasto (opcional). • Intercambiador de ejes (opcional).
Definitivas	<ul style="list-style-type: none"> • Nave Almacén (400-2.500 m²). • Edificio de oficinas (850 m²). • Instalación para almacenamiento y suministro de combustible

* Datos orientativos (puede variar en función de la disponibilidad de terreno y de la funcionalidad prevista)

3. El montaje de vía

Una vez configuradas las Bases de M, se aborda el montaje de la vía, desde ellas y sobre la plataforma previamente construida.

La industrialización de los procesos de montaje de vía representa, hoy día, una mejora sustancial de los rendimientos, no sólo de la propia ejecución del montaje en sí, sino del resto de la superestructura ferroviaria. Más importante aún, supone un incremento muy notable de la calidad inicial de la vía, lo que redundará en un menor mantenimiento a lo largo de su vida útil.

Así pues, un hito importante en la ejecución de la vía en la Línea de Alta Velocidad Madrid-Cuenca-Albacete/Valencia ha sido precisamente la implantación de un nuevo proceso o sistema de descarga de carril diferente al tradicional con vía auxiliar, lo que deja de ser camino crítico en la planificación del trabajo. Se trata pues de la descarga mediante pórtico o maquinaria adaptada sobre orugas que circulando sobre el lecho de balasto y con la ayuda de rodillos colocados aproximadamente cada 8 m descarga el

carril en barra de 270 m directamente sobre la traviesa o junto a ella. Este sistema, que sustituye al tradicional con montaje previo de vía auxiliar, ha permitido no solo duplicar la producción, con la consecuente mejora de los rendimientos, sino también evitar el innecesario trasiego y desgaste del lecho de balasto cuya calidad, regularidad y compactación resulta fundamental para el correcto asiento de la vía.

Foto 3. Descarga de carril



Como datos de referencia, el rendimiento medio de descarga de carril en dicho tramo ha sido de 1.890 m de vía única al día (7 barras de 270 m en cada hilo), el doble del obtenido en líneas precedentes en condiciones normales. Para conseguirlo, actividades ligadas a la descarga de carril como el posicionado de traviesas y el primer riego de balasto han necesitado igualmente mantener ritmos similares. Así, para la formación del lecho de balasto se han obtenido rendimientos de hasta 1.000 m de vía doble al día, mediante la utilización fundamentalmente de extendedoras de vía doble. A su vez, se han tenido que ejecutar un mínimo necesario de 8 soldaduras aluminotérmicas de carril al día, hasta completar las aproximadamente 5.100 soldaduras realizadas durante el montaje de vía, cuyas exigencias de calidad han necesitado de una alta especialización y de unas exhaustivas labores de vigilancia y control geométrico.

En toda obra ferroviaria, los materiales componentes de la superestructura tienen una importancia relevante tanto en el aspecto económico, que supone aproximadamente el 75 % del montante total de una obra de montaje de vía, como en el técnico.

Técnicamente, la elección de los materiales es fundamental para poder circular a velocidades superiores a los 300 km/h. Por ello, el diseño debe ser el adecuado atendiendo a la normativa existente y el control de calidad muy minucioso con el objeto de asegurar la excelencia del producto.

Así, las características técnicas de la vía montada en la Línea de Alta Velocidad Madrid-Cuenca-Albacete/Valencia permitirán, de forma general, la circu-

lación por vía directa a 350 km/h, habiéndose definido dos tipologías de vía:

- Vía doble sobre balasto con traviesa monobloque de hormigón, en una longitud total de 406 km, con espesor mínimo bajo traviesa en el hilo bajo de 35 cm.
- Vía doble en placa, de tipo Rheda 2000 en una longitud total de 32 km, y de sujeción directa tipo SFC con FastClip, en 572 m (viaducto del Turia).

Para el montaje de la vía sobre balasto en la Línea, como datos relevantes, se han suministrado aproximadamente 4,5 millones de toneladas de balasto, definido como Tipo 1 para Red de Alta Velocidad, lo que ha supuesto la explotación de 9 canteras distintas. A su vez, han sido acondicionados hasta 33 acopios a lo largo de la traza, de los cuales 5 corresponden a las Bases de Montaje, con una superficie media de 1,5 Ha y una capacidad media de 140.000 Ton.

Asimismo, se han colocado aproximadamente 1,5 millones de traviesas monobloque de hormigón pretensado (o postesado) del tipo AI-04 EA, para carril 60 E1 y sistema de sujeción equipado con clip tipo Vossloh. Esta tipología de traviesas diseñada para velocidades máximas de 350 km/h permite configurar una vía de altas prestaciones. Geométricamente, la traviesa en cuestión presenta una longitud total de 2.600 mm, un ancho de base en los extremos de 300 mm y una inclinación del apoyo del carril de 1/20, con lo que se consigue el ancho de vía internacional de



Foto 4. Acopio de balasto en traza



1.435 mm, con una tolerancia de ± 2 mm y una traviesa simétrica de hormigón monobloque con un peso mínimo de 315 kg.

A lo largo de la línea, en determinados tramos de las estructuras -túneles o viaductos-, se han colocado traviesas provistas de elementos elastoméricos de alta resistencia en su parte inferior, denominados "suelas bajo traviesa" con el objeto de reducir la rigidez de la vía y, con ello, también la excitación dinámica en las zonas donde hay variaciones de la fuerza en el contacto entre la superestructura y las capas inferiores, que aparecen principalmente en dichas estructuras. La rigidez empleada en este tipo de material elastomérico bajo traviesa es de aproximadamente 100 kN/mm. Con objeto de realizar la transición de la elasticidad de la vía general a la existente en las zonas equipadas con traviesas con suela, se ha diseñado el montaje de hasta tres tipos de suelas bajo traviesa, con tres rigideces diferentes, consiguiendo homogeneizar la elasticidad final de la vía en estas zonas de variación.

Profundizando en el diseño de las traviesas con las que se ha equipado esta línea de Alta Velocidad, su cálculo responde a los momentos flectores de sentido positivo que existen en la sección bajo carril, sobre los apoyos del mismo, de valor 19,5 kN.m mientras que en la sección central aparecen valores de 10,5 kN.m en sentido positivo, y de 15 kN.m en sentido negativo. Es-

tos momentos están calculados en base a la normativa europea vigente y teniendo en cuenta las cargas por eje y la velocidad de paso.

Por otro lado, y fruto de un análisis multicriterio, técnico y económico, se ha tomado la decisión de instalar en varios de los túneles a lo largo del trazado vía en placa u hormigonada, fundamentalmente debido a su longitud. El sistema de vía en placa seleccionado ha sido el denominado Sistema Rheda 2000, avalado por la experiencia en España y en otras líneas de alta velocidad en el mundo. Concretamente, se ha montado vía en placa en un total de 11 túneles (que suman casi 32 km de vía doble): Horcajada (3.957 m), Cabrejas (1.910 m), Loma del Carrascal (2.198 m), Del Bosque (3.128 m), Hoyo de Roda (1.997 m), Umbría de Los Molinos (1.502 m), Villalgordo del Cabriel (3.340 m), La Cabrera (7.242 m), Buñol (1.848 m), Torrent (2.990 m) y túnel de entrada a Valencia (1.511 m).

Dicha tipología se caracteriza por un sistema monolítico con traviesa bibloque con celosía, denominada B355.3 U60-20M (Rheda 2000), que aporta la geometría necesaria que asegura el ancho de vía internacional (1.435 mm) y la inclinación del carril (1/20), quedando finalmente embutidas en una losa de hormigón. En la Línea de Alta Velocidad Madrid-Cuenca-Albacete/Valencia se han utilizado más de 100.000 unidades de dichas traviesas bibloques y más de 6.000 para las transiciones entre la superestructura sobre el balasto y la vía en placa. El sistema de sujeción utilizado en este tipo traviesa para la vía en placa es

Foto 5. Traviesas monobloque de hormigón Al-04 posicionadas en la traza.

Foto 6. Traviesas bibloque de la vía en placa, previo al hormigonado de la losa.



el denominado IOARV-300, entre cuyas características funcionales destacan su alta resistencia mecánica y mantenimiento de todas las tolerancias en sus estándares requeridos, además de conseguir una elasticidad similar a la de la vía con balasto.

Como excepción en cuanto a la tipología de vía en placa empleada en la línea, se han ubicado dos tipologías diferentes: la implantada en el viaducto del Turia, correspondiente al sistema de sujeción directa SFC, que representa un sistema de vía hormigonada simple, ligero y de gran capacidad de regulación, con amplias referencias en diversos países y para diferentes carriles y trazados; y la implantada en el túnel de Horcajada, de desarrollo y fabricación española, basada en un prefabricado polivalente y con doble plano de elasticidad.

Si bien los rendimientos de montaje de vía en placa no pueden ser comparables a los de vía sobre balasto, se pueden llegar a rendimientos diarios de hasta 300 m de vía terminada. Como dato relevante, el rendimiento medio alcanzado para la vía hormigonada con el sistema Rheda 2000 en el tramo Madrid-Cuenca-Albacete/Valencia ha sido de 200 m/día.

Asimismo, y como consecuencia de la utilización de las dos tipologías de vía reseñadas, con elasticidades verticales diferentes, se ha desarrollado y ejecutado un sistema de transición entre ambas dotado una gran estabilidad y un comportamiento en explotación satisfactorio, teniendo como objetivo fundamental minimizar los efectos de los asientos diferenciales en la zona de transición, realizando una transición gradual de la rigidez de vía (vía en balasto más rígida que esta tipología de vía en placa), y posibilitar la corrección de los posibles defectos durante la explotación de la línea. Los elementos dispuestos en dichas transiciones han sido unas artesas de hormigón que confinan el balasto cercano al inicio de la vía en placa para solucionar así la distinta altura del paquete de vía en balasto (más alto) que el de vía en placa, unos carriles de arriostamiento que minimizan los asientos diferenciales en la vía y las combinaciones de placas de asiento y suelas bajo traviesa para conseguir la transición de rigidez.

Respecto al carril, de perfil 60 E1 y calidad del acero R260, se ha realizado todo el suministro en Barra Larga Soldada (BLS) de 270 m, a partir de barras elementales de 90 m soldadas en taller mediante



Foto 7. Acopio en base de montaje de carril en barra larga de 270 m.

soldadura eléctrica por chisporroteo. A excepción del carril en barra larga, unido en vía mediante soldadura aluminotérmica, en el caso de túneles de gran longitud o por imposibilidad de acceso de los trenes carrileros, se ha utilizado barra corta de 18 m, suministrada a la traza mediante camión, previamente al inicio de los trabajos de montaje.

En total, para la construcción de la Línea de Alta Velocidad Madrid-Cuenca-Albacete/Valencia ha sido necesario suministrar algo más de 1,9 millones de metros lineales de carril, lo que supone una cantidad aproximada de 115.000 Ton de acero.

Una vez posicionada la vía en el proceso de montaje, se requiere ubicarla en su posición definitiva, que en el caso de la vía hormigonada, es preciso un ajuste fino y un control topográfico exquisito tanto antes como después del hormigonado, para lo cual se utilizan diferentes elementos auxiliares adaptados a cada sistema, que permiten ajustes milimétricos.

En cuanto a la vía sobre balasto, y aunque en ésta existe capacidad de modificación y ajuste de su geometría, mediante levantes y estabilización con maquinaria pesada, se requiere igualmente un enorme control topográfico con tolerancias incluso milimétricas (ver Cuadro 4). Como referencia, anotar que para alcanzar la cota definitiva del carril son necesarios al menos hasta 5 levantes de vía, con su correspondiente bateado mediante maquinaria pesada y al menos 3 estabilizaciones, dos de ellas a 100 bares de presión y la última realizada con control de asientos.

Cuadro 4. Tolerancias de la vía sobre balasto.

Trabajo	Parametro	Diferencias (mm)	Variaciones Cada 5 m
Nivelaciones previas	Alineacion por distancia lateral a piquetes y puntos de marcaje	6 20	
	Alineacion: flechado con cuerda de 20m cada 5m	1 4 2 2	3
	Nivelacion longitudinal. Cota teorica	1 20 2 30	10
	Peralte provisional cada 5 m	6 10	6
	Ancho de via cada 5m	2 2 1 4	2
Primera nivelacion	Alineacion: flechado con cuerda de 20m cada 5m	En recta 6 2 En curva 6 3	En recta 2 En curva 3
	Alineacion por distancia lateral a piquetes y puntos de marcaje	6 10	
	Nivelacion longitudinal. Cota teorica	1 0 2 10	6
	Peralte cada 5 m	2 5 1 5	5
	Ancho de via cada 5m	6 2	2
Estabilización dinámica tras la primera nivelación	Alineacion : flechado con cuerda de 20m cada 5m	En recta 6 2 En curva 6 3	En recta 2 En curva 3
	Alineacion por distancia lateral a piquetes y puntos de marcaje	6 12	
	Nivelacion longitudinal. Cota teorica	1 3 2 10	5
	Ancho de via cada 5m	2 2 1 2	2
	Peralte cada 5 m	6 8	5
Segunda nivelación	Ancho de via : coche de control geométrico o manual cada 5 m	6 2 del teorico	2
	Alineacion : coche de control geometrico o manual cada 5 m flechado con cuerda de 20m	6 2	2
	Alineacion por distancia lateral referida a piquetes y puntos de marcaje	6 10	
	Nivelacion: coche de control geometrico con base de medida de 20 m o manual cada 5m con nivel	1 0 2 10	3
	Peralte : coche de control geometrico o manual cada 5m	6 2 del teorico	2
	Alabeo : coche de control geometrico de base de medida de 3m		1‰
Estabilización diámica controlada tras segunda nivelación	Ancho de via : coche de control geométrico o manual cada 5 m	6 2 del teorico	2
	Alineacion: coche de control geometrico o manual cada 5 m flechado con cuerda de 20m	6 2	2
	Nivelacion : coche de control geometrico con base de medida de 20 m o manual cada 5m con nivel	1 0 2 10	3
	Alineacion por distancia lateral referida a piquetes y puntos de marcaje	6 10	
	Peralte : coche de control geometrico o manual cada 5m	6 2 del teorico	2
	Alabeo : coche de control geometrico de base de medida de 3m		1‰



En definitiva, para el control de los parámetros geométricos de la vía, se usan desde medios de topografía clásicos (aunque de última generación) hasta otros más novedosos y automatizados como los "carros de topografía" o "de medición ferroviaria", que permiten hacer todas las comprobaciones geométricas a partir de la obtención, en tiempo real y con un solo instrumento, de la posición absoluta de la vía y de todos los parámetros que la definen -nivelación longitudinal, transversal y ancho. El em-

pleo de sistemas de topografía automatizados garantiza, tanto en placa como en balasto, la calidad del montaje de la vía.

A la izquierda, foto 8. Comprobación geométrica de la vía mediante topografía. A la derecha, foto 9. Carros de topografía empleados en el control de calidad de la vía.

4. Los aparatos de vía

La Línea de Alta Velocidad Madrid-Cuenca-Albacete/Valencia cuenta con 4 nuevas estaciones comerciales: Cuenca, Albacete, Requena-Utiel y Valen-



Foto 10. Desvío de Alta Velocidad.

cia. Asimismo dispone de 10 PB's (Puestos de Banalización y 8 PAET's (Puestos de Adelantamiento y Estacionamiento de Trenes). Todas estas instalaciones incorporan un elevado número de desvíos, hasta constituir un total de 211 aparatos en la totalidad del tramo de línea puesto en servicio. De ellos, 142 son de Alta Velocidad, es decir, con velocidades de paso de hasta 350 km/h, lo que les confiere de novedosas y complejas soluciones técnicas, tales como una alta elasticidad, el carril endurecido, el accionamiento múltiple con sus elementos alojados en traviesas metálicas huecas, y especialmente la incorporación de cruzamientos de punta móvil. A su vez, las velocidades de paso por vía desviada pueden ser también muy elevadas, llegando hasta los 220 km/h. Para conseguirlo se emplean geometrías con curvas de transición en la definición de su trazado.

El resto de los desvíos, 69 en total, son de tipo más convencional y permiten velocidades inferiores a los 200 km/h, por disponer de cruzamientos de punta fija, prestaciones más que suficientes para la circulación por vías de apartado. En cualquier caso, todos estos aparatos también han sido fabricados con componentes tecnológicamente avanzados, con carril 60 E1, traviesas de hormigón, accionamientos independientes en traviesa-cajón, rodillos de ayuda a la maniobra, etc.

Además de los desvíos, el tramo Madrid-Cuenca-Albacete/Valencia cuenta con 100 aparatos de dilatación instalados, con objeto de minimizar la tensión e independizar los movimientos entre tablero y vía, en los viaductos hiperestáticos de gran longitud. Concretamente han sido instalados un total de 68 aparatos de 300 mm de carrera, 30 de 600 mm y 2 de 1.200 mm.

De la experiencia adquirida con el montaje de las líneas Madrid-Sevilla, Madrid-Barcelona y Madrid-Valladolid, se ha pasado de montar in situ los desvíos a realizar el premontaje de los mismos en las instalaciones de la base para después transportarlo e instalarlos en vía mediante el uso de pórticos ligeros, cuyo número a emplear varía en función de la longitud del aparato. Con ello, se consigue no solo independizar el ritmo de suministro de la instalación en obra, no condicionando el desarrollo del montaje de vía, sino también mejorar la calidad del propio montaje del aparato, realizándose en condiciones similares a las de taller, y muy especialmente, permite reducir el tiempo mínimo



Foto 11. Cambiador de Ancho de Albacete. Lado ancho internacional.

de corte y ocupación de vía, no condicionando otras actividades.

Para el montaje de los aparatos de vía se han empleados Pórticos Extensibles Motorizados (P.E.M) con sus Carros Elevadores Motorizados (L.E.M) que han satisfecho plenamente las exigencias de rapidez y precisión en la carga, transporte, descarga y posicionado de los mismos, lo que reduce significati-

Foto 12. Cambiador de Ancho de Valencia. Lado ancho. The image shows a railway switch structure from a different perspective, showing the tracks curving through the structure. The structure is white and modern, situated in an open area with tracks and overhead power lines visible.



vamente el tiempo y el coste de los trabajos. Con un total de 30 sistemas PEM-LEM utilizados en la línea, formados en diferentes combinaciones, se han conseguido realizar hasta 200 montajes de aparatos premontados de hasta 174 m de longitud de una forma rápida y eficaz.

Con la adecuada disposición de todos los aparatos de vía se contribuye a que la Línea de Alta Velocidad Madrid-Cuenca-Albacete/Valencia pueda explotarse en las mejores condiciones de confort y seguridad.

5. La necesidad de los Cambiadores de Ancho

La puesta en servicio de la Línea de Alta Velocidad Madrid-Cuenca-Albacete/Valencia, permitirá una evidente reducción de tiempos de viaje a Alicante, Murcia y Castellón con la instalación de cambiadores de anchos en Albacete y Valencia.

Los sistemas de cambio automático de ancho permiten a los trenes pasar de una línea con un ancho de vía ibérico a otra con ancho de vía internacional o viceversa variando la distancia entre las ruedas, sin cambiar los ejes ni los bogies, de forma automática y mientras pasa el tren por la instalación.

El principio básico de funcionamiento de estos sistemas se fundamenta en la descarga del peso de los ejes del tren, a su paso por el cambiador, apoyándose sobre unos carriles laterales elevados, de manera que permite la liberación de los cerrojos que impiden su desplazamiento lateral. Una vez liberados, las rui-

das se pasan por unos carriles convergentes o divergentes que las llevan a su nueva posición, para volver a encerrojarse al final del trayecto. Estas operaciones se realizan de forma automática mediante accionadores mecánicos que encuentran el tren al avanzar linealmente por la instalación.

En la actualidad existen dos sistemas con rodadura de ancho variable:

- El sistema Talgo, que se desarrolló en 1968 como respuesta a la iniciativa de Renfe de convocar un concurso público de soluciones para evitar el trasbordo de pasajeros en la frontera hispano-francesa, cuya operación era obligada hasta entonces debido al diferente ancho de las vías de la Península Ibérica en relación con las europeas.
- El sistema CAF, con el bogie BRAVA (Bogie de Rodadura de Ancho Variable Autopropulsado).

En la línea analizada se han instalado cambiadores de ancho, denominados de tercera generación, surgida con la construcción de la Línea de Alta Velocidad Madrid-Barcelona-Frontera Francesa, donde se desarrolla una nueva tecnología de cambio de ancho por parte de CAF y por la posibilidad del cambio también de las unidades motrices, reduciendo considerablemente el tiempo de maniobra. En definitiva, en los cambiadores de ancho de tercera generación instalados en la línea Madrid-Valencia, conviven en una misma instalación y de manera abatible la una sobre la otra, la plataforma para cambio de trenes CAF y la plataforma para Talgo. ♦

Referencias:

- (1) ALIAS, J. P. *La vía del ferrocarril*. Madrid: Editorial Bellisco, 1990.
- (2) CAUWELL, P. "La genèse des BB 427000/437000/437500: Les futures locomotives fret SNCF". *Révue Générale des Chemins de Fer*, 1999, vol 5.
- (3) GARG, V. AND DUKKIPATI, R. *Dynamics of railway vehicle systems*. Canada: Academic Press, 1984.

- (4) HAY, W. *Railroad engineering*. Illinois: John Wiley & Sons, 1982.
- (5) LANG, R ET TEULIÉ, M. "Les corridors européens de fret ferroviaire". *Révue Générale des Chemins de Fer*, 2000, vol 3.
- (6) LÓPEZ PITA, A. "La rigidez vertical de la vía y el deterioro de las líneas de Alta Velocidad". *Revista de Obras Públicas*, 2001, vol. 148, nº 3415, p. 7-26.
- (7) MARTÍN, J. "Spain to build more High-Speed Lines". *International Railway Journal*, 1999.

- (8) PROFILLIDIS, V. *Railway engineering*. Cambridge: University Press, 1995.
- (9) PRUD'HOMME, M. *Révue Générale des Chemins de Fer*, 1970, vol 6.
- (10) STEWART, H.; O'ROURKE, T. "Load factor method for dynamic track loadings". *Journal of Transportation Engineering*, ASCE, 1988, vol 1.
- (11) ZICHA, J. "High-Speed rail track design". *Journal of Transportation Engineering*, ASCE, 1989, vol 1.